

2019年 秋季年会

講演予稿集

電子版

於 熊本大学

2019年9月11日(水)～9月13日(金)

日本天文学会

日本天文学会 2019年 秋季年会プログラム

期 日 2019年9月11日(水)～9月13日(金)

場 所 熊本大学黒髪キャンパス(熊本県熊本市中央区)

電 話 090-4387-6893 <使用期間 2019年9月10日(火)～9月13日(金)>

月日	会場	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9月10日 (火)							記者会見						
9月11日 (水)	A	受付		M. 太陽	昼休み	ポスター			M. 太陽	理事会			
	B			Q. 星間現象					Q. 星間現象				
	C			S. 銀河核					S. 銀河核				
	D			P2. 星・惑星					P2/P1. 星・惑星				
	E			T. 銀河団					P3. 星・惑星				
	F			N. 恒星進化					N. 恒星進化				
	G			V3. 観測機器					V3. 観測機器				
	H			V2. 観測機器					V2. 観測機器				
	I			W. コンパクト天体					W. コンパクト天体				
	J			X. 銀河形成					X. 銀河形成				
9月12日 (木)	A	受付		M. 太陽	昼休み (代議員総会)			Z3. 誘発星形成	ポスター	会員全体 集会		懇親会	
	B			Q. 星間現象									Q. 星間現象
	C			S. 銀河核									V1. 観測機器
	D			P1. 星・惑星									P1. 星・惑星
	E			P3. 星・惑星									P3. 星・惑星
	F			N. 恒星進化									N. 恒星進化
	G			V3. 観測機器									V3. 観測機器
	H			V2. 観測機器									V2. 観測機器
	I			W. コンパクト天体									W. コンパクト天体
	J			X. 銀河形成									X. 銀河形成
9月13日 (金)	A	受付		Z3. 誘発星形成	昼休み	ポスター		Z3. 誘発星形成	特別セッション (天文教育フォーラム)				
	B			Q. 星間現象/Y. 教育・他									Y. 教育・他
	C			V1. 観測機器									V1. 観測機器
	D			P1. 星・惑星									P1. 星・惑星
	E			Z2. すばる+TMT									Z2. すばる+TMT
	F			R. 銀河									R. 銀河
	G			U. 宇宙論									U. 宇宙論
	H			Z1. 太陽新展開									Z1. 太陽新展開
	I			W. コンパクト天体									W. コンパクト天体
	J			X. 銀河形成									X. 銀河形成
9月14日 (土)							公開講演会						
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

A会場 : 理学部1・2号館 1F (C122)

B会場 : 理学部1・2号館 2F (C226)

C会場 : 理学部1・2号館 2F (C227)

D会場 : 工学部2号館 3F (234)

E会場 : 工学部2号館 3F (235)

F会場 : 工学部2号館 2F (224)

G会場 : 工学部2号館 2F (221)

H会場 : 工学部2号館 2F (222)

I会場 : 工学部2号館 2F (225)

J会場 : 工学部2号館 2F (223)

受付 : 工学部2号館 1F ホール

ポスター会場 : 工学部2号館 1F/3F

展示コーナー : 工学部2号館 1F ホール

懇親会 : ホテルメルパルク熊本 3F

◎講演数

講演数：合計 699

(口頭講演 (a)：503、ポスター講演 (b)：147、ポスター講演 (c)：49)

◎参加登録について (参加者は、当日必ず参加登録をしてください。)

2016年秋季年会より、通常セッションにおける講演は会員に限られております。

○参加費用

	会 員	非会員
参 加 費	3,000 円 (不課税)	5,000 円 (消費税込み)
	(但し講演ありの場合、参加費は無料)	
講 演 登 録 費	3,000 円 (不課税) (1 講演につき)	10,000 円 (1 講演につき)
	(但し事前支払がない場合は、会員 4,000 円 / 非会員 11,000 円)	
年 会 予 稿 集	2,000 円 (消費税込み)	2,000円 (消費税込み) (購入希望者のみ)

○参加登録受付場所：受付

○参加登録受付時間：9月11日 10:00～16:00

9月12日 09:00～16:00

9月13日 09:00～13:30

※参加費は、会期中に受付にて忘れずにご納付ください。

※参加費用支払い時に渡される領収書は、再発行はできませんので、大切に保管してください。

※講演登録者は、講演申し込み後にキャンセル等しても、講演登録費の返金はいたしません。

※懇親会に参加される方は、隣の懇親会専用の受付にて懇親会の参加費をお支払いください。

◎講演に関する注意

1. 口頭発表は 10 会場で並行して行います。口頭講演 (添字 a) は、口頭発表 9 分、質疑応答 3 分です。ポスター講演 (添字 b) は、口頭発表 3 分、3 講演で 12 分を割り当て、座長の判断で質疑応答を行います。

※時間厳守：講演制限時間を超過した場合は、直ちに降壇していただきますので、講演者の皆様は制限時間を厳守できるよう特に万全の準備をお願いします。

2. ポスター発表 (添字 b)、(添字 c) は、年会プログラムで指定された時間帯にポスター会場の指定された場所に掲示できます。ポスターセッションを活性化するために、ポスターセッションの時間にはポスター講演者は会場に居てください。終了後は速やかに撤去してください。ポスターサイズは縦 180 cm×横 90 cm です。
3. 講演には液晶プロジェクターをご使用ください。液晶プロジェクターは、セッション開始前に PC の接続を確認してください。講演時間は、直前の講演者が降壇した時点から計り始めます。迅速に講演が始められるよう、次の講演者は前の講演中に PC を接続しておいてください。

◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
9月10日 (火)	13:00～15:00	熊本県庁知事公室 広報グループ 県政記者室	記者会見
9月12日 (木)	16:15～17:15	J会場	会員全体集会
	19:30～21:30	ホテルメルパルク熊本	懇親会
9月13日 (金)	15:45～17:15	J会場	天文教育フォーラム
9月14日 (土)	13:30～16:00	熊本大学黒髪南キャンパス 百周年記念館	公開講演会

◎会合一覧表

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否*
9月11日 (水)	13:00～14:00	A会場	太陽研究者連絡会・運営委員会	D
	13:00～14:00	D会場	宇宙電波懇談会総会	C
	13:00～14:00	I会場	理論天文学宇宙物理学懇談会報告会	C
	13:00～14:00	J会場	天文学者のサバイバル術(主催:キャリア支援委員会)	A
	17:30～18:30	会議室	理事会	D
9月12日 (木)	11:30～12:30	G会場	高エネルギー宇宙物理連絡会報告会	B
	11:30～12:30	H会場	光・赤外大学間連携協議会/観測運営委員会合同会議	C
	11:30～12:30	I会場	代議員総会	D
9月13日 (金)	11:30～12:30	E会場	光学赤外線天文連絡会	C
	11:30～12:30	H会場	太陽研究者連絡会・報告会	B
	11:30～12:30	I会場	SKA-Japan 定期会合	B
	11:30～12:30	J会場	天文・天体物理若手の会総会	C

※年会参加者の参加可否の説明(オープン化の程度)

- A: 年会参加者なら誰でも大歓迎で是非来てほしい
- B: 年会参加者で興味を持った人には広く門戸を開いている
- C: 関係グループ向けの会合だが年会参加者なら特に拒みはしない
- D: 関係者のみにクローズした会合で非公開である

◎天文教育フォーラム：「市民向け講演会～何を話す？どうやって伝える？」

日 時：2019年9月13日（金）15：45～17：15

場 所：J会場

概 要：研究者にとって、最新の研究成果を広く市民に還元していくことは重要な使命の一つである。市民向けの講演会などはそのための絶好の機会と言えよう。しかし、宇宙を研究する面白さや最新の研究成果をわかりやすく市民と共有するのは簡単ではない。天文学の知見を研究者集団の中だけの閉じたもので終わらせることなく、広く市民に開かれたものにしていくためには、市民のニーズやベースとなる知識にも配慮して伝えていくことが必要となるだろう。今回のフォーラムでは、研究者から市民へ、天文学の最新の知見を楽しみながら伝えていく方法を考えていきたい。そのため、話し手の伝えたいこと、聞き手の双方の求めるものを整理した上で、効果的に知見を紹介していくための手段を議論したい。

話題提供（敬称略）：

「研究者としての立場から」

元木業人（山口大学）

「市民に伝える立場から」

宮本孝志（南阿蘇ルナ天文台）

「日本天文学会講師紹介プログラムについて」

内山秀樹（静岡大学）

費 用：天文教育フォーラムのみの参加費は不要です。天文学会年会受付で、その旨お伝えください。

実行委員：鴈野重之、石井貴子、石田光宏、磯部洋明、松本佳也、中串孝志、亀谷和久

主 催：公益社団法人 日本天文学会 / 一般社団法人 日本天文教育普及研究会

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2019年9月14日（土）13：30～16：00（開場 13:00）

場 所：熊本大学黒髪南キャンパス 百周年記念館

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「天文学の新たな地平線」

ここ数年、天文学の観測装置の発達により、重力波の検出、超巨大ブラックホールの撮像、地球によく似た惑星の発見など、たくさんの革新的な研究が行われてきました。そしてこれらの発見により、2020年代の天文学の新たな地平線が見えてきています。本講演会では急速に発展している天文学の最前線と、新たに浮かび上がった謎、そして次世代の観測装置や研究課題などについて一線の研究者が紹介します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料（事前申し込み不要）

定 員：300名（先着順）

<講演内容の紹介>

講演1：「ブラックホール天文学の最前線」

講師：大須賀 健（筑波大学教授）

イベント・ホライズン・テレスコープが写し出した光のリング、それは人類が初めて捉えたブラックホールの姿です。ブラックホールはその強力な重力で、物質はもちろんのこと光さえも吸い込む天体です。しかし、吸い込むだけではありません。ブラックホールの周囲では強力な光が発生し、超高速ジェットが噴出することがわかってきました。

本講演では、ブラックホールの最新の研究成果と残された謎の数々を解説します。

講演2：「究極の電波望遠鏡 Square Kilometre Array」

講師：高橋 慶太郎（熊本大学准教授）

宇宙の謎を解き明かす望遠鏡はより規模を大きく、そして精密に建設することで、微弱な電磁波を捕らえ遠方の天体を観測して天文学を発展させてきました。その究極の1つが国際電波望遠鏡計画 Square Kilometre Array (SKA) です。SKAは世界13カ国の国際協力のもとで建設が始まろうとしており、宇宙の始まりや宇宙で最初の星、地球外生命などを明らかにしていくことを目指します。本講演ではこの計画を紹介し、宇宙の様々な謎、そしてそれにどうやって迫っていくのかをお話しします。

プログラム、アクセスにつきましては開催地HP (<https://kumadaiuchu.wixsite.com/asj2019september>) をご覧ください。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：熊本大学

企 画：熊本大学理学部宇宙理論研究室

交通案内



JR熊本駅から	産交バス：楠団地、武蔵ヶ丘等（子飼橋経由）「熊本大学前」下車 都市バス：第一環状線【駅2】（大学病院・大江渡鹿経由）「子飼橋」下車徒歩10分 市電+産交バス：市電の健軍行きに乗車し「水道町」で下車。産交バスへ乗換。水道町バス停より、楠団地、武蔵ヶ丘等（子飼橋経由）「熊本大学前」下車
JR上熊本駅から	都市バス：第一環状線【駅1】、昭和町線（子飼橋経由）「子飼橋」下車徒歩10分
熊本空港から	空港リムジンバス熊本駅行き「通町筋」下車、 「水道町」から産交バスで楠団地、武蔵ヶ丘等（子飼橋経由）「熊本大学前」下車
交通センターから (桜町バスセンター)	(16番のりば) 産交バス：楠団地、武蔵ヶ丘等（子飼橋経由）「熊本大学前」下車 電鉄バス：楠団地、武蔵ヶ丘等（子飼橋経由）「熊本大学前」下車
JR竜田口駅	産交バス：交通センター行き「熊本大学前」下車

会場案内

熊本大学黒髪キャンパス

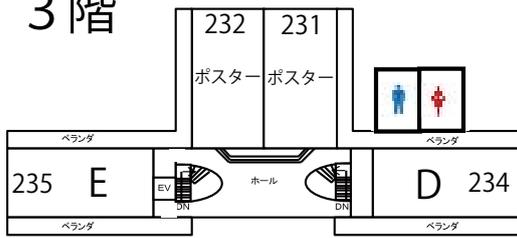


- ◆工学部と理学部の移動所要時間：徒歩 3 分
- ◆大学敷地内は禁煙です。
- ◆駐車：構内は荷下ろしのみ
- ◆ATM：北キャンパス正門東横（肥後銀行、熊本銀行）
- ◆無線 LAN：eduroam 構内全域

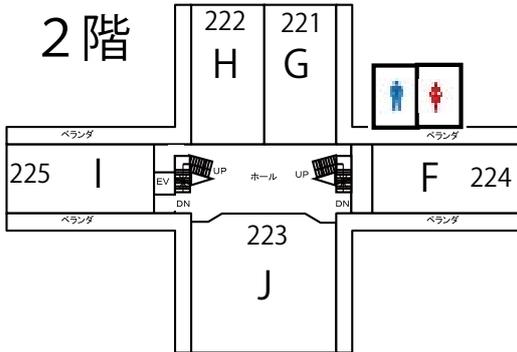
講演会場案内

① 工学部 2 号館

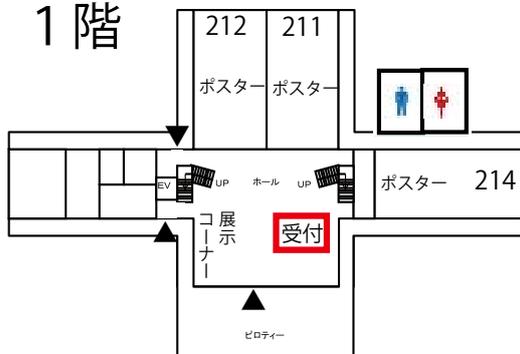
3 階



2 階



1 階

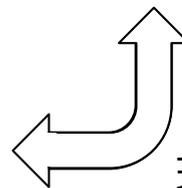
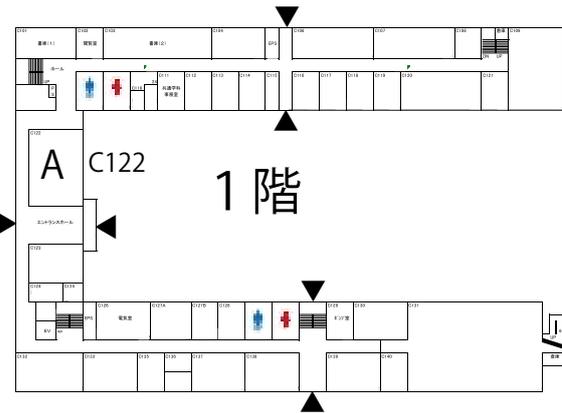


② 理学部 1・2 号館

2 階



1 階



理学部と工学部の
移動所要時間：
徒歩 3 分

▲・・・出入口

座 長 一 覧 表

2019 年秋季年会

	9月11日(水)		9月12日(木)		9月13日(金)	
	11:00 - 13:00	15:00 - 17:00	09:30 - 11:30	13:00 - 15:00	09:30 - 11:30	13:30 - 15:30
A 会場	M. 太陽 渡邊恭子 (防衛大学校)	M. 太陽 原弘久 (国立天文台)	M. 太陽 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)	Z3. 誘発星形成 細川隆史 (京都大学)	Z3. 誘発星形成 中村文隆 (国立天文台)	Z3. 誘発星形成 福井康雄 (名古屋大学)
B 会場	Q. 星間現象 佐野崇俊 (名古屋大学)	Q. 星間現象 内田裕之 (京都大学)	Q. 星間現象 山内茂雄 (奈良女子大学)	Q. 星間現象 渡邊祥正 (日本大学)	Q. 星間現象/Y. 教育・他 半田利弘 (鹿児島大学)	Y. 教育・広報普及・他 藤沢健太 (山口大学)
C 会場	S. 活動銀河核 永井洋 (国立天文台)	S. 活動銀河核 紀基樹 (工学院大学)	S. 活動銀河核 川島朋尚 (国立天文台)	V1. 観測機器 村岡和幸 (大阪府立大学)	V1. 観測機器 中島拓 (名古屋大学)	V1. 観測機器 新田冬夢 (筑波大学)
D 会場	P2. 原始惑星系円盤 野村英子 (国立天文台)	P2. 原始惑星系円盤/P1. 星形成 下西隆 (東北大学)	P1. 星形成 元木業人 (山口大学)	P1. 星形成 塚越崇 (国立天文台)	P1. 星形成 岩崎一成 (国立天文台)	P1. 星形成 廣田朋也 (国立天文台)
E 会場	T. 銀河団 三石郁之 (名古屋大学)	P3. 惑星系 生駒大洋 (東京大学)	P3. 惑星系 田中秀和 (東北大学)	P3. 惑星系 伊藤洋一 (兵庫県立大学)	Z2. すばる+TMT 秋山正幸 (東北大学)	Z2. すばる+TMT 岩田生 (国立天文台)
F 会場	N. 恒星・恒星進化 前原裕之 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 高田将郎 (東京大学)	N. 恒星・恒星進化 高棹真介 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 中村航 (福岡大学)	R. 銀河 中西裕之 (鹿児島大学)	R. 銀河 江草実 (東京大学)
G 会場	V3. 観測機器 小高裕和 (東京大学)	V3. 観測機器 米徳大輔 (金沢大学)	V3. 観測機器 鶴剛 (京都大学)	V3. 観測機器 北本俊二 (立教大学)	U. 宇宙論 浜名崇 (国立天文台)	U. 宇宙論 茅根裕司 (UC Berkeley)
H 会場	V2. 観測機器 大屋真 (国立天文台)	V2. 観測機器 酒向重行 (東京大学)	V2. 観測機器 和田武彦 (宇宙航空研究開発機構)	V2. 観測機器 松浦周二 (関西学院大学)	Z1. 太陽新展開 今田晋亮 (名古屋大学)	Z1. 太陽新展開 横山央明 (東京大学)
I 会場	W. コンパクト天体 福江純 (大阪教育大学)	W. コンパクト天体 鈴木昭宏 (国立天文台)	W. コンパクト天体 高橋弘充 (広島大学)	W. コンパクト天体 植村誠 (広島大学)	W. コンパクト天体 當真賢二 (東北大学)	W. コンパクト天体 川中宣太 (京都大学)
J 会場	X. 銀河形成 石山智明 (千葉大学)	X. 銀河形成 矢島秀伸 (筑波大学)	X. 銀河形成 竹内努 (名古屋大学)	X. 銀河形成 林将央 (国立天文台)	X. 銀河形成 小麦真也 (工学院大学)	X. 銀河形成 後藤友嗣 (台湾国立清華大学)

口頭セッション 9月11日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	太 陽	星間現象	活動銀河核	原始惑星系 円盤	銀河団	恒星進化	観測機器	観測機器	コンパクト 天体	銀河形成
11:00	M01a	Q01a	S01a	P201a	T01a	N01a	V301a	V201a	W01a	X01a
11:12	M02a	Q02a	S02a	P202a	T02a	N02a	V302a	V202a	W02a	X02a
11:24	M03a	Q03a	S03a	P203a	T03a	N03a	V303a	V203a	W03a	X03a
11:36	M04a	Q04a	S04a	P204a	T04a	N04a	V304a	V204a	W04a	X04a
11:48	M05a	Q05a	S05a	P205a	T05a	N05a	V305a	V205b V208b V209b	W05a	X05a
12:00	M06a	Q06a	S06a	P206a	T06a	N06a	V306a	V210a	W06a	X06a
12:12	M07a	Q07b Q08b Q09b	S07a	P207a	T07a	N07a	V307a	V211a	W07a	X07a
12:24	M08a	Q10a	S08a	P208a	T08a	N08a	V308a	V212a	W08b W09b W10b	X08a
12:36	M09a	Q11a	S09a	P209a	T09a	N09a	V309a	V213a	W11b W12b	X09b X10b X11b
12:48	M10a	Q12b Q14b	S10a	P210b P211b P212b	T10b	N10a	V310a	V214a	-	X12b X13b X14b
13:00	昼 休 み									
14:00	ポスター									
開始時刻	太 陽	星間現象	活動銀河核	原始惑星系 円盤/星形成	惑星系	恒星進化	観測機器	観測機器	コンパクト 天体	銀河形成
15:00	M11a	Q15a	S11a	P213a	P301a	N11a	V312a	V215a	W14a	X15a
15:12	M12a	Q16a	S12a	P214a	P302a	N12a	V313a	V216a	W15a	X16a
15:24	M13a	Q17a	S13a	P215a	P303a	N13a	V314a	V217a	W16a	X17a
15:36	M14a	Q18a	S14a	P216a	P304a	N14b N15b N16b	V315a	V218a	W17a	X18a
15:48	M15b M16b M17b	Q19a	S15a	P217b P218b P219b	P305a	N17a	V316a	V220a	W18a	X19a
16:00	M20b M21b M22b	Q20a	S16a	P101a	P306a	N18a	V317a	V221b V222b V223b	W19a	X20a
16:12	M24a	Q21a	S17a	P102a	P308b P309b P310b	N19a	V318a	V224a	W20a	X21a
16:24	M25a	Q22a	S18a	P103a	P311a	N20a	V319a	V225a	W21a	X22a
16:36	M26a	Q23a	S19b S20b S21b	P104a	P312a	N21a	V320a	V226a	W22b W23b W24b	X23a
16:48	M27b M28b	Q24a	S22b	P105b P106b	P313a	N22b N24b N25b	-	V227b V228b	-	X24b X25b

口頭セッション 9月12日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	太陽	星間現象	活動銀河核	星形成	惑星系	恒星進化	観測機器	観測機器	コンパクト天体	銀河形成
09:30	M30a	Q25a	S26a	P107a	P314a	N26a	V321a	V229a	W27a	X26a
09:42	M31a	Q26a	S27a	P108a	P315a	N27a	V322a	V230a	W28a	X27a
09:54	M32a	Q27a	S28a	P109a	P316a	N28a	V323a	V231a	W29a	X28b X29b X30b
10:06	M33a	Q28a	S29a	P111a	P317a	N29a	V324a	V232a	W30a	X31b X32b X33b
10:18	M34b M35b M36b	Q29a	S30a	P112b P114b P115b	P318a	N30b N31b N32b	V325a	V233a	W31a	X34a
10:30	M37b M38b	Q30a	S31a	P116a	P319b P320b P321b	N33a	V326a	V234a	W32a	X36a
10:42	-	Q31a	S32a	P117a	P322a	N34a	V327a	V235b V236b V237b	W33a	X37a
10:54	-	Q32a	S33a	P118a	P323a	N35a	V328a	V238a	W34a	X38a
11:06	-	Q33a	S34a	P119b P120b P121b	P324a	N36a	V329b V330b V331b	V242a	W35a	X39a
11:18	-	Q34a	S35a	P122b P123b P124b	P325a	N37a	V332b	V243a	W36b W37b W38b	X40a
11:30	昼休み(代議員総会)(I会場)									
開始時刻	誘発星形成	星間現象	観測機器	星形成	惑星系	恒星進化	観測機器	観測機器	コンパクト天体	銀河形成
13:00	Z301r	Q35a	V101a	P125a	P326a	N38a	V333a	V244a	W41a	X41a
13:12		Q36a	V102b V103b V104b	P126a	P327a	N39a	V334a	V245b V246b V247b	W42a	X42a
13:24		Q37a	V105a	P127a	P328a	N40a	V335a	V248a	W43a	X43a
13:36	Z302a	Q38a	V106a	P128a	P329a	N41a	V336a	V249a	W44a	X44a
13:48	Z303a	Q39a	V107a	P129a	P330b P331b	N42a	V337a	V250a	W45a	X45a
14:00	Z304r	Q40a	V108a	P130a	-	N43a	V338a	V251a	W46a	X46a
14:12		Q41a	V109b V110b V113b	P131b P132b P133b	-	N44a	V339a	V252a	W47b W48b W49b	X47a
14:24		Q42a	V115b V116b V117b	P134b P135b P136b	-	N45a	V340b V341b V342b	V253a	W50b W51b	X48a
14:36	Z305a	Q43a	-	P137a	-	N46a	V343b V344b V345b	V254a	-	X49a
14:48	Z306a	Q44a	-	P138a	-	N47a	V346a	V255a	-	X50a
15:00	-	-	-	-	-	N48a	-	-	-	-
15:00	ポスター									
16:15	会員全体集会(J会場)									
19:30	懇親会(ホテルメルパルク熊本 3F)									

口頭セッション 9月13日(金)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	誘発星形成	星間現象/ 教育・他	観測機器	星形成	すばる +TMT	銀河	宇宙論	太陽新展開	コンパクト 天体	銀河形成
09:30	Z307r	Q45a	V119a	P139a	Z201a	R01a	U01a	Z101r	W53a	X51a
09:42		Q46a	V120a	P140a	Z202a	R02a	U02a	-	W54a	X52a
09:54		Q47a	V121a	P141a	Z203r	R03a	U03a	Z102r	W55a	X53a
10:06	Z308a	Q48a	V122a	P142a	Z204a	R04a	U04a	-	W56a	X54a
10:18	Z309a	Q49a	V123a	P143a	Z205a	R05a	U05a	Z103a	W57a	X55a
10:30	Z310a	Y01a	V124b V125b V126b	P144a	Z206r	R06a	U06a	Z104a	W58a	X56a
10:42	Z311a	Y02a	V130a	P145a		Z207a	R07a	U07a	Z105a	W59a
10:54	Z312a	Y03b Y04b Y05b	V132a	P146a	Z208a		R08a	U08a	Z106a	W60a
11:06	Z313a	Y08a	V133a	P147a	Z209r	R09b R10b R11b	U09a	Z107a	W61a	X59a
11:18	Z314a	Y09b Y10b Y11b	V134a	P148a		R12b R13b R14b	U10a	Z108a	W62a	X60a
11:30	-	-	V135b	-	-	-	U11b U12b	-	-	-
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
開始時刻	誘発星形成	教育・他	観測機器	星形成	すばる +TMT	銀河	宇宙論	太陽新展開	コンパクト 天体	銀河形成
13:30	Z315r	Y12a	V136a	P149a	Z210r	R17a	U15a	Z109a	W63a	X61a
13:42		Y13a	V137a	P150a		Z211a	R18a	U16a	Z110a	W64a
13:54		Y14a	V138a	P151a	Z212a		R19a	U17a	Z111a	W65a
14:06	Z316a	Y15a	V139a	P152a	Z213a	R20a	U18a	Z112a	W66a	-
14:18	Z317a	Y16a	V140a	P153a	Z214a	R21a	U19a	Z113a	W67a	-
14:30	Z318b	Y17a	V141a	P154a		Z215r	R22a	U20a	Z114a	W68a
14:42	Z319a	Y18a	V142a	P155a	Z216a		R23a	U21a	Z115a	W69a
14:54	Z320a	-	V143a	P156a		R24a	U22a	Z116a	W70a	-
15:06	全体討論	-	V144a	-	Z217a	R25a	U23a	Z117a	W71a	-
15:18		-	-	-	Z218a	-	U24a	Z118b Z119b	W72a	-
15:45	天文教育フォーラム (J会場)									

ポスターセッション 9月11日(水) ~ 9月13日(金)

<p>【Z1. 太陽新展開】(2)</p> <p>Z118b Z119b</p> <p>【Z3. 誘発星形成】(1)</p> <p>Z318b</p> <p>【M. 太陽】(18)</p> <p>M15b M16b M17b M18c M19c</p> <p>M20b M21b M22b M23c M27b</p> <p>M28b M29c M34b M35b M36b</p> <p>M37b M38b M39c</p> <p>【N. 恒星】(12)</p> <p>N14b N15b N16b N22b N23c</p> <p>N24b N25b N30b N31b N32b</p> <p>N49c N50c</p> <p>【P1. 星・惑星】(19)</p> <p>P105b P106b P110c P112b P113c</p> <p>P114b P115b P119b P120b P121b</p> <p>P122b P123b P124b P131b P132b</p> <p>P133b P134b P135b P136b</p> <p>【P2. 星・惑星】(6)</p> <p>P210b P211b P212b P217b P218b</p> <p>P219b</p>	<p>【P3. 星・惑星】(11)</p> <p>P307c P308b P309b P310b P319b</p> <p>P320b P321b P330b P331b P332c</p> <p>P333c</p> <p>【Q. 星間現象】(8)</p> <p>Q07b Q08b Q09b Q12b Q13c</p> <p>Q14b Q50c Q51c</p> <p>【R. 銀河】(8)</p> <p>R09b R10b R11b R12b R13b</p> <p>R14b R15c R16c</p> <p>【S. 活動銀河核】(7)</p> <p>S19b S20b S21b S22b S23c</p> <p>S24c S25c</p> <p>【T. 銀河団】(1)</p> <p>T10b</p> <p>【U. 宇宙論】(4)</p> <p>U11b U12b U13c U14c</p> <p>【V1. 観測機器】(21)</p> <p>V102b V103b V104b V109b V110b</p> <p>V111c V112c V113b V114c V115b</p> <p>V116b V117b V118c V124b V125b</p> <p>V126b V127c V128c V129c V131c</p> <p>V135b</p>
---	--

ポスターセッション 9月11日(水) ~ 9月13日(金)

【V2. 観測機器】(21)

V205b V206c V207c V208b V209b
 V219c V221b V222b V223b V227b
 V228b V235b V236b V237b V239c
 V240c V241c V245b V246b V247b
 V256c

【V3. 観測機器】(11)

V311c V329b V330b V331b V332b
 V340b V341b V342b V343b V344b
 V345b

【W. コンパクト天体】(22)

W08b W09b W10b W11b W12b
 W13c W22b W23b W24b W25c
 W26c W36b W37b W38b W39c
 W40c W47b W48b W49b W50b
 W51b W52c

【X. 銀河形成】(15)

X09b X10b X11b X12b X13b
 X14b X24b X25b X28b X29b
 X30b X31b X32b X33b X35c

【Y. 教育・他】(9)

Y03b Y04b Y05b Y06c Y07c
 Y09b Y10b Y11b Y19c

Z1. Solar-C_EUVSTを軸とした将来スペースミッションと太陽研究の将来展望

9月13日（金）午前・H会場		9月13日（金）午後・H会場	
09:30	Z101r 天体物理研究から見た太陽物理分野への期待 鈴木建（東京大学）	13:30	Z109a DKIST と EUVST による太陽縁外の観測で探るエネルギー伝播と散逸 鄭祥子（京都大学）
09:54	Z102r 超高精度分光で探る将来 X 線宇宙物理と太陽物理研究とのシナジー 寺田幸功（埼玉大学）	13:42	Z110a Solar-C_EUVST を視野に入れた Lyman β とその近傍の O I 1027, 1028Å 線のスペクトル合成と形成過程に関する研究 長谷川隆祥（東京大学 / 宇宙航空研究開発機構）
10:18	Z103a 公募型小型衛星 Solar-C_EUVST（高感度 EUV/UV 分光望遠鏡）：計画概要 清水敏文（宇宙航空研究開発機構）	13:54	Z111a 太陽大気の 3 次元輻射磁気流体シミュレーション 飯島陽久（名古屋大学）
10:30	Z104a まもなく観測を開始する DKIST と Solar-C_EUVST との連携 浅井歩（京都大学）	14:06	Z112a EUVST で迫る太陽・恒星コロナ加熱問題 庄田宗人（国立天文台）
10:42	Z105a 太陽大気における 3 次元動的現象の理解へ：SUNRISE-3 気球観測とその先へ 勝川行雄（国立天文台）	14:18	Z113a 太陽圏研究から見た Solar-C EUVST への期待と連携の可能性 岩井一正（名古屋大学）
10:54	Z106a 紫外線偏光分光観測実験 CLASP シリーズから得る将来計画への示唆 石川遼子（国立天文台）	14:30	Z114a 機械学習と数値計算を用いた微小フレアの検出およびエネルギー推定 河合敏輝（名古屋大学）
11:06	Z107a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告（2019 年秋） 成影典之（国立天文台）	14:42	Z115a 活動領域の 3 次元磁場構造～EUVST 時代の展望～ 川畑佑典（東京大学）
11:18	Z108a 加熱・輸送・乱流ダイナミクスが繋ぐ太陽 - 実験室プラズマの連携研究：SoLaBo-X 仲田資季（核融合科学研究所）	14:54	Z116a 太陽プロミネンス研究の今後と EUVST への期待 金子岳史（名古屋大学）
		15:06	Z117a EUVST によるフレア加速粒子診断 川手朋子（宇宙航空研究開発機構）
		15:18	Z118b ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展：リコネクションレイトについて 新田伸也（筑波技術大学）
		15:18	Z119b Solar-C_EUVST 「Outcome」への戦略 今田晋亮（名古屋大学）

Z2. すばると TMT の連携で拓く科学のフロンティア

9月13日（金）午前・E会場		9月13日（金）午後・E会場	
09:30	Z201a すばる望遠鏡 - 2020-2030 年代の戦略 吉田道利（国立天文台）	13:30	Z210r 系外惑星科学の現状整理と展望 生駒大洋（東京大学）
09:39	Z202a TMT 計画 - 概要 臼田知史（国立天文台）	13:48	Z211a TMT 時代の系外惑星観測と観測装置 田村元秀（The University of Tokyo / Astrobiology Center）
09:48	Z203r すばるとTMTによるマルチメッセンジャー 天文学 田中雅臣（東北大学）	14:00	Z212a TMT/IRIS による太陽系外縁天体の近 赤外線分光観測 寺居剛（国立天文台）
10:06	Z204a すばる広視野探査と TMT 分光による IceCube 高エネルギーニュートリノの超 新星爆発起源説の検証 諸隈智貴（東京大学）	14:12	Z213a すばる+TMT で切り拓く星・惑星形成 本田充彦（岡山理科大学）
10:18	Z205a 重力波観測ラン O3 における J-GEM の すばるでの観測状況と TMT との連携 大神隆幸（甲南大学）	14:24	Z214a 星団が決める漸近巨星枝星の進化 板由房（東北大学）
10:30	Z206r すばると TMT の連携で拓く宇宙論 高田昌広（Kavli IPMU）	14:36	Z215r すばると TMT の連携で拓く 2020 年代 の銀河天文学 柏川伸成（東京大学）
10:48	Z207a 銀河系中心巨大ブラックホールの強重 力における一般相対論の検証 斉田浩見（大同大学）	14:54	Z216a ULTIMATE-Subaru:TMT 時代に向けた すばる望遠鏡の赤外線広視野戦略 小山佑世（国立天文台）
11:00	Z208a Subaru/TMT 近赤外線高分散分光観測 による等価原理 (LPI) の検証 西山正吾（宮城教育大学）	15:06	Z217a 星形成領域のマッピングで明らかにす る遠方星形成銀河の構造進化 鈴木智子（東北大学 / 国立天文台）
11:12	Z209r すばると TMT の連携で拓く銀河考古学 岡本桜子（国立天文台）	15:18	Z218a すばる・TMT 連携による遠方クエーサー 研究 松岡良樹（愛媛大学）

Z3. トリガーによる天体形成

9月12日(木) 午後・A会場	9月13日(金) 午前・A会場
13:00 Z301r トリガーによる星形成 福井康雄(名古屋大学)	09:30 Z307r ALMA View of Molecular Cloud Cores in the Galactic Center 50 km/s Cloud: Molecular Cloud Cores made by Cloud-cloud Collision Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)
13:36 Z302a CARMA-NRO Orion データと IN-SYNC データによるオリオン A 分子雲での分子雲衝突説の検証 中村文隆(国立天文台)	10:06 Z308a Massive Star Formation triggered by Cloud-Cloud Collision: Effects of Magnetic Field and Collision Speed Nirmit Deepak Sakre (Hokkaido University)
13:48 Z303a NGC 2023 における大質量星形成 山田麟(名古屋大学)	10:18 Z309a IRSF 近赤外線減光マップで得られた大マゼラン雲 HI リッジ領域における小マゼラン雲からのガス流入の証拠 古田拓也(名古屋大学)
14:00 Z304r 初期宇宙における天体形成: 周辺環境とトリガーについて 鄭昇明(東北大学)	10:30 Z310a 中性水素ガス衝突による星団形成の理論的研究 前田龍之介(名古屋大学)
14:36 Z305a 大質量星近傍分子雲コアの紫外線光蒸発: 輻射駆動爆縮とコア寿命の金属量依存性 仲谷峻平(理化学研究所)	10:42 Z311a 高分解能 HI で探る, 小マゼラン雲の NGC602 領域における巨大星団形成シナリオ 大野峻宏(名古屋大学)
14:48 Z306a Secondary proto-star formation triggered by spiral-arm instability 井上茂樹(筑波大学/国立天文台)	10:54 Z312a 分子雲衝突による一様金属量を持つ星団の形成シミュレーション 斎藤貴之(神戸大学)
	11:06 Z313a ASURA+BRIDGE を用いた星団形成シミュレーション 藤井通子(東京大学)
	11:18 Z314a アンテナ銀河における巨大星団形成シナリオ 柘植紀節(名古屋大学)

M. 太陽

9月13日(金) 午後・A会場		9月11日(水) 午前・A会場	
13:30	Z315r 銀河系円盤部における分子雲形成・散逸過程と星形成率について 犬塚修一郎(名古屋大学)	11:00	M01a 第24太陽周期観測データから推定する巨大太陽フレアの可能性について 草野完也(名古屋大学)
14:06	Z316a 羽部太田モデルに基づく分子雲衝突の観測的特徴と性質 鳥居和史(国立天文台)	11:12	M02a RHESSI衛星と野辺山電波ヘリオグラフで観測された太陽フレアの特徴 増田智(名古屋大学)
14:18	Z317a 分子雲衝突による大質量星形成とフィードバックによるトリガーの可能性 島和宏(京都大学)	11:24	M03a フレア活動領域: 先行研究の総括と今後の課題 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)
14:30	Z318b M17赤外線暗黒星雲領域の分子雲の力学状態と分子雲衝突の可能性について 木下真一(東京大学)	11:36	M04a 太陽フレア EUV放射スペクトル予測モデルの構築 西本将平(防衛大学校)
14:36	Z319a ALMAによる渦巻銀河 M33の巨大分子雲の高分解能観測(2): NGC 604における星形成とフィードバック 村岡和幸(大阪府立大学)	11:48	M05a 非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域 12673におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究 山崎大輝(京都大学)
14:48	Z320a ALMAによる渦巻銀河 M33の巨大分子雲の高分解能観測(3): フィラメント状分子雲と原始星アウトフローの検出 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)	12:00	M06a 太陽フレア上空に現れるシート状構造の断面境界領域について 原弘久(国立天文台)
15:00	全体討論(- 15:30)	12:12	M07a 飛騨天文台 SMART/SDDIを用いた太陽フィラメント噴出の3次元軌跡とCMEとの関連における研究 大辻賢一(京都大学)
		12:24	M08a 磁場中のプラズマにおけるイオン音波ソリトンによる粒子加速 松野研(大阪物療大学)
		12:36	M09a ケルビンカによる太陽風加速 柴崎清登(太陽物理学研究所)
		12:48	M10a フラックスロープの振動現象を用いた安定性の診断 磯部洋明(京都市立芸術大学)

9月11日(水) 午後・A会場		16:12	M24a	LTE インバージョンから探る光球大気構造変化のスペクトル線幅への影響 石川遼太郎(総合研究大学院大学/国立天文台)	16:24	M25a	ダルトン極小期(1800年代)における黒点スケッチの画像解析 采女昇真(名古屋大学)
15:00	M11a	太陽フレア中のプラズモイドの合体による加熱過程 石塚典義(東京大学/国立天文台)			16:36	M26a	太陽活動や磁場変動の結合スピン格子モデルによる解析 森川雅博(お茶の水女子大学)
15:12	M12a	表面磁束輸送モデル計算及び PFSS 外挿法を用いたコロナホール分布の時間発展計算 渡邊優作(名古屋大学)			16:48	M27b	太陽コロナ緑色輝線で観測されたフレア 清水結花(明星大学)
15:24	M13a	MAXI-NICER 連携(MANGA)によるふたご座 σ 星の巨大フレア観測 佐々木亮(中央大学)			16:48	M28b	太陽コロナ緑色輝線で見られる構造の長周期変動について 萩野正興(国立天文台)
15:36	M14a	惑星分光観測衛星「ひさき」とX線望遠鏡 NICER によるおひつじ座 UX 星からの恒星フレア同時観測 岩切渉(中央大学/理化学研究所)				M29c	1930年代の微小黒点由来磁気嵐サーベイ 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
15:48	M15b	太陽フレアにおける非熱的電子のスペクトルと磁場構造の関係 渡邊恭子(防衛大学校)			9月12日(木) 午前・A会場		
15:48	M16b	白色光放射温度・磁場領域の統計解析による白色光フレア発生条件の探索 鶴田康介(防衛大学校)			09:30	M30a	Numerical study of fast and slow MHD waves in heating magnetic chromosphere by realistic simulation Wang Yikang(The University of Tokyo)
15:48	M17b	コロナループにおける Alfvén 波の衝突に伴うナノフレア生成の可能性 松本琢磨(国立天文台)			09:42	M31a	ALMA によるスピキュール物理量の導出 下条圭美(国立天文台)
	M18c	機械学習による太陽高エネルギー粒子フラックスの予測 森本太郎(SWC)			09:54	M32a	CLASP で得たライマン α 線スピキュールの偏光とそれが与える磁場への制約 吉田正樹(総合研究大学院大学/国立天文台)
	M19c	超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測(III) 山岡和貴(名古屋大学)			10:06	M33a	観測ロケット実験 CLASP2 で捉えた太陽彩層の新たな姿 鹿野良平(国立天文台)
16:00	M20b	深層学習を用いた MAXI 画像データからの恒星フレア検出 佐藤樹(中央大学)			10:18	M34b	H α 線2波長同時撮像観測による活動領域の高解像度速度場観測 宮良碧(茨城大学)
16:00	M21b	フィラメント噴出に伴う彩層微細構造の運動 青山実樹(茨城大学)			10:18	M35b	飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験 II 山崎大輝(京都大学)
16:00	M22b	活動領域スピキュールの物理量の推定 野澤恵(茨城大学)					
	M23c	スーパーフレア時における人工衛星被害推定 関大吉(京都大学/ケンブリッジ大学)					

N. 恒星・恒星進化

10:18	M36b	太陽サイクル 24 のプロミネンスの極輸送について 石塚千彬 (明星大学)	9月11日(水) 午前・F会場		
10:30	M37b	黒点の出現態様に見える太陽の長期活動変動と、基礎データ整備 花岡庸一郎 (国立天文台)	11:00	N01a	赤色巨星の太陽型振動にみられる周波数スペクトルの微細構造の解釈 高田将郎 (東京大学)
10:30	M38b	情報通信研究機構太陽観測データベース 久保勇樹 (情報通信研究機構)	11:12	N02a	主系列 F 型星 KIC 9244992 の対流コアに焦点を絞った自転角速度推定 八田良樹 (総合研究大学院大学 / 国立天文台)
	M39c	太陽風シミュレーションモデルの高解像度化によるコロナホールの再現と高速風予測について 田光江 (情報通信研究機構)	11:24	N03a	カシオペア座 γ 型変光星における水素輝線等価幅のモニタリング 石田光宏 (横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校)
			11:36	N04a	惑星形成が恒星表面組成に及ぼす影響について 國友正信 (久留米大学)
			11:48	N05a	2次元回転星の定常解を求める数値計算手法 小形美沙 (早稲田大学)
			12:00	N06a	新しい計算手法によるラグランジュ座標上での回転星計算 藤澤幸太郎 (東京大学)
			12:12	N07a	ゼロ・低金属量星におけるコロナループ加熱 鷺ノ上遥香 (東京大学)
			12:24	N08a	α Ori からの星風についての理論的検証 保田悠紀 (北海道大学)
			12:36	N09a	Optically-thick magnetorotational wind from WS 35 : theoretical modeling and photometric observation at 2 Hz using Tomo-e Gozen 櫻山和己 (東京大学)
			12:48	N10a	共生星 CH Cyg の最近の話題 飯島孝 (パドバ天文台アジアゴ観測所)

9月11日(水) 午後・F会場		16:48	N24b	VERAによるExtreme-OH/IR星 OH127.8+0.0の43GHz年周視差計測 中川亜紀治(鹿児島大学)
15:00	N11a			光赤外線大学間連携とTESSによるフ レア星YZ CMiの測光分光同時観測 前原裕之(国立天文台)
15:12	N12a	16:48	N25b	VERAを用いたミラ型変光星きりん座 BX星の観測的研究 松野雅子(鹿児島大学)
				せいめい望遠鏡の初期観測成果:M型 星AD Leoの恒星フレアの連続分光 行方宏介(京都大学)
15:24	N13a	9月12日(木) 午前・F会場		
		09:30	N26a	アーカイブデータから探るR CrB型星で のダスト成長 大澤亮(東京大学)
				接触型連星における質量移動率の連星 パラメータに対する依存性 高妻真次郎(中京大学)
15:36	N14b	09:42	N27a	イータ・カリーナと人形星雲の起源 平井遼介(オックスフォード大学)
				接触型および半分離型連星系における 恒星黒点の統計的性質 高妻真次郎(中京大学)
15:36	N15b	09:54	N28a	ブラックホールによる白色矮星の潮汐 破壊現象からの観測兆候 川名好史朗(東京大学)
				分光連星における組成差の探査 加藤則行(兵庫県立大学)
15:36	N16b	10:06	N29a	「宇宙の間欠泉」から新たに出現した 双極高速ジェットからの同時噴出ガス塊 今井裕(鹿児島大学)
				極めてX線活動性の高いG型星の観測 的特徴 高棹真介(国立天文台)
15:48	N17a	10:18	N30b	野辺山45m電波望遠鏡を使ったAGB 星周縁の ¹² CO, ¹³ CO輝線の撮像 甘田溪(鹿児島大学)
				大質量星とブラックホールからなる相互 作用をしない連星の発見 須田拓馬(放送大学)
16:00	N18a	10:18	N31b	ヘリウム新星V445 Puppisの歌詞近赤 外観測から推察される星周構造と時間 発展 高木健吾(広島大学)
				Wolf-Rayet連星系WR 102-1のX線光 度変動 菅原泰晴(宇宙航空研究開発機構)
16:12	N19a	10:18	N32b	謎の突発現象AT2018cowの母銀河の 性質:ALMA CO(J=1-0)観測 諸隈佳菜(東京大学)
				W UMa型食連星TZ Booの突発的異 常極小について 大島修(岡山理科大学)
16:24	N20a	10:30	N33a	速い速度進化を示すIa型超新星SN 2019einの爆発初期からの観測 川端美穂(京都大学)
				VERAを用いた周期の長いOH/IR星 NSV17351の位置天文観測 守田篤史(鹿児島大学)
16:36	N21a	10:42	N34a	Radio and Submillimetre Constraints on the Pulsar-Driven Supernova Model Conor Omand(The University of Tokyo)
				Physical properties of the fluorine and neutron capture element rich PN J900 大塚雅昭(京都大学)
16:48	N22b	10:54	N35a	偏光分光観測で探る超高輝度超新星 の爆発形状 齋藤晟(東北大学)
				Spatially-resolved study of the planetary nebula Hu1-2 with the Seimei 3.8-m/ KOOLS-IFU 大塚雅昭(京都大学)
	N23c			Physical properties of the planetary nebula Hu2-1 with Seimei/KOOLS-IFU 大塚雅昭(京都大学)

11:06	N36a	X-ray emissions from a failed supernova and fallback heating effect 早川朝康 (京都大学)	15:00	N48a	X線ドップラー運動測定を用いた Ia 超新星残骸中における噴出物の運動状態の多様性: Kepler と Tycho の比較 春日知明 (東京大学)
11:18	N37a	SN 1987A の連星合体親星モデルに基づく3次元重力崩壊数値計算 中村航 (福岡大学)		N49c	重力崩壊型超新星の爆発エネルギー成長時間と元素合成の相関性 澤田涼 (京都大学)
9月12日(木) 午後・F会場				N50c	Probing the Progenitor Metallicity of SNe Ia with Ultraviolet Spectra Yen-Chen Pan (NAOJ)
13:00	N38a	高速自転する大質量星の3次元重力崩壊シミュレーション: low $T/ W $ 不安定による重力波の解析 柴垣翔太 (福岡大学)			
13:12	N39a	重力崩壊型超新星爆発における非対称ニュートリノ放射の元素合成への影響 藤本信一郎 (熊本高等専門学校)			
13:24	N40a	天の川銀河の r プロセス元素過剰星が示す矮小銀河降着の痕跡 青木和光 (国立天文台)			
13:36	N41a	INTEGRAL 衛星による SNR の r-process 元素崩壊核ガンマ線探査 三輪祐也 (埼玉大学)			
13:48	N42a	X線精密分光を用いた II n 型超新星 SN 1978K の元素組成比の測定 千葉友樹 (埼玉大学)			
14:00	N43a	ヘリウム伴星をもつ Ia 型超新星の星周環境 守屋堯 (国立天文台)			
14:12	N44a	星周円盤と相互作用する超新星の2次元放射流体力学シミュレーション 鈴木昭宏 (国立天文台)			
14:24	N45a	星周物質との相互作用によって輝く超新星の親星における爆発的な質量放出 栗山直人 (東京大学)			
14:36	N46a	天の川銀河とマゼラン銀河で発生した重力崩壊型超新星の親星の質量分布 勝田哲 (埼玉大学)			
14:48	N47a	ティコの超新星残骸の衝撃波速度の時間変化と爆発機構への示唆 田中孝明 (京都大学)			

P1. 星・惑星形成(星形成)

9月11日(水) 午後・D会場		10:18	P112b ALMAによる突発増光原始星 V900 Mon の観測 高見道弘(台湾中央研究院)
16:00	P101a 磁気制動を考慮した星・原始惑星系円盤の解析的モデル構築 高橋実道(国立天文台)		P113c すばる HiCIAOによる、突発増光原始星の質量降着メカニズムの解明 高見道弘(台湾中央研究院)
16:12	P102a 超大質量星形成過程における星周円盤の進化 松木場亮喜(東北大学)	10:18	P114b 近赤外 Ca II 三重輝線を用いた前主系列星の彩層活動の調査 山下真依(兵庫県立大学)
16:24	P103a ALMA Long BaselineによるFace-on大質量原始星候補天体の撮像観測2: 降着円盤 元木業人(山口大学)	10:18	P115b 星形成レガシープロジェクト I: Overview 中村文隆(国立天文台)
16:36	P104a 円盤サイズ多様性の起源としての原始星進化 麻生有佑(台湾中央研究院)	10:30	P116a 星形成レガシープロジェクト II: M17 SWex の星形成 下井倉ともみ(大妻女子大学)
16:48	P105b 原始星進化シミュレーションの観測的可視化に基づく円盤同定方法の検証 麻生有佑(台湾中央研究院)	10:42	P117a 星形成レガシープロジェクト III: M17 SWex 分子雲の磁場構造 杉谷光司(名古屋市立大学)
16:48	P106b 初代星形成における原始星周りの円盤進化 木村和貴(京都大学)	10:54	P118a 星形成レガシープロジェクト IV: はくちょう座領域の研究成果 土橋一仁(東京学芸大学)
9月12日(木) 午前・D会場		11:06	P119b へび座分子雲における低質量 YSO の近赤外分光観測 大出康平(埼玉大学)
09:30	P107a OMC-2における新たな Extremely High Velocity Flow の発見 松下祐子(九州大学)	11:06	P120b 銀河面低密度領域における星形成の広域探査観測 大朝由美子(埼玉大学)
09:42	P108a Class 0 低質量原始星天体 L483 のアウトフローの根元の構造 藤田孝典(東京大学)	11:06	P121b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査 金井昂大(埼玉大学)
09:54	P109a 低質量原始星 IRAS 16293-2422 の 10 au スケールでの円盤/エンベロープ構造 大屋瑠子(東京大学)	11:18	P122b NGC 2264 CMM3A の ALMA による 0.8mm 帯化学サーベイの解析 柴山良希(東京大学)
	P110c 近傍宇宙における連星形成およびアウトフローとジェットの駆動 佐伯優(九州大学)	11:18	P123b 大マゼラン雲における大質量原始星に付随する分子雲の ALMA 観測(2) 後藤健太(大阪府立大学)
10:06	P111a 前主系列星の長期モニタリング ジェット駆動機構の解明に向けて(II) ジェットデータとの比較 高見道弘(台湾中央研究院)	11:18	P124b 大質量ホットコアにおけるメタノールの重水素濃縮度 植松海(電気通信大学)

9月12日(木) 午後・D会場		14:48	P138a Spiraling giants: witnessing the birth of a massive binary star Yichen Zhang (RIKEN)
13:00	P125a BISTRO Project Status (6) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)	9月13日(金) 午前・D会場	
13:12	P126a BISTRO : 星形成領域における 450 μ m 帯ダスト熱放射偏波撮像マップ (2) 古屋玲 (徳島大学)	09:30	P139a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域 分子雲コア進化の統計的研究 (1) 藤城翔 (名古屋大学)
13:24	P127a 星形成領域 NGC 1333 の磁場構造 II 土井靖生 (東京大学)	09:42	P140a Physics and Chemistry of a Low-Metallicity Hot Molecular Core in the LMC 下西隆 (東北大学)
13:36	P128a CCS 輝線の Zeeman 観測による TMC-1 OH と L1495B の磁場強度の見積もり 楠根貴成 (国立天文台)	09:54	P141a Class-0 原始星連星 VLA1623A からの不整列分子流対 川邊良平 (国立天文台)
13:48	P129a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲でのコア形成 : 両極性拡散の効果 工藤哲洋 (長崎大学)	10:06	P142a ALMA によるペルセウス座分子雲に対する有機分子輝線のサーベイ観測 小野真夢 (電気通信大学)
14:00	P130a Probing fragmentation and velocity sub-structure in the NGC 6334 filament 島尻芳人 (Kagoshima University/NAOJ)	10:18	P143a B335で原始星最近傍に存在するSiO輝線 今井宗明 (東京大学)
14:12	P131b 深層学習を用いた天文サーベイデータ解析 : 分子雲コアの同定 吉田大輔 (名古屋大学)	10:30	P144a オリオン KL 電波源 I における一酸化ケイ素レーザーの偏波観測 廣田朋也 (国立天文台)
14:12	P132b 野辺山 45m 望遠鏡を用いた H ¹³ CO ⁺ , N ₂ H ⁺ 輝線観測に基づくおうし座分子雲の広域分子雲コアの探査 高嶋辰幸 (大阪府立大学)	10:42	P145a 大質量星形成領域 G 358.93-00.03 における降着バースト的増光現象の検出 杉山孝一郎 (国立天文台)
14:12	P133b VERA 及び野辺山 45m 鏡によるカリフォルニア分子雲の NGC1579 星形成領域周辺の研究 濱田翔太 (鹿児島大学)	10:54	P146a 星形成レガシープロジェクト V : オリオンA 分子雲の CARMA+NRO45m 合成データを用いて導出した高密度コアの質量関数 竹村英晃 (国立天文台)
14:24	P134b Principal Component Analysis を用いた低質量原始星 L483 の化学組成の解析 大小田結貴 (東京大学)	11:06	P147a Nobeyama Planck Project (1) Overview 立松健一 (国立天文台)
14:24	P135b 分子雲におけるフィラメント状構造の起源と星形成初期条件の解明 安部大晟 (名古屋大学)	11:18	P148a Nobeyama Planck Project (2) Gwanjeong KIM (NAOJ)
14:24	P136b Cyanopolyne Chemistry around Massive Young Stellar Objects 谷口琴美 (University of Virginia)		
14:36	P137a Investigation of ¹³ C Isotopic Fractionation of CCH in L1521B and L134N 谷口琴美 (University of Virginia)		

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

9月13日(金) 午後・D会場	9月11日(水) 午前・D会場
13:30 P149a 多相星間媒質の実効的状态方程式と衝撃波速度依存性 小林将人(大阪大学)	11:00 P201a スパイラル構造を持つ自己重力円盤におけるダストの運動 古賀駿大(東京工业大学/九州大学)
13:42 P150a 分子雲形成シミュレーション: 自己重力の効果 岩崎一成(国立天文台)	11:12 P202a 磁気駆動円盤風によって進化する原始惑星系円盤中でのダスト粒子の成長 瀧哲朗(国立天文台)
13:54 P151a 分子雲形成シミュレーションの模擬観測 田中圭(大阪大学/国立天文台)	11:24 P203a 自由落下ダスト流に形成するダストクラスタ内部の充填率推定 長足友哉(神戸大学)
14:06 P152a 宇宙論的シミュレーションを用いた恒星間天体の衝突による初代星の金属汚染 桐原崇亘(千葉大学)	11:36 P204a ダスト合体成長における回転破壊 辰馬未沙子(東京大学/国立天文台)
14:18 P153a 低金属度ガスの温度進化や電離度について: ダスト表面反応の影響 仲内大翼(東北大学)	11:48 P205a 周木星円盤におけるダスト粒子の光泳動 荒川創太(東京工业大学)
14:30 P154a Formaldehyde deuteration in Galactic high-mass star-forming cores Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University /NAOJ)	12:00 P206a ガス惑星近傍へのガスの流入と周惑星円盤の形成について 藤井悠里(名古屋大学)
14:42 P155a オリオン領域における星形成領域の変遷 西亮一(新潟大学)	12:12 P207a 原始惑星系円盤と岩石微惑星の形成過程 長谷川幸彦(東京大学)
14:54 P156a WISE 衛星アーカイブデータを用いた大質量原始星における変光探査 内山瑞穂(国立天文台)	12:24 P208a ダスト摩擦反作用に起因する巨大惑星の内側移動の停止 金川和弘(東京大学)
	12:36 P209a ALMAを用いた二周波観測によるTW Hya の原始惑星系円盤のスペクトル・インデックス分布の調査 塚越崇(国立天文台)
	12:48 P210b ダスト-ガス摩擦と乱流粘性が駆動する原始惑星系円盤の不安定性の非線形発展 富永遼佑(名古屋大学)
	12:48 P211b 三次元効果を取り入れた Type1 惑星移動の二次元数値流体計算 岡田航平(東北大学)
	12:48 P212b 超木星質量の巨大惑星による原始惑星系円盤のギャップ形成と境界条件への依存性 田中佑希(東北大学)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

9月11日(水) 午後・D会場		9月11日(水) 午後・E会場	
15:00	P213a 磁気圏を持つ中心星への降着に関する3次元磁気流体シミュレーション 高棹真介(国立天文台)	15:00	P301a 小惑星探査ミッション「はやぶさ2」のこれまでの成果 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
15:12	P214a 星団形成期での周囲の星による星周円盤の破壊 長谷川大空(東京大学)	15:12	P302a リュウグウなどのコマ型小惑星の形成条件の解明に向けて:小惑星の高速自転変形の数値計算 杉浦圭祐(東京工業大学)
15:24	P215a 星形成後期過程でのオーム散逸、両極性散逸の役割について 塚本裕介(鹿児島大学)	15:24	P303a ジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)の中間赤外線スペクトルに見られる未同定赤外バンド 大坪貴文(宇宙航空研究開発機構)
15:36	P216a ALMA アーカイブデータを用いた Class II 連星 XZ Tau の軌道運動の解明 市川貴教(鹿児島大学)	15:36	P304a 巨大氷惑星の天体衝突:インパクトの質量依存性 黒崎健二(名古屋大学)
15:48	P217b 分子雲コア内の同位体不均質分布と隕石内同位体異常 中本泰史(東京工業大学)	15:48	P305a タイタン大気中アセトニトリル CH ₃ CN における ¹⁴ N/ ¹⁵ N 同位体比の導出 飯野孝浩(東京大学)
15:48	P218b 円筒座標系での見かけの特異点を取り除いた数値シミュレーション法 花輪知幸(千葉大学)	16:00	P306a トリトン大気におけるヘイズ微物理モデリングとヘイズ生成率への示唆 大野和正(東京工業大学)
15:48	P219b SPICA による原始惑星系円盤からの複雑な有機分子輝線の観測予測 野村英子(国立天文台)		P307c C/2018 Y1(Iwamoto) 彗星のガス輝線の空間構造の Abel 変換による解析 長谷川隆(群馬県立ぐんま天文台)
		16:12	P308b 46P/Wirtanen の偏光撮像観測 古荘玲子(都留文科大学/国立天文台)
		16:12	P309b 「あかり」指向観測データを用いた天体カタログの作成及び Gaia DR2 と組み合わせた暖かい残骸円盤の検出 水木敏幸(宇宙航空研究開発機構)
		16:12	P310b Can hot jupiters host exomoons? Alessandro Alberto Trani (The University of Tokyo)
		16:24	P311a 近赤外高分散分光器 IRD による系外惑星のトランジット分光観測 平野照幸(東京工業大学)
		16:36	P312a 視線速度法を用いたプレアデス星団内における短周期惑星の探索 宝田拓也(埼玉大学)

16:48	P313a 視線速度法を用いた長周期連星ブラックホールの探査の提案と検証 林利憲(東京大学)	11:18	P325a 大気散逸を考慮した M 型星周りのハビタブルゾーンの再評価 山敷庸亮(京都大学)
9月12日(木)午前・E会場		9月12日(木)午後・E会場	
09:30	P314a 深層学習を用いた MOA-II マイクロレンズサーベイ画像におけるリアルタイムイベント検出の高効率化 末松春乃(大阪大学)	13:00	P326a 巨大惑星形成モデルによる系外惑星の質量・軌道半径分布の解釈 田中秀和(東北大学)
09:42	P315a 重力マイクロレンズイベントに対する惑星(2L1S)モデルと公転軌道の効果を含めた連星ソース(1L2S)モデルの検証 宮崎翔太(大阪大学/MOAコラボレーション)	13:12	P327a 中心星近傍での木星型惑星の軌道散乱 長沢真樹子(久留米大学)
09:54	P316a 低質量比の惑星候補イベント OGLE-2018-BLG-1185/MOA-2018-BLG-228の解析 近藤依央菜(大阪大学)	13:24	P328a 中心星近傍スーパーアースの巨大衝突進化における中心星質量の影響 松本侑士(中央研究院天文及天文物理研究所)
10:06	P317a 近赤外重力マイクロレンズ探査計画 PRIME の進展 山脇翼(大阪大学)	13:36	P329a Effects of Planetary migration on the long-term orbital stability of a multi-planetary system: case of HL Tau Wang, Shijie(東京大学)
10:18	P318a 重力マイクロレンズ法を用いた系外惑星からの電波放射の観測 潮平雄太(熊本大学)	13:48	P330b 多様な惑星磁場を作る統一モデル 熱流の中の結合スピン・モデル 中道晶香(京都産業大学)
10:30	P319b 重力マイクロレンズ法による巨大ガス惑星周りの衛星存在確率に対する制限 山川竹玄(名古屋大学)	13:48	P331b 周巨大惑星における Liquid Water Belt 1: シンプルモデル 鴨川弘幸(防衛大学校)
10:30	P320b 太陽系外惑星 HAT-P-54b の近赤外線トランジット観測 伊藤洋一(兵庫県立大学)		P332c 周巨大惑星における Liquid Water Belt 2: 対流の効果 釜谷秀幸(防衛大学校)
10:30	P321b 埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA/MuSaSHI を用いた系外惑星の多波長トランジット測光観測 石岡千寛(埼玉大学)		P333c M 型矮星周りで実現可能な光合成色素の理論的探索 小松勇(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
10:42	P322a 立命館大学天文台による系外惑星 WASP-52b のトランジット観測と解析 森正樹(立命館大学)		
10:54	P323a 地上望遠鏡による TRAPPIST-1g 大気のトランジット分光観測と解析 森万由子(東京大学)		
11:06	P324a 地球型惑星の原始大気構造に対する水蒸気混入の効果の精査と獲得水量予測 木村真博(東京大学)		

Q. 星間現象

9月11日(水) 午前・B会場		12:48	Q14b	低金属環境における超音速星間乱流 中津川大輝(名古屋大学)
11:00	Q01a	銀河系中心部の磁気浮上ループ 1, 2 の 根元における分子雲衝突 榎谷玲依(名古屋大学)		
9月11日(水) 午後・B会場		15:00	Q15a	Chandra 衛星による Tycho's SNR の綺 状非熱的 X 線放射の時間発展観測 松田真宗(京都大学)
11:12	Q02a	銀河系中心部の $l=1.3^\circ$ 分子雲複合体 における分子雲衝突 松永健汰(名古屋大学)		
11:24	Q03a	高速度コンパクト雲 CO-0.26+0.02 の観測 的研究 菅野頌子(慶應義塾大学)		
11:36	Q04a	銀河系中心領域の 2 つの molecular bubble 候補天体における SiO 輝線分布 辻本志保(慶應義塾大学)		
11:48	Q05a	銀河系中心 $l=+0^\circ.85$ に発見された高速 コンパクト雲群の観測的研究 渡邊裕人(慶應義塾大学)		
12:00	Q06a	CO $J=3-2$ データを使用した銀河中心高 速度コンパクト雲の自動同定 宇留野麻香(慶應義塾大学)		
12:12	Q07b	高速度コンパクト雲 CO 0.020.02 の 3mm 帯ラインサーベイ観測(II) 中川原峻介(慶應義塾大学)		
12:12	Q08b	Carina complex の大質量星形成 藤田真司(名古屋大学)		
12:12	Q09b	Convolutional Neural Network を用いた 赤外線リング構造の識別 上田翔汰(大阪府立大学)		
12:24	Q10a	銀河系円盤部における広速度幅分子ガ ス成分の探査 横塚弘樹(慶應義塾大学)		
12:36	Q11a	中間速度 HI 雲 IVC+135+54-45 の重元 素量 早川貴敬(名古屋大学)		
12:48	Q12b	可視光色超過で探る分子雲表面でのダ ストの成長: おうし座分子雲の場合 土橋一仁(東京学芸大学)		
	Q13c	代表的光学システムの透過特性を考慮 した Mie 散乱理論による減光量の計算 直井隆浩(情報通信研究機構)		
		15:12	Q16a	Chandra 衛星による超新星残骸 G344.7-0.1 の観測 福島光太郎(東京理科大学)
		15:24	Q17a	Chandra 衛星を用いた 重力崩壊型超新 星残骸 N132D の膨張構造解析 畠内康輔(東京大学)
		15:36	Q18a	XMM-Newton RGS を用いた超新星残 骸 N132D の高分解能 X 線分光解析 鈴木瞳(首都大学東京)
		15:48	Q19a	超新星残骸 N49 の X 線精密分光スペ クトルにおける共鳴散乱の兆候の発見 天野雄輝(京都大学)
		16:00	Q20a	30 Doradus 複合領域における中性鉄輝 線の調査 信川久実子(奈良女子大学)
		16:12	Q21a	小マゼラン雲の超新星残骸 RX J0046.5-7308 に付随する分子雲の発見 佐野栄俊(名古屋大学)
		16:24	Q22a	超新星残骸候補 G189.6+3.3 の X 線スペ クトル 山内茂雄(奈良女子大学)
		16:36	Q23a	Boomerang パルサー風星雲と超新星残 骸 G106.3+02.7 からの超高エネルギー ガンマ線放射 岡知彦(京都大学)
		16:48	Q24a	超新星残骸 RX J1713.7-3946 北西領域 の hot-spot の解明 日暮凌太(立教大学)

9月12日(木) 午前・B会場		9月12日(木) 午後・B会場	
09:30	Q25a チベット空気シャワー観測装置による100 TeV 領域ガンマ線の観測 大西宗博(東京大学)	13:00	Q35a 宇宙線圧効果入り磁気浮力不安定:ガス垂直構造の発展と非線形時間スケール 横山央明(東京大学)
09:42	Q26a 多重電離効果を用いた FeK α 輝線精密分光観測による宇宙線中の準相対論的重イオンの探索 尾近洸行(京都大学)	13:12	Q36a 乱流による多相星間媒質の構造形態について Goux Pierre(東北大学)
09:54	Q27a NuSTAR 衛星による超新星残骸 W44 の拡散硬 X 線成分の観測 内田裕之(京都大学)	13:24	Q37a NRO銀河面サーベイプロジェクト(FUGIN): 銀河系内域における分子雲同定 3 齋藤弘雄(筑波大学)
10:06	Q28a すざく衛星による W51 領域からの中性鉄輝線の発見(2) 嶋口愛加(奈良女子大学)	13:36	Q38a FUGINデータを用いた天の川銀河のガス密度頻度分布1:分解能の効果 半田利弘(鹿児島大学)
10:18	Q29a 2次元極座標分割による SNR G1.9+0.3 の膨張速度の精密測定 伊藤颯一郎(早稲田大学)	13:48	Q39a NH ₃ 輝線を用いた大質量星形成領域W33のマッピングサーベイ 村瀬建(鹿児島大学)
10:30	Q30a 過電離プラズマの形成における周辺環境の影響 桂川美穂(東京大学)	14:00	Q40a 野辺山45m電波望遠鏡を用いた星形成領域CMa OB1のNH ₃ 輝線観測 平田優志(鹿児島大学)
10:42	Q31a 超高温プラズマと低温ガスの相互作用の運動論的解析 西田直樹(名古屋大学)	14:12	Q41a 銀河系 Local Spur における分子ガスの密度進化 西村淳(大阪府立大学)
10:54	Q32a 超新星爆発による過電離プラズマ形成の理論的研究 中西佑太(名古屋大学)	14:24	Q42a 分子雲衝突をトリガーとする電離水素領域W28Aの大質量星形成シナリオ 林克洋(名古屋大学)
11:06	Q33a ファラデートモグラフィを用いた超新星残骸の磁場研究 出口真輔(Radboud University Nijmegen)	14:36	Q43a 大マゼラン雲のスーパーバブル30 Doradus C における大質量星形成 山根悠望子(名古屋大学)
11:18	Q34a 天の川銀河中心部における磁場と熱進化を考慮した星間雲の動力学 柿内健佑(名古屋大学)	14:48	Q44a Further testing of amorphous dust model toward high precision foreground removal from CMB data 梨本真志(東北大学)

R. 銀河

9月13日(金) 午前・B会場		9月13日(金) 午前・F会場	
09:30	Q45a 遠方分子吸収線系B0218+357に対するALMAを用いた水素化リチウム観測 吉村勇紀(東京大学)	09:30	R01a 渦巻銀河のスピンパリティ-I: 全ての渦巻きは Trailing 家正則(国立天文台)
09:42	Q46a M51の渦状腕領域における70 GHz帯高感度観測 渡邊祥正(日本大学)	09:42	R02a 渦巻銀河のスピンパリティ-II: ディープラーニングとすばる望遠鏡のビックデータをを用いた銀河の形態分類 但木謙一(国立天文台)
09:54	Q47a Spitzer/IRSによるM17SW領域における星間氷のマッピング観測 山岸光義(宇宙航空研究開発機構)	09:54	R03a 銀河系渦状腕および Galactic Warp の動力学構造 坂井伸行(Korea Astronomy and Space Science Institute)
10:06	Q48a CH ₃ NH ₂ の生成経路 鈴木大輝(アストロバイオロジーセンター)	10:06	R04a 棒渦巻銀河における分子雲の物理状態 堀江秀(北海道大学)
10:18	Q49a 銀河中心Sagittarius B2(N)のエンベロープにおける有機分子CH ₃ CNの検出 荒木光典(東京理科大学)	10:18	R05a 強い棒渦巻銀河 NGC1300 における星形成の抑制 2 前田郁弥(京都大学)
	Q50c 生体関連分子のabioticな生成過程の理論的解明 小松勇(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)	10:30	R06a NRO レガシープロジェクト COMING (26): CO(<i>J</i> =2-1)/CO(<i>J</i> =1-0) 輝線強度比と銀河の星形成活動 矢島義之(北海道大学)
	Q51c 急冷窒素含有炭素質物質の赤外分光特性 遠藤いずみ(東京大学)	10:42	R07a A Method for Reconstruction of Masked Pixels: Application in CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING) Suchetha Cooray (Nagoya University)
		10:54	R08a 高密度分子ガス観測から考察する銀河円盤内の分子ガスと星形成活動 柴田修吾(北海道大学)
		11:06	R09b NRO レガシープロジェクト COMING(27): 銀河環境間の分子ガス、星質量中心集中度の比較 金子紘之(国立天文台)
		11:06	R10b Spatially-resolved CO(2-1)/CO(1-0) Ratio in NGC 1365 Fumi Egusa (The University of Tokyo)
		11:06	R11b ALMA 望遠鏡による NGC1808 中心の星形成領域の多輝線観測 入倉柚貴(関西学院大学)

11:18	R12b	ALMA 観測による NGC 253 円盤領域の分子ガス速度構造の調査 小西諒太郎 (大阪府立大学)	14:42	R23a	MUSE/ALMA/HST を用いた早期型銀河 NGC1380 のダークマター分布の測定 津久井崇史 (総合研究大学院大学)
11:18	R13b	ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (1): 観測の概要 近藤滉 (大阪府立大学)	14:54	R24a	矮小不規則銀河 NGC 6822 の外縁部に分布する淡い水素輝線放射領域の発見 小宮山裕 (国立天文台)
11:18	R14b	統計平衡計算による近傍銀河 NGC 3627 における分子雲の物理状態の推定 柴田和樹 (筑波大学)	15:06	R25a	Finding New Strong Gravitational Lens Systems from HSC Survey Anton Timur Jaelani (Kindai University)
	R15c	近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質 III: H ₂ ガスの寄与 隈井泰樹 (熊本学園大学)			
	R16c	非等方的速度分布の初期条件の下での球状星団の力学的進化 高橋広治 (埼玉工業大学)			
9 月 13 日 (金) 午後・F 会場					
13:30	R17a	ALMA による NGC 1068 の高分解能イメージング・ラインサーベイ観測 中島 拓 (名古屋大学)			
13:42	R18a	衝撃波トレーサー分子の高空間分解能観測で探る活動銀河核の特異な HCN/HCO ⁺ 輝線強度比の起源 谷口暁星 (名古屋大学)			
13:54	R19a	電波偏波観測データによる近傍渦巻銀河の大局的磁場構造 I: 磁場ベクトルマップの作成法 中西裕之 (鹿児島大学)			
14:06	R20a	電波偏波観測データによる近傍渦巻銀河の大局的磁場構造 II: NGC6946 の大局的磁場構造について 藏原昂平 (鹿児島大学)			
14:18	R21a	銀河系面内のセファイドを利用した磁場構造解析 II 善光哲哉 (京都大学)			
14:30	R22a	衝突銀河 NG 3256 における隠された星形成活動 (MUSE/VLT and ALMA 観測) 道山知成 (国立天文台)			

S. 活動銀河核

9月11日(水) 午前・C会場		15:12	S12a	多波長 VLBI 観測によるクエーサー 3C 273 のジェット収束領域の特定 II 沖野大貴(東京大学)	
11:00	S01a	EHT による M87* の観測成果 I: Overview 本間希樹(国立天文台)	15:24	S13a	ブラックホール磁気圏での遷磁気音速 ジェット加速 高橋真聡(愛知教育大学)
11:12	S02a	EHT による M87* の観測成果 II: データ 処理および較正過程 小山翔子(台湾中央研究院)	15:36	S14a	磁場反転ジェットの伝搬ダイナミクス 松本仁(福岡大学)
11:24	S03a	EHT による M87* の観測成果 III: 画像 化手法および M87* のファーストイメージ 秋山和徳(アメリカ国立電波天文台)	15:48	S15a	確率過程モデルを用いたジェット天体の 多波長光度曲線解析 大間々知輝(広島大学)
11:36	S04a	EHT による M87* の観測成果 IV: 画像 化方法の評価とリング構造の抽出 田崎文得(国立天文台)	16:00	S16a	ガンマ線を発する電波銀河の X 線統計解析 眞武寛人(広島大学)
11:48	S05a	EHT による M87* の観測成果 V: 非対 称リング放射構造の理論解釈 當真賢二(東北大学)	16:12	S17a	Chandra 衛星による活動銀河 NGC 1068 中心核近傍の X 線空間分解観測(2) 中田諒(大阪大学)
12:00	S06a	EHT による M87* の観測成果 VI: ブラッ クホールパラメータの推定 笹田真人(広島大学)	16:24	S18a	Rotating Ionized Gas Ring around the Galactic Center IRS13E3 Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)
12:12	S07a	フレア状態の M87 における三日月状シャ ドウ: 2020 年代の EHT に向けた新しい ブラックホール・スピン測定法 川島朋尚(国立天文台)	16:36	S19b	VERA(GENJI)/KaVA/VLBA で探る 3C 84 ジェットの電波構造および超光速運動 平野あゆみ(山口大学)
12:24	S08a	EHT による Sgr A* への落下ガス雲の直接 撮像を用いたブラックホールスピン測定 森山小太郎(マサチューセッツ工科大学)	16:36	S20b	銀河中心核トラスにおける放射圧を考 慮した磁気流体数値実験 工藤祐己(鹿児島大学)
12:36	S09a	M87-EHT-2017 キャンペーンに同期した 東アジア VLBI ネットワーク観測で迫る、 ブラックホール-ジェットコネクション 秦和弘(国立天文台)	16:36	S21b	広帯域 X 線スペクトルで探るセイファ ート 1 型銀河のトラス特性 小川翔司(京都大学)
12:48	S10a	日韓合同 VLBI 観測網で探る M87 ジェッ ト速度場のプロファイル計測 紀基樹(工学院大学/国立天文台)	16:48	S22b	マルコフ連鎖モンテカルロ法によるブレ ザー Mrk 421 の SED モデルパラメータ推定 植村誠(広島大学)
9月11日(水) 午後・C会場			S23c	MCMC 法を用いたアウトフロー吸収線の model-fit 方法の提案 石田大(信州大学)	
15:00	S11a	M87 ジェット地平面領域の構造解明輻 射輸送計算による EHT 偏波イメージの 理論予測 恒任優(京都大学)	S24c	BAL 視線上に位置する intrinsic NAL absorber の光源距離の概算 伊東大輔(信州大学)	
			S25c	IceCube-170922A 発生後の TXS 0506+056 におけるパーセクスケールジェットの構造 変化 新沼浩太郎(山口大学)	

T. 銀河団

9月12日(木) 午前・C会場		9月11日(水) 午前・E会場			
09:30	S26a	MAXIとWISEで実現する2型活動銀河核 NGC 2110 のダスト反響マッピング 野田博文(大阪大学)	11:00	T01a	銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価II 杉山剣人(東京理科大学)
09:42	S27a	Discovery of Dying Active Galactic Nucleus in Arp 187: Experience of Drastic Luminosity Decline within 10^4 yr Kohei Ichikawa (Tohoku University)	11:12	T02a	銀河団外縁部に存在するガス塊の探査 上田将暉(東京理科大学)
09:54	S28a	Changing-look AGN Mrk 590 の紫外可視光度の急減光に伴うダストオーラス内縁付近でのダスト粒子生成 小久保充(東北大学)	11:24	T03a	X線天文衛星 XMM-Newton を用いた初期衝突銀河団 CIZA1359 の構造解析 山口友洋(名古屋大学)
10:06	S29a	Changing Look AGN 降着流の3次元輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一(千葉大学)	11:36	T04a	機械学習を用いた電波の音響ショックの探索 パール・シュテファン(兵庫県立大学)
10:18	S30a	広吸収線の短時間変動を示すクエーサーの光度-等価幅変動の関係 堀内貴史(国立天文台)	11:48	T05a	弱重力レンズ効果による Shapley Supercluster 領域の質量分布測定 樋口祐一(国立天文台/近畿大学)
10:30	S31a	BALクエーサーSDSS J004659.89+180739.6 に見られる高速アウトフローの場所について 青木賢太郎(国立天文台)	12:00	T06a	HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団のX線フォローアップ計画(5) 吉田篤史(名古屋大学)
10:42	S32a	ALMAによるNGC1275の分子ガス核周円盤と高速アウトフローの発見 永井洋(国立天文台)	12:12	T07a	New constraints on the mass bias of galaxy clusters from the power spectra of the thermal Sunyaev-Zeldovich effect and cosmic shear 真喜屋龍(東京大学)
10:54	S33a	超臨界降着活動銀河核をもつ近傍銀河 NGC 5728 における空間分解された分子ガスアウトフローの検出 山下祐依(東京大学)	12:24	T08a	原始銀河団中ガスのメタル進化 福島啓太(大阪大学)
11:06	S34a	ALMA Resolves Jet-driven Molecular Outflows in the Lensed QSO MGJ 0414+0534 井上開輝(近畿大学)	12:36	T09a	N体シミュレーションを用いた銀河団ダークハローの質量集積の精密測定 白崎正人(国立天文台)
11:18	S35a	超高光度赤外線銀河 IRAS 17208-0014 の「あかり」・ALMA観測の比較 馬場俊介(国立天文台)	12:48	T10b	Galaxy Clusters in the AKARI North Ecliptic Pole Field Ting-Chi Huang (SOKENDAI/JAXA)

U. 宇宙論

9月13日(金) 午前・G会場					
09:30	U01a	ビッグバンの以前、電磁気達が集まった状態のエネルギーと質量と大きさと体積と比重、及び、ビッグバン後、電子のラブと陽子のラブのエネルギーと質量と大きさと体積と比重の変化 小堀しづ			U13c 原初磁場と有質量ニュートリノの弱重力レンズ効果に対する影響の考察 山崎大(茨城大学/国立天文台)
					U14c ブラックホールとビッグバン 小堀しづ
9月13日(金) 午後・G会場					
09:42	U02a	原始ブラックホールにより生じる Kinetic Sunyaev-Zel'dovich 効果の非等方性 阿部克哉(名古屋大学)	13:30	U15a	宇宙大規模構造整合性関係式と多点相関関数におけるバリオン音響振動の兆候 西道啓博(京都大学)
09:54	U03a	CMB 偏光観測実験 POLARBEAR の重力レンズ及び原始重力波探査サーベイの最新結果 茅根裕司(カリフォルニア大学)	13:42	U16a	Intrinsic alignments of halo orientations with velocity field and the baryon acoustic oscillation features Teppei Okumura (ASIAA)
10:06	U04a	CMB 弱重力レンズ効果と21cm線相互相関の検出可能性と宇宙論パラメータの制限 田中章一郎(熊本大学)	13:54	U17a	N体シミュレーションを用いた大規模構造とハロー形状の相関測定 栗田智貴(Kavli IPMU)
10:18	U05a	原始磁場と暗黒時代における kSZ 効果 箕田鉄兵(名古屋大学)	14:06	U18a	粒子軌道に基づくダークマターハロー動径位相構造の解析 杉浦宏夢(京都大学)
10:30	U06a	KS テストを用いたダークマターの密度ゆらぎの再構築 吉田貴一(名古屋大学)	14:18	U19a	HSC サーベイ初年度データの宇宙シニア二点相関関数測定と宇宙論パラメータの制限 浜名崇(国立天文台)
10:42	U07a	A fitting formula of non-linear matter bispectrum 高橋龍一(弘前大学)	14:30	U20a	広天域銀河サーベイデータの宇宙論解析における摂動論的手法の有効性の検証 杉山素直(Kavli IPMU)
10:54	U08a	銀河の赤方偏移空間パワースペクトルの宇宙論的情報 小林洋祐(Kavli IPMU)	14:42	U21a	HSC データを用いたフィラメント構造の弱重力レンズ効果測定 近藤寛人(名古屋大学)
11:06	U09a	Super-sample tidal mode on the celestial sphere 秋津一之(Kavli IPMU)	14:54	U22a	H0LiCOW: An independent constraint on H_0 from time-delay lenses Kenneth Wong (Kavli IPMU)
11:18	U10a	観測的相対論効果によって生じる大規模構造の双極子的非等方性の準線形理論モデル 嵯峨承平(京都大学)	15:06	U23a	Luminosity-Duration Relation of Fast Radio Bursts: a new tool for precision cosmology 橋本哲也(国立清華大学)
11:30	U11b	MOA-II 望遠鏡を用いた低質量原始ブラックホールの探査 藤井大翔(名古屋大学)	15:18	U24a	重力波の余剰な偏波の観測的検証に向けて 浅田秀樹(弘前大学)
11:30	U12b	ブラックホール 小堀しづ			

V1. 観測機器 (電波)

9月12日(木) 午後・C会場		14:24	V115b へら絞り法を用いた口径 2m サブミリ波アンテナ面測定 三好真(国立天文台)
13:00	V101a 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 210-375 GHz 帯 同時観測用導波管フィルタの開発 増井翔(大阪府立大学)	14:24	V116b NANTEN2 マルチビーム受信機の開発 および搭載試験の進捗報告 木村公洋(名古屋大学)
13:12	V102b 1.85 m 望遠鏡 210-370 GHz 帯 広帯域光学系の開発進捗 -ビーム伝送系及び コルゲートホーン的设计- 山崎康正(大阪府立大学)	14:24	V117b NASCO 受信機光学系のビーム性能評価 阪本茉莉子(名古屋大学)
13:12	V103b 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 広帯域観測へ 向けた局部発振器系の検討 横山航希(大阪府立大学)		V118c Study of surface alignment for Tsukuba Antarctic 10-m radio telescope by near field phase retrieval holography Bin ZHOU (University of Tsukuba)
13:12	V104b 1.85m 電波望遠鏡 / 受信機制御のため のシステム開発 近藤滉(大阪府立大学)	9月13日(金) 午前・C会場	
13:24	V105a SKA プロジェクトに向けた科学検討 2 赤堀卓也(国立天文台)	09:30	V119a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2019 Alvaro Gonzalez (NAOJ)
13:36	V106a 広帯域フィードの開発 (XVI) 氏原秀樹(情報通信研究機構)	09:42	V120a IF 4-20 GHz を有する RF 275-500 GHz サイドバンド分離型 SIS ミキサの評価 小嶋崇文(国立天文台)
13:48	V107a 那須電波干渉計が捉えた Cyg X-3 で最 近起きた巨大フレア 大師堂経明((一社)電波天文学研究会)	09:54	V121a フリースペース法を用いた誘電率測定 系の構築とその光学系の評価 坂井了(国立天文台)
14:00	V108a 成層圏気球 VLBI 観測の実現に向けた 地上実験 下向怜歩(東京大学 / 宇宙航空研究開 発機構)	10:06	V122a サブミリ波帯反射防止構造の作製と評価 江崎翔平(国立天文台)
14:12	V109b SPART 10-m 電波望遠鏡を用いた 230 GHz 国際ミリ波 VLBI 観測 青木貴弘(山口大学)	10:18	V123a 次世代 FITS ビューワ Vissage の開発 : 偏波表示機能 2 川崎涉(国立天文台)
14:12	V110b 水沢 10m 電波望遠鏡用の L 帯受信シ ステムの開発 亀谷收(国立天文台)	10:30	V124b Flow-down from the Top-Level Requirements to System Requirements for the ALMA Development 永井洋(国立天文台)
	V111c 大学 VLBI 連携の国立天文台 A プロジェ クト化 藤沢健太(山口大学)	10:30	V125b ASTE の運用 (3) 阪本成一(国立天文台)
	V112c VERA-upgrade for EAVN 計画の進捗 IV 小山友明(国立天文台)	10:30	V126b 多色連続波カメラ用 FPC 広帯域バンド パスフィルターの多段パターン最適化 宇野慎介(東京大学)
14:12	V113b 高萩/日立32m電波望遠鏡の整備状況 (19) 米倉覚則(茨城大学)		V127c SIS ミキサのデバイス製造プロセス標 準化への取り組み 宮地晃平(国立天文台)
	V114c 拡張相互相関分光法による 6.7GHz メタ ノールレーザー解析 岳藤一宏(情報通信研究機構)		

	V128c ミリ波受信機の高感度化に向けた局部発振信号の雑音特性改善の研究 入山奨基(名古屋大学)	9月13日(金) 午後・C会場
	V129c ミリ波分光観測装置における多分子輝線同時観測 IF 系の開発 小瀬垣貴彦(名古屋大学)	13:30 V136a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション定義フェーズ III 関本裕太郎(宇宙航空研究開発機構)
10:42	V130a Development of DESHIMA 2.0: Upgrade design overview Yoichi Tamura (Nagoya University)	13:42 V137a LiteBIRD 低温ミッション部スケールモデルを用いた熱モデル検証 長谷部孝(宇宙航空研究開発機構)
	V131c 位置 - 速度図描画用ソフトウェア PVmap の開発 川崎優太(東京学芸大学)	13:54 V138a スケールモデルを用いた LiteBIRD 低周波望遠鏡の偏光特性評価 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
10:54	V132a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子電波カメラの開発: 柱状晶 Si レンズおよび真空窓の反射防止対策 新田冬夢(筑波大学)	14:06 V139a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XIII 永田竜(高エネルギー加速器研究機構)
11:06	V133a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子電波カメラの開発: 焦点面 MKID アレイの Al-NbTiN ハイブリッド化 永井誠(国立天文台)	14:18 V140a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 - 観測開始に向けた観測サイトでの準備状況 長谷川雅也(高エネルギー加速器研究機構)
11:18	V134a 電波点回折干渉計 (IV) 奥村大志(筑波大学)	14:30 V141a POLARBEAR-2A 較正光源の現地への設置と運用 金子大輔(Kavli IPMU)
11:30	V135b LiteBIRD 搭載光学系の開発検 3 鹿島伸悟(国立天文台)	14:42 V142a Simons Array 実験のための赤外線カメラによる雲モニターの開発 高倉理(Kavli IPMU)
		14:54 V143a CMB 観測実験 GroundBIRD における最終試験ならびに観測サイト整備状況 長崎岳人(理化学研究所)
		15:06 V144a CMB 望遠鏡群実験 Simons Observatory の研究計画と Optics Tube の開発状況 松田フレドリック(Kavli IPMU)

V2. 観測機器(光赤外線・その他)

9月11日(水) 午前・H会場		12:36	V213a 超精密切削加工による SWIMS-IFU スリットミラーアレイ本加工 榎引洸佑(東京大学)
11:00	V201a せいめい望遠鏡 I : 観測開始 長田哲也(京都大学)	12:48	V214a 木曾超広視野高速CMOSカメラTomo-e Gozen 酒向重行(東京大学)
11:12	V202a せいめい望遠鏡 II 分割主鏡の制御と光学調整 木野勝(京都大学)	9月11日(水) 午後・H会場	
11:24	V203a せいめい望遠鏡 III : 機械計測で製作したせいめい望遠鏡の副鏡と第三鏡の光学性能 栗田光樹夫(京都大学)	15:00	V215a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における迷光雑音の対策 阿久津智忠(国立天文台)
11:36	V204a せいめい望遠鏡搭載にむけた太陽系外惑星撮像装置の開発 山本広大(京都大学)	15:12	V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における防振装置のための制御系の開発 II 藤井善範(東京大学)
11:48	V205b せいめい望遠鏡搭載に向けたコロナグラフ SPLINE の開発状況 村上尚史(北海道大学)	15:24	V217a スペース重力波望遠鏡 LISA に向けた機器開発 和泉究(宇宙航空研究開発機構)
	V206c せいめい望遠鏡にむけた極限補償光学の開発 : 制御アルゴリズム開発のためのシミュレータ 藤田勝(大阪電気通信大学)	15:36	V218a TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 III 大屋真(国立天文台)
	V207c せいめい望遠鏡にむけた極限補償光学装置の開発 : FPGA による制御装置の実現 入部正継(大阪電気通信大学)		V219c 炭素繊維複合材を用いた軽量鏡基板の開発 樽田順(京都産業大学)
11:48	V208b 京都大学飛騨天文台 60cm 反射望遠鏡観測に向けた整備状況 木村剛一(京都大学)	15:48	V220a ULTIMATE-START: すばる望遠鏡レーザートモグラフィ補償光学の開発(IV) 寺尾航暉(東北大学)
11:48	V209b 太陽粒状斑を用いた AO/GLAO の実験 三浦則明(北見工業大学)	16:00	V221b シャックハルトマン型波面センサー用マイクロレンズアレイの集光効率測定 寺尾航暉(東北大学)
12:00	V210a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画の進捗状況 吉井讓(東京大学)	16:00	V222b ULTIMATE-START: 数値シミュレーションを用いたレーザートモグラフィ補償光学の性能評価 大野良人(国立天文台)
12:12	V211a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS : すばる望遠鏡での試験観測報告 小西真広(東京大学)	16:00	V223b 補償光学系を用いた大気ゆらぎの高さ分布推定法の開発 大金原(東北大学)
12:24	V212a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU : すばる望遠鏡における第二回試験観測 上塚貴史(東京大学)	16:12	V224a すばる望遠鏡用極限補償光学装置「SCExAO」による近赤外線偏光観測 工藤智幸(国立天文台)

16:24	V225a 8分割位相マスクコロナグラフのための ダークホール制御技術の開発 一円光(北海道大学)	10:42	V237b 光子計数法による可視光観測システム の開発 中森健之(山形大学)
16:36	V226a 広帯域コロナグラフ観測を目指した多 層8分割位相マスクの開発 土生圭一郎(北海道大学)	10:54	V238a 複数輝線が混入する狭帯域撮像画像 に適用する、二次計画法(Quadratic Programming)を用いた各輝線成分抽 出方法の開発 三戸洋之(東京大学)
16:48	V227b 8分割位相マスクとバイナリ瞳を併用し たコロナグラフ:すばる用詳細設計 西川淳(国立天文台/総合研究大学院 大学/Astrobiology Center)	V239c 西はりま VTOS によるスペックルデー タを用いた連星の測定と評価(2) 桑村進(北見工業大学)	
16:48	V228b IRSF 望遠鏡に搭載する近赤外線分光器 の開発 國生拓摩(名古屋大学)	V240c 最尤推定法による EMCCD スペックル データからの物体像再生 桑村進(北見工業大学)	
9月12日(木)午前・H会場			
09:30	V229a HSC-SSP のデータ解析進捗報告:第 2回世界公開(PDR2)と次期共同研究 者向けリリース(S19A)に向けた準備 瀧田怜(NAOJ)	V241c 連星スペックル像画素値の相対度数分 布からの等級差推定 桑村進(北見工業大学)	
09:42	V230a SuMIRe-PFS[13]:プロジェクト概要と装 置開発進捗状況まとめ 2019 年秋季 田村直之(Kavli IPMU)	11:06	V242a 国際大気球太陽観測ミッション 「SUNRISE-3」/近赤外線偏光分光観 測装置(SCIP)搭載のスキャンミラー機 構の開発 大場崇義(宇宙航空研究開発機構)
09:54	V231a SuMIRe-PFS[14]:装置性能評価の現状 矢部清人(Kavli IPMU)	11:18	V243a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2:プロジェクト進捗状況 松浦周二(関西学院大学)
10:06	V232a Subaru Prime Focus Spectrograph に おける二次元パイプライン開発の現状 (SuMIRe-PFS[15]) 仲村佳悟(Kavli IPMU)		
10:18	V233a SuMIRe-PFS[16] HSC+PFS サイエンス データベース ver.2 の開発 2 山田善彦(国立天文台)		
10:30	V234a SuMIRe-PFS[17]:PFS の科学運用の 検討の進捗状況報告 小野寺仁人(国立天文台)		
10:42	V235b SuMIRe-PFS[18]:PFS 分光器モジュ ール用クリーンルーム制御システム 吉田裕茂(国立天文台)		
10:42	V236b HSC 巨大天体カタログの高速検索に向 けた次世代データベースの開発 古澤久徳(国立天文台)		

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

9月12日(木) 午後・H会場	9月11日(水) 午前・G会場
13:00 V244a 小型 JASMINE 計画の全般的状況 郷田直輝(国立天文台)	11:00 V301a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(16) 窪秀利(京都大学)
13:12 V245b 小型 JASMINE における高精度星像位 置決定の実証実験 矢野太平(国立天文台)	11:12 V302a CTA 大口径望遠鏡初号機のカメラの較 正と試験観測 齋藤隆之(東京大学)
13:12 V246b 小型 JASMINE 迷光防止フードのトレー ドオフ検討 鹿島伸悟(国立天文台)	11:24 V303a SMILE-2+:MeV ガンマ線気球観測にお ける高エネルギー事象の解析 中村優太(京都大学)
13:12 V247b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 IV 上田暁俊(国立天文台)	11:36 V304a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極 限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 米徳大輔(金沢大学)
13:24 V248a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発 山田良透(京都大学)	11:48 V305a HiZ-GUNDAM 搭載 CMOS イメージセン サーの放射線耐性評価 荻野直樹(金沢大学)
13:36 V249a SPICA (次世代赤外線天文衛星): 日欧 共同推進による Phase A 検討の現状 金田英宏(名古屋大学)	12:00 V306a 重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT ³ フライトモデル製作状況(4) 澤野達哉(金沢大学)
13:48 V250a SPICA 冷却系の構成配置検討 中川貴雄(宇宙航空研究開発機構)	12:12 V307a Kanazawa-SAT ³ 搭載広視野 X 線撮像 検出器フライトモデルの性能評価 宮尾耕河(金沢大学)
14:00 V251a SPICA 搭載ジュール・トムソン冷凍機用 「直線型熱交換器」の性能評価 福岡遥佳(東京大学)	12:24 V308a Kanazawa-SAT ³ 搭載ガンマ線検出器プ ロトフライトモデルの開発 渡辺彰汰(金沢大学)
14:12 V252a SPICA 搭載焦点面観測装置の検討の現状 松原英雄(宇宙航空研究開発機構)	12:36 V309a GRB 位置決定超小型衛星 CAMELOT を 見据えた光検出素子 MPPC の基礎特性 評価 廣瀬憲吾(広島大学)
14:24 V253a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の Phase A 活動の進捗 磯部直樹(宇宙航空研究開発機構)	12:48 V310a GRB 位置決定超小型衛星 CAMELOT を 見据えた光検出素子 MPPC の陽子線耐 性の性能評価 平出尚義(広島大学)
14:36 V254a SPICA/SMI 搭載用 1K × 1K Si:Sb BIB 赤外線検出器の開発 和田武彦(宇宙航空研究開発機構)	V311c 全天 MeV ガンマ観測衛星計画 AMEGO の現状と日本の関わり 深沢泰司(広島大学)
14:48 V255a Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope (OST) 左近樹(東京大学)	
V256c Solar-C/EUVST(高感度 EUV-UV 分光 望遠鏡衛星)望遠鏡構造設計進捗 末松芳法(国立天文台)	

9月11日(水) 午後・G会場		9月12日(木) 午前・G会場	
15:00	V312a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画FORCEの現状(9) 鶴剛(京都大学)	09:30	V321a ダークバリオン探査ミッション Super DIOSの開発へ向けた検討 IV 佐藤浩介(埼玉大学)
15:12	V313a 小型衛星計画 FORCE 用の X 線反射鏡開発の現状(2) 井出峻太郎(大阪大学)	09:42	V322a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の開発 竹原佑亮(名古屋大学)
15:24	V314a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 38: X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能評価 児玉涼太(京都大学)	09:54	V323a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 江副祐一郎(首都大学東京)
15:36	V315a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 39: 新規構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器の放射線耐性の評価 林田光揮(東京理科大学)	10:06	V324a MEMS 技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡の ALD による Pt 膜付加工 伊師大貴(首都大学東京)
15:48	V316a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 40: イベント駆動読み出しにおけるヒットパターン処理回路の評価 日田貴熙(宮崎大学)	10:18	V325a 超薄膜グラフェンを用いた飛翔体搭載用軟 X 線光学素子の開発 中山恵理子(名古屋大学)
16:00	V317a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 小高裕和(東京大学)	10:30	V326a 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)への X 線反射面形成法の開発 III 大上千智(愛媛大学)
16:12	V318a シンクロトン放射光を用いた高エネルギー X 線偏光計の性能評価 大久保美穂(東京理科大学/理化学研究所)	10:42	V327a CubeSAT 搭載を目指した Kirkpatrick-Baez 型 X 線ミラー光学系の開発 前田良知(宇宙航空研究開発機構)
16:24	V319a 硬 X 線偏光観測実験 X(L)-Calibur 気球の 2018 年の観測結果と 2021 年フライトへ向けた準備状況 高橋弘充(広島大学)	10:54	V328a 補償光学を利用した直入射 EUV 望遠鏡によるサブ秒角撮像 北本俊二(立教大学)
16:36	V320a 太陽 X 線撮像分光観測ロケット実験 FOXSI (1) 一遮光フィルター開発と FOXSI-3 の観測初期解析結果一 清水貞行(名古屋大学)	11:06	V329b 多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発 - 10m 構成の実験と二次元撮像 - 林田清(大阪大学)
		11:06	V330b 全天 X 線モニタ用光学系の開発 杉田聡司(青山学院大学)
		11:06	V331b X 線天文衛星 Athena 搭載用 SPO 反射鏡の光学定数測定 粟木久光(愛媛大学)
		11:18	V332b 銀河面からの軟 X 線背景放射 (6) 三石郁之(名古屋大学)

9月12日(木) 午後・G会場			
13:00	V333a X線偏光観測衛星IXPEへの参加現状(4) 玉川徹(理化学研究所)	14:36	V344b X線分光撮像衛星(XRISM)搭載 Xtend 用試作 miniCCD の評価(2) 岡崎貴樹(大阪大学)
13:12	V334a X線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X線望遠 鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発(5) 三石郁之(名古屋大学)	14:36	V345b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X線 撮像装置 Xtend の X線シールド 永友健太郎(宮崎大学)
13:24	V335a シミュレーションを用いた IXPE 衛星による X線偏光解析手法の研究 山本龍哉(広島大学)	14:48	V346a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器にむけたパイルアップシミュレー ターの構築 丹波翼(東京大学)
13:36	V336a 機械学習を用いた飛跡画像処理による 光電子追跡型X線偏光計の感度向上お よび IXPE 衛星データへの応用 北口貴雄(理化学研究所)		
13:48	V337a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 IV 石崎欣尚(首都大学東京)		
14:00	V338a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望 遠鏡(XMA)開発の現状(2) 林多佳由(NASA's GSFC/UMBC)		
14:12	V339a X線分光撮像衛星(XRISM)搭載軟 X線 撮像装置の開発の現状(2) 村上弘志(東北学院大学)		
14:24	V340b XRISM 衛星搭載 Xtend 用フライト CCD 素子スクリーニングシステム 野田博文(大阪大学)		
14:24	V341b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮 像装置 Xtend のフライト用X線 CCD 素 子の性能評価(1): 電荷転送効率評価 佐藤仁(宮崎大学)		
14:24	V342b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮 像装置 Xtend のフライト用X線 CCD 素 子の性能評価(2): 軟X線応答評価 高木駿亨(宮崎大学)		
14:36	V343b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X線 撮像装置 Xtend のフライト用 X線 CCD 素子の性能評価: Grade 間における波 高値の違いの評価 齋藤真梨子(奈良女子大学)		

W. コンパクト天体

9月11日(水) 午前・I会場					
11:00	W01a	MAXIによる軟X線新星 MAXI J0126-745 の発見と10年間に発見されたブラックホール天体 根來均(日本大学)			W13c X線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した2次元数値実験 IV 中村賢仁(九州産業大学)
			9月11日(水) 午後・I会場		
11:12	W02a	ブラックホール候補天体 V4641 Sgr のX線モニタ観測 山岡和貴(名古屋大学)	15:00	W14a	球対称降着流における輻射性衝撃波の構造 福江純(大阪教育大学)
11:24	W03a	ブラックホール連星 GRS 1915+105 の24年間のX線変動の解析 白石一輝(東京工業大学)	15:12	W15a	輻射圧で駆動される降着円盤風と特異点の性質 遠峰勇佑(大阪教育大学)
11:36	W04a	光赤外線大学間連携によるマイクロウェーサー GRS1915+105 の近赤外線観測 村田勝寛(東京工業大学)	15:24	W16a	Influence of the magnetic field for radiative shocks 大海ほのか(大阪教育大学)
11:48	W05a	BH X線連星 MAXI J1820+070 の2019年の再増光時における多波長観測 安達稜(東京工業大学)	15:36	W17a	降着円盤における重力波 II 北野萌音(大阪教育大学)
12:00	W06a	Gaiaによる恒星質量ブラックホールの観測可能性 鹿内みのり(東京大学)	15:48	W18a	CANS+によるMRI乱流生成の高空間分解能MHD数値実験 町田真美(九州大学)
12:12	W07a	メーター波電波パルス観測による我が銀河中心巨大ブラックホール・バイナリーの検証 大家寛(東北大学)	16:00	W19a	ジャイロ運動論的乱流散逸によるイオン・電子加熱比 川面洋平(東北大学)
12:24	W08b	X線新星 MAXI J1631-479 の発見とMAXI/GSCのデータを用いたエネルギースペクトル解析 小林浩平(日本大学)	16:12	W20a	超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション 朝比奈雄太(筑波大学)
12:24	W09b	MAXI/GSCのデータを用いたブラックホールX線新星 MAXI J1727-203 のスペクトル解析 青木真凜(日本大学)	16:24	W21a	多重コンプトン散乱込みの一般相対論的6次元輻射輸送計算コードの開発 小川拓未(東北大学)
12:24	W10b	X線新星 MAXI J1348-630 のX線モニタ観測結果 大枝幹(東京工業大学)	16:36	W22b	超臨界降着流におけるアウトフローのフラクタル次元解析 古野雅之(京都大学)
12:36	W11b	ブラックホール連星 LMC X-3 の降着円盤放射の研究 2 岩尾祐希(広島大学)	16:36	W23b	ULX Pulsar の超臨界降着柱モデル; Pulsed Fraction と磁軸、見込み角の関係 井上壮大(筑波大学)
12:36	W12b	銀河中心方向のコンパクト電波源の探査 助廣沙知(山口大学)	16:36	W24b	ブラックホール・スピンの超臨界降着流の輻射スペクトルに与える影響 川島朋尚(国立天文台)

	W25c 降着円盤からのフィードバックが超臨界降着条件に与える影響 竹尾英俊(京都大学)	11:18	W37b 大質量 X 線連星: IGR J00370+6122 の主星である中性子星のスピン周期変動 内田和海(広島大学)
	W26c MAXI, Swift, RXTE による Be/X-ray Binary の X 線アウトバーストの観測 中島基樹(日本大学)	11:18	W38b 超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による Crab パルサーの Giant Radio Pulse 時の光度変動の探査 一木真(東京大学)
9月12日(木) 午前・I会場			W39c クォーク物質のカラー超伝導状態と中性子星の冷却 野田常雄(久留米工業大学)
09:30	W27a 全天 X 線監視装置 MAXI を用いた CircinusX-1 増光現象の統一的理解 富永愛侑(宇宙航空研究開発機構)		W40c The largest glitch in the Crab pulsar in 2017 November 久野晋之介(熊本大学)
09:42	W28a 降着中性子星 SMC X-1 の「すざく」衛星による X 線スペクトル解析 高嶋聡(東京大学)		
09:54	W29a 超強磁場中性子星「マグネター」のバーストの時間的な性質 中川友進(国立研究開発法人海洋研究開発機構)	9月12日(木) 午後・I会場	
10:06	W30a マグネター SGR 1900+14 における硬 X 線パルスの位相変調の発見 牧島一夫(東京大学)	13:00	W41a U Gem の可視光 outburst における硬 X 線放射の振る舞い 武尾舞(首都大学東京)
10:18	W31a MPPC を用いた光子計数法によるかにパルサーの観測 大内優雅(山形大学)	13:12	W42a 静穏時における矮新星 VW Hyi の白色矮星への質量降着率の変化 中庭望(首都大学東京)
10:30	W32a 中性子星内部から発生するニュートリノ放射が及ぼす X 線バーストの影響 土肥明(九州大学)	13:24	W43a 特異に軌道周期が長い SU UMa 型矮新星: ASASSN-18yi および ASASSN-18aan 若松恭行(京都大学)
10:42	W33a 中性子星(マグネター)のクラスト部分の数千年間の磁場進化 小島康史(広島大学)	13:36	W44a 冷たく安定した降着円盤をもつと考えられていた GP Comae Berenices のアウトバースト 小路口直冬(京都大学)
10:54	W34a 原始中性子星冷却におけるニュートリノシグナルへの weak magnetism の影響 杉浦健一(早稲田大学)	13:48	W45a Gaia Data Release 2 を使った機械学習による矮新星のサブタイプ分類 磯貝桂介(京都大学)
11:06	W35a 原始中性子星における対流ダイナモと大局的磁場形成 政田洋平(愛知教育大学)	14:00	W46a 質量移動に伴う連星白色矮星系の進化 安西信一郎(首都大学東京)
11:18	W36b 「すざく」による低質量 X 線連星 XB1916-053 のスペクトル中の吸収構造 渡辺佑馬(宇宙航空研究開発機構)	14:12	W47b B&C 61cm 望遠鏡による南天での重力波対応天体探査 亀井悠平(名古屋大学)
		14:12	W48b 重力波観測ラン O3 における J-GEM の重力波フォローアップ 笹田真人(広島大学)

14:12	W49b	Tomo-e Gozen を用いた秒スケールでの可視突発天体の探査 有馬宣明 (東京大学)	11:06	W61a	Occurrence of fast-pairwise collective neutrino oscillations and their role in the explosion mechanism of core-collapse supernovae Milad Delfan Azari (Waseda University)
14:24	W50b	GRB090618 の減光過程における熱的成分の探査とその変動 勝倉大輔 (埼玉大学)	11:18	W62a	輻射輸送計算による II _n 型超新星の光度曲線モデル構築 武井勇樹 (東京大学)
14:24	W51b	W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 II 小野宏次郎 (九州大学)	9 月 13 日 (金) 午後・I 会場		
	W52c	超新星爆発時のフォールバックと中心天体からのエネルギー供給が決める若い中性子星の多様性 岩田朔 (東京大学)	13:30	W63a	種族合成計算と星団進化計算用の超低金属量星の進化経路モデルの開発 谷川衝 (東京大学)
9 月 13 日 (金) 午前・I 会場			13:42	W64a	散開星団起源の連星ブラックホール合体率の金属量依存性 熊本淳 (東京大学)
09:30	W53a	ガンマ線連星 PSR B1259 - 63/LS 2883 の ALMA による初検出 藤田裕 (大阪大学)	13:54	W65a	球状星団における連星形成シミュレーション 吉成直都 (東京大学)
09:42	W54a	ALMA Polarimetry of AT2018cow 霜田治朗 (東北大学)	14:06	W66a	Density cusps around supermassive black holes as nurseries of gravitational wave events Alessandro Alberto Trani (The University of Tokyo)
09:54	W55a	Swift/BAT と XRT で同時観測された指数減光を示す GRB の減光過程の解析 勝倉大輔 (埼玉大学)	14:18	W67a	キロノヴァの多様性と輻射輸送計算によるその光度曲線の予測 川口恭平 (東京大学)
10:06	W56a	Swift 衛星による GRB090618 の減光過程の広帯域ライトカーブ解析 堀江光希 (埼玉大学)	14:30	W68a	連星中性子星合体初期の電磁波放射予測のための輻射輸送計算コード開発 石井彩子 (東京大学)
10:18	W57a	MAGIC 望遠鏡による GRB 190114C からの超高エネルギーガンマ線の発見 深見哲志 (東京大学)	14:42	W69a	円偏向から探る GW170817 の時空のダイナミクス 作野優理枝 (福岡大学)
10:30	W58a	GRB 190114C からの TeV ガンマ線放射の物理 井上進 (理化学研究所)	14:54	W70a	連星中性子星合体残骸による高エネルギー宇宙線生成 木村成生 (東北大学)
10:42	W59a	ニュートリノ優勢降着円盤における質量降着の不安定性とガンマ線バーストへの応用 川中宣太 (京都大学)	15:06	W71a	iPTF 14gqr と同種の ultra-stripped supernovae の発生率と、NS 合体との関係 聖川昂太郎 (東京大学)
10:54	W60a	超新星爆発におけるニュートリノ集団振動の普遍性と観測への影響 森長大貴 (早稲田大学)	15:18	W72a	木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による重力波フォローアップ観測 新納悠 (東京大学)

X. 銀河形成

9月11日(水) 午前・J会場		12:48	X13b	“Slowing Down” of the Cosmic Growth of Supermassive Black Holes 大木平 (Kavli IPMU)	
11:00	X01a	原始銀河団領域における巨大ブラックホール形成 矢島秀伸 (筑波大学)	12:48	X14b	Swift 衛星 /BAT で選択された近傍活動銀河核サンプルに対するエディントン比と母銀河のガス質量 / 星質量比の相関関係の検証 山下祐依 (東京大学)
11:12	X02a	AGN クラスタリングで探る X-ray AGN の発現機構 大木平 (Kavli IPMU)	9月11日(水) 午後・J会場		
11:24	X03a	すばる HSC で探る $z \sim 4-5$ における AGN 光度関数 下館果林 (東京大学)	15:00	X15a	The cosmic variance on the $H\alpha$ luminosity function examined by the new numerical galaxy catalogue (γ^2GC) 小倉和幸 (文教大学)
11:36	X04a	すばる望遠鏡 HSC データを用いた、宇宙史前半のクエーサー母銀河のスタッキング解析 佐衛田祐弥 (愛媛大学)	15:12	X16a	大規模天体サーベイ観測に向けた模擬カタログの構築と公開 石山智明 (千葉大学)
11:48	X05a	すばる HSC による宇宙史後半における 1 型クエーサー母銀河の性質調査 石野亨 (愛媛大学)	15:24	X17a	宇宙論的シミュレーションで探る、恒星ストリームと銀河重力場の関係 森永優 (千葉大学)
12:00	X06a	銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響 小林宇海 (総合研究大学院大学)	15:36	X18a	衛星銀河ハローのダークマターによる構造の違いと銀河形成過程による影響 岡本崇 (北海道大学)
12:12	X07a	A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). II. Physical Properties derived from the SED Fitting with Optical, Infrared, and Radio Data 鳥羽儀樹 (京都大学)	15:48	X19a	IC10 の銀河衝突シミュレーションで探る Dark Satellite の存在可能性について 森正夫 (筑波大学)
12:24	X08a	The faint-end of the radio luminosity function of ALMA-selected galaxies Kianhong Lee (The University of Tokyo)	16:00	X20a	周期的な超新星フィードバックによる Ultra-diffuse galaxy の形成 加藤一輝 (筑波大学)
12:36	X09b	すばる HSC / SHELLQs と WISE による最遠赤色クエーサーの探査 加藤奈々子 (愛媛大学)	16:12	X21a	Galaxy Evolution as Seen from Machine Learning 竹内努 (名古屋大学)
12:36	X10b	SPICA/SMI 高分散分光による $z \sim 2$ AGN 分子アウトフロー観測の可能性 馬場俊介 (国立天文台)	16:24	X22a	Examining the Spatially Resolved Star Formation Histories of Local Interacting Galaxies Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University)
12:36	X11b	FOCAS IFU による銀河スケールのアウトフローを示す AGN/ULIRG Mrk273 の観測 尾崎忍夫 (国立天文台)	16:36	X23a	ALMA データを用いたスパースモデリングによる $z = 2.56$ の重力レンズ天体 Cloverleaf QSO の超解像度イメージング 戸上陽平 (名古屋大学)
12:48	X12b	銀河中心超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着とその金属量依存性 豊内大輔 (京都大学)			

16:48	X24b	機械学習による遠方銀河の形態パラメータ推定 馬屋原拓也(北見工業大学)	10:30	X36a	ALMA および Keck で探る赤方偏移 -1.5 の銀河団領域における銀河の化学進化 木村大希(東北大学)
16:48	X25b	SIMD 命令を用いた SPH 法の高速度化 吉川耕司(筑波大学)	10:42	X37a	赤方偏移 ~ 0.9 の超銀河団 CL1604 の大規模構造の全貌 林将央(国立天文台)
9月12日(木) 午前・J会場			10:54	X38a	すばる超広視野観測で明かす大規模構造形成と銀河進化 山本直明(東北大学)
09:30	X26a	3次元輻射流体シミュレーションによる低金属量星団形成 福島肇(筑波大学)	11:06	X39a	$z = 0.9$ 銀河団の最新観測で探る銀河降着過程と星形成活動の関係 朝野哲郎(東京大学)
09:42	X27a	HSC-SSP 深撮像データと可視分光観測で探る $z \leq 0.02$ 極金属欠乏銀河 小島崇史(東京大学)	11:18	X40a	長波長・赤外線放射の相関が及ぼす銀河星形成率推定への影響 吉田俊太郎(名古屋大学)
09:54	X28b	すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の有効半径・星質量関係-遠方初期銀河との関係- 磯部優樹(東京大学)	9月12日(木) 午後・J会場		
09:54	X29b	$z = 5-6$ における星形成銀河のアウトフロー II 菅原悠馬(東京大学)	13:00	X41a	ガスの流入を考慮した銀河内ダストの化学進化 長崎早也香(名古屋大学)
09:54	X30b	星形成銀河からの遷音速アウトフローの赤方偏移依存性 五十嵐朱夏(筑波大学)	13:12	X42a	Galaxy simulation with the evolution of grain size distribution 青山尚平(ASIAA)
10:06	X31b	ALMA を用いた $z=4.3$ サブミリ波銀河の金属量測定 但木謙一(国立天文台)	13:24	X43a	JCMT/SCUBA2 mapping of the AKARI NEP WIDE field Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
10:06	X32b	すばる HSC 広域可視光データを用いた高赤方偏移 DLA の対応天体の探索 玉田望(愛媛大学)	13:36	X44a	High- z Galaxies are Hot: ALMA band-8 Dust Temperature Measurements of Star Forming Galaxies at $z \sim 5.5$ Yoshinobu Fudamoto (University of Geneva)
10:06	X33b	$z = 2.4$ 53W002 原始銀河団における大質量銀河の星形成の調査 米倉直紀(愛媛大学)	13:48	X45a	Stellar velocity dispersion of a massive galaxy with suppressed star formation at $z = 4.01$ 田中賢幸(国立天文台)
10:18	X34a	$Ly\alpha$ 輝線で見える $z \sim 3$ のクエーサーを持つ原始銀河団 菊田智史(総合研究大学院大学/国立天文台)	14:00	X46a	Correlation between galaxy and IGM at $z \sim 2.2$ based on Subaru/HSC MAMMOTH overdensities and SDSS/(e)BOSS quasar spectra Liang, Yongming (Sokendai/NAOJ)
	X35c	多波長データに基づく $z \sim 2$ の原始銀河団コアに属する銀河の性質 安藤誠(東京大学)			

X. 銀河形成

14:12	X47a	Properties of H α emitters at $z \sim 2.1-2.5$ selected from broad-band photometry 寺尾恭範 (東京大学)	10:54	X58a	Ly α Intensity Mapping with SFGs at $z = 5.7$ and 6.6: Ly α Emission Extended at >150 ckpc Beyond the Virial-Radius Scale of Galaxy DMHs 鹿熊亮太 (東京大学)
14:24	X48a	ロング・ガンマ線バースト GRB 080207 母銀河における分子ガスの性質 廿日出文洋 (東京大学)	11:06	X59a	CHORUS による赤方偏移 3.3 および 4.9 の電離光子放射銀河の探査 山中郷史 (早稲田大学)
14:36	X49a	Molecular clumps in a main sequence galaxy at $z \sim 1.4$ 牛尾海登 (京都大学)	11:18	X60a	Unbiased study on LAE fraction at $z \sim 3-6$ with MUSE 日下部晴香 (University of Geneva)
14:48	X50a	グリーンバレー銀河、および MS 銀河における星形成効率の形態依存性 小山舜平 (愛媛大学)	9 月 13 日 (金) 午後・J 会場		
9 月 13 日 (金) 午前・J 会場			13:30	X61a	Ly α halos around quasars at $z > 6$ 百瀬莉恵子 (東京大学)
09:30	X51a	前主系列星を含む初代銀河スペクトルの分類 三谷啓人 (東京大学)	13:42	X62a	クエーサー放射による銀河周辺物質への影響 内山久和 (国立天文台)
09:42	X52a	宇宙再電離期における 21cm 線と [O III] 銀河の相互パワースペクトル 森脇可奈 (東京大学)	13:54	X63a	最近傍の radio loud QSO, 3C273 周辺での拡がったミリ波連続波の検出 小麦真也 (工学院大学)
09:54	X53a	深宇宙探査による赤方偏移 $z > 10$ の銀河の検出可能性再考 井上昭雄 (早稲田大学)			
10:06	X54a	再電離期のバルマーブレーク銀河候補と赤方偏移 14 以上の星形成率密度への制限 馬渡健 (東京大学)			
10:18	X55a	Early Low-Mass Galaxies and Star-Cluster Candidates at $z \sim 6-9$ 菊地原正太郎 (東京大学)			
10:30	X56a	ISM Properties of $z > 6$ Galaxies Revealed with ALMA [O III] and [C II] Observations 播金優一 (国立天文台)			
10:42	X57a	遠赤外から紫外線データに基づく $z = 6.1$ のライマンブレイク銀河における電離状態の診断 須永夏帆 (名古屋大学)			

Y. 天文教育・広報普及・その他

9月13日（金）午前・B会場		9月13日（金）午後・B会場	
10:30	Y01a IAU 戦略計画の日本における理念実装への課題と考察 縣秀彦（国立天文台）	13:30	Y12a すばる望遠鏡 HSC の大規模データを使った市民天文学 2. ウェブサイトの開発 臼田 - 佐藤功美子（国立天文台）
10:42	Y02a 日本での天文教育分野の研究論文のサーベイ 富田晃彦（和歌山大学）	13:42	Y13a Mitaka の新機能について ~古代の日食の再現とコマンド機能~ 加藤恒彦（国立天文台）
10:54	Y03b アストロバイオロジーを伝える学際的な広報普及 日下部展彦(アストロバイオロジーセンター)	13:54	Y14a ぐんま天文台 150-cm 望遠鏡と低分散分光器 GLOWS を用いたカラー分光画像 橋本修（ぐんま天文台）
10:54	Y04b 木曾シュミット乾板デジタル化データの公開 - 乾板のデジタル化 青木勉（東京大学）	14:06	Y15a 人工衛星の太陽反射光からオゾンを検出する 大西浩次（長野工業高等専門学校）
10:54	Y05b 木曾シュミット乾板デジタル化データの公開—公開システムの開発 古澤順子（国立天文台）	14:18	Y16a 天文部の活動を通じた次世代育成と STEAM 教育 川越至桜（東京大学）
	Y06c SMOKA の現状と今後の取り組み 古澤順子（国立天文台）	14:30	Y17a 小学生でも簡単に作れて月のクレーターが見える安価で実用的な天体望遠鏡 谷口康一
	Y07c 天文学と時間学 藤沢健太（山口大学）	14:42	Y18a 宇宙・天文分野の特性を踏まえた対論型サイエンスカフェの試行 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
11:06	Y08a 東京女子高等師範学校に設置された水路部分室の勤務体制 馬場幸栄（一橋大学）	Y19c コズミックカレッジとその教育普及効果 京田綾子（日本宇宙フォーラム）	
11:18	Y09b 緯度観測所の応召記念写真に記録された水路部水沢分室 馬場幸栄（一橋大学）		
11:18	Y10b 超小型人工衛星を使った新たな教育利用の試み：中高生による軌道上望遠鏡超小型衛星 Stars-AO（あおい）を用いた観測研究立案プロジェクト 内山秀樹（静岡大学）		
11:18	Y11b 超小型カメラによる夜空の明るさ自動測定 柴山万優子（星空公団）		

予稿ページ

Z101r 天体物理研究から見た太陽物理分野への期待

鈴木 建 (東京大学)

小質量主系列星に分類される太陽は表面对流層を持つ。その結果太陽表面には磁場が増幅され、フレア、コロナ、太陽風などの磁場に起因する様々な現象が引き起こされる。このような磁気活動は、表面对流層を持つ主系列星に普遍的に見られるものである。太陽をはじめとする恒星の磁気活動は、そのものが天体プラズマ物理学の研究対象として非常に興味深いのみならず、恒星の自転の長期進化や周囲の惑星系への影響など、天文学、惑星科学の観点からも非常に重要である。また、これらの磁氣的活動を詳細に観測できる太陽大気をどのように観測していくかは天文学として非常に重要であり、理論的・観測的研究一体となって検討していくべき問題である。その中でも理論的な側面からの議論に必要な研究結果をよく整理することは将来の太陽観測を検討する上で有用である。

本発表では、「恒星としての太陽」との観点から、恒星コロナと恒星風の観測および理論研究の現状を、我々の研究結果も交えながら紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102r 超高精度分光で探る将来 X 線宇宙物理と太陽物理研究とのシナジー

寺田幸功 (埼大)

太陽物理学と X 線宇宙物理学とは、研究対象となる天体は異なるものの、物理素過程や天体現象がよく類似する例が数多くあるため、プラズマ診断や磁場診断など技術的な手法にも多くの共通点がある。一方で、系のサイズや物理量は桁で異なるため、両分野の良い相乗効果を考え、より広いパラメーター範囲で物理現象を捉えることで、より本質的な物理にせまれる可能性が高い。X 線宇宙物理分野では、2000 年の ASTRO-E 打上失敗に始まり、失敗や不具合が度重なっているが、太陽研究分野をはじめとする皆さんの温かいご支援と協力により、いよいよ 2021 年度末には X 線分光撮像衛星 XRISM が本格的に稼働する。XRISM 衛星は、a) 宇宙大規模構造と銀河団進化、b) 宇宙の物質循環の歴史、c) 宇宙のエネルギー輸送などの科学課題を重点的に解決すべく、X 線マイクロカロリメータを用いた X 線高精度分光を実現する衛星である。本講演では、これら X 線天文学における科学課題と、X 線宇宙物理におけるプラズマ診断や磁場診断などの手法を紹介し、日本の太陽研究、特に、Solar-C/EUVST 計画や PhoENiX 計画などを中心とした飛翔体を用いた太陽観測計画との相乗効果について講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z103a 公募型小型衛星 Solar-C_EUVST (高感度 EUV/UV 分光望遠鏡) : 計画概要

清水敏文 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (名古屋大), 川手朋子, 鳥海森 (ISAS/JAXA), 末松芳法, 原弘久, 勝川行雄, 久保雅仁, 鹿野良平, 石川遼子, 渡邊鉄哉 (国立天文台), 横山央明 (東京大), 一本潔, 浅井歩, 永田伸一 (京都大), 渡邊恭子 (防衛大), 草野完也 (名古屋大), C. Korendyke, H. Warren (NRL), B. De Pontieu (LMSAL), S. Solanki, L. Teriaca (MPS), F. Auchère (IAS), S. Matthews, L. Harra (MSSL/UCL), A. Fludra (RAL), A. Vincenzo (INAF) 他

Solar-C_EUVST は、太陽上層大気形成における物理的素過程や大規模なフレア・噴出発生 の 解明を行うことを目的とし、高感度 EUV/UV 分光望遠鏡 (EUVST) を搭載した公募型小型科学衛星である。EUVST は、彩層から遷移層、遷移層からコロナ、そしてフレアによる超高温プラズマまで非常に広い温度帯 ($10^4 - 10^7$ K) にわたり、温度隙間ない分光同時観測を初めて実現する。今までのコロナ分光観測に比べ約7倍高い解像度 (0.4 秒角、面積で約50倍)、10-20倍の有効面積により実現される高い時間分解能力を有し、これらの優れた観測性能によって、太陽外層大気における物質やエネルギーの移動や散逸をとらえる。EUVST は、3m 超の望遠鏡装置であり、口径 28cm の主鏡で集光し、スリット-回折格子-検出器からなる分光器で 17-120nm 域の極端紫外線のスペクトルを取得するとともに、スリット面からの反射光を用いたスリット撮像カメラにより彩層・光球撮像観測を行う。

Solar-C_EUVST 提案は、宇宙科学研究所 (ISAS) の審査により次の検討フェーズに進めるべき計画の一つとして 2018 年夏に選定され、2019 年度初めよりミッション定義フェーズ (Pre Phase A2) の検討を進めている。EUVST は、日本が望遠鏡構造体および主鏡部の開発を通じて主導し、米国と欧州諸国が装置一部を分担することで開発する。太陽物理学を中核に、周辺分野 (プラズマ、天文学、太陽系科学) とのシナジーを深めることも重要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z104a まもなく観測を開始する DKIST と Solar-C_EUVST との連携

浅井歩 (京都大学), DKIST タスクフォース

光球から彩層・コロナに至る太陽大気は動的であり、極めて小さいスケールの磁力線を単位とする磁気プラズマのダイナミックな運動や磁力線の動き・波動現象などによる、多様で複雑な活動現象であふれている。また、太陽光球面での運動により磁気エネルギーが彩層～コロナの上層大気に輸送され散逸されることで、高温の大気が維持されていると考えられている。

米国ハワイ・マウイ島・ハレアカラ山山頂に建設中の超大口径 (4m) 太陽望遠鏡 Daniel K Inouye Solar Telescope (DKIST) は、人類がまだ見たことのない微細な太陽大気構造を明らかにし、まさに光球・彩層における磁気エネルギー注入・輸送・解放の現場を、暴こうとしている。DKIST は可視～近赤外線域をカバーし、また、撮像・分光・偏光観測・コロナグラフといったさまざまな焦点面装置を備えている。望遠鏡建設や観測装置の開発は順調に進んでおり、2019 年中には太陽のテスト観測が始まり、2020 年初旬の観測に向けた観測提案 (プロポーザル) の受付の開始も 2019 年秋には予定されている。Solar-C_EUVST が観測を開始するところには、確実に稼働している地上望遠鏡である。

彩層からコロナの太陽大気を撮像分光することで物理診断を行う Solar-C_EUVST とその下層の光球～彩層を主な観測対象とする DKIST は、まさに相補的な関係にある。極めて動的な太陽大気や太陽風の機構を理解するためには、EUVST と DKIST との連携により、光球～彩層～コロナに至る太陽大気をつぎ目なくとらえることが必須である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a 太陽大気における3次元動的現象の理解へ: SUNRISE-3 気球観測とその先へ

勝川行雄, 久保雅仁, 原弘久 (国立天文台), 清水敏文 (ISAS/JAXA), C. Quintero Noda (Univ. Oslo), J. C. del Toro Iniesta, D. Orozco Suárez (IAA-CSIC), S. Solanki (MPS), SUNRISE-3 team

光球とコロナの間に位置する彩層では、乱流・ジェット・衝撃波など時間変化の激しい現象が発生する。彩層の動的現象は、さらに、コロナや太陽風への非熱的エネルギー注入を担っている可能性も高いことから、現在の太陽恒星研究において最重要ターゲットである。動的現象が担う磁気エネルギーの輸送・散逸プロセスを理解するためには、光球の乱流と上空へつながる磁場との相互作用による磁気流体的エネルギー発生、彩層における伝播そして散逸を、観測から定量的に決定することが必要である。そこで、口径1mの大気球太陽望遠鏡SUNRISE-3による飛翔観測を2021年に計画している。SUNRISE-3気球観測では、紫外線(>300nm)から近赤外線(<860nm)の広波長範囲で偏光分光観測を行うことで、太陽大気の3次元磁場・速度構造とその時間変化を計測する。日本のグループは、ひので衛星を凌ぐ解像度と偏光測定精度を実現する近赤外線偏光分光装置SCIP(スキップ)を開発している。搭載装置の開発と並行して、磁気エネルギー輸送・散逸の鍵を担うプロセス、例えば、磁気流体波の伝播やジェットの駆動を数値シミュレーションで再現し、さらに非局所熱平衡輻射輸送計算を行うことで、彩層の動的現象から放射される偏光スペクトルを再現するモデリング研究を行っている。SUNRISE-3気球観測がもたらす高精度データとの直接比較から、太陽大気における磁気エネルギー輸送・散逸プロセスを明らかにし、さらに、共通のプロセスが働く広範な天体プラズマの加熱研究へ波及させることも見すえる。光球・彩層モデリングと偏光分光データの解析手法は、DKISTに代表される次世代望遠鏡のデータ解析にも直接的に応用できるものであり、DKIST-EUVST衛星との連携観測に向けた基盤を構築することも重要である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Z106a 紫外線偏光分光観測実験 CLASP シリーズから得る将来計画への示唆

石川遼子, 鹿野良平, 久保雅仁, 岡本文典 (国立天文台), 吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台)

宇宙からの観測が必須の紫外線領域には1~10万度のプラズマ由来のスペクトル線が多数存在し, その偏光情報は, 磁気圧優勢となる彩層上部~遷移層の磁場情報をもたらすと期待される. しかし, 技術的課題が大きく, その観測は手付かずの状態であった. これに一石を投じたのが, ハンレ効果を用いて彩層上部~遷移層の磁場を計測することを目的とした観測ロケット実験 CLASP (2015), CLASP2 (2019) である. それぞれ Ly α 線 (1216 Å) と Mg II 線 (2800 Å) の高精度偏光分光観測に世界で初めて成功し, 新たな扉を開いた.

CLASP/CLASP2によって, 紫外線の偏光分光観測から磁場を測定する手法が確立されたら, 彩層~コロナの活動現象の理解がどう進むのか?そして, 得られるデータは可視赤外線 of 偏光分光観測 (DKIST や SUNRISE-3 で実施) とどう相補的となるのか?今後の飛翔体による偏光分光観測の可能性を検討する上で, これらの課題にどう答えるかが重要になる. また, CLASP で観測を行なった Ly α 線は, 現在検討が進む Solar-C/EUVST 衛星において, 彩層とコロナを結びつける重要なスペクトル線として認識されている. CLASP は, 空間分解能こそ劣るものの, 徹底した高感度化への探求により, 1秒を切る超高時間分解能観測をもたらした. そして, 普遍的な高速伝搬現象が明らかとなり (2016年春季年会 M02a), 新しい彩層~遷移層像を描き出した. また, スペクトル線の形状や形成高さなど, Mg II 線との理論的, 観測的比較も行われている. 一方で, 非局所熱力学平衡は当然のことながら, 3次元的な散乱も考慮しなければならないなど, Ly α 線から物理情報を抽出するには課題も多い.

本講演では, CLASP/CLASP2 が, 現在検討中や開発中の観測装置による観測へ与える示唆について考察・議論する.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告 (2019 年秋)

成影典之 (国立天文台)、岡光夫 (カリフォルニア大学バークレー校)、深沢泰司 (広島大学)、松崎恵一、渡辺伸、坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構)、萩野浩一 (東京理科大学)、三石郁之 (名古屋大学)、水野恒史 (広島大学)、篠原育 (宇宙航空研究開発機構)、下条圭美 (国立天文台)、高棹真介 (名古屋大学)、田辺博士 (東京大学)、上野宗孝 (神戸大学)、高橋忠幸 (東京大学 カブリ IPMU)、高島健、太田方之 (宇宙航空研究開発機構)、他 PhoENiX ワーキンググループ

我々は、「磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解」を科学意義 (Science Goal) とし、太陽フレアにおいて「どこで」、「いつ」、「どの様に」電子の加速が起きているかを明らかにすることを科学目的 (Science Objectives) とした衛星計画 PhoENiX を推進している。PhoENiX で実施する観測は、太陽フレアに対する「軟 X 線硬 X 線域における集光撮像分光観測」と「軟ガンマ線域の偏光分光観測」である。X 線域の集光撮像分光観測では、加速の場所・タイミングの特定を行うとともに、加速に関連する現象の同定を行う。軟ガンマ線域の偏光分光観測では、加速電子の非一様性を調査する。太陽フレアに対するこれらの観測は、PhoENiX が世界初の試みであり、これらにより科学目的の達成を目指す。現在、我々は、次の ISAS 公募型小型計画の公募に応募すべく、科学検討、ミッション・システム検討を行うとともに、キー技術の開発を行なっている。特に、太陽 X 線観測ロケット実験 FOXSI-3 (2018 年) の成功は、PhoENiX 実現に向けた技術実証だけに留まらず、X 線集光撮像分光観測の科学的価値も示した。そこで次のステップとして、太陽フレアを観測対象としたロケット実験 (2023 年頃の実施) の検討も開始した。本講演では、PhoENiX 計画の紹介とともに、本年度前半に実施した関連検討の報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z108a 加熱・輸送・乱流ダイナミクスが繋ぐ太陽-実験室プラズマの連携研究: SoLaBo-X

仲田資季 (核融合科学研究所), 勝川行雄 (国立天文台), 今田晋亮 (名古屋大学), SoLaBo-X project

太陽研究ではダイナモによる磁場形成や外層大気でのコロナ加熱、太陽風加速などが長年の研究課題であり、磁場閉じ込め核融合プラズマ研究では乱流輸送や自発流・自発磁場の形成、高エネルギー粒子と電磁的波動の共鳴加熱などが中心的な課題である。プラズマパラメータが異なる場合が多いものの、マイクロな揺らぎからマクロな構造の形成過程・エネルギー伝達過程の解明が両分野にとっての共通課題であり、「加熱・輸送・乱流」のダイナミクスの理解が鍵となっている。本講演では、地上の精密実験である閉じ込めプラズマ研究と宇宙における精密実験と言える太陽観測研究の連携研究プロジェクト”SoLaBo-X (Solar + Laboratory + Cross-disciplinary)”を紹介する。SoLaBo-Xでは、(1) 実験室・太陽プラズマ乱流データを活用した多成分場(流れ場や磁場、温度場)の高次相関特性からエネルギー伝達機構の解析、(2) 機械学習などのインフォマティクスを応用した乱流場時空間構造の高速解析を主題に掲げ、加熱・輸送・乱流ダイナミクスに関する連携研究を推進している。Solar-C_EUVSTをはじめ、SUNRISE-3、DKISTなどの次期太陽観測計画では、空間・時間解像度に加え、様々な温度の大気層を診断する能力が格段に向上し、多成分乱流場データが光球面から外層大気にわたって3次元的に得られると期待される。その新たな研究フェーズを見据え、これまで閉じ込めプラズマ研究で発展してきた乱流場の高次相関解析やインフォマティクス応用などの解析手法を循環・融合させ、質・量ともに膨大なデータから物理プロセスを高精度・高速に抽出する解析手法を開拓するとともに、次世代観測における適用を目指す。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109a DKIST と EUVST による太陽縁外の観測で探るエネルギー伝播と散逸

鄭祥子(京都大学), 坂上峻仁(京都大学), 岡本文典(国立天文台), 柴田一成(京都大学)

太陽では、表面である光球が 6000 度なのに対し、上空にはコロナと呼ばれる 100 万度の高温大気が広がっている。太陽表面の対流運動のエネルギーがどのような物理過程を経て上空へと輸送され、散逸するかは未解明であり、コロナ加熱問題と呼ばれる。光球コロナの中間層である彩層は微細な構造を持ち、非常に動的な現象に満ち溢れている。特に、彩層中のジェット構造は、エネルギーやガスの流れに深く関わっていると考えられ、コロナ加熱問題の解決に向けて鍵を握ると注目されている。

2020 年秋頃には米国の口径 4m 地上望遠鏡 Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) が科学観測を開始する。DKIST はこれまでの望遠鏡を凌駕する圧倒的な空間分解能 (25 km) を持ち、多数のスペクトル線を同時に用いて撮像・偏光分光観測できる。太陽面内における彩層ジェットの観測では、高度の違いを区別するためには異なる観測波長(スペクトル線)を用いる必要がある。一方、太陽縁外の観測では、大気中の高度情報を観測的な空間情報として分解できる。この場合、太陽縁近くの低い高度では視線方向に多数の構造が重なり、一本のジェット構造だけを見通したデータを取得することができない。しかしコロナに突き出た彩層ジェットの上部については、その視線方向成分だけを見通して分光診断ができ、ジェット中の空間構造について議論できる。

本講演では、DKIST による太陽縁外における彩層ジェットの観測から、彩層中の衝撃波散逸とアルヴェン波伝播にいかに関与することができるかについて考察する。この際、輻射輸送計算によるモデリングを行うことで、観測された各時空間情報から物理パラメータを取得できるかについても検討する。さらに、太陽観測衛星計画 Solar-C_EUVST による太陽縁外観測が可能となった際に、どのような発展性があるかについても述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z110a Solar-C EUVST を視野に入れた Lyman β とその近傍の O I 1027, 1028Å 線のスペクトル合成と形成過程に関する研究

長谷川 隆祥 (東京大学/ISAS), Carlos Quintero Noda (オスロ大学), 清水 敏文 (ISAS)

Solar-C EUVST では、多波長解析による彩層からコロナにかけてシームレスな大気診断により、リコネクションに関する物理の解明といったようなサイエンス課題にアプローチする。これに先立ち、近年、IRIS によって UV 域のいくつかのラインで分光観測が行われ、大きな成果を挙げたが、この理由の一つは打ち上げ前の段階から観測する主なスペクトル線の一般的な性質や形成過程、インバージョンの方法などを議論したことである。そこで我々は、Solar-C EUVST を視野に入れた、スペクトル線の合成による形成過程の検討を開始した。その第一歩として本研究では、Lyman β とその近傍の 1027, 1028Å に存在する中性酸素線をターゲットとした。この検討によって、Bifrost によって再現された静穏大気において、Lyman β は高度約 2450km、温度約 2×10^4 K の遷移層下部において、1027, 1028Å の中性酸素線はそれぞれ高度約 1650km, 1500km で、温度としては約 8×10^3 K の彩層上部において形成することがわかった。また、中性酸素線は基本的に単一の高度に感度を持ち、Optically thick な過程において形成することがわかった。これら中性酸素線は常に 1027Å のラインが 1028Å より上部で形成しており、彩層上部における詳細な高さ構造の解析に役立つと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z111a 太陽大気の3次元輻射磁気流体シミュレーション

飯島陽久 (名古屋大学)

2020年代にはSolar-C/EUVST、DKIST、Parker Solar Probe、ALMAなど電波、可視光、紫外線、X線の各波長帯における多くの太陽観測データが集まると期待される。これらの多波長・統合的観測による各種物理量への強い成約は、ジェットやフレアなど多くの非線形現象へのより深く詳細な理解が可能にしよう。その際に課題になるのは、複数観測データ間での整合性を保った物理的解釈である。異なる観測波長の間では関連する物理過程・放射領域が全く異なるため、整合性を保った解釈を得るのは容易なことではない。今後、観測データの空間解像度が向上していくに従い物理現象の非線形性・複雑性は増大し、直感的な解釈をより困難にしていくと考えられる。このような状況の下では、太陽大気の第一原理計算的なフォワードモデリングである輻射磁気流体シミュレーションが、多波長データにおける統合的な解釈を容易にする手段として高い利便性を持つと期待される。

我々は、輻射輸送に伴う加熱・冷却、非熱的電子による熱輸送、非理想ガスの状態方程式など太陽大気における主要な物理過程を全て考慮し、太陽の対流層上部からコロナ下部までを包括した計算領域を取ることで、対流運動によるエネルギー励起過程から伝搬・散逸過程までを統合的に解ける3次元輻射磁気流体コードを開発している。非常に大きいアルフベン速度による計算ステップサイズの低下を防止するための準相対論的近似を導入することで、小規模な爆発現象やジェット構造、黒点を含む太陽大気のダイナミックなシミュレーションが可能になった。講演では、太陽大気の輻射磁気流体シミュレーション研究の現状と今後の課題を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112a EUVST で迫る太陽・恒星コロナ加熱問題

庄田宗人 (国立天文台)

太陽を覆う高温大気 (コロナ) の存在は 70 年以上前から認識されており、現在に到るまでその起源は明らかになっていない。コロナ加熱問題の完全な解決に向け、我々は以下の疑問を明らかにしなければならない。コロナ加熱のエネルギーはどこから来ているのか？ エネルギーの解放 (散逸) プロセスは何か？ 解放されたエネルギーはどの粒子に渡されるのか？ 近年のスーパーコンピュータの進化により、数値シミュレーションがこれらの答えを明らかにしつつある。にもかかわらずコロナ加熱問題が解決に至っていない最大の理由は太陽大気中のエネルギーの流れを追跡するような衛星観測がこれまでなかったためである。

現在提案されている次世代太陽観測ミッション Solar-C EUVST はコロナ加熱の観測的解決に向け、ブレイクスルーとなるデータを提供することが期待されている。下層大気からコロナまでのシームレスな観測からエネルギーの流れを、コロナの高時間・空間分解能観測からエネルギー解放メカニズムを、多波長観測からコロナの熱進化を明らかにすることができる。本講演では太陽コロナ加熱理論の現状をまとめ、それらに対し EUVST がどのように貢献できるかを議論する。応用として恒星コロナ加熱問題や系外惑星のスペース環境への応用にも触れる予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113a 太陽圏研究から見た Solar-C EUVST への期待と連携の可能性

岩井一正 (名古屋大学)

太陽圏研究において、太陽風の加速機構や惑星間空間における伝搬機構は常に重要な問題であり続けてきた。本問題に対して近年、太陽コロナに突入し太陽風の流源を観測する PSP、内部太陽圏を観測する Solar Orbiter、太陽圏境界域の観測をする IMAP から各国の主力級飛翔体計画が着々と進行している。一方、地上電波観測による惑星間空間シンチレーション (IPS) の検出からは太陽極域を含む太陽圏のグローバルな構造を観測できる。加えて 2020 年代での実現に向けて名古屋大学で進められている次世代 IPS 観測装置計画では、太陽圏の 3 次元構造の高空間分解観測、伝搬性の擾乱の高時間分解観測の実現が目指されている。これら飛翔体計画と地上 IPS 観測やモデリング研究とが連携することで、太陽圏物理には今後大きな発展が見込まれる。

Solar-C EUVST では太陽風の流出領域や、上空の加速領域における速度、温度、密度構造が測定され、太陽風の起源や加速過程解明につながる知見が得られると期待される。一方、太陽風生成領域の理解を太陽風、更には太陽圏全体の理解につなげるには、太陽表面から惑星間空間にまたがる領域間のつながりを含めて議論することが重要であり、次世代 IPS 観測装置や飛翔体による in situ 観測との連携が必須と言える。まずは連携に必要な磁場のモデル化やデータ同化手法などの開発研究が必要と言える。また、Solar-C EUVST の主要な科学目標は太陽圏分野とも親和性が高く、今後分野を超えた研究への発展が期待される一方で、周辺分野における現時点での認知度や理解は十分とは言えない。今後は相互理解を促進させることが周辺分野とのシナジーを最大化させる上で有効と言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114a 機械学習と数値計算を用いた微小フレアの検出およびエネルギー推定

河合敏輝、今田晋亮（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

太陽物理学における未解決問題の一つに、コロナ加熱問題がある。コロナを加熱するメカニズムとして有力な仮説が二つ存在し、それぞれ波動の散逸による加熱モデル、磁気再結合に伴う微小な爆発現象による加熱モデルである。後者の仮説に基づき、微小な爆発現象（ナノフレア）によってコロナがどれだけ加熱されているかを推定することは、コロナ加熱問題の解決にあたって重要な課題である。そこで、本研究の目的は、ナノフレアの検出とエネルギー推定を高い精度で行う手法を開発することである。まず、ナノフレアによって加熱されたコロナループを一次元流体シミュレーションによって再現する。続いて、シミュレーション結果とスペクトル解析用データベース CHIANTI を用いて、コロナループのスペクトルの時間発展を取得し、それを衛星のフィルタに通すことで擬似的に観測する。様々なエネルギーおよび時間でフレアが発生するシミュレーションを多数 (> 3000) 実行し、それぞれについて擬似観測を行い、データセットを作成する。そして、シミュレーションにおけるフレアの入力と擬似観測の結果の対応を多層ニューラルネットワークに学習させる。それによって、実際に観測したコロナループの放射の時間発展から、発生したフレアの検出およびエネルギーの推定が可能となる。今回の発表では新たに、複数の観測機器（Hinode/XRT、SDO/AIA）を用いて検出と推定を行なった。また、推定した結果を再度シミュレーションに入力・擬似観測を行い、放射の時間発展の再現度から精度を検証する。結果として、いくつかのコロナループ観測から、妥当と示唆される微小フレアの検出・エネルギー推定を行うことに成功した。また、Solar-C_EUVST へこの手法を応用した場合の精度向上についても考察する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z115a 活動領域の3次元磁場構造～EUVST時代の展望～

川畑佑典 (東京大学), 井上諭 (名古屋大学), Andrés Asensio Ramos (IAC), 清水敏文 (ISAS)

太陽の活動領域では、磁気リコネクションにより、太陽フレア・コロナ質量放出を代表とする様々な磁気エネルギー解放現象がおきている。磁気エネルギー解放現象の発現機構は宇宙天気という観点で重要であるとともに、プラズマ物理の素過程研究という観点でも興味深い研究対象である。太陽フレアは磁場の3次元構造と密接に関連しており、発生前の磁場構造を正確に把握することが発現機構解明の鍵となる。しかし現状での偏光観測を基にした磁場導出は主に太陽表面の光球に限られており、3次元的な磁場の観測は困難である。そこで開発されたのが光球から上空の磁場を推定する非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) 外挿という手法である。しかし NLFFF 外挿の仮定の一つである低プラズマ β は光球では妥当でないという指摘がある (Gary 2001)。そこで我々は光球より約 1000km 上空の彩層の磁場を He I 10830 Å の偏光観測から導出し、光球から NLFFF 外挿を行った結果と比較した。その結果、彩層高度において NLFFF 外挿の予測よりエネルギーの高い磁場分布をしている可能性があることが示された。この結果は、現状の NLFFF モデルでは上空の3次元磁場構造を十分に再現できておらず、今後の彩層磁場観測の重要性を示すものである。

2020年代中盤に打ち上げを目指す Solar-C EUVST では、高い空間・時間分解能による分光観測により彩層からコロナまでのプラズマの温度・速度・密度診断を行う。この時代には NLFFF モデルのような定常的な磁場分布のみでなく、プラズマと磁場の動的な相互作用のより詳細な研究が期待されている。一方で、磁場導出に必要な偏光観測では、Solar-C EUVST の打ち上げ前に大口径地上望遠鏡 DKIST の観測開始や気球実験 Sunrise-3 が予定されている。これらの観測機器を活用し、将来的にどのような課題に取り組むべきかについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z116a 太陽プロミネンス研究の今後と EUVST への期待

金子岳史 (名古屋大学)

太陽プロミネンスとは高温希薄なコロナ中に出現する低温高密度プラズマ雲であり、しばしば宇宙空間へ噴出し、コロナ質量放出を引き起こすこともある。プロミネンスの温度は彩層と同程度であり、密度はコロナの10-100倍程度である。EUVSTの観測対象のひとつである彩層-コロナ間の境界領域と、プロミネンス-コロナ間の境界領域は類似しており、質量輸送やエネルギー輸送のメカニズム解明が期待される。

プロミネンスへの質量供給を担うのは、コロナプラズマの凝縮(熱不安定)と、ジェットや浮上磁場による彩層プラズマの注入であると考えられている。それぞれの質量供給プロセスが、どの程度プロミネンスの質量維持に寄与しているかは、観測的に確かめられていない。凝縮の場合、プラズマがコロナ温度(10^6 K)からプロミネンス温度(10^4 K)まで変化しながら磁力線上を移動する。そのため、凝縮流を追跡するためには、温度に対してシームレスな分光観測が必要となる。EUVSTの分光観測では、質量輸送の経路や質量供給率が明らかになると期待される。また、プロミネンスはコロナ内の構造であることから、コロナ加熱の研究対象にもなる。先行研究では、分光観測と磁気流体シミュレーションの比較により、プロミネンス-コロナ遷移領域における磁気流体波動の散逸過程(共鳴吸収や位相混合)が確認されている。観測とシミュレーションモデルの比較は非常に有効な研究手法である。今後、EUVSTによる精密観測を最大限活かすためには、温度勾配領域の弱電離や非等方熱伝導の正確な取り扱いを含めて、磁気流体モデルの高度化が必要となる。現在の磁気流体シミュレーションの到達点と問題点、観測との比較に必要な改良についても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z117a EUVST によるフレア加速粒子診断

川手朋子 (宇宙科学研究所)

本研究は太陽フレアで加速された電子エネルギー分布関数を EUVST を用いて導出することにより、電子加速場所とその機構に制限をつけることを目的とする。太陽における加速電子のエネルギー分布の推定は、硬 X 線スペクトルや電波で古くから行われてきた。特にようこう・RHESSI 衛星によってフレアループ上空における硬 X 線源が観測され、磁気リコネクション領域周辺における高エネルギー電子の状態が議論されてきた。一方で、硬 X 線観測は空間分解能を向上させることが難しく、計画されている FOXSI 衛星を用いても 5 秒角以下の構造を見ることは難しい。また硬 X 線スペクトルで示されるエネルギー分布は空間的に平均される。その結果、大局的な高エネルギー電子の存在を議論できても、加速機構の理解に重要となるその微細構造を理解することは難しい。

EUVST は 165 - 1250 Å の幅広い波長帯域を、波長分解能 5000 - 10000 の高分散により計測が可能な装置である。太陽コロナは希薄であり、紫外線輝線の放射機構は電子衝突励起 - 光脱励起過程が主であるため、輝線強度と電子分布関数の関係が比較的単純である。それゆえ輝線強度を計測することで、加速電子の診断ができる可能性がある。ただし放射モデルは原子モデルに大きく依存し、また輝線強度が電離度に依存する場合時間発展の不定性が発生する。これらの不定性は輝線毎に異なるため、加速電子が有意に診断可能な輝線は自明ではない。我々は衝突輻射モデルを解くコードを開発し、Flexible Atomic Code を用いて計算した遷移確率を元に、太陽フレア領域を想定した熱非平衡プラズマからのスペクトルを計算した。また EUVST の波長分解能や有効面積を考慮することで、輝線強度の電子分布関数に対する誤差を見積もった。講演では、電子分布関数の導出に適した輝線を特定し、予想される誤差を考慮することで、EUVST によるフレア加速電子診断の可能性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z118b ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展：リコネクションレイトについて

新田伸也（筑波技大）、近藤光志（愛媛大）

磁気リコネクションの初期モデル（Sweet-Parker モデル、Petschek モデル）は標準モデルとして広く浸透している。しかし、素過程としてのリコネクションの理解は不完全なまま放置されて来たように思われる。講演者は、天体现象への応用を意識した磁気リコネクションの新理論モデル構築を行ってきた（自己相似モデル：新田他 01, 02, 新田 04, 06, 07）。これを、初期電流シートに対して物理量分布が非対称な場合に拡張して自己相似モデルを発展させて来た（新田他 16, 19）。この自然な延長として、自己相似モデルをガイド磁場を印加した場合に拡張しようとしている。

スカラ量としての物理量分布が対称な場合について、電流シート両側での初期磁場の相対角とリコネクション線の方向（方位角）をパラメータとする事でガイド磁場を印加した場合について、OpenMHD コード（HLLD 法）を用いて 2D シミュレーション（ベクトル量は 3D 成分を持つ）した。特にリコネクションレイトの両角度パラメータ依存性について精査した。相対角については、従来の予想通りに反平行に近い程リコネクションレイトが大きく、平行の時に 0 となることが確認された。リコネクション線の方向を人為的に与える事による変化を調査したのは、おそらく本研究が初めてである。電流シート両側で対称になる場合にリコネクションレイトが最大となり、片側での磁場がリコネクション線に対して平行に近づくに連れてリコネクションレイトが低下する事が判明した。これらを踏まえて、現実のガイド磁場印加リコネクションはどのようなようになるはずかを論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z119b Solar-C EUVST 「Outcome」 への戦略

今田晋亮 (名古屋大学), Solar-C WG

Solar-C EUVST の科学目的は、I) 彩層・コロナと太陽風の形成に必要なエネルギー・質量輸送機構および散逸機構の究明、II) 太陽面爆発現象の物理過程の解明、の2つである。太陽外層大気は、温度の異なる光球と彩層、彩層とコロナの間は磁力線につながり、物質であるプラズマとエネルギーがこれらの中でやり取りされる一つのシステムである。このシステムの中で発生する太陽の磁気活動を本質的に理解するには、それを構成する基本構造を理解することはもちろん、基本構造間でやりとりされるプラズマのエネルギー・質量の流れを定量的に観測してその物理過程を把握することが重要である。Solar-C EUVST ではこのシステムを高空間分解能 (0.4 秒角)、高時間分解能 (1 秒程度)、広い温度範囲 ($10^4 - 10^7$ K) で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測する。太陽大気を網羅して行うシステムティックな観測を通して、宇宙プラズマの理解につながる太陽物理の重要課題に Solar-C EUVST は挑む。本講演ではこれらの宇宙プラズマの理解が、Outcome の1つである「生命が誕生した際の太陽地球環境の理解」につながるか、宇宙天気、惑星科学、恒星物理、地球物理学などの様々な視点からどのような戦略で展開できるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201a すばる望遠鏡 – 2020–2030 年代の戦略

吉田 道利 (国立天文台)

すばる望遠鏡は米国ハワイ州マウナケアに設置された口径 8.2m の光学赤外線望遠鏡であり、ファーストライトから今年で 20 周年を迎えた。この間、日本の光赤外線観測の基幹望遠鏡として、あらゆる天文学分野において著しい成果をあげてきた。すばる望遠鏡による総論文数は 1900 編を超え、望遠鏡 1 台あたりの年間論文出版数は、他の 8–10m 級望遠鏡と比較しても常にトップクラスである。2014 年から科学観測を開始した Hyper Suprime-Cam (HSC) は、直径 1.5 度角の視野と優れた空間解像力をもつ可視光カメラで、進行中の戦略枠プログラムからは投稿中のものを含め 100 編以上の論文が生み出されており、今年 5 月に 2 回目の public data release を行った。来る TMT 時代に向け、すばる望遠鏡はその強みを一層活かす新たな段階へと突入するべく取り組みを進めている。まず主焦点で約 1.3 度角の視野にファイバーを配置し、2400 天体について同時に 380nm–1260nm の広い波長域のスペクトルを得ることが出来る Prime Focus Spectrograph (PFS) の開発が、東京大カブリ IPMU を中心とした国際チームによって進められている。PFS を使った、宇宙論・銀河進化・銀河考古学を三つの柱とする戦略枠プログラム (大規模サーベイ) が計画されている。さらに、すばる望遠鏡の広視野観測能力を近赤外線に拡張すべく、可変副鏡を用いた地表層補償光学を実現する ULTIMATE-Subaru 計画について本格的な検討を開始した。これらの装置による 8–10m 級望遠鏡として類をみない広視野観測に注力することで、すばる望遠鏡自体で世界最先端の研究を引き続き可能にするにとどまらず、TMT での詳細観測のためのターゲットを提供する。本講演では、これらの新装置計画の紹介に加え、WFIRST などの次世代の宇宙望遠鏡との連携や、国際共同運用、同じマウナケアに建設される TMT との一体運用など、すばる望遠鏡の 2020–2030 年代の戦略を概説する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z202a TMT 計画 – 概要

白田 知史 (国立天文台)

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。従来の口径 8-10m の光学赤外線望遠鏡に対し 10 倍以上の集光力、3 倍以上の解像度、点光源に対して 100 倍以上の感度という過去に類のない性能向上を実現することにより、現代天文学の重要課題に対して既存の望遠鏡では成しえない成果をあげる。特にマウナケア山頂の立地条件を活かした高感度赤外線観測により、太陽系外の生命の存在可能性がある領域において地球型惑星を直接検出する。また、圧倒的な集光力を活かした分光観測により、惑星大気を透過してくる星の光を分析して生命に関連する物質を探る。そして、これらの性能を活かし、ビッグバン後に最初に生まれた星からの光を直接検出して初期宇宙の天体形成を解明する、宇宙膨張史を遠方の銀河間物質の赤方偏移の時間変化という直接的な方法で測定して暗黒エネルギーの性質を明らかにする、といった挑戦的な課題にも取り組む。

TMT の進捗状況としては、国内では主鏡材の製造と非球面研磨の加工が順調に量産され、海外への主鏡材の出荷も進んでいる。望遠鏡本体は詳細設計を終え、2018 年度から製造のための図面作成を進めている。第一期観測装置 (IRIS, WFOS) は、日本の分担箇所の設計・検討・開発を先端技術センターで進めている。第二期観測装置の検討も国際協力で進めている。そして、大学共同利用にむけ、天体探査能力に秀でたすばる望遠鏡で地球型惑星や超遠方銀河の候補天体を検出し、TMT で高感度分光観測を実施するといった連携観測を推進できる運用体制の整備を進めている。2017 年にハワイにおいて建設のための保護地区利用許可が承認され、2018 年には現地建設準備を行った。2019 年から現地建設を実施し、2030 年代の天文学研究およびを関連学術分野の発展に寄与する。

本講演では、TMT プロジェクトの概要について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203r すばると TMT によるマルチメッセンジャー天文学

田中 雅臣 (東北大学)

2017年、重力波望遠鏡 LIGO・Virgo によって中性子星合体からの重力波が史上初めて検出され、電磁波対応天体の観測が実現した。同年には IceCube で検出された高エネルギーニュートリノの電磁波対応天体として明るさが変動するブレーザーが観測され、宇宙からやってくるあらゆるシグナルを駆使する「マルチメッセンジャー天文学」が可能となっている。重力波源である中性子星合体の観測は宇宙における重元素の起源の解明に、また、高エネルギーニュートリノ源の観測は高エネルギー宇宙線の加速源の解明につながると期待される。このように、マルチメッセンジャー天文学は我々の宇宙の構成要素の起源を明らかにするための新たな手段となっている。

重力波・ニュートリノともに、検出された際の位置の決定精度は1度以上であり、電磁波による対応天体の同定と詳細な観測が必要不可欠である。すばる望遠鏡は大望遠鏡としては世界一の視野を誇り、重力波・ニュートリノの電磁波対応天体の探査に最適な望遠鏡である。さらに、対応天体の確実な同定には分光観測が必要であり、TMT による分光観測が威力を発揮する。

講演では、中性子星合体をはじめとする重力波源、低エネルギーニュートリノ源である銀河系内超新星爆発、さらに高エネルギーニュートリノの対応天体を例にとり、すばると TMT の連携によって拓かれるマルチメッセンジャー天文学の展望について述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a すばる広視野探査と TMT 分光による IceCube 高エネルギーニュートリノの超新星爆発起源説の検証

諸隈智貴, 森田雅大 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 内海洋輔 (SLAC), 冨永望 (甲南大学), 吉田道利 (国立天文台), 太田耕司, 山中雅之, Herman Lee (京都大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 川端弘治, 笹田真人 (広島大学), 井上芳幸, 長滝重博 (理研), 土居明宏 (ISAS/JAXA), 吉田滋 (千葉大学)

2011 年の南極氷河における IceCube 実験の開始以降, TeV-PeV 帯の高エネルギーニュートリノが検出され, 宇宙 (地球外) から到来する高エネルギーニュートリノイベントが確かに存在することが明らかになってきた. 高エネルギーニュートリノを生成しうる天体として, ブレーザーにおける活動銀河核ジェット, 特殊な超新星爆発, ガンマ線バーストなどの理論モデルが提唱されているが, これまでに対応天体の同定が報告されたのはブレーザーのみである. すでに, Fermi ガンマ線カタログと高エネルギーニュートリノの到来方向・時刻の相関から, 全高エネルギーニュートリノに対する寄与はブレーザーに対して 27%以下, ガンマ線バーストの即時放射に対して 1%以下であることが示されており, 超新星爆発に対する観測的制限が強く望まれている. しかし, ニュートリノ源の典型的な距離として期待される遠方宇宙 ($z \sim 1$) において, 高エネルギーニュートリノを放射すると考えられているタイプの超新星を IceCube ニュートリノの到来方向決定精度 (~ 0.5 度角以上) 内の領域に発見するためには, 8m 級望遠鏡の広視野装置, つまり, すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam がほぼ唯一の解となる. 一方で, 候補天体を発見した際の超新星のタイプ分類は, 8m 級望遠鏡では容易ではなく, TMT などの 30m 級望遠鏡での可視分光観測が望まれる. すばる広視野探査と TMT 分光のタッグによって, この分野において大きなブレイクスルーが期待される.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z205a 重力波観測ラン O3 における J-GEM のすばるでの観測状況と TMT との連携

大神隆幸, 富永望 (甲南大学), 吉田道利, 柳澤顕史 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 笹田真人 (広島大学), 諸隈智貴, 新納 悠, 鹿内みのり (東京大学), 内海洋輔 (スタンフォード大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 森鼻久美子, 亀井悠平 (名古屋大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 松林和也 (京都大学), 宝田拓也 (埼玉大学), 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 関口雄一郎 (東邦大学), J-GEM Collaboration

LIGO/Virgo による 2015 年の重力波の初検出を皮切りに重力波天文学が開拓され、さらに中性子星連星合体イベント GW170817 における電磁波での対応天体同定により、マルチメッセンジャー天文学の新しい扉が開いた。日本では J-GEM (Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up) を組織し、日本の国内外の可視・近赤外線望遠鏡での重力波の即時フォローアップ観測を行っている。その中でも視野 1.8 平方度のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) は、10 ~ 100 平方度に及ぶ重力波望遠鏡の位置決定精度に対して必要不可欠な北天で広視野観測を実現する 8m 級望遠鏡唯一の装置として注目される。特に重力波望遠鏡が目標感度に到達し 200Mpc の距離の中性子星合体の検出が可能になると、HSC 以外にその対応天体を検出することは不可能である。一方で、候補天体を他の変動天体と分離すること、どんな元素がどれだけ形成されたかを決定するために分光観測の実施が不可欠である。HSC のみが検出可能な電磁波対応天体の分光は現在の 8m 望遠鏡では不可能であり、それが可能な TMT との連携は重力波とのマルチメッセンジャー天文学において重要な要素である。

2019 年 4 月から重力波の 3rd Observing Run (O3) が始まり、5 月 19 日現在までに検出された複数イベントの中の 3 つが中性子星を含むと示唆されている。HSC はその中の 1 つのイベントに対してサーベイ観測を実施した。本講演では J-GEM におけるすばる望遠鏡の重要性と観測の実施状況、および TMT との連携計画を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z206r すばると TMT の連携で拓く宇宙論

高田昌広 (東京大学)

すばる望遠鏡の超広視野主焦点装置 Hyper Suprime-Cam (HSC) および Prime Focus Spectrograph (PFS) は、2020 年代のサーベイ天文学を席卷するユニークな装置である。特に、PFS は、視野 1.3 度を有しながら、約 2400 個の天体の個々について、380 から 1260nm の広範囲波長帯の分光観測を可能にする多天体ファイバー分光器であり、他の口径 8 m 級の望遠鏡では類似した装置計画はない（より正確には、予算が確保できている装置はない）。この HSC と PFS を用いた広天域領域のイメージングおよび分光観測により、天体（星あるいは銀河）の 3 次元分布が得られるだけでなく、宇宙構造の進化を紐解くことが可能になる。一方、30m 望遠鏡 TMT は、圧倒的な大口径により、HSC あるいは PFS で同定されたターゲット天体に対して、角度および波長空間の高分解能の詳細観測から天体の物理量を精密に測定することを可能にする。このように、すばると TMT は相補的であり、その連携で可能になるサイエンスは計り知れない。

宇宙の加速膨張を引き起こすダークエネルギーの正体、また宇宙の構造形成の重力源であるダークマターの性質の解明は、宇宙論および物理学における最重要課題である。本講演では、ダークマターおよびダークエネルギー（より正確には宇宙の加速膨張）を制限するための手法に着目し、すばると TMT の連携で可能になるサイエンスを紹介し、その展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207a 銀河系中心巨大ブラックホールの強重力における一般相対論の検証

齊田浩見 (大同大), 西山正吾 (宮城教育大), 大神隆幸 (甲南大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 美濃和陽典 (NAOJ), 他すばるプロポーザル/科研費基盤 A, B 構成員

すばると TMT で銀河系中心巨大 BH 候補天体 (Sgr A*) を巡る星 S0-2 と S24 の運動を測定することで, 巨大 BH の強重力における一般相対論の検証が, 未知の精度で実施できる。その概要は以下の 3 点にまとまる:

(1) 星 S0-2 と S24 から届く光のドップラー効果の一般相対論的な表式を [星が感じる重力ポテンシャル]/[星の質量エネルギー] でテイラー展開した『1 次項 (BH 質量に起因する相対論効果)』が, すばるで測定できる。(我々は 2014 年からモニター観測を継続中。) この測定精度で星の軌道パラメータ, Sgr A* の質量, 太陽からの距離を決める。なお, パルサー等の軽い天体の弱重力でも『1 次項 (天体質量の相対論効果)』は測られている。

(2) 星 S0-2 と S24 が Sgr A* に最接近する際に感じる重力の強度は, これまで光の観測で測られた重力 (Hulse-Taylor パルサー等) よりも約 100 倍 (S0-2) から 10 倍 (S24) も強い。また現在, 星 S0-2 と S24 を十分な精度で観測する手段は世界最大級の赤外線望遠鏡しかない。

(3) TMT では, 上記テイラー展開の『1 次項』の次の効果『1.5 次項 (BH 自転角運動量の相対論効果)』が測定可能だと期待される。パルサー等の軽い天体で『1.5 次項』に相当する相対論効果は未だ測れず, 『1.5 次項』は一般相対論の検証の未知の精度である。なお, TMT の前にすばるで『1 次項』の精度で各種パラメータ値を決めることは, TMT 観測を効果的に進める準備になる。

(まとめ) 以上から, すばると TMT により, 未知の重力強度 (従来 10 – 100 倍) における一般相対論の検証が未知の精度『1.5 次項』で実施できると期待される。本発表では, この研究計画の科学目標を説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z208a Subaru/TMT 近赤外線高分散分光観測による等価原理 (LPI) の検証

西山正吾 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆幸 (甲南大), 濱野哲史, 美濃和陽典, Olivier Guyon, Julien Lozi (国立天文台)

アインシュタインの等価原理は, 次の3つの原理からなる: 1) Weak equivalence principle; 2) Local Lorentz invariance; 3) Local position invariance (LPI). 本講演では, 銀河系中心の巨大ブラックホール (SMBH) 近傍にある星と, 重力レンズクェーサー (QSO) を対象とした, LPI の検証実験計画を紹介する. これらを観測対象にすると, 強い重力場・過去の宇宙 (high z) という異なるパラメータスペースにおける LPI の検証が可能となる.

私たちはすばる望遠鏡を用いて, 銀河系の SMBH を周回する星の近赤外線分光観測を続けてきた. その結果, 星の運動がニュートン重力ではなく, 一般相対論で説明できることを示した (Do et al. 2019, submitted). この研究の次の展開として, 近赤外線高分散観測による LPI の検証を計画している. SMBH を周回する星の吸収線波長を測定することで, これまでにない大きな重力場の「変化」に対する LPI の検証が可能となる (GRAVITY Collaboration 2019, PRL). 私たちは晩期型巨星をモニター観測することで, より高い精度での検証を計画している. TMT の時代には, SMBH により近い, 強い重力場における LPI の検証が可能となる.

また私たちは, 重力レンズを受けた high- z QSO を用いた LPI の検証も進めている. QSO を高分散分光観測すると, スペクトル中に銀河間物質による吸収線がみられる. この吸収線の波長を精密測定することで, 銀河間物質が存在する時間・場所における微細構造定数 α を求めることができる. LPI は, α の値が不変であることを要請する. 私たちはテストケースとして, すばる/IRCS を用いた測定を行なった. 今後は新しい分光器 IRD を用いて観測を進める予定である. TMT/MODHIS によって, より遠い過去の α の測定が可能となる.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209r すばると TMT の連携で拓く 銀河考古学

岡本桜子 (国立天文台/ハワイ観測所)

銀河に含まれるひとつひとつの星の年齢や化学成分、運動情報を調べ、その性質に基づいて銀河全体の形成進化史を紐解く「銀河考古学」や「近傍宇宙論」と呼ばれる分野は、光赤外線観測技術の向上によって近年急速に発展している。現在の大型銀河は、周辺の矮小銀河が重力相互作用で合体と集積を繰り返すことで、階層的に大きく成長してきたと一般に考えられており、古い恒星系成分にはその成長過程が空間分布、化学組成、運動情報の形で残されている。実際に近年、銀河系とアンドロメダ銀河では、複雑な恒星ハロー構造やたくさんの暗い衛星銀河、過去の矮小銀河降着の痕跡などが相次いで発見されており、その階層的構造形成史の一端が明らかになりつつある。

すばる望遠鏡の HSC が持つ超広視野は、銀河系とアンドロメダ銀河の恒星ハローの深探査、また局部銀河群を超えて近傍銀河にまで銀河考古学を展開するのに非常に強力な能力であり、すばる戦略枠サーベイやインテンシブプログラム等で研究が進んでいる。また PFS による多天体分光観測では、銀河系、アンドロメダ銀河および局部銀河群の矮小銀河の、古い恒星の動力学構造を通じた暗黒物質分布の解明と、またそれらの星の化学組成に基づく星形成/化学進化史の解明が期待されている。さらに TMT では、WFOS や HROS を用いて銀河系から近傍銀河までのより暗い恒星をターゲットとして化学動力学情報を引き出すことができるほか、IRIS と AO による回折限界の撮像と分光では、銀河系中心からおとめ座銀河団の楕円銀河まで恒星分離に基づく研究が可能になると見込まれる。本講演では、すばる望遠鏡による銀河考古学研究の最前線を紹介し、またすばると TMT の連携で取り組むべき銀河考古学の問題について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z210r 系外惑星科学の現状整理と展望

生駒 大洋 (東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻)

宇宙望遠鏡 Kepler が大成果を挙げ、惑星系が太陽系外に普遍的に存在し、かつ非常に多様であることが揺るぎのない事実となった。そして、昨年 TESS が打ち上げられ、全天サーベイによる太陽近傍星まわりの惑星探索が始まった。これは、惑星のサイズや質量・軌道要素などの基本的な特徴に加えて、惑星大気の成分や温度・雲の有無・循環など詳細な特徴を得るために十分に明るいターゲットを探すための計画である。さらに今後打ち上げが計画されている CHEOPS や JWST・ARIEL・WSO-UV など複数の宇宙望遠鏡が、そうした系外惑星の特徴付けに活躍すると期待される。こうしたトランジット観測に基づいた中心星近くを回る（短周期の）系外惑星に関する動きがある一方、マイクロレンズや直接撮像法等による中周期や長周期の惑星探索は今後も続き、太陽系のように比較的広がった惑星系がターゲットとされ、いよいよ第二の太陽系、第二の地球の発見へと期待が高まっている。本講演では、系外惑星科学のこうした世界的動向を整理し、今後を目指すべき方向について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211a TMT時代の系外惑星観測と観測装置

田村元秀（東京大学, アストロバイオロジーセンター）

すばる望遠鏡は、8m望遠鏡では初めてとなるコロナグラフ（CIAO）を第一期装置から準備し、直接観測に先鞭をつけた。その後、次世代のコロナグラフ HiCIAO と補償光学 AO188 を用いた第一次すばる望遠鏡戦略枠観測として、系外惑星と円盤のサーベイ（SEEDS プロジェクト）を 2009 年から 2015 年まで進めた。その結果、「第二の木星」と呼べる遠方系外惑星の発見や太陽系スケールでの原始惑星系円盤の微細構造（渦巻腕や間隙）を多数の円盤に発見するなど、今日の ALMA の高解像度円盤観測に繋がる成果があった。その後、2000 素子相当の超補償光学 SCExAO と面分光装置 CHARIS が完成し、新たな成果も出ている。いっぽう、近傍の軽い恒星まわりの地球型惑星探査のための赤外線視線速度装置 IRD（InfraRed Doppler）も完成し、サーベイを開始した。このような発見の時代に引き続き、今後は地球型惑星を含む系外惑星惑星の特徴づけと生命の探査に向かう上で TMT や次期スペース望遠鏡は不可欠な望遠鏡であり、そのための観測装置開発が喫緊の課題となっている。本講演では、すばるの今後の計画とそれをプラットフォームとする TMT のための観測装置開発について紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z212a TMT/IRIS による太陽系外縁天体の近赤外線分光観測

寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (千葉工業大学), 関口朋彦 (北海道教育大学), 阿部新助 (日本大学), 石黒正晃 (ソウル大学), 白井文彦 (神戸大学), 大坪貴文 (JAXA), 河北秀世, 新中善晴 (京都産業大学), 高遠徳尚 (国立天文台), 長谷川直 (JAXA), 渡部潤一 (国立天文台)

海王星軌道以遠に分布する太陽系外縁天体は、太陽から遠方の低温領域にある始原的な小天体集団であり、太陽系の形成・進化過程を理解する上で重要な研究対象である。特にその表層に含まれる氷分子の組成は、原始太陽系円盤内の物質分布や氷微惑星の熱進化・化学進化を示すトレーサーとして大変有用な情報をもたらす。

これまでに大型望遠鏡による外縁天体の近赤外線分光観測が多数実施されており、数十個の天体から H_2O 氷や CH_4 氷が検出されている。しかし、その他の分子種 (N_2 , CO , CH_3OH , NH_3 など) はごくわずかな天体からしか検出されていない。また、主成分である H_2O 氷も比較的小さな天体からは検出されない例が多く、天体表層での諸現象 (太陽風・宇宙線被曝、微小隕石衝突、氷火山など) が H_2O 氷の含有量や構造に与える寄与についても不明な点が多い。外縁天体の表層組成とその普遍性・多様性を明らかにするには、さらなる強力な観測が不可欠である。

本講演では TMT の第一期装置である IRIS での近赤外線分光観測によって大きな進展が期待される外縁天体サイエンスを議論する。中でも (1) H_2O 氷存在度と天体サイズの関係、(2) H_2O 氷結晶度とバルク密度の関係、(3) 希少分子種 (特に CH_3OH 氷) の検出、の3点について観測提案を行いたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z213a すばる+TMTで切り拓く星・惑星形成

本田充彦 (岡山理科大学), 大朝由美子 (埼玉大学), すばる+TMTサイエンスブック・星惑星系星検討グループ

本講演では、これまでもたらされてきたすばる望遠鏡による星・惑星形成研究における成果を概観し、TMTでもたらされる星・惑星形成研究のブレイクスルーについて、サイエンス検討グループで議論されてきた内容について紹介する。具体的には、2011年のTMTを用いたサイエンス検討の際の以下のトピックについてのアップデートおよび新しい検討内容をかいつまんで紹介する予定である。

星形成：

- 「赤外線領域での高分散分光観測による新しい星間分子の探査」
- 「若い星の質量と年齢、初期質量関数」
- 「TMTによる若い星からのジェット・アウトフロー現象の観測的研究」
- 「大質量星形成」

惑星形成：

- 「星周円盤の詳細構造の観測」
- 「原始惑星系円盤の固体物質分布観測」
- 「円盤における磁場構造」
- 「水素分子輝線で探る原始惑星系円盤ガス散逸機構」
- 「原始惑星系円盤ガス中の有機分子の空間分布」

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Z214a 星団が決める漸近巨星枝星の進化

板由房、児玉忠恭(東北大学)、中田好一(東京大学)

銀河年齢が1Gyrを超えると、漸近巨星枝(AGB)先端星からの光が特に長波長域で支配的となる。したがって、銀河全体のSEDを解析する際に、静止系近赤外域ではAGB星進化の、静止系中間赤外域ではAGB星マスの、正しい知識が必須である。残念ながらAGB星進化モデルはまだ第1原理計算のレベルに到達していない。したがって、AGB星進化を初期星質量とメタル量の関数として観測的に定めなければならない。幸い、AGB星の寿命は主系列星に比べて短く、年齢、メタル量が既知の星団におけるAGB星の色等級図が得られれば、AGB上での星の分布から、AGB星進化を観測的に較正することが可能となる。

そこで我々は、年齢-メタル量空間を可能な限り広くカバーする星団サンプルを集め、それら星団の多色撮像から巨星枝色等級図を作る観測計画をスタートさせた。計画の第1段階は星団のリスト作成である。星団の規模は重要で、総星数で3万個以上ないと有意な数のAGB星が集められない。銀河系球状星団は年齢8-10Gyrで $[M/H] < -1$ の良いサンプルを提供してくれる。残念ながら、散開星団は小質量なため合算しても我々の目的に必要な数が集められるかどうか分からない。LMC/SMC星団は1-3Gyr, $[M/H]=[-1,-0.5]$ の区間をカバーする。したがって、年齢3-8Gyr, $[M/H]=[-2,0]$ と年齢1-3Gyr, $[M/H]=[-0.5,0]$ の大きな星団を見つけることが重要である。第2段階はすばるを使い、局所群中の星団の多色撮像観測を行うことである。我々の評価ではすばるを用いた場合、約12.5Mpc内にある $M_K < -7.5$ 等の星が観測可能で、リゾルブ可能な星団であれば上部AGBの色等級図が得られると予想される。第3段階はTMTを使いさらに遠方の銀河で同様の星団観測を行う。ここで決定的な問題となるのは、おとめ座銀河団中の星団を観測可能かということである。講演では計画の概要を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Z215r すばると TMT の連携で拓く 2020 年代の銀河天文学

柏川伸成 (東京大学), 「すばる+TMT サイエンスブック」銀河班

本講演では、すばる望遠鏡と TMT が一体となって取り組むべき銀河天文学に関わるサイエンステーマについての検討結果を報告する。銀河進化研究は 1990 年代後半からの大型望遠鏡の登場と宇宙望遠鏡の活躍で飛躍的に進展したが、それらの観測装置を能力の限界近くまで使った観測成果の積み上げを経て、宇宙の歴史を通じた銀河進化の全貌の理解のために明らかにすべき課題が浮き彫りになってきている。本検討グループでは、2020 年代以降にも研究の中心となると考えられる課題として、1. 初代星、初代銀河 (宇宙最初の天体形成) と宇宙再電離、2. 巨大ブラックホールの形成と銀河との共進化、3. 銀河形成と周辺ガスの流出入との関わり (銀河周辺ガス (CGM) とフィードバック)、4. 銀河の形態の起源と活動性の終焉、を 4 つの大きな柱として立てた。その上で、類をみない広視野観測を展開するすばる望遠鏡と、従来の地上望遠鏡を凌駕する集光力と解像度を実現する TMT を有機的に組み合わせて初めて実現するテーマを定め、特に独自性と実現可能性を重点的に検討した。さらに新観測装置提案、望遠鏡運用への提言もあれば併せて報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z216a ULTIMATE-Subaru:TMT 時代に向けたすばる望遠鏡の赤外線広視野戦略

小山佑世, 美濃和陽典, 大野良人, 田中壺, 三枝悦子, 沖田博文, Christophe Clergeon, 服部堯, 早野裕, 岩田生, 吉田道利 (国立天文台), 秋山正幸, 児玉忠恭 (東北大学), 本原顕太郎, 小西真広 (東京大学)

国立天文台ハワイ観測所では、すばる望遠鏡の次世代補償光学システムとして、広い視野にわたって星像を改善する地表層補償光学 (GLAO) の開発・検討を進めている (ULTIMATE-Subaru 計画)。我々のシミュレーションによれば、マウナケアは GLAO に適したサイトであり、標準的な大気条件において、視野直径 20 分角にわたり K バンド帯で 0.2 秒角の空間解像度が実現できる。これは宇宙望遠鏡に匹敵する解像度であり、HSC/PFS に続くすばる望遠鏡の広視野戦略のもう一つの柱として、特に赤外線域での広視野探査能力を飛躍的に向上するものである。本プロジェクトは 2019 年度より国立天文台の A プロジェクトとして正式にスタートを切ったところであり、2026 年のファーストライトを目指して急ピッチで検討を進めている。

ULTIMATE-Subaru は特に赤外線域での高い感度・解像度を必要とする超遠方宇宙の開拓や塵に埋もれた領域の観測に威力を発揮する。また、銀河団や AGN など、個数密度の小さい稀な天体を探査するうえでは広視野での観測が欠かせない。ULTIMATE-Subaru は「広視野かつ高解像度」を実現し、近赤外広視野探査によって宇宙の構造形成の歴史なかで育まれる銀河進化のドラマをシャープに描き出すことを目指している。本講演では、ULTIMATE-Subaru のプロジェクトの現状をまとめるとともに、遠方銀河・近傍銀河・銀河系サイエンス、さらに時間軸天文学への応用例など、天文学の幅広い分野において広視野かつ高解像度の赤外線観測によって広がるサイエンスを紹介し、TMT へのすばる独自のターゲット供給源として ULTIMATE-Subaru が果たす役割を議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z217a 星形成領域のマッピングで明らかにする遠方星形成銀河の構造進化

鈴木智子 (東北大学/国立天文台) 他

銀河内部のどこで活発に星形成が行われているのかを調べることは、銀河の構造進化を直接捉えることになり、どのような物理過程がその進化に寄与しているのかを理解する上で重要な情報となる。我々は、すばる望遠鏡の補償光学装置と K バンド帯の狭帯域フィルターを組み合わせることで、 $z \sim 2-2.5$ の時代の星形成銀河内部の星の連続光と星形成活動の指標となる $H\alpha$ 輝線を 0.1–0.2 秒角の分解能で捉えるという観測を行った。この観測を通して実際に遠方銀河内部の星形成領域の分布を捉え、星の構造に対する広がり調べることで銀河の構造がどのように進化しているのかを議論することが可能となった。しかしながら、現在の研究は、スタッキング解析によって平均的な内部構造の調査を行ったものであるとともに、サンプルは比較的星質量の大きい銀河に限られている。

TMT の時代には、より高い空間分解能とより高い集光力を生かして、より低星質量の星形成銀河についてまで個々の内部構造を淡い構造まで捉えて詳細に調べることが可能となると考えられる。最近では ALMA を用いて、ハッブル宇宙望遠鏡や AO を用いた観測よりもさらに高い空間分解能で、遠方銀河内部の強いダスト放射を放つ活発な星形成領域を捉えるという観測も行われてきているが、TMT はそれと同じ空間分解能を達成することができ、ALMA との連携も期待される。本公演では、特に銀河形成最盛期の星形成銀河の内部構造に関する研究について、TMT の時代にこういったことが期待されるのか、我々のこれまでの AO を用いた研究と ALMA との連携ということを踏まえて発表したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218a すばる・TMT 連携による遠方クエーサー研究

松岡良樹 (愛媛大学)

重力波観測によるブラックホール合体イベントの検出、Event Horizon Telescope によるシャドウ撮影成功などによって、クエーサーを含む巨大ブラックホール研究は今まで以上にホットな分野となってきた。一方で光赤外線観測は依然としてクエーサーの主要な観測手法であり、地上大型望遠鏡が果たすべき役割は大きい。銀河に比べると、クエーサーは天球面密度が小さく、また形態によって星など他の天体種族から区別することが難しいことから、「広視野」「分光」という2つのキーワードが非常に重要となる。広視野の撮像・分光観測を組み合わせた Sloan Digital Sky Survey がこの分野に大きな進展をもたらしたのが、その好例であろう。

本講演では、特に我々が現在取り組んでいる遠方クエーサー探査を1つの例として、すばると TMT の連携によるサイエンスを考えてみたい。実際にすばるの Hyper Suprime-Cam による広域探査によって、多くの遠方クエーサー候補が発見されつつあるが、最も暗く最も重要かもしれない候補については、8m の主鏡では分光同定を行うことが現実的に困難である。また分光同定が可能であった天体についても、現在達成可能な感度や空間分解能では、ブラックホールや母銀河の性質を十分に追調査することができない。これらの問題のどれだけを TMT が解決するのか、どれだけを TMT の先まで待たねばならないのかも含めて、議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z301r トリガーによる星形成

福井康雄 (名古屋大学)

星形成の基本は磁気乱流状態にある星間雲の自発的な重力収縮であり、研究の大勢は「閉じた系での星形成」に限られている。しかし、もし外部からのトリガーが有効であるとする、トリガーによって分子雲は圧縮されより大きな質量が小さな空間に集中する。その結果、星形成につながるガス質量を制御し、大質量星・星団の形成と星の質量関数に影響を与えるポテンシャルがある。さらに、球状星団を含む巨大天体の形成につながる可能性も高い。トリガーの系統的な研究なくして星形成論は完結しない。文献で議論されてきた「個々の星形成に直結するトリガー」として、大質量星の解放するエネルギーによる圧縮と、星間雲衝突による圧縮がある。前者については、紫外線のつくる電離面によるガスの加速・圧縮が有力である (e.g., Deharveng+ 2006 A&A 433, 565; Hosokawa & Inutsuka 2015 ApJ 623, 917)。一方、星間雲衝突は電離を伴わない圧縮を実現する (Habe & Ohta 1992 PASJ 44, 203; Inoue & Fukui 2013 ApJ 774, 31)。衝突運動は銀河面内の重力、銀河間相互作用 (e.g., Fukui+ 2017 PASJ 69, 5) などによって駆動されるので、トリガーのスケールは pc 以下から kpc におよぶ。大質量星による圧縮は理論的にはもっともらしいが、実は分子雲が HII 領域によって圧縮されているという観測的証拠はない。この理由として、分子雲の高度にクランピー分布が重要な役割を果たし、電離面による加速が実質的に効かない可能性が高い。一方、2010 年前後から星間雲衝突によるトリガーの観測例が増え、注目される。すでに 50 以上の観測例において若い O 型星は衝突する星間雲の境界面で形成されていることが明らかにされた (e.g., Fukui+ 2018 ApJ 859, 166)。本講演では、トリガー研究の到達点を提示するとともに、宇宙進化の全タイムスケールにわたる星形成論における今後の課題を議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z302a CARMA-NRO Orion データと IN-SYNC データによるオリオン A 分子雲での分子雲衝突説の検証

中村文隆 (NAOJ)、Wanggi Lim(SOPIA)、Benjamin Wu (NAOJ)、Tomas Bisbas (Univ. of Koln), Jonathan Tan (Chalmers/Virginia), 他 CARMA Orion Team

星形成の母胎となる分子雲の形成過程を探ることは、星形成過程を解明する上で重要な問題である。しかし、現在の星形成領域の様子から過去のイベントを知ることは容易なことではない。分子雲の形成過程・星形成過程については、銀河ガス円盤の自己重力不安定やパーカー不安定による large-scale 不安定性説や分子雲衝突・超新星爆発や OB 型星の星風などによるトリガー説などが昔から議論されている。

本研究では、ケールスタディとして、オリオン A 分子雲の形成メカニズムについて、長年議論されてきた分子雲衝突の可能性 (Hartman & Burkert 2007, Fukui et al. 2018) について、最新の広域高角分解能データを用いて、検証を行った。検証に用いた観測データは、CARMA 干渉計と野辺山 45m 鏡で取得した ^{13}CO ($J = 1 - 0$) 輝線データ (前々回の年会で記者発表, P106b) と SDSS-III APOGEE の IN-SYNC 原始星データ (Da Rio 2016, 2017) である。両者のデータともマップの実効角分解能は $5'' - 8''$ (~ 2000 AU) ほどであり、ピクセルレベルで速度差を直接比較できる。さらに、北側の領域に関しては SOPIA の CII データも用いた。

我々の解析から、オリオン領域では、原始星、 ^{13}CO , CII の間に数 km s^{-1} 程度の速度差があることがわかった。この速度差は、Wu et al. (2017, see also Bisbas et al. 2017) の分子雲衝突シミュレーションによる予想と矛盾しない (Lim et al. in prep.)。これらの事実だけで、オリオン A 分子雲での分子雲衝突説が強く支持されるものではないが、さらに様々な観点から調べることでオリオン A 分子雲の形成過程に迫れると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z303a NGC 2023 における大質量星形成

山田麟, 立原研悟, 榎谷玲依, 林克洋, 河野樹人, 佐野栄俊, 堤大陸, 柘植紀節, 藤田真司, 松永健汰, 大野峻宏, 福井康雄 (名古屋大学)

NGC 2023 は、B1.5 型星 HD 37903 に照らされた反射星雲である。NGC 2024 と連続した分子雲が周囲を取り巻いており、オリオン B 分子雲の南の星形成領域である (Abt & Levato 1977)。HD 37903 が属する星団には 20 個以上の Class I/0 天体が同定されており、現在も星形成が進行中の若い星団と考えられている。この星団は、馬頭星雲同様、O9.5 型星 σ Ori をソースとする電離水素領域 IC 434 の縁に位置するため、電離水素領域の膨張が形成をトリガーしたと考えられている (e.g., Mookerjea et al. 2009)。一方近年、大質量星の形成が分子雲同士の衝突によりトリガーされたという観測的証拠が 50 例以上報告されている (e.g., Fukui et al. 2018)。そこで我々は、オリオン座分子雲全体をカバーする NANTEN 4-m 望遠鏡 (分解能 0.5 pc)、大阪府立大学 1.85-m 望遠鏡 (分解能 0.5 pc) の $^{12,13}\text{CO}(J=1-0, 2-1)$ データに加えて、野辺山 45-m 望遠鏡 (分解能 0.04 pc) を用いて星団の周囲 $24' \times 24'$ の $^{12,13}\text{CO}$, $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ のデータを取得した。これらのデータから $^{12,13}\text{CO}$ において、視線速度 $\sim 10 \text{ km s}^{-1}$ (Blue Cloud) と $\sim 12 \text{ km s}^{-1}$ (Red Cloud) の、二つの分子雲が存在することがわかった。野辺山 45-m 望遠鏡のデータから、Red Cloud は 2 pc 程度の広がりを持ち、HD 37903 を中心とする円弧状の分布が示された。Blue Cloud は 1 pc ほどの広がりを持ち、縁上に HD 37903 を置く円形の分子雲で、先述の分子雲によって囲まれていた。さらに、両者が位置速度図上でつながっていること、中間速度成分が HD 37903 の方向に集中することを明らかにした。これらは、分子雲同士が衝突している証拠である。本講演では、NGC 2023, NGC 2024 双方において、分子雲同士の衝突が大質量星形成をトリガーした可能性を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z304r 初期宇宙における天体形成：周辺環境とトリガーについて

鄭昇明 (東北大学)

構造形成途上である宇宙初期の星形成過程は現在に比べて比較的簡素であると信じられているが、それでも周囲の環境に起因する多様性を示すことがわかってきた。重元素を含まない始原的環境に限っても、周囲の星形成領域からの輻射などのフィードバックが形成される星の性質に大きな影響を及ぼす。例えば熱進化に着目すると、孤立した環境においては始原的ガス雲は水素分子によって冷却する。一方で、星形成領域の近傍では輻射により水素分子が解離されるためガス雲の温度が大きく上昇する。結果として最終的に形成される星の質量は、孤立系では典型的に $100 M_{\odot}$ であるのに対して、輻射の強い環境下では $10^5 M_{\odot}$ に達すると考えられている。

このような初代天体の形成過程は、近年では大規模な宇宙論的シミュレーションを用いて統計的に調べられている。これによりこれまで顧みられることのなかったいくつかの効果が見られるようになった。本講演では特に星形成領域の近傍における初代天体の形成過程に着目することで、銀河スケールでのフィードバックを含めた環境効果が天体形成に及ぼす影響を紹介する。このような領域では輻射フィードバックや銀河からの潮汐力により、ガス雲の冷却・収縮は阻害されるため星形成は大きく抑制される。一方でガス雲同士の衝突により中心密度が上昇すると、星形成がトリガーされることがわかった。また電離輻射によるガス雲の加熱によるショックも星形成のトリガーとして重要な働きをする場合があることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z305a 大質量星近傍分子雲コアの紫外線光蒸発：輻射駆動爆縮とコア寿命の金属量依存性

仲谷峻平 (理化学研究所), 吉田直紀 (東京大学)

巨大分子雲中の大質量星形成領域では、大質量星が近傍にある分子雲を照らす。分子雲はその強い紫外線により表面が高温に加熱され、その進化初期に冷たい内部領域に向けた輻射駆動爆縮 (radiation-driven implosion; e.g., Tenorio-Tagle 1977) が起こる。輻射駆動爆縮は、大質量星周りの分子雲内で星形成を誘発できる重要な過程である。大質量星の紫外線は爆縮による星形成を誘発する一方、分子雲表面から物質を蒸発させ (光蒸発; Bertoldi 1989; Bertoldi & McKee 1990) 分子雲を消散させる効果も持つ。分子雲の光蒸発については Oort & Spitzer (1955) を始めとして、これまで多くの数値的・解析的研究が行われてきた (e.g, Tenorio-Tagle 1977; Lefloch & Lazareff 1994; Bertoldi 1989; Bertoldi & McKee 1990) が、全て太陽金属量環境での分子雲蒸発のみが考えられてきた。マゼラン雲や初期宇宙などの低金属量環境では、金属やダストによる放射冷却率や遠紫外線光電加熱率が低くなるため、分子雲の物理的・熱化学的進化が太陽金属量環境のものとは異なると期待される。分子雲の光蒸発は、巨大分子雲中の星形成効率およびコア質量分布関数に影響するため、星形成・銀河進化の文脈で重要である。特に、低金属量環境での分子雲光蒸発は、高赤方偏移銀河などの星形成効率に関わる。本研究では様々な金属量環境における光蒸発中の分子雲の進化とその寿命の金属量依存性を、3次元輻射流体シミュレーションの遂行により系統的に明らかにする。本研究の結果、低金属量ほど、爆縮によって高温になった分子雲内部を金属による放射により効率的に冷却できないため、分子雲が紫外線を受ける表面積が大きくなり寿命が短くなることが明らかとなった。特に、極低金属量 (太陽金属量の 100 分の 1 以下) 環境下では寿命が太陽金属量環境下の 10 倍程度短くなる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z306a Secondary proto-star formation triggered by spiral-arm instability

井上 茂樹 (筑波大学 / 国立天文台), Thomas Greif (Universität Heidelberg), 吉田 直紀 (東京大学)

初期宇宙で形成する初代星の質量関数は、後に続く星・銀河の形成に大きく影響する。観測的にそれを知ることは非常に困難であり、そのため主に理論的研究による予測が重要視されている。先行研究で行われたシミュレーションの結果では、初代星の質量関数は、現在の銀河において求められたそれとは大きく異なり、大質量星に大きな比重を持った分布をしていることが知られている。しかし、こうした初代星形成に注目したシミュレーション研究では、実際の星が形成する物理スケールは空間的に分解しないようにする手法が取られることもある。最終的に形成する星の質量はこうした小スケールで生じる現象にも左右される可能性もある。先行研究の Greif et al. (2012) では、星の半径以下のスケールまで分解したシミュレーションを行い、星から数 AU の距離においても渦状腕の分裂が生じ、2 次的な星形成が起こることを示した。このように、渦状腕の分裂過程は初期質量関数の決定において重要な役割を果たしていると期待される。

我々は先行研究において、渦状腕の線形解析に取り組み、渦状腕の分裂を引き起こす自己重力不安定性パラメータを解析的に得ることに成功した (Inoue & Yoshida 2018, 2019)。本研究ではこの不安定性解析を、渦状腕の厚みや差動回転の効果を含むように改良した上で、先述の Greif et al. (2012) のシミュレーション結果に適用し、初代星の星周円盤で生じる渦状腕分裂の物理的メカニズムを明らかにする。結果として、初代星の星周円盤の渦状腕の分裂は、我々の解析結果によく一致するものであった。このことから、初代星の伴星を形成する渦状腕分裂は、腕の自己重力による力学的不安定によってトリガーされていることが分かった。さらにこの結果は、広く議論されているガス冷却の効果による不安定性 (Gammie 2001) ではないことを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z307r ALMA View of Molecular Cloud Cores in the Galactic Center 50 km/s Cloud: Molecular Cloud Cores made by Cloud-cloud Collision

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS), Kenta Uehara (Univ. Tokyo), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum)

The Galactic center 50 km/s molecular cloud (50MC) is most remarkable in the Sgr A region. There are several compact HII regions associated with the cloud. While the cloud has a cloud-cloud collision site because an enhancement in the SiO $J = 2 - 1$ emission line had been found by the NRO 45-m telescope. Then the 50MC would be a candidate for the massive star formation induced by CCC. In addition, the previous observation with NMA in the CS $J = 1 - 0$ emission line had found a top-heavy core mass function (CMF) in the 50MC. The observations of the 50MC would be important for all studies of star formation in galactic nuclei as a template.

We observed the whole of the 50MC with a high angular resolution ($\sim 2''$) in ALMA cycle 1 in several molecular emission lines including the H^{13}CO^+ $J = 1 - 0$ and C^{34}S $J = 2 - 1$ emission lines. We identified 241 and 129 bound cores with a virial parameter of less than 2 in the emission lines using the clumpfind algorithm, which are thought to be gravitationally bound. The bound cores are distributed in the CCC site selectively. The biased distributions suggest that the CCC compresses the molecular gas and increases the number of the dense bound cores. Additionally, the massive bound cores exist only in the CCC site, although the slope of the CMFs are not different in or out the site.

We will present the details of our ALMA observation and analysis with the data.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z308a Massive Star Formation triggered by Cloud-Cloud Collision: Effects of Magnetic Field and Collision Speed

Nirmit Sakre, Asao Habe, Alexander Pettitt, Takashi Okamoto (Hokkaido University)

We study the effects of the magnetic field and the collision speed on the massive star formation triggered by the cloud-cloud collision. We perform sub parsec ($\approx 0.015\text{pc}$) magneto-hydrodynamic simulations of two unequal molecular clouds with internal turbulence. We assume initial uniform magnetic fields of various strengths ($0.1, 4$ and $10\mu\text{G}$) and with three different directions which are parallel, perpendicular, and oblique to the collision axis. We generate turbulent magnetic fields by developing turbulent motion in initial uniform clouds before the collision. We assume two collision speeds (10 and 20kms^{-1}). During the collision of the clouds, the shock wave forms at the interface of clouds, and dense cores form in the shocked cloud medium. In the past meeting, we have reported that for the 10kms^{-1} cases more massive dense bound cores are formed in the $4\mu\text{G}$ cases than the $0.1\mu\text{G}$ cases. In the $4\mu\text{G}$ cases, especially with perpendicular and oblique initial magnetic field, more massive cores form than in the $0.1\mu\text{G}$ cases due to suppression of nonlinear thin-shell instability by magnetic field compared to the $0.1\mu\text{G}$ cases. In this meeting, we report that for the 20kms^{-1} cases the collision proceeds too quickly to form dense cores. However, in $10.0\mu\text{G}$ cases, we find the formation of the massive cores which are expected to form the massive stars even for the 20kms^{-1} cases. The $10.0\mu\text{G}$ initial magnetic field has a positive effect on the massive core formation, and it can overcome the negative effect of the 20kms^{-1} collision speed. We will discuss the implications of our results for the massive star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z309a IRSF 近赤外線減光マップで得られた大マゼラン雲 HI リッジ領域における小マゼラン雲からのガス流入の証拠

古田拓也、金田英宏、國生拓摩、石原大助、福井康雄、柘植紀節 (名古屋大学)、中島康 (一橋大学)

大マゼラン雲 (LMC) の HI リッジ領域では、2つの速度成分のガスの他に、ガス衝突を示唆するその中間の速度成分のガスの存在が、CO と HI の観測から明らかとなった。また、この2つの速度成分のガスが衝突したことによる、大質量星団の形成が考えられている。さらに、これら2つの速度成分のガスのうち、片方の速度成分のガスは、小マゼラン雲 (SMC) から流入した低金属量のガスであることも示唆されている (Fukui et al. 2017)。このような、LMC における SMC からのガス流入を観測的に調べるためには、金属量の指標となるダスト/ガス比を詳細に調べることが重要となる。

そこで我々は、IRSF による LMC のサーベイ観測データを用いて、近赤外線の色超過から、HI リッジ領域 ($2^\circ \times 4^\circ$) における減光 (A_V) マップを作成した。この A_V マップと、CO と HI の観測から求めた全水素柱密度 $N(\text{H})$ マップを、3つの速度成分ごとに比較した。そして、それぞれの速度成分の $A_V/N(\text{H})$ を、 A_V と $N(\text{H})$ の空間分布を利用したフィッティングにより、成分分離して求めた。その結果、ガス流入が示唆される速度成分のガスで、 $A_V/N(\text{H})$ が、他の成分のものに比べ、約2倍低く、その値は天の川銀河の値の1/7であった。また CO-to- H_2 conversion factor も、フリーパラメーターとしてフィッティングして求めたところ、その値は速度成分ごとに異なり、SMC からの流入ガスが低金属量であることと矛盾しない結果が得られた。以上の結果をもとに、本講演では LMC における SMC からのガス流入、さらにガス衝突が示唆されるガスの3次元構造と大質量星団との位置関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z310a 中性水素ガス衝突による星団形成の理論的研究

前田龍之介, 井上剛志, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河スケールにおける最大の星形成の要因は、Young Massive Cluster(YMC) と呼ばれる星団の形成である。ここで YMC とは質量が大きく若い ($M > 10^4 M_{\odot}; t_{\text{age}} < 100 \text{Myr}$) 星団を指す。YMC の形成機構はその重要性とは裏腹に長年謎に包まれていたが、近年の観測で中性水素ガスの高速衝突による星団形成の可能性が示唆された (Fukui et al. 2017)。本研究では上記の YMC 形成シナリオの理論的な側面を、自己重力・加熱冷却入りの MHD シミュレーションを行うことで検証する。今回はその理解の第一段階として”衝撃波で圧縮された領域は自己重力で束縛されたコンパクトな大質量ガス塊を作ることが可能か?”ということについて検証を行った。シミュレーションの結果、実際に ($M \sim 10^4 M_{\odot}, L \sim 4 \text{pc}$) 程度の cluster forming core が衝撃波後面で形成可能であることがわかった。また、ごく最近になって Fukui et al. (2017) をフォローアップした星団形成の観測 (Tsuge et al. 2019) が報告されてきているが、そういった観測にも本研究のモデルは応用できるものと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z311a 高分解能 HI で探る, 小マゼラン雲の NGC602 領域における巨大星団形成シナリオ

大野峻宏, 柘植紀節, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

大質量星を含む巨大星団は銀河進化に多大な影響を与えるが, その形成機構は明らかとなっていない. 大マゼラン雲の巨大星団 R136 については, 水素原子ガス (HI) の解析により, 大小マゼラン雲の潮汐相互作用起因のガス雲衝突による星団形成シナリオが提唱された (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2019). しかし, より小質量な小マゼラン雲での星団形成と潮汐相互作用の関係は未検証であった. そこで我々は, 巨大星団 NGC602 および周辺の O 型星に着目した (Bonanos et al. 2010). この天体は大小マゼラン雲をつなぐマゼラニックブリッジ方向に位置することから, 銀河間相互作用との関係を探るのに最適である. 今回 ASKAP による高分解能 ($35'' \times 27''$) の HI データ (McClure-Griffiths et al. 2018) を用いて, kpc スケールにわたり空間・速度構造を調べた. その結果, 速度 125 km s^{-1} と 148 km s^{-1} と 168 km s^{-1} の 3 つの速度成分の HI 雲の存在を明らかにした. 速度 148 km s^{-1} と 125 km s^{-1} の HI 雲は NGC602 の西側に分布している. 一方, 速度 168 km s^{-1} の HI 雲は 148 km s^{-1} と 125 km s^{-1} の HI 雲および NGC602 を取り囲むように分布している. また質量はそれぞれ, $5.7 \times 10^6 M_{\odot}$, $7.4 \times 10^6 M_{\odot}$, $1.8 \times 10^7 M_{\odot}$ である. 速度 125 km s^{-1} と 168 km s^{-1} の HI 雲, および 148 km s^{-1} と 168 km s^{-1} の HI 雲は, 相補的な空間分布を示していることがわかった. これらの結果から, 本講演では HI 雲同士の衝突による圧縮が NGC602 周辺の大質量星形成に重要な役割を果たしていることを提案する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z312a 分子雲衝突による一様金属量を持つ星団の形成シミュレーション

斎藤貴之 (神戸大学)、平居悠 (理化学研究所)、藤井通子 (東京大学)、牧野淳一郎 (神戸大学)、馬場淳一 (国立天文台)

星団の高分散分光観測から、星団中に含まれる恒星が極めて一様な金属量分布を持っていることが知られている。星団メンバーのもつ金属量の分散は 0.01 dex 程度であり (e.g., De Silva et al. 2015)、これは銀河円盤中の星間ガスの持つ金属量の分散よりもひと桁程度小さい。したがって星団形成過程において母体となるガス雲の金属量を一様化するメカニズムが必須である。Feng & Krumholz (2014) はガスフローの衝突シミュレーションから乱流混合により一様化することを報告している。

我々は今回、異なる金属量を持つ分子雲同士の衝突シミュレーションを行い、形成される星団の持つ金属量分布についての研究を行った。500 太陽質量のコロモゴロフ的速度場をもつ分子雲同士を相対速度を変えながら衝突させた。金属量の進化を論じるために、シアーに依る金属量混合モデルを用いた。混合係数がいくらであるべきかは明らかでないため、パラメータとした。星形成モデルにはシンク粒子法を用いた。また、高密度粒子を動的に分割して効率的に高分解能化している。

分子雲が衝突すると衝突面で金属量混合が進む。そしてそこで星が形成され、星団となる。シアー混合モデルに基づく限り、一様な金属量を持つ星団を形成するためには、混合係数として 0.01 以上が望ましい。この係数は、銀河の化学進化のシミュレーションと整合する。高速衝突の場合、上記パラメータでは混合が十分進まないが、一方でできる星は運動エネルギーが大きすぎて星団としてまとまらないため矛盾は生じない。現状のモデルでは積分精度が低く星団の力学進化を扱えないため、高精度化に取り組んでいる (藤井講演)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z313a ASURA+BRIDGE を用いた星団形成シミュレーション

藤井通子 (東京大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 平居悠 (理化学研究所)

天の川銀河にある若い星団の中でも、NGC3603 のような比較的大質量の星団は、分子雲同士の衝突 (Cloud-Cloud Collision; CCC) によって形成されたことが示唆されてきた (Fukui et al. 2014 など)。しかし、NGC3603 のような、質量が $10^4 M_{\odot}$ 程度ある星団の形成シミュレーションを行うのは、既存のシミュレーションコードではこれまで難しかった。その要因は2つある。1つめは、銀河の計算で用いられているような分解能の比較的低いコードを用いると、星団の星どうしの相互作用にソフトニング長を用いなければならず、星団の力学進化に重要な近接遭遇を正しく取り扱えない点である。2つめは、Sink 粒子を用いて星形成を扱うようなコードの場合、要求される分解能が高すぎるため、 $10^3 M_{\odot}$ 程度の質量の星団までしか計算できない点である。

そこで、本研究では、Fujii et al. (2017) で用いた、ツリー法とダイレクト法のハイブリッド法を流体計算に応用し、SPH法を用いた流体計算コード ASURA (Saitoh et al. 2008) に BRIDGE の手法を組み込んだ ASURA+BRIDGE を開発した。ASURA+BRIDGE では、星同士の相互作用による軌道進化はダイレクト法と6次エルミート法を用いて解くため、ソフトニングを用いなくても星の軌道を高精度に計算することができる。また、本研究では、星形成過程は分解せず、銀河で用いるような密度に依存する星形成率を仮定した星形成を行うことで、大質量星団を取り扱えるようにする。形成する星の質量は仮定した初期質量関数から決定するが、ローカルなガスの質量にも依存させて決める。これらの星形成スキームは、化学進化用ライブラリ CELib (Saitoh 2017) をベースに実装した。本講演では、まず、ASURA を用いた場合との比較、ASURA+BRIDGE のエネルギー誤差等を報告する。また、ASURA+BRIDGE を使ったシミュレーションの一つとして、CCC モデルの計算結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z314a アンテナ銀河における巨大星団形成シナリオ

柘植紀節, 立原研悟, 佐野栄俊, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 伊王野大介 (国立天文台/総研大), 植田準子 (国立天文台)

アンテナ銀河はもっとも有名な衝突銀河であり, その衝突領域には星団総数の $\sim 40\%$ が集中している. さらに星団質量が局部銀河群の 10 倍 ($10^7 M_{\odot}$) で年齢が 1–3.5 Myr の若い巨大星団 B1 や Firecracker と呼ばれる proto-cluster に付随する分子雲が存在している. これらの形成機構解明は, 球状星団をはじめとした初期宇宙での星形成の理解に重要である. 衝突領域へのガスの集中と活発な星形成は銀河衝突に起因すると考えられているが, これまで星団スケールでの空間・速度構造の詳細な検証は行われていなかった. そこで我々は ALMA cycle 0 の ~ 60 pc 分解能の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ データを解析し, 衝突領域全面のガスの速度・空間構造を調べた. その結果, 5 つの星団に付随する分子ガスの典型的な質量は, $10^7 M_{\odot}$, サイズは ~ 400 pc であった. そして全ての巨大星団方向で速度差 $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ 以上の 2 つの速度成分が位置速度図上で中間速度成分で接続していることを明らかにした. また 2 成分は空間的には相補的な空間分布を示していた. これらの特徴は, 天の川銀河・局所銀河群の巨大星団方向で発見されているガス雲同士の衝突の特徴と一致する. さらに B1 と Firecracker 方向については cycle 3, 4 の 10–20 pc 分解能のデータを再解析し, 星団スケールでガスの空間構造を明らかにすることができた. その結果, 10 pc の複雑な構造まで相補的な空間分布を示すことがわかった. この結果はガス衝突の数値計算 (Takahira et al. 2014) で示されている衝突しているガス雲の空間分布をよく再現する. さらに, 詳細な空間構造を分解したことで衝突の方向・タイムスケールをより正確に見積もることができ, B1 と Firecracker の年齢と矛盾しないことを確かめた. 以上の成果に基づいて本講演では, 銀河同士の衝突が誘発した巨大星団の形成シナリオを提案する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z315r 銀河系円盤部における分子雲形成・散逸過程と星形成率について

犬塚修一郎 (名古屋大学・理・物理)

銀河系円盤部に存在するガスのうち星に変換される実効的な時間スケールは自由落下時間よりも3桁程度長いことが種々の観測に基づいて推定されている。この実効的な星形成時間スケールは星形成イベントの継続時間を「分子雲の中で星になる割合」で割った値として理解される。つまり、星形成過程の効率は非常に小さく、分子雲消費時間は極めて長いのである。この講演では、この星形成過程の実効的な効率を決めているメカニズムについての最新の理解を説明する。まず、分子雲の中で星が生まれる場所は、臨界線密度を越えたフィラメント状分子雲であることがHerschel宇宙望遠鏡の観測結果等により明確に示された。このフィラメント状分子雲の質量は分子雲の総質量の小さな割合に留まっている。つまり、分子雲全体の中で星形成過程に関与する構造の質量は小さいのである。また、フィラメント状分子雲のすべてが星になるわけではない。観測によると、フィラメント状分子雲の15%程度が分子雲コアになっていることが報告されている。また、分子雲コアの1/3程度が実際の星の質量になることが理論的に示唆されている。フィラメント状分子雲から星が生まれる速度は自由落下時間の数倍程度の時間スケール(約百万年)に対応することが示唆されるため、フィラメント状分子雲の星形成率の逆数は2千万年程度となる。従って、フィラメント状分子雲の質量が分子雲全体の質量の2%程度であれば、銀河円盤部で平均した星形成率の逆数(ガス消費時間)は十億年程度となり、銀河スケールの観測結果と辻褃が合うことになる。理論的には、上記のような星形成活動に携わる高密度分子雲の生成が衝撃波の伝搬により駆動されることを説明する。また、衝撃波の駆動及び分子雲の散逸に対して大質量星によるフィードバックが果たす役割について論ずる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Z316a 羽部太田モデルに基づく分子雲衝突の観測的特徴と性質

鳥居和史 (国立天文台), 福井康雄, 藤田真司, 河野樹人, 佐野栄俊, 立原研悟 (名古屋大), 西村淳, 大西利和 (大阪府立大), 徳田一起 (国立天文台/大阪府立大), 島和宏 (京都大), 羽部朝男 (北海道大)

O型星の形成機構の解明は天文学の重要課題である。近年、O型星形成をトリガーする機構として「分子雲同士の超音速衝突」が盛んに検討され、銀河面、マゼラン銀河などで数10の報告例が上がっている。分子雲衝突は、大量のガスを効率的に圧縮し、重力的に不安定なガス層を作ることで、O型星形成をトリガーする。この衝突の基本的なモデルは、1992年、羽部・太田によりサイズの異なる2つの分子雲の衝突として提案されている。このモデルでは、小分子雲が大分子雲に突入することで、大分子雲に空洞が形成され、その空洞の底で衝突圧縮層が作られる。この過程のどの段階でO型星が形成されるかは、2つの分子雲の初期密度と相対速度に依存するため、射影効果もあわせて、観測されるガスの形態・速度には多くのバリエーションがあると考えられる。本講演では、分子雲観測データ、赤外線観測データをベースに、これまで発見された分子雲衝突の多くがこの羽部太田モデルの類型として理解できることを議論する。ここでは、O型星が形成された時点での、大分子雲のサイズに対する相対的な空洞の深さを基準に、3つのグループ（衝突初期・中期・後期）に分けることができる。衝突初期では、空洞は浅く、分子雲の衝突面で励起される乱流構造が顕著に見られる（例：RCW38）。衝突中期では、空洞が十分な深さになり、観測的には大分子雲はリング状・弓状の構造を持ち、小分子雲と相補的な空間分布を示す（例：GM24, RCW34）。衝突後期になると、小分子雲は衝突圧縮層に合流し、消失する。そのため、大分子雲の空洞のみが観測されるが、空洞外部に残留分子雲が見られるケースがある（例：RCW120）。講演では、これらのグループをより詳細に論じると共に、例外的な衝突についても扱う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

Z317a 分子雲衝突による大質量星形成とフィードバックによるトリガーの可能性

島和宏 (京都大学), 羽部朝男 (北海道大学)

大質量星形成をトリガーするメカニズムとして、分子雲衝突が注目されている。Takahira et al. (2014, 2018) では孤立した2つの分子雲を衝突させるシミュレーションを行うことで、大質量星形成に必要な降着率を実現するような高密度分子雲コア形成の可能性が示されている。しかし、このシミュレーションでは分子雲コアでの星形成やフィードバックは考慮されていなかった。そこで、Takahira et al. (2018) と同じ初期条件の分子雲を使用し、星形成とUV放射によるPhotoionizationフィードバックを考慮したシミュレーションを行った。形成される星の質量、付随する分子雲とHIIバブルの時間進化について観測と比較しながら議論する。また、フィードバックによる星形成トリガーの可能性としてHIIバブルの縁での誘発的星形成についても議論する。

また、これまでの計算では分子雲同士の正面衝突しか考慮されていなかったため、新たに2つの分子雲の衝突軸が斜めの場合・2つの分子雲の衝突軸がずれている場合に対しても星形成とフィードバックを考慮したシミュレーションを行った。その場合の大質量星形成や分子雲の密度構造の依存性などについても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Z318b M17 赤外線暗黒星雲領域の分子雲の力学状態と分子雲衝突の可能性について

木下真一 (東大), 中村文隆 (国立天文台), Nguyen-Luong (IBM Canada), 竹村英晃 (国立天文台), ほか
星形成レガシーチーム

星の形成は分子雲の高密度領域にあるコアが重力収縮することによって開始される。したがって分子雲の力学的進化を調べることは星形成を理解する上で非常に重要である。分子雲の力学的進化を解明するためには分子雲内の分子ガスの質量、分布、物理状態などを知る事が必要である。今回我々は野辺山 45m 電波望遠鏡によって得られた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ と $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の分子輝線データ (Nakamura et al. 2019) を用いて大質量星形成領域 M17 領域の分子雲の構造と力学状態を調べた。M17 領域を大質量星が形成されている M17-H_{II} ($l \gtrsim 14^\circ 40'$) と大質量星の形成がみられない M17-IRDC ($l \lesssim 14^\circ 40'$) (赤外線暗黒星雲を含む) の 2 つに分けて解析を行ったところ、両者の分子雲の物理状態に大きな違いがみられた。

M17-H_{II} 中には柱密度の高い分子ガスが多く見られる一方、M17-IRDC 中には 1 g cm^{-2} (理論的考察から予想される大質量星形成に必要な柱密度の閾値) を超える柱密度の分子ガスが含まれていないことがわかった。また階層構造解析ツールである Dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を用いて構造解析した所、M17-H_{II} 中の分子ガスは高密度でビリアルパラメータ (α) が 1 より小さく重力的に束縛されている一方、M17-IRDC 中にはビリアル平衡に近い重力的に束縛されていない ($\alpha < 1$) 分子塊が多数ある事が判明した。また M17-IRDC 中の分子ガスの速度分散の方が M17-H_{II} 中よりも約 3 倍大きかった。M17-IRDC 領域の $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ channel map を見ると速度の異なる 2 つの分子雲が存在する。この 2 つの分子雲が衝突し乱流場が励起された領域で分子塊が形成されたと解釈すると、M17-IRDC 領域の分子塊の力学状態が説明できるかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z319a ALMAによる渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (2): NGC 604 における星形成とフィードバック

村岡和幸, 近藤滉, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 立原研悟, 藤田真司, 福井康雄 (名古屋大学)

大質量星は巨大分子雲中で形成されると考えられており、その強烈な輻射と恒星風により周囲の星間空間に多大な影響を及ぼす。最近傍の渦巻銀河 M33 ($D \sim 840$ kpc) に存在する NGC 604 は局所銀河群で最も明るい巨大 H II 領域の一つであり、HI 観測から速度が異なる 2 つの原子ガス成分が確認されている。そのため、ガス雲同士の衝突による誘発的星形成や、形成された星団からの母体分子雲へのフィードバック等を探る上で非常に重要な天体である。我々は、NGC 604 領域を含む M33 の 3 つの分子雲に対し、ALMA を用いて ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の $J = 2 - 1$ 輝線および 1.3 mm 連続波の観測を ~ 1 pc という非常に高い空間分解能で実施した (観測の詳細は近藤他 本年会を参照)。 ^{12}CO および ^{13}CO 輝線の観測から、NGC 604 には 10 - 15 pc 程度の長さを持つ多数のフィラメント/シェル状分子雲が付随していること、同時に数 pc サイズの clumpy な分子雲も広く分布していることが初めて明らかになった。こうした構造の一部は、NGC 604 に含まれる多数の O 型星からの UV 光がガスを電離することで現れたと考えられる。また、複数の H II 領域でその縁に沿った分子ガスも検出した。これらのガスは ^{12}CO のピーク温度が 40 K 以上と非常に高く、H II 領域からの強い加熱を示唆する。分子ガスで見られるシェル構造からは、3 つのコンパクト (3 - 5 pc) な 1.3 mm 連続波源を発見した。これらは C^{18}O 輝線の検出や H α の付随において違いがあり、細かな進化段階はそれぞれ異なるが非常に早期の星形成を捉えた可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z320a ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (3): フィラメント状分子雲と原始星アウトフローの検出

徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 近藤滉, 村岡和幸, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大学), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 藤田真司, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大)

周囲の星間空間に多大な影響を及ぼす大質量星は主に巨大分子雲の中で形成されるため、銀河の進化を紐解く上で巨大分子雲やその進化を明らかにすることは本質的である。さんかく座銀河 M33 は比較的距離が近く ($D \sim 840$ kpc)、複雑な形状をもったダークレーンが付随する複数の腕を持つ渦巻銀河であり、巨大分子雲を空間分解し銀河の大局的な運動/構造と星形成活動の関連を調査する上でユニークな銀河である。我々は M33 に存在する 3 つの分子雲に対して ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O (2-1), 1.3 mm 連続波による空間分解能 ~ 1 pc の ALMA による観測を行なった (観測の詳細については近藤他、NGC604 に付随する分子雲については村岡他 本年会を参照)。

本講演では M33 北部に存在する GMC-16 (総質量 $\sim 10^6 M_{\odot}$) と呼ばれる巨大分子雲の結果について報告する。 ^{12}CO , ^{13}CO の観測より、南北に方向性のある長さ 50–100 pc の複数のフィラメント状分子雲で構成されていることが明らかになった。それらフィラメントのうち一本の先端付近において $\text{C}^{18}\text{O}/1.3$ mm で確認できる高密度クランプが付随しており、さらには ^{12}CO 輝線より大質量星原始星からのアウトフローと思われる $\pm 20 \text{ km s}^{-1}$ 程度の幅を持つ高速度ウィング成分を見出したことから非常に若い段階の原始星を捉えていると考えられる。これらフィラメント/クランプは同領域に存在する H II 領域と比較すると概ね東側に数 pc 程度ずれており、渦状腕の回転方向と矛盾がないことから、星形成が銀河衝撃波によって誘発された可能性について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M01a 第24太陽周期観測データから推定する巨大太陽フレアの可能性について

草野完也, Sung-Hong Park (名古屋大学), 伊集朝哉 (国立天文台)

太陽フレアの規模に対する発生頻度分布はこれまでの観測からべき乗則に従うことが知られているが (Hudson, 1992)、どれほど大きな太陽フレアが発生可能であるかは未だに共通の理解が得られていない。太陽フレアの最大規模を正確に求めることは激甚宇宙天気災害の想定を決めるためにも必要であるため、科学研究課題としてのみならず防災や社会インフラの設計の観点からも強く求められている。これまで、太陽型星における恒星フレア観測 (Notsu, et al. 2019) や、樹木年輪中の炭素同位体から見出された過去の宇宙放射線の解析 (Miyake, et al. 2012) によって、これまでに観測された最大フレア (X28 クラス) を大きく超える巨大フレアの可能性が指摘されている。本研究の目的は第24太陽周期における最新の観測データから、こうした巨大フレアの発生可能性を理論的に推定することである。このため我々は第24太陽周期に現れた黒点面積が大きな200活動領域を抽出し、SDO/HMIで観測されたベクトル磁場データを使って、それぞれの領域の総磁束と蓄積された自由エネルギー量の関係を求めることにより、実際に観測された活動領域の最大総磁束によって蓄積可能な最大自由エネルギーを推定した。さらに、各領域の自由エネルギー量とそれぞれの領域で発生した太陽フレアの規模 (GOES X線フラックス) の相関より、観測された最大磁束によって生み出し得る最大太陽フレアの規模を推定した。その結果、X100クラスを超えるフレアが観測された最大磁束によって発生可能であることが示された。これはこれまでに観測された最大フレアの数倍から約10倍程度の巨大フレアが太陽でも発生可能であることを示唆するものである。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

M02a RHESSI 衛星と野辺山電波ヘリオグラフで観測された太陽フレアの特徴

増田 智 (名古屋大学)、Sam Krucker (University of Applied Sciences Northwestern Switzerland University of California, Berkeley)、Stephen White (Air Force Research Laboratory)

太陽フレアのインパルス相では大量の電子が加速される。その加速電子を調べるためには硬 X 線と電波が使われるが、これらの放射を観測するための最適な組み合わせは、RHESSI 衛星と野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) である。本研究では、その両者の全観測期間 (2002 年-2018 年) において、同時観測された比較的大型 (GOES X 線で M7 クラス以上) のすべての太陽フレア 35 イベントについて統計研究を行った。まず、50 keV 以上の硬 X 線と 17GHz の電波の両者のピークフラックスに非常に良い相関が見られた。この結果は、硬 X 線と電波を放射する電子が同じプロセスで加速されたことを示していると考えられる。ただ、両者の放射機構の違いを考慮すると、あまりに相関が良すぎる傾向にある。17GHz の電波はジャイロシンクロトロン放射であり、電波強度は磁場強度に強く依存する。例えば、磁場の強いフレアループの足元付近で電波が放射される場合は、磁場の弱いループトップ付近で放射するより、同じ加速電子数・スペクトルでも、強い電波強度が予想される。これに対して、硬 X 線は制動放射なので、磁場強度には依存しない。上記の 35 イベント中、電波がループトップで放射されているフレアとループ足元で放射されているフレアを分けて、相関を調べたところ、若干、後者のほうが相対的に電波強度が大きい傾向は出たものの、イベント数も少なく、はっきりとしたことは言えなかった。また、加速電子のスペクトルがハードなフレアのほうが、より高いエネルギーの電子によって放射される電波が相対的に強くなりそうだが、スペクトルの違いによって分けてみても、期待されるほどの違いは見えなかった。この相関を理解するためには、今後は、他の観測データも用いた詳細なイベントスタディが必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a フレア活動領域：先行研究の総括と今後の課題

鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構), Haimin Wang (ニュージャージー工科大学)

太陽フレアやコロナ質量放出に代表される磁気エネルギー解放現象の駆動機構については、近年の観測技術や計算性能の向上を背景に、観測と理論の両面において目覚ましい進展があり、フレア予報が実現レベルに達しつつある。しかし、それらを生じる活動領域の形成過程については、これまで膨大な観測研究がなされているにもかかわらず、そもそも太陽内部の光学的探査が不可能であることから、未解明の課題が多く残されている (Toriumi & Wang, 2019, LRSP)。たとえば、局所日震学を用いた浮上磁場観測では、統計的傾向としてフレア活動領域が通常の活動領域より大きな流速場の渦度を示すことが指摘されているが、手法の感度や実質的な空間分解能が低いため、個別の活動領域について確定的な観測結果は報告されていない。しかし、フレア活動領域ではシア磁気中性線やシグモイドに代表されるねじれた磁場構造や、高い磁気ヘリシティや非中性電流が観測されることから、これらを形成する浮上磁場が対流層内部でねじれを獲得していることは確実である。フレア活動領域の理論研究としては、磁束管のキンク不安定性がその形成要因として提案され、数値シミュレーションが行われてきた。近年では、複数の浮上磁場の衝突や1本の浮上磁場が複数箇所でも浮上する効果などが提案されている。これらは、浮上磁場が局所的な乱対流と相互作用する結果生じると考えるのが自然であり、今後は磁気対流計算による磁束のねじれ獲得過程の解明や、数値計算を活用した日震学探査の実現が期待される。フレア活動領域における磁気エネルギー蓄積過程に関しては、非線形フォースフリー磁場計算にもとづいたエネルギー測定が広く行われているが、データ駆動型コロナ磁場計算などの新手法を用いた高精度の測定や、大気分光観測とも組み合わせたダイナミクス解明が期待される。講演では主要な先行観測・理論研究を概括し、今後の課題や見通しを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a 太陽フレア EUV 放射スペクトル予測モデルの構築

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 今田晋亮, 河合敏輝 (名古屋大学), 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構), Kyoung-Sun Lee (The University of Alabama in Huntsville)

太陽フレア放射とその太陽地球圏環境への影響の関係を解明するために、太陽フレア放射スペクトルを導出するモデルの構築を行っている。これまでに特に地球電離圏の電子密度に大きく寄与している極端紫外線 (EUV) 放射観測データの統計解析を行い、EUV 放射強度と軟 X 線放射強度は比例していること、鉄の EUV ライン放射は高温ラインほど立ち上がり早いことを確認した (西本ほか, 2017 年春季年会 M50a)。また、フレア放射継続時間はリボン間距離及びリボンの長さに比例しているが (西本ほか, 2017 年秋季年会 M24a)、その中でもリボン間距離とフレアの立ち上がり時間が最も良い相関関係にあることが分かった。これらの解析結果より、フレア EUV 放射強度は軟 X 線放射強度から、フレア放射継続時間はリボン間距離、すなわちフレアループの長さから推定できると考えられる。

上記の解析結果を用いて、フレアループの物理的構造に基づいた数値モデル計算 (Imada et al., 2015) でフレア放射を再現し、観測データとの比較を行った。まず、フレアループの長さが異なる 3 つのイベントについて検証を行ったところ、フレアループが長い場合のみ、一部の EUV 放射について観測結果を再現することができた (西本ほか, 2018 年春季年会 M20c)。これらの結果から、実際に観測されたフレア放射を正確に再現するためには、フレアループへの加熱量とループの体積のバランスが重要であることが分かった。今回は、より多くのイベントに対する数値モデル計算と観測データの比較を行い、太陽フレア放射スペクトルを決定しているパラメータについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M05a 非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域 12673 におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究

山崎大輝 (京都大学), 井上諭 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 永田伸一 (京都大学), 一本潔 (京都大学)

2017年9月に現れた活動領域 12673 は、X9.3 フレアをはじめとする大規模フレアを引き起こすなど、Solar Cycle 24 で最も活動的な活動領域であった。本活動領域のエネルギー蓄積過程については、フレア発生の数日前からの磁気フラックスや磁気ヘリシティの注入に着目した研究などがある (例えば、Vemareddy 2019)。しかし、3次元磁場構造の観点からエネルギー蓄積過程の詳細な研究はなされておらず、また大規模フレアの発生機構については未だ明らかになっていない。本研究では、X9.3 フレア発生の2日前である2017年9月4日 UT00:00 から9月6日 UT00:00 まで12時間刻みで Solar Dynamics Observatory/Helioseismic and Magnetic Imager による光球ベクトル磁場データを境界条件とした非線形フォースフリー磁場外挿計算を行った。磁力線の捻れの時系列変化を定量的に解析することで、活動領域磁場のエネルギー蓄積過程を明らかにし、さらにはフレアの発生機構についても議論する。解析結果として、9月4日 UT 午前の段階で X9.3 フレアを起こした磁気中性線周りにおける捻れの急激な増加が確認された。その後、さらなる急激な増加は確認されなかったことから、本活動領域では、2日前の段階で大規模フレアを引き起こす可能性を有していたことが示唆された。9月6日 UT 午前まで大規模フレアを発生させずに、強い捩れを有した状態で磁場構造が維持されつづけたことから、9月6日 UT 午前に観測された逆極性をもつ黒点の貫入が、X9.3 フレアの発生機構に重要な役割を果たしていたことが示唆される。本講演では、X9.3 フレアだけではなく、同じ活動領域で発生した他のフレアの解析結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a 太陽フレア上空に現れるシート状構造の断面境界領域について

原 弘久 (自然科学研究機構 国立天文台)

CME を伴うような大型のフレアの中には、フレアループの上空に長いシート状の構造 (以下、シート構造) をもつものがあり、それは磁気リコネクション過程で形成されるものと考えられている。このような領域は、高階電離の輝線で観測されることから、 10^7 K 程度まで加熱されることが知られているが、一般に輝線強度が小さいために、その構造は輝線分光観測では限られた例について調べられているだけである。ペチェック型のフレアのモデルでは、このシート構造中をリコネクションアウトフローが流れ、その両端部にスローモード衝撃波構造があるとされている。このような衝撃波構造の存在を示唆する観測がこれまでいくつか示されてきているが、その決定的な証拠を多くの例で示すには至っていない。

今回の講演では、2017年9月10日に西の縁部で観測されたXクラスのフレアを例に、シート構造の断面部を調査した結果について報告する。このフレア上部で観測されたシート構造については、Hinode/EISのデータを解析したWarren et al. (2018) や Li et al. (2018) 等の先行研究がある。これらの研究では、最も明るいFe XXIV 192Å 輝線の観測から、シート内では輝線幅の非熱的成分が増大し、内部のプラズマは乱流的な構造をもつことが示されている。また、そのシート構造の垂直断面の端部では、さらに非熱的幅が増大した薄い構造が捉えられている。EISで観測された他の輝線を加えて解析可能なシートの断面部は限定されているが、本講演ではその部位のプラズマの加熱と非熱的運動について、EISの分光観測データをもとに議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a 飛騨天文台 SMART/SDDI を用いた太陽フィラメント噴出の3次元軌跡と CME との関連における研究

大辻賢一, 関 大吉, Denis Pavel Cabezas, 木村なみ, 石井貴子, 浅井 歩, 一本 潔 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の SMART/SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager) では、 $H\alpha \pm 9\text{\AA}$ の波長域を波長分解能 0.25\AA 、時間分解能 12 秒で太陽彩層全面像が取得されている。現在、取得されたデータに Beckers のクラウドモデルを適用することにより、彩層上空のフィラメントの視線速度場をリアルタイムで導出可能となっている。本発表では、SDDI で観測されたフィラメント噴出現象の 3 次元運動の軌跡を導出し、CME との関連性における解析結果について述べる。今回の解析では、フィラメントの画像上での見た目の運動は目でフィラメントの位置を時間方向に追跡することで導出した。その際、例えば $H\alpha$ 線中心の画像上でのみフィラメントを追っていると、視線方向速度の増大とともにフィラメントが $H\alpha$ 線中心に対して透明になってしまい、フィラメントの見た目の運動を追跡することが出来ない。そこで Weighted Averaged Contrast (WAC) という値を定義し、これを用いてフィラメントの追跡を行った。WAC はフィラメントによる $H\alpha$ 線の吸収を波長方向に重み付け平均した値であり、様々な視線速度を持つフィラメントに対して頑健な検出能力を持つ。結果として、導出したフィラメント 3 次元軌跡の統計解析からは、フィラメントが $H\alpha$ 線で観測できなくなる段階まで加速しつつ上昇していくパターン (噴出成功) と途中で太陽表面に落下していくパターン (噴出失敗) があることが判明した。さらに、噴出後の CME 発生との関連性からは、噴出成功イベントは 6 例中 5 例で CME を伴う一方で、失敗パターンでは解析した 3 例全てで関連する CME が見られなかった。これらの知見より、噴出直後のフィラメントの運動から CME の発生の有無については地球に影響を及ぼすか否かの判定が可能となり、宇宙天気予報の精度向上への寄与が期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M08a 磁場中のプラズマにおけるイオン音波ソリトンによる粒子加速

松野研 (大阪物療大), 石原秀樹 (大阪市立大), 高橋真聡 (愛知教育大), 政田洋平 (愛知教育大)

宇宙線のエネルギースペクトルは、非常に大きなエネルギー範囲において冪的に表されている。このことは、太陽大気、超新星残骸、銀河の中心領域など、活動的な天体周辺における高エネルギー粒子の非熱的な加速機構の存在を示唆している。しかし、天体周辺で起こる現象の特性を理解するために重要な荷電粒子の加速機構は、まだ解明されていない。高エネルギー粒子の加速の原因として、磁気雲による Fermi 加速機構や、電気二重層、単極誘導、衝撃波などの磁気再結合に伴う加速機構等が研究されている。そこで我々は、ラジアル磁場を伴う電子-イオンプラズマ中を伝播する非線形密度波を用いて荷電粒子を加速する機構を提案した。この系での波面が磁場に垂直であるような密度波ソリトンは、拡張された Korteweg-de Vries 方程式に従い、波が中心へ向かうにしたがって、その波高は時間の冪で大きくなる。このとき電子とイオンの密度分布のずれにより生じる電場のポテンシャル壁と磁場が大きい領域で起こる磁気ミラーによって閉じ込められた粒子は、運動するポテンシャル壁との衝突によって加速される。この加速機構による粒子のエネルギースペクトルは冪的であることがわかった。具体的な応用として、太陽近傍で発生する高エネルギー粒子がソリトン加速機構によって生成される可能性を議論した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M09a ケルビン力による太陽風加速

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

パーカーの太陽風理論において、加速する力はガスの圧力勾配力である。しかし、コロナ上空ではプラズマが希薄で粒子間衝突が非常に少なくなるために圧力勾配力が働かなくなり、太陽風を加速するためには別の力が必要である。磁場中で熱運動する粒子は温度に比例する磁気モーメントを有する。ボーア=ファンリューエンの定理によると、一様な熱的プラズマは磁気モーメントを有さないことになっているが、再検討の結果有することが判明した。この磁気モーメントには磁場強度の勾配に比例するケルビン力が働き、その方向は反磁性のために磁場の弱まる上空に向かう。磁気モーメントは磁場のポテンシャルエネルギーを持ち、これは粒子と場の相互作用エネルギーである。ポテンシャルエネルギーの源は粒子の熱運動エネルギーであるために全エネルギーは変化しない。熱運動エネルギーがポテンシャルエネルギーに変わることによって、熱力学第二法則に反することなくプラズマのコヒーレントな運動を駆動することが可能となる。このケルビン力をMHD方程式に加えることによって、太陽大気中の開いた磁力線に沿ったプラズマの運動を議論できる。プラズマが希薄となると衝突頻度が小さくなるので、磁気モーメントは断熱不変量として扱う必要がある。ケルビン力は運動論的扱いにおけるミラー力である。これを惑星間空間での直接観測結果と結びつけることにより、太陽風加速について議論することができる。惑星間空間での現場観測によると、磁気モーメントは一定ではなく太陽からの距離が大きくなると増大することが知られている。また、速度分布関数はマックスウェル分布ではなく、裾の広がった形 (κ 分布) をしており、波動と粒子の相互作用によって粒子がエネルギーを受け取っていることが示唆されている。超音速までの太陽風加速にはこの相互作用が重要な役割を担っていると思われる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M10a フラックスロープの振動現象を用いた安定性の診断

磯部洋明 (京都市立芸術大学)

フレア、コロナ質量放出などの太陽面の噴出現象は、力学的な平衡状態にあるコロナ中の磁場構造が、光球面の磁場の変動に対応して準静的に変化し、やがて近傍の平衡解を喪失ないし不安定化することで起きる現象である。噴出現象の主な理論モデルには平衡喪失モデルと磁気流体 (MHD) 不安定モデルがある。両者は必ずしも別個ではなく平衡喪失点と不安定性が生じる点はしばしば一致するが (Kliem et al. 2014)、平衡喪失モデルが噴出に至る進化を記述するのにに対し、不安定性モデルは噴出開始後の進化を記述する。

コロナ中にフラックスロープなど「噴出しそうな」構造がある時、周辺の浮上磁場など噴出そのもののエネルギーよりも小さな現象により噴出がトリガーされるためには、その構造が噴出 (平衡喪失/不安定) に十分近づいていなければならないはずである。ところで、フラックスロープが安定な平衡にある時は復元力が働くため擾乱があると振動が起きるが、喪失点近傍では復元力がゼロに近づき、振動周期が無限大に発散する。本研究の目的は、この性質を応用してフラックスロープが平衡喪失 (不安定性) にどれほど近づいているかを振動現象から診断し、宇宙天気予報に応用することの可能性を探ることである。

本研究ではコロナ中のフラックスロープと光球下の鏡像電流、ダイポール磁場からなる一連の平衡解を初期条件とする 2次元 MHD シミュレーションを行った。ダイポール磁場を変化させて平衡喪失点からの遠さを変え、フラックスロープの振動の様子がどのように変化するかを解析した。初期に大振幅の擾乱を与えた場合、振動の周期が平衡喪失点に近づくにつれ振動周期が長くなることを確認した。また光球・彩層からの低振幅かつ定常的な擾乱により観測可能な振幅で振動現象が起きるかどうかもシミュレーションに基づき検討した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M11a 太陽フレア中のプラズモイドの合体による加熱過程

石塚典義 (東京大学/国立天文台), 原 弘久 (国立天文台)

太陽フレアは、太陽表面での磁力線のつながりかわり (磁気リコネクション) により、プラズマの加熱や電子加速を引き起こす現象である。電流シート中でのプラズマ塊 (プラズモイド) の発生、合体、噴出により、磁気リコネクションが高速になることで、太陽フレアの時間スケールが説明できると考えられている。リコネクション領域中のプラズマは磁気リコネクションによって加熱されるため、プラズモイドとその周辺部の温度構造を調べることは、高速磁気リコネクションの解明につながる可能性がある。2010年8月18日の太陽フレアでは、電流シート状の構造内に、プラズモイドが発生、合体、噴出される様子が SDO/AIA によって観測された (Takasao et al. 2012)。Kumar & Cho (2013) は、このプラズモイドの differential emission measure (DEM) を、温度の対数についてのガウス関数になると仮定し、その特徴温度を計算した。本研究では、複数のガウス関数の和によって DEM を推定する Cheung et al. (2015) のコードを用いて、プラズモイドが合体する前後でプラズモイド熱構造を特徴付ける3つの温度帯の emission measure (EM) を調べた。EM の計算には、SDO/AIA の極端紫外線の6つの波長で観測された画像を用いるが、提供されているツールでは不十分であったため、各波長の画像間で相関係数が高くなるよう位置合わせを行った。プラズモイドが合体する前の DEM は、高温 (600-1200 万度) と低温 (100-300 万度) にピークがあった。また、各温度帯の EM はプラズモイド中心部付近で最大となる分布になった。プラズモイドが合体した直後は、中心部で高温の EM には大きな変化はなかった一方、外縁部では高温の EM が増加した。これは、プラズモイドの合体に伴った磁気リコネクションにより、初めに外縁部が加熱された様子を捉えたかと解釈できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M12a 表面磁束輸送モデル計算及び PFSS 外挿法を用いたコロナホール分布の時間発展計算

渡邊優作 (ISEE), 今田晋亮 (ISEE), 飯島陽久 (ISEE), 塩田大幸 (NICT), 三好由純 (ISEE)

次の太陽周期活動を予測することは、太陽地球環境の予測にとって重要であり、そのため次の太陽周期予測スキームを構築することは、宇宙天気における長期変動研究の鍵である。近年、太陽極小期における極域磁場と次周期の極大期における太陽活動との関係が集中的に議論されている。Iijima et al. (2017) は、表面磁束輸送モデル (SFT) を用いて太陽極小における極域磁場について議論し、次のサイクルの極域磁場は現在の太陽サイクルよりも弱いと結論づけている。我々はその結果の妥当性を評価する一環として、SFT による太陽表面磁場の時間発展を計算し、計算による結果と Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) で得られた観測値との間の相違について議論した。さらに、SFT によって太陽表面磁場を計算したのち、計算結果の表面磁場分布を境界条件とした Potential Field Source Surface (PFSS) 外挿法を用いて 3次元コロナ磁場を計算し、開いている磁力線をたどることでコロナホールの足元を導出した。人工衛星では観測することはできない裏側の磁場分布などは SFT による数値計算から得た磁場分布を用いたことにより、Synoptic map を利用する場合よりも現実に近いコロナ磁場を得られることが期待される。本講演では 2017 年 9 月の X9.3 フレアを起こした活動領域 (NOAA12673) に関して、磁場の輸送およびそれに伴う極域のコロナホールや開いた磁力線の時間変化についての考察を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13a MAXI-NICER 連携 (MANGA) によるふたご座 σ 星の巨大フレア観測

佐々木亮 (中央大学, 理研), 岩切渉, 坪井陽子 (中央大学), Keith Gendreau, Zaven Arzoumanian, Michael Corcoran, 濱口健二 (NASA/GSFC), 河合広樹, 佐藤樹 (中央大学), 三原建弘, 中平聡 (理研), 芹野素子 (青山学院大学), 根來均 (日本大学), 榎戸輝揚 (京都大学), 志達めぐみ (愛媛大学)

太陽コロナでは、第一イオン化ポテンシャル (FIP) が低い元素 (< 10 eV) が、光球のそれに比べて卓越する FIP 効果が見られる。一方で恒星の中でも特に活動性が高い RS CVn 型星のコロナでは、高 FIP 元素が低 FIP 元素に比べて卓越する逆 FIP 効果を示す。フレア発生時には低 FIP 元素の増大がしばしば見られ (e.g. Nordon and Behar 2008)、これは光球及び彩層からの蒸発プラズマの化学組成を反映していると考えられているが、化学組成が変化しないものもあり、その変化の原因は未解明である。そこで我々は、恒星フレア中の化学組成の時間変化を観測するために、全天 X 線監視装置 MAXI(2-20 keV) で検出したフレアを X 線望遠鏡 NICER (0.2-12 keV) で追観測する MANGA 連携 (MAXI and NICER Ground Alert: 岩切ほか M07a 2018 天文学会秋季年会) を進めてきた。MAXI は RS CVn 型連星から放出エネルギーが 10^{36-39} erg の巨大フレアを 80 発以上検出してきた。MAXI は全天観測という性質上、得られる光子数の統計が限られており、元素組成が同定できないが、NICER の即時追観測によってそれを可能にする。2019-02-04 に発生したエネルギーが 2×10^{37} erg の RS CVn 型ふたご座 σ 星からのフレアに対して MANGA 連携観測を実施した結果、フレア中の元素組成 (Fe, S, Si, Ne, O) の同定に成功した。特に、Fe (FIP = 7.87 eV) の元素組成は、コロナの 0.1 太陽組成に対して 2 倍に増えた。その一方で、Ne (FIP = 21.56 eV) の組成に変動は見られなかった (~ 1.0 太陽組成)。FIP 効果の指標となる Fe/Ne 比は、コロナのそれに比べて倍増しており、 $\sim 10^{37}$ erg の巨大フレアでも FIP 効果を示すことが明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14a 惑星分光観測衛星「ひさき」とX線望遠鏡NICERによるおひつじ座UX星からの恒星フレア同時観測

岩切渉 (中央大学/理研), 木村智樹 (東北大学), 佐々木亮, 坪井陽子 (中央大学), Keith Gendreau, Zaven Arzoumanian, Michael Corcoran, 濱口健二 (NASA/GSFC), 榎戸輝揚 (京都大学)

RS-CVn型の連星系では、大規模な太陽フレアのエネルギー (10^{32} erg) を大きく上回る 10^{36-39} erg という規模の巨大恒星フレアが発生しており、観測されるX線光度と継続時間や、プラズマの電子温度と放射測度の相関関係は太陽フレアの延長上に位置していることから (e.g, Tsuboi et al. 2016)、同種の機構で発生していると考えられる。そのため、エネルギースケールの違う巨大恒星フレアを詳細に観測し、太陽フレアと比較することは、その発生メカニズムを理解する上で重要である。今回我々は、550-1450 Å に感度を持つ極端紫外線分光器を搭載した、惑星分光観測衛星「ひさき」と、0.2-12 keV に感度があり、特に1 keV 付近で世界最高の感度を持つ、国際宇宙ステーションに搭載されたX線望遠鏡NICERを用いて、おひつじ座UX星から、0.4 - 10 keV の帯域で $\sim 5 \times 10^{36}$ erg のエネルギーを放った巨大恒星フレアの、立ち上がりからの同時観測に成功した。それぞれの光度曲線を比較した結果、紫外線が先に増光を始め、 $\sim 10,000$ 秒かけて先にピークに達した一方で、軟X線はその5,000秒以上後にピークを迎えた。紫外線の光度曲線のプロファイルは、軟X線のプロファイルの微分系と良く相関しており、太陽フレアで見られるNeupert効果 (e.g, Dennis & Zarro 1993) が観測されたと考えられ、彩層蒸発モデルが巨大恒星フレアにおいても成り立っていることを支持する。また、軟X線のスペクトル解析から、フレアの立ち上がりでは衝突電離平衡プラズマの放射モデルでは再現できない、中心エネルギーが 6.42 ± 0.02 keV で、等価幅 40_{-10}^{+11} eV の鉄蛍光X線が観測された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15b 太陽フレアにおける非熱的電子のスペクトルと磁場構造の関係

渡邊恭子, 岩田陽介, 佐々木力椰, 北田昌也 (防衛大学校), 増田智 (名古屋大学)

太陽フレアに伴って発生する硬 X 線及びマイクロ波放射は、その時間変化と強度の相関などから (Kosugi et al., 1988 など)、同じ機構で加速された高エネルギー電子から生成されていると考えられている。しかし、各々の放射から導出される加速電子のスペクトルには差が生じていることも知られており (Asai et al., 2013 など)、これは各々の放射の発生場所における磁場強度の違いによるものであると考えられている。これらを近年得られている観測データを用いて実証するために、本研究では、2011 年から 2017 年の間に発生した M クラス以上のフレアの中から、RHESSI 衛星と野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) で同時観測されたイベントで、像合成・スペクトル導出が可能であったイベント (49 例) を抽出し、各放射の発生場所とスペクトルについて統計的に調べた。

SDO/AIA のフレア画像に RHESSI および NoRH で観測したフレアピーク時の画像を重ね合わせ、硬 X 線とマイクロ波の放射場所が確認できる画像を各フレアイベントについて作成した。また、RHESSI および野辺山強度偏波計 (NoRP) で観測されたデータから、上記の画像に対応する硬 X 線とマイクロ波のスペクトルのべき指数を求めた。フットポイントで放射が観測されていたイベントについては、SDO/HMI の磁場強度のデータを用いて、各放射領域における磁場強度の導出も行った。

上記の 49 例のイベントについて、硬 X 線とマイクロ波のスペクトルから、各放射場所 (ループトップ or フットポイント) における加速電子のべき指数の平均値を求めたところ、各放射から求めたスペクトルのべきは一致し、放射場所によってべきが異なることが確認された。しかし磁場強度については、放射領域の違いによる違いは見られなかった。今回は、これらの検証結果について考察・議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M16b 白色光放射温度・磁場領域の統計解析による白色光フレア発生条件の探索

鶴田康介, 渡邊恭子 (防衛大学校), 増田智 (名古屋大学), Säm Krucker (University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, UC Berkeley)

白色光フレア (WLF) の起源はフレアで加速された非熱的電子であると考えられている。高エネルギー電子の発生やフレアのエミッションメジャーと温度の関係などから (Watanabe et al., 2017)、WLF は非白色光フレア (NWL) と比べて加速域の磁場が強いと考えられる。フレアループトップの上部にあると考えられている加速域の磁場は直接は観測されていないが、マイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数を用いることによって、その磁場強度を推定することができる (Dulk 1985)。そこで、野辺山電波偏波計で観測されたマイクロ波スペクトルの折れ曲がり周波数を調べたが、WLF と NWL で折れ曲がり周波数の明確な違いなどは確認できなかった (鶴田ほか、2019 年春季年会 M21b)。

一方、WLF は光球または彩層下部付近で発生していると考えられていることから、フレアのフットポイントにおける放射温度と磁場強度との関係について調べた。2011 年から 2017 年の間に発生した M3 クラス以上のフレアで、WLF が Hinode/ SOT の可視連続光 (赤・緑・青) で観測されていた 26 例について、白色光放射領域の放射温度と強度、SDO/HMI の光球面磁場データを用いて磁場強度を調べた。その結果、白色光の放射強度が強いほど磁場強度が強く、放射温度も高いことが分かった。また、フレアの立ち上がり時間との比較も行ったところ、白色光の放射強度が強いほど立ち上がり時間が短時間で、放射温度が高くなる傾向が見られた。これらの結果から、光球付近の磁場が強い領域に大量の加速電子が短時間に降り込むことにより、白色光が放射していると考えられる。また、フレアループの磁場構造についても調べ、WLF 発生に関わる特徴について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17b コロナループにおける Alfvén 波の衝突に伴うナノフレア生成の可能性

松本琢磨 (国立天文台)

コロナが100万度もの高温をどのようにして維持しているのかという問題は太陽物理学における未解決問題の一つになっている。活動領域の上空にみられるコロナループの観測からは、局所的かつ間欠的な加熱現象（ナノフレア）が起こっていることが示唆されている。しかしながらナノフレアを起こす機構に関しては統一的な見解はない。本講演ではその機構の一つとして、Alfvén 波の衝突によるナノフレア生成の可能性について議論したい。

Alfvén 波の衝突は太陽風乱流の駆動機構として知られており、特に非線形相互作用の時間スケールが波動の周期に比べて小さいという臨界条件を満たす場合、1回の衝突であってもカスケードが起こる。本研究では Alfvén 波の衝突の3次元磁気流体シミュレーションを行い、実際に1衝突で局所的かつ間欠的な温度上昇が起こることを確かめた。本講演では波動の振幅やプラズマベータ値などを変えた計算を行い、それに対してコロナがどのように応答するのかを調べた結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18c 機械学習による太陽高エネルギー粒子フラックスの予測

森本 太郎 (SWxC), 高崎 宏之 (SWxC)

太陽フレアや Coronal Mass Ejections (CME) の惑星間空間伝播時のショックによって発生する Solar Energetic Particle (SEP) は、地球惑星間空間における宇宙機に対しては Single Event、有人宇宙活動においては人体放射線被爆の問題を引き起こす恐れがあることが知られている。このため、高エネルギー粒子のフラックス量の過去から現在の値から、将来のフラックス量の変動を予測することは宇宙天気の見点で重要であると言える。我々は GOES 衛星の観測データを用い、過去のデータから将来の高エネルギー線フラックス量を予測するシンプルな機械学習モデルを構築した。このモデルでは過去数時間の高エネルギーフラックス量の変動量を入力することで、直後ならびに数時間以内のフラックス量の変動を予測することが出来る。本発表では構築したモデルに用いたデータ、使用したアルゴリズム、また設定したパラメータについて説明する。また、計算の過程と結果の関係から、予測する時間を長時間化し、かつ高精度化するための考え方について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M19c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (III)

山岡和貴, 田島宏康, 宮田喜久子, 稲守孝哉, Ji Hyun Park, 野橋大輝, 中澤知洋, 増田智, 伊藤和也, 松下幸司 (名古屋大), 高橋弘充 (広島大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽フレアにおいて磁気リコネクションがエネルギー解放機構として重要なプロセスであることは確立してきたが、どのように陽子・イオンが加速されているか?はよく分かっていない。これまでの観測は電子の寄与がメインである電磁波観測が主流であり、荷電粒子の観測は太陽磁場や星間磁場により曲げられてしまうため、困難である。中性子は陽子・イオンと太陽表面大気との反応で生成され、粒子加速時の情報を保持したまま地球へ到来するため、陽子・イオン加速機構を論じる上で唯一のプロブであると考えられる。しかしながら、これまで太陽中性子の観測は地球大気の影響の少ない乗鞍岳やチベットなどの高地で主に行われてきたものの、検出は1980年の発見以降約40例にとどまる。そのうち、2009年以降、宇宙空間から約30例を検出してきた、国際宇宙ステーション実験SEDA-APも2018年3月で運用を中止したため、宇宙空間での太陽中性子観測はほぼ皆無となった。この状況を打開するため、我々は、2020年代の打ち上げを目指し、理工連携で超小型衛星による太陽中性子観測のプロジェクトを進めている。3Uキューブサット(30cmx10cmx10cmサイズ)をベースとし、そのうちのほぼ1U(10cmx10cmx12cm)をミッション装置である太陽中性子検出器に割り当てる。検出器は積層したプラスチックシンチレータバーとGAGG(Ce)アレイから構成され、プラスチックを構成する水素原子との弾性散乱を利用して中性子を、コンプトン散乱を利用してガンマ線もとらえる原理となっている。光センサには小型・低バイアス電源動作のシリコンフォトマル(MPPC)を、信号処理には専用の集積回路(ASIC)を用いて小型・低消費電力化を実現しようとしている。本講演では、キューブサットの設計・開発とセンサ部試験の状況について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

M20b 深層学習を用いた MAXI 画像データからの恒星フレア検出

佐藤樹, 岩切渉, 佐々木亮, 河合広樹, 坪井陽子 (中央大学), 三原建弘, 中平聡 (理研) 前田良知 (JAXA), 他 MAXI チーム

太陽フレアは、太陽表面で蓄えられた磁場エネルギーの開放による突発的な爆発現象であり、太陽以外の恒星においても同様の機構で発生すると考えられている (e.g. Shibata & Yokoyama 2002)。国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された全天 X 線監視装置 (MAXI) は、2-20 keV の帯域で恒星からのフレアの観測を行なってきた。MAXI は現在までの 10 年間の運用で、27 天体から 130 発以上のフレアを検出した。MAXI が検出するフレアは光度、継続時間、温度、エミッションメジャーでフレア観測史上最大規模を示す (Tsuboi et al. 2016)。しかし、フレアの発生頻度においては、最大級の太陽フレアの放出エネルギー (10^{32} erg) を最大 100 万倍上回るエネルギーを放出する恒星フレア群 (10^{34-39} erg) が、どこまで太陽と同じであるかはわかっていない。本研究は恒星フレアの統計数をあげ、系統的に恒星フレアと太陽の比較を行う事を目的とする。我々は MAXI の過去の観測データで、ISS の周回に伴う宇宙線量の変化等で起きる突発的なバックグラウンドの変動 (Hiroi et al. 2011) に埋もれてしまい、検出できなかったフレアの存在に着目した。そのようなフレアを検出すべく、画像分類に効果があると知られる畳み込みニューラルネットワークを用いて、星からのイベントかバックグラウンドイベントかを、MAXI の 2 次元画像によって分類する学習器を構築した。学習器が真のフレアを、「フレア」と判定する精度は 98.7% であった。我々はこの学習器で RS CVn 型はえ座 GT 星の、過去 10 年間のデータを再調査した。はえ座 GT 星はこれまでに 11 件のフレアが MAXI で検出され、フレアエネルギーは 10^{38-39} erg と最大規模である。画像分類の結果、我々は新たに 10^{37-38} erg の範囲で 4 件のフレアを検出することに成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M21b フィラメント噴出に伴う彩層微細構造の運動

青山実樹, 宮良碧, 野澤恵 (茨城大学), 一本潔, 大辻賢一, 上野悟, 木村剛一 (京都大学), 萩野正興 (国立天文台)

我々は2019年2月24日に太陽の北西リム近くにあったフィラメントの運動を京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡で観測した。この観測では狭帯域チューナブル・フィルター (UTF-32) を用いて H α 線 (656.28 nm) 付近 (ラインセンター、+0.1 nm、及び ± 0.05 nm) の波長を観測した。この観測の露出時間は8ミリ秒で、1セット30枚ずつの観測を行ったため、スペckル・マスキングの像回復処理を施すことが可能である。

我々が観測したフィラメントはSDO/AIAで同じ日に見られたフィラメント噴出と関係している。スペckル・マスキング像回復後のデータでは、このフィラメント全体では東西に延びているS字の構造で、軸に沿った運動などが詳細に映っている。さらに北には淡い構造の運動と連動しているファイブリンの運動も見ることができる。今回注目したのはフィラメントの北にある複数並んだ barb 構造の運動である。この barb の分岐はフィラメントの軸に対する Martin の分類によると左利き (sinistral) のキラル構造を持っていると考えられる。この barb は H α 線ラインセンター像では明暗の繰り返しが見られる。

本講演ではこの barb 構造に注目して特徴的な運動と、上記の構造について詳細に報告し、フィラメント全体の噴出との関係を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M22b 活動領域スピキュールの物理量の推定

吉塚弘康, 野澤恵 (茨城大学), 北井礼三郎 (立命館大学), 上野悟, 大辻賢一 (京大飛騨天文台)

スピキュールは太陽彩層の最も基本的な要素の1つである。非常に細い針状の構造を持ち、急激な時間変化を示し、太陽のリムで一様に観測される。時空間分解能の低い観測では、スピキュールの発達を追跡し、それらの物理を理解することは非常に難しい。そこで活動領域付近のスピキュールを高い分解能と高い空間時間分解能で観測を行い、水平方向や鉛直方向の運動の考察および、光学的厚さの時間変化を考察することを目的とする。

2018年5月10日に京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡の水平分光器で太陽表面上の活動領域NOAA12709付近の分光観測を行った。当日はあまり大気の状態は良くなかったが、6個のスピキュールを同定した。この取得した分光データを用いて、クラウドモデルから微細な噴出現象であるスピキュールの先端のドップラー速度および光学的厚さなどの物理量とそれらの時間変化を導出した。その結果、最大の長さ、高さ、最大速度に相関がみられ、低高度での急激な圧力の上昇によりスピキュールが発生していた。また水平面からの傾斜角が大きければ速度が遅いことなどがわかった。

解釈としては、水平に近い傾斜では、相対的に低重力加速度の状態になるため、高速に打ち出され、遠方まで伸びるという事を示唆しているが、議論が必要である。加えて、スピキュールが時間の経過とともに、単純に直線に延びる構造にはならず、途中で曲っていることを示唆する結果も得られている。本発表ではこれらの結果の解釈、及び示唆について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M23c スーパーフレア時における人工衛星被害推定

関大吉 (京都大学), 磯部洋明 (京都市立芸術大学), 寶馨 (京都大学)

宇宙天気 (太陽の磁気活動による惑星間空間のプラズマ環境の乱れ) の社会的影響の一つとして、人工衛星障害の発生がある。障害発生数と陽子・電子フラックスや地磁気の乱れの間には、良い相関があることは既に確認されており [Pilipenko et al. 2006]、2003 年 10 月末に X クラスフレアが頻発した際には、45 機の人工衛星が異常を報告、1 機が全損、10 機が 1 日以上機能停止に見舞われた [Royal Academy of Engineering 2013]。

一方、近年 X100 や X1000 クラスといった所謂スーパーフレアが、太陽においても発生する/していた可能性が、太陽類似型星の統計的分析や古文献調査などから示唆されてきているものの [Notsu et al. 2019, Hayakawa et al. 2017]、スーパーフレア時の障害発生数について試算された既往研究はない。そこで我々は、障害発生数と陽子フラックス・電子フラックス・Dst index の相関を取り、その結果をスーパーフレア時の値に外挿することで、障害発生数がどの程度かを検討した。

1986 年から 1990 年までに発生した 90 の X クラスフレアに対し、発生後 N 日間における人工衛星障害発生数と、陽子フラックス・電子フラックス・Dst index の発生後 N 日間平均・最大値を、それぞれ単回帰分析することで、100 MeV 以上の陽子フラックスの 6 日平均が、極めて高い決定係数 (> 0.9) を示した。一方、スーパーフレア時の陽子フラックスについては、上限が軟 X 線強度の 5/6 乗に比例するスケーリング則 [Takahashi et al. 2016] を活用し、X100、X1000 クラスフレア時のフラックスを見積もった。その結果、静止軌道衛星において、全人工衛星数の 4.6 倍 (X100) および 31.3 倍 (X1000) の数の障害が発生しうることが示唆された。これらの値は、これまでに観測された最悪ケースの 8 倍 (X100) および 55 倍 (X1000) の値に相当する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M24a LTE インバージョンから探る光球大気構造変化のスペクトル線幅への影響

石川遼太郎 (総研大/国立天文台), 勝川行雄, 久保雅仁, 末松芳法 (国立天文台)

光球の対流運動に伴う、乱流的な運動は小さなスケールの磁場構造形成において非常に重要であると考えられている。このような空間分解能以下の乱流的な運動はスペクトル線幅の広がりから探ることができ、スペクトル線幅が粒状斑構造と関連した分布を有することが報告されている (Khomenko et al. 2010)。これまでの我々の研究では、視線方向のドップラー速度勾配による線幅の増大と乱流による線幅の増大を区別するためにバイセクター解析を実施した。これにより、単調な速度勾配だけでは説明できない線幅の広がりがあることを確認し、特に粒状斑が消滅する時にこのような広がりが発生しうることを発見した。しかしながらスペクトル線幅は速度勾配や乱流運動だけでなく、温度勾配でも広がることが指摘されている。

本研究では、ひので衛星の偏光分光観測装置が観測した2本のスペクトル線 Fe I 6301.5 Å と 6302.5 Å に対して SIR (Ruiz Cobo & del Toro Iniesta 1992) を用いて LTE インバージョンを実施することで、速度勾配と乱流そして温度勾配による影響の切り分けを行なった。乱流幅や温度勾配、速度勾配を考慮することで観測されたスペクトル線幅を再現することができた。その結果、粒状斑が消滅する領域のスペクトル線幅を説明するためには、単調でない速度勾配か 1km/s 程度の乱流運動が必要であることがわかった。単調でない速度勾配とは、光球下層から上層にかけて視線方向速度の向きが複数回反転するものである。本公演では光球の対流運動がこのような乱流や速度勾配を発生させる可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M25a ダルトン極小期(1800年代)における黒点スケッチの画像解析

采女昇真、今田晋亮、早川尚志、三好由純

太陽活動は約11年周期で活動していることが知られており、宇宙地球環境変動の起源である太陽活動を予測することは宇宙天気研究において重要である。これまでの研究によって、太陽活動極小期における極磁場の値が次期サイクルの太陽活動度と良い相関があることが知られている。この相関は磁場観測のなされた近代の精密観測によって示されたもので過去の太陽でも同じように相関があったかどうかは明らかではない。そこで本研究の目的は、過去の太陽においても同じように太陽極小期における極磁場と次期サイクルの太陽活動度に良い相関があるかを検証することである。特に1800年代の黒点が非常に少なかったダルトン極小期に着目し、その時代の黒点スケッチ画像を解析した。黒点スケッチより、黒点の緯度経度と黒点面積、黒点の速度を抽出した。これらの解析結果を確認するため、黒点の緯度分布、面積分布、速度分布が現在の分布とどのように違うかを議論する。得られた黒点情報をもとに、表面磁束輸送モデル計算を用いて極磁場の値を推定するために必要な黒点の磁場と極性を求める第一段階として現在のDPD(Debrecen Photoheliographic Data)の黒点情報とHMI(Helioseismic and Magnetic Imager)の磁場情報を比較した。今後の計画として、現在の黒点磁場情報をもとに黒点スケッチから黒点の磁場強度、極性を推定していく。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

M26a 太陽活動や磁場変動の結合スピン格子モデルによる解析

森川雅博 (お茶大), 坂井彩織 (お茶大), 中道晶香 (京産大)

太陽の準周期的な活動性や磁場変動・磁極反転を解析し、星や惑星はなぜ普遍的に変動磁場を持つのかを明らかにしたい。しかし磁気流体力学では、乱流を伴う対流のレイリー数など現実のパラメータ値に何桁も足りないのが困難である。従って我々は、相互作用する多数の局所対流セルを結合させ、その総体として、マクロ構造のダイナミクスを与える結合スピン格子モデルを応用する。◆この計算により、我々は太陽磁場のいくつかの特徴を再現した：縦に揃う成分がある。強い水平磁場が一様に存在する。極領域に反磁束斑が見られる。南北の非対称がある。準周期的に磁極反転する。特に磁極反転時に多重極が卓越する。◆これらを定量的に記述するために我々はまず、黄金比とフィボナッチ数列を使った球面上の均一分布格子座標系（ひまわり座標）を開発した。これは球面上を均一に被覆し、上記モデルが安心して計算できる。次に、全体のスピントたちが作る表面磁場の構造とその変動を求めた。つまり磁場分布を球面調和関数で展開して、磁極反転時にそれらがどのように変化するかを計算した。急激に双極子が消滅し、四重極成分が卓越する。このことにより、南北の極性は同時には反転しないことがわかる。また、磁場変動のパワースペクトルが（特定の周期のほかに）非整数のべき分布を示し、様々な時間尺度の長期的な揺らぎが存在することも示した。◆更にこれらを、ひのでやSOHOの太陽データや氷床コア中のBe10などの測定記録と比較して結合スピン格子モデルを検証していく。例えば、これらの観測データの長期変動もやはりべき的なパワースペクトルを示すが、指数は一致しない。これらが、差動回転の効果など、さらに詳細な構造を考慮するとどのように改善するかなども時間があればお話しする。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27b 太陽コロナ緑色輝線で観測されたフレア

清水結花, 石塚千彬, 小野寺幸子 (明星大学), 萩野正興, 桜井隆, 篠田一也 (国立天文台), Yu Liu, Tengfei Song, Xuefei Zhang, Mingyu Zhao, Zhong Liu (雲南天文台), 木村剛一, 一本潔 (京都大学), 宮良碧, 野澤恵 (茨城大学)

太陽のコロナで起こるフレアの仕組みを理解するにはコロナグラフを用いた定常的な観測が必要不可欠である。我々は、2013年に国立天文台乗鞍コロナ観測所 (標高 2850m) より中国雲南省麗江市郊外にある雲南天文台麗江観測所 (標高 3200m) に移設された 10cm コロナグラフで得られたデータを用いてコロナで起きるフレアについて調査した。このコロナグラフはコロナの緑色輝線 5303\AA を撮像する 1\AA 幅のチューナブル・フィルターを搭載しており、ラインセンターだけでなく速度場を測定するために $\pm 0.45\text{\AA}$ 、空の散乱光を測定するために $\pm 2\text{\AA}$ (ダブルピーク) での観測も定常的に行っている。

このコロナグラフのデータを用いて 2015 年 1 月 15 日に太陽の西のリムで発生したフレア (GOES X-ray Flux では C クラス) と関係した明るい構造を発見した。この構造は 5:00UT ごろから増光をはじめ、1 時間半にわたって継続した。最終的にコロナフレアの特徴であるカスプ状の形状を示し、その後、明るい先端の構造が太陽リムから離れていく様子も確認できた。画像からこの構造が太陽リムに対して垂直に運動したとして上昇速度は約 30km/s と見積もった。

我々はこの構造と太陽観測衛星 SDO/AIA の極端紫外線 171\AA でのイメージや SOHO/LASCO のコロナグラフと比較して、温度による見え方の違いや CME に関しても調査している。本講演ではコロナグラフのデータ解析を中心にコロナで起きるフレアのメカニズムを調査結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28b 太陽コロナ緑色輝線で見られる構造の長周期変動について

萩野正興, 桜井隆, 篠田一也 (国立天文台), Yu Liu, Tengfei Song, Xuefei Zhang, Mingyu Zhao, Zhong Liu (雲南天文台), 木村剛一, 一本潔 (京都大学)

2009年に閉鎖した乗鞍コロナ観測所で使用されていたコロナ緑色輝線 (5303Å) 観測装置 (通称:YOGIS) は、中国雲南省麗江市の雲南天文台麗江観測所に移設されて2013年から定常観測を行っている。年間の観測日数は平均で100日程度である。この太陽コロナ緑色輝線の全面像 (撮像間隔は約3分)、部分像 (撮像間隔は30秒) を定常観測している。さらに、速度場観測用に $5303\text{\AA} \pm 0.45\text{\AA}$ とスカイのキャリブレーション用に $5303\text{\AA} \pm 2\text{\AA}$ のダブルピークの像を取得している。

本講演はこの乗鞍コロナ観測と麗江観測所の緑色輝線のデータから横軸に時間、縦軸に緯度をとった分布図を作成した報告である。一般的に黒点データを用いると蝶形図と呼ばれるサイクルが高緯度で始まり低緯度へ出現緯度に変化する様子が見られる。コロナ輝線データの同様の分散図では活動サイクルが黒点よりも早い時期に始まる。さらにサイクルに依存するコロナ強度の極への輸送もこの分散図から確認でき、太陽ダイナモ問題と関連して興味深いデータが得られている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M29c 1930年代の微小黒点由来磁気嵐サーベイ

玉澤春史，磯部洋明（京都市立芸術大学），北井礼三郎（佛教大学），坂上峻仁，上野悟（京都大学）

一般に強い磁気嵐はX線強度も強いフレアで起こされることが多いが、数は多くないものの、静穏領域のフィラメント噴出に起源を持ち、強いX線フレアを伴わない大規模磁気嵐も存在する。近年の例では1994年4月のイベントがよく知られているが、歴史文献を用いた研究により、マウンダー極小期にも大黒点のない太陽からの噴出による大規模磁気嵐が起きていたことが示唆されている（Kawamura et al. 2016, Isobe et al. 2019）。このように大黒点がない時期にも起きる宇宙天気現象は黒点起源のものとは比べても予測がより困難であり、そのような現象がどれほどの頻度で起きるのかを過去のデータから明らかにすることは重要である。京都大学の花山天文台では1929年の開台からまもなく太陽CaK線ヘリオグラムの写真を撮影し始めており、当時の乾板データのアーカイブ化をすすめている。これらと、地磁気活動の指標のうち長期間算出されているaa指数、また黒点スケッチなどを照合したところ、1930年代においてaa指数で-100nTを超える規模の磁気嵐が発生した約160例のうち、その時の太陽表面に黒点が無いケースが9例ほど確認された。特に、1933年4月末は、各地の黒点スケッチによれば黒点が見られない時期であったが、5月1日には柿岡で地磁気嵐が観測されており、aa指数は-200nT程度を記録している。この時期にはコダイカナルやウィルソン山でのH α 観測も行われており、写真乾板データのアーカイブ化が進んでいる。この時期の観測をもとにしたフィラメントなどの記録であるCartes synoptique de lachromosphere solaireによれば当時巨大なフィラメントが確認されており、この一部の噴出が寄与したものと考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

M30a Numerical study of fast and slow MHD waves in heating magnetic chromosphere by realistic simulation

Yikang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo), Haruhisa, Iijima (Nagoya University)

The problem of how to heat the magnetic chromosphere is still under debate. MHD waves are considered as important energy transporter and make contribution to heating. Previous researches usually discuss propagation of MHD waves in the chromosphere in detail but the setting of flux tube and wave generation is artificial. There are also studies by realistic simulation but they are usually used for spectra synthesizing for comparison with observations, without discussing detail physical processes. In our study, we perform two-dimensional realistic MHD simulation. We separate fast and slow MHD waves by identifying the relation between directions of magnetic field and velocity. We further estimate the contribution to the heating through the measurement of local radiative loss by slow wave and fast wave and conclude that fast wave plays a more dominant role in heating the magnetic chromosphere.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a ALMAによるスピキュール物理量の導出

下条圭美 (国立天文台), 川手朋子 (JAXA/ISAS), 岡本文典 (国立天文台), 横山央明 (東京大学)

彩層でのジェット現象であるスピキュールは、彩層やコロナの加熱において重要な役割を担っていると考えられている。古くは H_{α} などの可視光のラインを利用して、最近では衛星搭載望遠鏡を使った真空紫外線のライン観測を利用して、スピキュールの観測的な研究が進められている。ただし、スピキュールの温度や密度を可視光や紫外線のライン観測から求めることは、これらのラインが局所的熱力学的平衡 (LTE) 条件を満たさない放射であるため難しい。そこでミリ波 (電波) 観測である。彩層からのミリ波放射はほぼ熱放射であり、LTE 条件を満たした放射である。よってミリ波の放射の解釈は可視光・紫外域のラインより格段に容易となり、また観測値からの物理量導出も比較的容易である。

我々は、ALMA・IRIS・AIA/SDO の同時観測にて、赤道付近のリム上で発生した大きめのスピキュールを捉えることができた。100 GHz で観測されたスピキュールは、Mg II や He II などのラインでは対応する増光が見られず、Fe XII の撮像データ (AIA 193 Å Band) において吸収の構造として 100 GHz スピキュールの対応物が見られた。温度を仮定して観測された 100 GHz の輝度温度から光学的厚さを求め、また温度と密度の両方を仮定して光学的厚さを別途計算し、それらを比較した。その結果、観測された 100 GHz で見えるスピキュールの温度は 4000 – 8000 K、密度は $2.2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度であることがわかった。これらの値は、193 Å における吸収構造を説明できる値である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M32a CLASP で得たライマン α 線スピキュールの偏光とそれが与える磁場への制約

吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 末松芳法, 石川遼子 (国立天文台), Javier Trujillo Bueno (IAC), 飯田佑輔 (関西学院大学), 後藤基志 (核融合科学研究所), 鹿野良平, 成影典之, 坂東貴政 (国立天文台), Amy Winebarger, Ken Kobayashi (NASA/MSFC), Frédéric Auchère (IAS)

太陽彩層では、スピキュールと呼ばれるジェット状構造が至る所で観測されている。スピキュールの磁場は、スピキュールに沿ってコロナへ輸送される磁気波動のエネルギーを観測的に評価するための重要なパラメータである。その測定ができれば、磁気波動による太陽コロナ加熱問題の定量的な議論が可能となる。CLASP (Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter) は、2015年9月に実施された観測ロケット実験であり、スピキュールに沿ったライマン α 線 (121.6 nm) の偏光分光観測に世界で初めて成功した。ライマン α 線は、光学的に非常に厚いため、他の彩層スペクトル線よりも高い温度にまで感度があり、スピキュールとコロナの関係を理解するのに適している。CLASP の観測から得られた直線偏光 Q/I (太陽縁と平行方向を正、垂直方向を負と定義) と U/I (Q/I から 45 度回転させた方向) はそれぞれ、太陽縁より外側で 0.0% から 2.0%、+1.0% から -1.0% と CLASP の 5 分間の観測時間中にも変化していることがわかった。偏光精度はどちらも 0.1–0.3% である。Q/I が常に正である結果は、太陽面からの輻射場による 90 度散乱が卓越しているものと解釈できる。散乱偏光は、非等方にやってくる光を原子が散乱することで生じるが、磁場があると、その磁場強度や向きに応じてハンレ効果により偏光度と偏光方向が変化する。つまり、U/I と Q/I の時間変化は、磁場ベクトルの時間変化や非等方的な輻射場の時間変化が原因だと考えられる。鉛直軸に対称な輻射場を仮定した場合に、観測された直線偏光及びその時間変化と整合する磁場パラメータについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M33a 観測ロケット実験 CLASP2 で捉えた太陽彩層の新たな姿

鹿野良平, 石川遼子, 岡本文典, Donguk Song, 吉田正樹, 浦口史寛, 都築俊宏 (国立天文台), David E. McKenzie, Laurel Rachmeler, Ken Kobayashi (NASA/MSFC), Javier Trujillo Bueno (IAC), Frédéric Auchère (IAS), CLASP&CLASP2 チーム

太陽彩層・遷移層の磁場情報の観測的把握は、太陽観測における重要なフロンティアと認識されつつある。我々は、彩層・遷移層由来のスペクトル線の宝庫である紫外線領域での高精度 (0.1%) 偏光分光観測にて、この開拓に挑んでいる。2015年実施の観測ロケット実験 CLASP では、ライマン α 線の高精度偏光分光観測を世界で初めて成功させ、それが示す散乱偏光の中からハンレ効果の観測的証拠を掴み、遷移層磁場の存在を観測的に初めて示した。但し、磁場を定量的に把握するには、ゼーマン効果との併用が重要なことも判明した。

そこで、新たに波長 280nm 近傍の電離マグネシウム線に着目し、その直線偏光と円偏光をともに偏光分光計測する観測ロケットとして、CLASP の再飛翔計画 “Chromospheric LAYer Spectro-Polarimeter (CLASP2)” を進めてきた (石川ほか, 2018 年秋季年会)。既存の CLASP 観測装置に最小限の改造を施すことで進めた CLASP2 観測装置の開発は、最重要な偏光校正を含めて 2018 年 11 月に完了し、米国での各種試験も順調に完了した。2019 年 4 月 11 日に米国ホワイトサンズ実験場にて挑んだ実験では、NASA 観測ロケットの完璧な飛翔と姿勢制御、同じく完璧に機能した観測装置のお陰で、活動領域のプラージュとリム近傍の静穏領域の 2 つの観測対象にて、電離マグネシウム線での高精度偏光分光観測を成功させた。速報解析からはプラージュ領域においてゼーマン効果を示す円偏光が捉えられており、彩層上部磁場の定量的把握が大いに期待できる。

講演では、CLASP2 観測と各種共同観測の報告と共に、得られた観測データについても速報する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M34b $H\alpha$ 線 2 波長同時撮像観測による活動領域の高解像度速度場観測

宮良碧, 野澤恵 (茨城大学), 一本潔, 大辻賢一, 上野悟, 木村剛一 (京都大学), 萩野正興 (国立天文台), 坂江隆志 (浦和西高校)

我々は 2019 年 5 月 5 日に活動領域 NOAA12740 を京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡にて観測した。この観測では狭帯域チューナブル・フィルター (UTF-32) を用いて $H\alpha$ 線 (6562.8 \AA) と $H \alpha \pm 1 \text{ \AA}$ 、及び $H\alpha$ 線 $\pm 0.5 \text{ \AA}$ それぞれについて同時撮像をおこなった。空間サンプリングは 0.123 秒角、露出時間は 8 msec で、1 セット 50 枚ずつの画像を取得し、スペックルマスクング像回復処理を施すことにより、口径 60 cm の回折限界 (約 0.25 秒角) による $H\alpha$ 単色像とドップラーグラムを取得することが出来る。時間分解能は 10 秒である。

この日、観測ターゲットの NOAA12740 は比較的リムに近い単黒点領域であり、フィラメントの噴出に続いて C2.1 クラスのフレアを発生した。観測では、この C2.1 クラスのツーリボンフレアや、フレア発生後に明るい箇所が伝搬していく様子の時間変化を得られた。

本稿では、フレアカーネルの早い時間変動及び超半暗部の微細な速度場の時間変化を追跡して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M35b 飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験II

山崎大輝, 永田伸一, 一本 潔 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope: SMART)/T4 では、波長中心 Fe I 6302.5Å に対して、 ± 160 , ± 80 mÅ の 4 波長点で、時間間隔 30 秒 ~ 1 分で偏光精度 3×10^{-4} の Stokes parameter (I, Q, U, V) を取得している (2013 年度春年会 A17C)。併せて、SMART/T4 のインバージョンコード開発も進められてきた (2013 年秋年会 M23C, 2018 年秋季年会 M18A)。SMART/T4 と Solar Dynamics Observatory (SDO)/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) のベクトル磁場データの比較を行った際、T4 の Stokes プロファイルにクロストークが疑われた。そこで、2018 年 11 月に Stokes $\pm Q$, $\pm U$, $+V$ の 5 通りを入力として T4 の第一焦点より下流における偏光キャリブレーションを行った。その結果、T4 は円/直線偏光度の最大値 (0.2/0.15) の仮定に対して統計誤差 $\sim 10^{-4}$ を達成するための要求精度 $\sim 10^{-3}$ (cf. Ichimoto et al. 2008) を 1 桁上回るポラリメータ応答行列の空間分布をもつことが明らかになった。これは、ピクセル毎の偏光較正が必要であることを意味する (2019 年春年会 M35A)。本研究では、先行実験の再現性の確認、T4 の光路全体の偏光キャリブレーションを目的に 2019 年 5 月に T4 の望遠鏡筒先に偏光板を設置した追加実験を行った。本実験では、偏光板の設置誤差を先行実験の 1/4 以下に抑え、入力偏光の決定精度を 1 桁向上させるため、直線偏光板 (VLS-200-IR) を用いて 11.25deg 刻み 16 通り、円偏光板 (HNCP37R, HNCP37L) を用いて 22.50deg 刻み 8 通りずつの合計 32 通りの既知偏光の入力を与えた。その結果、視野内での要求精度を上回る空間分布の再現性が確認され、波長板への入射角の違いによって説明されることが示唆された。本講演では実験概要および、T4 光路全体でのポラリメータ応答行列とクロストーク補正前後での Stokes プロファイルとベクトル磁場の変化について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M36b 太陽サイクル24のプロミネンスの極輸送について

石塚千彬, 清水結花, 小野寺幸子 (明星大学), 萩野正興, 桜井隆, 篠田一也 (国立天文台), 宮良碧, 野澤恵 (茨城大学)

太陽彩層に出現する大型のプロミネンスは太陽の全球的な磁場と関係しており、太陽の極磁場反転のタイミングとも良い関係を示す。プロミネンスの蝶形図 (横軸に時間、縦軸に緯度をとった分布図) では、太陽活動の極大期に緯度 50 度あたりから極地方に向かって輸送される帯状の道筋が確認される。

我々は太陽サイクル 24 における太陽プロミネンスの極輸送の傾向を国立天文台太陽観測科学プロジェクトの太陽フレア望遠鏡で観測されている $H\alpha$ 線 (656.3nm) の太陽全面像を用いて解析した。この太陽フレア望遠鏡では 2010 年から Zeiss 社製のリオ・フィルターを用いて $H\alpha$ 線中心、 $\pm 0.05, \pm 0.08, 3.5\text{nm}$ での観測を行っており、毎年 200 日を超えるデータを取得している。本研究では 1 日 1 枚観測者によって選ばれるベストイメージの fits データからプロミネンスの緯度を自動検出するプログラムを作成し、プロミネンスの蝶形図を作成した。サイクル 24 の極への輸送は南北半球ともに 2011 年 12 月頃から始まり、北極への輸送ははっきりしていないが、2013 年 12 月頃までに、南極への輸送ははっきりと現れており、2015 年 1 月までかかった。このサイクル 24 では南北半球の不均衡がはっきりと現れた。本研究では、このプロミネンスの極への輸送速度の幅、黒点の蝶形図や極磁場反転のタイミングなどの議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M37b 黒点の出現態様に見える太陽の長期活動変動と、基礎データ整備

花岡 庸一郎, 桜井 隆, 伊集 朝哉 (国立天文台)

国立天文台三鷹では、CCDカメラによる撮影画像から黒点の情報を得る観測(今井他 1998)を20年以上同じ装置で継続して行っている。このような手法であれば、旧来の人の手によるスケッチと異なり、主観的要素が入らないデータが得られることが期待できる。単に黒点相対数を求めるというのにとどまらず、黒点の2次元像情報の長期間の蓄積としての活用が可能である。

その一例として、太陽活動サイクルによる黒点群の出現態様の変化を紹介する。ここ最近太陽活動は低下しており、第24期は第23期に比べて黒点相対数が4割ほども減っている。ところが、国立天文台三鷹の観測結果から求めた相対数では、2割ほどの減少にとどまっている。この差は、黒点相対数を求めるための標準的な観測では、第24期ひとつの黒点群あたりの黒点数が減少しているのに、三鷹の観測ではそれが見られないことに起因している。三鷹の画像が空間分解能が高くないため、密集した黒点を検知する能力が低い。第24期においては、単に黒点が減ったというわけではなく、黒点の出現における空間分布が変化している、ということの意味している。このことは、単に黒点相対数のような数値ではとらえられない表面磁場の現れ方の長期的変動を、2次元の黒点情報によりとらえられることを示している。

このようなことを踏まえ、国立天文台三鷹のこれまでの黒点データ等について、これまでの公開状況を見直し、長い観測期間を通じた統計的解析などに使えるよう、整備を進めていることも、合わせて紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M38b 情報通信研究機構太陽観測データベース

久保勇樹, 石橋弘光, 直井隆浩 (情報通信研究機構)

情報通信研究機構では、その前身である郵政省電波研究所が発足した 1950 年代から、当時の電波警報業務の一環として太陽の電波、光学観測を行っている。光学観測は 2000 年代後半に終了したが、電波観測については観測周波数帯域、観測場所の変更はあるものの、現在も続けられており、宇宙天気予報のための重要なデータとして利用されている。

これらの観測データは独自のフォーマットで保存されており、リクエストに応じて提供していたが、今回、平磯太陽電波観測 (HiRAS)、山川太陽電波観測 (YAMAGAWA)、及び平磯 H α 観測データ全てを標準 FITS フォーマット化し、情報通信研究機構太陽観測データベースとしてデータ公開を開始した。このデータベースには、<http://solarobs.nict.go.jp/> からアクセスでき FITS ファイルのダウンロードも可能となっている。

電波観測については、HiRAS (1996 年~2016 年)、YAMAGAWA (2016 年~) の、L, R 偏波の生データ及び、静穏太陽差引済みの L+R の強度データを公開している。H α については、1994 年~2006 年までの、H α 中心、及び H $\alpha \pm 0.7 \text{ \AA}$ の観測データを公開している。

本データベースは、現在は情報通信研究機構の観測データのみ公開であるが、東北大学太陽電波観測データも同時に公開できるように開発されており、現在東北大学データも一元的に公開できるように準備を進めている最中である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M39c 太陽風シミュレーションモデルの高解像度化によるコロナホールの再現と高速風予測について

田光江（情報通信研究機構），田中高史（九州大学，情報通信研究機構），久保勇樹，亘慎一（情報通信研究機構）

コロナホールによる高速風は地球磁気圏に擾乱を起こす要因の一つであるが、太陽活動静穏期にもこの擾乱は存在すること、またコロナ質量放出（CME）は背景太陽風との相互作用により CME の伝搬が影響を受け、その結果地球軌道到来時刻も影響されることから、正確な太陽風の再現は宇宙天気において重要な課題の一つである。

この高速風到来予測を目的に、情報通信研究機構（NICT）では太陽コロナ域から地球軌道を含む領域のグローバル太陽風シミュレーションモデルの開発を行って来たが、前々回の年会ではこのモデルの予報への活用のため、入力太陽磁場観測データ強度によって加熱モデルやそれに関連する複数のパラメータを自動的に選定してシミュレーションを実行する予報システムを作成したことについて報告した。

これまでのシミュレーションモデルの解像度が球面では 1922 点の格子点で粗かったことから、面積の小さなコロナホールや極から低緯度にいたるホールの先端部分の再現が不十分だった。低緯度部分のホールから来る高速風は地球軌道への影響が大きいことから、解像度の改善は重要な課題であった。今回格子点を約 16 倍の 30722 点（解像度 $\sim \Delta 1$ 度 $\times \Delta 2$ 度）にした高解像度版モデルを開発した。これにより小さなコロナホールを逃すことなく、またホールの境もより明確に再現することが可能になった。

ここではこのモデルの結果とモデルの変更に伴う加熱モデルのパラメータについて報告する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a 赤色巨星の太陽型振動にみられる周波数スペクトルの微細構造の解釈

高田 将郎 (東大理) , C. Pinçon (University of Liège), B. Mosser (Paris Observatory)

恒星の表面で検出される振動から内部構造を探るという星震学の研究は、21世紀になって実現された CoRoT, Kepler といった宇宙探査計画のおかげで、飛躍的な進展を遂げた。とりわけ、膨大な数の赤色巨星で、太陽5分振動と同様の現象が検出された結果、赤色巨星は星震学のなかで最も活発に研究される対象の一つとなっている。赤色巨星の振動は、表面近くの乱対流から発生する音波がその源であるが、全体としては純粋な音波ではない。ヘリウムからなる中心領域では密度が高く、表面で発生する音波と同じ周波数で、(浮力を復元力とする) 内部重力波が伝播しうる。この結果、外層で発生した音波は、中心領域に伝播すると内部重力波として振る舞うようになり、このような波が固有振動モードを構成する。音波ないし内部重力波だけで構成されるモードをそれぞれ音波 (p) モード、重力波 (g) モードと呼ぶのに対し、このようなモードを混合モードという。赤色巨星の太陽型振動の最大の特徴は、混合モードを含むことにある。その利点は、表面から中心部にいたる星の隅々にまで伝播するため、その性質から星の内部構造の全体像がわかるということである。一方で、物理的に異なる2種類の波が組み合わさる結果、混合モードの周波数スペクトルは複雑なものになる。これを理解するのに適した理論的枠組みは、漸近理論である。これは波の波長が、構造のスケール・ハイトより十分に短い場合によく当てはまる。漸近理論の基本形は、すでに1980年頃には提出されていたが、それにもとづいて Kepler で観測された赤色巨星の振動周波数を解釈してみると、そのままでは精度が悪く、一部修正が必要であることが経験的に知られている。そこで本研究では、最新の漸近理論を用いて、この経験的な修正の物理的根拠を明らかにする。また、恒星進化モデルにもとづいて、得られた解釈の正当性を確認する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a 主系列 F 型星 KIC 9244992 の対流コアに焦点を絞った自転角速度推定

八田良樹, 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学), 高田将郎 (東京大学)

恒星自転は、磁場活動を司るダイナモ機構や恒星内元素混合過程において大きな役割を果たしていると考えられているため (Maeder 2009 など)、「恒星内部の自転角速度を場所の関数として推定すること」が星震学における中心的課題として近年積極的に取り組まれている (Aerts et al. 2018 など)。現在、「多くの主系列星内部において、強い差動回転は見られない」という考えが主流である (Aerts et al. 2017 など) が、Hatta et al. (2019) は主系列 A 型星 KIC 11145123 の対流コアが他の領域に比べ 6 倍ほど速く回転している可能性を指摘しており、恒星内部自転の共通理解に一石を投じている。ただし、対流コアの自転角速度推定は KIC 11145123 以外に行われたことがないので、その結果の普遍性には依然検証の余地がある。

われわれは、二例目の「対流コアにおける自転角速度推定」を目指し、主系列 F 型星 KIC 9244992 に対し自転の逆問題を行った。この星については、既に一次元的な自転角速度推定が行われているのだが (Saio et al. 2015)、彼らが解析に用いなかった混合モードの rotational splitting も取り入れ、より詳細な解析を行った。逆問題の手法としては、Optimally Localized Averaging (OLA) 法と自転角速度分布の a few-zone modeling を用いた。本講演では以上の解析結果、KIC 11145123 の場合との比較、そして今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N03a カシオペア座 γ 型変光星における水素輝線等価幅のモニタリング

石田光宏 (横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校)

カシオペア座 γ 型変光星 (Gamma Cassiopeiae variables, GCAS) とは、数か月から数十年のタイムスケールで変光する星であり、爆発型変光星 (eruptive variables) に分類される。光度階級が III-V の B 型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられたものを Be 星といい、GCAS はこれにあてはまる。Be 星の水素輝線の放射メカニズムとしては、星が高速で自転しているため赤道周りにガス円盤を作り、そこから輝線が出るというのが定説となっている。しかし、ガス円盤の起源や変動のメカニズムについては、明らかになっていない。近年、GCAS のプロトタイプである γ Cas において 40 年以上にわたる $H\alpha$ 輝線等価幅の変動が報告されている (Pollmann et al. 2014)。また、 δ Sco についても、藤井貢氏による $H\alpha$ 輝線等価幅や、 $H\alpha$ 輝線等価幅と $H\beta$ 輝線等価幅の比であるバルマー通減率の長期的な変動が報告されている。このように、ガス円盤の起源を探るには、長期的な分光観測が有力な手段であると言ってよい。2018 年 9 月より、本校の 30cm 望遠鏡+低分散分光器を用いて複数の GCAS のモニタリングを始めたので報告する。観測対象は δ Sco、 π Aqr、 κ Dra などである。 δ Sco は、2018 年 9 月から 2019 年 5 月にかけて、 $H\alpha$ 輝線等価幅やバルマー通減率において大きな変動は見られず、2000 年から 2011 年の藤井貢氏による観測で得られた周期性とうまく当てはまる結果となり、円盤の活動に周期性があることが示唆される。 π Aqr は X 線でも明るい GCAS の一つである。 κ Dra は近年 $H\alpha$ 輝線等価幅の減少からガス円盤が縮小しているという報告があり (Kubat et al. 2010)、今後の観測が重要な天体である。詳細は講演で述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N04a 惑星形成が恒星表面組成に及ぼす影響について

國友正信 (名古屋大学), Tristan Guillot (コート・ダジュール天文台), 井田茂, 竹内拓 (東京工業大学)

星の表面組成は、星や惑星系のバルク組成を反映していると考えられているため、その理解は重要である。本講演では星の表面組成に惑星形成が及ぼす影響について検討し、近年観測により明らかになったいくつかの星表面組成異常問題について議論する。中小質量星は、分子雲の重力崩壊により形成した原始星が、原始惑星系円盤からの降着を通じて質量を獲得し、形成する。円盤内では惑星が形成するため、円盤ガスの組成は初期組成とは異なる可能性がある。特に微惑星や惑星は固体成分を選択的に取り込むため、惑星形成により円盤ガスや難揮発性成分に欠乏し、またそのガス降着により星表面組成も難揮発性成分に欠乏すると期待される。ただし、降着による組成の変化量には星の内部構造進化が重要である。星の表面对流層が厚ければ、降着による影響は限定的になる。近年、若い星の進化は降着流のエントロピーによって大きく変わりうることを示されたため (e.g., Hosokawa et al. 2011), 最新の恒星進化モデルを用いることが必須である。そこで本研究では、原始星初期段階から主系列まで中小質量星の進化を計算し、簡単な惑星形成モデルを組み込むことで、星の表面組成の進化を求めた。恒星進化計算コードは、オープンコード MESA (Paxton et al. 2011) をもとに、降着流の熱的構造を考慮するように我々が改良したものをを用いている (2015 年秋季年会 P116a で報告済み)。計算の結果、降着流のエントロピーが低く、星の質量が大きいほど、星の表面对流層は薄く、星表面組成は大きく変化することがわかった。得られた結果を用いて、観測により近年明らかになった、太陽と太陽類似星の組成の違い、 λ Boo 星の起源、連星間の組成異常、Hyades 星団の金属量トレンドについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N05a 2次元回転星の定常解を求める数値計算手法

小形美沙 (早稲田大学), 大川博督 (早稲田大学), 藤澤幸太郎 (東京大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 山田章一 (早稲田大学)

恒星進化計算では、進化のタイムスケールがダイナミカルタイムスケールに比べて非常に長いため、まず力学平衡形状を精確に求めることが必要になってくる。これは非線形微分方程式である静水圧平衡の式を解くことで得られ、それぞれの平衡解をつなぎ合わせていくことで進化を追うことが可能となる。

恒星進化計算はこれまで1次元球対称のモデルを中心に行われてきたが、それだけでは観測を再現するには不十分であり、回転や対流などの影響による非球対称的な効果が重要であると考えられている。このような多次元的効果は、超新星爆発の親星モデルや大質量星に多く見られる高速で回転する星など、様々なモデルを考える上で重要となっており、現実的な恒星進化を定量的に扱うためには自転を正しく考慮した軸対称2次元の平衡形状を求める必要がある。そのためには、角運動量やエントロピーなどの保存量を正しく扱うことのできるラグランジュ的記述が不可欠となってくるが、今までの研究は主にオイラー的記述で扱われてきており、恒星進化計算に用いるためには不十分であった。また、解くべき方程式は非線形で非常に硬いため数値不安定に陥りやすく、ニュートン法では解くことができないという問題があった。

そこで本研究では、軸対称2次元で回転星の力学平衡形状を数値的に求めるための定式化をラグランジュ座標の下で行い、それを従来のニュートン・ラフソン法 (NR法) とは全く異なる新しい反復法の W4法を用いて計算を行った。W4法はNR法よりも格段に収束性が改善しており、広い初期条件から解を得ることが可能となっている。自己重力の下で回転を考慮した星の擬似的進化計算の結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N06a 新しい計算手法によるラグランジュ座標上での回転星計算

藤澤幸太郎(東大)、小形美沙(早稲田)、大川博督(早稲田)、山田章一(早稲田)、安武伸俊(千葉工大)

星の進化の最終段階である超新星爆発では、親星の回転がその爆発や重力波の放出、さらには中性子星などのコンパクト天体の形成に大きな影響を与えると考えられており、回転は重要である。また超新星爆発を起こすような大質量星の多くは特に高速で自転しており、親星の進化計算でも星の回転は重要である。そのため多くの大質量星の進化計算で自転の効果が取り入れられ、自転が進化に及ぼす影響が議論されている。しかし、そういった星の進化計算のほとんどは平均化された球対称一次元的な計算であるため、星の形状が大きく歪むような高速回転している恒星の構造と進化を正しく計算することはできない。そのため、高速で回転している親星の進化を考えるためには、二次元以上の高速回転星の構造・進化計算が必要となってくる。

他方、これまでの二次元の回転星の構造を求める計算のほぼ全てはオイラー座標上でなされており、進化計算に適したラグランジュ座標上での計算はごくわずかしか存在していない。これは質量座標を容易に使うことができる一次元計算に比べ、二次元計算ではラグランジュ座標が取り扱いにくいことに起因している。

そこで本研究では、高速回転する歪んだ星の構造を二次元ラグランジュ座標上で求めるために、回転により歪んでいる星を構成するラグランジュ粒子の位置を、無回転の歪んでいない星を構成するラグランジュ粒子の位置からの写像と考え、その関数形を決めることで星の構造を計算する新しい手法を開発した。本講演では、この計算手法と計算結果などに関して議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a ゼロ・低金属量星におけるコロナループ加熱

鷲ノ上遥香, 鈴木建 (東京大学)

初代星は宇宙で最初に誕生した金属を含まない星であり、宇宙進化を探る上で重要な天体である。従来、典型的な初代星は質量が $10^{2-3} M_{\odot}$ (M_{\odot} :太陽質量) 程度の大質量星であると考えられてきたが、近年の理論研究では小質量初代星の存在も示唆されている (Clark et al. 2011; Greif et al. 2011)。質量が $0.8 M_{\odot}$ 以下の星の寿命は宇宙年齢を越える為、このような小質量初代星は現在の宇宙で生き残っている可能性がある。しかしながら未だゼロ金属量星は発見されておらず、観測的な証拠は得られていない。

我々は理論的側面から小質量初代星の性質を理解するため、ゼロ・低金属量星のコロナに着目した。一般的な恒星の特徴として小質量主系列星は表面对流層を持ち、この乱対流に起因して磁気活動が励起され、上空のコロナの加熱に結び付く。先行研究 (Suzuki 2018) では低金属量星における開いた磁場領域での恒星風駆動数値計算が行われており、金属量の少ない星ほど強い星風が吹き出ると報告されている。ところが、閉じたループ構造におけるコロナの金属量依存性については未だ明らかになっていない。コロナの X 線・紫外線放射はループ構造からの寄与が支配的であるため、コロナループの金属量依存性を理解することは、輻射の観点から初代星観測や初期宇宙進化を議論する上で不可欠である。

本研究では Alfvén 波によるコロナループ加熱の 1 次元磁気流体数値シミュレーションを行い、ループの動的進化および物理量の金属量依存性を調査した。この結果、輻射冷却の抑制によって金属量が少ないほど高温・高密度のコロナが形成されることが分かった。特にゼロ金属量星のコロナループは太陽金属量星のものよりも 1 桁以上も高密度となり、これに伴いループからはより強い X 線が放射されることが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N08a α Ori からの星風についての理論的検証

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

赤色超巨星 α Ori は太陽を除いて一番大きな角直径 (42mas、Ohnaka et al. 2011) を持つ恒星である。星表面及び彩層領域について数多くの観測的研究がなされ、間欠的な輝点の出現や彩層の周期的な変調があることが判明した (e.g., Dupree et al. 1987; Gilliland and Dupree 1996)。星風特性も明らかにされており、質量放出率は $1-3 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (e.g., Bower and Knapp 1987)、ガス速度は 14 kms^{-1} (Huggins 1987) と見積られている。しかしながら現状ではこの天体の表面、彩層、そして星風の構造を同時に扱いかつ観測結果を再現できる理論モデルは存在しない。

一方、我々は晩期型巨星からの磁気駆動風モデルの開発を行っている。表面磁場が平均で 1 G 程度となるように設定した場合、熱パルス AGB 段階にある低重力の星 ($\log g < -0.4$) からの低速風を再現可能である (Yasuda et al., ApJ に受理)。 α Ori もまた 1 G 程度の表面磁場があると見積られており (Mathias et al. 2018)、今回はこのモデルを α Ori に適用する。恒星進化計算に基づくこの天体の質量は $17-25 M_{\odot}$ と見積られている (Dolan et al. 2016) が、この場合持続的な星風は生成しない。一方で星の周辺減光から見積った質量 ($7.7-16.6 M_{\odot}$, Neilson et al. 2011) はより低く、この場合持続的な星風は生成可能である。質量を $7.7 M_{\odot}$ とした場合、表面磁場が 3G 程度とすると高密度低速風が発生する (質量放出率が $2 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ でガス速度が 10 kms^{-1}) が、星風は持続的ではない (外部境界付近で時より inflow が発生する)。表面磁場を 5G にすると星風は持続的となった (質量放出率が $4 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ でガス速度が 22 kms^{-1})。しかしながら磁場強度を上げてても広がった彩層構造は見られない。本講演では計算結果を示し、広がった彩層構造の生成機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N09a Optically-thick magnetorotational wind from WS 35 : theoretical modeling and photometric observation at 2 Hz using Tomo-e Gozen

檜山和己 (東大 RESCEU), 藤澤幸太郎 (東大 RESCEU), 茂山俊和 (東大 RESCEU), 川名好史朗 (東大物理), 河原創 (東大地惑), 大澤亮 (東大天文センター), 田尻智之 (東大地惑), 逢澤正嵩 (東大物理), Tomo-e Gozen コラボレーション

WS 35 is a newly identified stellar object in an infrared nebula. The spectroscopic observation indicates that WS 35 has a strong wind with a velocity of $v_\infty \sim 16,000 \text{ km s}^{-1}$ and a mass loss rate of $\dot{M} \sim 3 \times 10^{-6} M_\odot \text{ yr}^{-1}$. Given the position in the HR diagram ($T_{\text{ph}} \sim 20,000 \text{ K}$ and $L_{\text{ph}} \sim 3 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$) and the inferred small photospheric radius ($R_{\text{ph}} \sim 0.1 R_\odot$), WS 35 is likely a young-hot white dwarf, possibly a remnant of a double white dwarf merger. We here obtain a new steady wind solution of strongly-magnetized fast-spinning young-hot white dwarfs, where an optically-thick wind is launched powered by a nuclear burning on the surface of the degenerate core and then accelerated by the magnetic torque and pressure gradient. We show that the observed properties of WS 35 can be consistently explained by a massive white dwarf with a surface magnetic field of $B_* \sim 10^{8-9} \text{ G}$ and a spin angular frequency of $\Omega \sim 0.1 \text{ s}$. Searching for sub-minute variabilities associated with such a fast spin, we conduct a photometric observation at 2 Hz for WS 35 using the *Tomo-e Gozen* camera onboard the Kiso Schmidt telescope. No variability is confirmed. We discuss the implications.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N10a 共生星 CH Cyg の最近の話題

飯島 孝 パドバ天文台アジアゴ観測所, 内藤博之 名寄市なよろ市立天文台, 鳴沢真也 兵庫県立大学西はりま天文台

CH Cyg は北天でもっとも明るい共生星でこれまでに多くの観測がなされているが、その性質についてはまだ謎が多い。赤色巨星の吸収線の視線速度の変化から 15 年と 756 日の周期が見つかったが、それについて、赤色巨星と白色矮星の周期 756 日の共生連星とそのまわりを 15 年周期で回っている第三の天体からなる三重連星モデルと共生連星の周期が 15 年で 756 日周期は赤色巨星の脈動によるとするモデルが提唱されている。我々の観測から 1998 年–2000 年の増光期のスペクトルで A 型主系列星で見られる Fr I, Cr I, Ti I などの吸収線が受かった。これらの吸収線がどのようにして形成されたか詳しいメカニズムは不明であるが、古典新星の極大光度において F 型超巨星の吸収線が出現することは良く知られているので、それよりも小規模の共生星の増光期においては A 型主系列星に近い物理状態が生まれたのではないかと思われる。これらの吸収線は赤色巨星の吸収線より 30 km/s ほど赤方変移していた。もしその視線速度が白色矮星の軌道運動によるなら、この結果は三重連星モデルを強く支持する。なぜなら軌道周期が 15 年なら白色矮星の質量がチャンドラセカール限界を超えてしまうからである。しかし、そうすると第三の天体の性質が問題になる。周期 15 年の食の継続期間から考えて第三の天体は赤色巨星よりも大きくなければならないが、可視光でも中間赤外域までの観測でもそのような天体は見えない。第三の天体は食変光星 ϵ Aur の暗黒伴星に似た物ではないかと思われる。1990 年代以前の増光期においては双極方向に大規模な質量放出が起きたことが知られているが、2000 年の増光期には赤道方向に 2000 km/s 以上の速度の質量放出が起きたようである。同じ天体がなぜ二種類の質量放出を起こしたのか不明である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N11a 光赤外線大学間連携と TESS によるフレア星 YZ CMi の測光分光同時観測

前原裕之 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学), 野津湧太 (University of Colorado), 野津翔太 (Leiden Observatory) 行方宏介, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成, 山中雅之 (京都大学), 加藤則行, 大島誠人 (兵庫県立大学), 村田勝寛, 飯田康太, 大枝幹 (東京工業大学), 高木健吾, 笹田真人, 秋田谷洋 (広島大学), 他光赤外線大学間連携メンバー

太陽/恒星フレアは黒点付近に蓄えられた磁場エネルギーが磁気リコネクションによって、熱や運動エネルギーの形で解放されることで生じると考えられている。恒星フレアにおいても、太陽フレアの場合と同様にフレアに伴うプラズマ噴出現象が起こると考えられており、系外惑星への影響などの観点から注目されているが、未解明の点も多い。我々は、活動性の高いフレア星の1つである YZ CMi に着目し、TESS によるこの天体の観測に合わせて、光赤外線大学間連携の枠組みを活用した、恒星フレアの高時間分解能の測光分光同時観測を行なったので、その結果を報告する。

TESS および MITSuME の測光観測から、本観測期間中 (2019 年 1 月 16-18 日) には 1 例のフレアが検出され、広島大学かなた望遠鏡と HOWPol による低分散分光および、兵庫県立大学なゆた望遠鏡と MALLS による高分散分光観測から、このフレアに伴う Balmer 系列の輝線の等価幅の増加も観測された。可視連続光の光度曲線から見つめたこのフレアによる放射エネルギーは $\sim 10^{31}$ erg だった。また、可視連続光の増加はみられないものの、 $H\alpha$ 輝線の等価幅がフレア時と同様に増加する現象も観測され、この現象では $H\alpha$ 輝線の line profile の短波長側に超過 (blue asymmetry) がみられた。講演では可視連続光の増加の有無と Balmer 系列の輝線の等価幅および line profile の時間変化の違いとの関連を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N12a せいめい望遠鏡の初期観測成果：M型星 AD Leo の恒星フレアの連続分光

行方宏介(京大), 前原裕之(NAOJ), 佐々木亮, 河合広樹, 岩切 渉, 坪井陽子(中央大), 野津湧太(コ罗拉ド大), 本田敏志(兵庫県立大), 岡本壮師, 野上大作, 柴田一成(京大), 他 OISTER team

太陽/恒星フレアは、太陽/恒星大気で起こる爆発・増光現象で、黒点付近に蓄えられた磁気エネルギーが磁気リコネクションによって熱や運動エネルギーなどの形で解放されることで生じると考えられている。太陽/恒星フレアは、放射線の照射や磁気嵐といった形で惑星環境に大きな影響を与える可能性がある。近年、M型星周りの系外惑星の探査が盛んに行われており、M型星フレアが生命生存環境に与える影響という観点から、恒星フレアの性質に対する関心が世界的に高まっている。恒星フレアの性質を理解し、惑星への紫外線などによる影響を評価するために、恒星フレア時の大気構造・放射機構のモデルが必要となるが、依然としてよくわかっていない。

我々は、京都大学 3.8m せいめい望遠鏡(2019年2月に観測開始)に搭載された低分散分光器 KOOLS-IFU(波長分解能 ~ 2000)を用い、活動的なM型主系列星 AD Leo の約8晩(2019年3月・4月)のモニタ観測を行なった。その結果、大口径を生かした非常に高い時間分解能(40 \sim 70秒)で、複数の巨大フレアの H α スペクトルを検出することに成功した。その他、X線望遠鏡 NICER、中央大学 SCAT(可視低分散分光)、大学間連携 MITSuME(可視測光)+西はりま天文台なゆた望遠鏡(中分散分光)との同時観測にも成功した。せいめい望遠鏡での H α フレア中には、X線・可視光でも増光があるフレアもあれば、可視光では増光がないフレアも観測された。これらの違いは、フレア中の光球 \sim コロナの大気状態に多様性があるということを示している。また、なゆた望遠鏡の中分散分光データでは、H α の blue シフト成分が検出された。これはフレアに伴う質量放出を反映している可能性がある。本講演では、上記のせいめい望遠鏡の初期観測成果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N13a 接触型連星における質量移動率の連星パラメータに対する依存性

高妻 真次郎 (中京大)

接触型連星とは、連星系を成す2つの恒星の内部臨界ロッシュローブが、ともに満たされているような近接連星系である。連星の2つの星のうち、少なくとも一方のロッシュローブが満たされているとき、ラグランジュ点を通して質量移動が生じている可能性が高い。質量移動は、連星を構成する星々の質量を時間変化させるため、連星系の進化過程をより複雑なものにする。そのため、連星系での質量移動が系のパラメータや時間などにどのように依存するのかを究明することが、連星系の進化過程を明らかにするためにも重要となる。

本研究ではまず、先行研究を探り、系内で質量移動が発生している可能性の高い接触型連星の候補を選び出した。定常的な質量移動は公転周期を一定の割合で変動させるため、長期(数年以上)にわたり一定の周期変動を示す食連星を候補天体とした。得られた候補天体の連星パラメータについては、関連する過去文献から集めており、利用したパラメータはすべて光度曲線のモデリングにより得られている。収集したデータをもとに、公転周期の変化率と連星の各星の質量を用いて両星間での質量移動率を算出し、その連星パラメータに対する依存性を調べた。なお、質量移動率については、質量が大きな星から小さな星および逆の場合の質量移動に関して算出している。

質量移動率と連星パラメータとの関係を調べた結果、公転周期、温度、質量比との間に相関関係が見られた。接触型連星のうちW型とA型で傾向が異なり、質量が大きな星から小さな星への質量移動が起きている場合、質量移動が進むとともにその移動率がW型では減少、A型では増加するような傾向にあった。講演では、得られた相関関係や詳細な結果を示すとともに、その解釈に関する議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N14b 接触型および半分離型連星系における恒星黒点の統計的性質

高妻 真次郎 (中京大)

恒星表面に現れる黒点は、磁場やフレアなど恒星で発生する天体現象やその活動性とも密接に関連している。連星系で発生する黒点については、太陽黒点との類似点が報告されている一方、その大きさや寿命の長さ等いくつかの相違点も見つかっている。そのため、連星系で生じる黒点がよく知られた太陽の黒点の性質とどのように異なるのかを調べることは、連星系における黒点の発生メカニズムや連星を成す恒星の活動性などを解明するためにも重要となる。

本研究では、食連星における黒点の性質が連星系のどのような物理量に依存するのかを調べた。黒点を有する食連星のサンプルについては、過去の文献を探り、光度曲線の非対称性が黒点に起因する可能性の高い連星系を対象として選び出した。また、接触型と半分離型を対象とし、黒点に加え、周囲よりも表面温度が高い領域（ホットスポット）を有する系も対象としている。サンプル天体の黒点および連星系のパラメータは、関連する過去文献の中で、光度曲線のモデリングにより得られているものである。

得られたパラメータの依存関係を調べた結果、W型とA型の接触型連星において、その統計的性質に違いが見られた。W型の連星系における黒点に関しては、出現緯度の高い黒点ほどそのサイズが大きくなる、黒点の出現しやすい経度（active longitude）が存在する、公転（自転）周期が短いほど大きな黒点が表れるなど、ダイナモ理論で説明できるような黒点の性質と類似していた。一方、A型では、黒点の大きさに対する、光球温度、公転周期、および光球と黒点との温度差との関係において、W型での黒点とは異なる依存関係を示した。講演では、黒点およびホットスポットについて得られた相関関係を報告し、その詳細な性質について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N15b 分光連星における組成差の探査

加藤則行, 伊藤洋一 (兵庫県立大学天文科学センター)

連星は同じ分子雲、分子雲コアから誕生するので、恒星大気の化学組成はほぼ同じであると期待できる。一方、惑星の落下により、中心星の大気が金属汚染されると指摘された (Israelian et al. 2001)。そこで、片方の星が惑星を保持し、もう片方の星は保持しない実視連星について、主星と伴星の組成差が探査された。しかしながら、金属量に差が見られるとする結果 (e.g. Liu et al. 2018) と、見られないとする結果 (e.g. Takeda 2005) が両立している。惑星の存在は、連星の組成に寄与しない可能性もある。

連星の組成差は、前述の通り、主星と伴星の平均距離 (連星間距離) が数十 AU 以上と長い実視連星でよく探査された。一方、連星間距離が短い分光連星では探査例が少ない。そこで我々は、分光連星の組成差を探査した。観測対象は、主星と伴星双方のスペクトルが観測できる SB2 (Double-lined) 分光連星で、主星も伴星も G 型主系列星である 39 天体とした。観測には兵庫県立大学西はりま天文台の「なゆた望遠鏡」と可視光中低分散分光器 MALLS を使用し、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda \sim 10000$ で波長 5700-6100 Å のスペクトルを取得した。解析では、他の吸収線によるブレンドの少ない FeI の吸収線 13 本の等価幅を測定し、主星と伴星で差分を求めた。本講演では、これまでに得られた結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N16b 極めてX線活動性の高いG型星の観測的特徴

高棹真介 (国立天文台), 三石郁之, 吉田篤史, 石原大助 (名古屋大学), 國友正信 (久留米大), 田中佑希 (東北大)

X線による恒星コロナ観測は星の磁気活動を探る重要な手段となっている。現在恒星ダイナモ・惑星のハビタブルゾーンなどの理解のために恒星磁場の研究が盛んに行われており、特に活動性の高い恒星の特徴を理解することが重要視されている。そこで我々はまず対象をG型星に絞り、可視光とX線カタログのマッチングによりX線で明るいG型星を探した。そしてX線光度が $10^{29} \text{ erg s}^{-1}$ を超えるような高い活動性を示し (太陽の極大期で $5 \times 10^{27} \text{ erg s}^{-1}$)、他天体からの混入の少ない銀緯の高い ($|b| > 10$ 度)、かつカタログにてバイナリでないと言われている4天体に着目してコロナの性質を調べた。今回は観測時間中にX線強度の時間変動がほぼないことを確認しており、恒星の準定常X線放射を調べたことになっている。その結果、これまで恒星のX線光度が増加すればコロナ温度も増加すると考えられていたが (Johnstone & Güdel 2015)、今回サンプル数を増やしたことによって光度が $10^{29} \text{ erg s}^{-1}$ を超えるとコロナ温度、emission measureの両方が飽和し始めることがわかった。また、過去の太陽恒星観測からX線光度と星表面の磁束量にほぼ比例関係が成り立つことがわかっているが (Pevtsov et al. 2003)、その経験則を使うと $10^{29} \text{ erg s}^{-1}$ というX線光度に対応する磁束量はちょうど黒点とプラージュ (磁場が強いため彩層が明るくなっている領域) が星全体をほぼ覆ってしまうほどになっている、という見積もりが得られた。そのためこれ以上黒点が増えてもプラージュは増えることができないため、黒点サイズが増加 (または平均磁場の増加) しても彩層活動性があまり上がらないという観測 (Notsu et al. 2015b, 2017) とも整合的である。本発表では我々の観測について説明するとともに、太陽コロナ加熱理論などに基づいた議論も行っていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N17a 大質量星とブラックホールからなる相互作用をしない連星の発見

須田拓馬 (放送大学), 森谷友由希 (東京大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 茂山俊和 (東京大学)

連星は宇宙における基本的な天体であり、その進化は単独星と異なり多種多様な進化経路をたどる。特に大質量星では単独星よりも多重星の割合の方が大きく、その大部分が進化の途中で星同士が相互作用をすると考えられている。

我々は2017年秋季年会および2018年春季年会において、大質量星と小質量星からなる連星が超新星爆発を通じて相互作用を行う場合について検討を行ってきた。特に、宇宙初期に誕生した連星では、超新星イジェクタと小質量な伴星との衝突によって伴星外層のはぎ取りとイジェクタ物質の降着が起こりうることが分かった。

本研究の一環として、大質量星と小質量星からなる、相互作用をする連星が誕生しうるかどうかを調べるために、近傍の大質量星の連星探査を行ってきた。連星周期の短い天体を同定するため、6万天体以上あるOB型星のカタログから単線分光連星62天体を抽出し、その中から8等より明るく、かつ北半球にある10天体に着目して視線速度変動の検出と連星周期の見積もりを行った。

なゆた望遠鏡等を用いた継続的な視線速度の導出からHD 93521において視線速度の変動を検出し、その周期を見積もったところ、数十日程度の周期を持つこと、そして伴星の質量は3太陽質量以上であることが分かった。さらに、先行研究からX線放射の証拠は見つかっていないことから、伴星は相互作用をしていないブラックホールである可能性が示唆される。本講演では、この天体の性質について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

N18a Wolf-Rayet 連星系 WR 102-1 の X 線光度変動

菅原泰晴 (ISAS/JAXA)

大質量星進化末期段階の Wolf-Rayet (WR) 星の多くは連星系を成し (Rosslowe & Crowther 2014)、両者からの星風はその中間点で衝突して高温ガスを生成し、連星間距離に応じて、衝突領域が変化していくことが知られている。高温ガスから放たれる X 線を観測することで、星風の情報だけでなく、連星系の軌道情報を探ることも可能である。

WR 102-1 は、Chandra 衛星による銀河中心サーベイで CXOU J174645.3-281546 として X 線帯域で検出されている (Muno et al. 2006)。その後、Suzaku 衛星の観測で、Chandra 衛星観測時と比べて約 2 倍の明るかったことやその X 線スペクトル特性からこの天体は星風衝突連星系であり、また赤外線 SED から WC 型 WR 星を伴う可能性が報告されている (Hyodo et al. 2007)。WR 102-1 と名づけられたこの天体は、少なくとも 6 年以上の長周期連星である可能性があるが、その全貌は未だ明らかになっていない。

今回、WR 102-1 の長期的な X 線光度変動を調査するため、2018 年 4 月に実施された XMM-Newton 衛星による観測データ (観測時間 ~103 ksec) を解析した。得られた X 線スペクトルは大きく吸収を受けた一温度の光学的に薄いプラズマモデル ($N_{\text{H}} \sim 2.8 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, $kT \sim 4 \text{ keV}$) で再現され、過去に報告された値と同程度だった。しかしながら、その光度は約 12 年前と比べ、6 割ほど減光していた。本講演では、これらの解析結果、および Neil Gehrels Swift Observatory による 2007 年 5 月から 2019 年 5 月の観測データも用いて、WR 102-1 の長期光度変動について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a W UMa 型食連星 TZ Boo の突発的異常極小について

大島 修 (岡山理科大学), 赤澤秀彦 (赤澤船穂観測所)

食連星 TZ Boo は、周期 0.3 日の W UMa 型で、発表される論文ごとに光度曲線の形が変わるという激しい活動性と、大きな周期変化を示す特異な系として知られている。先に筆者らはこれまでにない連続した測光モニターを行い、その大きな光度曲線変動が、低温黒点と高温白斑が位置・サイズを 1 週間程度の短期間に変化するという星黒点モデルで説明可能であることを示した (大島他 2017 年春季年会)。

しかし、その後 3 年間の測光モニター観測を継続する中で、極小が通常の極小レベルよりさらに 0.1 等減光し元の極小レベルに戻るといった現象がわずかに数日間のうちに起こったことを発見した。この突発的な異常極小を 2017 年 (副極小) と 2018 年 (主極小) の 2 回にわたり観測した。

これを星黒点モデルで説明するためには、星のサイズの 1/3 程度の巨大黒点がわずかに数日で発生・発展・消滅するという現象が起こったと考えなければならず、いささか困難である。また、異常極小時に色変化がほとんど見られないという観測事実からも、むしろ、L2/L3 ポイント付近での質量放出・ダスト形成・拡散という過程で異常極小を説明する方が容易であるかも知れない。この系では、時々このような現象が起こっているのかどうか更に詳しく調べるために、継続した観測が求められる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a VERA を用いた周期の長い OH/IR 星 NSV17351 の位置天文観測

守田篤史, 中川亜紀治 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 須藤広志 (岐阜大学), 加世田大地, 松野雅子, 湯田晶人 (鹿児島大学), VERA プロジェクト

OH/IR 星は中小質量星の進化末期である漸近巨星分枝段階にあるといわれ $10^{-6} - 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の大きな質量放出率を示す (te Lintel Hekkert et al.1991)。また惑星状星雲段階移行の最終的な瞬間を捉えているといわれる (te Lintel Hekkert et al.1991; Etoke et al.2006)。さらに Engels et al.(1983,2012) では変光周期 1000 日を超える OH/IR 星が多数報告されている。長周期の天体はその初期質量の大きさにより進化のタイムスケールが短いと推測されるため、渦状腕構造との相関が期待される。これらの天体を含む AGB 星はその星周構造により可視光による位置天文観測が難しいため (Xu et al.2019)、VLBI を用いた位置天文観測が望ましい。

本講演では VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) を用いた OH/IR 星 NSV17351 の年周視差計測結果を報告する。NSV17351 は変光周期が未知であったが、VERA 入来局での水メーザーの時間変動モニターから変光周期 1089 日と見積もられている。2018 年 4 月からの VLBI 観測の結果、年周視差 0.253 ± 0.01 mas、距離換算で $3.95^{+0.22}_{-0.19}$ kpc を得た。また、メーザーの位置変化から固有運動 $(\mu_x, \mu_y) = (-1.16 \pm 0.05, 1.35 \pm 0.09)$ mas yr^{-1} が得られた。OH/IR 星に対する年周視差および固有運動の測定は Orosz & Imai (2017) に次いで 2 例目である。NSV17351 に付随する水メーザーは約 100AU の広がりを持って運動していることが分かった。さらに VLBI 観測の結果から NSV17351 は Perseus arm と Outer arm のおよそ中間に位置し、小さい特異運動を持つことが分かった。NSV17351 は Gaia 衛星により年周視差と固有運動が計測されているためこれらとの比較も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N21a Physical properties of the fluorine and neutron capture element rich PN J900

大塚雅昭 (京大岡山天文台), Siek Hyung (Chungbuk National Univ.)

We performed detailed spectroscopic analyses of a young C-rich planetary nebula (PN) Jonckheere900 (J900) in order to characterise the properties of the central star and nebula. We firstly detected the [F IV] 4059.9 Å, [F V] 13.4 μm, and [Rb IV] 5759.6 Å lines in J900. Of the derived 17 elemental abundances, the first determination of eight elemental abundances is done by us. J900 exhibits the large enhancement of F and neutron capture elements Se, Kr, Rb, and Xe. We investigated the physical conditions of H₂ using the newly detected mid-IR H₂ with the combined use of the previously measured near-IR H₂. H₂ lines are emitted from the warm (~670 K) and hot (~3200 K) temperature regions. We built the spectral energy distribution (SED) model to be consistent with all the observed quantities. We found that about 67% of the total dust and gas components ($4.5 \times 10^{-4} M_{\odot}$ and $0.84 M_{\odot}$, respectively) exists beyond the ionisation front, meaning critical importance of investigations of photodissociation regions in understanding of the stellar mass-loss. The best fitting SED model indicates that the progenitor evolved from an initially $\sim 2.0 M_{\odot}$ star is presently in the course of the He-burning shell phase. Indeed, the derived elemental abundance pattern is consistent with that predicted by the asymptotic giant branch star nucleosynthesis model for the $2.0 M_{\odot}$ stars with $Z = 0.003$ and partial mixing zone mass of $6.0 \times 10^{-3} M_{\odot}$. Our study recognises how the accurately determined abundances of C/F/Ne/neutron-capture elements and gas/dust masses help us understanding the origin and the internal evolution of the PN progenitors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N22b Spatially-resolved study of the planetary nebula Hu1-2 with the Seimei 3.8-m/KOOLS-IFU

大塚雅昭 (京大岡山天文台), 植田稔也 (デンバー大)

We investigate spatial distributions of elemental abundances, electron densities (n_e)/temperatures (T_e), gas/dust masses, and the gas kinematics in Galactic planetary nebulae (PNe) in order to comprehensively understand stellar mass-loss and PN shaping, ultimately Galaxy material recycling. In this talk, we demonstrate our analyses of the nearly C-rich bipolar-shaped PN Hu1-2 based on the 3-D datacube from the Seimei 3.8-m/KOOLS-IFU. Using the 27 emission line maps extracted from the bright torus, we obtain the spatially-resolved maps of n_e ([S II]), T_e ([O III]), T_e ([N II]), and nine ionic abundances. The values in these maps show strong variations within the nebula, reflecting the nebula stratification. Velocity cuts using [O III] 5007 Å line suggest the rotating torus. Finally, we construct the photoionisation model to be consistent with all observed quantities and the results of our plasma diagnostics in order to derive physical conditions of the gas and dust grains and the current status of the central star.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N23c Physical properties of the planetary nebula Hu2-1 with Seimei/KOOLS-IFU

大塚雅昭 (京大岡山天文台), 植田稔也 (デンバー大)

We investigate physical properties of the planetary nebula (PN) Hu2-1 based on spectroscopic and photometry data in the range from $\sim 0.1 - 140 \mu\text{m}$. Seimei 3.8-m/KOOLS-IFU spectra greatly help us deriving the representative physical parameters of the dusty nebula. By the combined use of the UV *IUE* and mid-IR *AKARI/IRC* and *Spitzer/IRS* spectra, we succeed in the abundances of the nine elements, indicating that Hu2-1 is a low metallicity ($[\text{Ar}/\text{H}] \sim -0.5$) and C-rich PN. The derived elemental abundance pattern can be along the asymptotic giant branch star nucleosynthesis models for stars with initial mass $\sim 2 M_{\odot}$ and metallicity $Z \sim 0.008$. *Spitzer/IRS* displays the broad $11 \mu\text{m}$ SiC feature as well as the weak emission attributed to the neutral $11.3 \mu\text{m}$ polycyclic aromatic hydrocarbon. The feature-less dust continuum would be thermal emission from graphite grains. We constructed the photoionisation model to be consistent with all observed quantities by adopting the distance estimated by *gaia*. Our model suggests that Hu2-1 originated from a $\sim 2 M_{\odot}$, which is consistent with the prediction in terms of abundance pattern. Majority of the gas/dust masses exist beyond the ionization front, demonstrating the critical importance of the cryogenics regions for understanding stellar mass-loss and galaxy chemical evolution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N24b VERA による Extreme-OH/IR 星 OH127.8+0.0 の 43GHz 年周視差計測

中川亜紀治 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 守田篤史, 加世田大地, 湯田晶斗, 松野雅子, 濱田翔太 (鹿児島大学), 小山友明 (国立天文台), 国立天文台 VERA プロジェクト

OH/IR 星 OH127.8+0.0 に対する VERA を用いた 43GHz VLBI 観測の結果を報告する。OH/IR 星は初期質量 $1-8M_{\odot}$ の星の進化の末期で、惑星状星雲の前駆段階と考えられている。質量放出率 \dot{M} は大きく、時に $\dot{M} = 10^{-4}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程の値を示し、宇宙の化学組成理解においても重要である。中心星は周期的な変光を示すことがあり、星周はダストで覆われ赤外線領域での輻射が卓越する。またしばしば OH, H₂O, SiO メーザーを伴う。変光星の進化過程については、小さな変光振幅の Semiregular (SR) 型から大振幅の Mira 型へと進化し、ダスト過多な OH/IR 星へ進化すると考えられている。周期 100-400 日程の範囲において SR 型と Mira 型では周期-絶対等級平面上で異なる系列を構成し、進化過程との対応が示唆されるが、OH/IR 星については Mira 型星との類似性が強く、明確に区別されるような系列は知られていない。Engels et al. (2015) によると、1-6 年という非常に長い周期を持つ OH/IR 星が 20 個ほど知られているが、こうした特に長周期の星では絶対等級の推定が難しく、周期-絶対等級平面上での系列の理解は不十分である。そこで我々は周期が非常に長い領域での周期-絶対等級系列を確かめたいと考え、観測対象の一つとして OH127.8+0.0 を選んだ。

VERA による 2017 年末からの観測 (43GHz; SiO メーザー) では 2Gbps×2CH 広帯域記録系の利用により位置参照源 J1028+6306 が検出され、位相補償による OH127.8+0.0 の検出へとつながった。予備的結果として年周視差 0.22 ± 0.06 mas (距離 4.54 ± 1.14 kpc)、固有運動 $(-1.18 \pm 0.12, -1.10 \pm 0.11)$ mas yr⁻¹ を得た。OH127.8+0.0 は星周ダストにより可視光で暗く、Gaia の観測結果が無いいため、VLBI は非常に重要な手段となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25b VERA を用いたミラ型変光星きりん座 BX 星の観測的研究

松野雅子 (鹿児島大学)、中川亜紀治、湯田晶斗、加世田大地、守田篤史、濱田翔太 (鹿児島大学)、国立天文台 VERA プロジェクト

ミラ型変光星は中小質量星 ($0.8M_{\odot} \sim 8M_{\odot}$) の進化段階末期の星であり、100 日から 1000 日の変光周期を持つ長周期脈動型変光星である。 $10^{-7}[M_{\odot}/\text{yr}] \sim 10^{-5}[M_{\odot}/\text{yr}]$ に及ぶ質量放出により光球は厚いダストや分子ガスに覆われており、メーザー源が存在することがある。今回、我々は 2012 年から 2014 年にかけて観測されたミラ型変光星きりん座 BX 星に付随する水メーザーの位相補償解析を行った。視線速度 $-7.71[\text{km/s}]$ から $-15.27[\text{km/s}]$ に渡り分布していた 26 個の水メーザースポットを用いて年周視差フィッティングを行った結果、年周視差 $\pi = 1.75 \pm 0.03[\text{mas}]$ 、距離 $D = 0.57 \pm 0.01[\text{kpc}]$ であることを求めた。また、観測で得られた水メーザーの固有運動から、きりん座 BX 星の系の固有運動として $(\mu_x, \mu_y) = (13.32 \pm 0.36, -33.36 \pm 0.33)[\text{mas/yr}]$ も得ることができた。この年周視差を用いて光度を求めたところ、 $4800L_{\odot}$ となった。同天体は位置天文衛星 Gaia でも観測・年周視差測定が行われており (年周視差 $\pi = 4.13 \pm 0.25[\text{mas}]$ 、距離 $D = 0.24 \pm 0.02[\text{kpc}]$)、比較するとおよそ 2 倍の差があることが分かった。VLBI 観測により検出された水メーザースポットは南北に $70[\text{AU}]$ 、東西に $20[\text{AU}]$ に広がった分布を示し、星の中心座標を見積もると観測された水メーザーは中心から南北方向へ、 $3.5[\text{km/s}] \sim 22.5[\text{km/s}]$ で運動する双極流の様子を示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26a アーカイブデータから探る R CrB 型星でのダスト成長

大澤亮, 上塚貴史, 中田好一 (東京大学天文学教育研究センター), 板由房 (東北大学), 尾中敬 (明星大学), 野沢貴也 (国立天文台)

R CrB 型星は数日程度のタイムスケールで 10 等級超の減光イベントを起こすことで知られている変光星のひとつである。この減光イベントは突発的・局所的な質量放出による炭素質ダストの形成によって引き起こされると考えられている。減光イベントのタイムスケールが短く突発的であることから, R CrB 型星はダストの核形成・成長を観測的に研究するうえで大変興味深いターゲットである。

R CrB 型星のまわりで形成されるダストの性質を統計的に調べるために MACHO および OGLE による LMC のモニタリングデータを使用した。MACHO, OGLE-III のアーカイブにはそれぞれ 15, 23 天体の R CrB 型星が含まれている。MACHO では V -, R -band での, OGLE では V -, I -band でのライトカーブが提供されている。我々は減光イベントにおける各天体がどのような色変化を示すのかを調べた。R CrB 型星の減光イベントにおける色変化は星間ダストによる減光則とは一致しなかった。R CrB 型星の減光則は減光初期において共通であり, R CrB 型星のまわりで形成されるダストは可視光の減光則においては個性がないことを示唆する。一方で, 減光量が大きいフェイズでは $\Delta(V-R) \simeq 0$ 近くまで青くなる傾向を示した。これは形成されたダストが 150 nm 程度のサイズまで成長したと考えると説明できる。また, 今回解析した天体の中には上記の傾向に沿わない特異な色変化を示すものも存在した。以上の観測的特徴を R CrB 型星のまわりでダストがどのように形成され, 進化するのかという観点から包括的に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N27a イータ・カリーナと人形星雲の起源

平井遼介、Philipp Podsiadlowski (オックスフォード大学)、Stan Owocki (デラウェア大学)、Fabian Schneider (ハイデルベルグ大学/HITS)

りゅうこつ座のイータ星 (通称イータ・カリーナ) は、観測されている星の中でも最も明るく重い星の一つである。他のどの星よりも強い恒星風、連星相互作用による 5.5 年周期の X 線変動など多くの特異な性質を持つが、何より目を引くのは星を取り巻く人形星雲である。人形星雲は 2 つの球が雪だるま状にくっついたような形状をしており、その中は空洞であるとされている。この星雲は 1840 年代に起きた爆発を起源にしていると考えられており、今もなお一様膨張を続けている。

1840 年代の爆発及び現在の人形星雲の形状を説明するモデルとして、我々は連星合体シナリオを考える。まず、連星合体を擬似的に再現する 2.5 次元流体シミュレーションを行った。連星軌道が持つ豊富な角運動量により主星の外層が大きく扁平した構造を取り、その中心で両方の星のコア同士が合体し軌道エネルギーが解放されることで双極的な爆発を起こせることがわかった。また、その後に残された星は高速回転し余剰熱を大量に持つため非常に強い双極的な恒星風を吹かし始める。その恒星風が爆発で放出された噴出物を掃き集めることで現在のような空洞の人形星雲を作れることがわかった。

連星合体シナリオの弱点として、1840 年代以前の数百年周期の質量放出を説明できないという弱点が指摘されている。今回我々は、連星合体以前の 3 重連星の頃の進化を N 体計算で追い、軌道離心率が数百年周期で大きく変動しうることがわかった。離心率が大きいときに近点距離が恒星半径と同程度になり、そのときに重力相互作用で周囲に質量をまき散らしうることを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N28a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象からの観測兆候

川名 好史朗 (東京大学), 前田 啓一 (京都大学), 吉田 直紀 (東京大学), 谷川 衝 (東京大学)

ブラックホール (BH) による白色矮星 (WD) の潮汐破壊現象 (WD TDE) においては、WD は単に破壊されるだけでなく、潮汐力による強い圧縮によって熱核爆発を起こす場合がある。その場合には、BH に降着する WD の残骸からの輻射だけでなく、BH に対し非束縛軌道を辿る残骸からも、熱核爆発で生成された ^{56}Ni の崩壊による輻射が生じる。MacLeod et al. (2016) では、炭素・酸素で構成される質量 $0.6M_{\odot}$ の CO WD が破壊される WD TDE に関して、熱核爆発に由来する輻射を研究し、Ia 型超新星爆発に類似した現象として観測されることが示されている。しかし、WD TDE における力学的振る舞いと元素合成は、WD/BH 質量や軌道パラメータに依存して幅広い多様性を示すことを Kawana et al. (2018) が示している。本研究では、WD TDE における熱核爆発に由来する観測兆候の多様性について、原子核反応を組み込んだ流体シミュレーションと輻射輸送シミュレーションを用いて調べた。結果として、ヘリウムで構成される軽い He WD が破壊される WD TDE からの観測兆候は、CO WD のそれとは大きく異なるものであることを示した。He WD TDE からの観測兆候は、He WD の質量が軽いことを反映して、CO WD TDE と比較してよりタイムスケールが短く ($\Delta t_{\text{mag}} \simeq 5\text{--}10\text{ d}$)、暗い ($L_{\text{peak}} \simeq 1\text{--}2 \times 10^{42}\text{ erg/s}$) 突発天体となることを示した。また、これと似たタイムスケール、明るさを示す Calcium rich transients や rapidly evolving transients との比較についても講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N29a 「宇宙の間欠泉」から新たに出現した双極高速ジェットからの同時噴出ガス塊

今井 裕, 宇野友理, 前山大地, 山口諒祐, 甘田 溪, 濱江勇希 (鹿児島大学), Ross Burns (国立天文台), Gabor Orosz (タスマニア大学), José Francisco Gómez (スペイン高等学術研究院), Daniel Tafuya (オンサラ天文台), Lucero Uscanga(メキシコ自治大学)

AGB 又は後 AGB 星段階において、100 km/s を超す双極状高速ジェットの存在が水メーザーによって確認される例がある。これらは「宇宙の噴水」天体は、運動学的年齢が100年未満で、複雑な惑星状星雲形状を作り上げる出発段階にあるのだろう。またこの様なジェットを形成できるのは、連星系を構成する主星から放出されたガスの一部が極小伴星に勢い良く降着するからだろう。もしそうならば、連星系公転周期でこの物質降着の効率が上昇し、その度に新たに2つの高速ガス塊が伴星から正反対に吹き出す現象が見られるはずである。

我々は、この様な「宇宙の間欠泉」とも呼べる天体における高速ガス塊噴出直後の状態を、IRAS 18286-0959 にて初めて捉えることに成功した。野辺山 45m 電波望遠鏡を使って、北天に見える宇宙の噴水天体に付随する水メーザーのスペクトルをほぼ毎月のペースで監視する事業 FLASHING を 2018 年 12 月から敢行し、この天体から最大速度差 ~ 400 km/s を持つ 2 本のスペクトル成分を新発見した。また、同天体に対する 2019 年 3 月に実施された日韓 VLBI 観測により、これらは星の推定位置から 150 AU 以内に存在することが判明した。水メーザースポット群全体の分布 (2500 AU) と比較し、ジェット主軸が大きな歳差運動を持っていることも判明した。これにより、二重螺旋模様に見えたジェットの構造は、間欠的なジェット噴出によって形成されたと結論付けられる。

今回の間欠泉現象の直接撮像は、その後 1000 年程度かけて形成される惑星状星雲内部の繊細な空間構造、そして中心天体の正体について、その起源・進化を解明する大きな手がかりを与えてくれる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N30b 野辺山 45m 電波望遠鏡を使った AGB 星周縁の ^{12}CO , ^{13}CO 輝線の撮像

甘田溪, 深谷紗希子, 今井裕, 新永浩子 (鹿児島大学), Peter Scicluna, Naomi Hirano, Francisca Kemper, Sundar Srinivasan, Sofia Wallstrom, Thavisha Dharmawardena (ASIAA) and NESS Team

AGB 星の質量放出率を正確に推定するには、星周縁を構成するダスト/ガス質量比とダストの放射率の情報が必要である。また、 ^{12}C と ^{13}C の同位体比は、AGB 星内部における核合成の履歴を反映するトレーサーであり、 ^{12}CO と ^{13}CO の輝線強度比から推定できると考えられる。

我々 NESS (Nearby Evolved Star Survey) チームは、太陽系から 300 pc 以内にある AGB 星周縁にある ^{12}CO , $^{13}\text{CO}(J=3 \rightarrow 2)$ と $870 \mu\text{m}$ ダスト連続波放射を JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) 15m 鏡など世界中の望遠鏡を用いて観測している。我々は、これらの天体における低温度ガスの分布を明らかにすることを目的として野辺山 45m 鏡を用いて ^{12}CO , $^{13}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)$ 輝線のマッピング観測を行った。我々は、42 天体について星の位置に対して On-On モードで一点長時間 (> 30 分) 観測をし、その中の 17 天体について ^{12}CO と ^{13}CO 両方の輝線を検出した。次に、この中からさらに 11 天体に絞り、また、既にマッピング実施を決めていた 9 天体を合わせた合計 20 天体について OTF (on-the-fly) モードでマッピングを行った。その結果、 ^{12}CO と ^{13}CO が共にマップ上で検出されたのは 8 天体だった。JCMT を使って得られた $870 \mu\text{m}$ ダスト連続波放射のマップと比較し、 ^{12}CO 輝線がダスト放射領域を大きく超えた範囲 (3000-120000 AU) まで広がっていることがわかった。また、On-On 観測で取得したスペクトル上での ^{12}CO と ^{13}CO の強度比は、炭素過剰星で 237、酸素過剰星で 716 の範囲だった。本講演では、こうしたデータから推定された物理量に対する統計的分析について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N31b ヘリウム新星 V445 Puppis の歌詞近赤外観測から推察される星周構造と時間発展

高木健吾, 佐藤久之, 川端弘治, 中岡竜也, 上野一誠 (広島大), 川端美穂 (京都大), 伊藤亮介 (美星天文台)

V445 Puppis は 2000 年 12 月に古典新星として発見されたが、スペクトル中で水素が検出されず、ヘリウムが過多であったことなどから、初のヘリウム新星の観測例となった。加藤ら (2008) は新星風の理論モデルを用いた光度曲線解析から、主星である白色矮星が限界質量に近い上に、爆発前に降着したヘリウム過多ガスの半分が主星に残っており、Ia 型超新星の親星候補であることを示している。

我々は、V445 Puppis の光球の幾何構造と星周物質の進化を探るため、爆発当時に国立天文台岡山天体物理観測所 0.91m 鏡と HBS を用いた可視低分散偏光分光モニターを行ったほか、2012 年にすばる望遠鏡と FOCAS を用いた可視測光・分光観測を、2012 年以降に広島大学 1.5m かなた望遠鏡と HOWPol, HONIR を用いた可視・近赤外線測光モニターを実施している。爆発時は $\Delta p \gtrsim 1\%$ の輝線周りでの偏光変化と時間変動を示し、光球が後の近赤外高空間分解撮像で見出された双極流と同じ向きにひしゃげていたと考えられる他、ごく初期には降着円盤に沿った方向に分布する物質による散乱のため偏光も卓越していたことが分かった。また、2012-2019 年の測光モニターから、可視近赤外ともに依然爆発前に比べ ~ 3 等級以上暗いものの、この数年間は可視域では増光傾向、 K_s バンドでは減光傾向にあることが分かった。可視域の増光は放出物質による遮蔽の晴れ上がりによる可能性はあるが、近赤外域での停滞ないし減光傾向は別の解釈を必要とする。発表では近年の可視・近赤外域の SED の時間変化のより詳しい考察を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N32b 謎の突発現象 AT2018cow の母銀河の性質：ALMA CO($J=1-0$) 観測

諸隈 佳菜, 諸隈 智貴, 廿日出 文洋, 小西 真広 (東京大学), 富永 望 (甲南大学), 林 将央, 松田 有一 (国立天文台), 田村 陽一 (名古屋大学), 新沼 浩太郎, 元木 業人 (山口大学)

AT2018cow は Fast-Evolving Luminous Transient (FELT) に分類され、これまで知られている超新星爆発などの突発現象と違って、爆発直後の特徴のない極めて青い可視光スペクトルや ($\sim 30,000$ K 相当)、明るくなってから短期間 (\sim 数日) で暗くなるといった特徴をもつ。AT2018cow は最も近傍で起きた FELT であり、これまで電波からガンマ線で観測され、特殊な重力崩壊型超新星爆発 (CCSNe) や潮汐破壊現象 (TDE) などでの説明が試みられてきた。しかしどれも観測を完璧に説明することはできず、未だに謎の突発現象のままである。

本研究では、謎の突発現象 AT2018cow の正体を探るため、その母銀河である棒渦巻低質量銀河 CGCG 137-068 (距離 60 Mpc) の分子ガスと星形成の性質を ALMA データを使用して調査した。今回解析した CO($J=1-0$) 輝線は分子ガスのトレーサーで、AT2018cow の電波 SED やミリ波光度曲線を取得する目的の ToO プロジェクトで副産物的に観測された。データのビームサイズ・速度分解能・感度は、 $3''.66 \times 2''.71$ ($1.1 \text{ kpc} \times 0.8 \text{ kpc}$) $\cdot 40 \text{ km s}^{-1} \cdot 0.21 \text{ mJy beam}^{-1}$ で、銀河全体での分子ガス質量は $(1.85 \pm 0.04) \times 10^8 M_{\odot}$ 、AT2018cow の場所での分子ガスの柱密度は $8.6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ であることがわかった。また、(1) CGCG 137-068 は分子ガス量も星形成活動性も同程度の星質量の星形成銀河と同程度であること、(2) AT2018cow は分子ガスのピークと SDSS で青い星団の間に位置すること、を明らかにした。これらは、この突発現象が活発な大質量星形成に関連することを示唆しており、母銀河の性質的には、AT2018cow の正体として TDE よりも CCSNe 的なシナリオを支持することがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N33a 速い速度進化を示す Ia 型超新星 SN 2019ein の爆発初期からの観測

川端美穂, 山中雅之, 前田啓一, 磯貝桂介, 田口健太 (京都大), 中岡竜也, 木村浩輝, 高木健吾, 川端弘治 (広島大), 長尾崇史 (ESO), 高木聖子 (北海道大), 田中雅臣 (東北大), 諸隈智貴, Jian Jiang (東京大), 村田勝寛 (東京工業大), 守屋堯, 花山秀和, 堀内貴史, 前原裕之, 関口和寛 (国立天文台), 森鼻久美子 (名古屋大), 野上大作 (京都大), 富永望 (甲南大), 高橋隼, 小野里宏樹, 加藤則行, 斎藤智樹 (兵庫県立大), 他光赤外線大学間連携メンバー

Ia 型超新星は近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達する際、主要元素の一部である炭素の燃焼が発生、熱核暴走反応によって爆発現象を引き起こす。極大光度と減光速度の相関関係があることが知られており、銀河の宇宙論的な距離指標となっている。それにも拘わらず、その親星や爆発メカニズム、膨張速度の大きさや変化などの多様性の起源といった問題は長年にわたり未解決のままとなっている。爆発直後からの観測により、これらの問題へ制限を与えることができる。

2019年5月1.5日(UT)に発見されたIa型超新星SN 2019einについて光赤外線大学連携での追観測を実施した。発見から約4等の増光を捉え、多バンドでの光度変化から爆発日を推定することができた。その結果、SN 2019einの爆発日は発見から約2日前であることがわかった。また、京都大学せいめい望遠鏡、広島大学かなた望遠鏡での分光観測から、SN 2019einはSi II λ 6355の速度進化が速いSN 2002boとよく似たスペクトル進化を示した。このクラスにおいて増光期からデータが得られた例は今までなく、爆発直後からの振る舞いを初めて捉えることができた。本講演では、他の良く知られた超新星との比較を行いつつ、爆発モデルの議論を行う予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

N34a Radio and Submillimetre Constraints on the Pulsar-Driven Supernova Model

Conor Omand (University of Tokyo), Kazumi Kashiyama (University of Tokyo), Kohta Murase (Pennsylvania State University, Kyoto University), Casey Law (UC Berkeley), Geoffrey Bower (Academica Sinica), Hiroshi Nagai (NAOJ), et al.

Several classes of energetic transients, including superluminous supernovae (SLSNe) and gamma-ray bursts (GRBs), require more energy than conventionally available in a supernova. Several energy sources have been suggested, including a rapidly-rotating highly-magnetized pulsar, but can not be distinguished by the thermal emission of the transient. The smoking gun for this model should be late-time non-thermal emission, detectable after the ejecta becomes optically thin. We predicted the emission from several sources, and conducted follow-up observations in both radio (using VLA) and submillimetre (using ALMA and NOEMA). We found a weak signal from PTF10hgi, which was also detected at higher frequency by Eftekhari+ (2019), but no other detections, even though several observations had sensitivities well below our lower limits. I talk about the implications for the pulsar driven model, and some revisions which may explain the previous non-detections.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N35a 偏光分光観測で探る超高輝度超新星の爆発形状

齋藤 晟, 田中 雅臣 (東北大), 守屋 堯 (国立天文台), Cosimo Inserra (U. of Southampton), Stuart Sim (Queen's University Belfast), Mattia Bulla (Stockholm U.), Giorgos Leloudas (U. of Copenhagen), Chien-Hsiu Lee (NOAO)

近年、通常の超新星の10倍から100倍の明るさで輝く超高輝度超新星と呼ばれる天体が多数報告されている。しかしその爆発のメカニズムはまだ解明されていない。通常の超新星の主たる放射エネルギー源であるニッケル56の放射性崩壊では多くの超高輝度超新星の明るさを説明できず、マグネターと呼ばれる高速回転し強い磁場をもつ中性子星をエネルギー源とするモデルなどが提唱されている。メカニズムによっては爆発の形状が球対称から大きく外れることが予想されるため、超高輝度超新星の形を知ることは重要である。系外の超新星のほとんどは空間的に分解することができないため、形を見るためには偏光観測を行わなければならない。

今回、すばる望遠鏡のFaint Object Camera and Spectrograph (FOCAS)を用いて、明るさのピークから約200日後の超高輝度超新星SN 2017egm (SLSN-I型)の偏光分光観測を行なった。我々はそのデータを解析し、SN 2017egmの波長ごとの偏光度、星間偏光の値などを求めた。

本研究で見積もった星間偏光の値は、Bose et al. (2018)で超新星起因だと考えられていた偏光の値とほぼ一致した。すなわち、初期にはSN 2017egmは超新星起因の偏光を持っておらず、このことは超新星の外層はほぼ球対称の構造をしていることを示している。一方で、後期では超新星起因の偏光が現れ、このことから超新星の内側は非球対称の構造を持っていることが示唆される。以上より、超高輝度超新星は内側ほど非球対称の構造を持っていると考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

N36a X-ray emissions from a failed supernova and fallback heating effect

早川朝康, 前田啓一 (京都大学)

近年の観測で、ブラックホール (以後、BH) の存在が確実視されているが、その形成過程は未解決問題である。この問題を解決する鍵は、超新星爆発である。超新星は、大質量星の進化の最終段階で重力崩壊と共に爆発を起こし、主に可視光で明るく輝く現象である。 $8M_{\odot}$ 以上の大半の星は中心に中性子星を残しながら、超新星を起こすとされている。しかし、最近の恒星進化理論、超新星爆発計算により、一部の大量星は、爆発を伴わず BH になり得ると予測されはじめた。このような爆発に失敗した超新星は failed supernova と呼ばれる。実際に候補天体も数天体観測されており、まさに BH 形成の現場を捉えている最有力候補である。今後より多くの failed supernova をサーベイ観測などで発見することで BH 形成理論に大きな知見が得られるが、failed supernova は可視光で暗く観測が困難である。また failed supernova と BH 形成を同時に裏付けられる可視光以外での観測や理論が必要である。

そこで、failed supernova の X 線放射に注目した。何故ならば、BH 近傍では、激しい降着現象により、強い X 線放射が期待されるからである。我々は、一次元輻射流体力学計算等で X 線放射の光度曲線を見積もった。その結果、透過度は放出された物質の質量やエネルギーに大きく依存することがわかった。そのため、重力崩壊時に放出される物質の少ない青色超巨星や Wolf Rayet 星では、BH からの X 線放射が崩壊後数ヶ月以内に観測可能であると判明した。また BH の活動が激しい場合、超新星と同程度に明るく、数週間で進化する可視光現象に続いて X 線放射が見えるとわかった。このようにして可視光に続いて観測される X 線は、透過度の高いハード成分から観測されうる。講演ではこれらの内容を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N37a SN 1987A の連星合体親星モデルに基づく 3次元重力崩壊数値計算

中村航 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学)

1987年に大マゼラン雲に出現した超新星SN 1987Aは、距離50 kpcという近傍で発生したことから光度曲線やスペクトル等の詳細な情報が得られ、爆発エネルギー ($\sim 1.2 \times 10^{51}$ エルグ) やニッケル量 (~ 0.07 太陽質量) がII型の重力崩壊型超新星で典型的とされる値に近いことがわかっている。一方、その親星 (Sk-69°202) はII型超新星で一般的な赤色超巨星ではなく青色超巨星であり、また強いCNOサイクルやs過程元素合成が起こったことを示唆する化学組成異常が見つかった。

これらの事実を受けて、超新星出現後の早い段階から連星相互作用を経た親星モデルが提案されてきた。初期の連星モデルは外層からの質量放出や内部での物質混合の強さを仮定して観測に合わせるという手法で作られていたが、最近 Slow merger シナリオに基づいた新しい親星モデルを漆畑らが提案した (Urushibata et al. 2018, MNRAS, 473, L101)。この親星モデルは、青色超巨星親星であることや組成異常といったコアの外側の特徴を非常によく説明できる。しかし、重力崩壊の際にコアの内側で起こった現象が決定する爆発エネルギーやニッケル合成量を再現できるかを調べるには、詳細な物理過程を組み込んだ数値シミュレーションを実行する必要がある。

今回、この新しい親星モデルを用いて空間3次元の重力崩壊計算を実行したのでその結果を報告する。2019年春季年会で報告した2次元計算では、バウンス後約200ミリ秒で衝撃波が膨張に転じ、この種の計算としては比較的大きな爆発エネルギー ($\sim 0.4 \times 10^{51}$ エルグ) とニッケル量 (~ 0.04 太陽質量) を得た。それに対して3次元モデルは衝撃波の膨張開始が遅く、爆発エネルギーとニッケル量も少なかった (それぞれバウンス後約300ミリ秒、 $\sim 0.15 \times 10^{51}$ エルグ、 ~ 0.01 太陽質量)。両者を比較しその違いを生み出した原因を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N38a 高速自転する大質量星の3次元重力崩壊シミュレーション：low $T/|W|$ 不安定による重力波の解析

柴垣翔太（福岡大学）、黒田仰生（TU Darmstadt）、滝脇知也（国立天文台）、固武慶（福岡大学）

重力波天文学が現実のものとなった今日において、重力波源の1つである大質量星の重力崩壊の研究は一層重要性を増している。その中でも、高速自転する大質量星の重力崩壊に関する研究では、low $T/|W|$ 不安定と呼ばれる流体不安定に起因する重力波が数値シミュレーションによって予測されており、重力波は無回転の場合とは異なる振る舞いになると考えられている。しかし、この流体不安定は非軸対称不安定のため、軸対称を課した2次元計算では調べることができない。対称性を課さない3次元の計算は計算コスト高く、重力崩壊の文脈でのlow $T/|W|$ 不安定の研究はまだ多くはなされていない状況にある。

今回我々は高速自転する70太陽質量の親星の3次元重力崩壊シミュレーションを行った。本講演では、重力波の解析結果について発表する。計算の結果、コアバウンス後low $T/|W|$ 不安定が起り、 $m=1$ の渦巻き構造が原始中性子星から衝撃波にかけて現れた。一旦 $m=1$ のモードが減衰した後も、新たに $m=2$ の渦巻き構造が現れた。先行研究と同様に、重力波はパターンスピードの2倍の周波数で振動しているのが見られたが、一方で重力波の周波数が増大していく様子が初めて見られた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

N39a 重力崩壊型超新星爆発における非対称ニュートリノ放射の元素合成への影響

藤本 信一郎 (熊本高専), 長倉 洋樹 (プリンストン大)

近年, 複数グループによる詳細な ν 輸送を考慮した重力崩壊型超新星の多次元計算から, LESA と呼ばれる非球対称な ν 放射の存在が示され, ν_e が強い方向(高 ν_e 半球)では $\bar{\nu}_e$ が弱いという逆相関的に, $\nu_e, \bar{\nu}_e$ が10%程度の非球対称をもって放射されることが分かった. 高 ν_e 半球では, 中性子の ν_e 捕獲反応が陽子の $\bar{\nu}_e$ 捕獲反応より優勢であり, 放出ガスの電子比 Y_e は上昇し, 一方, $\bar{\nu}_e$ が強い方向(高 $\bar{\nu}_e$ 半球)では, 陽子の $\bar{\nu}_e$ 捕獲反応が中性子の ν_e 捕獲反応を卓越し, 放出ガスの Y_e が減少することが予想される. 特に中性子過剰な放出ガスの組成は Y_e の値に敏感であるから, 非球対称な ν 放射がある場合, 球対称 ν 放射の場合とは放出ガス組成が異なることが予想される.

本研究では重力崩壊型超新星爆発における元素合成への非対称 ν 放射の影響を調査した. ν 吸収・現実的状态方程式を考慮した2次元軸対称流体力学コードを用いて, コアバウンスから数秒に渡って放出ガスのdynamicsを流体力学計算した. 中心部(< 50 km)は計算領域には含めず, Ugliano等(2012)と同様の ν コア・モデルを採用し, 流体力学計算から見積られる質量降着率を用いて, 原子中性子星から照射される ν 光度・温度の時間発展を見積った. SN1987A 的に超新星爆発する $\sim 20M_\odot$ の大質量星に対して, 0%(球対称)から50%の ν 放射非対称度を仮定し, 爆発計算を行った. その結果に基づいて放出ガスの化学組成を計算し, 以下のことを示した; (1) 非対称度が30%以上の場合, 高 $\bar{\nu}_e$ 半球において多量の中性子過剰なガスが放出され, Znより重い元素が多量に生成される. これらの元素の組成は太陽系組成とは矛盾する. (2) Caより軽い元素の組成は非対称度に依らず, 高 $\bar{\nu}_e$ 半球と高 ν_e 半球で変わらない. (3) 10%以下の非対称度の場合であっても, 高 $\bar{\nu}_e$ 半球におけるZnとGe組成は高 ν_e 半球より大きい. (4) 超新星残骸において, このZnとGe組成差が観測されれば, 非対称度へ制限を与える可能性がある.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

N40a 天の川銀河のrプロセス元素過剰星が示す矮小銀河降着の痕跡

青木和光 (国立天文台、総研大)、Qian-Fan Xing, Gang Zhao, Haining Li (中国国家天文台)、本田敏志 (兵庫県立大学)、石垣美歩 (東北大学)、松野允郁 (総研大)

天の川銀河のハロー構造の少なくとも一部は、矮小銀河程度の小さな星の集団が降着・合体することによって形成され成長してきたと考えられるようになっており、それを観測的に検証することの重要性が増している。位置天文データの飛躍的増大により、ハロー星の天の川銀河内の軌道運動からその降着過程を調べる研究が大きな進展をみせているが、その一方で星の化学組成からハロー星の起源を探る研究も活発になっている。我々は分光探査望遠鏡LAMOSTを用いた金属欠乏星探査とすばる望遠鏡を用いた化学組成測定を実施し、そのなかから α 元素の相対的な欠乏とrプロセス起源の重元素の著しい過剰 ($[\text{Eu}/\text{Fe}]=1.1$) を示す星LAMOST J1124+4535を発見した (Xing et al. 2019, Nature Astronomy)。この星の金属量 ($[\text{Fe}/\text{H}]$) は -1.3 であり、この金属量でこれほど顕著なrプロセス元素の過剰を示す星が見つかったのは初めてである。一方、この星とよく似た組成を持つ星は、現在の天の川銀河のまわりの矮小銀河の中に数例、見つかっている。これは、ある程度時間をかけて化学進化を遂げた矮小銀河のなかでこの星が誕生し、天の川銀河のハロー構造に降着してきたことを示す強い証拠であり、最近の銀河形成シナリオを支持する結果である。一方、矮小銀河において比較的高い金属量においてもrプロセス元素過剰の星が見いだされる理由は未解明である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N41a INTEGRAL 衛星による SNR の r-process 元素崩壊核ガンマ線探査

三輪祐也 (埼玉大学), 寺田幸功 (埼玉大学)

r-process による重元素合成の主要な場と考えられてきた超新星爆発は、詳細な理論的数値計算によって r-process が進行するほどの中性子過剰な環境が実現しないことが予想されている (Wanajyo et al 2011)。本研究では、これを観測で定量的に検証すべく、系内の若い超新星残骸を対象に、r-process 元素由来の崩壊核ガンマ線をメガ電子ボルト帯域で探査し、超新星爆発による r-process 元素生成量の上限値を定量化することを目的とした。

本研究では INTEGRAL 衛星搭載の SPectrometer for INTEGRAL (SPI) にて CassiopeiaA のガンマ線スペクトルを抽出した。期待される崩壊核ガンマ線は非常に微弱なため、統計量を増やすために INTEGRAL 衛星 15 年分の観測データ (exposure 6.75E+6 s) を用いている。取得したスペクトルについて Qian et al. (1999) がリスト化した r-process 元素由来の崩壊核ガンマ線のうち強度が比較的強い 12 個について探査し、ターゲットの距離と年齢から超新星爆発によって生成された当時の元素量について算出した。

結果、各候補 r-process 元素について崩壊核ガンマ線が検出されないことを示し、超新星爆発時に生成された元素量の 3σ 上限値を求めた。最も検出が期待される ^{249}Cf α 崩壊直後に ^{245}Cm から発生する 388 keV 輝線については Flux 3σ 上限値が 2.08×10^{-11} erg/cm²/s、超新星爆発直後の元素生成量 3σ 上限値が $4.56 \times 10^{-4} M_{\odot}$ であった。これらは超新星爆発が r-process が起こる主要な現象では無いという主張と矛盾しない。本講演では候補 r-process 元素の崩壊核ガンマ線解析の詳細の他に、将来核ガンマ線検出に必要な観測感度や候補元素についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N42a X線精密分光を用いたII_n型超新星 SN 1978K の元素組成比の測定

千葉友樹, 勝田哲 (埼玉大学)

II_n 型超新星は高密度な星周物質 (CSM) との相互作用によって可視光スペクトルに際立った狭い水素輝線が観測される超新星である。この型に含まれる超新星 SN 1978K は X 線観測によって超新星だと同定された初の天体であり、爆発から 40 年が経過した現在も X 線光度がほとんど変わらない稀有な超新星である。過去の X 線観測では、シリコンとヘリウムの組成比が非常に高いことが示唆されている (Schlegel et al. 2004, Smith et al. 2007) が、それら以外の元素組成比はよくわかっていない。

そこで本研究では、X 線天文衛星「XMM-Newton」搭載の Reflection Grating Spectrometer (RGS) を用いた X 線精密分光により、SN 1978K のスペクトル解析を行い X 線での詳細な元素組成比の測定に挑戦した。点源とみなせる SN 1978K に対し RGS は有効で、 $\Delta E \sim 5$ eV という高レベルの分光を行うことができる。RGS の全データを足し合わせ高統計スペクトルを作成した結果、X 線観測としては初めて酸素と鉄、ネオンが観測され、SN 1978K の詳細なアバンダンスを測定することに成功した。測定されたアバンダンスは $0.23^{+0.06}_{-0.05} Z_{\odot}$ であり、これは母銀河のアバンダンスの平均値と一致することから CSM が輝いてみえていることを示唆している。このことから、親星の正確な質量放出率を求めることができ、実際に計算すると $\dot{M} \sim 9.0 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ であった。これは、親星が Luminous Blue Variable であったことを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N43a ヘリウム伴星をもつ Ia 型超新星の星周環境

守屋堯 (国立天文台) , D. Liu, B. Wang, Z.-W. Liu (雲南天文台)

白色矮星が Ia 型超新星爆発に至る方法の 1 つに縮退していない伴星からの降着を受けてチャンドラセカール限界質量付近まで質量を増大させるものがある。質量を提供する伴星は水素をもつ星である必要はなく、ヘリウム星からの降着でも白色矮星がチャンドラセカール限界質量付近まで質量を増やせることが知られている。Wang et al. 2009, MNRAS, 395, 847 の連星進化モデルによると、ヘリウム星を伴星にもつ場合、Ia 型超新星を起こす際に白色矮星は定常ヘリウム燃焼か弱いヘリウム殻フラッシュ燃焼を行なっている。そこでこのモデルを元に、ヘリウム星を伴星に持ち、チャンドラセカール限界質量に達して Ia 型超新星爆発が起こった場合に予言されている星周環境について調査した。この結果、多くの場合星周密度は非常に小さく、SN 2011fe や SN 2014fe の電波観測によって制限された星周密度よりも小さいことが分かった。ヘリウム伴星をもつ Ia 型超新星の遅延時間は小さいので、特に活発な星形成をしている領域から現れる Ia 型超新星はこのような低密度の星周物質をもつと考えられる。また、爆発前の画像にヘリウム伴星の可能性のある星がとらえられた Iax 型超新星 SN 2012Z についても議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N44a 星周円盤と相互作用する超新星の2次元放射流体力学シミュレーション

鈴木昭宏、守屋堯、滝脇知也（国立天文台）

重力崩壊型超新星のうち、II_n型超新星はスペクトルに星周物質由来の幅の狭い輝線/吸収線が見られ、エジェクタと星周物質との衝突による力学的エネルギーの散逸を主な光源としている。そのような濃い星周物質の起源は明らかではないが、超新星親星の重力崩壊直前の質量放出が関係していると考えられている。II_n型超新星の光度曲線に関する研究は活発に行われているが、多くは球対称を仮定した解析的モデルや数値シミュレーションに基づいている。従って、星周物質や超新星エジェクタが非球対称な場合の力学的進化や光度曲線についてはあまり調べられていないのが現状である。しかしながら、一部のII_n型超新星では非対称な輝線プロファイルや強い直線偏光が検出されており、星周物質や超新星エジェクタの非球対称性は無視できないはずである。また、星周物質の角度分布を明らかにすることで、星周物質自身の起源についても何らかの示唆が得られるかもしれない。

本研究では、星周物質として円盤状の構造を持ったガスを考え、その星周物質に衝突する球対称超新星エジェクタの力学的進化と光度曲線を2次元放射流体力学シミュレーションによって計算した。その結果、光度曲線における見込み角効果が非常に重要であることが明らかになった。星周円盤と衝突するエジェクタは、対称軸方向から見た場合にはエジェクタの光球が直接見えるのに対し、赤道面から見た場合には星周円盤に遮られる。従って、対称軸方向から観測した光度曲線はエジェクタの初期半径に対応した早い立ち上がりを示す一方で、赤道面方向の光度曲線は、星周円盤中の光子の拡散の分だけタイムスケールが長くなり、緩やかな進化を示す。講演では、これら光度曲線に対する星周円盤の効果を紹介するとともに、スペクトルなど他の観測的特徴への示唆についても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N45a 星周物質との相互作用によって輝く超新星の親星における爆発的な質量放出

栗山直人, 茂山俊和 (東京大学)

大質量星の進化後期には、光度が短時間で大きく変化するなどの静水圧平衡モデルでは説明することができない現象が存在する。近年では3次元での流体力学計算から、1次元では見られなかった現象 (e.g. 酸素-ネオン燃焼殻合体, Yadev et al 2019) の存在も示唆されるようになった。また、定常的な質量放出とは異なる一時的な増光を伴う爆発的な質量放出も観測されており (e.g. SN2010bt, Elias-Rosa et al. 2018)、この現象も静水圧平衡ではなく動力学的に扱われなければならない。

このような爆発的な質量放出を起こした星が重力崩壊型の超新星爆発を起こすと、超新星イジェクタが質量放出によって形成されていた濃い星周物質と衝突や紫外線励起などの相互作用をすることによって光ることが知られている (Smith 2014)。星周物質はイジェクタに比べて速度が非常に遅いため、このような超新星は速度幅が狭い水素輝線を持つ II_n 型超新星や、狭いヘリウム輝線を示す Ib_n 型超新星として観測される。

しかし爆発的な質量放出のメカニズムはわかっていない。例えば中心核の対流エネルギーが内部重力波によって外層に運ばれて質量放出を起こすというモデル (Quataert & Shiode 2012, 2013) が提唱されているが、このようなモデルを検討するには外層にエネルギーが運ばれた際の質量放出量や光度などの観測的特徴が重要になる。

そこで我々は、1次元恒星シミュレーションコード MESA を用いて作成した複数の超新星の親星モデルの外層に炭素、ネオン燃焼由来と考えられる様々な大きさのエネルギーを注入し、質量放出を起こすまでの過程を輻射流体力学計算することによって、質量放出量や光度曲線などを計算した。本講演では、シミュレーション結果を紹介するとともに、計算結果から超新星親星にどのような制限を付けることができるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N46a 天の川銀河とマゼラン銀河で発生した重力崩壊型超新星の親星の質量分布

勝田哲 (埼玉大学), 滝脇知也 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 守屋堯 (国立天文台), 中村航 (福岡大学)

我々は、天の川銀河およびマゼラン星雲内に存在する重力崩壊型超新星残骸の親星の質量分布を初めて導出した (Katsuda, et al. 2018, ApJ, 863, 127)。まず初めに、文献に記載されている親星質量を (A) $M_{ZAMS} < 15 M_{\odot}$, (B) $15 M_{\odot} < M_{ZAMS} < 22.5 M_{\odot}$, (C) $M_{ZAMS} > 22.5 M_{\odot}$ の3つの質量範囲にまとめたところ、 $f_A : f_B : f_C = 0.27 : 0.27 : 0.46$ と得られた (ZAMS = zero-age main sequence mass; f は親星数の割合)。これは、これまでに報告のある、どんな標準的な初期質量関数とも一致しない。そこで過去の観測結果を精査した結果、従来の、様々な元素組成比 (X/Si) を元素合成モデルと比較する手法は、実は X/Si が親星質量に敏感でないため、親星質量の検定能力に乏しいことが判明した。ただし例外的に、 Fe/Si だけは親星の CO コア質量 (M_{COcore}) に敏感であった。そこで、 Fe/Si だけに注目して親星質量 ($M_{COcore} \rightarrow M_{ZAMS}$) を推定し直した。その結果、親星質量分布は、 $f_A : f_B : f_C = 0.47 : 0.32 : 0.21$ と得られた。これは、標準的なサルピーター初期質量関数と概ね一致している。つまり、超新星の親星質量に high-mass cutoff が無いことを意味し、非常に興味深い。ただし現状では、 M_{COcore} と M_{ZAMS} の関係に影響を及ぼす連星進化の効果を取り込めていないことに注意が必要である。より適切な親星の ZAMS 質量分布の導出には、今後の研究で連星進化の影響をきちんと評価していくことが重要である。他方、親星質量の指標としては、今回着眼した Fe/Si より Fe/O の方がさらに適している。現状では、星間吸収の影響や星間物質の混入のため Fe/O の測定精度は低いですが、近い将来、XRISM 衛星が実現する X線精密分光観測により、多数の超新星残骸で Fe/O を正確に計測できるようになる。XRISM 時代の Fe/O に基づく親星質量の精密化にも期待がかかる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N47a ティコの超新星残骸の衝撃波速度の時間変化と爆発機構への示唆

田中孝明, 奥野智行, 内田裕之, Shiu-Hang Lee, 前田啓一 (京都大学), 山口弘悦 (ISAS/JAXA)

ティコの超新星 (SN 1572) は、Badenes et al. (2006) による超新星残骸 (Tycho's SNR) の X 線観測や Rest et al. (2008) および Krause et al. (2008) による「こだま (light echo)」の観測により、標準的な Ia 型爆発であったことがわかっている。我々は、Chandra 衛星によって 2003 年、2007 年、2009 年、2015 年に取得された X 線画像を比較することで、Tycho's SNR の衝撃波速度を測定した。その結果、Chandra を用いた先行研究 (e.g., Williams et al. 2016) と大まかに一致する衝撃波速度を得た。さらに、衝撃波速度の時間変化を探索したところ、西側から南側までの広い範囲に渡り、衝撃波が急激に減速している兆候を発見した。減速が広範囲に渡ることから、Tycho's SNR の衝撃波が、局所的な分子雲に衝突したと考えるよりも、親星の活動によって作られた cavity wall のようなものに衝突したと考える方が自然である。観測から示唆される cavity 構造を仮定して、流体シミュレーションを行ったところ、cavity wall の外側と内側のガス密度比が 300 程度であり、また、つい最近になって、衝撃波が wall に到達したと考えれば、減速を説明できることがわかった。本講演では、求めた密度比や cavity のサイズが、質量降着している白色矮星からのアウトフロー (Hachisu, Kato, & Nomoto 1996) によって説明可能であるかどうかなどを定量的に議論し、さらには、SN 1572 の爆発機構について考察する。また、他の観測からの制限 (e.g., Woods et al. 2017) との整合性についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N48a X線ドップラー運動測定を用いた Ia 超新星残骸中における噴出物の運動状態の多様性: Kepler と Tycho の比較

春日知明 (東京大), 佐藤寿紀 (理化学研究所, NASA/GSFC, University of Maryland), 森浩二 (宮崎大), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 馬場彩 (東京大, RESCEU)

Ia 型超新星は、その光度曲線が一様性をもつ一方で、爆発メカニズムについては複数の提唱されており、その多様性は未だ明らかにされていない。解明への手がかりのひとつとして、近年の二次元や三次元の Ia 型超新星爆発シミュレーションから、爆発メカニズムの違いが爆発噴出物の等方性に差異を生むことが示唆されている (e.g., Fink et al. 2010; Pakmor et al. 2011; Seitenzahl et al. 2013)。ただし超新星自体はコンパクトな天体であるため、噴出物の詳細な運動を調べることは難しい。そこで、より広がった天体である超新星残骸に注目し、その中で噴出物の運動を測定することが有用となる。

我々はまず Ia 型超新星残骸の Kepler's SNR (SN1604) について、角分解能に優れた *Chandra* 衛星による高統計 X 線観測データを用い、K 輝線の中心エネルギーと輝線幅の情報から、超新星残骸内各場所での鉄噴出物の視線方向の運動を測定した。その結果、中心付近において赤方偏移している構造、またその周囲に青方偏移している構造を発見し、鉄噴出物の視線方向の膨張構造がとても非等方であることを示した (Kasuga et al. 2018, PASJ, 70, 5, 88)。一方、同じく Ia 型であり年齢も近い Tycho's SNR (SN1572) において同様の解析を行ったところ、Kepler とは異なり、等方的な膨張構造が現れた。実際、Kepler では中心からの距離と輝線幅に相関がないのに対し、Tycho では中心ほど輝線幅が大きい等方膨張を示した。本講演では、両天体の起源についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N49c 重力崩壊型超新星の爆発エネルギー成長時間と元素合成の相関性

澤田涼, 前田啓一 (京都大学)

重力崩壊型超新星の爆発機構の理解は中性子星・ブラックホールの形成過程や宇宙化学進化の理解に直結する。しかし、第一原理からの数値流体シミュレーションは、未だ観測されているような重力崩壊型超新星の爆発を再現するに至っていない (e.g. Janka 2012)。その原因には計算精度や近似にも課題が残されているが、なによりも現在の超新星爆発物理への理解が不十分である可能性が大きい。

近年の第一原理からの研究では、「爆発エネルギーは長い時間 ($O(1)$ [s]) をかければ超新星の典型値 10^{51} [erg] まで成長しうる」と示唆されている (e.g. Nakamura et al. 2016)。さらには、爆発エネルギーが 10^{51} [erg] まで成長する時間 (t_{grow}) は、 ^{56}Ni の合成量に強く影響を与えることが示唆されている (Suwa, Tominaga & Maeda 2019)。以上を踏まえて本研究では、典型的な超新星が再現される「爆発エネルギーが 10^{51} [erg] まで成長するのにかかるタイムスケール t_{grow} 」の範囲について検討した。成長時間 t_{grow} をパラメーターに流体・元素合成計算を行い、 ^{56}Ni の合成量と観測量との比較を行った。その結果、成長時間 t_{grow} が 1000[ms] 以上であれば典型的な超新星の観測を再現しないことが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N50c Probing the Progenitor Metallicity of SNe Ia with Ultraviolet Spectra

Yen-Chen Pan (NAOJ), Ryan Foley, David Jones (UC Santa Cruz), Alex Filippenko (UC Berkeley), Paul Kuin (UCL)

Ultraviolet (UV) observations of Type Ia supernovae (SNe Ia) are useful tools for understanding progenitor systems and explosion physics. In particular, UV spectra of SNe Ia, which probe the outermost layers, are strongly affected by the progenitor metallicity. Theory suggests that SN Ia progenitor metallicity is correlated with its peak luminosity, but not its light-curve shape. This effect should lead to an increased Hubble scatter, reducing the precision with which we measure distances. If the mean progenitor metallicity changes with redshift, cosmological measurements could be biased. Models also indicate that changing progenitor metallicity will have little effect on the appearance of optical SN data, but significantly alter UV spectra. Here we use the largest UV spectroscopic sample of SNe Ia to date to study the metallicity effect. With this sample, we confirm theoretical predictions that SN Ia UV spectra are strong metallicity indicators. Our findings show that UV spectra are promising tools to further our understanding of SN Ia while directly improving the utility of SN Ia for cosmology.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a 磁気制動を考慮した星・原始惑星系円盤の解析的モデル構築

高橋実道 (国立天文台)、塚本裕介 (鹿児島大学)、犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤は、星形成と同時に星周囲に形成される円盤であり、惑星形成の現場と考えられている。原始惑星形成の形成過程は惑星形成に大きく影響するため、現実的な環境での惑星形成過程を研究するためには円盤形成過程から惑星形成に至るまでの同時計算が必要となる。これまでは、円盤形成の計算では3次元磁気流体シミュレーションが成果を上げてきた。しかし、シミュレーションでは計算に時間がかかり、惑星形成に至るまでの計算は困難である。

本研究では、円盤形成過程の長時間進化を可能とする、解析的モデルの構築を行う。ここでは特に、星形成の際の磁気制動の効果に注目する。磁気制動とは円盤に降着するガスの角運動量が磁場によって輸送される効果で、形成する円盤半径に大きく影響を与える。2018年春季年会では、磁気制動によりガスに働くトルクのモデル化について発表した。本公演では、円盤に降着するガスの落下速度の見積もりを改善し、円盤に落下するガスの角運動量変化を正確に推定可能な解析的モデルについて発表を行う。このモデルから得られるガスの角運動量変化は、3次元磁気流体シミュレーションの結果を再現することができる。さらに、このモデルを円盤形成・進化の解析的モデルに取り入れ、長時間進化計算を行った結果について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102a 超大質量星形成過程における星周円盤の進化

松木場亮喜 (東北大学), E. I. Vorobyov (ウィーン大学), 杉村和幸 (メリーランド大学), 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学)

クエーサーの観測により、赤方偏移 $z > 6$ の初期宇宙に質量 $\sim 10^9 M_{\odot}$ ほどの超巨大ブラックホールが100個近く見つかっている。このような短時間で大質量のブラックホールの形成を説明する理論モデルとして、超大質量星と呼ばれる $10^5 M_{\odot}$ の星がその死後に残す同質量のブラックホールを種とするシナリオが提唱されている。超大質量星を形成するためには、原始星の周囲にできる円盤からの大きい降着率 ($> 4 \times 10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) によって原始星が膨張し、電離フィードバックが抑制される必要がある (Hosokawa et al. 2012, 2013)。しかし降着率の大きい円盤は、自己重力不安定性によって円盤分裂が起き、降着率が時間変動をもつようになると考えられる (Matsukoba et al. 2019)。星の進化形成から、時間変動によって降着率の小さい時間が1000年を超えると、原始星が収縮して電離フィードバックが働くことで超大質量星の形成が阻害されることが示されている (Sakurai et al. 2015)。したがって、超大質量星の形成には降着率の時間進化が重要となる。

そこで本研究では、原始星から星周円盤への降着率の時間進化を求めるために2次元流体計算を行った。ガス雲の収縮から原始星および円盤が形成され、進化してしていく始原的ガスの運動を詳細な熱・化学進化とともに追った。計算結果より、形成される円盤は自己重力的に不安定であり、渦状腕や分裂片といった構造ができることがわかった。また分裂片が原始星に降着することで、原始星への降着率は間欠的となる。本講演では、これらの結果をもとに超大質量星形成が可能かどうか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P103a ALMA Long Baseline による Face-on 大質量原始星候補天体の撮像観測 2: 降着円盤

○元木業人(山口大学)、廣田朋也(国立天文台)、町田正博(九州大学)、米倉覚則(茨城大学)、本間希樹(国立天文台)、高桑繁久(鹿児島大学)、松下聡樹(ASIAA)

G353.273+0.641(G353) は比較的近傍 (1.7 kpc) に位置する非常に若い ($< 10^4$ yr) 大質量原始星候補天体 ($\sim 10 M_{\odot}$) であり、過去の観測からほぼ Face-on の質量放出/降着系を持っていると考えられている。今回我々は G353 に付随する Face-on 円盤の分解撮像を目的として ALMA Long Baseline (~ 12 km) を用いて 2 mm 帯での高分解能観測 ($\sim 0''.05 = 85$ au) を行なった (Motogi et al. 2019, ApJL, 877, L25)。その結果、半径 700 au 程度の回転降着エンベロープ (2019 年春季年会) に囲まれた半径 250 au 程度の円盤が検出された。

ダスト連続波によって検出された同円盤は中心付近のコンパクトな放射 (半径 ~ 100 au) と空間分解された広がった構造 (半径 100-250 au) に分けられた。前者は過去に J-VLA によって検出された 7 mm 連続波と空間的によく一致しており、2-7mm でのスペクトル指数が 2.5 であること、また 2mm 帯でのピーク輝度温度が 480 K であることから、円盤中心部のダスト連続波が 2mm 帯で光学的に厚いことが示唆される。一方広がった構造は明らかに非対称な輝度分布を示しており、円盤内の面密度分布に偏りがあることが示唆された。

動径方向の温度分布を仮定して求めた円盤の合計質量は 2-7 M_{\odot} となり、明らかに自己重力的な円盤であることがわかった。さらに円盤の安定性を評価するため Toomre の Q 値を求めたところ、半径 100-250 au で $Q \sim 1-2$ であり、円盤全体が不安定な状態にあることが示唆された。このことから観測された非対称な面密度分布は自己重力不安定によって励起された渦状腕を捉えている可能性が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104a 円盤サイズ多様性の起源としての原始星進化

麻生有佑, 平野尚美, 顔士章 (ASIAA), 相川祐理 (東京大), 町田正博 (九州大), 大橋永芳, 齋藤正雄 (国立天文台), 高桑繁久 (鹿児島大), Jonathan Williams (ハワイ大)

HL Tau の観測や DSHARP サーベイによって、星周円盤は典型的に ~ 100 au 以上の半径を持つと思われていた。しかし、33 個の Class II 円盤を対象とした最近の研究から前主系列段階では円盤半径は数十から数百 au に渡って分布していることが明らかになった (Najita et al. 2018)。これは円盤がすべからず 100 au 程度まで成長するわけではないことを示唆する。そこで、われわれは円盤半径の多様性と原始星進化の関係を調べた。

Serpens Main 星団形成領域に対して 1.3 mm 連続波、 ^{12}CO ($J = 2 - 1$) 輝線、 $\text{SO } J_N = 6_5 - 5_4$ 輝線および C^{18}O ($J = 2 - 1$) 輝線を ALMA Cycle 3 にて 0.5 秒角 (220 au) の空間分解能で観測し、12 個の原始星を同定した。それらは 2 つのグループに分けられる。1 つ目のグループは 6 つの Class 0 原始星からなり、 1000 au 以上の広がった連続波と、双極または単極の分子流を捉えた ^{12}CO と SO 放射を示す。このグループの観測結果は Class 0 段階内でも、分子流の開口角拡大、 C^{18}O 分子の存在量増加、円盤形成という進化が起こることを示唆している。このグループは半径 240 au の円盤をもつ原始星 SMM4A も含む。他方、2 つ目のグループは Class 0 原始星と Class I 原始星を含み、連続波のサイズが 120 au 以下であり、 ^{12}CO も点源状で小さい。このグループは、エンベロープが散逸し、円盤が現在の半径 ~ 60 au 以下から成長しないと考えられる。さらにこのような原始星の存在は、原始星進化には多様性があり、それが先に述べた Class II 段階での円盤サイズの多様性につながることを示唆している。SMM4A 以外に半径 100 au を超える大きな円盤は見つかっていないので、1 つ目のグループで見られた進化が大きな円盤ではなく、2 つ目のグループの小さな円盤へ至る可能性も考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P105b 原始星進化シミュレーションの観測的可視化に基づく円盤同定方法の検証

麻生有佑 (ASIAA), 町田正博 (九州大)

原始星の観測から円盤を同定する方法は様々提案され、天体によって使われる方法が異なる場合が多い。また、理論モデルを用いたフィッティングであっても、使われるモデルはパラメーター化された解析モデルであり、流体シミュレーションとは異なる。そこでこれらの方法及びその整合性を検証する目的で、原始星段階の磁気流体シミュレーションに対し、輻射輸送と擬似観測を施し、観測的可視化を行ったので報告する。

本研究で用いたシミュレーションは初期に温度 10 K、半径 0.5 pc、中心密度 $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ のコアを強度 50 μG の磁場と平行な向きに回転させ、重力収縮開始後 0.1 Myr (中心星質量 $M_* = 0.5 M_\odot$) まで計算している。64 × 64 × 32 の格子を多層格子法によって最大 15 段使用した。最小格子幅は 0.2 au で、中心のシンクセルに落下したガスの質量を M_* とする。このシミュレーションから得られた密度、温度、速度を輻射輸送計算コード RADMC3D に通し、 $\text{C}^{18}\text{O } J = 2 - 1$ 輝線と 220 GHz 連続波を得て、CASA simobserve を用いて疑似観測する。天体の位置などの観測条件は Class 0/I 原始星 L1527 IRS の ALMA 観測 (Aso et al. 2017) を想定している。

円盤の同定方法の中でも、円盤の長軸方向に切った位置速度図から各回転速度に対応する半径を得る手法 (e.g., Yen et al. 2013; Ohashi et al. 2014; Harsono et al. 2014) はモデルに依らないという利点がある。この方法では円盤が空間分解能以上の半径であれば、ケプラー則 ($V_{\text{rot}} \propto r^{-0.5}$) として概ね円盤を同定できることが確かめられた。さらに、半径が小さい場合や円盤がエッジオンに近い場合には半径を $\sim 20\%$ 小さく見積もることもわかった。これらは Aso et al. (2015) の解析的な議論とも一致する。この方法以外にも、天球面上での速度勾配方向と速度の関係や、連続波ビジビリティ、解析モデルによるフィッティングといった方法を検証する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P106b 初代星形成における原始星周りの円盤進化

木村和貴, 細川隆史 (京都大学), 杉村和幸 (メリーランド大学)

初代星連星は重力波で観測されるブラックホール連星の起源天体として有力な候補の1つとなっている。近年は数値計算により、宇宙論的初期条件から始原ガスの進化を追うことによってその形成過程が研究されている。その結果、原始星の周りにできる円盤が重力不安定により分裂することによって連星や多重星が形成されることが示唆されている。しかし、これまでの数値計算では stiff equation や sink partice 法など様々な近似的な計算手法が用いられている上に計算毎に様々な現象が見られ、結局どのような連星が形成されるのかは明らかになっていない。この問題を解決するためには、数値計算の結果をきちんと解釈し連星形成過程に対する物理的な理解を深める必要がある。

本研究では初代星形成において原始星の周りにできる円盤の構造を半解析的にモデル化することにより、円盤の分裂する物理的理由や、初期の分子雲の質量や角運動量に対してどのような分裂が起きるのかを調べた。これまでも円盤の半解析的なモデル化は試みられているが (e.g. Tanaka & Omukai 2014, Matsukoba et al. 2019)、定常降着が仮定されており、又数値計算との詳しい比較も十分になされていない。そこで本研究では、エンベロープからの降着を考慮して円盤構造の時間発展を記述した Takahashi et al(2013) の非定常円盤モデルに、初代星形成において重要な化学反応や加熱・冷却過程を組み込んだモデルを作成した。それを用いて円盤の構造がどのように時間発展していくかを求め、重力不安定性の議論からどのような分裂が起きるのかを調べた。また、結果を3次元数値計算 (Sugimura et al. in prep.) と比較することにより、作成した半解析的なモデルが実際に数値計算で見られる円盤分裂を説明するかどうかも確認する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P107a OMC-2における新たな Extremely High Velocity Flow の発見

松下祐子 (九州大学), 高橋智子, 富阪幸治 (国立天文台), 町田正博 (九州大学)

Orion Molecular CLoud-2 (OMC-2, 距離=388 pc; Kounkel et al. 2017) の南側の領域 (FIR 6 領域) の ALMA のモザイク観測の結果を報告する。1.3mm continuum の解析結果から、フィラメントに沿って9つのコアを同定した。これら9つのコアは、最新の Terwisga et al. (2019) で発見されたコアと一致した。また、CO (J=2-1) 分子輝線と SiO (J=5-4) 分子輝線の結果から、新たなアウトフローと Extremely high velocity flow (EHV flow) を発見した。HOPS 58 からアウトフローが駆動していることが新たに分かり、FIR 6b (HOPS 60) は、過去に観測された低速度のアウトフローに加えて EHV フローが駆動していることを初めて発見した。FIR 6b のアウトフローは、 $|V_{\text{LRS}} - V_{\text{sys}}| \leq \pm 50 \text{ km s}^{-1}$ でキャビティ構造を持ち、EHV フローは、 $|V_{\text{LRS}} - V_{\text{sys}}| \leq \pm 60 - 100 \text{ km s}^{-1}$ でコリメートした構造がみられた。この EHV フローからは、knots 構造も非常に鮮明に見られ、その駆動間隔はおおよそ 200 年であると見積もられる。OMC-2/FIR 6 の領域では、FIR 6a から良くコリメートしたアウトフローが駆動していることが以前から知られている (Simajiri et al. 2009)。今回の結果でも CO と SiO 両方の分子輝線から開口角 $\sim 15 \text{ deg}$ 程度の非常に良くコリメートされた 10 km s^{-1} 以下の速度成分を持つアウトフローが観測された。一方で、このコアからは EHV フローとみられる高速度成分は見られなかった。アウトフローと EHV フローが駆動している天体、コリメートしたアウトフローのみ駆動している天体、キャビティ構造がみられるアウトフローのみが駆動する天体と非常にバラエティに富んだ天体が存在する環境であることが分かる。これらの結果を、過去の観測や他の領域と比較しつつ、原始星の進化段階をふまえて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P108a Class 0 低質量原始星天体 L483 のアウトフローの根元の構造

藤田孝典, 大屋瑤子, 山本智 (東京大学)

若い原始星に向かって落下するエンベロープガスは、エネルギーと角運動量の保存によって原始星への降着が妨げられる。このため、原始星が成長するには、ガスの角運動量を抜き取る必要がある。このメカニズムの一つとしてアウトフローが考えられており、その構造を理解することは原始星の進化過程を探る上で重要である。

L483 ($d = 200$ pc) は Aquila Rift 領域にある Class 0 原始星コアで、ほぼ edge-on の構造のエンベロープ・円盤が南北に伸び、アウトフローが東西方向に吹き出していることが知られている。我々は L483 を ALMA Cycle 4 で観測し、アウトフローにおける分子の分布と速度構造について調べた。本研究では、CS ($J = 5 - 4$), SiO ($J = 6 - 5$), SO ($5_6 - 4_5$), SO ($6_7 - 5_6$) の分子輝線 (Band 6) に着目し、 $0.2''$ (~ 40 au) の高分解能イメージからアウトフローの根元の構造を調べた。

CS 輝線によって主に東側のアウトフローキャビティの壁が捉えられた。また、CS 輝線の速度構造の解析からこのアウトフローの回転運動が示唆された。この結果は、同じ輝線を用いてより広い範囲で行われた先行研究 (分解能 $0.5'' \sim 100$ au) と一致する (Oya et al. 2018)。一方、SiO 輝線は、CS 輝線で捉えられたアウトフローキャビティの壁に沿って原始星から 90 au だけ離れた位置で検出され、そこで 5 km s^{-1} を超える速度シフトをもつことがわかった。この速度は、その位置での回転落下ガスの速度を大きく上回ることから、アウトフロー上の局所的な衝突領域を捉えたものと考えられる。それに対して、2本の SO 輝線はコンパクト (~ 200 au) な回転構造を示し、円盤/エンベロープ構造をトレースしている。この回転の中心は 1.2 mm 連続波の強度ピークの位置から 30 au 程南西にずれていることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P109a 低質量原始星 IRAS 16293–2422 の 10 au スケールでの円盤/エンベロープ構造

大屋瑤子, 山本智 (東京大学)

IRAS 16293–2422 はへびつかい座 ($d \sim 140$ pc) にある Class 0 低質量原始星である。この天体は Source A と B からなる連星系であり、このうち Source A では円盤/エンベロープガスの回転構造が報告されている。我々は、この速度構造が、回転しながら落下する弾道軌道のエンベロープモデルと、その内側でケプラー回転する円盤で説明されることを報告した (2016 年春季年会)。この解析により、原始星質量は $0.75 M_{\odot}$ と見積もられ、また、回転・落下するエンベロープガスと円盤構造の境界 (遠心力バリア) は、原始星から半径 50 au 程度の位置にあることがわかった (Oya et al. 2016, ApJ, 824, 88)。

我々はこの円盤/エンベロープ構造をより詳しく解析するため、上記の観測より 5 倍高い分解能 ($0''.1 \sim 14$ au) で ALMA Cycle 4 観測を実施した (Band 6; 1.2 mm)。この結果、Source A での連続波分布に、10 au スケールでの内部構造が見られた。また、様々な分子輝線の観測により、このスケールでの空間分布が分子種によって異なることが示唆された。中でも、 H_2CS 分子の複数輝線 ($J = 7 - 6, K_a = 0, 2, 3, 4, 5$) の強度比の解析から、回転温度の空間分布を明らかにした。 H_2CS 分子の回転温度は、エンベロープガスでは 20 – 80 K 程度であるのに対し、遠心力バリアの位置では 200 K 以上まで上昇していることがわかった。さらに、感度が不十分であるものの、より内側の円盤成分では H_2CS の回転温度が 100 K 以下に下がっていることが示唆された。この温度変化の原因として、落下してきたエンベロープガスが回転する円盤の端に衝突し、ガスが局所的に温められていることが考えられる。この天体は、エンベロープガスが複雑な飽和有機分子に富むことが知られている (hot corino)。ガスの温度が 100 K 以上に上昇していることは、この天体の化学組成を特徴付ける重要な要因であると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P110c 近傍宇宙における連星形成およびアウトフローとジェットの駆動

佐伯優 九州大学

昨今、ALMA を筆頭とする観測機器の目覚ましい発展により、連星や周連星円盤からジェットやアウトフローが駆動している様子がとらえられ始めてきた。しかし、これまでの理論研究において、連星からのジェットやアウトフローが確認されたものは少ないため、このような現象がどのような機構によるものかを解明することが必要である。

連星は、重力収縮する分子雲コア内で形成されることが示唆されているが、分子雲コアから原始星連星(連星の赤ちゃん)が誕生するためには、初期に持っていた角運動量のほとんどを何らかの機構で系の外へ捨てなければならない。この機構のうちの一つがジェットやアウトフローの駆動である。これらは磁場に寄与するため、星形成を正しく解き明かすためには磁場を無視することはできない。また、系が三重星(または多重星)の場合、伴星のうちの1つ(またはそれ以上)を系外へ放出することでも角運動量を輸送することが可能である。これらの機構は、分子雲コアが原始星連星になるための収縮のみならず、連星間距離を小さくする働きもあるため、近接連星の形成過程を解明する上でも重要である。したがって、連星や周連星円盤からのアウトフローやジェットの駆動および近接連星の形成メカニズムを解明するためには、これらを考慮した計算を行わなければならない。

本研究では近傍宇宙における連星からのジェットやアウトフローおよび近接連星の形成過程を解明し確立するため、磁場を考慮し、分子雲コアから原始星連星が形成され、それらからのジェットやアウトフローが駆動する段階までの長時間計算を行った。その結果、原始星連星が誕生し、そのうちのいくつかの周連星円盤や連星からアウトフローやジェットが駆動している様子を確認することができた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P111a 前主系列星の長期モニタリング ジェット駆動機構の解明に向けて (II) ジェットデータとの比較

高見道弘 (ASIAA), T.L. Beck (STScI), H.M. Günther (MIT), P.C. Schneider (ESA/ESTEC), M. White (ANU), K. Grankin (CrAO), J.L. Karr, 大山陽一 (ASIAA), 深川美里 (NAOJ), 表泰秀 (NAOJ), R. Galván-Madrid (UNAM), H.B. Liu (ASIAA), N. Manset (CFHT), W.-P. Chen (NCU), H. Shang (ASIAA), D. Coffey (DIAS), 大塚雅昭 (京大)

ジェットと降着円盤の組み合わせは宇宙のさまざま天体で見られる。ジェットと質量降着との関係についていくつもの理論が提唱され、数値シミュレーションで検証されている一方、その観測的検証は容易でない。特に原始星や前主系列星のジェットについては、ジェットが放出される領域や加速領域を空間分解できないことが、観測的検証の大きな障壁となってきた。

われわれは代替のアプローチとして、3つの活発な前主系列星について、ジェットや質量降着の長期モニタリング観測を2010年より進めている。2016年春の講演では、CFHT 3.6-mで観測している可視輝線 (=質量降着の指標) の輝線プロファイルが複雑な長期変動を示すことを報告した。本講演では、さらに継続したCFHTの観測や可視測光の変動を、Gemini 8-mやVLT 8-mによるジェットのモニタリング観測との結果と比較する。このことにより、ジェット放出による構造の少なくとも一部が、観測された質量降着と時間相関することを示す。

この観測結果は、ジェットが星のごく近傍から放出されていることを示唆する。ジェット加速や質量降着メカニズムのさらなる解明のためには、輝線プロファイルの時間変動に対するさらなる理論的理解を必要とする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P112b ALMA による突発増光原始星 V900 Mon の観測

高見道弘, T.-S. Chen, 平野尚美, H.B. Liu (ASIAA), Á. Kóspál, P. Ábrahám, F. Cruz-Sáenz de Miera (Konkoly Observatory) 他

低質量原始星の質量降着メカニズムは、実はよくわかっていない。降着円盤を介した粘性降着、ジェットウィンドによる角運動輸送の役割、そして星周円盤の重力不安定に伴う質量降着などがこれまで議論されている。一方で、定常・静的な降着では星の最終質量のごく一部しか説明できない可能性が示唆され、時々起こる突発降着の可能性、そしてその役割が、長年議論されてきた。

われわれは後者の問題の解決に向けて、突発降着による激しい増光を伴う原始星 (FU Ori 型星) の観測的研究を進めている。本講演では、ALMA による FU Ori 型星 V900 Mon ($d \sim 1.5$ kpc) の観測について報告する。高空間分解能かつ高感度の観測により、 $\sim 10^4$ au スケールの双極分子流およびエンベロープに付随する CO 放射 ($^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O } J=2-1$) を検出した。FU Ori 型星には強力な円盤風がしばしば伴うが、この円盤風と、上記 CO 輝線で観測される冷たいガスの相互作用は、中心 ~ 800 au 以内にとどまるとみられる。このため、これよりはるかに大きい空間スケールの双極分子流およびエンベロープは、1953-2009 に発生した突発降着以前の状態を保存していると思われる。

双極分子流の開き角およびエンベロープの質量により、この星は上記の突発降着以前は通常のクラス I 型原始星であったことが推測される。この結果は、通常の多くの低質量原始星が突発質量降着を伴うという仮説と矛盾しない。もしポスターの紙面が許せば、過去の ALMA 観測による他の FU Ori 型星 のケースや、230 GHz 連続放射成分の観測からわかる降着円盤の物理状態についても報告したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113c すばる HiCIAO による、突発増光原始星の質量降着メカニズムの解明

高見道弘, G. Fu, H.B. Liu, J.L. Karr (ASIAA), 橋本淳 (ABC), 工藤智幸 (NAOJ), E. Vorobyov (U. Vienna), Á. Kóspál (Konkoly Observatory), P. Scicluna (ASIAA), R. Dong (U. Victoria) 他

低質量原始星の質量降着メカニズムは、実はよくわかっていない。降着円盤を介した粘性降着、ジェットウィンドによる角運動輸送の役割、そして星周円盤の重力不安定に伴う質量降着などがこれまで議論されている。一方で、定常・静的な降着では星の最終質量のごく一部しか説明できない可能性が示唆され、時々起こる突発降着の可能性、そしてその役割が、長年議論されてきた。

われわれは後者の問題の解決に向けて、突発降着による激しい増光を伴う原始星 (FU Ori 型星) の観測的研究を進めている。本講演では、すばる HiCIAO によるこれらの星の星周環境の近赤外散乱光の観測について報告する (Liu, Takami+ 2016, Science Advances; Takami+ 2018, ApJ)。得られた散乱光の分布は、渦状腕、尾のように長く伸びた構造などを含めた複雑な構造を示す。これらの結果は通常の原始星と大きく異なると共に、天体毎でも大きく異なる。

観測された構造は、(1) 重力不安定な円盤上の構造 (2) 重力不安定円盤から放出されたガス塊と星周物質との相互作用 (3) 星のごく近傍からの強い円盤風と星周物質との相互作用などで説明できる。これらは、円盤の重力分裂とそれにとまなうガス塊の降着により、突発降着が誘発されるという説を支持する。ポスターの紙面が許せば、なぜ天体毎に大きく異なる星周構造が観測されるのか、そしてなぜそれらが通常の低質量原始星と大きくことなるかについても述べたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114b 近赤外 CaII 三重輝線を用いた前主系列星の彩層活動の調査

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学), 高木 悠平 (国立天文台)

ひので衛星による太陽の CaII 線の観測より、彩層は激しい爆発現象が起こる活発な領域であることが明らかになった。彩層の活動現象の起源は対流層のダイナモ活動にあるといわれている。Noyes et al. (1984) は自転速度、質量、対流層の深さ、対流層の回転時間が、ダイナモ活動の強さと関係あると主張した。

一般的に、前主系列星は分厚い対流層と速い自転速度を持つ。このことから、前主系列星ではダイナモ活動を起源とする彩層活動が活発であることが予想される。一方で Mohanty et al. (2005) では前主系列星の質量降着率と近赤外 CaII 輝線のフラックスに正の相関があった。このことから、原始惑星系円盤からの質量降着によって強い彩層輝線が発生する可能性も考えられる。

そこで本研究では、前主系列星と散開星団に属する若い主系列星の彩層輝線の強度を比較した。西はりま天文台 2 m なゆた望遠鏡/低中分散可視光分光器 MALLS、すばる望遠鏡/高分散分光器 HDS を用いた観測のほか、Keck 望遠鏡、VLT のアーカイブより前主系列星の近赤外 CaII 三重輝線 ($\lambda 8498 \cdot 8542 \cdot 8662 \text{ \AA}$) を取得した。その結果、数十天体の前主系列星の CaII 輝線の強度は若い主系列星と同程度であった。これは前主系列星の段階でダイナモ機構に依存した彩層活動が優勢であることを示唆している。一方で数天体の前主系列星は、若い主系列星の 30-1400 倍強い輝線を示していた。このような天体では強いペーリングも観測されていることから、原始惑星系円盤からの質量降着により明るい彩層輝線が発生したと考えられる。本講演では CaII 輝線の強度や強度比をもとに前主系列星の彩層活動について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P115b 星形成レガシープロジェクト I : Overview

中村文隆 (NAOJ)、石井峻 (NAOJ/JAO)、土橋一仁 (東京学芸大学)、下井倉ともみ (大妻女子大学)、島尻芳人 (鹿児島大学) 川辺良平 (NAOJ)、田辺義浩 (茨城大)、広瀬亜紗 (東京学芸大学)、小山田朱里 (日本女子大)、浦沢由美子 (新潟大)、竹村英晃 (総研大)、百瀬宗武 (茨城大)、杉谷光司 (名古屋市立大)、西亮一 (新潟大)、奥村幸子 (日本女子大)、Patricio Sanhueza (国立天文台)、Quang Nygen-Luong (IBM/Canada)、楠根貴成 (国立天文台) 他星形成レガシーチーム

星形成レガシープロジェクトでは、近傍の星形成領域であるオリオン座 A 分子雲、Aquila Rift、M17 の広域観測を 2014 年から 2017 年にわたる 3 年間行ってきた。メンバーの献身的な努力により、2018 年 5 月に取得データ [^{12}CO ($J=1-0$), ^{13}CO ($J=1-0$), C^{18}O ($J=1-0$), N_2H^+ ($J=1-0$)] を一般公開した。

取得データから、各領域の分子ガスの分布や大質量星形成領域の物理状態の特徴、分子ガスの総質量などが明らかになってきた (Nakamura et al. 2019)。前回の年会では個々の解析結果の一部 (原始星アウトフロー探査など) を紹介した (P127c)。本講演では、PASJ の野辺山 FOREST 受信機の特集号の出版に合わせて、星形成レガシープロジェクトのこれまでの成果のまとめとして、プロジェクトの目的を概観し、これまでに得られたサイエンス成果を簡単に紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a 星形成レガシープロジェクト II：M17 SWex の星形成

下井倉ともみ(大妻女子大学), 土橋一仁, 広瀬亜紗(東京学芸大学), 中村文隆(国立天文台), 島尻芳人(鹿児島大学), 杉谷光司(名古屋市立大学), ほか星形成レガシーチーム

H II 領域 M17 に隣接する近赤外線暗黒星雲 M17 SWex に対して行った野辺山 45m 鏡による観測結果を報告する。観測は、約 $1^\circ \times 0.5^\circ$ の領域を 93 – 115GHz の複数の分子輝線を用いて行った。観測に用いた分子輝線のうち、 N_2H^+ のデータに基づいて観測領域内に 46 個のコアを同定した。ビリアル解析の結果、検出したコアのビリアル比は 1 程度以下であった。このことは、磁場の支えの効果を無視すれば、コアが収縮していることを意味する。また、46 個のコアのうち、半径 $r > 1\text{pc}$ 、質量 $M > 1000M_\odot$ 、線幅 $\Delta V > 2.5\text{km s}^{-1}$ の巨大なコアを 4 つ検出した。これらの値は、大質量星形成を起こしている他の領域のコアで観測される値と同等である。しかし、これまでの研究では、M17 SWex での活発な大質量星の形成は確認されていない。

近赤外線を用いた偏光測定では、M17 SWex 周辺の磁場の強度は 70 – 300 μG と見積もられている (Sugitani et al. 2019)。これは、コアの自己重力に対して磁場による支持が十分あることを示唆する。Sugitani et al. (2019) は、M17 SWex は全体的に critical か sub-critical であり、これがこの領域で大質量星形成が不活発な原因であると提案している。我々は、観測により見積もったコアの半径と質量より、M17 SWex のコアが critical になるためには 100 – 600 μG 程度の磁場が必要であると推定した。この値は、近赤外線から測定された磁場の強度と矛盾しない。よって、我々は Sugitani らと同様に、M17 SWex のコアは critical に近い sub-critical であり、磁場によってコアの収縮が妨げられ、そのために M17 SWex では大質量星形成が進行しないと考える。何らかの理由で磁場による支えがなくなれば、コアは一気に収縮して大質量星が形成されると思われる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P117a 星形成レガシープロジェクト III：M17 SWex 分子雲の磁場構造

杉谷光司 (名古屋市立大)、中村文隆 (国立天文台)、下井倉ともみ (大妻女子大)、土橋一仁 (東京学芸大学)、Nguyen-Luong, Quang (IBM Canada)、楠根貴成 (国立天文台)、永山 貴宏 (鹿児島大学)、渡邊誠 (岡山理科大学)、西山正吾 (宮城教育大)、田村元秀 (東京大学)

M17 SWex 分子雲は、顕著なフィラメント構造を持つ赤外線暗黒星雲で比較的距離が近い (2kpc)。この分子雲は、活発な大質量形成領域である M17 巨大分子雲の南西 (SW) に位置しており、 $\sim 2 \times 10^5 M_{\odot}$ の質量持つため次世代の大質量星形成領域である可能性が示唆されている (Elmegreen et al. 1979)。一方、中間赤外線や X 線の観測 (Povich et al. 2010, 2016) は、分子雲の質量は大質量星が誕生するに十分な質量があるにも関わらず中小質量星しか形成されていないことを示している。そこで、大質量星が形成されていない原因として磁場の関与の可能性を調べるために、IRSF/SIRPOL を用いた近赤外線偏光観測を M17SWex のほぼ全域で行い磁場構造を調べ、45m 鏡による星形成レガシープロジェクト (代表:中村文隆) で得られた $^{13}\text{CO}(1-0)$ と $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ データ (Shimoikura et al. 2019) との比較を行った。

近赤外線偏光データから得られた結果は、磁場は M17 SWex 分子雲の伸長方向に対して垂直であるが、分子雲の両端では中心方向に向かってゆるく湾曲しており分子雲の伸長方向に垂直な砂時計型をしていることを明らかにした。また、M17 SWex 分子雲の内部の比較的密度が高い部分のフィラメントに対しては磁場は垂直であるが、比較的密度の低い周辺部の ^{13}CO フィラメントに対しては平行であることも明らかになった。偏光角分散と C^{18}O の速度分散により比較的密度が高い部分にあるフィラメント領域の磁場強度と磁氣的安定性を見積もった結果、各領域の磁場強度は $\sim 70\text{--}300 \mu\text{G}$ であり critical か sub-critical の状態にあることが明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P118a 星形成レガシープロジェクト IV：はくちょう座領域の研究成果

土橋一仁，片倉 翔，遠藤修弘，高木知里（東京学芸大学），下井倉ともみ（大妻女子大学），中村文隆（国立天文台），島尻芳人（鹿児島大学），Jean-Philippe Bernard（IRAP/France），ほか 45m 星形成レガシーチーム

45m 鏡による星形成レガシープロジェクト（代表：中村文隆）では，主に Orion 領域，Aquila 領域，及び M17 領域の巨大分子雲を観測した。観測には， ^{12}CO 及びその同位体分子（ ^{13}CO ， C^{18}O ）や， N_2H^+ などによる分子輝線を用いたが，その際，データ較正のために，はくちょう座の DR21 と NCS（北の石炭袋）の 2 天体も観測した。得られた較正用のデータを解析したところ，これらの天体についても興味深い発見があったので，報告する。

DR21（銀経 81.7 度，銀緯 0.5 度，距離 1.5 kpc）は，若い大質量星（ $\sim 10^5 L_\odot$ ）を内包する視直径約 30" の小さな HII 領域である。その 4' 北方には DR21(OH)，さらにその 2' 4' 北方には W75S-FIR1，W75S-FIR2，W75S-FIR3 といった若い大質量星が形成されていることが知られている。45m 鏡のデータを解析したところ， $V_{\text{LSR}} = -3 \text{ km/s}$ の視線速度をもつ DR21 の母体分子雲（ $\sim 3 \text{ 万 } M_\odot$ ）は， $V_{\text{LSR}} = 11 \text{ km/s}$ の別の分子雲（ $\sim 3 \text{ 千 } M_\odot$ ）と衝突しており，それによる分子雲圧縮が DR21 等の形成を誘発した可能性が高いことがわかった。

NCS（銀経 92.7 度，銀緯 3.1 度，距離 800 pc）は，Cyg OB7 分子雲複合体（ $\sim 10 \text{ 万 } M_\odot$ ）の中に埋もれた巨大クランプ（ $\sim 1 \text{ 千 } M_\odot$ ）であり，その中心部には僅か 3 千 5 百年の力学的年齢をもつ双極分子流を伴う大質量星が形成されていることが知られている。解析の結果，このクランプは近傍の超新星残骸（HB21 など）や O 型星からの星風により形成された複数のシェルとの交点に位置しており，これらのシェルとの相互作用により，中心部の大質量星形成が誘発された可能性が有ることがわかった。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P119b へび座分子雲における低質量 YSO の近赤外分光観測

大出康平, 大朝由美子 (埼玉大学), 小田達功 (埼玉大学/さいたま市宇宙劇場), 高木悠平 (国立天文台), 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

近年の観測から、水素の核融合反応を起こさない惑星質量天体/褐色矮星が多数見つかったが、形成過程や存在頻度などは未解明な点が多い。我々は、環境による惑星質量天体/褐色矮星の形成について差異を探るべく、太陽近傍 (~1kpc) で複数の星形成領域において可視近赤外測光分光観測を行なっている。本研究の観測対象は、同一分子雲内でガス・ダスト密度の異なる3つのクラスターをもつへび座分子雲 (~436pc) である。すばる望遠鏡と UKIRT 望遠鏡を用いて、へび座分子雲について YSO の近赤外測光探査観測を行い、約 8000 天体の惑星質量天体/褐色矮星候補天体が同定された (佐藤ほか 2015, 小田ほか 2018)。しかし、先行研究は測光観測のため有効温度が求められないので、若い天体の年齢を 1Myr と仮定して質量が推定されている。

そこで本研究では、すばる望遠鏡/MOIRCS を用いてへび座分子雲における惑星質量天体/褐色矮星候補天体を含む低質量 YSO 候補 362 天体の多天体近赤外分光観測を行なった。低質量 YSO 候補の有効温度を導出し、先行研究の光度と組み合わせ、HR 図と低質量星の理論進化モデルを用いると、年齢の仮定に寄らない正確な質量と年齢の推定が可能となる。現在までに観測天体の約 1/2 の解析を行い、その結果、低温度星に見られる H₂O の吸収やブラケット γ 輝線、Class I と考えられるスペクトルなどが得られた。H₂O の吸収量が有効温度と表面重力によって変化する (Itoh et al. 2002) ことに着目し、有効温度の導出には H₂O の吸収量を用いた。本研究では、減光量に依存しない H₂O の吸収量比 Q を定義 (Oasa 2011) し有効温度の導出を行なった。講演では、多波長測光値から作成した SED による温度と、分光解析結果から導出した有効温度の比較についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120b 銀河面低密度領域における星形成の広域探査観測

大朝由美子, 竹内媛香, 木内穂貴, 大出康平, 鶴澤由規, 田村泰樹 (埼玉大学), 平塚雄一郎 (埼玉大学/埼玉県立寄居城北高校), 伊藤洋一, 本田敏志 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台)

星は分子雲コア中で形成され、前主系列星 (PMS) の段階を経て主系列星に進化する。PMS は分子雲のガス・ダスト密度の高い領域で集団的に存在するため、高密度領域では星形成が活発に行われていると考えられている。しかし、低密度領域における PMS の探査は不十分であり、星形成の理解は進んでいない。そこで我々は、銀河面および高銀緯領域における PMS の広域探査を行い、その分布から分子雲のガス・ダスト密度等が異なる環境における星形成の相違を探っている。本研究では、銀河面における PMS と分子雲との空間分布や関係性を調べるため、野辺山 45 m 電波望遠鏡と FOREST を用いた銀河面レガシープロジェクト (FUGIN) の観測領域を対象として、PMS の分光探査観測を行った。

我々は、低質量 PMS が示す観測的特徴のうち、赤外超過と $H\alpha$ 輝線に着目し、可視 $r', i', H\alpha$ バンドによる銀河面測光探査観測 (IPHAS)、及び、全天近・中間赤外探査観測 (2MASS, WISE) のアーカイブデータを用いて 2 つの方法で PMS 候補天体を選別し、次に可視分光観測から $H\alpha$ 輝線の有無やスペクトル型を求めた。1 つ目では JHK 二色図をもとに、2 つ目は JHK[3.4]、及び K[3.4][4.6] の二色図から、赤外超過を示す天体を選別した。これら赤外超過天体について赤化補正した $r', i', H\alpha$ 二色図をもとに $H\alpha$ 超過が見られる天体を PMS 候補天体と同定した。この PMS 候補天体の一部について、兵庫県立大学なゆた 2 m 望遠鏡を用いて、2017-18 年に計 15 晩、可視低分散分光観測を行った (一部は大朝 2018 春季年会、木内 2018 秋季年会で発表)。本講演では、PMS の選別手法や分光観測から得られたスペクトル型、多波長測光観測による SED との比較などについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P121b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査

金井 昂大, 大朝 由美子 (埼玉大学)

褐色矮星・惑星質量天体は質量が非常に小さく暗いため、その形成過程や普遍性などは不明な点が多い。先行研究では、活発な星形成領域である S106 領域やオリオン座 B 分子雲において、大質量星の形成によって超低質量天体の形成が抑制されている可能性が示唆されている (Oasa et al. 2006, 北島 2017 卒業論文)。このような超低質量天体の形成が普遍的か多様性を持つかを探るために、我々は様々な分子雲の可視・近赤外測光分光観測を進め、環境による星形成の相違点を調べている。

本研究では、みなみのかんむり座分子雲の R CrA 領域を観測対象として選択した。R CrA 領域は Herbig Ae 型星である R CrA を中心とした中質量星形成領域で、Class 0 天体や多くのミリ波源が存在しており、太陽近傍 (~ 130 pc) で若い (~ 0.5 -1Myr) 領域である。複数の褐色矮星が同定されているが、惑星質量天体を含む超低質量天体の形成や初期質量関数 (IMF) の低質量側は明らかにされていない。そこで、R CrA 領域における超低質量天体の形成やその質量分布を明らかにすることを目的として、UKIRT3.8m 望遠鏡と WFCAM を用いた深い近赤外測光観測・解析を行った。二色図で得られた赤外超過量を基に YSO を選別し、減光を補正して天体固有の光度を求め、年齢を 1Myr と仮定することで質量を導出した。その結果、褐色矮星候補を 5 天体、惑星質量天体候補を数百天体同定した。これらの IMF は惑星質量天体にかけて増加する傾向が見られた。また、Herschel 望遠鏡の観測から得られた分子雲のダスト柱密度と比較すると、ダスト柱密度が高い領域では質量が大きい天体、柱密度が低い領域では質量が小さい天体が形成されている傾向が示された。加えて、WISE や Spitzer/IRAC のデータから求められた SED によって算出された YSO の有効温度や星周円盤の有無について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122b NGC 2264 CMM3A の ALMA による 0.8mm 帯化学サーベイの解析

柴山良希 (東京大学), 渡邊祥正 (日本大学), 大屋瑤子 (東京大学), 山本智 (東京大学)

ALMA による大質量星形成領域の観測では、その高い感度と分解能により非常に多くの分子輝線が検出される。分子輝線にはその分子の密度、温度、速度など、様々な情報が含まれており、その総合的解析は重要である。CMM3A は NGC 2264 という太陽系近傍 (~ 738 pc: Kamezaki et al. 2014) の大質量星形成領域に存在する原始星天体であり、ALMA を用いたスペクトル線サーベイ観測により多くの分子輝線が検出されている。本研究では、それらのうちで代表的な有機分子である CH_3OH と、その同位体種 $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ を中心に解析した。

これまで、CMM3A は CH_3OH の高励起輝線が見られることから、ホットコア天体であると考えられていた。光学的に薄く、LTE (local thermodynamic equilibrium) であるという仮定のもとで、 CH_3OH の回転温度は 385 ± 58 K と推定されていた (Watanabe et al. 2017)。しかし、過去の解析では検出された CH_3OH の分子輝線約 80 本のうち 24 本しか使用されておらず、観測されたスペクトル全体とデータベースを比較すると、高温で光学的に薄い条件では説明がつかない分子輝線が存在することがわかった。そこで、光学的厚みの効果を考慮し、さらに温度の異なる二成分 (150 K と 30 K) の寄与を考えたところ、観測された全ての周波数領域において CH_3OH 輝線の観測強度を説明することができた。この解析の結果、 CH_3OH は回転温度がこれまで考えられていたほど高くないこと、非常に高密度で、空間的にコンパクトな領域に存在することがわかった。さらに、 $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ の存在量を CH_3OH の 1/60 とすると $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ の分子輝線も説明できた。同様にして、他の有機分子 (HCOOCH_3 等) についても解析が進行中である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123b 大マゼラン雲における大質量原始星に付随する分子雲の ALMA 観測 (2)

後藤健太, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府立大学/国立天文台), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学)

大マゼラン雲は我々に対してほぼ正面に向けている銀河であり、全体に渡って均質なサンプルを得ることが比較的容易なため、大質量星の進化を統計的に探る上で非常に重要な天体である。我々は大マゼラン雲の全域で赤外線 ($8\mu\text{m}$) 放射が最も明るい 50 個程度の大質量原始星の観測を計画し、その大部分を ALMA Cycle 5 にて実行した (PI: T., Onishi, 2017.1.00093.S)。現在までに Band 3 帯の観測 (^{13}CO ($J = 1-0$) 等) の 12 m, 7 m array や Band 6 帯の観測 (^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2-1$) 等) の TP array のデータがデリバーされた。これまでの 12m+7m array によって得られたデータの解析において、大マゼラン雲において最も活発な星形成領域である N159 と比較して同程度かそれ以上の規模の星形成が行われていると考えられる YSO-25 の存在 (後藤他 2018 年秋季年会) や原始星に付随している分子雲が、(1) 単一のフィラメント構造, (2) 複数のフィラメントが絡まった構造, (3) (1,2) よりもクランピーな構造を持っているものの存在などが明らかになってきた。これらの構造を進化段階ごとに特徴付けることを目的とし、TP Array (空間分解能 $\sim 7\text{pc}$) によって観測された 37 個の大質量原始星の周辺の C^{18}O ($J = 2-1$) と $\text{H}30\alpha$ の有無についての調査を行った。その結果、どちらも検出されなかった天体が 20 個、 C^{18}O のみ検出された天体が 10 個、どちらも検出された天体が 6 個、 $\text{H}30\alpha$ のみ検出された天体が 1 個であった。 C^{18}O が検出された天体が半数近く確認できたことから、 10^5cm^{-3} 程度の高密度ガスが付随する進化段階の初期段階のものが比較的多いことが伺える。これら C^{18}O , $\text{H}30\alpha$ の検出に基づく分類は必ずしも高分解能でトレースされる分子雲の構造と関連しているわけではなく、大質量星形成の初期状態の多様性を捉えている可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124b 大質量ホットコアにおけるメタノールの重水素濃縮度

植松 海, 酒井 剛 (電気通信大学), Patricio Sanhueza (国立天文台), Yanett Contreras (Liden Observatory), 古家健次 (筑波大)

低温な分子雲中では、多くの分子において重水素濃縮が起こることが知られている。分子の重水素濃縮度は、星形成前の低温時に増加し、原始星形成後の温度上昇によって解消される。この解消のタイムスケールは、イオン分子と中性分子とで異なる。 N_2H^+ などのイオン分子は、温度上昇に伴い気相に解放されたCOと反応し破壊されるため、比較的短いタイムスケールで重水素濃縮度が減少するが、中性分子の場合、COと反応せず、ゆっくりと重水素濃縮度が減少する。従って、星形成後の中性分子の重水素濃縮度は、星形成前の低温時期の重水素濃縮度を反映すると考えられる。特に、 CH_3OH は大部分が星形成前にダスト上で形成されることから、温度上昇後の重水素濃縮度($\text{CH}_2\text{DOH}/\text{CH}_3\text{OH}$)は、星形成前の情報をより保持していると考えられる。本研究では、 CH_3OH の重水素濃縮度を観測的に明らかにすることで、大質量星形成の初期状態を探る。

今回、大質量ホットコアを含む2天体についてALMAの観測データの解析を行った。解析を行った天体は、IRAS 18089-1732 (~ 2.3 kpc)、及びG11.92-0.61 (~ 3.4 kpc)である。観測した分子はALMA Band 6における $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ 、及び CH_2DOH であり、角度分解能は $\sim 0''.4$ である。解析の結果、双方の天体で CH_2DOH は $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ とよく似た分布を示すことがわかった。 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ を62と仮定すると、 $\text{CH}_2\text{DOH}/\text{CH}_3\text{OH}$ の比はIRAS 18089-1732で $\sim 0.15\%$ 、G11.92-0.61で $\sim 0.32\%$ を示した。これは小質量星形成領域 ($\sim 2\%$; Jørgensen et al. 2018) に比べて有意に低い値であり、大質量原始星が存在するNGC6334I (Bøgelund et al. 2018) と近い値であるということがわかった。今後はさらに複数の天体を調べる予定であり、ポスターではその他にモデル計算との比較も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a BISTRO Project Status (6)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian³, Yasuo Doi⁴, Saeko Hayashi¹, Charles Hull¹, Tsuyoshi Inoue³, Shu-ichiro Inutsuka³, Kazunari Iwasaki¹, Yoshihiro Kanamori⁴, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Gwanjeong Kim¹, Masato Kobayashi³, Takayoshi Kusune¹, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka⁴, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Yoshito Shimajiri¹¹, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and the BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Osaka U., ⁶Hiroshima U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²U. Tsukuba, ¹³Kwansai Gakuin U., ¹⁴Astrobiology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make submillimeter linear polarization images of nearby star forming regions as one of the EAO/JCMT Large Programs, and it involves over 130 researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Vietnam and the East Asian Observatory. This paper reports an update of the research program including; a) progress of the data taking (BISTRO-1 data taking is now complete), b) newly published results (Oph C, Perseus B1, IC 5146), and c) a Ricean noise model to extract true polarization efficiencies from the observed $p - I$ distributions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a BISTRO：星形成領域における450 μm 帯ダスト熱放射偏波撮像マップ(2)

古屋 玲¹, D. Arzoumanian^{2,15}, 犬塚 修一郎², 井上 剛志², 岩崎 一成³, 大橋 永芳³, 尾中 敬⁴, 片岡 章雅³, 川端 弘治⁵, 権 静美⁴, 楠根 貴成³, 斎藤 弘雄⁶, 島尻 芳人⁷, 新永 浩子⁷, 瀬田 益道⁸, 善光 哲哉⁹, 田村 元秀⁴, 塚本 祐介⁷, 土井 靖生⁴, 富阪 幸治³, 長田 哲也⁹, 中西 裕之⁷, 中村 文隆³, 長谷川 哲夫³, 林 左絵子³, Charles Hull³, 表 泰秀³, 松村 雅文¹⁰, P. Bastien¹², D. Berry¹³, P. Friberg¹³, D. Ward-Thompson¹⁴ 他, BISTRO Consortium (¹ 徳島大, ² 名大, ³ NAOJ, ⁴ 東大, ⁵ 広島大, ⁶ 筑波大, ⁷ 鹿児島大, ⁸ 関学, ⁹ 京大, ¹⁰ 香川大, ¹² U. Montreal, ¹³ EAO, ¹⁴ U. C. Lan, ¹⁵ U. Porto)

2018年秋季年会で報告(古屋らP137a)したように, BISTRO(長谷川ら本年会)は, 波長450 μm 帯の観測においても確実に進展している. SCUBA2とPOL-2による観測系は, 450/850 μm 帯を同時受信でき, 450 μm データも2016年春から取得していたが, 解析は850 μm に比べ遅れている. その最大の要因は, 望遠鏡ドームカバーで発生する450 μm 帯機械的偏波(IP)が850 μm におけるそれをscale downしたものではないことに起因する較正の難しさにある. 光学系を踏まえたIP補正モデルと経験モデルの改善を重ねたところ, 偏波率の測定精度は, 整合性と再現性にして大旨1.5%以下となった(昨年からは約0.5%の改善). さらに, 個々のデータの積分時間と足し合わせの重み付けの最適化, 強い放射源に準拠した差し引きなど, 像合成法も改善した結果, Stokes I および偏光強度(PI)のどちらにおいても $1\sigma \sim 20 \text{ mJy}/14'' \text{ beam per } 12'' \text{ pixel}$ (昨年は推定方法の検討段階だった)の感度で「適度な強度」(乃ち, 極端な高輝度領域や淡く広がった領域を除く)の天域であれば, 科学的議論に耐えうる偏波マップを得られるようになった. 本講演では, 代表的な観測領域の450/850 μm 帯ダスト熱放射偏波マップを示し, 両バンドデータから推定される磁場ベクトルの向きがほぼ平行な領域とランダムな領域の差異および要因を論ずる.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

P127a 星形成領域 NGC 1333 の磁場構造 II

土井 靖生 (東大総文) , BISTRO チーム

NGC1333 はペルセウス座分子雲中に存在する、太陽系近傍で最も活発な星形成領域の1つである。1pc × 2pc 程度の領域中では、星間物質が顕著なフィラメント構造を示す。我々はサブミリ波電波望遠鏡 JCMT を用いた近傍星形成領域の偏光観測プログラム BISTRO の一環として NGC1333 領域の観測を行い、領域全体の偏光輻射分布、ひいては天球面に沿った星間磁場分布を初めて明らかにした (土井他、日本天文学会 2019 年春季年会)。星間物質のフィラメント構造は我々の観測した偏光輻射によっても良くトレースされ、従って個々のフィラメント構造に付随した磁場分布を良く示していると考えられる。

一般に星間雲の中心部では、偏光輻射強度は全輻射強度と共に増大する一方で偏光度は下がり、その結果、全輻射強度と偏光度とは互いに反相関を示す。NGC 1333 領域でもこの傾向は同様である。その原因としては、一般に以下の2点が考えられている。a) 星間塵の磁場に対する整列度の低下 (分子雲中の星間輻射場の遮蔽による星間塵に対する輻射トルクの低下や、分子雲中の乱流による)、b) 異なる磁場方位角を持つ複数の星間雲の視線上の重ね合わせによる偏光度の低下。我々の観測の結果、偏光輻射で観測されるフィラメント構造は、全輻射強度によるそれよりも中心集中が強く、フィラメントの幅が有意に狭い場所が多く見られることが明らかとなった。この分布は上記の特に理由 a) によっては説明が困難である。また偏光分布に於いてもフィラメント構造が顕著に見られることから、理由 b) についても、独立な複数の分子雲の重ね合わせではなく、単一のフィラメント内部の磁場分布を考える必要がある。フィラメント中の物質分布に由来するフィラメント内部の磁場構造や、フィラメント構造の観測視線に対する傾きを考慮した重ね合わせの効果により、我々の観測結果の説明が可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P128a CCS 輝線の Zeeman 観測による TMC-1 OH と L1495B の磁場強度の見積もり

楠根貴成、中村文隆、亀野誠司 (国立天文台)、土橋一仁 (東京学芸大)、下井倉ともみ (大妻女子大)、谷口琴美 (Virginia Univ.)、水野いづみ (EAO/JCMT)

分子雲中に存在する高密度分子雲コア ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) が重力収縮することで星は誕生する。星形成過程は、自己重力・磁場・乱流など様々な要因により支配されている。磁場は重力収縮を妨げる内圧として効き、コアを安定に支えられる臨界値を基準にコアの進化過程が変化するなど、非常に重要な要素であるが、理論的にも観測的にも磁場の役割の理解は進んでいない。そこで我々は、分子雲コアに付随する磁場強度を観測的に直接測定するために、野辺山 45m 鏡用の 45GHz 帯受信機 Z45 を開発し、45.4GHz の CCS 分子輝線 ($J_N = 4_3 - 3_2$) の Zeeman 観測を行ってきた。CCS は星形成が起きる前の分子雲コアで豊富に観測され、大きな Zeeman 分裂を示すことが知られており、コア形成初期の磁場強度測定には最適な分子輝線の一つである。

TMC-1、TMC-1 OH、L1495B、Serpens、L1521B に対する CCS Zeeman 観測を、2014 年 4 月、2015 年 3-4 月、2016 年 1-4 月、2017 年 2 月に実施した (検出の検証のため、Zeeman 分裂を起こさない HC_3N 分子輝線も同時に受信)。2019 年春季年会では Taurus 分子雲の星なしフィラメントにある TMC-1 での Zeeman 観測の結果を報告した (中村他)。現在解析途中ではあるが、本講演では TMC-1 OH と L1495B の Zeeman 観測結果について報告する。TMC-1 OH では Zeeman 分裂の分裂幅から $\sim 140 \pm 50 \mu\text{G}$ の磁場強度 (視線方向成分) が導出された。一方 L1495B では $< 70 \mu\text{G}$ の磁場強度が見積もられた。これらの結果に加えて Serpens と L1521B の Zeeman 観測結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲でのコア形成：両極性拡散の効果

工藤哲洋（長崎大），花輪知幸（千葉大），富阪幸治（国立天文台）

フィラメントの軸に対して垂直に磁場が貫いている分子雲について，分裂とそれに伴う分子雲コアの形成を，両極性拡散を含めた磁気流体力学の数値シミュレーションによって調べた．その結果，磁場が強いフィラメント状の分子雲から，暴走的な収縮が生じる分子雲コアが，比較的速い時間で形成されることを確認した．

私たちは，これまでの研究において，磁場に貫かれたフィラメント状の分子雲の自己重力不安定性を線形解析で調べ，磁場の強さに依らずに分子雲は分裂し分子雲コアが形成される可能性を示した（Hanawa, Kudoh, Tomisaka 2017）．また，数値シミュレーションの研究により，分裂によって形成された分子雲コアにおいて，磁場が弱い時には暴走的な収縮が生じ，磁場がある程度強くなると暴走的な収縮が生じない「星なしコア」となることを確認した（工藤，花輪，富阪 2017 日本天文学会）．そこで，今回は，分子雲内で働くと考えられている両極性拡散を含めた数値シミュレーションを行った．

両極性拡散を含めると，磁場が強い場合でも，コアが形成された後に暴走的な収縮が生じた．その全体のタイムスケールは，両極性拡散がない場合に「星なしコア」が形成される時間とほぼ同じだった．初期の分子雲での両極性拡散の時間は重力不安定の成長時間の約 10 倍長い．しかし，分裂してコアが形成されるとコア内の磁場や密度が増大し，そこでの両極性拡散時間は短くなる．そのため，磁場が強い場合でも，フィラメント状分子雲から暴走的な収縮までの時間が，分子雲が分裂する重力不安定の成長時間とほぼ同じになったと考えられる．この結果は，磁場に貫かれた平板状分子雲の結果（暴走的な収縮までの時間は両極性拡散の時間）と対照的で，フィラメント状分子雲の場合は，磁場が強くても，より速くに星形成が生じることを示唆している．

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P130a Probing fragmentation and velocity sub-structure in the NGC 6334 filament

Y. Shimajiri(Kagoshima Univ./NAOJ), Ph. Andre, A. Men'shchikov(CEA), E. Ntormousi(University of Crete), D. Arzoumanian, P. Palmeirim(Universidade do Porto)

Herschel imaging surveys of Galactic interstellar clouds support a paradigm for low-mass star formation in which dense molecular filaments play a crucial role. The detailed fragmentation properties of star-forming filaments remain poorly understood, however, and the validity of the filament paradigm in the high-mass regime is still unclear. In order to investigate the detailed density and velocity structure of the main filament in the high-mass star-forming region NGC6334, we conducted ALMA 3mm and $N_2H^+(1-0)$ observations at a resolution of ~ 0.025 pc. We identified 21 dense cores at 3mm and 5 velocity-coherent fiber-like structures in N_2H^+ , within the main filament. The 3mm sources have a median mass of $\sim 9M_{\text{sun}}$ and can be divided into 7 groups of cores, closely associated with dense clumps seen in the ArTeMiS $350\mu\text{m}$ data. The projected separation between dense cores and the projected spacing between ArTeMiS clumps are roughly consistent with the effective Jeans length in the filament and a physical scale of about four times the filament width, respectively. These two distinct separation scales are suggestive of a two-level fragmentation process in the filament. The typical length and velocity difference between the fiber-like structures of the NGC6334 filament are reminiscent of the properties for the fibers of the low-mass star-forming filament B211/213. The NGC6334 filament has a density/velocity structure which is qualitatively very similar. This suggests that dense molecular filaments may evolve and fragment in a similar manner in low- and high-mass star-forming regions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P131b 深層学習を用いた天文サーベイデータ解析:分子雲コアの同定

吉田大輔 (名古屋大学), 井上剛志, 鳥居和史, 立原研悟, 竹川俊也 (NRO), 西村淳, 大西利和 (大阪府立大), 上田翔汰 (大阪府立大), 藤田真司, 川西康友 (名古屋大), 伊藤篤史 (NIFS), 徳田一起 (大阪府立大/NAOJ), 松尾太郎 (大阪大)

星は分子雲中に存在する分子雲コアと呼ばれる高密度領域が重力的に収縮することで形成されると考えられており、星の質量毎の形成頻度分布である星の初期質量関数 (IMF) と分子雲コアの質量分布関数 (CMF) の類似性が観測的に指摘され注目を集めている。CMF は分子雲コアから星への進化過程を知る上で重要であると考えられており、観測の発展とともに CMF の精密化も進みつつある。しかし、大質量側は依然としてエラーバーが大きいのが現状である。CMF のエラーバーを小さくするには大質量コアの観測数を大幅に多くすることが要求されるため、大規模サーベイ観測データを解析し、コアの同定と各々の質量測定が必要となる。そこで我々は、FUGIN プロジェクトで得られた数 kpc に及ぶ天の川銀河の分子ガスの大規模観測データに注目した。しかし、この画像は kpc スケールもある上に、天体毎の解像度も異なっているため、コアの解析が困難であると言われている。

そのため、従来の高分解能観測領域でのみコアが同定可能な解析手法ではなく、深層学習による新しい解析手法を開発することにした。この手法にはノイズが大きな遠方の分子雲のコア同定だけでなく、コア質量計測も同時に行える可能性があり、コア解析の効率化に有効であると考えられる。

今回は FUGIN 画像解析に向けた深層学習の開発と性能のテストとして Orion A 領域に深層学習を用いた解析を行った。235 個のコアのうち 100 個程度を学習させた結果、認識精度が 90% を超える性能を得た。本発表では開発した深層学習の手法の性能と有用性についてまとめ、FUGIN データ解析に繋げる議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P132b 野辺山45m望遠鏡を用いた H^{13}CO^+ , N_2H^+ 輝線観測に基づくおうし座分子雲の広域分子雲コアの探査

高嶋辰幸, 山崎康正, 大西利和 (大阪府大), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府大/国立天文台), 西合一矢, 河村晶子, 南谷哲宏 (国立天文台), 福井康雄, 立原研悟, 藤城翔 (名古屋大), 松本倫明 (法政大)

星形成の直接母体である分子雲コアの物理的性質を明らかにすることは星形成の初期条件を探る上で重要な課題である。近年のミリ波・サブミリ波の観測的研究により分子雲コアの物理的特徴の理解が大きく進んだ。例えば、おうし座領域の広域観測によって50個程度の分子雲コアを検出し、 10^5 cm^{-3} 程度の分子雲コアの性質が形成される星の質量を決定する可能性があることなどが示唆されてきた (e.g., Onishi et al. 2002)。しかしながら、これらのサーベイ観測は柱密度の高い領域にのみ限定されたものであり、分子雲コアの完全なサンプルを得るためにはより広範囲かつ高分解能の探査が求められてきた。我々は *Herschel* 望遠鏡により得られた連続波観測に基づき、これまであまり探査されてこなかった、より低柱密度領域 ($\sim 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) に存在すると思われる分子雲コア候補20天体に対して、野辺山45m望遠鏡を用いた H^{13}CO^+ , N_2H^+ 輝線の観測を行なった。その結果、これまで別の観測ですでに高密度ガストレーサーの付随が知られていた3天体を除外すると、6天体を新たに分子雲コアとして同定することができた。また、観測した20天体に対する N_2H^+ , H^{13}CO^+ 輝線の検出率を領域毎で比較すると、L1495やB213領域がその他に比べて高く、領域毎の進化段階を反映している可能性がある。他にも、おうし座分子雲に存在するフィラメント状構造に付随しない、比較的孤立した分子雲コアが2つ存在していることが明らかになった。この2天体はおうし座分子雲で見られる他のコアと比較してもその質量や線幅等の性質に大きな違いはなく、分子雲コアの形成環境の多様性を探る上で重要な天体である可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P133b VERA 及び野辺山 45m 鏡によるカリフォルニア分子雲の NGC1579 星形成領域 周辺の研究

濱田翔太, 面高俊宏, 井上伸之介, 島尻芳人 (鹿児島大学), 土橋一仁, 山日彬史 (東京学芸大学), 永山匠, 砂田和良, VERA プロジェクトチーム (水沢 VLBI 観測所)

NGC1579 星形成領域はカリフォルニア分子雲 (銀経 162° , 銀緯 -10° 付近に位置する質量 $1 \times 10^5 M_\odot$ の巨大分子雲) 内で最も活発的な星形成領域であり、この領域にはクラスター LkH α 101 が存在する。この領域では水メーザーが検出されており、VERA による観測を行ったところ距離は 532_{-26}^{+29} pc であることがわかった。また同領域を野辺山 45m 鏡を用いて $^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ による観測を行った。 ^{12}CO , ^{13}CO データからこの領域全体について局所熱力学平衡 (LTE) を仮定して LTE 質量を求めた。また ^{13}CO データに対して dendrogram アルゴリズムを用いて分子雲の階層構造を区別し、87 個の分子雲コアを同定した。dendrogram アルゴリズムで同定されたコアと YSO の分布関係の比較をおこない、分子雲コアの 87 個のうち 25 個が YSO に付随していることが分かった。さらに ^{12}CO データから、観測領域内に励起温度が 60-70 K もある高温の領域が存在することが分かった。この領域には IRAS 源が存在しないために、クラスター LkH α 101 により加熱されていると考えられる。水メーザー源についても解析し、水メーザーは、原始星 IRAS04271+3502 に付随していることがわかった。SED 解析から、この天体は、Class I と分類され、 ^{13}CO のプロファイルから分子流が付随していることがわかった。本講演では、この結果を踏まえ、この領域での星形成について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134b Principal Component Analysis を用いた低質量原始星 L483 の化学組成の解析

大小田結貴, 阿部正太郎, 駒木彩乃, 大屋瑤子, 山本智 (東京大学)

ALMA の観測によって、原始星近傍で多数のスペクトル線が捉えられるようになってきた。それらの総合的理解のために、機械学習の一つである Principal Component Analysis (PCA) を用いた解析を進めている。この方法は、系外銀河の観測などで用いられているが、我々は、これを Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 の観測に適用した (2019 年春季年会)。原始星近傍 (< 300 au) で検出された SO、CS、CH₃OH、H₂CO、CCH など様々な分子輝線の分布に対して PCA を行ったところ、実際の分子分布の特徴がよく捉えられ、この解析手法が原始星近傍においても有効であることを示した。

そこで今回、我々は、わし座 (距離 200 pc) に位置する低質量原始星 L483 周りで検出された分子輝線の分布に、この手法を適用した。この天体は、エンベロープガス (~ 1000 au) は炭素鎖分子に恵まれ、原始星近傍 (< 100 au) では複雑な飽和有機分子 (e.g., HCOOCH₃) が検出されている。ALMA のデータ (分解能 0.2"; Band 6) を解析すると、CS や H₂CO に加え、より多様な分子が検出された。それらの中には、連続波ピークに集中した分布と、そのピークから南西方向に 20 au 程ずれた位置にピークを示す分布が見られた。分子輝線と連続波に対し PCA を行うと、それらの分布は主に 3 つの成分で表されることがわかった。2 本の SO₂ 輝線 (14_{0,14} - 13_{1,13}, 4_{2,2} - 3_{1,3}) に着目すると、高励起の輝線は連続波ピークに集中し、低励起の輝線は南西方向にずれた位置にのみ分布を示した。これらの分布は原始星周りの温度構造を反映している可能性がある。一方、3 本の H₂CO 輝線 (3_{0,3} - 2_{0,2}, 3_{2,1} - 2_{2,0}, 3_{2,2} - 2_{2,1}) は回転準位にかかわらず、どの輝線も連続波ピークから南西にずれた位置にピークを持ち、よく似た分布を示した。PCA によって分類した分子輝線分布を利用して、原始星周りの物理・化学構造を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P135b 分子雲におけるフィラメント状構造の起源と星形成初期条件の解明

安部大晟, 井上剛志, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星は分子雲中の高密度領域で形成されるが、近年の観測によって、その高密度領域がフィラメント状であることや、星形成は自己重力的に不安定な状態(超臨界状態)にあるフィラメント内で起こることが明らかになった(e.g., André et al. 2010)。よって、どのようなときにフィラメントが超臨界状態になり星形成を引き起こすのかを解明する必要がある。Inoue & Fukui(2013)では数値シミュレーションを用いて、分子雲が衝撃波に圧縮されるという現象からフィラメントが形成されることを発見した。実際、分子雲はその一生のうちに超新星爆発由来の衝撃波圧縮を数十回以上経験することが知られており、衝撃波と分子雲の衝突現象は普遍的である。また、Inoue et al. (2018)では長時間計算によってフィラメントから星形成までを再現することに成功している。しかし、Inoue et al. (2018)では1つのパラメータセットでの計算しかなされておらず、星形成が起こるフィラメントの形成条件は研究されていない。そこで本研究では、3次元磁気自己重力流体コードSFUMATO(Matsutomo 2007)を用いて、衝撃波と分子雲の相互作用を模擬するような、多様なパラメータでシミュレーションを実行することでこの問題の解明を試みた。まず、次のような分子ガスの圧縮時間が異なるような2種類のシミュレーションを実行した：(1) 計算領域の外からガスを継続的に入れる計算(長時間圧縮)、(2) ガスを流入させず、周期境界条件で計算領域内のガスを衝突させる計算(短時間圧縮)。結果として、(1)ではフィラメントと星が短い時間の中で多く形成され、(2)では少なくとも10pc程度の計算領域ではフィラメントすら形成されないことがわかった。これらの結果から、衝撃波の継続時間をパラメータとして、フィラメント形成の有無を決める臨界継続時間と、星形成発生の有無を決める臨界継続時間の2つの臨界時間が存在すると考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P136b Cyanopolyynes Chemistry around Massive Young Stellar Objects

Kotomi Taniguchi, Eric Herbst, Alec Paulive, Dominique M. Maffucchi (University of Virginia), Paola Caselli (MPE) & Masao Saito (NAOJ)

Recent radio astronomical observations showed that cyanopolyynes (HC_{2n+1}N), one of the representative carbon-chain series, are abundant around some massive young stellar objects, which was not predicted by classical carbon-chain chemistry. In particular, the G28.28–0.36 massive young stellar object (MYSO) shows a unique feature; the HC_5N abundance is higher than that in L1527, which is one of the warm carbon chain chemistry (WCCC) sources, and the $\text{HC}_5\text{N}/\text{CH}_3\text{OH}$ ratio in the envelope is higher than those in other MYSOs by more than one order of magnitude. These results imply chemical diversity around MYSOs. Motivated by such observational results, we have investigated the cyanopolyynes chemistry with chemical simulations of hot-core models containing a warm-up period, using the astrochemical code *Nautilus*. Cyanopolyynes are efficiently formed in the gas phase during the warm-up period and accreted onto dust grains ($25 < T < 100$ K), followed by the sublimation after the temperature reaches their sublimation temperatures. Besides, we find that there are largely two types of carbon-chain species, and our models support recent observational results toward high-mass protostellar objects and massive cluster-forming regions. We also discuss possible interpretations of relationships between the chemical diversity observed around MYSOs and the star-formation process or physical conditions such as the size of warm region, infall velocity and cosmic-ray ionization rate.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P137a Investigation of ^{13}C Isotopic Fractionation of CCH in L1521B and L134N

Kotomi Taniguchi, Eric Herbst (University of Virginia), Hiroyuki Ozeki (Toho University), & Masao Saito (NAOJ)

Unsaturated carbon-chain molecules are representative species in dark clouds, and they account for around 40% of the ≈ 200 molecules detected in the interstellar medium and circumstellar shells. Hence, it is important for astrochemists to understand carbon-chain chemistry. One of the methods to study carbon-chain chemistry is observations of their ^{13}C isotopic fractionation. We have carried out observations of CCH and its two ^{13}C isotopologues, ^{13}CCH and C^{13}CH , in the 84 – 88 GHz band toward two low-mass starless cores, L1521B and L134N, using the Nobeyama 45-m radio telescope. The lines of C^{13}CH have been detected with a signal-to-noise ratio of 4, whereas no ^{13}CCH line was detected in either dark cloud. The $N(\text{C}^{13}\text{CH})/N(^{13}\text{CCH})$ ratios were derived to be > 1.1 and > 1.4 in L1521B and L134N, respectively. The characteristic that C^{13}CH is more abundant than ^{13}CCH is likely common for dark clouds. We also find that the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratios of CCH in L1521B are higher than those of HC_3N by more than a factor of 2, as well as Taurus Molecular Cloud-1 (TMC-1). In L134N, the difference in the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio between CCH and HC_3N appears to be smaller than those found in L1521B and TMC-1. We investigate possible routes that cause the significantly high $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio of CCH especially in young dark clouds, with the help of chemical simulation. The extremely high $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio of CCH seems to be caused by the reactions between small hydrocarbons (e.g., CCH, C_2H_2 , *l, c*- C_3H) and C^+ .

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P138a Spiraling giants: witnessing the birth of a massive binary star

Yichen Zhang (RIKEN), Jonathan Tan (Chalmers; U. Virginia), Kei Tanaka (U. Osaka; NAOJ), James De Buizer (NASA-SOFIA), Mengyao Liu (U. Virginia), Maria Beltrán (INAF), Kaitlin Kratter (U. Arizona), Diego Mardones (U. Chile), Guido Garay (U. Chile)

Most massive stars are thought to form with companions. However, so far essentially all information about the properties of massive binaries come from observations of already formed stars, whose orbital properties may have evolved or changed since birth. Little is known about what massive binaries are like when they are still forming from their parent clouds. We report ALMA observations of 1.3 mm continuum and H30 α hydrogen recombination line (HRL) with a spatial resolution of 0.03 arcsec. The observation reveals a massive protobinary system with an apparent separation of 180 au towards the massive star-forming region IRAS07299-1651. From the line-of-sight velocity difference of 9.5 km/s of the two protostars measured from the H30 α lines, the binary is estimated to have a minimum total mass of 18 Msun, which is consistent with several other metrics including total luminosity, ionizing photon rate, as well as gas dynamics. This is the first time that motions of embedded, forming massive binary can be detected and used to constrain the dynamics of a massive binary at birth. The H30 α line from the primary traces a rotating ring of radius of 12 au. The extended dust and molecular gas emissions also show that gas streams on a scale of 1,000 to 10,000 au are infalling with rotation to feed the binary system. The observations indicate that disk fragmentation at several hundred au may have formed the binary, and much smaller disks are feeding the individual protostars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P139a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域 分子雲コア進化の統計的研究 (1)

藤城翔, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理) 高嶋辰幸, 大西利和 (大阪府立大学) 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台) 西合一矢 (国立天文台) 松本倫明 (法政大学)

星形成の初期条件を表すとされる分子雲コアの進化は密度プロファイルなどによって特徴付けられるが、それに伴い重水素濃縮度などの化学的性質も変化すると考えられている。この事実を検証するために Taurus 領域をはじめとする分子雲の観測が多く行われてきたが (e.g., Onishi et al. 2002; Crapsi et al. 2005)、分解能や感度の問題から 数 1000AU 以下のコア中心部の詳細観測の統計的な研究は少ない。我々は複数のサンプルの観測による包括的理解を目指し、ACA を用いた Taurus 分子雲コアのサーベイ観測を行なっている。本発表のターゲットは、IRAM 30m による 1.2 mm 連続波や野辺山 45m 望遠鏡の $\text{N}_2\text{H}^+(1-0)$, $\text{H}^{13}\text{CO}^+(1-0)$ を用いて Onishi et al. (2002) で同定された Taurus 領域の分子雲のうち、中心密度が 10^5 cm^{-3} 以上となる分子雲コア 36 個であり、それら全てに対し $\text{N}_2\text{D}^+(3-2)$, ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ の 4 輝線の観測を行った。観測は感度 $\sim 0.02 \text{ K}$, 空間分解能 $30''$, 速度分解能 0.08 km s^{-1} で行われた。さらに、我々は現時点で観測が終了した 24 天体の TP array データと *Herschel* の $250 \mu\text{m}$ 連続波データを用い、Dust ピーク位置から TP array の分解能以内における C^{18}O と N_2D^+ のピークの有無について、次の方法で分類を行った。(A 類: 中心に YSO がなく、 C^{18}O のみ検出 B 類: 中心に YSO がなく、 C^{18}O は弱く、 N_2D^+ を検出 C 類: 中心に YSO があり、 C^{18}O , N_2D^+ とともに検出 D 類: 中心に YSO があり、 C^{18}O のみ検出) その結果、A 類は 14 個、B 類は 6 個、C 類は 2 個、D 類は 2 個であった。したがって、(1) 星形成前に C^{18}O のみが存在するタイムスケール [A 類] に比べ、D 濃縮が起きるタイムスケール [B 類] は数分の一程である。(2) 星が形成されると、急激に D 化物は破壊される [C 類, D 類] という事がわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P140a Physics and Chemistry of a Low-Metallicity Hot Molecular Core in the LMC

下西隆 (東北大), Ankan Das (ICSP), 坂井南美 (理研), 田中圭 (大阪大), 相川裕理 (東京大), 尾中敬 (明星大), 渡邊祥正 (日本大), 西村優里 (NAOJ)

Understanding properties of interstellar molecules at low metallicity is crucial to unveil chemical processes in the past interstellar environments, where the metallicity was significantly lower than in the present-day solar neighborhood. Hot molecular cores are one of the early stages of star formation and they play a key role in the chemical processing of interstellar molecules, especially for complex species. Here we present the results of 0.1 pc-scale observations with ALMA in 250 GHz and 350 GHz towards a newly-discovered hot molecular core in a nearby low-metallicity galaxy, the Large Magellanic Cloud (LMC). Molecular lines of CH_3OH , H_2CO , CCH , H^{13}CO^+ , CS , C^{34}S , C^{33}S , SO , ^{34}SO , ^{33}SO , SO_2 , $^{34}\text{SO}_2$, $^{33}\text{SO}_2$, OCS , H_2CS , CN , NO , HNCO , H^{13}CN , CH_3CN , and SiO are detected from the high-mass young stellar object, ST16. Molecular line distributions and excitation analyses suggest that these molecules distribute in different regions around a protostar; hot core, cold envelope, outflow cavity, and dense clump. Molecular abundances of the ST16 hot core are compared with those of other LMC's and Galactic hot cores. We found that SO_2 would be a useful molecular tracer for low-metallicity hot core chemistry, because it shows similar abundances within LMC hot cores and the typical abundance roughly scale with the LMC's metallicity. This is remarkably in contrast to the classical hot core tracer, CH_3OH , and other organic molecules, which show a large abundance variation in low-metallicity hot cores.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P141a Class-0 原始星連星 VLA1623A からの不整列分子流対

原千穂美 (NEC/東大), 川邊良平, 西合一矢, 鎌崎剛, 中村文隆 (国立天文台), 高桑繁久, 島尻芳人 (鹿児島大), 平野尚美 (ASIAA, 台湾), 田村元秀 (東大), 富田賢吾 (大阪大), 町田正博 (九州大), 松本倫明 (法政大), J. Di Francesco (NRC, カナダ)

ALMA による Oph-a 領域 (距離 137pc) の 1 秒角分解能 150 視野 ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ モザイク観測 (Kawabe et al. 2018) により、Class-0 低質量原始星連星 VLA1623Aab からお互いに整列していない二対の双極分子流を検出した (原始星はそれぞれ ~ 0.1 太陽質量)。これらは、約 60 度傾いた分子流で、それぞれが視線に折り重なっているため、過去の観測では空間分解能や感度が足りず、天球面に沿った一つの分子流と解釈されていた。今回、ジェット成分や分子流ローブが詳細に捉えられ、二対の双極分子流の存在が明らかとなった。分子流と垂直の原始星円盤が連星それぞれに付随すると考えるのが自然であり、その場合、円盤も不整列 (角度およそ 60 度) である。連星軌道が、連星周円盤と同じ面内にあると仮定すると、原始星連星の軌道半径はおよそ 60 au であり、軌道周期は 850 - 1000 年である。このような比較的近接した連星系で、不整列円盤が見つかった例は、class-0 から class-II の天体において初めてである (ちなみに、Class-II 天体 HK-Tau で見つかった不整列円盤の場合、連星距離は $386 \geq \text{au}$)。連星形成シナリオとして円盤不安定説と乱流分裂説があるが、今回の結果は単純な円盤不安定説では説明がつかない。不整列円盤の形成には、原始星の捕獲、または 3 体目との力学相互作用などによる角運動量再分配などが必要である。一方、今回のような近接した不整列円盤の場合、粘性や潮汐力等の効果で整列円盤へと次第に移行すると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P142a ALMA によるペルセウス座分子雲に対する有機分子輝線のサーベイ観測

小野真夢 (電気通信大学), 樋口あや, Zhang Yichen, 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (日本大学), 酒井剛 (電気通信大学), 山本智 (東京大学), 他 PEACHES メンバー

近年の研究により、低質量原始星コアの化学組成には多様性があることがわかっている。例えば、複雑な有機分子が豊富な Hot Corino 化学と、炭素鎖分子が豊富な WCCC のように、全く異なる化学組成を持つ天体が発見されている。原始星コアにおける化学的多様性の起源を明らかにすることは、小質量星の形成過程を理解する上で非常に重要である。現在、我々は、ペルセウス座分子雲複合体に位置する Class0/I 36 天体に対し、ALMA を用いた高分解能観測によって原始星近傍の化学組成を調査し、化学的多様性の起源を探るプロジェクト (PEACHES project) を推進している。本講演では、PEACHES で取得された、ALMA Band 6 の CH_3CN 、 CH_3OH 、 H^{13}CN 、 SO 輝線の解析結果について報告する。角度分解能は約 $0.''6$ である。

解析の結果、 CH_3OH 輝線や CH_3CN 輝線が検出され Hot Corino 的な化学組成を示す天体の、各領域内での分布に偏りが見られることがわかった。特に、NGC 1333 領域においては、IRAS 4 などが存在する中心領域には Hot Corino 天体が多く存在するが、その北側のフィラメント上には、複数の原始星コアがあるにもかかわらず、Hot Corino 的な天体が一つも存在しないことがわかった。さらに、ほとんどの連星系において、連星間の分子輝線の強度が大きく異なることもわかった。本講演では、これらの結果を踏まえ、同じ領域にもかかわらずみられた化学的多様性の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P143a B335 で原始星最近傍に存在する SiO 輝線

今井 宗明 (東大), 大屋 瑤子 (東大), Ana López-Sepulcre (IRAM), 渡邊 祥正 (筑波大学), 坂井 南美 (理研), 山本 智 (東大)

B335 は有名な Bok globule で、他の原始星から孤立した単純な環境をもつため、星形成における理想的なモデル天体としてよく研究されている。B335 のエンベロープガスは、50 から 1000 au スケールでほぼ自由落下に近い運動をしていることが知られている。それに対し、最近我々のグループは飽和有機分子輝線を用いて 10 au 程度の小さな回転構造を検出し、さらにこの回転が数 au 程度の遠心力バリアをもつ回転落下ガスの運動モデルで説明できることを明らかにした (2018 年秋季年会 P108a)。この観測では分解能の制限のため、空間分布から遠心力バリアの内側の構造を明らかにすることは難しいが、そのような原始星最近傍の領域に存在する分子として SiO が注目される。

SiO の輝線は、低質量原始星では一般にアウトフローショック領域でよく検出される。しかし、B335 における SiO の輝線は中心星に付随してコンパクトに集中しており、赤方偏移と青方偏移した成分の空間分布にも明瞭な分離は見られない。また、回転を示す飽和有機分子の運動速度の 10 倍程度 (35 km/s) の高速度成分をもつにも関わらず、これらの高速度成分でもアウトフロー方向に伸びた分布は確認できない。これらのことから、SiO は、アウトフローの根元のショック領域か、遠心力バリアの内側で原始星表面に落ちこむガスに存在している可能性が考えられる。原始星からの放射を無視して重力エネルギーの保存を仮定すると、SiO の高速度成分の存在領域は $4 R_{\text{sun}}$ と推定される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P144a オリオン KL 電波源 I における一酸化ケイ素レーザーの偏波観測

廣田朋也 (国立天文台)、Plambeck, Richard. L., Wright, Melvyn. C. H. (UC Berkeley)、町田正博、松下祐子 (九州大学)、元木業人 (山口大学)、金美京、Burns, Ross. A.、本間希樹 (国立天文台)

我々は、VERA による SiO レーザーの観測 (Kim et al. 2008)、ALMA を用いたサブミリ波 SiO 輝線の観測 (Hirota et al. 2017, Kim et al. 2019) により、太陽系から最も近い大質量原始星候補天体「オリオン KL 電波源 I」において、星周円盤から回転しながら噴き出されるアウトフローを検出した。アウトフローの3次元速度構造や物理的特徴は、磁気遠心力風による駆動を示唆している。本発表では、オリオン KL 電波源 I におけるアウトフローの磁場構造を調べるために行った、ALMA と JVLA を用いた SiO レーザーの偏波観測について報告する。

ALMA ではバンド 3 における $J=2-1$ 遷移 (86 GHz) を、JVLA では Q バンドの $J=1-0$ 遷移 (43 GHz) を観測した。どちらも最長基線を含む配列によって観測を行い、空間分解能は $0.05''$ を達成した。観測の結果、 $J=1-0$ では ^{28}SiO の振動励起 ($v=1, v=2$) レーザー、振動基底状態 ($v=0$) の遷移で有意な直線偏波が検出された。また、 $J=2-1$ では $^{28}\text{SiO}(v=0, v=1)$ と $^{29}\text{SiO}(v=0)$ の遷移で偏波が検出された。 $^{28}\text{SiO}(v=0)$ の遷移は $2''$ (1000 au) 程度の広がりを持ち、北東-南西方向に伸びたアウトフローをトレースしている。放射領域には熱的励起に比べて高い輝度温度 ($>50,000$ K) のピークがあり、 $J=2-1, 1-0$ ともに熱的放射とレーザー放射の両方が寄与している。 $^{28}\text{SiO}(v=0)$ 輝線の直線偏波の構造は、概ね $J=2-1, 1-0$ ともにほぼ向きが揃っているものの、 $J=1-0$ の偏波角が局所的にランダムになっている領域も存在している。また、分布がコンパクト ($0.2'' \sim 100$ au) で回転円盤近傍から放射される $^{28}\text{SiO}(v=1, 2)$ の振動励起レーザーや $^{29}\text{SiO}(v=0, J=2-1)$ レーザーでは、偏波角の向きは $v=0$ の輝線とは異なっていることも明らかになった。発表では、観測された偏波構造の詳細とその起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P145a 大質量星形成領域 G 358.93-00.03 における降着バースト的増光現象の検出

杉山孝一郎 (国立天文台), 米倉覚則, 齋藤悠, 百瀬宗武 (茨城大学), 廣田朋也, R. A. Burns, 本間希樹 (国立天文台), 元木業人, 藤沢健太 (山口大学), G. C. MacLeod (HartRAO), O. S. Bayandina (RAS), J. Brand (INAF), X. Chen (Guangzhou Univ.), S. Breen (Univ. of Sydney), and M2O collaboration

我々は、大質量星形成領域 G 358.93-00.03 において、日立 32-m 電波望遠鏡による赤外線励起 6.7 GHz CH_3OH メーザーの強度変動モニターを通じ突発増光現象を初検出した (Sugiyama et al. 2019, ATel, 12446)。本天体を数ヶ月に1度観測していた中、2019年1月14日に全スペクトル成分の、最大で1桁近い増光が確認された。翌々の1月16日に再度観測したところ、わずか2日の内に更に2倍程度の増光を示すスペクトル成分が検出された。その後毎日の高頻度なモニターに切り替え、最終的に最大で約950 Jyまで到達する増光成長プロファイルを獲得した。この情報は、研究者有志が世界規模で結成したメーザー時間変動研究組織 Maser Monitoring Organization (M2O) に ATel に先駆けいち早く共有し、増光初期から 12.2 GHz, 23.1 GHz CH_3OH メーザーの同時高頻度な強度モニターを開始することで、それらからも同期した突発増光現象が確認された。また、これまでに観測例の無かった 7.68 GHz など他6周波数で CH_3OH メーザーの初検出も報告されている (Breen et al. 2019)。更には、衝突励起の 22.2 GHz H_2O メーザーも、 CH_3OH 増光から約3ヶ月後の4月中旬に増光を開始した。これら 1) 赤外線励起 CH_3OH メーザーの全スペクトル成分が1-2ヶ月の間に1桁以上増光, 2) 衝突励起を含む複数周波数でのメーザーが同期して増光, という特徴から、本天体は、大質量原始星周囲においてこれまでわずか2例しかない降着バーストに起因する突発増光天体の3例目と期待する。本講演では、増光初期の2019年1月31日、VERA および日立 32-m と山口 34-m の計6局での VLBI 観測を通じて獲得された空間分布も交えて議論を展開する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P146a 星形成レガシープロジェクト V：オリオン A 分子雲の CARMA+NRO45m 合成データを用いて導出した高密度コアの質量関数

竹村英晃 (国立天文台 / 総合研究大学院大学), 中村文隆, Patricio Sanhueza, 石井峻 (国立天文台), 島尻芳人 (鹿児島大学), ほか星形成レガシープロジェクト + CARMAOrion プロジェクト

星は分子雲の中に点在する高密度コアで誕生し、その進化過程は星の形成時の質量に強く依存する。小質量星の形成過程はこれまでに観測・理論両面から盛んに研究され、星形成の標準シナリオが構築された (e.g. Shu et al. 1987)。一方、 $8M_{\odot}$ を超える大質量星の形成過程については、小質量星形成では影響の小さい遠赤外線放射などの物理過程を考慮する必要があることと、観測された天体数が少ないなどの理由で理解が進んでいない。大質量星と小質量星が同様のメカニズムで形成されるとすると、大質量星形成領域の高密度コアの質量関数 (CMF) と小質量星形成領域の CMF は類似した特徴を持つことが期待される。

2019 年春季年会では、野辺山 45m 鏡 (NRO45m) で観測した近傍 ($\sim 414\text{pc}$) の巨大分子雲であるオリオン A 分子雲の $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 輝線データを用いて導出した高密度コアの質量関数について報告した (P122a)。階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を用いて 589 個の高密度コアを同定し、CMF は、 $\sim 1.8M_{\odot}$ で最大となり、大質量側のベキは -2.20 であった。本研究では、さらに細かい構造を調べるため、ほぼ同じ領域をカバーする CARMA+NRO45m 大規模合成データ (Kong et al. 2018) を用いて CMF の導出を行なった。1402 個の高密度コアを同定し、 $\sim 0.4M_{\odot}$ で最大となり、大質量側のベキが -2.36 である CMF を導出した。2 つデータから導出した CMF はいずれも Salpeter の IMF のベキ (-2.35) に似たベキを持っていた。一方、合成データより求めた CMF は、NRO45m データから求めた CMF よりも小さい質量で最大となることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P147a Nobeyama Planck Project (1) Overview

立松健一, Gwanjeong Kim (国立天文野辺山), Tie Liu (EAO), Heeweon Yi, Jeong-Eun Lee (Kyung Hee U), 大橋聡史 (理研), 平野尚美, Sheng-Yuan Liu(ASIAA), Patricio Sanhueza, Siyi Feng, 神鳥亮 (国立天文台), Minho Choi, Miju Kang(KASI), 廣田朋也 (国立天文台), 酒井剛 (電通大), Xing Lu (国立天文台), TOP-SCOPE Planck Cold Clump team

我々は、開始条件を探るべく「野辺山プランク・プロジェクト」(4.5m長期共同利用)を推進している。全天のサンプルから重水素濃縮を基に、星形成直前のコアを選び、その物理化学的性質を明らかにしようとしている。計画は3段階であり、(1) Planck 衛星全天サーベイによる低温クランプ1万3千から1235クランプをJCMT望遠鏡+SCUBA-2でイメージングし、低温の3528コアをカタログ(Eden+19)。(2) オリオン領域の113個、その他の様々な環境下のコア94個、の計207個を野辺山4.5m鏡で観測し、重水素量の決定、並びに N_2H^+ / CCS / HC_3N でのOTFマッピング観測を行う(Gwanjeong Kim, 立松ほか)。観測が本年5月に終了した。(3) 見出された重水素濃縮の高いコアをアルマ望遠鏡で観測する(4プログラムがすでに採択:Tie Lie2件、平野、立松;7プロポーザル提案中)。すでに80コアを観測。 N_2D^+ やDNCのような重水素のD/H比は、星なしコアの段階では単調増加し(Crapsi+05)、星形成後は単調減少することが知られている(酒井剛+12)。よって、重水素比の高いコアを選択すれば、星形成の研究で重要な「星形成直前のコア」を選択的に選べる。(3)においては、アルマ望遠鏡で星形成直前の星なしコアで複雑な形状を多数発見している。本講演では、プロジェクトの進捗を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P148a Nobeyama Planck Project (2)

Gwanjeong Kim, Ken'ichi Tatematsu (NRO, NAOJ), Tie Liu (EAO), Heeweon Yi, Jeong-Eun Lee (Kyung Hee U), Satoshi Ohashi (RIKEN), Naomi Hirano, TOP-SCOPE Planck Cold Clump team

As part of the Nobeyama Planck Project, we present the results of a single-pointing survey of 207 SCUBA-2 cores embedded in Planck Galactic Cold Clumps distributed in different environments. This survey is to identify the dense cores on the verge of star formation for study of the initial condition of star formation whose details are not well characterized yet. We observed our targets with the Nobeyama 45-m telescope in N_2D^+ , N_2H^+ , DNC, $HN^{13}C$, $c-C_3H_2$, CCS, and HC_3N lines. We investigated the physical and chemical properties of the cores and found that the SCUBA-2 cores have a small fraction ($\sim 20\%$) of starless cores and the low detection rate of early-type molecules and the high detection rate of late-type molecules, which suggests that most SCUBA-2 cores are highly evolved. Adding samples in the literature, we revised the Chemical Evolutionary Factor as an indicator for the chemical evolutionary degree of a dense core, and then identified the 13 potential candidates (five in Orion, two in filamentary clouds, and three at high Galactic latitudes, one low-mass core, and two PGCCs) of the dense cores on the verge of star formation, which will be ideal targets for understanding of the initial condition of star formation in widely different environments. We also found that, as the cores have higher deuterium fraction and/or higher early-type molecule depletion toward the beginning of gravitational collapse, they have broader linewidths, colder temperatures, and higher column densities, suggesting that turbulence dissipation in dense region of the dense core may not be an essential ingredient for the onset of star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P149a 多相星間媒質の実効的状态方程式と衝撃波速度依存性

小林将人 (大阪大学), 井上剛志, 犬塚修一郎 (名古屋大学), 富田賢吾 (大阪大学/プリンストン大学), 岩崎一成 (国立天文台)

多相星間媒質の形成・時間発展を記述する銀河スケールでのサブクリットモデル構築を目標に, 我々は超音速中性水素カス流衝突シミュレーションを 80pc 空間スケールで実行し, 衝撃波と熱不安定性を介して形成される多相星間媒質の性質を調査している. 暖かい中性水素原子カス (WNM) と冷たい中性水素原子カス (CNM) との質量比が 1:1 になることなどを, 2019 年春季年会 P114a にて報告した.

その後我々は各物理量の時間発展を調査し, 断熱近くから等温近くまで遷移する多相星間媒質の時間発展を模擬できる, 実効的状态方程式のポリトロピック指数のフィッティング公式を与えた. また形成される乱流速度が衝突流の速度に概ね比例することが, 20 - 60 キロ毎秒の衝突速度範囲で確認できた. すなわち銀河衝突や銀河ハローからのガス降着など 100 キロ毎秒超の流れにおいて, 10 キロ毎秒程度の乱流が形成されている可能性が考えられる. ただし流入する運動エネルギーの乱流エネルギーへの変換効率は, 衝突速度にほぼ依存しない (-0.3 乗に比例) ことがわかった. 現実の超新星残骸の膨張において衝撃波の伝播速度が遅いフェーズの継続時間が速いフェーズのそれよりも長いことを考慮すると, 本結果は遅いフェーズの方が星間媒質の乱流形成・維持により重要であることを示唆している. 最後に計算結果の分解能依存性を調査した. その結果, CNM 形成を追跡し実効的状态方程式を導出するためには, フィールド長さを 8 セルで分解することが条件だと示唆されたので, これについて報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P150a 分子雲形成シミュレーション：自己重力の効果

岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (大阪大学), 井上剛志, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を理解することは、その後の星形成の初期条件を決定するうえで不可欠である。分子雲は、超新星爆発やスーパーバブル・銀河の渦巻き構造などの多様な現象により中性水素原子ガスが圧縮を受けることで形成される。近年の研究によると、平均密度の高い中性水素原子ガスが分子雲の直接の材料になると考えられている (Blitz et al. 2007, Fukui et al. 2009, Inoue & Inutsuka 2009, 2012)。我々は、高密度な中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を、詳細な物理的素過程 (熱過程, 化学反応, 輻射輸送) を考慮した3次元磁気流体シミュレーションにより調べ、圧縮層の性質が圧縮方向と磁場の方向の成す角 θ に強く依存することを報告した (Iwasaki et al. 2019)。圧縮層の物理状態はある臨界の角度 θ_{cr} で特徴づけられる。磁場と圧縮方向がほぼ平行な場合 ($\theta \ll \theta_{cr}$) は、非等方な超 Alfvénic 乱流が発達し、圧縮層が圧縮方向に大きく広がる。 $\theta \sim \theta_{cr}$ の場合、衝撃波圧縮で増幅された磁場により乱流が抑制され、圧縮層が高密度になる。 θ をさらに大きくすると、磁気圧により圧縮層が広がる。

本講演では自己重力を考慮に入れた分子雲形成シミュレーション結果について報告する。 $\theta \ll \theta_{cr}$ の場合、重力を考慮しないときには圧縮層が大きく広がっていたが、自己重力により圧縮層全体が収縮して平均密度が上昇することがわかった。 $\theta \ll \theta_{cr}$ と $\theta \sim \theta_{cr}$ の場合ともに自己重力によりフィラメントが形成されたが、その構造は θ に強く依存する。 $\theta \ll \theta_{cr}$ の場合は、ランダム磁場が卓越するために短いフィラメントが形成される。一方、 $\theta \sim \theta_{cr}$ の場合は、衝撃波圧縮により増幅されたコヒーレントな磁場に沿ってガスが集積するため、長いフィラメントが形成される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P151a 分子雲形成シミュレーションの模擬観測

田中圭 (大阪大学, 国立天文台), 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (大阪大学, プリンストン大学)

超新星爆発やスーパーバブル, 銀河の渦巻き構造などにより, 中性水素原子ガスが圧縮を受けることで分子雲は誕生すると考えられている。星形成の初期条件を決定づけるためには, この分子雲形成の物理過程とその観測的特徴を理解することが不可欠である。これまで我々は, 熱過程, 化学反応, 輻射輸送, 自己重力を考慮した3次元磁気流体力学計算を用いて, 中性ガス衝突圧縮による分子雲の形成過程について詳細に調べてきた。特に, 磁場と圧縮方向のなす角によって, 衝撃波圧縮される層の乱流的性質, 磁場強度, 分子雲形成効率に大きな違いが現れることを明らかにした (2018年秋季年会 P120a, Iwasaki et al. 2019 等)。

本研究では, この磁気流体計算の結果をもとに後処理輻射輸送計算を行うことで, 分子雲形成におけるダスト連続波, その偏光, および CO 分子輝線などの観測的性質を調べた。圧縮層の乱流状態は磁場方向に強く依存するため, 同じ分子雲であっても観測角度を変えるとこれらの性質が異なってみえることがわかった。特に, 観測された速度分散 δv と磁場方向分散 $\delta\phi$ の比を用いて, 天球面上の磁場強度を見積もるチャンドラセカール-フェルミ法 ($B_{\text{sky}} \propto \delta v / \delta\phi$) の精度は, 実際の視線方向磁場強度が強い場合, 1桁程度の誤差を生じることが確認された。講演では実際の分子雲形成観測との比較と合わせ議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P152a 宇宙論的シミュレーションを用いた恒星間天体の衝突による初代星の金属汚染

桐原崇亘 (千葉大学), 谷川衝 (東京大学), 石山智明 (千葉大学)

初期宇宙における星形成の数値シミュレーションによると、始原ガス円盤の分裂により重元素を持たない低質量星が形成されることが示唆されている。そのような低質量初代星は我々の銀河系内にも存在する可能性があるが、未だゼロ金属星は発見されていない (Frebel & Norris 2015 等)。その理由として星間物質による星表面の重元素汚染が議論されてきたが (Yoshii 1981; Komiya et al. 2015)、恒星風による降着の阻害が指摘されている (Tanaka et al. 2017; Suzuki 2018)。近年、太陽系外を起源とする恒星間天体 'Oumuamua が発見された (Meech et al. 2017)。そのような天体による星表面への金属汚染の影響が解析的に推定され、恒星間天体が初代星の金属汚染に最も寄与し得ることが指摘された (谷川他 2018 年秋季年会 P159a; Tanikawa et al. 2018)。

Tanikawa et al. (2018) において初代星の軌道は恒星間天体の降着率を推定する上で重要な要素であるが、見積りは1つのテスト軌道のみを想定したものであった。本研究ではより現実的な軌道を用いて降着率を計算するために、宇宙論的 N 体シミュレーション (Ishiyama et al. 2016) の結果を使用する。本計算は、初代星形成ミニハローを分解する高い質量分解能の宇宙論的計算に初代星形成モデルを組み合わせたものであり、初代星の軌道を追いながら恒星間天体の衝突率を見積もることが可能である。その結果、太陽近傍に位置する低質量初代星は、典型的に 10^6 Gyr^{-1} 程度の衝突率で 100 m 以上のサイズを持つ恒星間天体の汚染を受けていることが分かった。これは先行研究の見積りより 1 桁程度大きな値である。恒星間天体の累積サイズ分布として冪乗則を採用し、太陽系小惑星帯の観測と整合する冪指数を仮定した場合、 $0.8M_{\odot}$ の星が典型的に $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -4$ 程度まで汚染されることが分かった。本講演ではそれらの結果とともに、太陽系近傍にみる初代星候補の議論に関する報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P153a 低金属度ガスの温度進化や電離度について: ダスト表面反応の影響

仲内 大翼, 大向 一行 (東北大学), 須佐 元 (甲南大学)

近年の連星ブラックホールからの重力波観測により, 30 太陽質量以上の重いブラックホールが数多く見つっている. これらは宇宙初期の低金属度星を起源とする可能性があり, 低金属度環境で大質量の連星がどのように形成されるかに関心が集まっている. 特に磁場は連星形成において重要な役割を果たすので, その寄与は無視できない. しかしながら, 磁場の影響はガスの電離度に左右されるので, 電離度を同時に正しく計算する必要がある. これまでも低金属度ガスの温度進化や電離度の計算は行われてきたが, 従来のモデルにはいくつか問題点がある. まず化学反応は, 十分高密度において非平衡から平衡へと遷移するが, 従来のモデルでは切り替わりの密度を人為的に設定するので, その密度付近で電離度が不連続に変化し, 正しくない. これを解決するためには, 全反応に対して逆過程を考慮した化学反応計算が必要である. 次に微量に金属やダストを含むガスでは, 低温度でダスト表面への原子や分子の吸着が起こったり, 吸着した原子や分子間で化学反応が起こったりする. ダスト表面における様々な分子の形成反応がガスの温度進化や電離度に影響を与える可能性がある. しかしながら, 従来のモデルでは水素分子の形成反応しか考慮していない. そこで本講演では, 全化学反応について逆反応を考慮したり, ダスト表面での分子形成反応を考慮したりした化学反応ネットワークを構築し, 低金属度ガスの温度進化や電離度を計算する. 得られた電離度をもとに磁気散逸率を計算し, その金属度依存性についても議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P154a Formaldehyde deuteration in Galactic high-mass star-forming cores

Sarolta Zahorecz, (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Izaskun Jimenez-Serra (CSIC/INTA, Spain), Leonardo Testi (ESO, Germany), Ke Wang (KIAA-PKU, China), Francesco Fontani (INAF, Italy), Paola Caselli (MPE, Germany), Katharina Immer (JIVE, Netherlands), Toshikazu Onishi (Osaka Pref. Univ.)

Formaldehyde and its deuterated forms can be produced both in the gas phase and on grain surfaces. However, their relative importance is unclear. Our recent APEX observations of formaldehyde and its deuterated species suggested that they form mostly on grain surfaces although some gas-phase contribution is expected at the warm high-mass protostellar stage. Since the APEX beam is larger, and since these high-mass star-forming regions are clustered and complex, it is however unclear whether the emission arises from the protostellar sources or from starless/pre-stellar cores associated with them. Therefore, interferometric observations are needed to separate the emission originating from the small and dense cores, to determine the size of the emitting regions, and then being able to use them as powerful diagnostic tools of the chemical properties of high-mass star forming regions. In our ALMA Atacama Compact Array follow-up observations, we targeted the continuum and formaldehyde emission of high-mass star-forming cores in different evolutionary stages. The ACA observations helped us to resolve the formaldehyde emission and give a better estimate on the source sizes. Our combined APEX and ALMA data support our single dish results: the deuteration fraction of formaldehyde decreases with evolutionary stage, confirming the importance of the gas-phase contribution to the formation process.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P155a オリオン領域における星形成領域の変遷

西亮一, 山田優太郎, 関口卓馬 (新潟大学)

我々は Gaia DR2 の位置天文情報を用いてオリオン領域の星形成についての解析を行ってきた。そして、Orion OB I アソシエーションを天球面での位置によってサブグループに分割し、それぞれのサブグループについて星形成史を調べた。その結果として、多くのサブグループにおいて星形成の開始時刻の差はかなり小さく、連鎖的星形成を示す証拠は見られなかった。

今回我々は、オリオン領域において固有運動の精度と H-R 図による年齢推定の精度が共に高い星をピックアップし、オリオン領域全体での星形成の時間進化を調べた。その結果、オリオン A 巨大分子雲ではかなり早い段階から星形成が始まりその後非常に長く星形成が継続しており、領域全体においても非常に重要であることがわかった。また、Orion OB I アソシエーションでの数千万年前から最近までの星形成領域の変遷を全体としてとらえる必要があることがわかった。これらを基にオリオン領域全体での星形成史についての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P156a WISE 衛星アーカイブデータを用いた大質量原始星における変光探査

内山瑞穂 (国立天文台), 市川幸平 (東北大学)

大質量星形成の詳細は観測的な不明点が多い。その原因の一端は空間分解能の不足によって星表面や極近傍領域の観測が直接行えない点にある。小中質量星形成においては変光観測がこの問題を解決する大きな手段となっているが、大質量原始星は可視光観測がほぼ不可能なため、これまで十分な探査がなされていなかった。そのため、本研究では WISE 衛星アーカイブデータを用いて $3.4\mu\text{m}$ 及び $4.6\mu\text{m}$ での大質量原始星における年スケールでの変光現象を探査した。

赤外線大質量原始星カタログと WISE 点源のマッチングを行ったところ 660 天体が対応した。ここから測光データ品質の高い 331 天体を選出し、0.3 等級以上の顕著な光度変動を探査したところ 5 天体が該当した。そのうち 1 天体は約 690 日の周期変動を伴う天体であった。また、色等級図が利用できた 2 天体については、どちらも赤化ベクトルにそった変動を示した。これらの結果に基づき、光度変動の原因や大質量原始星形成時に起こる現象について考察を行い、小中質量原始星でも見られる、視線方向上の減光量の増大や、質量降着率の時間変動が原因として示唆された。また、今回の大質量原始星での変光天体検出率は下限値ではあるが、小中質量原始星との変光星比率は年スケール変動では極端な差は無い可能性が示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P201a スパイラル構造を持つ自己重力円盤におけるダストの運動

古賀駿大 (東京工業大学/九州大学)、奥住聡 (東京工業大学)

現在の惑星形成理論では、原始惑星系円盤 (以後、円盤) において、まず μm サイズのダスト同士が付着成長し、 km サイズの微惑星が形成されると考えられている。しかし、微惑星の形成過程には、ある程度成長したダストが円盤のガス抵抗を受け、角運動量を失い、微惑星が形成される前に中心星に落下してしまう「ダスト落下問題」と呼ばれる重大な問題が存在する (e.g., Weidenschilling 1977)。そこで我々はこの問題を解決するため、円盤のスパイラル構造に注目した (eg., Perez et al. 2016, Huang et al. 2018)。Weidenschilling 1977 では方位角方向に対称な円盤を仮定していたのに対し、スパイラル波が立つ領域では局所的に密度が上昇し、圧力バンプにより中心に落下するダストがせき止められる可能性がある (e.g., Haghighipour & Boss 2003)。そのため、円盤のスパイラル構造を考慮することで「ダスト落下問題」を解決しつつ微惑星が形成されると考えた。

本研究では、スパイラル構造を持つ円盤におけるダストの動径方向速度を調べた。そのために、まず多層格子法コードを用いて分子雲コアを初期条件とし、スパイラル構造を持つ円盤の密度・速度場を、3次元流体シミュレーションによって求めた。次に、得られた密度・速度場からガス抵抗力、中心星重力、そして円盤の自己重力を求め、これらの力を考慮してダストの動径方向の終端速度を見積もった。

本講演では、求めたダストの動径方向速度を用いて、「ダスト落下問題」を解決しつつ微惑星が形成されるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P202a 磁気駆動円盤風によって進化する原始惑星系円盤中でのダスト粒子の成長

瀧 哲朗 (国立天文台), 桑原 滉 (東京大学), 小林 浩 (名古屋大学), 鈴木 建 (東京大学)

惑星系の形成過程は原始惑星系円盤と呼ばれるガス円盤の内部での固体微粒子の成長過程であると言える。太陽系最小質量モデル (Hayashi, 1981) のような古典的な円盤を考えると、固体微粒子はその成長の途中でガスからの抵抗を受けて中心星へと急速に落下してしまうことが知られている。この中心星落下の時間スケールは、粘性降着によるガス円盤進化の時間スケールに比べて十分に短いため、固体微粒子の中心星落下を調べる際にはガス円盤は定常なものとして扱うことが多かった。しかし、近年では円盤進化の描像が古典的な粘性降着円盤から変わりつつあり、それに伴い円盤中での固体微粒子の進化の描像も再考する必要がある。

本研究では磁気駆動円盤風 (Suzuki et al., 2010; Bai 2013) と呼ばれるガス散逸機構に注目し、磁気駆動円盤風が効果的な円盤中での固体微粒子の動径方向移動とサイズ進化の様子を調べた。磁気駆動円盤風によるガス散逸は円盤動径方向の内側から外側に向かって進行することが知られている (Suzuki et al., 2016) が、そのようなガス散逸が進行した領域では、(1) 動径方向の圧力分布が平坦になり、(2) ガス密度が減少する、という二つの効果によって固体微粒子の急速な成長が起こることが分かった。急速な成長を起こした固体粒子は動径方向移動の速度が大幅に減少するため、中心星落下の壁を突破し円盤内にとどまることができる。本講演では固体粒子の急速成長のメカニズムの詳細を紹介すると共に、惑星形成への応用を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a 自由落下ダスト流に形成するダストクラスター内部の充填率推定

長足友哉, 中村昭子 (神戸大学), 長谷川直 (宇宙科学研究所), 和田浩二 (千葉工業大学 惑星探査研究センター)

惑星形成にはまず、原始惑星系円盤のミクロンサイズのダストから微惑星が形成することが必要だが、ダストから微惑星への成長過程は未解明である。ダストの付着成長により形成するミリメートルからセンチメートルサイズのダストアグリゲイト間衝突での跳ね返りがさらなる成長を妨げる可能性が実験的に指摘されている (e.g., Blum, 2019)。一方、数値計算では原始惑星系円盤の環境で跳ね返りは起こらず (Wada et al., 2011)、結果に相違がある。これに関し、従来室内実験の手法の一つは、落下中の微小重力下でダストアグリゲイトを箱の中で相互衝突させるもので (e.g., Brisset et al., 2016)、ダストアグリゲイトは箱とも衝突し、表面が押し固められた影響が考えられる。そこで我々は、新しい実験手法として、自由落下ダスト流に形成するダストクラスターを用いる手法を考えた。大気圧下/減圧下で、ダストの付着性により、自由落下ダスト流にクラスターが形成することが知られている (e.g., Royer et al., 2009)。このクラスターに外力が働かないため、このクラスター同士を衝突させれば正しい跳ね返りの評価ができると考えた。そこでまず、今後のクラスター間衝突実験に向け、数十ミクロンの球形と不規則形状のダストを用いた自由落下ダスト流のフラッシュX線観測から、形成するクラスターの内部の充填率分布を推定した。これまでクラスター中央部分の充填率に関して、球形ダストクラスターの場合は0.3 - 0.4程度、不規則形状ダストの場合は0.15 - 0.3程度と推定していたが、今回はさらにクラスター全域の充填率を推定した。その結果、充填率は、推定精度が低いクラスター表面付近を除き、全体にわたっておおよそ一様であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a ダスト合体成長における回転破壊

辰馬 未沙子 (東京大学/国立天文台), 片岡 章雅 (国立天文台)

近年、原始惑星系円盤においてダスト整列に起因すると思われる偏光放射が観測されている。このようなダスト整列が起こるためには、いびつな形のダストが整列軸周りに回転運動をしている必要があると考えられている。星間空間では、ダストが輻射場から受けるトルクによって回転運動し、その遠心力により破壊される可能性が指摘されている (Hoang 2019, ApJ, 876, 13)。この過程では、回転運動による遠心力、すなわち引張応力がダストにはたらき、それがダスト自体の引張強度よりも大きくなると分裂する。そこで我々は、ダスト集合体の引張強度 (Tatsuuma et al. 2019, ApJ, 874, 159) を用いて、原始惑星系円盤内でダストが回転破壊されるかどうかを理論的に計算した。

本研究では、ダストの回転運動の駆動源として、円盤内の輻射場とガス流からトルクを受けて回転する効果を取り入れた。ダストの回転運動は周囲のガスと馴染むことで減衰すると仮定し、平衡状態にある回転速度を求め、そのときの遠心力から引張応力を求めた。その結果、高空隙率のダストは、質量が $\sim 10^{10}$ g よりも大きければ回転破壊により成長が止まることがわかった。この時、支配的なトルク駆動源は輻射場ではなくガス流であった。これは円盤の赤道面では輻射場のエネルギー密度が弱いことに起因している。本研究の結果は、いびつな形のダストの成長が止まる一方、そうでないダストは回転破壊せずに成長できることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205a 周木星円盤におけるダスト粒子の光泳動

荒川創太 (東京工業大学), 芝池諭人 (Universitaet Bern)

木星のまわりを公転するガリレオ衛星 (イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト) はいずれも半径 1000 km 以上の規則衛星であり、これらの衛星は周木星円盤内で形成されたと考えられている。ガリレオ衛星のうち、内側の3つの衛星 (イオ、エウロパ、ガニメデ) は 4:2:1 の平均運動共鳴の状態にある。この共鳴関係は、周木星円盤の内側領域に面密度の極大が存在したと仮定すれば、最も内側に位置する衛星イオの周木星円盤内での内側移動が面密度の極大近傍で停止し、その後エウロパ、ガニメデが内側移動し共鳴に入ることで説明できる。しかし、どのようにして周木星円盤に面密度の極大が形成されたのかは未だ明らかになっていない。

そこで本研究では、光泳動という現象によって周木星円盤の内側に微小ダスト粒子が欠乏した領域が形成され、その結果として面密度の極大が生まれ、ガリレオ衛星の軌道が再現されるというシナリオを提示する。光泳動とは、ガス中のダスト粒子が非等方的な輻射によって加熱されることで起きる現象である。ダスト粒子表面に温度勾配が生まれることでダスト粒子に吸着し再放出されるガス分子の速度に差が生じ、この反作用によってダスト粒子は光源 (本研究においては形成直後の木星) から遠ざかる方向に力を受ける。ゆえに、光泳動の力とガス抵抗による木星への落下の力が釣り合う場所で微小ダスト粒子の落下は止まり、それよりも内側の領域は微小ダスト粒子が欠乏する。さらに、微小ダスト粒子の欠乏は円盤の粘性を変化させ、面密度の極大を形成することが期待される。我々は解析的な計算から、周木星円盤の質量降着率がおおよそ 10^{-9} – $10^{-7} M_J \text{ yr}^{-1}$ (M_J は木星質量) のとき、光泳動によってダスト粒子の落下が約 6 木星半径の位置で止まることを明らかにした。このことから、ガリレオ衛星の軌道は周木星円盤におけるダスト粒子の光泳動によって決定された可能性が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P206a ガス惑星近傍へのガスの流入と周惑星円盤の形成について

藤井悠里 (名古屋大学), Oliver Gressel (AIP), 富田賢吾 (大阪大学), Udo Ziegler (AIP)

原始惑星系円盤中で、比較的大きな原始惑星が形成されると円盤中のガスが降着される。このガス降着の様子により、ガス惑星の大気捕獲や、規則衛星が形成されたと考えられている周惑星円盤の形成の過程が決定される。衛星形成を議論する際には、周惑星円盤の面密度と温度の半径依存性が重要となる。我々は、これらを決定し、周惑星円盤のモデル化を行うために、3次元輻射流体力学シミュレーションを行った。

計算にはNIRVANA 3.5 コードを改変したものをを用いた。原始惑星系円盤のグローバルシミュレーションを行い、その中に埋め込んだ惑星近傍にガスが降着する様子を計算した。高温領域で温度を正しく計算するために、水素分子の解離や水素・ヘリウム電離を考慮した状態方程式を用いた。また、惑星の重力圏の内側に格子を複数回重ね、惑星近傍の解像度を上げた。

シミュレーションの結果、惑星のごく近傍の温度は約10,000Kに達した。高温にも関わらず、惑星の周りに円盤状の構造が形成された。力の釣り合いを調べたところ、解像度が高いシミュレーションでは円盤の内側は遠心力で、外側は圧力勾配力で支えられている様子が見て取れた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P207a 原始惑星系円盤と岩石微惑星の形成過程

長谷川幸彦（東京大学）、小久保英一郎（国立天文台）

原始惑星系円盤の雪線よりも内側の領域では、ダストはシリケートを主成分としている。このシリケートダストは単純なダスト同士の衝突合体では微惑星まで成長できないと考えられており、その代わりに形成過程候補としてダスト層の古典的な自己重力不安定や永年重力不安定、円盤のストリーミング不安定等が考えられている。我々はシリケートダストから微惑星形成を始めるための最も可能性が高い過程について研究した。我々は上記の三つの不安定を考えて、最も可能性が高い形成過程を評価するために各不安定に必要な臨界ダスト・ガス比を計算した。我々は磁気回転不安定が不活性なデッドゾーンに焦点を絞り、ケルビン・ヘルムホルツ不安定駆動乱流によってダスト層の内部構造が決定される場合を考えた。我々はケルビン・ヘルムホルツ不安定の指標として、先行研究にて得られている赤道面でのダスト・ガス密度比に比例するリチャードソン数を採用した。現実的なマルチサイズのダストアグリゲイトに関して、もしもダストのストークス数がユニティよりも小さいならば永年重力不安定に必要な臨界ダスト・ガス比が三つの不安定の中で最も小さいことが示された。原始惑星系円盤の最小質量円盤モデルに関してでも、永年重力不安定に必要な臨界ダスト・ガス比だけが2 auよりも内側ではモデルのダスト・ガス比よりも小さいことも示唆された。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P208a ダスト摩擦反作用に起因する巨大惑星の内側移動の停止

金川和弘 (東京大学)

円盤ガスとの重力相互作用によって巨大惑星は円盤にガス密度のギャップを形成し、それを保ちながら円盤内を移動する (タイプ2 惑星移動)。ガスやサイズの小さいダストはこのギャップをすり抜け内側円盤に流れ込むが、比較的大きなダスト (典型的にはセンチメートルサイズのダスト) はギャップを通り抜けることができずその外縁部に集積し、ダストリングを形成する。このダストリング内では、ダスト摩擦反作用によってガス構造が変化し、その結果、長大なダストリングが形成されうる (Kanagawa et al. 2018 ApJ, 2019 年春季天文学会)。以前の研究 (Kanagawa et al. 2018) では簡単のため惑星軌道を固定した計算を行っていた。しかし、ギャップ外側の円盤ガス構造の変化によって惑星が外側円盤から受けるトルクが減少し惑星移動速度が大幅に遅くなる可能性がある。

本研究では、惑星軌道を固定せずガス-ダスト2流体の数値流体シミュレーションを行い、ダスト摩擦反作用によるガス構造変化が惑星移動速度に与える影響を調べた。巨大惑星は主にギャップ内部のガスと相互作用しており、大まかには惑星が外側円盤から受けるトルク (外側トルク) はギャップ底のガスとの相互作用で決まる。しかし、惑星はギャップ端のガスとも相互作用しており、ダスト摩擦反作用によってこのギャップ端のガス密度が減少するため、外側トルクはわずかに減少する。この外側トルクの減少量は外側トルク全体に対して微々たるものであるが、内側トルクと外側トルクのバランス変え、惑星移動速度に大きな影響を与える。シミュレーションの結果、ある程度広いギャップが形成されると惑星の内側移動速度が大幅に遅くなることが分かった。特に、円盤粘性が比較的小さく ($\alpha = 3 \times 10^{-4}$)、惑星が木星質量の場合には外側トルクの減少が大きく、惑星が円盤外側に移動しうることが分かった。本発表では、上記の結果を紹介し、円盤観測への応用についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P209a ALMA を用いた二周波観測による TW Hya の原始惑星系円盤のスペクトル・インデックス分布の調査

塚越崇, 野村英子, 川邊良平, 高橋実道 (NAOJ), 武藤恭之 (工学院大), 金川和弘, 田村元秀 (東大), 奥住聡, 井田茂 (東工大), Catherine Walsh (University of Leeds), Tom J. Millar (Queen's University Belfast), 橋本淳 (ABC), 鷗山太智 (Caltech)

近年、ALMA によって原始惑星系円盤のギャップ構造が複数報告されているが、その要因についてはまだ議論が続いておりデータの蓄積が必要である。とりわけ、ミリ波帯スペクトル・インデックス α で示唆されるダストサイズ分布の情報は、重要なキーパラメータの一つとなる。我々の先行研究では、TW Hya を取り巻く円盤の 25 au にあるギャップに対して、 α が増大する傾向を検出した (2016 年秋季年会報告)。一方で、このデータはアンテナ配列が最適化されていない時期に取得されており、やや不定性の大きい結果となっている。そこで、円盤の α 分布をより詳細に調べる目的で、より高感度なバンド 4 および 6 における高分解能観測を推進してきた。

新しく取得されたデータに対して、Multi-frequency synthesis によって中心周波数 (~ 190 GHz) の画像を作成したところ、分解能 2.9×2.4 au、ノイズレベル $5.9 \mu\text{Jy beam}^{-1}$ が得られており、先行研究に比べて 1.8 倍ほど高分解能、2.7 倍ほど高感度となった。輝度分布では、これまでの高分解能観測で見出されていた、ギャップ構造や穴構造をよりはっきりと捉えることができている。 α の分布でも、先行研究で見られていたような、円盤外側から内側にかけての勾配が捉えられているが、一方でその内部分布には大きな変化は見られなかった。先行研究との違いは、分解能が上がったことにより空間的な分離が可能になったこと、周波数間における uv カバレッジの違いなどが要因として挙げられる。本公演では、得られた α 分布の詳細について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P210b ダスト-ガス摩擦と乱流粘性が駆動する原始惑星系円盤の不安定性の非線形発展

冨永遼佑 (名古屋大学), 高橋実道 (工学院大学/国立天文台), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年 ALMA 望遠鏡を用いた原始惑星系円盤の高解像度観測が盛んに行われており, 多くの円盤でダストが多重のリング状に分布していることが明らかになった. このダストの多重リング構造の形成機構は未だ明らかになってはいないが, その候補の1つとして, 原始惑星系円盤で起こる様々なダスト-ガス不安定性が考えられている (Takahashi & Inutsuka 2016; Dullemond & Penzlin 2018; Tominaga et al. 2019). その中でも永年重力不安定性と Two-Component Viscous Gravitational Instability (TVGI) という, 散逸が駆動する2つの不安定性は多重リング形成から微惑星形成に発展する可能性が示唆されている. 不安定性による多重リング形成から微惑星形成までの一連の時間発展を明らかにするためには, それらの非線形発展を詳細に調べるのが不可欠である.

我々は, 数値シミュレーションを用いて永年重力不安定性と TVGI の非線形発展を調べた. 数値計算手法は Lagrangian Cell 法と Symplectic 法を組み合わせた長時間流体計算法 (Tominaga et al. 2018) を用いた. また最終的なダストの集積具合を決めうる乱流拡散を, 角運動量の保存則を破らないように定式化した方程式に基づき記述し (Tominaga et al. 2019) 数値シミュレーションを行った. シミュレーションの結果, ダストの密度は非摂動状態と比べて 10 倍から 100 倍程度高くなることがわかった. この結果は, ダストリングの重力による収縮時間と拡散時間の釣り合いから見積もられる値とおおよそ整合的であった. 一方, ガスの密度は高々 10 パーセント程度上昇するに留まり, 永年重力不安定性と TVGI の非線形成長はダストを優先的に集積する過程だとわかった.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P211b 三次元効果を取り入れた Type1 惑星移動の二次元数値流体計算

岡田航平（東北大学）、田中秀和（東北大学）、金川和弘（東京大学）

惑星落下問題は惑星形成論における未解決問題の一つである。我々はまだ不定性の大きい三次元円盤との重力相互作用について調べている。前回の年会における我々の発表では、円盤鉛直方向に密度で重みを付けて平均した惑星の重力ポテンシャルを用いることで、三次元効果を取り入れた非等温円盤の二次元線形計算を行った。それにより得られたトルクは三次元非等温円盤の数値流体計算の結果をよく再現した。従来はソフトニングパラメータで三次元効果を模擬した二次元計算が行われてきたが、本研究の方が正確に三次元効果を再現できている。しかし中程度の粘性がある円盤で重要になる horse shoe torque については非線形効果であるため、我々の線形計算では求めることができていなかった。

本研究では、前回の線形解析と同様に鉛直方向に平均された重力ポテンシャルを用いることで三次元効果を取り入れた、二次元数値流体計算を行い、特に horse shoe torque について調べる。従来の三次元流体計算は二つあるが、horse shoe torque については異なる結果を出しており、どちらが正しいかは明らかになっていない。本研究は三次元計算を模擬した二次元計算を行うことで、高空間分解能で精度の高い計算を実現し、三次元 horse shoe torque の問題に決着をつけることが目標である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P212b 超木星質量の巨大惑星による原始惑星系円盤のギャップ形成と境界条件への依存性

田中 佑希 (東北大学), 田中 秀和 (東北大学), 金川 和弘 (東京大学), 谷川 享行 (一関高専)

原始惑星系円盤中に存在する巨大ガス惑星は、円盤との相互作用によりその軌道に沿ったギャップ構造を形成する。近年の ALMA による観測では、明瞭なギャップ・リング構造を持つ円盤が多数発見されており、惑星によるギャップ形成はこれらの構造の有力な起源であると考えられている。惑星によるギャップ形成は円盤だけではなく惑星自身の進化にも影響を及ぼすため、惑星系の形成と進化を考える上でもこの過程の詳細な研究を行うことは重要である。例えば、惑星への質量降着率や移動速度は、惑星自身が形成するギャップの特徴に依存する。これまで、木星質量以下に対しては数多くの数値流体計算がなされてきたが、木星質量を超えた惑星に対する計算例は少なく、それらの質量降着率や移動速度における不定性は大きい。

我々は数値流体計算コードの FARGO を用いて、木星質量を超えた惑星による円盤へのギャップ形成の様子を様々な条件の下で調査した。今回は特に数値計算の境界条件の取り扱いの違いによる計算結果への影響に着目した。その結果、円盤の内側境界を開境界にするか、波の反射を抑える取り扱いにするかなどの違いによってギャップ内側の円盤構造に大きな違いが生じ、その影響で巨大ガス惑星が形成するギャップの幅や深さにも変化が現れることが分かった。そのため、原始惑星系円盤内での惑星の成長や進化に関する数値計算では、境界条件を適切に取り扱うことが重要であることが示唆される。ここでは、計算条件の違いによるギャップ構造の差異と、それが木星質量を超えた惑星への質量降着率などに対して及ぼす影響について議論する。また、原始惑星系円盤内にある惑星の質量を変えた場合のギャップ構造の差異の依存性についても考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P213a 磁気圏を持つ中心星への降着に関する3次元磁気流体シミュレーション

高棹真介 (国立天文台), 富田賢吾 (大阪大学・プリンストン大学), 岩崎一成 (国立天文台), 鈴木建 (東京大学)

原始星・前主系列星段階にある星は星周円盤と相互作用しながら成長する。したがって星近傍の降着構造の解明が中心星進化の理解にとって重要である。降着構造は星や円盤内側の磁場によって大きく変わるため磁気流体シミュレーションによるアプローチが必須となるが、数値的困難さからこれまでシミュレーションによる調査は十分にされていなかった。我々はこれまで Athena++ コードを用いて磁気圏を持たない中心星と円盤の相互作用モデルを構築し、中心星周りの降着構造を調べてきた (Takasao et al. 2018, 2019)。今回の発表では、星が磁気圏を持つ場合の3次元シミュレーションに関する初期成果を報告する。これまで乱流円盤と磁気圏を持つ星の3次元シミュレーションは Romanova et al. (2012) しかなかったため、我々のモデルはそれに次ぐ2例目となる。ただし、我々のモデルには大気モデルや空間分解能などの点で大きなアップデートがある。今回我々が計算したモデルの1つでは、共回転半径 (星半径の1.5倍) が磁気圏半径 (星半径の約2倍) よりも小さいところに来た。過去の単純化した理論モデルや2次元研究によると、この場合星は自身の自転によって降着ガスの一部を強く振り回し吹き飛ばしてしまう propeller regime というモードに入ると言われていた (Romanova et al. 2009)。しかし今回の3次元計算ではそのようなものは見えなかった。また、かつて円盤が磁気圏磁場をねじって巨大フレアを繰り返し起こす可能性が議論されていたが (M. Hayashi et al. 1996)、我々のモデルではそのような様子が見えなかった。本発表では、これまでの理解と我々のモデルで得られた結果の比較を通じて議論していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214a 星団形成期での周囲の星による星周円盤の破壊

長谷川 大空 (東京大学), 藤井 通子 (東京大学)

これまで3500個以上の系外惑星が発見されてきているにもかかわらず、星団内で発見されたものはまだ20個程度と非常に少なく、プレセペ星団で9個、ヒアデス星団で5個程しか発見されていない。惑星発見数の少なさの原因として、星が密に存在する環境が惑星の発見・形成を阻害していることが考えられ、特に以下の2つの可能性が議論されている。1つは、恒星同士の近接遭遇(以下、恒星遭遇)の際の重力散乱により惑星が惑星系から放出されてしまうという可能性である。惑星は恒星と違い自ら光を発していないため、浮遊惑星になってしまうと発見は困難である。もう1つは、惑星の材料たる星周円盤が周囲の大質量星からの遠紫外線の放射に晒されたり(以下、光蒸発)、恒星遭遇時の潮汐効果を受けたりすることで、円盤の一部が失われ、惑星形成が阻害される、という可能性である。前者について、散開星団内の惑星系からどの程度惑星の放出が期待されるか、 N 体シミュレーションにより見積もられているが、この効果だけでは惑星の発見数の少なさを説明するには不十分である。後者の可能性について、周囲の大質量星による光蒸発及び恒星遭遇時の潮汐効果がどれほど星周円盤の破壊に寄与するのか、観測的・数値計算的に結果が対立している。

そこで本研究では、乱流を持つ巨大分子雲の進化をSPHシミュレーションにより計算した、Fujii & Portegies Zwart (2015)の星分布を初期条件として、恒星同士の近接遭遇による円盤破壊の効果を入れた N 体シミュレーションを実行し、星周円盤のサイズの進化を調べた。スナップショットから、各星がOB型星から受ける遠紫外線の放射の強さを見積もり、光蒸発の円盤の進化への影響を調べた。その結果、星団中心領域ではほとんどの円盤が光蒸発によって破壊される一方、恒星遭遇による潮汐効果はほとんど寄与しないことがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

P215a 星形成後期過程でのオーム散逸、両極性散逸の役割について

塚本裕介, 奥住聡, 岩崎一成, 町田正博, 犬塚修一郎

本講演では原始星形成後1万年程度の原始惑星系円盤の形成進化過程についての3Dシミュレーションの結果について報告する。いままでの我々のMHDシミュレーションでは原始星形成直後までしかシミュレーションを行っていなかったが、本研究ではシンク粒子を導入することによって星形成後1万年程度のシミュレーションに成功した。シミュレーション終了時の星の質量は0.2 M_{sun} 程度であった。

中心に原始星が形成しファーストコアから円盤に変化する際、磁場が強く曲がることによって磁束が円盤の外側に追い出される興味深い現象を見出した。これによってファーストコアから円盤に進化する際磁場は100 mGから10mG程度まで減少することを発見した。原始星形成直後から原始星周囲には20AU程度の円盤が存在し、その後円盤は安定に存在することを確認した。円盤内の磁場は最終的には数10mG程度であった。円盤とその周囲の磁場は磁束の滞留によりClass 0フェーズを通して増幅される傾向があることがわかった。円盤の質量は中心星と同程度であり、重力不安定による渦状腕の形成も起こった。この結果は先行研究と統合的な結果である。

我々のダストモデルでは全ての領域で両極性散逸がオーム散逸よりも強く、オーム散逸の影響は限定的であった。ただし、高密度領域では両極性散逸は磁場に依存しなくなる、イオン-中性ガスのドリフトが起こらなくなるなどオーム散逸のように振る舞うため、両極性散逸が強いからといってそれに付随すると期待されるイオン-中性ガスドリフトが起こるとは限らない。実際、我々のシミュレーションの進化段階ではイオン-中性ガスドリフトは非常に小さいことを確認した。

講演ではさらに磁場構造の観測的可視化の結果なども合わせて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

P216a ALMA アーカイブデータを用いた Class II 連星 XZ Tau の軌道運動の解明

市川貴教, 高桑繁久 (鹿児島大学)

太陽質量程度の星の過半数は、二つの星が互いの周りを回っている連星であることがわかっている。連星の形成、進化過程の解明を目指したこれまでの ALMA を用いた観測によると、生まれて間もない連星「原始星連星」(Class I 段階)において、個々の星に付随する星周円盤と連星周囲全体を取り巻く渦巻き状の円盤、周連星系円盤が見つかってきている。このような原始星連星の描像がその進化に伴ってどのように変化していくのかを調べるため、Class I より進化の進んだ Class II の連星 XZ-Tau@140 pc の ALMA アーカイブデータの解析を行なっている。波長 0.9mm のダスト連続波では、中心星 (XZ Tau A and B) それぞれに付随する星周円盤が見られたが、周連星系円盤は見られなかった。一方、 $^{12}\text{CO}(2-1)$ 分子輝線では、XZ Tau A、B の質量を 0.5 Msun、0.2 Msun と推定できるようなケプラー回転を示す構造が見られた。また、星周円盤の外側にアウトフロー、あるいはエンベロープと関係がありうる構造も見られた。さらに、推定した質量から、XZ Tau の軌道周期が約 860 年と見積もることができた。さらに現在、我々のグループは、ALMA で異なる年に観測されたアーカイブデータを用いた解析により、連星系の軌道運動の直接検出「ALMA Movie」も構築している。本発表では、このような解析結果と今後の展開を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P217b 分子雲コア内の同位体不均質分布と隕石内同位体異常

中本泰史, 竹石陽 (東京工業大学)

同位体異常とは、蒸発・凝縮過程で起こり得る同位体分別では説明しきれない同位体比の違いであるが、隕石中のいくつかの元素には同位体異常があることが報告されている (Cr, Ti; Trinquier+2009, Mo; Budde+2016, Ni; Nanne+2019)。さらに、 ^{54}Cr の同位体異常の程度と隕石母天体の形成年代の間には相関があるとの指摘もある (Sugiura & Fujisya 2014)。同位体異常の成因としては、原始太陽系星雲内のダスト粒子に作用した何らかの熱過程であるという説が有力視されている。しかし、その過程の詳細は不明のままであり、また、揮発性の異なる複数の元素で同位体異常が見られることは熱過程説と整合的ではないように思われる (Nanne+2019)。

本研究では、太陽系を作った初期分子雲コア内に存在したダスト粒子の同位体比分布が空間的に一様でなかったことが、最終的に隕石内物質の同位体異常につながった可能性を検討する。太陽系を作った物質は複数の超新星爆発や AGB 星などから来ているので、個々のダスト粒子の同位体比は同じではない。ダスト粒子の機械的混合が分子雲コア内で十分でないことも、考えられる。その後、そのような分子雲コアが収縮して原始太陽系星雲を作り、その中でダスト粒子が移動しつつ混合し、いずれ微惑星に取り込まれる。本研究では、この間にダスト粒子群の同位体比の違いがどの程度保持されるかを数値計算によって調べた。

その結果、同位体比の違いがある程度保持されることがわかった。さらには、その程度は時間と共に変化するが、その傾向は隕石分析から推定されている傾向 (Sugiura & Fujiya 2014) と整合的であることもわかった。本研究の結果は、太陽系を作った分子雲コア内が同位体的に不均質であったことを示唆する。また、原始太陽系星雲内の物質の移動や混合に関しても、いくつかの示唆を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P218b 円筒座標系での見かけの特異点を取り除いた数値シミュレーション法

花輪知幸, 松本洋介 (千葉大)

若い星やブラックホール候補天体では、ガスの降着、回転円盤、アウトフローが共存している。円筒座標系 (r, φ, z) はこのような系の物理を記述するのに適しているが、3次元数値シミュレーションに利用すると、いくつかの技術的な問題をもたらす。具体的には、(1) 遠心力 (v_φ^2/r) が z 軸で大きくなるため、 z 軸を横切る流れを追うのが困難となる。(2) 角度分解能 $\Delta\varphi$ を固定すると、半径 r の小さいところで数値セル幅が小さくなり、時間ステップ (Δt) が極端に短くなる。本発表ではこれらの問題を本質的に取り除く数値差分法を紹介する。

提案する差分法では、 r, φ, z 方向にそれぞれ $\Delta r, \Delta\varphi, \Delta z$ の幅を持った円弧状の数値セルを考える。このセルに対して、保存形の (磁気) 流体力学方程式を体積積分し、差分式を得る。この際に φ 方向のセル表面では、 r の向きが $\Delta\varphi/2$ だけセル中心での向きからずれていることを考慮する。このように考えると、遠心力は φ 方向のセル表面からの動圧の一部が r 方向に働くためと定式化される。他の座標系の曲率による力も全て運動量流束テンソルの成分で書き表される。得られた差分式からは源泉項が消え、打ち切り誤差がなくなる。また z 軸と接する領域では $\Delta\varphi = \pi/3$ の分解能で精度の良い結果が得られるので、縦横比の良い ($r\Delta\varphi \simeq \Delta r = \Delta z$) 数値格子を利用することができる。従って特に短い時間ステップが必要なセルはなくなる。

この差分法の優位性を示す例として、平面衝撃波問題 (Sod) や、一様流、原点を横切る球面波、などの試験結果を示す。いずれの試験でも流れは z 軸を横切り、その際に v_r, v_φ が変化するが、これを極めて少ない誤差で追うことができる。また原始惑星円盤へ限られた方位角からだけガスが降着する場合のシミュレーション結果も示す。この例では、降着したガスの一部が軸方向のアウトフローへと転じる様子が示される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P219b SPICA による原始惑星系円盤からの複雑な有機分子輝線の観測予測

野村英子 (NAOJ), Chen-En Wei (東工大), C. Walsh (リーズ大学), T.J. Millar (クイーンズ大学ベルファスト)

原始惑星系円盤中の物質進化の理解は、太陽系や系外惑星系の物質の起源を探るうえで重要である。我々は円盤物理構造モデルにもとづき、ダスト表面反応も含めた化学反応計算を行い、円盤中の複雑な有機分子生成過程を調べた。その結果、円盤外縁の低温部においてはダスト表面で水素付加反応が進むのに対し、円盤内縁の暖かな領域においては、光解離により生じたラジカル同士の反応で複雑な有機分子が生成された。ALMA 観測では、円盤外縁で CH_3OH や CH_3CN が観測されている。特に CH_3OH は低温領域をトレースする遷移線が観測されており、モデルとの比較により、円盤外縁部において水素付加反応により生成された分子が非熱的な過程により気相に脱離したものを観測したと考えられている。

本研究では、これまでの化学反応計算の結果を用い、円盤からの複雑な有機分子輝線の赤外線放射スペクトルの輻射輸送計算を行った。次世代赤外線天文衛星 SPICA は、中間・遠赤外線領域の高感度分光観測が可能である。本研究では、SPICA で観測可能な波長帯に現れる複雑な有機分子輝線をモデル計算した。その結果、このような輝線は SPICA を用いれば検出可能であり、また、赤外線輝線は励起温度が高いため、円盤内縁の暖かい領域から放射されることが示された。このような領域は、ダスト表面でラジカル同士の反応が進む領域、あるいは分子がダストから熱的に脱離する領域に相当する。一方で、円盤の化学反応計算の結果は、ロゼッタミッションで彗星から検出された複雑な有機分子の存在量ともよい一致を示す。これらの分子も暖かなダスト表面で生成された分子と考えられており、本ポスターでは、SPICA で観測可能な分子との関連も議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a 小惑星探査ミッション「はやぶさ2」のこれまでの成果

吉川真, 津田雄一, 中澤暁, 照井冬人, 佐伯孝尚, 田中智, 岡田達明, 池田人 (JAXA), 渡邊誠一郎 (名古屋大), 杉田精司, 橋省吾 (東大), 並木則行 (国立天文台), 北里宏平 (会津大), 荒川政彦 (神戸大), はやぶさ2プロジェクトチーム

「はやぶさ2」は、「はやぶさ」の後継機として小惑星からのサンプルリターンを行うミッションである。目指す小惑星(162173)リュウグウはC型に分類される小惑星で、そのサンプルには有機物や水が含まれると考えられ、地球の水や生命の原材料になった物質の起源を調べる事が重要な目標となっている。

「はやぶさ2」は2014年12月に打ち上げられ、約3年半の宇宙航行を経て2018年6月27日にリュウグウに到着した。最初にリモートセンシング機器によってリュウグウの詳しい観測を行った後、2018年9月には小型ローバであるMINERVA-II1の2機を、そして翌10月にはドイツ・フランスによって製作された小型着陸機MASCOTを小惑星表面に投下することに成功した。これらのローバ・ランダによって、小惑星表面でのデータ取得にも成功した。一方、タッチダウン(着陸)は、リュウグウ表面が想定していた以上に平坦な場所が少なかったため、当初の予定よりも遅らせて2019年2月に実行した。タッチダウンは成功し、リュウグウ表面物質は採取できたものと考えている。ここまで、初代の「はやぶさ」が試みて失敗してしまったことも「はやぶさ2」では成功した。

さらに、2019年4月には、衝突装置によってリュウグウ表面に人工的なクレーターを作るという新規の実験も行い、衝突の瞬間にリュウグウ表面からイジェクタが噴出する様子や人工的なクレーターの観測にも成功した。現時点(2019年6月)では、この人工的なクレーター付近に2回目のタッチダウンを行うかどうかを検討しているところである。本講演では、ミッションのこれまでの結果についてまとめて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

P302a リュウグウなどのコマ型小惑星の形成条件の解明に向けて: 小惑星の高速自 転変形の数値計算

杉浦圭祐, 玄田英典 (東京工業大学), 渡邊誠一郎, 小林浩, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

JAXA の探査機はやぶさ2が現在訪れている小惑星リュウグウは、コマもしくはそろばんの珠のような形状をしている。つまり、自転軸に対しほぼ軸対象で、赤道付近に顕著な膨らみを持ちなおかつ低緯度から中緯度にかけてほぼ一定の表面傾斜角を持つような形状をしている。またリュウグウの密度は 1.19g/cm^3 と炭素質コンドライトのそれよりもずっと小さいため、内部に多くの空間を持つ瓦礫の塊のような天体 (ラブルパイル天体) だと考えられている。他にも、現在 NASA の探査機 OSIRIS-REx が訪れている小惑星ベンヌや、レーダー観測で形状が測定された小惑星 1999 KW4 などコマ型をしている。リュウグウは例外的に 7.6 時間程度という比較的遅い自転をしているが、他のコマ型小惑星の多くは 2 から 4 時間程度の高速自転をしている。そのためこれらの小惑星は、過去に太陽光の吸収・放出に伴い自転速度が変化する効果 (YORP 効果) によって自転が加速させられ、その過程でコマ型に進化したと考えられている。しかしながらコマ型に進化するために必要なラブルパイルの摩擦角や内部構造といった条件は明らかになっていない。

そこで我々はラブルパイル天体の動力学を扱える Smoothed Particle Hydrodynamics 法の計算コードを用いて小惑星の YORP 効果による自転の加速を模擬し、高速自転変形によって形成される形状を調べた。その結果、摩擦角の値によっては一様な内部構造であってもコマ型に進化する場合があることがわかった。本講演では主に摩擦角と形成される形状の関係について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P303a ジャコビニ・ツィナー彗星 (21P/Giacobini-Zinner) の中間赤外線スペクトルに見られる未同定赤外バンド

大坪貴文 (ISAS/JAXA), 河北秀世, 新中善晴 (京都産業大), 本田充彦 (岡山理科大), 渡部潤一 (国立天文台)

われわれは、すばる望遠鏡搭載の冷却中間赤外線分光撮像装置 (COMICS) を用いて 2005 年 7 月 5 日 (UT) にジャコビニ・ツィナー彗星 (21P/Giacobini-Zinner) の中間赤外線分光観測をおこなった。ジャコビニ・ツィナー彗星は、公転周期 6.6 年の短周期彗星で、10 月りゅう座流星群 (ジャコビニ流星群) の母天体と考えられている。これまでの観測から、この彗星では揮発性の高い分子が枯渇していることが分かっており、一方でより複雑な有機分子が存在する可能性が指摘されていた。そのダストは流星群として地球に飛来したと考えられるため、母天体であるこの彗星の性質を調べることは重要である。撮像観測は 8.8, 12.4, 18.8 μm の 3 バンド、分光観測は 8–13 μm の低分散分光 ($R \sim 250$) でデータを取得した。観測時点で、彗星は近日点付近の日心距離 1.04 AU の位置にあった。

今回の観測では、中間赤外線スペクトル中の 8.5, 9.2, 11.2 μm に強いフィーチャ、8.2, 11.6, 11.9 μm に弱いフィーチャが見られた。通常の彗星の中間赤外線スペクトルではケイ酸塩鉱物起源の放射フィーチャが見られるが、8.2, 8.5, 9.2 μm のフィーチャはケイ酸塩鉱物では説明できない未同定赤外バンドである。これら未同定赤外バンドの起源は、芳香族および脂肪族炭化水素だと考えられ、彗星スペクトルで初めて明確に複雑な有機分子のフィーチャを観測的にとらえた可能性が高い。

本講演では、検出した未同定赤外バンドや導出したケイ酸塩鉱物中の結晶質比率の結果など、そのダストの性質について報告し、原始太陽系星雲中でのジャコビニ・ツィナー彗星の形成領域について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P304a 巨大氷惑星の天体衝突：インパクターの質量依存性

黒崎健二，犬塚修一郎（名古屋大学）

太陽系内には、天王星と海王星という二種類の巨大氷惑星が存在している。この二つの天体は、質量と半径が極めて近いにも関わらず、それぞれが持つ惑星放射強度や自転軸傾斜角に大きな違いがあるため、その形成過程や進化において違いが存在することが知られている。特に、天王星が持つ自転軸傾斜角度は 98° と大きく傾いているため、過去に巨大衝突を経験した証拠であると考えられている。これらの天体は、近年観測数が急激に増大した系外惑星で最も多く発見されているサイズである。系外惑星にも見られる海王星サイズの天体は地球質量の10倍程度以下、地球半径の2-4倍程度であり、この半径を維持するためには水素成分の大気を10%以上保持している必要がある。したがって、巨大氷惑星の天体衝突現象は、太陽系のみならず系外惑星の多様性の起源を理解する上でも重要な現象となる。原始惑星系円盤から円盤ガスを獲得した巨大氷惑星は、その後の惑星形成過程において巨大衝突を経験することが期待される。これまでの我々の研究により、大きな自転軸傾斜を得るためには1地球質量以上の天体を衝突させねばならず、また衝突前の天体の角運動量が大きい場合は自転軸の転倒が困難になることがわかっている、しかし、インパクターの質量が大きい場合はより多くの角運動量を輸送できることが期待される。特に、衝突前の天王星とインパクターの質量が同程度の場合には、インパクター自身も大気を持っていることが予想されるが、ターゲット天体およびインパクター共に大気を持った場合の衝突現象はこれまで議論されていなかった。そこで本講演では、同質量の水素大気を持った天体の衝突計算を行い、衝突によって形成される天体の大気保持量、角運動量保持量を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P305a タイタン大気中アセトニトリル CH_3CN における $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 同位体比の導出

飯野孝浩 (東京大学), 佐川英夫 (京都産業大学), 塚越崇 (国立天文台)

タイタン大気の主成分は窒素及びメタン CH_4 であり, 太陽紫外線や高エネルギー粒子の流入に伴うこれら分子群の解離を起点とする, 太陽系随一の複雑な大気化学過程が存在する. これまでシアン化水素 HCN やアセトニトリル CH_3CN , シアノアセチレン HC_3N といった複雑な窒素化合物群が検出されてきており, その $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 窒素同位体比についても導出が進んでいる. その同位体比には分子間で大きな差が生じており, 窒素分子とシアン化水素でそれぞれ 167 ± 0.6 (Niemann et al. 2010), $60 - 70$ (e.g. Marten et al. 2002) と2倍ほども異なっている. これはタイタン大気内において効果的な同位体分別過程が生じていることを示しており, その分別過程の理解には, 窒素化合物群における窒素同位体比の観測的取得及び, 理論計算による観測結果のモデリングが重要である.

我々は ALMA がキャリブレーション用に観測してきた膨大なタイタンのデータ群に着目し, その中からアセトニトリルの ^{15}N 置換体を高い S/N で検出することに成功した. 観測日は 2015 年 4 月 29 日, 観測周波数は 380 GHz であり, $J=19-18$ の回転遷移に伴って複数の輝線構造を取得できた. ほぼ同時に ^{14}N を含むアセトニトリル ($J=19-18$) の観測も行われており, アセトニトリルの高度分布は高 S/N の本データを用いた大気中の放射伝達計算の反転解析により導出した. ^{15}N 置換体の混合比はアセトニトリルの高度分布をスケールリングすることによって導出した. 今回導出した $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 同位体比は ~ 50 であり, シアン化水素やシアノアセチレン (67 ± 14 , Cordiner et al. 2018) と調和的であった. 一方で, 化学反応ネットワークシミュレーションにより予想された値 ($70 - 200$, Dobrijevic et al. 2018) とは一致しなかった.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P306a トリトン大気におけるヘイズ微物理モデリングとヘイズ生成率への示唆

大野和正 (東工大), Zhang Xi(UCSC), 田崎亮 (東北大), 奥住聡 (東工大)

光化学反応で形成される有機物ヘイズは、太陽系の多くの惑星・衛星に普遍的に存在し、近年では系外惑星に対してもその存在が示唆されている。ヘイズは大気エネルギー収支や観測に多大な影響を与えるため、その形成過程を理解することは重要である。近年、ニューホライズンによって、冥王星においてもヘイズの存在が確認された。興味深いことに、冥王星と類似の表層環境(照射紫外線量など)を持つトリトンにおいてもヘイズの存在が知られており、両者の比較はヘイズ形成過程を理解する大きな手がかりとなりうる。しかし、トリトンにおけるヘイズの微物理モデリングはこれまで行われておらず、その形成機構は未だ明らかではない。

我々は、微粒子成長計算を行うことで、トリトンにおけるヘイズの形成過程を調べた。ヘイズがタイタンで示唆されるような高空隙粒子である可能性を考慮し、ヘイズ粒子のサイズ分布に加えて平均空隙率分布の進化も同時に計算した。その結果、ヘイズ粒子は高空隙アグリゲイトへ成長し、多くはタイタンのヘイズに示唆されるフラクタル次元 ≈ 2 を持ちうるということが分かった。また、ボイジャー2号による紫外線波長での太陽遮蔽観測との比較を行った結果、ヘイズの生成率が冥王星で示唆される値より1桁程度低い場合に観測をよく説明できることが分かった。トリトンと冥王星の照射紫外線量が同程度であることより、これらの天体ではヘイズの生成が光子数でなくヘイズ前駆体の存在量で制限されていることを示唆する。本発表では可視散乱光観測との比較も行い、トリトンのヘイズがエチレン氷で覆われている可能性についても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P307c C/2018 Y1(Iwamoto) 彗星のガス輝線の空間構造の Abel 変換による解析

長谷川 隆 (群馬県立ぐんま天文台), 河北 秀世 (京都産業大学)

2018年12月18日に発見された新彗星 C/2018 Y1(Iwamoto) について、ガス輝線の観測を行ったので報告する。ガス輝線の特徴づけるパラメーターの一つが輝線のスケール長であり、C/2013 R1(Lovejoy)、C/2015 V2(Johnson) の2彗星について Abel 変換による測定結果をすでに報告した (Hasegawa, & Kawakita (2017)、2015年秋季年会、2017年秋季年会など)。スケール長には太陽距離依存性があることが期待される。過去には Langland-Shula & Smith (2011) による統計例があるが、heterogeneous なサンプルに基づくものでいわゆる彗星の個性の影響が含まれるため、同一彗星の同一観測システムによるモニター観測が有効であると考えられる。ぐんま天文台の65cm望遠鏡には2018年度に CCD カメラ (FLI/PL09000) が導入され視野角が16分角に拡大し、みかけのサイズが大きくなる接近時でも表面輝度の測定精度が向上したこと、検出器感度が下がる可視短波長狭帯域でも一定の集光力でカバーできるため、モニター観測をはじめている。

今回の観測対象の C/2018 Y1(Iwamoto) は、予稿執筆時の推定で遠日点距離が約 229 au、周期 1234 年とされている。ぐんま天文台では近日点通過後に2回のデータが取得できた。CN 輝線の娘分子のスケール長は日心距離 $r_{\odot} = 1.36$ au, 1.48 au においてそれぞれ $\sim 2.6 \times 10^5$ km, $\sim 4.2 \times 10^5$ km であり、C/2013 R1(Lovejoy) と同程度であった。また C₂ 輝線の娘分子のスケール長は $r_{\odot} = 1.36$ au においては $\sim 1.5 \times 10^5$ km とかなり長いものであったが、1.48 au においては測定困難であった。年会においては Langland-Shula, & Smith(2011) における過去の個別の彗星の観測例とも比較を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P308b 46P/Wirternen の偏光撮像観測

古荘 玲子 (都留文科大学/国立天文台), 土屋 智恵, 渡部 潤一 (国立天文台)

46P/Wirternen は 1948 年に発見された彗星で、5.44 年の周期をもち、遠日点が木星軌道付近にある木星族彗星のひとつである。2018 年 12 月の回帰では、地球に 0.078 au まで近づき、予報された全光度は 4 等を切るという、北半球では非常に良い観測条件となった。

偏光観測は、彗星の塵の物理特性を知る非常に有用な手段の一つである。彗星の塵による太陽散乱光は直線偏光度を示し、その偏光度の大きさは、塵の光学特性や形状、サイズ分布、および散乱位相角（太陽－彗星－観測者のなす角）の関数となる。彗星の偏光撮像観測は我々に、彗星コマ内でのダストの活動を研究するための貴重な手がかりを与える。いくつかの彗星の直線偏光度マップにおいて、ダストジェットに関連する高偏光度のフィーチャが認識されている。この特徴は、ジェット活動などによって、コマ内のダスト粒子の大きさや材質の局所的な分布の違いを示している可能性がある。

このような彗星ダストの活動を研究する目的で、我々は、国立天文台 (三鷹)50cm 社会教育用公開望遠鏡および偏光撮像装置 PICO を用いて、彗星塵の偏光撮像観測を継続的に行ってきた。これまでの 15 年間で 27 彗星/核のデータを得ている。

本偏光サーベイの一環として、今回は 2018 年 12 月 23 日～2019 年 1 月 10 日に 46P/Wirternen の偏光撮像観測を行い、彗星の位相角約 22° から 33° でのデータを得た。

発表では、46P/Wirternen の偏光観測結果について報告し、過去の我々のサーベイ結果との比較議論を行う。また、コマ中の偏光度分布についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P309b 「あかり」指向観測データを用いた天体カタログの作成及び Gaia DR2 と組み合わせた暖かい残骸円盤の検出

水木敏幸, 山村一誠 (ISAS)

Gaia DR2 の登場により、1 kpc を超えて位置する天体の距離が明らかとなり、絶対光度が活用可能な近傍星サンプルが拡張された。これにより、高感度・狭視野撮像観測で検出された遠く・暗い星の理解が進みつつある。赤外線天文観測衛星「あかり」は2006年5月–2007年8月の冷却運用期間中に約4000の指向観測を行った。単一視野 (10^2 arcmin^2) につき、平均3–4バンドの多波長観測 (全9バンド、1.8–26.5 μm 、3,7,15 μm での限界等級18,14,11 mag_{Vega}) を行ったもので、これらは全天観測を行った WISE 等に対し、天体のエネルギー分布を決定する上で相補的なものである。

本研究では、この「あかり」指向観測撮像データに関する (1) 歪み補正、地球の迷光の差し引き、顕著に明るい天体の処理等を追加した新規解析ソフトウェアを構築し、撮像データより (2) 約50万天体から成る近・中間赤外線天体カタログを作成した。また、本講演で報告する深い「あかり」カタログを SDSS DR12、PanSTARRS DR2、Gaia DR2、2MASS、WISE のデータと併用し星の有効温度等を決定することで、(3) 赤外超過を示す天体を新たに100天体強検出した。この赤外超過が多波長で検出されたサンプルを用いることで、残骸円盤の存在頻度や主星依存性に対し制限を設けることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P310b Can hot jupiters host exomoons?

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Hamers, Adrian (IAS), Geller, Aaron (CIERA)

All the giant planets in the solar system host a large number of natural satellites. Moons in extrasolar systems are obviously difficult to detect, but a yet-to-be-confirmed Neptune-sized exomoon has been recently found around a Jupiter-sized planet in the Kepler 1625 system. Of the many extrasolar jupiters detected so far, about one-tenth has been on a 1-2 period orbit. Whether the hot jupiter population can host (or may have hosted) exomoons is still unknown. We investigated if the presence of exomons can allow the tidal migration of a hot jupiter, and if the exomoon can survive the migration process, by means of direct N-body simulations including tidal interactions. Our results show that it is unlikely that a hot jupiter can host exomoons, since the moon will either crash into the planet or escape from it during the migration process. In some extreme cases, perturbations from the stellar companion can even lead the planet to escape from the system, thus becoming a rogue planet with a moon. This mechanism could explain the exomoon candidate MOA-2011-BLG-262L, a candidate exomoon of a free-floating planet, and could explain future detections. Therefore, future detections of exomoons around hot jupiters seem unlikely.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P311a 近赤外高分散分光器 IRD による系外惑星のトランジット分光観測

平野照幸 (東京工業大学), Eric Gaidos (ハワイ大学), 葛原昌幸, 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター), すばる/IRD チーム

近年, 近赤外での高分散分光観測による系外惑星探査が注目されている。M 型矮星などの低温度星は黒体輻射のピークを近赤外域に持つ。したがって近赤外での視線速度測定は可視光域では暗く高精度視線速度測定が困難であったターゲットに対して有効であり, これまで探査の進んでいなかった特に低温度 (有効温度 3500K 以下) の恒星の惑星探査に積極的に利用されるようになってきた。また近赤外域では一般に黒点・白斑による恒星表面の不均一性のコントラストが小さくなるため, RV ジッターと呼ばれる見かけ上の星の視線速度変化を軽減することも可能である。そのため, M 型矮星に限らず一般に恒星活動が活発な若い恒星のまわりの惑星の発見・特徴付けにおいても近赤外高分散分光は有効である。

我々は 2017 年 8 月にファーストライトを迎えたすばる望遠鏡の近赤外高分散分光器 IRD を用いて, 可視光では探査が困難であった晩期 M 型矮星や若い恒星のまわりの惑星探査・特徴付けを実施している。トランジット惑星系ではトランジット中に高分散分光観測を行うことで, 恒星面の一部を惑星が隠すことによって生じるスペクトル線の歪みから星の自転軸と惑星の公転軸のなす角度を調べる事が可能である (ロシター効果) とともに, 特定のスペクトル線の深さがトランジット中に変化する現象を利用してトランジット惑星の大気を調査することも可能となる (透過分光)。我々は 2018 年 8 月から 2019 年 3 月にかけて IRD を用いた晩期 M 型矮星 (TRAPPIST-1) や若い恒星 (K2-100) のトランジット分光観測を実施し, トランジット惑星の軌道・大気を制限した。本講演ではこれらの観測結果について報告するとともに, その結果が惑星形成・進化モデルに与える示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P312a 視線速度法を用いたプレアデス星団内における短周期惑星の探索

宝田拓也 (埼玉大学), 佐藤文衛 (東工大), 大宮正士, 堀安範 (ABC/NAOJ), 藤井通子 (東大)

現在までに数百個発見されている短周期巨大ガス惑星 (HJ; ホットジュピター) は系の質量の大半を担うことから、惑星系の形成において最も大きな構造の変化を与えると考えられている。そのため、惑星の形成・進化過程を解明するためには HJ の形成過程を理解することが重要である。しかし、HJ がどのように形成されたかは未だ完全には解明されていない。HJ の理論的な形成メカニズムとして、Type-II 移動と重力散乱+潮汐相互作用が提案されている。前者は原始惑星系円盤内の円盤ギャップに引きずられて惑星が内側へ移動し、後者は惑星が他の天体との重力相互作用を受けて高離心率の軌道をとったのち主星からの潮汐相互作用を受けて短周期の円軌道となる。これらの決定的な違いの一つはタイムスケールである。前者のメカニズムでは 1000 万年程度で移動が完了し、後者は数億年要する。従って、年齢が数億年よりも若い恒星周りで HJ の有無を確認することで、HJ の形成メカニズムに制約を与えられるはずである。

我々は、2017 年 11-12 月に年齢が 1 億年程度の散開星団であるプレアデス星団内の 30 個の恒星に対する視線速度法による惑星探索を岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡および高分散分光器 HIDES を用いて行った。本研究では、それぞれの天体に対して視線速度測定に加えて吸収線輪郭解析を行うことで、視線速度変動の原因を精査した。結果として今回の観測からは惑星由来の視線速度変動は確認されなかったものの、初めてプレアデス星団内での HJ 存在頻度に対して制約を与えた。本講演では、観測結果の報告に加えて年齢が 1 億年程度の星団内における HJ の存在頻度について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313a 視線速度法を用いた長周期連星ブラックホールの探査の提案と検証

林 利憲, Shijie Wang, 須藤 靖 (東京大学)

LIGO の重力波検出によって発見された連星ブラックホール合体現象は同時に、宇宙にはまだ合体に至っていない比較的長周期な連星ブラックホールが多数存在することを示唆する。しかし、それらは直接観測が困難であるため、間接的な探査を行う必要があり未発見である。そこで、本研究では、連星ブラックホールが恒星に及ぼす微小な摂動変動を高精度視線速度観測で検出することで、それらを探査することを提案する。

2018 年秋の天文学会では、同一平面・円軌道階層三体系に対して、天体力学の摂動論を用いて解析的に導出した視線速度近似公式の提示及び、そこから得られる視線速度変動の性質を概観した。その結果、連星ブラックホールの検出には、その公転半周期程度の短周期視線速度変動を検出することが重要であることが分かった。また、近似公式と数値シミュレーションの比較を行い、近似公式が十分な精度をもつことを確認し、さらに、その具体的な応用として、連星系 2M05215658+4359220 中の連星ブラックホールの軌道パラメータに制限をつけた。

今回は新たに、フーリエ変換による周波数解析を用いて、短周期変動の特定を行い、また、連星ブラックホール及び恒星の軌道離心率・軌道傾斜角が視線速度変動に与える影響を調べた。これらの結果は、短周期変動の検出可能性の検討や、短周期変動から連星ブラックホールの軌道パラメータを推定するのに重要な情報を与える。さらに、連星ブラックホールが誘因となる視線速度短周期変動と縮退する恐れのある、S 型周連星惑星に起因する視線速度変動に対して、各々の描像における軌道パラメータの対応関係を調べた。今回の発表では、上述の研究によって得られた結果を提示し、具体的な観測戦略についての考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314a 深層学習を用いた MOA-II マイクロレンズサーベイ画像におけるリアルタイムイベント検出の高効率化

末松春乃 (大阪大学), MOA コラボレーション

我々、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループでは、ニュージーランド Mt. John 天文台にて重力マイクロレンズ現象を用いた系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ現象は、銀河中心方向の高密度領域においてもその起こる確率は 10^{-6} という非常に稀な現象のため、MOA グループは 2.2 平方度の視野を持つ MOA-II 望遠鏡を用いて、毎晩銀河中心方向における広視野高頻度観測を行っている。現地では増光現象を捉えるためにリアルタイムで差分画像解析 (Difference Image Analysis ; DIA) 測光を行っている。実際の観測では、DIA によって増光が検出された新しいイベントが発見されると、その DIA 画像と光度曲線を目で見て確認して、マイクロレンズ現象かどうかを判断している。しかし、DIA によって検出されるイベントの 9 割近くが埃やサチュレーションの効果などによる False Positive (星でないのに星であると判断された画像) であり、1 日あたり数千もの新しいイベントを視覚的に確認することは効率的でない。そこで、我々は画像認識を用いて DIA 画像内の星像を検出し、その星像物体の中から移動天体や変光天体を取り除き、マイクロレンズ現象を検出するシステムを構築した。2019 年春季年会では、畳み込みニューラルネットワークを用いた星像検出器の開発までを発表した。本講演では、2019 年度の観測に適用した結果を中心に、改良したシステムの概要、性能評価を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315a 重力マイクロレンズイベントに対する惑星 (2L1S) モデルと公転軌道の効果を含めた連星ソース (1L2S) モデルの検証

宮崎翔太 (大阪大学), 住貴宏 (大阪大学), 永金昌幸 (大阪大学), 近藤依央菜 (大阪大学), 他 MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ現象において、レンズ天体に付随する惑星 (伴星) がソース天体の光に重力的に影響を与える事で、光度曲線上に単星レンズ単生ソース (1L1S) モデルからのずれ (アノーマリー) が検出される。アノーマリーを含んだ光度曲線をモデルフィッティングする事で、得られたレンズ天体の伴星パラメータから惑星を検出する事ができる。しかし、観測されたアノーマリーによっては、連星レンズ単星ソース (2L1S) モデルに比べて単星レンズ連星ソース (1L2S) モデルで光度曲線を説明できる場合がある。惑星発見のためには 1L2S モデルを棄却し、観測されたアノーマリーが連星レンズ由来である事を立証する必要がある。多くの先行研究では、ソース系内の軌道運動を考慮に入れない static な 1L2S モデルフィッティングの結果を 1L2S モデルの棄却に用いており、高次の効果はあまり考慮されてこなかった。

本講演で紹介する重力マイクロレンズイベント OGLE-2013-BLG-0911 では、光度曲線のピーク時に有意なアノーマリーが検出された。高次の効果を考慮に入れずにモデルフィッティングを行なった結果、2L1S モデルが 1L2S モデルよりも統計的に十分有意である事が示された。しかし、2L1S モデルの詳細解析の結果から、周期 40 日の有意なソース天体の公転の効果 (Xallarap 効果) が検出されたため、ソース天体には伴星が存在する事が確認されている。本講演では、観測されたアノーマリーが本当に連星レンズ由来であるかどうか事を確かめるために、ソース系の公転軌道の効果まで考慮に入れた 1L2S モデルを検証し、その解析結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P316a 低質量比の惑星候補イベント OGLE-2018-BLG-1185/MOA-2018-BLG-228 の解析

近藤依央菜 (大阪大学), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法は、スノーラインの外側において地球質量程度の軽い惑星にまで唯一感度がある惑星検出手法である。重力マイクロレンズ現象とは、ソース天体の前をレンズ天体が通過することで、その重力がレンズのような働きをしてソース天体からの光を一時的に増光する現象である。特に、レンズ天体に伴星があると、その伴星の重力による影響が現れるため特徴的な増光曲線を示す。その光度曲線をモデルフィッティングすることで、レンズ天体に関して、主星と伴星の質量比や、主星からの離角などのパラメータを得ることができる。

本講演では、2018年にOGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) とMOA (Microlensing Observations in Astrophysics) によるサーベイ観測によって検出された、重力マイクロレンズイベント OGLE-2018-BLG-1185/MOA-2018-BLG-228 の詳細解析の結果を報告する。このイベントは16日ほどのレンズ天体による増光が見られた。また、高次の特殊効果として、有限ソース効果は有意に検出できたが、パララックス効果は検出できなかった。これらを考慮した詳細解析の結果、主星/惑星質量比が 7.9×10^{-5} と質量比が極めて低いことがわかった。これは Suzuki et al. (2016) において、重力マイクロレンズ法で発見された惑星サンプルを用いて得られた質量比関数のピーク付近に位置する質量比であり、統計的重要性が非常に高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P317a 近赤外重力マイクロレンズ探査計画 PRIME の進展

山脇翼 (大阪大学), PRIME コラボレーション

PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) とは、世界最大級視野の近赤外望遠鏡を用いた重力マイクロレンズサーベイ観測を行う計画である。観測装置は南アフリカのサザーランド観測所 (SAAO) に口径 1.8m の広視野近赤外望遠鏡を 2019 年度建設予定である。近赤外線観測することによって、強い星間減光のために従来の可視光観測では不可能であった低銀緯領域を観測することが可能になる。星の数密度が高い領域を観測することができ、惑星発見数が可視光観測の約 4 倍に増えると見積もられており、より正確に惑星分布を求めることができるようになる。また、より銀河系中心に近い領域での惑星頻度を世界で初めて見積もり、従来の可視光観測の領域と比較することで、環境による惑星頻度の違いを検証できる。

また PRIME 望遠鏡は 2020 年代に NASA が打ち上げ予定の広視野赤外線サーベイ衛星 WFIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope) との連携を前提に開発が行われている。PRIME の観測で低銀緯におけるマイクロレンズイベントの頻度分布を作成することで、WFIRST の観測領域を最適化することや、将来的に WFIRST との同時観測によって、惑星質量のレンズ天体の質量観測が可能になるなど WFIRST の成果を質的に向上させることが計画されている。

本講演では PRIME 計画の概要と経過について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P318a 重力マイクロレンズ法を用いた系外惑星からの電波放射の観測

潮平雄太, 高橋慶太郎 (熊本大学), 寺田由佳 (東京大学), 藤井友香 (東京工業大学地球生命研究所)

太陽系内の巨大惑星は磁場を持ち、低周波の電波を放射することが知られている。現在までの多種多様な系外惑星の発見を考慮すると、磁場を持つような系外惑星の存在を容易に考えることができる。中でもホットジュピターが磁場を有するときは主星から磁気圏へのエネルギーの流入が多いため、木星の $10^{3\sim 5}$ 倍の強力な電波を放射するだろうと推測されている。電波放射からの間接的な磁場の検出は、惑星内部の構造を知り、物理的性質についてのより良い理解につなげるために必要だが、その系外惑星からの放射は未だに検出されていない。

そこで本研究では、ホットジュピターからの電波放射を検出するために、重力マイクロレンズ法を応用した新たな手法を考えた。

一般的な重力マイクロレンズ法は、レンズ星を周回する惑星を検出するために用いられる手法であるが、それに対して、我々は電波領域で主星よりも明るいただろうと予測されているホットジュピターを光源として利用しその検出を考えた。この場合、光源となる惑星は公転運動をしながら主星と共にレンズ星の背後を通過していくため、サイクロイド曲線に似た軌跡で通過することになる。そこで、この軌跡での惑星電波放射の増幅についてシミュレーションを行うと、光度曲線は公転運動による光源-レンズ星間の角度の周期的な変化を誘因とする複数のピークを持つ増光を示した。この結果は、惑星電波放射を検出したかどうかを判断するための一つの指標になると考えられる。

さらに、ホットジュピターの軌道半径の分布をもとにしたシミュレーションから、軌道半径ごとの電波放射の強度を推定し、SKA や LOFAR の望遠鏡を想定したそれぞれの感度についての検出可能性を求めた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P319b 重力マイクロレンズ法による巨大ガス惑星周りの衛星存在確率に対する制限

山川竹玄 (名古屋大学), MOA コラボレーション

1995年に太陽系外惑星が発見されて以来、さまざまな手法でその探査が行われている。太陽系外惑星は多数発見されているが、衛星はまだ発見されておらず。巨大衛星の起源も現在わかっていない。このように、惑星形成と同様に衛星形成は未だ未知な要素が多い。太陽系内における巨大ガス惑星周りの衛星としても、エウロパやエンケラドスなどの氷衛星の中に液体の大洋があることがわかり、生命の存在が期待されている。そのため、系外衛星の存在を検証していくことは重要である。我々MOAグループはニュージーランドのマウントジョン天文台で重力マイクロレンズ現象を利用した観測を行っている。重力マイクロレンズ現象とは観測天体(ソース天体)と観測者の間を質量を持つ天体(レンズ天体)が通過したとき、重力によってソース天体からの光が曲げられ増光して観測される現象である。氷境界の外側をまわる地球質量の惑星まで感度があるマイクロレンズ法はヒル半径の内側まで探索可能であり、海王星質量の衛星ならば発見可能である。このマイクロレンズ法を用いて発見された惑星のデータを再解析し、衛星の存在の検証を行った。本講演では、過去に発見された惑星事象の解析の詳細を報告し、系外衛星に制限をつけていく解析手法の概要とその進捗状況を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

P320b 太陽系外惑星 HAT-P-54b の近赤外線トランジット観測

伊藤 洋一, 多葉田 晴日, 高橋 隼 (兵庫県立大学)

太陽系外惑星の大気の組成や構造は多様である。このことは、トランジット時の複数波長の測光観測や分光観測によってわかってきた。

HAT-P-54b は Bakos et al. (2015) によって発見された太陽系外惑星で、0.645 太陽質量の主系列星の周りを 3.8 日で公転する。惑星はトランジットを起こし、惑星と主星の半径比は r バンドで 0.157 である。我々はこの惑星のトランジットを「なゆた望遠鏡」と近赤外線カメラ NIC を用いて観測した。NIC は J, H, Ks バンドを同時に取得することができる装置で、HAT-P-54 から 1.3 分角ほど離れた同程度の明るさを持つ恒星も視野に入れた。解析の結果、J, H, Ks のいずれのバンドでもトランジットによる減光を検出することができた (多葉田ら、2018 年秋季年会)。

惑星と主星の半径比は波長によって異なる。半径比は J バンドで 0.165 ± 0.003 、H バンドで 0.168 ± 0.002 と r バンドに比べて有意に大きく、一方で Ks バンドでは 0.157 ± 0.003 と r バンドでの半径比と同程度である。我々は Planetary Spectrum Generator により惑星大気のモデルスペクトルを作成した。その結果、OH 分子を含み膨張した惑星大気であれば、観測結果を説明できることがわかった。講演では、大気に OH が存在することの意味や膨張した大気の特徴などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P321b 埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA/MuSaSHI を用いた系外惑星の多波長トランジット測光観測

石岡千寛, 大朝由美子 (埼玉大学)

近年の系外惑星探査衛星の活躍により、トランジット法を用いて系外惑星が多く発見されている。トランジット法では、惑星の半径や軌道長半径・軌道傾斜角などの物理量を求めることができる。また、惑星が恒星の前を通過する際に、恒星の光の一部は惑星大気を通過して観測される。このとき、恒星の光は透過してくる惑星の大気成分や温度、雲の有無などを反映して吸収・散乱を受けるため、観測される減光の深さに波長依存性がみられる。そのため、多波長でトランジット観測を行うことによって系外惑星の大気を推定することができる。本研究では、埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA と三波長同時偏光撮像装置 MuSaSHI、36cm 望遠鏡と CCD を用いて、トランジット現象を起こす天体の多波長測光観測を行なった。MuSaSHI は r , i , z の 3 バンドで同時多色測光を行うために開発された装置 (潮田ほか, 2016) である。フィルターとダイクロックミラーのみのシンプルな光学系で高効率に、加えて、 i バンドと z バンドで特に量子変換効率が高い深空乏層型の CCD を搭載し、高感度の観測ができる。一部の天体については 36cm 望遠鏡を用いて g' バンドで観測し、4 バンド同時観測を行なった。現在までに、HAT-P-3, WASP-36 を含む 8 天体について計 10 晩の観測を行い、6 天体について光度曲線のフィッティングを EXOFAST で行なった。例えば、WASP-52 は r , i , z バンドで減光率が 2.900%, 2.715%, 2.760%、誤差は 0.08-0.12% と求められ、 r バンドの減光率が長波長側と比べて大きいことが示された。その他、減光率の波長依存性がみられなかったものが 4 天体、 r バンドの減光率が小さいものが 1 天体ずつみられた。本講演では、減光率の波長依存性から推定した大気組成や、主星・惑星の物理量の関係などについての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P322a 立命館大学天文台による系外惑星 WASP-52b のトランジット観測と解析

森正樹, 奥田剛司, 丸木翔太, 西山弘一, 武部玄嵩 (立命館大学)

WASP-52 は視等級 12.0 の K2V 型星で、公転周期 1.75 日の惑星 WASP-52b をもつことが知られている。本講演では、立命館大学天文台における系外惑星 WASP-52b の観測と解析について報告する。

観測には口径 60 cm、合成焦点距離 600 cm の反射望遠鏡を用い、主焦点に設置した冷却 CCD カメラ (FLI PL16803) により、2017 年 9 月 24 日から 25 日にかけて WASP-52 を測光観測した。露光時間 60 秒で合計 175 枚の画像を Blue Blocking フィルター (Astrodon XOPBB-50S) を用いて撮像した。測光には光点と夜光の分離を行う独自開発手法を使用した。視野内の参照星と比較することにより、天頂角依存性を補正した光度曲線を作成し、3% の減光を伴う WASP-52b のトランジットを検出することができた。

今回得られた光度曲線を、周辺減光を考慮したシミュレーションと比較し、インパクトパラメータ、恒星と惑星の半径比、惑星軌道半径と恒星半径の比を算出し、先行研究と比較した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P323a 地上望遠鏡による TRAPPIST-1g 大気のトランジット分光観測と解析

森 万由子, 福井暁彦 (東大), 成田憲保 (ABC), John Livingston, 川内紀代恵, 田村元秀 (東大)

TRAPPIST-1 系は 7 つの地球サイズの惑星が M 型星の周りを回っている系であり、中でも TRAPPIST-1e,f,g の 3 惑星は生命探査のターゲットとしても注目されている。これらの惑星の大気存在を観測的に調べることで、惑星の辿ってきた形成進化過程および惑星のハビタビリティに制限をつけることが期待される。

惑星大気を調べる方法として、トランジットを分光観測して波長ごとのトランジット深さ (=透過光スペクトル) を求める「トランジット分光」がある。ハッブル宇宙望遠鏡を用いて 1100-1700nm の波長域でこれを行なった先行研究により、TRAPPIST-1g が「水素の支配的な、太陽組成の晴れた大気 (以下、水素大気)」をもつ可能性は低いと示唆されているが、観測精度が不足し強い制限はついていない (de Wit et al. 2018, Wakeford et al. 2019)。

TRAPPIST-1g の大気存在を確かめるため、私たちは地上望遠鏡を用いて、先行研究と異なる波長域で TRAPPIST-1g のトランジットを観測した。赤外領域 (1300-2300 nm) での分光にはすばる望遠鏡/MOIRCS を用いた。この波長域にはメタンの吸収線が多数存在するため、水素大気を持つ場合にメタンの存在度を制約できる可能性がある。また、MOIRCS の観測と同時に Gemini-N/GMOS を用いて r バンド (562-698 nm) で測光を行った。可視領域では大気のレイリー散乱の兆候を見ることができ、これにより大気中の雲やヘイズの存在を調べられる。

解析では、観測されたデータを制約・測光し各波長ごとのライトカーブを得て、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いてモデルフィットし、透過光スペクトルを得た。本講演では、観測・解析の手法ならびに得られた透過光スペクトルから示唆される TRAPPIST-1g の惑星大気の組成について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P324a 地球型惑星の原始大気構造に対する水蒸気混入の効果の精査と獲得水量予測

木村 真博, 生駒 大洋 (東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

地球型惑星の気候は海水の量に大きく左右される。地球は惑星質量のわずか0.023wt%の海水量しか持たないが、そのために大陸風化を伴う炭素循環が機能し、温暖な気候が長期間維持されている。したがって、太陽系外におけるハビタブル惑星の存在度を理論的に予測するには、海水量の決定過程を理解する必要がある。先行研究は、地球型惑星の水の由来として原始惑星系円盤における雪線以遠の含水微惑星または氷微惑星を想定し、それらの獲得過程を検討している。地球に関しては、様々な物質科学的証拠から、そのような微惑星起源説が有力視されている。しかし、惑星は一般に原始惑星系円盤の中で生まれるので、そのガス成分を取り込むことが自然であると考えられる。そこで本研究では、水獲得の別の過程として、原始惑星系円盤ガスを由来とする原始大気の水素が岩石微惑星やマグマオーシャンに含まれる酸素原子に還元されることで起こる水生成に着目した。この過程が惑星の獲得水量に与える影響を調べるために、我々は水蒸気の凝結を考慮した大気構造モデルを開発した。そして、大気中の水蒸気分率をパラメータとし原始大気量を計算した。その結果、大気中の水蒸気分率の増加に伴って大気量は大きく増加することがわかった。その効果は、特に大気上部で水蒸気の凝結が起こる場合に顕著である。

現在系外惑星サーベイがさかんに行われているM型星まわりのハビタブルゾーンでは、固体材料物質が少なく、火星質量程度の軽い惑星が多く形成されることが理論的に予測されている。先行研究では、M型星周りの火星質量程度の惑星はほとんど海水を獲得しないと結論づけている。それとは対照的に、我々のモデルでは、水蒸気分率が高い場合、最終的に保持する水量が地球海水量程度になる。このことは、M型星まわりの惑星の水量分布に対する理論予測が大きく変わりうることを示唆している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P325a 大気散逸を考慮した M 型星周りのハビタブルゾーンの再評価

山敷庸亮, (京都大学), 野津湧太 (University of Colorado), 前原裕之 (国立天文台), 佐藤達彦 (JAEA), 黒木龍介 (みずほ Ltd), 野津翔太 (Leiden Observatory), 佐々木貴教, 佐藤啓明, 村嶋慶哉, 坂東日菜, 梨元昂, 高木風香, 木村なみ, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC) 他 ExoKyoto 開発チーム

M 型星周りのハビタブルゾーンの再定義について、私達はこれまで、異なる定義のハビタブルゾーンを比較する ExoKyoto 太陽系外惑星データベース (2017 年春季年会 P245a) に、恒星のフレア発生頻度と惑星境界上のフレア強度の評価 (2017 年秋季年会 N850a)、それぞれの惑星表面での推定被曝量の評価 (2018 年秋季大会 P313a) を行ってきた。

本研究ではさらに主星についての XUV, EUV 成分について、MASCLES による定量化を行い、それぞれの惑星位置における XUV フラックスの算定の定量化と、これを用いての大気散逸レートを計算した (Airapetian et al. 2017 ApJL)。フレアの発生頻度についても、1 ヶ月、1 年に一度のフレアと同時に、その黒点面積や表面温度から推定される最大のフレアエネルギーの評価を行った。また、計算は前年度同様モンテカルロ計算コード PHITS を用いて、3 つの異なる大気 (N_2+O_2 , CO_2 , H_2) の場合の大気シャワーを計算し高度毎の被曝量の推定を行なった。その結果、大気の散逸を考慮すると、大気圧が 1/10 気圧になった例を考慮しても、いくつかの惑星では毎年 1 度発生する規模のフレアでも、致命的な被曝を被ることが判明した。これらの惑星においては内部からのガス放出が継続するか、惑星磁場が形成されていない限り、ハビタブルと評価することは困難となった。同様のモデルで火星の CME による被曝量は、磁場を有する地球よりも大きくなることが推定された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P326a 巨大惑星形成モデルによる系外惑星の質量・軌道半径分布の解釈

田中秀和 (東北大), 村瀬清華 (総研大/極地研), 谷川享行 (一関高専)

約4千個の系外惑星が発見され、それらの質量や軌道の分布等の統計的性質が明らかになってきたが、これらの分布が原始惑星系円盤でどのようにしてつくられたかについては未だ説明されていない。本研究では、惑星固体核が円盤ガス捕獲によって巨大惑星へと成長する過程をこれまでの数値流体計算結果をもとにしてモデル化した。このモデルを観測された系外惑星に対し適用することで、系外惑星の質量・軌道半径の分布は説明可能かどうか、また可能な場合はどのような原始惑星系円盤において可能となるのかを明らかにする。

我々の巨大惑星形成モデルから軌道半径-質量平面における惑星進化曲線が得られる。この進化曲線は普遍的なもので原始惑星系円盤モデルの詳細には依存しない。系外巨大惑星は2木星質量程度のものが多いが、この質量の惑星を形成する際に軌道落下はほとんど起こらないことが進化曲線からわかる。また、系外巨大惑星の軌道半径は2AU程度のものが多いが、これは円盤のスノーライン (~3AU) で固体コアがつくれやすいことで説明できる。巨大惑星の最終質量は、主に円盤初期質量と光蒸発による円盤消失率の2つの量で決まる。さらに、円盤寿命と調和的であるような光蒸発による円盤消失率を用いつつ、系外巨大惑星の最大質量と最頻出質量を、百万年程度の年齢の原始惑星系円盤で最も重いものと最頻出質量のものとしてそれぞれ説明することに成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P327a 中心星近傍での木星型惑星の軌道散乱

長沢真樹子(久留米大学), Francesco Marzari(Padova 大学)

太陽系外では、星から 1 au 以内の近傍にも木星型惑星が発見されている。こうした惑星は、スノーラインより外側で形成されて内側に移動したと一般的に考えられている。主な移動のメカニズムは、原始惑星系円盤との相互作用、惑星-惑星散乱の2つである。惑星-惑星散乱の数値計算では、惑星が形成された場所から散乱によって中心星の近くに飛ばされることが想定されているが、それだけでは、星から 1 au 程度に木星型惑星が多くあることの十分な説明とはならない。一方、原始惑星系円盤との相互作用では、星近傍の木星型惑星の離心率や軌道傾斜角を十分には説明できない。そこで今回は、原始惑星系円盤との相互作用でスノーラインよりも内側に移動した惑星、特にホットジュピターの軌道まで移動した惑星が、惑星-惑星散乱を起こした場合に、どのような軌道分布となるかを数値計算から調べた。

原始惑星系円盤との相互作用によって小さな離心率、軌道傾斜角を保っていたいくつかの木星型惑星が円盤の散逸後軌道不安定を起こしたとする。内側まで移動した惑星が軌道散乱を起こした場合、衝突が起きやすく離心率や軌道傾斜角が上昇しないことが推測されていた。しかし、実際に星からの力学的な潮汐力や相対論的な効果といった星近傍で強くなる力を含めた数値計算からは、これまでの推測は必ずしも正しくはなく、衝突前に離心率が上昇することでホットジュピターとなる惑星が形成されることが示された。また、初期の軌道傾斜角を 0 度から 2 度ほどの間に分布させた計算からは、0.1 au で散乱が起きた場合でも、60 度程度の軌道傾斜角の惑星が作られることが判明した。0.5 au での散乱ならば、逆行惑星も形成される。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P328a 中心星近傍スーパーアースの巨大衝突進化における中心星質量の影響

松本 侑士 (中央研究院), 小久保英一郎 (国立天文台), 押野 翔一 (東京大学), Pin-Gao Gu (中央研究院)

近年、Subaru-IRD, SPIRou等の観測ミッションによってM型星周りの惑星探索計画が進められており、M型星周りの惑星形成についての理解が急務となっている。中心星質量の小さいM型星周りの惑星はG型星周りに比べてより力学的に熱い(軌道離心率や傾斜角が大きい)をする。観測が期待されるM型星周りの中心星近傍スーパーアースの質量や軌道要素の分布は、力学的進化が影響し、G型星周りとは異なることが予想される。これまでに行われたM型星周りでの惑星形成のN体計算では限られたパラメータの計算しか行われておらず、中心星質量が中心星近傍スーパーアースの形成に及ぼす影響は調べられていない。そこで我々は、巨大衝突段階を経て形成する中心星近傍スーパーアースに中心星質量がどのような影響を及ぼすのかを、N体計算により調べた。初期原始惑星の質量を一定の固体面密度で与えた場合、中心星質量を小さくするとより力学的に熱い進化をするため、より遠くの原始惑星と衝突するようになる。結果として、形成する惑星の質量は大きく、系の惑星数は少なくなる。この変化は、中心星質量を小さくしていくと、ある中心星質量以下では起こらなくなる。これは系が力学的に十分に熱くなった結果、惑星同士の散乱によって原始惑星が系外へ放出されるためである。これらのN体計算の結果及び系外への放出を基に、観測されうる中心星近傍スーパーアースの軌道半径や質量分布を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

P329a Effects of Planetary migration on the long-term orbital stability of a multi-planetary system: case of HL Tau

Shijie Wang, Kazuhiro Kanagawa, Toshinori Hayashi, Yasushi Suto (Univ. of Tokyo)

It is well known that the observed exoplanets exhibits large diversity. Many previous studies on dynamical evolution have shown that the orbital instability plays a vital role in shaping the planetary configurations after the disk dispersal. However, their results are often biased towards unstable initial conditions, and it is not clear whether such unstable configurations can be produced through planet-disk interactions. The recent ALMA observation on HL Tau offers the primordial planetary configuration directly. Simbulan et al.(2017) indeed presented a pioneering work along this line. We perform improved simulations incorporating realistic planetary migration and mass accretion that are missing the their study, and adopt a disk profile that takes account of feedbacks due to evolution of multi-planets. We successfully produce super-Jupiter planets with a wide distribution over semi-major axis and mass by varying disk parameters. In contrast to Simbulan's study, our results show that the planetary systems remain stable for at least 5 Gyr after the disk dispersal. Some systems survive longer than the time-scale predicted by previous instability criteria based on Hill radius separation. To account for this discrepancy, we investigated systems consisting of three equal-mass planets and we found the stability is enhanced by more massive planets, as the critical stable separation normalised by Hill radius decreases when mass increases. We will also discuss the relation between the stability and the 2:1 mean motion resonance, and show how migration can stabilise the planetary system by letting planets enter resonance.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P330b 多様な惑星磁場を作る統一モデル 熱流の中の結合スピン・モデル ー

中道晶香（京都産業大学）、森川雅博（お茶の水女子大学）

太陽系の惑星の多くは磁場を持ち、地球や太陽の磁極の向きは反転を繰り返している。我々は以前、自転によって生じたテイラー柱に巻き付く電流が局所的に生成する磁場をマクロ・スピンで表したモデル（中道、森、森川）を用いて、地磁気の不規則な反転やスーパークロン、太陽磁場の規則的な反転を再現し、ダイナモが示す性質を理解してきた。2019年春季年会では、3次元に拡張したマクロ・スピン・モデル（國友、中道、原）を用いて、木星の特異な磁場は、磁極反転をする直前である可能性があることを示し、天王星、海王星の磁場構造の観測結果も再現した。（中道、森川）

メッセンジャー探査機によって観測された水星の磁場は、双極子が惑星の中心から北へずれた場所に存在すると解釈されている。本年会では、水星の特異な磁場も、ダイナモ要素の位置をずらさないままマクロ・スピン・モデルで説明できる可能性を示す。

また、マクロ・スピンが存在するダイナモ領域の割合、及び、惑星の内部構造の中層（流体鉄または金属水素）か外層（マントルまたは液体水素）のいずれが卓越するかによって、惑星磁場のパターンを地球型、木星型、土星型、化石磁場型に分類し、全ての太陽系惑星をマクロ・スピン・モデルにより統一的に扱う。

さらに、マクロ・スピン・モデルに惑星内部の熱の流れと惑星外部へのエネルギーの散逸を導入して理論モデルを散逸系へ拡張し、熱の流量と磁極反転のタイムスケールとの関係について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P331b 周巨大惑星における Liquid Water Belt 1 : シンプルモデル

鴨川弘幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

近年、巨大ガス惑星周りの幾つかの衛星で大量の水の存在が活発に論じられている。例えば、木星の第2衛星であるエウロパでは、適切な厚さを仮定した氷地殻の下に、熱水噴出孔を熱源とした内部海 (subsurface ocean) が存在するモデルが構築されている。直接的な観測的証拠は得られていないものの、そこでの氷地殻表面のカオティックな構造やクレーターの少なさ、そして期待される衛星の平均密度の解釈などから強く内部海の存在が示唆されている。

このような水を大量に持つ衛星の存在条件については、潮汐加熱を熱源とした熱伝導や対流、そして、放射冷却などのバランスから首尾一貫したモデルが組み立てられている。しかしながら、巨大惑星からの距離を指標とした、ハビタブルゾーンのような水の存在可能領域の定義が十分であるとは言い難い。我々は古典的な Shapley (1953) の定義に倣い、Circumplanetary Liquid Water Belt (CLWB) と呼び、その概念設計に着手している。

本研究ではまず、大量に水を有する CLWB を定量的に見出すアルゴリズムの構築を目標としている。現在、内側境界の条件の定量化に着手しており、試みに、水の昇華温度で評価した放射冷却率と潮汐加熱率のつり合いで定義した。興味深いことに、内側境界の条件は衛星と惑星の質量比で決まる (衛星半径に依存しない)。エウロパは期待通りこの条件を満たすが、イオもこの条件を満たす。これは、イオでは過剰に火山活動が起きた時代があったことを示唆する。本講演では、外側境界の評価についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P332c 周巨大惑星における Liquid Water Belt 2：対流の効果

釜谷秀幸, 鴨川弘幸 (防衛大学校)

巨大ガス惑星周りの幾つかの衛星における大量の水に関する議論が盛んに行われている。もっとも研究が進んでいるのは、木星の第2衛星であるエウロパと思われる。そこでは、適切な厚さを仮定した氷地殻の下に、熱水噴出孔を熱源とした内部海 (subsurface ocean) が存在するモデルが構築されている。ところで、このような大量の水の存在条件については、潮汐加熱を熱源とした熱伝導や対流、そして、放射冷却などのバランスから首尾一貫したモデルは組み立てられているものの、巨大惑星からの距離を指標とした、水の存在可能領域の研究は十分とは言い難い。そこで、我々は古典的な Shapley (1953) の定義に倣い、その領域を Circumplanetary Liquid Water Belt (CLWB) と呼び、その概念設計を試みている。

本研究ではまず、大量に水を有する CLWB を定量的に見出すアルゴリズムの構築を目標としている。パート1での講演では、内側境界の条件の定量化をシンプルに仮定し、水の昇華温度で評価した放射冷却率と潮汐加熱率のつり合いで定義した。本講演ではさらに、内部海の消失条件を対流の消失と関連付けた定式化を試みた。そうすると、評価されるミキシングレングスがスケール長より短くなる必要がある。加えて、その物理的現象の解釈を講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P333c M型矮星周りで実現可能な光合成色素の理論的探索

小松勇 (アストロバイオロジーセンター, 国立天文台), 滝澤謙二 (アストロバイオロジーセンター, 基礎生物学研究所)

リモートセンシングによって、地球の植生は検出される。本研究は、これを太陽系外惑星に応用する試みの一環であり、クロロフィル (Chl) などで知られる光合成色素の物理化学的な性質を理論的に調べるところから観測に有益な示唆、制限を与えることを目指している。

今後の観測はしばらく M 型矮星周りの惑星に焦点が当たり、このような光環境で光合成が実現されるか、その場合どのように観測にかかり得るかに興味が持たれる。近年では、酸素を発生する光合成生物のシアノバクテリアを近赤外線的光環境で生育すると、今まで知られるより長波長の光を利用する例が見られた (Nurnberg, D. J. et al., 2018)。このように、光合成の限界を我々はまだ知らず、観測に繋がる新たな知見を得ることを目指す。

本研究においては、人工的な光合成色素の物性を量子化学計算によって評価することにより、より赤い光を吸収し、光合成の反応に代替する可能性を探った。天然の光合成色素に加えて、人工色素の光物性や酸化還元特性などを評価した。色素の骨格構造や中心金属を様々に試し、周囲の溶媒の効果も取り入れて見積もった。

テトラピロールという Chl に見られる構造は環構造の中心に金属イオンを含むことにより物性が変わる。まずはテトラピロールを持つ色素の中心金属を替えて、その物性の幅を調べた。計算したものでは最低励起状態の吸収波長は 90nm 程の幅があり、より長波長を吸収するものは、典型的な Mg よりも 30nm 程長波長の光を吸収する Pb であった。結合エネルギーを計算すると、大きな原子半径を持つにも関わらず Pb は環構造の中心金属として比較的安定であった。さらには、テトラピロール以外の環構造を持つものについても発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a 銀河系中心部の磁気浮上ループ 1, 2 の根元における分子雲衝突

榎谷玲依, 鳥居和史, 松永健汰, 福井康雄 (名古屋大学)

分子雲同士の超音速の衝突 (cloud-cloud collision; CCC) は、ガスを効率的に圧縮することで星形成、特に大質量星の形成をトリガーする。このことは Habe & Ohta (1992) などを皮切りに数値シミュレーションによってよく示されている。さらに、近年、野辺山 45m 鏡や mopra 望遠鏡による銀河面の広域・高分解能 CO サーベイによって CCC 天体の検出数は飛躍的に向上し、現在では 50 を数える。銀河系中心部は、分子ガスの温度・密度・速度分散・磁場強度などの点で円盤部とは星間物質の物理環境が大きく異なる領域である (e.g., Morris & Serabyn 1996)。この領域では分子雲の体積密度が高いため、円盤部より頻繁に CCC が起こっていることが予想される。そのため、銀河系中心部における星形成率に直接関わる可能性があり重要である。しかしながらこれまでこの領域における CCC の系統的調査はなされてこなかった。我々は今回、これまで主に銀河面の天体において用いられてきた CCC の同定手法を適用することで銀河系中心部における CCC の調査を行った。分子雲衝突が十分期待でき、かつ速度構造が複雑でない領域として、銀河系中心から約 500 pc 離れた磁気浮上ループ 1, 2 根元の分子雲複合体をターゲットに選んだ。解析には Torii+10 にて得られた ^{12}CO ($J=3-2$) のデータを用いた。まずこの分子雲複合体に含まれる分子雲を 4 速度成分に分解した。さらに、第 1 成分と第 3 成分、第 2 成分と第 4 成分の間に分子雲衝突に特徴的な、分子ガスの相補的な空間分布、位置速度図における V 字型ブリッジ構造を発見した。相補的な分布を示す分子雲の分布のずれの量とアルフヴェン速度を用いて見積もった衝突時間は 10^{5-6} 年であった。本講演では、この領域において星形成活動が不活発であることと CCC の関係、円盤部と銀河系中心部の CCC の違いなどについて議論する。なお、本結果は Enokiya et al. (2019) として PASJ に投稿中である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q02a 銀河系中心部の $l = 1.3^\circ$ 分子雲複合体における分子雲衝突

松永健汰, 立原研悟, 榎谷玲依, 佐野栄俊, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大学)

$l = 1.3^\circ$ 分子雲複合体は、銀河系中心部の中でも特に速度分散が大きく、SiO の存在量が豊富であり、星形成は不活発な領域である (e.g., Tanaka et al. 2007)。銀河系中心部はガスの体積密度が銀河円盤部に比べ高いため、分子雲衝突が頻繁に起こっていると予想される。しかしながら、これまでに $l = 1.3^\circ$ 分子雲複合体に関する分子雲衝突の研究は無い。Enokiya +19(投稿中) では、銀河系中心部の分子雲衝突には熱的 SiO 放射が付随すると指摘しているため、この領域中の分子雲衝突を探索し、ガスダイナミクスや星形成に対しての影響を明らかにすることは重要である。解析には、NANTEN2、JCMT により得られた $^{12}\text{CO}(J = 2-1)$ 、 $^{12}\text{CO}(J = 3-2)$ のデータを主に用いた。まず、この領域の速度構造を調べるためにモーメントマップを作図し、速度の異なる二つの雲を発見した。次にこの 70 km s^{-1} の雲と 120 km s^{-1} の雲が相補的な空間分布を示すことを発見した。それぞれの雲の $^{12}\text{CO}(J = 1-0)$ から導出された柱密度は、 $3.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 、 $2.9 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ であり、雲同士の相対速度は $\sim 50 \text{ km s}^{-2}$ であった。この二つの雲は、位置-速度図上で V 字構造を示す。これは分子雲衝突時に起こる二つの雲の運動量交換に起因する特徴的な速度構造である。また、この付近の SiO の分布を Mopra の $\text{SiO}(J = 2-1)$ を用いて調べ、特に Clump 雲の分布とよく一致していることを確認した。これらの結果から、この領域で分子雲衝突が起きている可能性が高い。観測結果から、この分子雲衝突を引き起こす要因として、arm II、EMR と呼ばれる二つの軌道が $l = 1.3^\circ$ 分子雲複合体で交差することによる分子雲衝突と、パーカー不安定性に起因した磁気浮上ループの形成によって持ち上げられた分子ガスが重力によって $l = 1.3^\circ$ 分子雲複合体に落下した際引き起こす衝突が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q03a 高速度コンパクト雲 CO-0.26+0.02 の観測的研究

菅野 頌子, 岡 朋治, 辻本 志保, 岩田 悠平, 渡邊 裕人, 宇留野 麻香, 中川原 峻介, 横塚 弘樹,
小川 卓馬 (慶應義塾大学), 竹川 俊也 (国立天文台)

銀河系の中心から数百 pc の領域は中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) と呼ばれ、星の強い集中と大量の星間物質によって特徴づけられる銀河系内で最も特異な領域である。CMZ 中の分子雲は、円盤部と比較して高温・高密度かつ広い速度幅などの際だった特徴を示すことが知られている。その中でも極めて大きな速度幅とコンパクトな空間サイズの双方を有する高速度コンパクト雲 (High-velocity Compact Clouds; HVCCs) は、CMZ 自体の特異性との関連において活発な研究が進められている。

CO-0.26+0.02 は、JCMT で取得された CO $J=3-2$ スペクトル線データ内で発見された、大きさ約 1.5 pc かつ速度幅約 70 km s^{-1} の HVCC である。その CO $J=3-2/J=1-0$ 輝線強度比は、CMZ 内においても著しく高い (≥ 1.5)。今回我々は、CO-0.26+0.02 周辺における既存の分子スペクトル線データを精査するとともに、JCMT および NRO 45m 望遠鏡を使用した HCN $J=4-3$ 輝線および CS $J=2-1$ 輝線による追観測を行った。その結果、CO-0.26+0.02 の周囲において、 45 km s^{-1} 程度の速度幅をもつ空間的にコンパクトな分子雲を複数発見した。CO-0.26+0.02 とこれらの分子雲は、すべて同程度の力学的タイムスケールを有している。この分子雲群が 10 pc 程度という比較的広い領域に分布することを鑑みると、多くの HVCC の起源とされる、単一重力源との相互作用や局所的な爆発といった現象により形成されたとは考え難い。この分子雲群が持つ位置-空間構造への一つの解釈として、複数の点状重力源が CMZ に高速で突入するシナリオが考えられる。このような点状重力源の候補としては、銀河系ハロー部を由来とする球状星団が挙げられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q04a 銀河系中心領域の2つの molecular bubble 候補天体における SiO 輝線分布

辻本志保, 岡 朋治, 岩田悠平, 中川原峻介, 宇留野麻香, 渡邊裕人, 菅野頌子, 小川卓馬, 横塚弘樹 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心の $l=+1.3, -1.2$ 領域は、際立って広い速度幅 ($\Delta V \sim 100 \text{ km s}^{-1}$) と、高い CO $J=3-2/1-0$ 輝線強度比 (≥ 1.5) で特徴付けられる領域である。CMZ に対する CO 輝線によるサーベイ観測から、これら2つの領域にはそれぞれ、9つおよび5つの膨張シェルが検出されており、それらは超新星爆発数個から数十個にも匹敵する莫大な膨張エネルギー ($\sim 10^{48-52} \text{ erg}$) を持っていることが明らかとなった。また $l=+1.3$ 領域には3つ、 $l=-1.2$ 領域には1つの SiO クランプが膨張シェルの高速度端に付随して検出された。SiO 輝線は解離性衝撃波トレーサーであることから、これらのクランプは爆発現象の介在を示唆している。以上から我々は、 $l=+1.3, -1.2$ 領域は、それぞれ銀河系内最大級 ($\sim 10^6 M_{\odot}$) の大質量星団を内包し、複数回の超新星爆発によって形成された molecular bubble であると解釈している (辻本他、2017 春季年会 Q50a)。

今回、我々は野辺山 45 m 望遠鏡を用いて SiO $J=2-1$ 輝線による CMZ に対する広域サーベイ観測を行い、 $l=+1.3, -1.2$ 領域の複数の膨張シェルについて、衝撃波領域の空間・速度分布を詳細に調査した。その結果、これまでクランプ状構造の検出にとどまり、その運動状態が明らかとなっていなかった SiO 輝線放射が、膨張シェルの外縁に沿って分布し、シェルと共に膨張運動をしていることが明らかとなった。これは赤外線や X 線など他波長の対応天体が検出されない $l=+1.3, -1.2$ 領域において、molecular bubble 仮説を強く支持する。本講演では上記解析結果の詳細を報告し、赤外線データ等も合わせて $l=+1.3, -1.2$ 領域に潜む星団の性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q05a 銀河系中心 $l = +0^\circ 85$ に発見された高速度コンパクト雲群の観測的研究

渡邊裕人, 岡 朋治, 辻本志保, 岩田悠平, 菅野頌子, 宇留野麻香, 中川原峻介, 横塚弘樹, 小川卓馬 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト ($d < 5$ pc) でありながら極めて広い速度幅 ($\Delta V \gtrsim 50$ km s⁻¹) を有する高速度コンパクト雲 (HVCC) が多数存在する。私たちのグループは、James Clerk Maxwell Telescope で得られた CO $J=3-2$ 輝線の広域サーベイ・データを精査する過程で、1 箇所に集中した 6 つの HVCC を発見した。この HVCC forest は $(l, b) = (+0^\circ 85, 0^\circ 0)$ を中心とした $0^\circ 1$ (~ 14 pc@8 kpc) 四方の領域に分布する。このような HVCC の密集は CMZ 内にも類を見ず異例である。加えてその視線速度は -70 km s⁻¹ から -140 km s⁻¹ と負であり、銀河回転に逆行している。HVCC の大きさはいずれも $\sim 1-3$ pc 程度と比較的小型であり、高い CO $J=3-2/1-0$ 強度比 (> 1) を示す。

今回、私達は野辺山 45 m 望遠鏡で取得された SiO $J=2-1$ 輝線、CS $J=2-1$ 輝線による CMZ に対する広域サーベイ・データを精査した。これら 2 輝線は円盤部の吸収の影響が少なく、HVCC の実態をより良くトレースできる。結果として、この forest に属する HVCC は速度幅が最大で 120 km s⁻¹ にもなり、 $\sim 10^{50}$ erg の膨大なエネルギーを持つことが明らかとなった。また、SiO 輝線の検出は解離性衝撃波が生成に寄与した可能性を示唆する。さらに、HVCC 同士の近隣性、速度構造の類似性および同程度の年齢 ($\sim 10^4$ yr) から、これらは共通の起源を持ち、同時多発的に駆動されたと考えられる。加えて、銀河回転から大きく外れた HVCC forest のシステム速度より、駆動源としてハローなど銀河面外から落下してきたガス雲や星団が想定される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q06a CO $J=3-2$ データを使用した銀河中心高速度コンパクト雲の自動同定

宇留野麻香、岡朋治、岩田悠平、辻本志保 (慶應義塾大学)、竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心分子層では高速度コンパクト雲 (High Velocity Compact Clouds; HVCC) と呼ばれる空間的にコンパクト ($d \geq 5$ pc) かつ非常に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$) を有する特異分子雲が多数発見されている。HVCC は分子ガスの集中する領域に存在する為一般にその同定作業は困難であり、その概数や空間・速度分布に関する統一的な知見は未だ得られていない。徳山らの先行研究 (2016 年秋季年会 Q07a) で開発された自動同定アルゴリズムによって以前までの主観に偏った同定状況が著しく改善されたものの、NRO 45m 望遠鏡によって取得された CO $J=1-0$ データ内に目視で確認される HVCC 全てを自動同定するレベルには到達できていない。

今回私達は、JCMT で取得された CO $J=3-2$ 輝線の大規模データに対し HVCC 自動同定アルゴリズムを適用した。これは、CO $J=3-2$ 輝線が $J=1-0$ 輝線より高温かつ高密度な領域から放射される為、加熱・圧縮プロセスが働いている HVCC をより効率的にトレースできる可能性を期待したものである。自動同定アルゴリズムは、(1) 円盤部の吸収を軽減する pressing method、(2) 空間的にコンパクトで広い速度幅を持つ成分を抽出する unsharp masking、(3) 雲構造を同定する modified CLUMPFIND の 3 段階のプロセスから成る。今回の同定作業では、輝線の変更に伴う各パラメータの再検討を入念に行うとともに、目視で確認される HVCC との対応を最大化するように判断基準を厳密化した。その結果、CO $J=3-2$ 輝線データ中に 76 個の HVCC 候補天体が検出された。講演では、この HVCC 候補リストに基づき、銀河系中心分子層内における空間・速度分布及び力学的パラメータの統計的性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07b 高速度コンパクト雲 CO 0.020.02 の 3 mm 帯ラインサーベイ観測 (II)

中川原峻介, 岡 朋治, 岩田悠平, Justin A. Roll, 辻本志保 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心分子層に多数発見された高速度コンパクト雲 (High-velocity Compact Cloud; HVCC) は、空間的にコンパクトかつ非常に広い速度幅をもつ特異分子雲群である。銀河系中心核 Sgr A* の約 5 分角東側に位置する CO 0.02–0.02 は、特に運動エネルギーの高い HVCC である。この天体は、南西部にある赤外線点源の集団の存在から、巨大星団中の超新星爆発によって加速されたものと解釈された。一方で、この雲の複雑な膨張運動やエネルギー注入率の観点から、超新星起源とする解釈には疑問が呈されていた。

岩田らは、CO 0.02–0.02 の起源解明を目的に野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて波長 3 mm 帯のラインサーベイ観測を行った。CO 0.02–0.02 内の最大 CO 柱密度方向、最大速度幅方向を観測し、81 GHz–116 GHz の範囲を 0.02 K のノイズレベルでカバーした (岩田他、2018 年秋季年会 Q03a)。今回我々は、2 方向において検出された 39 種の分子による 64 本のスペクトル線を、CO 0.02–0.02 を最もよくトレースする分子を選定する目的で分類した。スペクトルの形状から分類を行い、 HC_3N 、 SiO 、 CH_3OH 、 SO 、 H_2CS のスペクトル線が良いプローブであることを発見した。これらの分子が衝撃波プローブと高密度プローブであることは、CO 0.02–0.02 の生成に衝撃波を伴う圧縮・加熱過程が関与したことを意味する。これは従来より提唱されてきた超新星爆発起源を強く支持する結果である。また、2 方向で観測された輝線強度の比から、最大 CO 柱密度方向においてより衝撃波プローブ分子の高い輝線強度が検出されることが分かった。議論では、他の分子雲のラインサーベイ観測の結果との比較などについても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08b Carina complex の大質量星形成

藤田真司, 佐野栄俊, 榎谷玲依, 河野樹人, 立原研悟, 林克洋, 堤大陸, 吉池智史, 福井康雄 (名古屋大学), 西村淳 (大阪府立大学), 鳥居和史 (NAOJ)

Carina complex は銀河系内で最も活発に大質量星を形成している領域の一つである。40 pc 以上に渡る巨大な HII 領域の中心付近には年齢の若い (0.1–2 Myr 程度) 星団 Tr14, Tr15, Tr16 が存在し、約 70 個の O 型星が同定されている (Smith 2006)。このような領域の星形成史を解き明かすことは、大質量星形成の理解だけでなく、銀河の力学的進化及び化学的進化を考える上でも重要となる。その中でも Carina complex は距離が ~ 2.3 kpc と比較的近いため観測対象として適している。

我々は Mopra 望遠鏡で取得された ^{12}CO ($J = 1 - 0$), ^{13}CO ($J = 1 - 0$) のアーカイブデータ (Rebolledo et al. 2016) を用い、本領域に付随する分子雲の調査を行なった。その結果、異なる視線速度を持つ 4 つの分子雲を同定した。Spitzer 宇宙望遠鏡の中間赤外線データや NANTEN2 望遠鏡によって取得された ^{12}CO ($J = 2 - 1$) のデータとの比較から、これらのうち少なくとも 3 つの分子雲が星団と相互作用していることがわかった。さらに、分子雲衝突天体の典型的なシグネチャーとして知られる“相補的な空間分布”と“位置–速度図上での bridge feature” (e.g. Fukui et al. 2018) が、それぞれの星団付近で見られた。分子雲同士の位置関係や星団の年齢に対し、分子雲衝突によってこれらの星団の形成がトリガーされたというシナリオに矛盾はない。また、本領域に単一で存在する WR 星 HD 92740 の付近でも同様に分子雲衝突のシグネチャーが見られた。WR 星 HD 92740 は関連する分子雲の水素分子柱密度が Tr14 や Tr15 に比べて数分の一 ($\sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) と低いため、星団ではなく単一の WR 星の形成にとどまったと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q09b Convolutional Neural Network を用いた赤外線リング構造の識別

上田翔汰, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大), 鳥居和史, 竹川俊也 (NRO), 吉田大輔, 井上剛志, 藤田真司, 川西康友 (名古屋大), 伊藤篤史 (NIFS), 徳田一起 (大阪府立大/NAOJ), 松尾太郎 (大阪大)

近年、天文観測装置がもたらすデータ量は爆発的に増大し、自動解析技術の需要は高まっている。それに伴いデータ科学的手法の天文データへの適用例も増しているが、画像データ解析分野では、多くは星、系外銀河など、背景に対して境界が明確な構造物を対象としている。一方、銀河面に分布する星間物質のように、複雑な背景分布を伴う天体や、電波観測により得られる速度情報を持つデータへの適用例は未だ少ない。

我々は、星間物質の特徴的な構造を抽出する技術の開発・検証を目的とし、まず初めに星間物質の中でも背景と対象の境界が比較的明確な、銀河面に多数分布する赤外線リング構造に着目した。このような構造の多くは HII 領域を伴っており、Spitzer 望遠鏡による銀河面赤外線データから約 600 個が目視により同定されている。今回、深層学習モデルの中でも、Convolutional Neural Network (CNN) を用い、この 600 個のリング構造の識別試験を実施した。CNN は特徴抽出を行う畳み込み層と分類を行う全結合層からなり、画像識別に特化した性能を持つ。特徴が明確な Spitzer/GLIMPSE の $8\mu\text{m}$ データから、シェル構造の画像 600 枚と、座標とサイズを無作為に決定した非シェル構造の画像 600 枚用意し、うち 8 割を用いて学習し、残る 2 割で評価を実施した。解析には、Python のライブラリである Keras を用い、畳み込みレイヤー 8 層の深いネットワークを構築した。学習・評価の結果、認識精度 96 % を達成することに成功した。これにより、天の川の複雑な背景を持つ領域においても、CNN が星間ガスの特徴的な構造を抽出する手法として有効であることを確認した。今後、さらなる認識精度の向上に取り組むと共に、リング構造も含めた様々な形態の星間物質の自動識別器の開発を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q10a 銀河系円盤部における広速度幅分子ガス成分の探査

横塚弘樹, 岡朋治, 岩田悠平, 辻本志保 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (国立天文台)

私たちのグループでは、銀河系の中心 300 pc の領域 (銀河系中心分子層; CMZ) で多数発見された高速度コンパクト雲 (high-velocity compact clouds; HVCCs) の研究を多角的に行っている。それらは、空間的にコンパクト ($d < 10$ pc) かつ非常に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50$ km s⁻¹) という特徴を有する特異分子雲群である。HVCCs の多くは他波長域における対応天体を持たず、その起源は未だに解明されていない。そして、CMZ 以外の領域における広速度幅分子ガス成分については、これまでたった一例 (Bullet; 山田他、日本天文学会 2016 年秋季年会 Q36a) の検出に止まっている。

今回、HVCC 様の分子ガス成分を銀河系円盤部において探査する目的で、野辺山 45 m 望遠鏡で取得された CO $J=1-0$ 輝線サーベイデータ、および JCMT で取得された CO $J=3-2$ 輝線サーベイデータを精査した。その結果、見かけの大きさが小さく ($< 0.1^\circ$) かつ銀河系円盤部の分子雲に典型的な速度幅 ($\Delta V \leq 5$ km s⁻¹) より有意に広い速度幅を呈する分子ガス成分を約 60 個発見した。文献や既存のカタログを調査したところ、それらは一つを除いて全てに他波長対応天体が存在し、多くは原始星からの双極分子流である可能性が高い。一方で、対応天体を伴わない広速度幅成分 (CO 16.13-0.552) は、今回発見されたものの中でも特に広い速度幅 ($\Delta V \sim 30$ km s⁻¹) を有し、細長い空間的構造が顕著である。講演では、CO 16.13-0.552 の詳細な解析結果を紹介し、空間・速度構造からその起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q11a 中間速度 HI 雲 IVC+135+54-45 の重元素量

早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

中間速度 HI 雲 (intermediate velocity cloud; 以下 IVC) は、中高銀緯に存在し、銀河回転に従わない $|V_{\text{LSR}}| \sim 20\text{--}100$ km/s の天体である。銀河円盤に由来するとも銀河系外に由来するとも言われている IVC の起源を考える上で、その重元素量は重要な手がかりとなる。我々は、*Planck/IRAS* による 353GHz のダスト光学的厚み τ_{353} データ (Planck Collaboration 2014) を使って、ガス-ダスト比から IVC の重元素量を推定する手法を確立した。おおよその手順は、(1) IVC に隣接する参照領域で HI 積分強度 $W_{\text{HI}-\tau_{353}}$ 相関関係を得、それをを用いて (2) IVC 方向の τ_{353} に対する低速度ガスの寄与 ($\tau_{353}^{\text{local}}$) を推定し、差し引く ($\tau_{353}^{\text{IVC}} = \tau_{353} - \tau_{353}^{\text{local}}$)、そして (3) $W_{\text{HI}-\tau_{353}}^{\text{IVC}}$ と (1) の比較から IVC の重元素量を推定する。この手法を IVC+86-36 及びマゼラニックシステムに適用した結果を報告して来た (Fukui et al. 2018, 早川他 2019 年春季年会, 山本他 2019 年春季年会)。

本講演では、新たに解析した IVC+135+54-45 の重元素量について報告する。中銀緯に存在する IVC+135+54-45 ($V_{\text{LSR}} = -45$ km/s) は、IVArch (-55 km/s) 及び -70 km/s ガスと空間的速度的に重なって存在する。 τ_{353} では IVC+135+54-45 のカウンターパートを確認できるが、後者 2 天体については見られない (即ち、重元素量が低い)。IVC+135+54-45 の重元素量は $\sim 0.8Z_{\text{local}}$ と推定され、IVArch 及び -75 km/s ガスの重元素量は $0.3Z_{\text{local}}$ を超えない。この結果は、IVC の重元素量が一様では無く、起源が単一で無いことを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q12b 可視光色超過で探る分子雲表面でのダストの成長：おうし座分子雲の場合

土橋一仁, 吉田悠人, 西浦慎悟 (東京学芸大学), 上原 隼 (桐朋中学・高校), 直井隆浩 (情報通信研究機構), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

希薄な星間空間で形成される初期のダストは、ナノサイズの微小なダストであると考えられる。これが密度の高い分子雲ではサブミクロンサイズに成長し、より濃密な分子雲コアや星周円盤ではさらに大きなダストとなる。ダスト粒子の最初の成長は、おそらく希薄な星間空間から密度の高い分子雲に取り込まれるときに起きる。その変化は、分子雲表面でのダストの光学的性質の変化として現れることが期待される。

そのような変化を観測的に捉えるため、我々は東京大学木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡を用いて幾つかの近傍分子雲に対して可視光 (BVRI) による測光観測を遂行した。これに 2 Micron All Sky Survey (2MASS) 点源カタログの近赤外線データ (JHKs) を加えた合計 7 バンドで、分子雲内外での色超過マップを描き出した。おうし座分子雲 (TMC) に対して得られたデータを解析したところ、ダストの性質を反映する $E(R-I)/E(B-V)$ などの色超過の比が、 A_V 換算で 0.5 – 1 mag の領域を境に分子雲内外で変化していることを見出した (吉田ほか, 2019 年春季年会)。Draine & Lee (1984) のダストモデルに基づく計算結果 (直井ほか, 本年会) と比較すると、この色超過の比の変化は、ダストの粒径サイズの違いを反映しているものと考えられる。すなわち、分子雲の外側には小さなダスト (粒径分布の最大半径で $R_{\max} \simeq 50$ nm 程度) が、分子雲の内側には大きなダスト ($R_{\max} \simeq 0.2$ μm 程度) が分布している。同様の変化は、おうし座以外の他の分子雲でもしばしば見られることもわかった。小さなダスト同士が衝突合体するタイムスケールは十万年程度 (Stepnik et al. 2003) と見積もられるので、これらの変化は分子雲表面でのダストの成長を反映しているものであると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13c 代表的光学システムの透過特性を考慮した Mie 散乱理論による減光量の計算

直井隆浩 (情報通信研究機構), 土橋一仁, 吉田悠人, 西浦慎悟 (東京学芸大学), 上原 隼 (桐朋中学・高校), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

Mie 散乱理論を用いて、代表的な光学システムの透過率を考慮した減光量の計算を行った。

星形成領域におけるダストの性質について議論する観測的手法のひとつとして、可視光から近赤外線波長域の測光観測が広く用いられている。本研究では、減光観測を評価する際のダスト成長や物性に対する議論に利用可能な減光の絶対量を計算した。光学システムによって各波長バンドの透過率や検出器の感度特性が異なるため、異なるシステム間のデータ比較には変換式を用いるなどの注意が必要となる。本研究では代表的な光学システムに対して計算を行っており、身近なシステムに変換することで、減光をもたらすダストのより詳細な議論を可能にしている。

計算は Mie 散乱理論を用い、球形ダストを仮定した (Bohren & Huffman 1983)。ダストの柱密度は 10^{12} cm^{-2} 、ダストのサイズ分布として MRN モデルを用い (Mathis, Rumpl, & Nordsieck 1977)、最小サイズを半径 0.003 ミクロン、最大サイズをパラメータとすることで、ダスト成長について議論できるようにした。ダストの物性にはアルベドの大小から Graphite と Silicate を利用した (Draine & Lee 1984, Laor & Draine 1993)。光学システムは、Johnson-Cousins、2MASS、GAIA、Pan-STARRS1 をそれぞれ適用した。その結果、減光量は一般にダストサイズに従って増加し、特に半径 0.1 ミクロンから大きくなった。また、Graphite の方が Silicate よりも減光量が相対的に大きいのが、物性の混合比の相違による各波長バンドの色超過の変化は、ダスト半径 0.1 から 0.5 ミクロン付近に優位な違いが認められる程度であった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14b 低金属環境における超音速星間乱流

中津川大輝, 井上剛志 (名古屋大学)

Koyama & Inutsuka (2002) で行われた加熱冷却を考慮した現実的な星間媒質の2次元流体シミュレーションでは、衝撃波圧縮を受けた星間媒質内に多数の低温高密度のクランプが形成されることが示された。形成された低温高密度な分子雲クランプは自身の音速に対しては超音速で高温低密度領域の中を動き回る特殊な乱流状態を形成する。乱流自体は上流に非一様性があれば衝撃波面で自然に生成されるが (e.g., Inoue et al. 2013)、それがなぜ上述の ” 超音速状態 ” に遷移するのかは未だ明確に理解されていない。衝撃波下流では冷却によって音速が低下することが重要であるが、それだけでは乱流の起源とはなり得ないことは明らかである。

冷却が効かない断熱ガス中の衝撃波伝搬のシミュレーションによると乱流の速度分散は亜音速にとどまることが知られている (Inoue et.al 2013)。加熱機構は星間ダストによる光電加熱, 高温低密度領域における冷却は水素原子の Ly- α 輝線の放射が主であるが、低温高密度領域における冷却の機構は炭素をはじめとする金属原子の微細構造輝線が主であり、低温高密度領域において冷却がどの程度効くのかは金属量に依存する。ところが、Koyama & Inutsuka (2002) や Inoue & Inutsuka (2012) をはじめとした超音乱流分子雲の形成シミュレーションは太陽近傍の金属量で行われたものがほとんどであり、金属量を変えて行われたものはほぼない。

そこで本研究では、金属元素による加熱冷却を考慮した流体力学シミュレーションを行い金属量と超音速乱流の関係を調べた。その結果、金属量に反比例して乱流の成長に時間が掛かるということ、熱的不安定性で生じた高密度クランプと衝撃波面の相互作用によって速度分散が超音速となるということがわかってきた。本講演では流体力学シミュレーションの結果を紹介し、星間乱流の起源や性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q15a *Chandra* 衛星による Tycho's SNR の縞状非熱的 X 線放射の時間発展観測

松田真宗, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛, 尾近洗行, 天野雄輝 (京都大学)

Tycho's SNR は、1572 年に起こった Ia 型超新星爆発の残骸である。この天体には南部と西部に、 $\lesssim 10$ arcsec の幅を持つ数本の縞状構造が存在する (Eriksen et al., 2011)。この構造は磁場乱流を示唆する周囲より硬い非熱的 X 線放射を放つことが分かっているが、他の超新星残骸には見られない特異なものであり、その成因は未だ明らかになっていない。この縞状構造の成因を探る手段として、我々は非熱的放射の時間変化に着目した。Okuno et al. 2019 では、Tycho's SNR の縞状放射が形成されつつあると思われる部分で、時間変動の解析が行われた。その結果、この部分の放射は増光するにつれて硬くなることが明らかになり、増幅された磁場が粒子加速やシンクロトロン冷却を促進し、粒子のエネルギー分布が年単位で変化した可能性が指摘された。この場合、変動のタイムスケールから、 $\sim 100 \mu\text{G}$ 程度まで磁場増幅が起きていると見積もることができる。このように、時間変化の探査は縞状構造の成因を議論する上で重要な手がかりとなる。本研究では、Okuno et al. 2019 で使用された、2003 年、2007 年、2009 年、2015 年の計 4 回の *Chandra* X 線観測衛星の観測データに 2000 年と 2017 年のデータも加え、解析領域を縞状放射全体に拡大し、縞ごとのスペクトルの変化やその空間依存性を調べた。本講演では、今回の解析で得られた結果について述べ、先行研究との比較・検討を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q16a *Chandra* 衛星による超新星残骸 G344.7-0.1 の観測

福島光太郎 (東理大), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 勝田哲 (埼玉大), 小林翔悟, 松下恭子 (東理大)

Ia 型超新星爆発は白色矮星への質量降着や白色矮星同士の合体によって起こり、Si や Fe などの重元素を合成することで知られるが、爆発の詳細なメカニズムは未解明である。これを解明するためには、Ia 型の超新星残骸 (SNR) における重元素の空間分布の調査が鍵となる。イジェクタの分布は、*Tycho* や *Kepler* など X 線で明るい天体で詳しく調べられているが (e.g. 山口+14, 春日+18)、若い SNR では逆行衝撃波が中心に到達しておらず、SNR 全体の重元素分布を調べることができなかった。銀河系内の SNR G344.7-0.1 は比較的高齢 (~4000 yr) のため中心部まで逆行衝撃波が到達し、イジェクタが全て加熱されている。また G344.7-0.1 では他の高齢の SNR と異なり、Fe K 輝線が観測できる (山内+05, 山口+12)。この 2 点は Ia 型 SNR の Fe 分布調査における大きな利点で、現在観測されている SNR では G344.7-0.1 に固有の特徴である。そこで我々は元素分布調査に適した高い角分解能を誇る *Chandra* で G344.7-0.1 を 210 ks に渡って観測した。

このデータの解析により Si のシェル構造を確認し、その内側に Fe K 輝線の放射が特に集中していることを発見した。この集中部分から放射される Fe K 輝線は中性 Fe 相当の輝線エネルギー (~6.4 keV) を示し、Si シェルより外側に分布した Fe の輝線エネルギー (~6.46 keV) に比べ 2σ で低エネルギーであった。Fe K 輝線エネルギーは概ね Fe が高電離であるほど高く、この結果は集中分布した Fe がシエルの外側に分布する Fe よりも低電離であることを示す。SNR の逆行衝撃波は外側のイジェクタから順次加熱するため、爆発中心に近いプラズマが最も低電離となることが理論的に予測される。したがって本観測結果は、集中した Fe の分布位置が真に爆発中心であったことを強く示唆しており、親星の中心近くで多量の Fe が生成された事実を初めて明確に示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q17a Chandra 衛星を用いた 重力崩壊型超新星残骸 N132D の膨張構造解析

島内康輔、春日知明、鈴木寛大、小高裕和(東京大学)、Paul Plucinsky(CfA)、馬場彩(東京大学)

超新星残骸の膨張構造を理解することは、爆発の機構や残骸の成長過程を知るために必要不可欠である。Ia 型超新星残骸では、その観測が多数行われている (Williams et al. 2017, Sato et al. 2017, Kasuga et al. 2018)。一方で重力崩壊型超新星残骸では、Cassiopeia A (Delaney et al. 2010) を除くと観測例は少なく、未だに理論モデルとの検証が十分に行われているとは言えない。そのため、より多くの重力崩壊型超新星残骸において膨張構造の観測をすることが重要である。

N132D は、大マゼラン雲において X 線帯域で最も明るい重力崩壊型超新星残骸である。本天体は、middle-aged への過渡期にあることが知られている (Bamba et al. 2018)。膨張構造について、南西部は分子雲との相互作用により円形をしている一方、北部では低密度領域へ blown-out をしており (Hughes 1986)、一様ではない。さらにその膨張に伴う内部構造変化については議論の余地を多く残している。

そこで我々は、X 線衛星 Chandra による複数時期の観測データ (2000 年、2006 年、2019 年) を比較し、X 線イメージの時間変化やドップラー速度等の情報から膨張構造を解析した。これまでの研究で Si K 輝線のエネルギーバンドでの中心エネルギーと輝線幅のマップを作成し、明らかに 2000 km s^{-1} を超えてドップラーシフトを起こしている knot がないことを確認した。本講演では、イメージングによる膨張構造の解析結果も組み合わせ、南西部領域と北部領域の運動の違いについても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q18a XMM-Newton RGS を用いた超新星残骸 N132D の高分解能 X 線分光解析

鈴木 瞳, 中庭 望 (首都大), 山口弘悦, 石田 學, 前田良知 (宇宙研), 内田裕之 (京都大)

超新星残骸の X 線スペクトルは、星の内部で作られた重元素や星間物質からの輝線を含むため、親星や周辺環境の特徴を知る手がかりとなる。本研究では、大マゼラン星雲内の重力崩壊型超新星残骸 N132D に注目した。先行研究からは、星間物質起源の熱的 X 線が卓越する年齢 2500 年程度の残骸であることが知られている (Behar et al. 2001; Vogt & Dopita 2011)。欧州の X 線天文衛星 XMM-Newton は検出器の機上較正を主目的にこの天体を 1 Msec を超えて観測しているが、このデータは較正目的以外でほとんど活用されていない。そこで我々は、特に分光能力の高い「反射型回折分光器 RGS」の網羅的なスペクトル解析を行った。

RGS による N132D のデータのうち、先行研究で報告されているのは、衛星打ち上げ直後の 53 ksec の観測分のみである (Behar et al. 2001)。彼らの研究では、6–37Å の波長域において C, N, O, Ne, Mg, Si, S, Fe の輝線が分離され、Fe の電離状態から電子温度 0.2–1 keV の電離平衡プラズマが複数成分存在することが示唆されているが、モデルフィッティングによって定量的に確認されたわけではない。我々はこの先行研究よりも 10 倍以上統計の良いデータを用いて、定量的なスペクトル解析を行った。上記に加えて Ar と Ca の L 殻輝線を新たに検出できたほか、0.3–2.0keV のスペクトルが多温度プラズマモデルでよく再現できることを確認した。また、先行研究で使われた 1 次光スペクトルよりも分解能が 2 倍高い 2 次光スペクトルを用いることで、Ne IX の共鳴線と禁制線の分離に初めて成功した。これによって、プラズマの温度や電離状態の精密測定が可能になるだけでなく、内殻電離や電荷交換反応など、通常の電離平衡プラズマでは見られない原子過程のシグナルを探することもできる。本講演ではその詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q19a 超新星残骸 N49 の X 線精密分光スペクトルにおける共鳴散乱の兆候の発見

天野雄輝, 内田裕之, 田中孝明, 尾近洗行, 松田真宗, 鶴剛 (京都大学)

N49 は大マゼラン雲に位置し、年齢約 5000 年と見積もられている、重力崩壊型の超新星残骸 (SNR) である。先行研究では、南東部の広い領域における分子雲との衝突が報告されている (e.g., Yamane et al. 2018)。我々は、XMM-Newton 衛星搭載の回折格子分光装置 (RGS) を用いて、N49 の精密分光解析を行った。2018 年秋季年会発表 (Q31a) では、N49 のスペクトルにおける OVII $K\alpha$ 禁制線/共鳴線の強度比が光学的に薄い熱的なプラズマからの放射では、説明できない大きな値であることを報告した。大きな禁制線/共鳴線強度比に特徴を持つ素過程として、イオンと中性物質の相互作用による電荷交換反応や、輝線光子がプラズマに吸収されることによる共鳴散乱がある。本講演では N49 における電荷交換反応や共鳴散乱の可能性について検討する。電荷交換反応からの放射は、OVII $K\alpha$ 禁制線/共鳴線の強度比を説明できるが、全エネルギー帯のスペクトルは説明できない。N49 のスペクトルにおける OVII $K\alpha$ 禁制線/共鳴線、OVIII $Ly\beta/Ly\alpha$ 、Fe XVII (3s-2p)/(3d-2p) などの輝線の強度比は、振動子強度の大きい (共鳴散乱を受けやすい) 輝線の強度が弱い傾向を示している。これらの輝線の強度比のいくつかは、視線方向にイオン化した吸収体を仮定した場合、共通の水素柱密度でよく説明できる。吸収体については、プラズマ深さの見積もりから N49 のリムにおける自己吸収の可能性が高い。本研究は、Kaastra & Mewe (1995) によって以前から指摘されていた、SNR での共鳴散乱による自己吸収の強い証拠となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q20a 30 Doradus 複合領域における中性鉄輝線の調査

信川久実子 (奈良女子大学)

低エネルギー宇宙線起源の可能性が高い中性鉄輝線が、銀河系中心領域にある Arches 星団周辺の分子雲、銀河面上の分子雲、系内の複数の超新星残骸で見つかり (Tatischeff et al. 2012, A&A, 546, A88; Nobukawa et al. 2015, ApJ, 807, L10; Nobukawa et al. 2018, ApJ, 854, 87 他)、中性鉄輝線を用いた低エネルギー宇宙線の測定ができるようになってきた。低エネルギー宇宙線は、ガンマ線を出す高エネルギー宇宙線と比べて加速源の近傍に存在するため、中性鉄輝線の分布測定によって加速現場がより明確になる。

30 Doradus は大マゼラン雲に存在する大質量星形成領域である。中心には大質量星団 R136 があり、R136 の南西にはパルサーを付随した超新星残骸 N157B も存在する。R136 の周囲には、星間ガスに囲まれた複数のスーパーバブルが見つかっていて、内部は X 線プラズマで満たされている。これらは星風や超新星爆発で形成されたと考えられている。また Fermi によるガンマ線観測でも、30 Doradus は大マゼラン雲の中で最も明るく、大質量星形成領域で宇宙線が加速されていると考えられている (Abdo et al, 2010, A&A, 512, A7)。我々は 30 Doradus 領域に低エネルギー宇宙線もたくさん存在している可能性があると考え、すざくによる観測データを用いて中性鉄輝線放射を探索した。その結果、スーパーバブルの縁に中性鉄輝線放射の兆候を見いだした。本講演で解析結果の詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q21a 小マゼラン雲の超新星残骸 RX J0046.5–7308 に付随する分子雲の発見

佐野栄俊, 山根悠望子, 柘植紀節, 井上剛志, 犬塚修一郎, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 松村英晃, 藤井浩介 (東京大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 他 RX J0046.5–7308 プロジェクトチーム

超新星残骸 (SNR) と星間物質の相互作用は、過去 20 年間で飛躍的に理解が進んだ。衝撃波は中性ガス雲の加熱/圧縮/加速を通して銀河の物質循環を促す (e.g., Seta et al. 1998)。非一様星間媒質への衝撃波の突入は磁場乱流を増幅し、シンクロトロン放射の増光を引き起こす (e.g., Inoue et al. 2009; Sano et al. 2013, 2017a,b)。一方これらの研究は、銀河系または大マゼラン雲の SNR に限られる。現象の普遍性を宇宙史レベルで理解するには、宇宙初期に近い低重元素量環境下—小マゼラン雲 ($Z_{\odot} \sim 0.05-0.2$)—にある SNR への研究拡張が必要である。

RX J0046.5–7308 は小マゼラン雲のシェル型 SNR であり、X 線と電波連続波で明るい (e.g., Filipović et al. 2008)。直径 ~ 40 pc、年齢は 15000 年とされている (e.g., van der Heyden et al. 2004)。星形成領域 N19 に位置するため重力崩壊型と考えられているが証拠はなく、星間雲の付随も報告されていない (e.g., Rubio et al. 1993a,b)。

今回我々は ASTE および Mopra 電波望遠鏡による $^{12}\text{CO}(J=3-2, 1-0)$ 輝線観測 (空間分解能 $\sim 8-13$ pc) を行なったので報告する (Sano et al. 2019, arXiv:1904.04836)。8 個の分子雲が、SNR 南部と北部のシェルに沿って分布している。うち 4 個は CO 3–2/1–0 輝線強度比が 1.2 以上であり、加熱源となりうる点源が存在しない。ASKAP HI データ (McClure-Griffiths et al. 2018, 空間分解能 ~ 8 pc) も解析した結果、SNR の広がりに対応する $\Delta V \sim 3$ km s $^{-1}$ の膨張シェル構造が見つかった。*Chandra* X 線のスペクトル解析から、年齢 26000^{+1000}_{-2000} 年および母天体の質量 $> 30 M_{\odot}$ と観測的制限をつけることができた。以上を踏まえて本講演では、SNR RX J0046.5–7308 が、wind-blown bubble 内での重力崩壊型超新星爆発によって形成された可能性を指摘する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q22a 超新星残骸候補 G189.6+3.3 の X 線スペクトル

山内茂雄、大屋萌、信川久実子 (奈良女子大学)

超新星爆発の際に解放される巨大なエネルギーにより、高温プラズマガスが生成される。電子との衝突により電離は進行していき、十分時間が経過すると電離状態が電子温度と等しい電離平衡状態となる。星間空間は星間密度が低いので、数千年から数万年の年齢を持つ超新星残骸では電離進行プラズマとして観測される。しかし、近年、電離の状態が電子温度よりも高く、電離よりも再結合が優勢となっているプラズマが発見され (例えば、IC 443: Yamaguchi et al. 2009, *Astrophys. J.*, 705, L6, W49B: Ozawa et al. 2009, *Astrophys. J.*, 706, L71)、その形成過程が議論となっている。再結合優勢プラズマはどのような超新星残骸に付随するのか、を調べることは、形成過程を検証する上で重要な情報になる。

G189.6+3.3 は、ROSAT 衛星により IC 443 の近傍に発見された、シェル状の構造を示す広がった X 線放射で、X 線スペクトルは低温度のプラズマからの放射モデルで説明されることから、超新星残骸ではないかと指摘されている (Asaoka and Aschenbach 1994, *Astron. Astrophys.*, 284, 573)。しかし、ROSAT 衛星による報告以降、詳細な観測は行われておらず、X 線放射の特徴については全くわかっていない。

すざく衛星は G189.6+3.3 の北と東の 2 領域を観測している。私たちはそのうち東領域のデータの解析を行った。X 線スペクトルには Ne, Mg, Si, S の輝線が見られ、プラズマからの放射であることを確認した。さらに Si の RRC と思われる構造が見られ、再結合優勢プラズマである可能性を示唆する結果を得た。そこで、再結合優勢プラズマモデルを用いると、よく再現できることがわかった。講演ではこの解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q23a Boomerang パルサー風星雲と超新星残骸 G106.3+02.7 からの超高エネルギーガンマ線放射

岡知彦, 梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也, 平子丈, 増田周 (京都大学), 緒方智之, 櫛田淳子, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大学), 浅野勝晃, 稲田知大, 岩村由樹, 大谷恵生, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 永吉勤, 野田浩司, Daniela Hadasch, 深見哲志 (東京大学), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東京大学, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 中森健之 (山形大学), 井上進 (理化学研究所), Wlodek Bednarek (Univ. of Lodz), Pratik Majumdar (Saha Inst. of Nuclear Phys.), 他 MAGIC Collaboration, 佐野栄俊, 福井康雄 (名古屋大学)

Boomerang パルサー風星雲領域は、パルサー PSR J2229+6114、パルサー風星雲 G106.6+2.9、超新星残骸 G106.3+2.7 が複合的に存在する領域であり、電波の観測では複雑な空間構造を示すことが分かっている。超高エネルギーガンマ線観測では、Milagro 実験により 35 TeV 以上の放射が検出されており (Abdo et al., 2009)、さらに、VERITAS 望遠鏡による観測では、ガンマ線 (630 GeV 以上) の放射領域と分子雲分布の一致が指摘され、陽子起源放射である可能性が議論されている (Acciari et al., 2009)。しかし、近くに活発なパルサーが位置しているため電子起源放射の可能性もあり、未だ双方を切り分ける証拠はなく、放射起源断定には至っていない。我々は MAGIC 望遠鏡の観測 (200 GeV 以上) により、この領域のガンマ線放射分布が空間的に 2 つに分離できる示唆を得た。さらに、FCRAO 電波望遠鏡による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線データを用い、分子雲密度分布を求め、ガンマ線放射分布との相関を調べた。以上の解析からこの領域におけるガンマ線放射が 2 成分からなる示唆を得た。本講演では、MAGIC 望遠鏡および電波データの解析結果を報告し、放射機構について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q24a 超新星残骸 RX J1713.7–3946 北西領域の hot-spot の解明

日暮 凌太, 辻 直美, 内山泰伸 (立教大学)

観測される宇宙線スペクトルのうちエネルギーが約 3 PeV (“knee”) 以下の銀河宇宙線の起源として、超新星残骸が有力候補と考えられてきた。超新星残骸から観測される非熱的な X 線放射は、被加速電子によるシンクロトロン放射と考えられている。電子は超新星残骸の衝撃波面を往復することでエネルギーを獲得し光速に近い速度まで加速される。本研究の目的は、非熱的な X 線放射が支配的な超新星残骸 RX J1713.7–3946 (以後、RX J1713) 北西領域のシェル内に存在する点源状に明るい謎のコンパクト構造 (hot-spot) の正体を解明することである。RX J1713 は TeV ガンマ線で明るいため高エネルギー粒子の存在が確定的であり、超新星残骸での粒子加速研究において重要天体と考えられている。さらに、電波と X 線の観測から分子雲や分子雲クランプとの相互作用が示唆されている。これまでに、超新星残骸で hot-spot のように非熱的でコンパクトな構造が生成されることは観測されていない。本研究によって、RX J1713 北西領域のシェル内では周囲の星間空間と比べ hot-spot 数が顕著に多いことから、hot-spot が RX J1713 由来である可能性を初めて示した。さらに、hot-spot に対しエネルギースペクトルの解析、時間変動の解析を行った。これらの解析結果から、衝撃波で加速された電子や、衝撃波で加速された陽子と分子雲コア内の物質との相互作用で生じる二次電子が、衝撃波と分子雲コアの相互作用で増幅した磁場や分子雲コア内部の磁場でシンクロトロン放射することにより hot-spot が生じると考えられる。本発表では hot-spot の成因について、より定量的かつ詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q25a チベット空気シャワー観測装置による 100 TeV 領域ガンマ線の観測

雨森道紘 (弘前大理工), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大教), 梶野文義 (甲南大理工), 笠原克昌 (芝浦工大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 木原渉 (信州大理), 高柚季乃 (信州大理), 小財正義 (宇宙研), 三井嘉子 (横浜国大工), 宗像一起 (信州大理), 中田大樹 (横浜国大工), 南條宏肇 (弘前大理工), 西澤正己 (国立情報学研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 大浦敏宏 (横浜国大工), 小澤俊介 (情報通信研), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 坂田通徳 (甲南大理工), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 千石由佳子 (横浜国大工), 柴田槇雄 (横浜国大工), 塩見昌司 (日本大生産工), 杉本久彦 (湘南工大), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 立山暢人 (神奈川大工), 鳥居祥二 (早大理工研), 土屋晴文 (原子力機構), 有働慈治 (神奈川大工), 八木沢夏穂 (横浜国大工), 山本嘉昭 (甲南大理工), 横江諠衡 (東大宇宙線研), 他 The Tibet AS γ Collaboration

我々は中国との共同研究として、チベット高原の標高 4300 m に位置するチベット空気シャワー観測装置を用いた超高エネルギー宇宙線およびガンマ線の観測を行っている。チベット空気シャワー観測装置とその地下に設置した大面積水チェレンコフ型ミュオン観測装置を連動し、100 TeV 領域のガンマ線を超低雑音で観測することに成功した。本講演では、初めて観測された 100 TeV を超えるガンマ線の源である「かに星雲」やその他の天体からの 100 TeV 領域ガンマ線の観測結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q26a 多重電離効果を用いた FeK α 輝線精密分光観測による宇宙線中の準相対論的重イオンの探索

尾近洗行 (京大理), 今井誠 (京大工), 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京大理)

宇宙線のうち knee 以下のエネルギーのものは銀河系内に起源を持つと考えられている。これまで、X線/GeV–TeV γ 線によって、GeV–TeV帯域の宇宙線電子・陽子の観測が進められてきた。一方で、GeVよりもエネルギーの低い準相対論的宇宙線や重イオンは測定方法が確立しておらず、エネルギー密度、スペクトル、空間分布といった情報は一切不明である。近年、我々は、すざく衛星を用いた銀河中心領域に位置する分子雲の観測から、光電離ではなく準相対論的宇宙線起源の可能性が高い中性 FeK α 輝線 (6.4 keV) を検出した (Nobukawa et al. 2015)。さらに、超新星残骸と相互作用する分子雲からも、同様の起源と考えられる中性 FeK α 輝線を検出している (e.g., Okon et al. 2018, Nobukawa et al. 2018)。我々は、2022年度打ち上げの XRISM 衛星を用いた精密分光観測により、この FeK α 輝線の起源に決着と宇宙線中の重イオン検出を目指す。電荷を持った粒子が原子に衝突する際、複数の電子が同時に電離される過程 (多重電離) が存在する。例えば、Fe原子の場合、K殻とL殻の電子が一つずつ電離したときの FeK α 輝線の中心エネルギーは、K殻の電子が一つ電離したときの FeK α 輝線よりも、 ~ 20 eV 程度高エネルギー側にシフトする。多重電離は、衝突する粒子の電荷が大きくなるほど起こりやすくなる。したがって、Fe輝線が準相対論的宇宙線起源であれば、それに含まれる重イオンによって生ずる多重電離特有の輝線構造が検出されるはずである。我々は、地上ビーム実験データに基づく輝線構造のスケーリング則 (Horvat et al. 2006) と電離断面積 (Batic et al. 2013) から、宇宙線と Fe原子の衝突で生ずる FeK α 輝線構造を計算した。本講演では、この計算と宇宙線探索の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q27a NuSTAR 衛星による超新星残骸 W44 の拡散硬 X 線成分の観測

内田裕之, 田中孝明, 尾近洗行 (京都大学)

W44 は約 20,000 年前に大質量星の爆発によって生じた比較的明るい銀河系内超新星残骸のひとつである。東西から押し潰されたような扁平な構造は、この天体が大小の分子雲に挟まれる星間密度の濃い領域で成長したことを示している。電波では明確にシェル状、X 線では中心集中していることから、典型的な Mixed-morphology 型に分類される。X 線天文衛星すざくによる我々の先行研究では、W44 のほぼ全域の X 線スペクトルが過電離にあることを明らかにした (Uchida et al. 2012; Okon et al. in prep.)。一方、中心のパルサーの南北には拡散した硬 X 線成分があることを指摘したが、起源の特定には至らなかった (Uchida et al. 2012)。そこで我々はこの放射領域の素性を明らかにするために、NuSTAR 衛星による 2 点の追観測を行った。北部領域については、赤方偏移した鉄輝線が見つかったこと等、いくつかの傍証から未知の銀河団の存在が示唆される (Nobukawa et al. 2018)。一方、南部の拡散硬 X 線は非熱的放射の可能性が高い。この硬 X 線放射は、VLA や Chandra 衛星による先行研究で報告されたパルサー風星雲の放射領域のサイズ (Frail et al. 1996; Petre et al. 2002) よりも広がっており、直径数 pc の既知の分子雲 “C12” (Seta et al. 2004) と隣接している。今回の NuSTAR による追観測では、OH メーザー領域 (Claussen et al. 1997; Hoffman et al. 2005) 付近で特に強い放射があることを発見した。こうした観測事実は硬 X 線成分の起源が、W44 の周辺環境と関連する可能性を示している。本発表では、解析の詳細と硬 X 線放射の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q28a すざく衛星による W51 領域からの中性鉄輝線の発見 (2)

嶋口愛加, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学)

銀河宇宙線は、超新星残骸で加速されていると考えられている。加速された高エネルギー宇宙線は、高エネルギー陽子と分子雲が相互作用する際に伴う π^0 崩壊によって放射されるガンマ線を観測し、調査を行うことができる。しかし、この方法では低エネルギー宇宙線の情報を得ることができない。宇宙線加速を理解するためには、低エネルギー宇宙線の有効的な観測方法を確立することが重要である。私たちは、低エネルギー宇宙線が中性鉄を電離し、X線の波長域で中性鉄輝線を放射することに注目して、低エネルギー宇宙線の調査を試みる。X線天文衛星すざくの観測データを用いて中性鉄輝線の調査を行った結果、いくつかの超新星残骸から宇宙線起源の可能性が高い中性鉄輝線が発見された (Nobukawa et al. 2018, ApJ, 854, 87 ; Saji et al. 2018, PASJ, 70, 23 ; Hirayama et al. 2019, PASJ, 71, 37)。

星形成領域 W51A, W51B や超新星残骸 W51C が位置する W51 領域は、 π^0 崩壊によるガンマ線放射が報告されており (Abdo et al. 2009, ApJL, 706, L1)、さらにすざくの観測データを用いた解析でも、粒子加速の可能性が示唆されている (Hanabata et al. 2013, PASJ, 65, 42)。我々は中性鉄輝線に注目して解析を行い、2019 年春季年会で、W51C の電波シェルが観測されている領域やそれに付随する分子雲の領域で中性鉄輝線を発見したことを報告した。本講演では、W51 が銀河面に位置していることから、銀河面リッジ X 線放射との比較をより正確に行い、有意に中性鉄輝線を発見したことに加えて、中性鉄輝線が宇宙線起源である可能性が高いことを報告する。さらに、低エネルギー宇宙線の密度を見積もる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a 2次元極座標分割による SNR G1.9+0.3 の膨張速度の精密測定

伊藤颯一郎, 片岡淳, 棚田和久 (早稲田大学)

G1.9+0.3 は現在銀河系で観測されている超新星残骸 (SNR) の中で最も若い SNR として知られている。1985 年の電波観測の結果と 2007 年の X 線観測の結果の比較から、銀河系中心で ~140 年前に起きた Ia 型超新星によって形成されたと考えられている (Reynolds et al. 2008)。この天体の特徴は観測する光の波長によって SNR の形状が異なっている点にある。X 線で撮像した画像では対称な 2 つの球殻が東西に確認できるのに対し、電波で撮像した画像では北側のみが明るく、非対称な形状が確認されている。しかし、これらの形状の違いについては未だ明確な説明が成されていない。したがって、G1.9+0.3 は特定の方向のみの調査ではなく SNR 全体を体系的に調査する手法が求められている。

本研究では、2011 年と 2015 年の Chandra 衛星の観測データを用いて G1.9+0.3 のような球殻状の天体を体系的に調査するために有効な手段を提案し、その手法を用いて G1.9+0.3 の全方向に対する膨張速度を求めた。具体的には、南北にそれぞれ 1 方向ずつ、東西にそれぞれ 3 方向ずつ領域を作成することで、全方向を 8 つに分割して膨張速度を測定した。各方向で幅 1 秒角の球殻状の領域を 30 個作成し、各領域のフラックスから 2011 年と 2015 年で中心からの距離に対するフラックスに相関があることを確認し、相関関数を用いて各方向の膨張速度を求めた。以上のような手法を用いることで、衛星の位置分解能よりも細かく、誤差を考慮して膨張速度を測定することができる。得られた膨張速度は東西方向で $12000\text{km/s} \sim 13000\text{km/s}$ 、北側で最も遅く $3182 \pm 1880\text{km/s}$ となり、先行研究で求められている膨張速度と矛盾しない結果 (Borkowski et al. 2017) が得られた。今後は他の SNR や膨張天体に加え、2019 年に追加観測が成された G1.9+0.3 のデータを用いて更なる挙動を探る予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30a 過電離プラズマの形成における周辺環境の影響

桂川美穂 (東京大), Shiu-Hang Lee (京都大), 小高裕和, 松村英晃, 馬場彩, 高橋忠幸 (東京大)

超新星残骸 (SNR) は宇宙の化学進化を駆動しており、宇宙の構造進化を解明する上で重要な天体である。SNR の進化の過程で形成された衝撃波は、親星からの噴出物や掃き集められた星間物質を加熱しプラズマ化する。プラズマからの X 線放射は親星や周辺環境の影響を反映しているため、プラズマの状態を知ることが SNR の進化を明らかにする鍵となる。近年の X 線観測では、電離よりも再結合が優勢な過電離プラズマが確認されており、近傍にはガス雲が確認されているため、SNR の進化や構造形成には周辺環境が深く関わっていると考えられている。しかし、既存のプラズマモデルは、電子の温度や密度の時間発展を計算していないため X 線放射の再現に不十分なだけでなく、親星や周辺環境に関するパラメータを持っていない。そのため、生成したプラズマと親星・周辺環境の関係を直接定量的に調べられず、観測された過電離状態へのこれらの影響は未解明である。

これらを明らかにするために、我々は、親星と周辺環境の情報をパラメータに持ち、プラズマの状態の時間発展を記述するスペクトルモデルの開発を行なった。X 線のスペクトルは、主に電子温度と各イオンの分配比から形状が決まるため、超新星の 1 次元数値計算を用いて電子温度と電子・イオンの密度、イオンの電離状態の時間発展を計算している。その計算結果にイオン毎の放射率を組み合わせることで、SNR の局所的なスペクトルの生成を可能としている。このコードを用いて、初期状態の周辺環境の密度を変えることで、周辺密度が電子温度や電離度にどのような影響を与えるのか調べた。その数値計算の結果、高密度環境で進化した SNR は、数千から数万年経過すると自然と過電離状態に移行し得ることがわかった。さらに、これらの計算結果と電離プラズマをもつ天体の観測値との比較を行い、電離度を再現することができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q31a 超高温プラズマと低温ガスの相互作用の運動論的解析

西田直樹, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

大質量星はその寿命の最期に超新星爆発と呼ばれる天体現象を引き起こす。この爆発は非常に高エネルギーな現象であり、宇宙の進化に多大な寄与を及ぼす。爆発によって超音速で吹き飛ばされた星の外層は衝撃波を発生させる。この衝撃波が周囲の星間媒質 (Interstellar Medium; ISM) を掃き集めて加熱しつつ広がっていくことで形成される超高温の天体を超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) と呼ぶ。SNR と ISM との相互作用の理解は星形成や宇宙線加速の問題に密接に関わっていると考えられており、極めて重要である。

観測されている SNR の一つに星雲がある。かに星雲は中心にパルサーを持つことが知られており、その影響でその内部は 10TeV (10^{18}K) にも及ぶ超高温のプラズマで満たされている。この SNR と ISM の相互作用については未だ不明瞭な点が多いが、近年の観測で、かに星雲の超高温の領域は多数の水素分子雲 (輝線温度 2800K) に接触していることが示唆された。しかしながらその相互作用の詳細な物理過程は未解明であり、特に高温プラズマと接触している分子雲の解離を防ぐ機構やプラズマから分子雲への熱伝導についての定量的理解は不十分である。

そこで本研究では、高温プラズマと低温分子雲との相互作用を流体近似せず分子運動論を用いて詳細に解析し、かに星雲での観測の再現を通してプラズマ-低温ガス間の散逸現象について詳しく理解することを目標とする。具体的には、プラズマやガスの構成粒子の速度分布関数の時間発展を解析的あるいは数値的手法を用いて追跡し、プラズマ-ガス間の熱伝導係数などの導出や、実際の緩和状態への遷移の再現を試みる。ここで得た結果を発展させれば宇宙に普遍的に存在するプラズマ-低温ガス間相互作用に応用することが可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q32a 超新星爆発による過電離プラズマ形成の理論的研究

中西佑太、犬塚修一郎、井上剛志 (名古屋大学)

星が超新星爆発を起こすと、その外層が超音速で広がり周囲の星間媒質 (Interstellar Medium; ISM) の中に衝撃波を駆動する。この衝撃波が ISM を掃き集め、加熱することで超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) という高温の天体が形成される。衝撃波が星間空間に与えるエネルギーは大きく、衝撃波と ISM との相互作用は ISM の energetics を理解する上で非常に重要である。近年のガンマ線観測により、衝撃波と分子雲が衝突しているという観測的示唆が得られている (Abdo et al 2009)。しかし、温度や密度が数桁も空間的に変化するような現実的な ISM 中での衝撃波の伝搬に関する理論的研究は極めて不十分である。そこで本研究では衝撃波と分子雲の衝突現象を詳細に調べるため、衝撃波後面の高温プラズマの X 線観測によって発見されている過電離プラズマに着目した (Kawasaki et al 2002)。過電離プラズマとは、電離度が平衡状態より高くなっている電離非平衡プラズマである。この形成要因の一つとして、高温プラズマと分子雲の衝突による熱伝導冷却が提案されている (Matsumura et al 2017)。しかし、ほぼ無衝突プラズマとして近似される SNR 中の高温プラズマと分子雲の衝突による過電離プラズマの形成過程は詳細に調べられていない。逆にこの現象を理論的に示すことができれば、ガンマ線に加え X 線観測でも衝撃波と分子雲が実際に衝突していること自体を証明することになる。本講演では衝撃波と分子雲の相互作用を解明するための第一段階として、SNR と H_1 ガスの衝突過程を記述するための 1 次元 3 流体シミュレーションの結果を発表する。また、SNR 中のイオンの電離状態についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q33a ファラデーモグラフィを用いた超新星残骸の磁場研究

出口 真輔 (Radboud 大), 井上 剛志 (名古屋大), 赤堀 卓也 (国立天文台), 高橋 慶太郎 (熊本大)

超新星残骸 (SNR) の磁場は、自身からのシンクロトロン放射を引き起こし、銀河宇宙線加速の重要な役割を担うだけでなく、超新星爆発が起こった際の周囲の星間ガスに付随する大局的な磁場情報を保持している可能性も示唆されている。そのため、SNR の磁場を詳細に調べることは非常に重要である。これまで電波領域における「シンクロトロン偏波」とその「ファラデー回転」の観測により、いくつかの SNR の二次元的な磁場情報が得られている。一方で、上記二つの現象の低周波 ($\lesssim 10\text{GHz}$)・広帯域の偏波観測により、視線上の磁気プラズマ分布を断層的に再構築する方法であるファラデーモグラフィ (以下、トモグラフィ) が最近注目を集めている。トモグラフィにより、視線方向分布を加えた三次元的な磁場情報が得られると期待されている。

トモグラフィには将来の大型電波干渉計 SKA やその中継機による低周波・広帯域の偏波観測が必須であるため、実際にトモグラフィによりどのような情報が得られるか、その準備研究も重要である。本研究では、SNR の三次元 MHD シミュレーション結果を用い、トモグラフィにより SNR の情報をどこまで明らかに出来るか調べた。その結果、特に超新星爆発が一様な弱い磁場中で起こり、その一様な磁場が視線に並行だった場合に SNR のトモグラフィ結果の分布がほぼ視線方向の物理的距離の分布を反映していることが判明した。さらにトモグラフィの結果から SNR の接触不連続面の位置を推定できる可能性があることも判明した。講演ではトモグラフィの基礎と本研究の結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q34a 天の川銀河中心部における磁場と熱進化を考慮した星間雲の動力学

柿内健佑 (名古屋大学/東京大学), 鈴木建 (東京大学), 井上剛志 (名古屋大学)

天の川銀河の中心部数百パーセクの領域において、星間ガスの動力学を解明するためには、磁場と星間ガスとの相互作用の理解が必要不可欠である。観測事実に基づくと、同領域における磁場強度から推定した磁気エネルギーが、星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵あるいは凌駕することからもこれは明らかである。

本研究では、星間ガスを磁気流体として取り扱うとともに、ガスの密度や温度を観測結果と定量的に比較するために温度の熱進化を考慮した数値実験を行った。ここで、熱進化の項には、輻射等によるガスの冷却、加熱、および、宇宙線によるガスの加熱の影響を含めて結果を論じる。また、本計算では流体を高温ガス (10^6 K) と中温ガス (10^4 K) の2温度相に分けて考えることにする。結果として、熱進化を考慮した場合でも磁気回転不安定性や磁気浮力不安定性 (パーカー不安定性) による磁場の増幅が確認できたが、それらの特徴は熱進化を考慮しない場合に比べて成長率などに影響が見られた。さらに、増幅した磁場が星間ガスに与える加熱や速度構造について本講演では議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q35a 宇宙線圧効果入り磁気浮力不安定：ガス垂直構造の発展と非線形時間スケール

横山央明、那須田哲也（東京大学）、工藤哲洋（長崎大学）、松元亮治（千葉大学）

星間ガスでは宇宙線が、乱流運動や磁場と同等程度エネルギーをもっており、ガスや磁場の構造や進化を考えるうえで欠かせない。巨視的なスケールでは、宇宙線は圧縮性のよい流体として移流拡散方程式で取り扱われ、ガスへの影響は宇宙線傾圧力として現れる。本研究では銀河円盤の一部を切り出した領域での、宇宙線圧入り磁気浮力不安定の非線形段階での発展について磁気流体シミュレーションで調べた。特に、星間ガスのキロパーセクスケールでの構造発展と磁束流出時間スケールについて着目した。宇宙線は磁気浮力不安定の発展を促進し、また宇宙線なしの場合にくらべて水平短波長が優勢となることが先行研究による線形解析などから知られていた。本研究の結果、特に非線形段階においては、銀河面垂直方向に暴走的に流出流が生じるが、それぞれの流出流どうしの間には密度の高い壁ができて煙突状に噴出する。この煙突構造の壁間隔はガス円盤のスケール長の5倍程度で、高さは15倍にもなった。また流出にともなって、磁束も持ち出されるが、その時間スケールはガス円盤をAlfvén波が横切る時間の30倍程度であった。実時間で解釈すると銀河回転と同程度となり、磁束の持ち出しと銀河面垂直ポロイダル磁場生成によって、宇宙線が銀河ダイナモにとって重要であることが示せた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q36a 乱流による多相星間媒質の構造形態について

Pierre Goux (東北大学), 井上剛志 (名古屋大学), 大向一行 (東北大学)

近年の分子雲と中性星間媒質 (ISM) の観測により、天球面上の柱密度分布の中にパーセクスケールのフィラメント構造が存在することが確認されている。このフィラメント構造の領域が星形成の現場であることが示されている。従って星形成過程、特に星形成率を理解する為には、このフィラメント領域の起源や詳細な物理状態を解明する必要がある。

ISMのあるゆるスケールでの構造はその中の乱流構造を反映していると考えられているが、その詳細は未解明である。その上、「フィラメント」は乱流物理と関係なく便宜的に定義されている。これは実際の三次元的な形すらも分かっていないということである。その為、定量的な解析を行う際に不都合が生じる。そこで、フィラメント状、シート状、クランプ状等の構造を連続的に記述できるような解析手法を確立することが不可欠である。また、乱流は様々なスケール構造を作るプロセスであるので、逆に階層的な構造から乱流の物理的性質 (カスケード等) を知ることができる。

我々は、現実的な星間媒質の3D MHDシミュレーションを行い、その形状を解析し、各スケールに対応する構造が分かり、乱流モデルとの比較を行った。その結果、更にスケールごとの形状が乱流の性質と密接に関連していることが分かった。さらに超音速乱流のカスケードメカニズムが分かれば、それは分子雲の中で星形成を起こすようなフィラメントやコアといった高密度構造の起源と結びついてるはずであるため、星形成のトリガー機構を理解することにも繋がる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q37a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN):銀河系内域における分子雲同定 3

齋藤弘雄, 久野成夫 (筑波大), 梅本智文, 鳥居和史, 西村淳, 長谷川哲夫, 松尾光洋, 南谷哲宏 (NAOJ), 河野樹人, 西村淳, 藤田真司 (名古屋大), 半田利弘, 中西裕之 (鹿児島大), 瀬田 益道 (関西学院大), 小野寺幸子 (明星大), 濤崎智佳 (上越教育大), 大西利和, 徳田一起 (大阪府立大), 他 FUGIN チーム

銀河系内域は、複数の渦状腕、腕間、棒状構造と異なる環境下での分子雲が存在する領域であり、活発な星形成領域も数多く見られる。このため、銀河系内域は、腕間ガスから巨大分子雲への分子ガス構造の進化や巨大分子雲内で起こる大規模な星形成の発生メカニズムを検証する上で非常に適した領域である。このような観点から、我々は FUGIN データの銀河系内域に対して Dendrogram の結果を用いた分子雲同定を進めている。

我々は、Dendrogram の結果に、速度成分を分離する閾値を組み込むことで分子ガス構造の同定方法の構築を行い、銀経 10 – 50 度領域に対して、約 10 万個に及ぶ分子ガス構造の同定に成功した。距離の不確定性は残るが、分子ガス構造の物理量範囲は、サイズ (R) 0.05 pc - 45 pc, 質量 (M) 1.0 Mo - 2.0×10^6 Mo に及んでいる (2018 年秋季年会参照)。このうち、銀河系内域 (< 8.0 Kpc) における物理量の下限は $R \sim 1.0$ pc, $M \sim 1.5 \times 10^2$ Mo となり、この条件を満たす約 14000 個の分子ガス構造を銀河系内域領域の分子雲として扱うこととした。これらの分子雲の特性として、サイズ線幅関係は非常に分散は大きいものの、 $R \sim dV^{0.5}$ の関係を示し、ビリアル関係は 10^4 Mo 以上の巨大分子雲でビリアル平行に近い状態にあることがわかった。

本公演では、分子雲の銀河系内分布について報告する。 10^4 Mo 以上の巨大分子雲は概ね銀河系内の渦状腕上に集中して分布するが、数千太陽質量以下の分子雲は渦状腕周辺の領域にも多く分布する傾向が明らかになっている。さらに、本観測領域に存在する渦状腕ごとに分子雲の物理量を比較し、渦状腕ごとの違いについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q38a FUGIN データを用いた天の川銀河のガス密度頻度分布 1 : 分解能の効果

○半田利弘, 松坂怜, 佐々木恵, 溝口智貴, 伊東拓実, 村瀬建, 平田優志 (鹿児島大学), 藤本裕輔 (オーストラリア国立大学), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居知史 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

星間ガスから原始星へ至る過程は、分子雲コアの形成後は ALMA などの観測により詳細に分かってきたが、均等に広がったガスから重力崩壊するコアに至る過程についてはまだ不明な点が多い。これに迫るツールとして、該当領域に対する星間ガスの密度頻度分布 GDH が有望である。GDH は、理論的には定常状態のガスではガス密度が実現する確率密度分布 PDF に相当し、密度構造の形成機構によって変化することが期待される。例えば、密度構造がランダムな過程で等比的な変化によるものならば正規対数分布となることが予言されている。

低密度ガスの振る舞いを知るために、我々は CO($J = 1 - 0$) 輝線を用いて、 X_{CO} により H_2 柱密度 $N(\text{H}_2)$ を求め、これを視線速度範囲に対応する運動学的距離の差 d で除したものをガス密度 ρ とした。頻度は、ボクセル数の代わりに対応する体積の積算 V を用い、該当領域全体に対する割合 f_{vol} で示した。

低分解能だと高密度な部分が smearing するため、GDH は空間分解能の影響を受ける。そこで我々は FUGIN のデータを順次平滑化することで、観測分解能の効果が GDH にどんな影響を与えるかを調べた。調査領域は $(l, b) = (29^\circ, 0)$ を中心とした $2^\circ \times 2^\circ$ で、局所構造の影響や terminal velocity を勘案して、 $20 < v_{\text{LSR}} < 100 \text{ km s}^{-1}$ とした。その結果、高密度端は smearing の影響を受けるのに対し、低密度端は感度限界が向上した $\geq 1'$ 分解能では、 $-2.8 < \log \rho < -1.8 [M_\odot \text{ pc}^{-3}]$ の範囲で 0.2dex 以下で一致することを見出した。その上で、奥行き距離の違いに対応する視線速度ごとに、上記密度範囲での GDH の形が大きく変化することがわかった。

また、常識的な値でなら、銀河回転運動モデルの違いによる影響は 0.1dex 以下であることも確認できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q39a NH₃ 輝線を用いた大質量星形成領域 W33 のマッピングサーベイ

○村瀬建, 半田利弘, 面高俊宏, 平田優志, 石崎滉也, 西潤弥, 伊東拓実 (鹿児島大学), 砂田和良 (水沢 VLBI 観測所), 仲野誠 (大分大学), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

宇宙の物質輪廻において、分子雲から星形成に渡る物理的プロセスを理解することは、星形成過程を解明する上で重要である。我々のグループでは、複数の分子雲に対して、NH₃ 分子輝線を用いた分子雲全体にわたる広範囲のマッピングサーベイを行なっている。目的は、分子雲での温度分布を手掛かりとした分子雲内での星形成の解明である。本講演では、大質量星形成領域 W33 について報告する。

我々は、野辺山 45m 鏡を用いて W33 main(Compact HII region), W33 A を含む 10 × 10 pc の範囲を NH₃(J, K) = (1,1) - (3,3) と水メーザーの 4 輝線でマッピングした。観測領域のほぼ全域にわたって高い信号雑音比で (J, K) = (1,1), (2,2) を検出した。回転温度の見積もりでは、観測領域の東西で温度勾配が見られた。W33 main において、輝度強度比 $T_a^*(3,3)/T_a^*(1,1)$ が周辺の観測点より卓越していた。GBT による観測結果も参考にした結果、これは、付随している HII 領域を背景とした吸収線の影響が (J, K) = (1,1), (2,2) のみに現れているためであると結論づけた。また、得られたスペクトルのフィッティングから、同じ視線速度に輝線と、輝線より広い線幅をもつ吸収線が重なっていることがわかった。スペクトルの線幅に着目し、(J, K) = (1,1), (2,2) の吸収線と (J, K) = (3,3) の輝線を比較したところ、スペクトルの線幅が一致する。(J, K) = (3,3) 輝線は、(J, K) = (1,1), (2,2) 輝線より分子雲の内部をトレースしている可能性が報告されている (Urquhart et al. 2011)。したがって、NH₃ の吸収線は分子雲内部の物理状態をトレースしていることを示唆する。本講演では、この結果を踏まえて、分子雲の内部構造について議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q40a 野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた星形成領域 CMa OB1 の NH₃ 輝線観測

○平田優志, 半田利弘, 面高俊宏, 村瀬建, 石崎滉也, 西潤弥, 伊東拓実 (鹿児島大学), 砂田和良 (水沢 VLBI 観測所), 仲野誠 (大分大学), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

分子雲中の分子ガスの温度は、星形成活動が周りの環境にどのような影響を与えるかを知るための重要な手がかりとなる。そのため、我々 KAGONMA (KAgoshima Galactic Object survey with Nobeyama 45 M telescope in Ammonia lines) グループでは野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて天の川銀河面上の多くの分子雲に対してアンモニア輝線のマッピング観測を行ってきた。その観測結果の一部として、CMa OB1 に付随するとされる、 $224.0^\circ < l < 224.8^\circ$ 、 $-1.2^\circ < b < -0.6^\circ$ に存在する 3 本の分子ガスフィラメントに対する NH₃(J, K) = (1,1) - (3,3) と水メーザーの 4 輝線でのマッピング観測の結果を報告する。我々はその 3 本のフィラメントより合計 14 個のクランプを同定した。それらの回転温度は一様に低く、16 K 以下であった。

NH₃(1,1) と C¹⁸O(1-0) は光子捕捉も考慮するとどちらも高密度の領域をトレースすると考えられている。そこで我々は FUGIN (FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45 m telescope; Umemoto et al. 2017) でカバーされているフィラメント 1 本について、FUGIN の C¹⁸O(1-0) と、我々の NH₃(1,1) の輝線強度分布を比較した。その結果、クランプの 2 つは強度の相関関係が崩れ、正の強度相関をもつクランプ群と、負の強度相関をもつクランプ群の 2 種類に分類できることがわかった。CMa OB1 の文献による距離 1 kpc を用いると、負の相関が見られるクランプは 1 pc の空間スケールを持つ。我々は、この現象はこのクランプではダスト吸着を起こせるような高密度コアがクラスター状に分布しており、その集団として 1 pc スケールに広がっているように見えるというモデルを提唱する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q41a 銀河系 Local Spur における分子ガスの密度進化

西村淳, 上田翔汰, 大西利和 (大阪府立大), 藤田真司, 河野樹人, 堤大陸, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台), 鳥居和史, 宮本祐介, 南谷哲宏, 西合一矢 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大)

最新の VLBI/Gaia 衛星によるアストロメトリの結果によると、太陽系が属するのは渦状腕 (Local arm) であり、さらに、Local arm と Sagittarius (Sgr) arm とを繋ぐ Local spur の存在が指摘されている (Xu et al. 2016)。Local spur は距離 3–5 kpc に位置し、 $l = 50^\circ\text{--}70^\circ$ にかけて終端速度で観測される。コロンビアサーベイの $^{12}\text{CO}(1\text{--}0)$ データを解析したところ、spur に沿ったガスの線密度は、渦状腕の線密度 (Sgr arm) と比べて典型的に半分程度であり、かつ、Sgr arm 近くで最大値をとり離れるほど下がる事が分かった。この事は、渦状腕間で巨大分子雲がどのように形成・進化し、また、spur/arm を形成していくのか、そのメカニズムを反映していると思われる。またこの領域は、数は少ないが大質量星形成領域も存在する事が WISE 衛星による最近の HII 領域探査で分かっており、渦状腕とは異なる環境・柱密度での SFE とその起源を探る上で重要な領域である。

そこで我々は、NRO-45m/FOREST を用いて $l = 50^\circ\text{--}62^\circ$, $b \leq |1^\circ|$ の範囲を、 ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(1\text{--}0)$ 輝線にて、2018/12/15 から 2019/2/20 にかけてサーベイ観測した。有効分解能は $\sim 16''$ であり、フィラメントやコアなど、分子雲内部の微細な構造まで良く分解できている。高密度ガス比 $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$, $\text{C}^{18}\text{O}/^{12}\text{CO}$ は、星形成領域と対応する局所的なばらつきはあるが大局的には領域内でほぼ一様で、それぞれ 42%, 10% であった。この値は銀河系平均値 24%, 4% (Torii et al. 2019) に比べて高く、Local spur 領域では分子雲形成と同時に高密度ガス形成が効率良く進行している事が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q42a 分子雲衝突をトリガーとする電離水素領域 W28A の大質量星形成シナリオ

林克洋, 吉池智史, 藤田真司, 佐野栄俊, 榎谷玲依, 河野樹人, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 西村淳 (大阪府立大学), 鳥居和史 (国立天文台)

星は乱流状態にある星間ガスの重力収縮によって形成される。中でも大質量星のように高い質量降着率が求められる天体は、外的圧縮など、重力収縮を誘発する何らかのトリガー機構が必要である。スピッツァ衛星による赤外線バブルの観測によって、電離ガスの膨張による周囲のガスの圧縮が、その候補として有力視されてきた。一方で、近年の大質量星に付随した原子/分子ガスの高分解能観測により、星間雲同士の衝突の形跡が多数見つかかり、衝突によるガスの圧縮が注目され始めた。このような領域は、銀河系内の巨大星団から、孤立した大質量星を持つ電離水素領域、さらにはマゼラン星雲や M33 の特定箇所など、50 領域以上に渡る。

本講演では、それらのサンプルの一つである、銀河系円盤部の電離水素領域 W28A の解析結果について報告する。W28A は、半径 20 pc 程度の電離水素領域で、内部に3つのコンパクト HII region を有し、それぞれに early B から O6 型の大質量星が付随する。NANTEN2 及び Mopra 望遠鏡を用いて、この領域の CO 輝線サーベイ観測を行い、これら的大質量星の周りに、速度差 5 km s^{-1} 程度の異なる速度成分をもつ二つの分子雲が発見された。 ^{12}CO の 1-0 と 2-1 の輝線強度比は、大質量星の周辺で高い値を示し、分子ガスとの付随が示唆される。二つの分子雲の位置速度図上でのブリッジ成分や、相補的な二次元空間分布といった、分子雲衝突の現場の典型的な特徴も確認された。また、Fujita et al. (2019 in prep) のアルゴリズムを用いて、分子雲の二次元的な変位を特定し、衝突の経過時間を見積もった。さらに、赤外線の観測データや数値シミュレーションとの比較も行い、分子雲衝突をトリガーとする大質量星形成のシナリオを考察した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q43a 大マゼラン雲のスーパーバブル 30 Doradus C における大質量星形成

山根悠望子, 佐野栄俊, 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 大西利和 (大阪府立大学), Omnarayani Nayak, Margaret Meixner (Johns Hopkins 大学)

30 Doradus C は, 大マゼラン雲に位置する直径 ~ 90 pc のスーパーバブルである. 付随する星間ガスはシェル南西部で特に強度が高く (e.g., Sano et al. 2017), またその方向には3つの massive Young Stellar Object (YSO) が分布している (Gruendl et al. 2009). SED fitting の結果, これらの YSO は質量 $\sim 9.9\text{--}14.30 M_{\odot}$, 光度 $\sim (0.27\text{--}2.6) \times 10^4 L_{\odot}$ である. 最も質量の大きい YSO の位置では直径 ~ 2 pc, $\Delta V \sim 10$ km s $^{-1}$ の wing を持つ分子雲が見つかり, 我々はこれを YSO からのアウトフローと結論づけた (日本天文学会 2018 年秋季年会 山根ほか).

本研究では 30 Doradus C の YSO に付随する分子雲の有無や構造を明らかにするため, 3つの YSO 方向の分子雲の空間分布, 速度構造の詳細解析を行った. 使用したデータは ALMA Cycle 3 (#2015.1.01232.S, PI, H, Sano), Cycle 5 (#2017.1.01363.S, PI, Y, Yamane) の 12m & 7m アレイおよび TP による角度分解能 $\sim 3''$ (空間分解能 ~ 0.7 pc) の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ である. 結果として, 全ての YSO の位置にそれぞれ異なる速度の2つの分子雲が分布していることが分かった. これらの速度の異なる分子雲は, それぞれ速度差 $\sim 5\text{--}8$ km s $^{-1}$, 質量 $\sim (0.2\text{--}1.4) \times 10^3 M_{\odot}$, 柱密度 $\sim (3\text{--}7) \times 10^{22}$ cm $^{-2}$ であった. これらすべての分子雲では, 2つの分子雲をつなぐ成分が位置速度図上で確認できた. また, 3つのうちの2つの YSO 周辺において, 速度の異なる分子雲は互いに ~ 1 pc ずれて分布していた. これらは, 大質量星を生む高密度ガスの形成をトリガーするメカニズムである, 星間ガス雲同士の衝突 (cloud-cloud collision, CCC) に特徴的な構造である (e.g., Fukui et al. 2018). 以上を踏まえ本講演では, 30 Doradus C に付随する3つの massive YSO の形成が CCC によりトリガーされた可能性を提案する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q44a Further testing of amorphous dust model toward high precision foreground removal from CMB data

Masashi Nashimoto, Makoto Hattori (Tohoku Univ.), R. Génova-Santos, F. Poidevin (IAC, ULL)

The anomalous microwave emission (AME) is a component of microwave emission observed ubiquitously in the sky in addition to thermal dust, free-free and synchrotron emission. It appears as the excess emission in the frequency range of 10 to 50GHz. It is clear that the AME is coming from an ingredient associated with interstellar dust because of the spatial correlation between the intensity of the AME and thermal dust emission (Davis et al. 2006). However, the emission mechanism of the AME has not been elucidated yet.

We have at the first time constructed the model of the intensity and polarization spectrum energy densities (SEDs) of thermal emission from amorphous dust based on a two-level state (TLS) model which describes the low temperature properties of amorphous material very well. We tested our model by fitting both intensity and polarization SEDs of Perseus and W43 molecular clouds in the frequency range of a few GHz through a few THz. We showed that our model gives satisfactory fits to the observational data. We showed a new possibility that the AME is originated from the resonance emission of the TLS (Nashimoto et al. in prep; ASJ annual meeting in spring 2019, Q16a). To achieve one of our final goals is improving accuracy of foreground removal from the CMB data, we are performing further tests of our model by fitting various dusty regions including diffuse interstellar dust emission regions. I'm going to report some of these results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q45a 遠方分子吸収線系 B0218+357 に対する ALMA を用いた水素化リチウム観測

吉村勇紀、河野孝太郎、西村優里、廿日出文洋（東京大学）、松野允郁、青木和光、泉拓磨（国立天文台）、田村陽一（名古屋大学）、李民主（MPE）

現在の標準宇宙論では、CMB の観測から正確に求められたバリオン密度を初期条件として、宇宙初期に合成された元素の存在量を予言できるが、リチウム (Li) については予言と観測量との間に有意な乖離があることが知られている (リチウム問題)。但し、Li 存在量は低金属量星大気や星間空間の原子吸収線観測から得られており、恒星大気での Li 破壊等の効果、星間空間では化学進化の影響等を受けている。そこで我々は、化学進化が進んでいないであろう宇宙論的遠方天体において、星間空間中の Li 存在量を観測的に測定できれば、恒星大気や化学進化の影響が少なく、宇宙初期の Li 存在量に近い値が得られると考えた。その第一歩として、我々はサブミリ波帯 (静止系で 443.9528 GHz) に分子吸収のある水素化リチウム (LiH) に着目し、遠方分子吸収線系 B0218+357 (赤方偏移 0.68) に対し、分子の存在量比から Li 同位体比 ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ への制限を試みた。観測天体は先行研究で既に ${}^7\text{LiH}(1-0)$ の 3σ 検出が報告されていたが、今回我々が ALMA を用いて連続波に対する感度で 10 倍以上深い観測を行ったところ、 ${}^7\text{LiH}$ は検出できなかった。結果、存在量の上限值として $N({}^7\text{LiH})/N(\text{H}_2) < 4 \times 10^{-12}$ を得た。これは低金属星での観測値や標準宇宙論の予言値 ($\text{Li}/\text{H} = 10^{-9} - 10^{-10}$) と比して 2 桁程度以上小さい値であり、気相中でほとんど LiH が形成されないことを示唆する。一方同じ ALMA 観測で、周波数の近い para- $\text{H}_2\text{S}(1_{11} - 0_{00})$ の検出に成功した (宇宙論的遠方での検出は初)。別の ALMA 観測で既に検出されている ortho- $\text{H}_2\text{S}(1_{10} - 0_{01})$ のデータも組み合わせることで、 H_2S の ortho/para 比を 2.9 ± 0.1 と制限した。これは統計的重みの 3 と一致し、ダスト上の反応に起因すると思われる ortho/para 変換反応は、気相中の H_2S 存在量に寄与していないことを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q46a M51の渦状腕領域における70 GHz帯高感度観測

渡邊祥正 (日本大学), 西村優里 (東京大学/国立天文台), 原田ななせ (台湾中央研究院天文及天文物理研究所), 徂徠和夫 (北海道大学), 坂井南美 (理研), 山本智 (東京大学)

近年の観測装置の感度の向上近により、近傍銀河でも様々な分子種を観測できるようになった。我々は、分子雲スケールの化学組成が何を反映するのか明らかにするために、近傍銀河や銀河系の比較的静穏な環境や金属量の異なる環境にある分子雲の化学組成を調べてきた。これらの研究から、分子雲の周囲の環境や金属量などの違いにより化学組成が異なることが分かってきた。今回、我々は新たな分子プローブを探索するため、M51の渦状腕領域に対して70 GHz帯におけるラインサーベイ観測を、IRAM 30 m電波望遠鏡を用いて行なった。

70 GHz帯は重水素を含む分子の回転準位の基底への遷移が多く存在する周波数帯であるが、本観測では DCO^+ 、 DCN 、 DNC 、 N_2D^+ 等の重水素化合物の輝線は検出されなかった。観測により得られた上限値から HCO^+ の重水素濃縮度は0.5%以下と見積もられた。この上限値は銀河系内の暗黒星雲の星なしコア(数10%; ~ 0.01 pc)や大マゼラン雲の分子雲(数%; ~ 10 pc)と比較して低く、1 kpcスケールのガスでは顕著な重水素濃縮は見られないことを確認した。一方で、本観測では HC_3N 、 CH_3CN 、 SiO を初めてM51の渦状腕領域で検出した。特に気相での SiO の検出は、ダストが破壊される程度の強い衝撃波が存在することを意味している。衝撃波の起源として、分子雲同士の衝突(e.g. Usero et al. 2006)や個々の星形成活動に伴うアウトフロー(e.g. Bachiller et al. 1997)などが考えられる。しかし、これまでの観測から個々の星形成はkpcスケールの化学組成に影響しないことが示唆されており、 SiO をダストから蒸発させた衝撃波は分子雲同士の衝突などの比較的大きなスケールの現象の可能性が高い。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

Q47a Spitzer/IRS による M17SW 領域における星間氷のマッピング観測

山岸 光義 (ISAS/JAXA), 金田 英宏 (名古屋大学), 下西 隆 (東北大学)

星間氷は、分子雲内部において、星間ダスト上に生成される固体分子であり、近・中間赤外線帯において、分子ごとに特徴的な吸収フィーチャーを示すことが知られている (H_2O : 3.0, 6.0 μm , CO_2 : 4.27, 15.3 μm , CO : 4.67 μm など)。様々な分子が氷として生成され、多様な分子生成反応にも寄与することから、氷は宇宙の物質進化を理解するために重要な物質の一つであると考えられている。これまでの氷観測は、主に銀河系内およびマゼラン雲内の YSO や分子雲に対して活発に行なわれてきた。この際、点源 (原始星、分子雲の背景星) からの連続光放射を背景光として、その視線方向上に存在する氷の吸収を観測する、という手法が用いられてきた。一方で、星間氷の進化過程を議論する際には、氷の空間分布を調べて周囲の星間環境と比較することが有用であるが、従来の観測方法では分子雲スケールでの氷の空間分布を調べることは難しく、観測例は限られていた。

我々は、Spitzer/IRS のスペクトルマッピング観測 (波長 10–19 μm , 波長分解能 $R=600$) によって得られた、M17SW 領域のデータ解析を行った。これにより、HII 領域に付随するホットダストの放射 (面光源) を背景光として、その前景の分子雲中に存在する CO_2 氷の空間分布を調べた。その結果、近赤外線帯 (J, H, Ks バンド) で減光が見られる領域 ($1' \times 1'$) に対して、 CO_2 氷の吸収を検出し、その空間分布を得ることに成功した。得られた CO_2 氷の空間分布は、近赤外線の減光マップや $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ で見られる分子雲の構造とも異なっているということが分った。これまでの星間氷の観測からは、各種氷の存在量は減光量 A_V と良く相関していることが分っているが、本観測の結果は、従来の観測結果とは矛盾していることが分った。本発表では、これらの観測結果をもとに、分子雲内における星間氷の生成環境、生成プロセスについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q48a CH_3NH_2 の生成経路

鈴木 大輝 (ABC), Liton Majumdar (JPL), 徳田 一起 (大阪府立大), 齋藤 正雄 (NAOJ), 大石 雅寿 (NAOJ), 廣田 朋也 (NAOJ)

星間空間における生命関連分子生成は生命起源に至る最初期の化学進化過程と考えられる。もっとも簡単なアミノ酸であるグリシンは、星間空間塵上の紫外線照射下でメチルアミン (CH_3NH_2) と CO_2 から生成されると提案されており、 CH_3NH_2 はグリシンの前駆体分子として注目されている。しかし、 CH_3NH_2 の起源は塵表面上のラジカル反応 ($\text{CH}_3 + \text{NH}_2$) や水素付加反応 ($\text{HCN} + 2\text{H} \rightarrow \text{CH}_2\text{NH}$, $\text{CH}_2\text{NH} + 2\text{H} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2$) など様々な経路が考えられ、実際の観測に基づいた議論が求められる。そこで我々は ALMA 望遠鏡を用いて大質量形成領域で CH_3NH_2 の探査を実施した。NGC6334I, W51 e1/e2, G10.47+0.03, G31.41+0.3 の4つの領域を探査した結果、合計6つコアで CH_3NH_2 の検出に成功した。得られた結果は LTE を仮定し rotation diagram により解析され、天体後ごとの励起温度と柱密度が得られた。

複雑有機分子の中でもっともよく知られている CH_3OH に対する存在量比 " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " を計算すると、0.1 から 2.1 の範囲であった。この結果を解釈するために化学モデルによる数値計算を行い、星形成領域の進化に沿った環境を想定して化学反応を再現し、分子の存在量を予測した。HCN への水素付加反応が CH_3NH_2 を作る反応を計算に含めた場合、温度や密度などをパラメータとたときにとる " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " 比の範囲は 0.29 から 2.3 であった。一方で、HCN への水素付加反応を計算に含めずにラジカル反応 ($\text{CH}_3 + \text{NH}_2$ など) だけで CH_3NH_2 を作る場合、予測される " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " 比は 0.007 以下であった。従って、星形成領域で観測された CH_3NH_2 の存在量を説明するためには HCN への水素付加反応が不可欠であると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q49a 銀河中心 Sagittarius B2(N) のエンベロープにおける有機分子 CH₃CN の検出

荒木光典（東京理科大学），高野秀路（日本大学），小山貴裕（東京理科大学），久世信彦（上智大学），亀谷和久（国立天文台），築山光一（東京理科大学），Arnaud Belloche（MPIfR）

分子雲の進化は、分子の化学進化の理解の基盤となる。これまで、それは原子ガスから星形成領域へと濃度が増加する方向に考えられてきた。近年、星形成領域からのガス流出等により、濃度が減少する方向に進化する「逆進化」も提唱されている [1]。それを検証するためには、低密度の分子雲（diffuse cloud, translucent cloud）での化学組成の探査が必要である。それには吸収線の観測が有効である。低密度の分子雲において、CH₃CN では、回転量子数 K が変化する回転遷移が許されないため、 $J = K$ の回転レベルに分布が多くなり、そこからの吸収線が強く観測される。我々はこれまでこの特殊な回転分布の定式化を行ってきた [2]。

昨年、我々は野辺山 45m 電波望遠鏡を用い、銀河中心 Sagittarius B2(M) コアのエンベロープで CH₃CN の $J = 4-3$ 回転遷移 (73 GHz) を検出したことを報告した [3]。今回は、ALMA データアーカイブ [4] から、上記 (M) コアの隣に位置する (N) コアのエンベロープで $J = 5-4$ (92 GHz) と $6-5$ (110 GHz) 回転遷移の吸収線を見出したことを報告する。解析の結果、柱密度は $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ となり、(N) コアのエンベロープには (M) コアのそれの 7 倍の CH₃CN が存在することが明らかになった。一方で、(N) コアそれ自身には (M) コアの 11 倍の CH₃CN が存在することが知られている [5]。すなわち、この分子において、コアの柱密度が大きければ、そのエンベロープの柱密度も大きいことが明らかになった。これはエンベロープが逆進化で生成している描像と矛盾しない。

[1] Price et al., 2003, MNRAS, 343, 1257. [2] Araki et al., 2014, AJ, 148, 87. [3] 荒木光典等、Q06a、日本天文学会、2018 年度秋季年会. [4] Project Code: 2016.1.00074.S. [5] Belloche et al., 2013, A&A, 559, 47.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q50c 生体関連分子の abiotic な生成過程の理論的説明

小松勇 (アストロバイオロジーセンター, 国立天文台), 鈴木大輝 (アストロバイオロジーセンター, 国立天文台)

最も単純なアミノ酸であるグリシンが彗星のその場観測で検出されており、このような生体関連の有機分子が形成される過程について、その生成現場の環境とあわせて議論できるようになっている。我々人類に至る、宇宙における化学進化を理解する上で、このような有機分子の反応機構を解明することは極めて重要である。

星間分子の化学反応経路の推定は分子の電子構造を頭に扱う、量子化学の遷移状態計算によってもなされている。しかし、特に複雑有機分子に関してはデータベースが不十分であり、室内実験などを元に起こり得る反応経路を予め決定しておいてから反応障壁を推定することになり、複雑な反応の一部の評価に留まらざるを得ない。

本研究では着目している有機分子に至る化学反応のネットワークを自動探索によって推定し、各々の反応障壁を見積もった。今回メインで発表する、DNA、RNA の遺伝暗号の元になっている核酸塩基以外にも、多環芳香族炭化水素 (PAH) やアミノ酸などをターゲットとしており、その生成経路を定量的に評価することで物理化学的な観点から今後の観測の礎を築くことを目指している。まずは気相中での反応を広く押さえてから詳細な評価をする。本講演では上記の分子について推定された反応ネットワークについて発表する。

核酸塩基と、その骨格構造であるピリミジン、プリン生成経路を評価した。例えば、RNA の遺伝暗号であるウラシルの経路については、3-4分子程の単純な分子から出発して、再現実験でも検出されているイソシアン酸を経由する反応が幾つか発見された。現在分子雲の化学進化モデルとの接続を試みているが、初期地球における分子生成の解明にも役立つ。今後は惑星大気、原始惑星系円盤などのモデルへの応用を検討している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q51c 急冷窒素含有炭素質物質の赤外分光特性

遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬, Mridusmita Buragohain (東京大学), 癸生川陽子, 小林憲正, 横尾卓哉 (横浜国立大学)

様々な天体物理環境で観測される未同定赤外バンドは、その担い手が有機物に関連すると考えられているため、宇宙における有機物の性質を知る上で重要な研究対象である。古典新星周囲で観測される未同定赤外バンド (Class C) は、一般に ISM 中で観測されるもの (Class A) と比べて各バンドのピーク波長位置が長波長側にシフトしており、 $8\mu\text{m}$ 付近に特徴的な広いバンド構造を持つ。我々はこれまで、赤外分光特性が古典新星周囲の未同定赤外バンドを極めてよく再現する急冷窒素含有炭素質物質の合成に成功し、特徴的な $8\mu\text{m}$ 付近の広いバンド構造を再現するには窒素の混入が重要であることを見出した (2018 年春季年会 Q31a 参照)。古典新星周囲で観測される未同定赤外バンドは共通して Class C の特徴を示すが、個体差や爆発後の経過時間により各バンドのピーク位置や相対強度などに僅かな差異が見られる。実験室で合成される急冷窒素含有炭素質物質は、詳細な物性解析を行うことにより、赤外分光特性の違いにどのような物理量または化学結合状態が寄与しているかを調べることができる。このため、実際の古典新星周囲の有機物の物性を定量的に理解するために、実験パラメータを変えることで、各バンドのピーク位置や相対強度などが異なる赤外分光特性を示す急冷窒素含有炭素質物質を合成し、その物性解析を行うことは非常に効果的である。我々はこれまで、国際宇宙ステーション (ISS) を用いた急冷窒素含有炭素質物質の宇宙環境曝露実験 (2019 年春季年会 Q15a 参照) の搭載サンプル準備のため、原材料である炭化水素ガスの種類や量、プラズマの反応時間等を変えて異なる赤外分光特性を示す急冷窒素含有炭素質物質の合成を行なった。本講演では実験パラメータと急冷窒素含有炭素質物質の赤外分光特性および物性の関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R01a 渦巻銀河のスピンのパリティ-I: 全ての渦巻きは Trailing

家 正則、但木謙一 (国立天文台)、福本英也 (放送大学)

渦巻銀河の渦状構造が Trailing 型か Leading 型かという問題は 1960 年代に理論面・観測面からの論争があったが、数値シミュレーションなどから現在では Trailing であるとの認識が一般的である。

個々の銀河でこれを判定するには天球面上で (1) 渦巻きが S 字型か Z 字型か、(2) 銀河円盤の短軸上のどちらが我々に近い側か、(3) 銀河回転運動で我々に近づく運動をしているのは長軸上のどちらか、の 3 ビットの情報が必要である。(1) と (3) は観測から決まるが、(2) は距離測定が実際にはできないため、通常はダークレーンの目立つ側が近い側と解釈する。ただし、この解釈が正しいことは球状星団の星間赤化量の差から M31 について確かめられているだけである (Iye & Richter 1985)。今回この仮定が正しいとして調べた 146 個の渦巻銀河はすべて Trailing であることが確かめられた。このことから渦巻銀河の渦巻きの向き (S/Z) を銀河のスピンベクトルの視線方向成分の符号判定に使えることが改めて明らかになった。

銀河のスピンの起源については潮汐トルクによるとの解釈のほか、パンケーキ崩壊起源説や原始渦の分裂説などがあったが、この問題については理論的にも観測的にも決着がついていないのが現状である。WMAP や SDSS では宇宙の密度分布 (スカラー場) のゆらぎの解析から、宇宙の大規模構造の形成、膨張宇宙モデルの特定、ダークマターの分布解析など様々な研究成果が得られた。HSC、SDSS、Pan Starrs などの大量均質な銀河画像データを深層学習で S/Z 判定したデータベースを構築し (本年会、但木他の講演)、宇宙の渦度ベクトル分布 (ベクトル場) の揺らぎの有無を検証する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R02a 渦巻銀河のSpinパリティ-II: ディープラーニングとすばる望遠鏡のビックデータをを用いた銀河の形態分類

但木謙一、家 正則 (国立天文台)、福本英也 (放送大学)、HSC-SSP プロジェクト 253 チーム

ディープラーニング (深層学習) によって『猫の画像』を『猫』として認識できるようになった2012年以降、ディープラーニングを用いた画像認識研究分野は飛躍的に発展し、2015年には人間の認識精度 (95%) をついに上回った。この非常に高い精度の画像認識技術を支えているのは畳み込みニューラルネットワーク (CNN) であり、入力した画像に対して複数のカーネルで畳み込み計算を繰り返し行うことで、情報量を効率よく落としつつ、局所的な特徴を抽出している。CNNで『猫』と『犬』の画像を区別することができるのであれば、『S字型の渦巻銀河』と『Z字型の渦巻銀河』の画像も区別できるのではないだろうか (本年会、家他の講演)?

現在、我々はすばる望遠鏡に搭載された超広視野カメラ HSC を用いた大規模探査 (SSP) を進めている。この探査によって得られた画像データは、これまでの SDSS 探査に比べて空間分解能が約 2 倍、感度が約 16 倍向上しており、より遠方の銀河の形態を調べることが可能となった。本探査が完了した際には約 100 万個の $i < 20$ の銀河の画像データが手に入る予定であるが、もはや人間の目でこれらを調べることは不可能であり、新しい形態分類手法の確立は急務である。本研究では、HSC 画像とニューラルネットワークライブラリ Keras/Tensorflow を用いて、『渦巻きのない銀河』、『S字型の渦巻銀河』、『Z字型の渦巻銀河』を識別する CNN モデルを構築した。それぞれ数千個程度の訓練画像データを使うことで、98%の精度で正しく分類することに成功した。本手法は訓練データさえ用意できれば、『渦巻銀河』だけでなく、『衝突合体銀河』や『棒状銀河』など、既存の手法では捉えることの難しかった様々な形態的特徴を抽出することに応用できると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a 銀河系渦状腕および Galactic Warp の動力学構造

坂井 伸行 (KASI), BeSSeL & VERA projects members

Gaia DR2 が 2018 年 4 月にリリースされて以降、天の川銀河円盤が力学的に非平衡状態であることが、活発に議論されている (e.g. Antoja et al. 2018)。また、電波の波長帯で行われる VLBI 位置天文観測によって、銀河系中心以遠 ($d > 8$ kpc) の年周視差計測が可能になった (e.g. Sanna et al. 2017)。現在、天の川銀河の動力学構造の研究は、大革命を迎えようとしている。

本講演では、VLBI および *Gaia* データに基づいた、(1) 銀河系渦状腕の非円運動、および (2) **Galactic Warp** の力学的起源について報告する。(1) では、“銀河衝撃波モデル (Roberts, 1969, 1972)” がペルセウス座腕の観測結果を上手く説明できる一方で、他の渦状腕には適用できないことが明らかになった。(2) では、Warp の形成起源について、天の川銀河円盤が外的要因 (e.g. 衛星銀河; Dark matter subhalos) から重力の影響を受けた可能性が高いことが、明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a 棒渦巻銀河における分子雲の物理状態

堀江秀, 岡本崇 (北海道大学)

近年の棒渦巻銀河の観測から、ガスの表面密度が棒部と渦状腕で同程度の場合でも、渦状腕よりも棒部で星が形成されにくいということが知られている。過去の研究から、棒部と渦状腕における分子雲の乱流状態や、分子雲同士の衝突速度の違いが、棒部での星形成の抑制の原因である可能性が挙げられている。しかしながら、この原因は未だよくわかっていない。

本研究では、分子雲を空間的に分解できるほどの高分解能で棒渦巻銀河のシミュレーションを行った。そして得られたスナップショットから、棒部と渦状腕における分子雲を同定し、その物理状態を調べた。具体的には、分子雲を構成するガスの速度分散と分子雲同士の速度分散である。前者は分子雲の乱流状態を、後者は分子雲の衝突を反映すると考えられる。分子雲の速度分散を見積もる際には、 $250\text{pc} \times 250\text{pc}$ のセルごとに含まれる分子雲を用いた。

その結果、分子雲を構成するガスの速度分散も分子雲同士の速度分散も、ある時刻では棒部と渦状腕に大きな差は見られなかった。しかし一方で別の時刻では、渦状腕よりも棒部でこれらの値が大きくなる分子雲、セルが存在した。つまり、棒部での乱流状態や分子雲衝突の激しさには時間依存性がある可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a 強い棒渦巻銀河 NGC1300 における星形成の抑制 2

前田郁弥, 太田耕司, 牛尾海登 (京都大学), 藤本裕輔 (ANU), 羽部朝男 (北海道大学)

棒渦巻銀河の棒部では顕著なダストレーンが見られ星形成の母体となる分子ガスが豊富にあると思われるが、HII 領域は見られず、大質量星形成が抑制されている。この原因を探るため、我々は棒渦巻銀河 NGC 1300(距離 20 Mpc) を対象に研究を進めてきた。NGC 1300 は棒部に十分な量の分子ガス ($\sim 10 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$) があるにもかかわらず、星形成効率 (SFE) が腕部と比べて5倍以上小さい、抑制が非常に顕著に表れている銀河である。

ALMA 望遠鏡を用いた $^{12}\text{CO}(1-0)$ の観測では、観測された分子雲の性質 (線幅、半径、質量、ビリアル比) について、棒部と他領域で有意な差は確認されなかった (2019 年春季年会)。これは分子雲そのものの性質が抑制の原因ではないことを示唆している。この事実は、NGC 1300 の星間ガス流体シミュレーションによっても確認されている (Fujimoto et al. 2019, in prep)。このシミュレーションでは棒部での分子雲の衝突速度が、他領域より大きいことがわかった。これは、棒部での SFE が低い原因が分子雲の高速衝突であることを示唆している。

一方で、SFE が低い原因の1つとして拡散した分子ガスの存在も考えられている。そこで我々は、ALMA で観測した領域を対象に、野辺山 45-m を用いて $^{12}\text{CO}(1-0)$ の mapping 観測を行い、拡散した分子ガスがどの程度あるのかを調べた。ALMA の観測では 12-m array のみを使っているため、500pc 以上に広がっている成分からの emission に感度がない。そこで、45-m の観測から求めた全 flux と ALMA で観測された flux の比を取ることで、拡散した分子ガスの割合を調べた。その結果、棒部では他領域に比べて、拡散した分子ガスが多いことがわかった (棒部で 60~80%)。この結果は、拡散した分子ガスの存在もまた SFE が低い一因であることを示唆している。本講演では、観測結果の詳細と抑制の原因について詳しく報告・議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a NRO レガシープロジェクト COMING (26): CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 輝線強度比と銀河の星形成活動

矢島義之 (1), 徂徠和夫 (1,2), 宮本祐介 (3), 村岡和幸 (4), 久野成夫 (2), 他 COMING メンバー (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: NAOJ, 4: 大阪府立大)

通常, 分子ガストレーサーとして CO($J=1-0$) 輝線は用いられるが, しばしば CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 積分強度比 ($\equiv \mathcal{R}_{2/1}$) を 0.7 と固定し, CO($J=2-1$) 輝線の積分強度を CO($J=1-0$) 輝線のものに換算し, 分子ガス質量が求められている (e.g., Leroy et al. 2013). 前回の春季年会にて, 我々は CO($J=1-0$) 輝線のサーベイ COMING (Sorai et al. 2019), 野辺山 CO アトラス (Kuno et al. 2007) と CO($J=2-1$) 輝線のサーベイ HERACLES (Leroy et al. 2009) の共通サンプルである 29 個の銀河について, $\mathcal{R}_{2/1}$ を 0.7 と定数とみなすと, 銀河内の分子ガス質量を過大/過小評価する危険性を示した (矢島・他 R03b). 今回は, CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 輝線強度比と銀河の星形成活動の関係を調べた. その結果, (分子ガス質量を過大評価してしまう) 銀河内における $\mathcal{R}_{2/1}$ の平均値が 0.7 より高い銀河では, 星形成率面密度 (Σ_{SFR}), ダスト温度の指標となる $70\ \mu\text{m}/160\ \mu\text{m}$ バンド強度比, 比星形成率 (sSFR) の 3 つは平均的な値から 3 倍から 1 桁程高くなる一方, 分子ガス質量を過小評価してしまう銀河はこれら 3 つの量が低い傾向にあった. さらに, $\mathcal{R}_{2/1}$ と Σ_{SFR} , $70\ \mu\text{m}/160\ \mu\text{m}$ 強度比, 及び sSFR 間の関係を空間分解して調べたところ, Σ_{SFR} と $70\ \mu\text{m}/160\ \mu\text{m}$ 強度比は高くなるにつれ, $\mathcal{R}_{2/1}$ も上昇する傾向が見られたが, sSFR と $\mathcal{R}_{2/1}$ では関係が見られなかった. まとめて, 星形成が特に活発/低調であったり, 銀河全体でこれまでの星形成の時間スケールが短い/長い銀河では, 分子ガスの温度が影響を受け, $\mathcal{R}_{2/1}$ は 0.7 から変動した結果, CO($J=2-1$) 輝線から分子ガス質量を求めると, 極端な銀河ではこれを約 $\pm 30\%$ 取り違えてしまうと結論づけられる.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R07a A Method for Reconstruction of Masked Pixels: Application in CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING)

Suchetha Cooray (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University), Moe Yoda (Nagoya University), Kazuo Sorai (Hokkaido University)

We present a framework for recovering parts of astronomical images where some pixels are lacking in information. The procedure, which is an iterative algorithm that involves Fourier and inverse transforms, extrapolates the masked pixels (to be restored) using the available information together with a prior. We have employed the methodology in CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING) Project (Sorai et al. 2019) that uses the 45m telescope at Nobeyama Radio Observatory (NRO) to map gas structures in the nearby galaxies. Some observations of the standard calibration source contained artifacts in the image due to a detector error that had to be masked and reconstructed. With the prior of the structures in the image being smooth, reconstructed calibration source images were used for calibrating 11 out of the total 147 observed galaxy data in the project. The extrapolation technique show more promise than interpolation methods and can have many astronomical applications in solving the masking problem.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R08a 高密度分子ガス観測から考察する銀河円盤内の分子ガスと星形成活動

柴田修吾, 俣徠和夫 (北海道大学), 金子紘之 (国立天文台), 村岡和幸 (大阪府立大学), COMING チーム

星形成効率は銀河の星形成活動の重要な指標であり、単位分子ガス質量あたりの星形成率で定義される。野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いた近傍銀河の分子ガス撮像プロジェクト COMING (Sorai et al. 2019) は、多数の銀河内の kpc スケールでの星形成効率の分布を示した。その結果、星形成効率は銀河の円盤内で最大で 1 桁程度変化していることが明らかになった。つまり、銀河円盤内部で星の生まれやすさが一様ではない。

そこで我々は、銀河円盤内部の星形成活動の変化の要因を探るため、野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて高密度分子ガスの観測を行った。観測点は COMING で観測された銀河のうち、銀河円盤内で顕著な星形成効率の変化を示す 4 つの銀河の円盤領域、計 14 点である。観測輝線は HCN($J = 1 - 0$) と HCO⁺($J = 1 - 0$) であり、これらは ¹²CO($J = 1 - 0$) に比べ 2 桁ほど臨界密度が高い。観測の結果、COMING で得られた ¹²CO の積分強度と、高密度分子ガストレーサーの積分強度の間の相関係数はそれぞれ 0.83(HCN)、0.79(HCO⁺) となり、どちらも強い相関が得られた。一方、高密度分子ガス比 (HCN/¹²CO または HCO⁺/¹²CO) と比星形成率 (単位星質量あたりの星形成率) の関係を調べたところ、相関係数は 0.39(HCN)、0.85(HCO⁺) となり、HCO⁺ の場合にのみ強い相関が得られた。比星形成率が低い領域では HCN の積分強度が HCO⁺ に比べて大きくなる傾向を示しており、このことが HCN での相関を悪くする原因と考えられる。また、星形成が活発な領域では分子ガスの質量比 (分子ガス質量/分子ガス質量+星質量) が小さくなる傾向を発見した。これは、生まれた星による影響を受けて ¹²CO でトレースされるような比較的密度の低い分子ガスが減少している可能性を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R09b NRO レガシープロジェクト COMING(27)：銀河環境間の分子ガス、星質量中心集中度の比較

金子紘之, 宮本祐介 (国立天文台), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾, 梶川明祐実, 八嶋裕 (北海道大学), 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司 (筑波大学), 諸隈佳菜 (東京大学), 竹内努 (名古屋大学), 村岡和幸 (大阪府立大学), 中井直正, Dragan Salak, 瀬田益道 (関西学院大学), 中西裕之 (鹿児島大学), Pan Hsi-An (台湾中央研究院), ほか COMING メンバー

近傍銀河のほぼ半数は銀河群に属すると考えられており、最も典型的な環境であるにもかかわらず、銀河群に着目した研究は多くなく、銀河群環境下が銀河団的な性質を持つのか、孤立銀河的な性質を持つかはよくわかっていない。そこで、我々はこれまで野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた近傍銀河の CO 撮像サーベイである COMING のデータを用いて、銀河群環境下での分子ガスの性質を調べてきた。

今回、我々は孤立銀河、銀河群、銀河団に属する銀河内の分子ガスと恒星の集中度の動径変化を導出し、銀河環境が銀河内部の物質分布へ及ぼす影響を調べた。COMING サンプル 147 銀河から、相互作用銀河を除き、Crook et al. (2007) の High Density Contrast(HDC) 分類と Low Density Contrast(LDC) 分類の 2 通りで分類した。HDC では孤立銀河 62、銀河群に属する銀河 41、銀河団に属する銀河 6 となり、LDC では孤立銀河 37、銀河群 51、銀河団 21 となった。このサンプルから、両分類ともに、分子ガス、恒星、またどの半径でも銀河環境間で中心集中度に有意な差が無いという結果が得られた。以前の報告でガスや星の質量の間にも差がみられないこと (金子他, 2017 年秋季年会 R06a) から、これは分子ガスや恒星分布に対する銀河の置かれた環境からの影響は銀河内部の構造を乱すほど大きくはないことを意味する。本講演では星形成活動との関係も併せて考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R10b Spatially-resolved CO(2–1)/CO(1–0) Ratio in NGC 1365

Fumi Egusa (IoA, UT), Yulong Gao (USTC)

NGC 1365 is the nearby ($D = 18.1$ Mpc) barred spiral galaxy in the southern hemisphere. We use ALMA data to obtain maps of molecular gas and of the CO(2–1)/CO(1–0) ratio (R21) in the central area of this galaxy. With an angular resolution of $2''$ (corresponding to 180 pc), galactic structures within the field of view (e.g. center, bar, bar-arm transition) are clearly resolved. Molecular gas is mostly confined to leading edges of the bar, forming a ring-like structure in the center, while the emission is rather faint in the bar-arm transition. Overall structures traced by the both CO transitions are similar, but R21 varies significantly within the FoV. While the median value is 0.64, higher ratios are found in the innermost area of the bar.

We compare the R21 map with the GALEX NUV map which traces young stars, and find that the scatter of R21 is large where NUV is faint while R21 slightly increases with NUV where NUV is bright. This bimodality likely reflects that R21 depends on both density and temperature. We deduce that high R21 with low NUV corresponds to dense gas without (or before) star formation, and high R21 with high NUV corresponds to warm gas due to recent star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R11b ALMA 望遠鏡による NGC1808 中心の星形成領域の多輝線観測

入倉 柚貴, Dragan Salak, 瀬田 益道, 中井 直正 (関西学院大学)

銀河中心における物理状態と星形成の関係や、星形成領域の観測に適した分子輝線を明らかにする事は重要である。コア(銀河中心約 50pc の領域)とその周辺領域では、SFR(星形成率)や物理状態が異なる事が予測されているが、従来の数キロ pc の空間分解能ではスターバースト銀河の中心部における違いを議論する事ができなかった。本研究では、距離約 10.8Mpc に存在する近傍スターバースト銀河 NGC1808 の中心約 500pc × 500pc に対し、ALMA 望遠鏡で得られたデータを用いて、分子雲スケール(数十 pc)の高い分解能(1" = 50pc)での解析を行った。星形成はプラズマ領域の熱制動放射の強度と密接な関係があり、100GHz 程の連続波での、制動放射のダスト放射やシンクロトロン放射に対する割合は分からなかった。そこで星形成領域を 5GHz の連続波のデータ(Sakia.1990)によって定め、93GHz, 350GHz の連続波による観測データとのフィッティングを行った結果、93GHz 連続波の強度の内、制動放射は中心領域では平均して約 8 割程である事が求めた。また星形成が活発であると考えられる領域毎での SFR を制動放射のみのフラックス値、電子温度などを仮定(Murphy et al.2011)し求めた結果、コアでは約 0.2[M \odot /yr] と、中心領域の平均約 0.04[M \odot /yr] より高かった。CO(3-2) 分子輝線に対する HCN(1-0) 分子輝線、93GHz 連続波の強度分布を比べたところ、HCN(1-0) はコア領域を超えて 100pc 程広く分布しているのに対し、93GHz 連続波の放射の強い領域はコア中心 50pc 以内に限定されていた。講演では強度比を元に、物理状態も議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12b ALMA 観測による NGC 253 円盤領域の分子ガス速度構造の調査

小西諒太朗, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大), 徳田一起 (大阪府立大/NAOJ), 榎谷玲依 (名古屋大学)

星形成活動によって駆動される銀河の進化を調べるには、銀河中の分子ガスの力学的/化学的性質を知ることが必須となる。本研究の対象である NGC253 は分子ガスが豊富に存在するスターバースト銀河であるため、様々な分子種が観測されており、中心領域をはじめとして星形成活動などの研究が進みつつある。一方で円盤領域 (渦巻腕や棒状構造) は、中心のスターバーストの起源を考える上で重要であり、近年 ALMA 等を用いた高分解能観測による詳細な研究が進められている。我々は ALMA を用いて巨大分子雲 (GMC) を分解可能な ~ 30 pc の空間分解能で NGC 253 円盤領域に対する複数輝線の観測を行い (P.I., K. Muraoka, 2016.1.00215.S)、これまで棒状構造の一部において分子ガスの柱密度をよく反映する ^{13}CO に対してメタノール分子輝線が非常に高い強度を持つことなど、興味深い特徴を見出してきた (小西ほか 2019 年春季年会)。この起源を探るため、同時に取得された ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線のデータを用いてより低密度なガスの速度構造に着目した。渦巻腕は概ね単一の速度構造で構成されていることに対して、棒状構造は 2 つ以上の速度成分が視線方向上に重なった領域が数多く存在することが明らかになった。特に上記のメタノール強度の強いスポットは 3 つの速度成分 ($\sim 32-68 \text{ km s}^{-1}$, $\sim 80-152 \text{ km s}^{-1}$, $\sim 212-260 \text{ km s}^{-1}$) が重なった領域に位置している。これらは大局的には銀河の棒状構造に埋もれているにも関わらず、直線的な形状というよりはシェル状もしくはループ状の構造に近い形をしており、星形成活動もしくは磁場等の要因が深く関連している可能性が考えられる。また、棒状構造の 240 km s^{-1} 成分は渦巻腕に接続していることもわかった。これらを総合すると、渦巻腕からのガスの流入や棒状構造に存在するシェル/ループ状ガス同士の相互作用が衝撃波を生み出し、そのような領域でメタノールの存在比が高められた可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13b ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (1) : 観測の概要

近藤滉, 村岡和幸, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 立原研悟, 藤田真司, 福井康雄 (名古屋大学)

巨大分子雲やその進化の理解は、星と分子ガスからなる銀河の進化の理解につながる重要なテーマであると言える。さんかく座銀河 M33 は最近傍の渦巻銀河 ($D \sim 840$ pc) であり、IRAM-30m や NRO45m、ASTE の全面/広域観測 (空間分解能 50~100 pc) により巨大分子雲が同定/カタログ化されていることから、それらの進化を調べる上で有意義なターゲットである。我々は ALMA Cycle 6 において、M33 の北部に存在する 3 つの巨大分子雲 (いずれも総質量 $\sim 10^6 M_{\odot}$) に対して観測を行なった (村岡他, 徳田他 今年会も参照)。各巨大分子雲の特徴として GMC-8 は星形成がアクティブでない分子雲、NGC 604 は巨大な H II 領域を伴う分子雲、GMC-16 は比較的小さな H II 領域を伴う分子雲である。ACA 7m array と 12m array を使い、 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の $J = 2 - 1$ 輝線、及び 1.3 mm 連続波を観測し、空間分解能 ~ 1 pc ($0.''26 \times 0.''44$)、典型的なノイズレベルは ~ 0.9 K (速度分解能 $= 0.2 \text{ km s}^{-1}$) であった。また、Missing Flux をカバーするために、単一鏡である IRAM-30m の $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ のデータを用いた。この観測により、GMC-16 や NGC 604 でフィラメント状/シェル状分子雲など特徴的な構造を確認した一方で、GMC-8 では対照的に全体に広がった構造を確認した。また、 ^{12}CO 及び ^{13}CO の輝線強度から算出した質量を比較すると GMC-16 及び NGC 604 は $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$ 比が ~ 0.2 であったが、GMC-8 では $\lesssim 0.1$ と有意に低く、さらにこの天体のみ C^{18}O 輝線や 1.3 mm 連続波が検出されなかった。これらは、巨大分子雲が進化するにつれ星形成へと至る高密度ガスが形成されることと矛盾のない結果であると言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14b 統計平衡計算による近傍銀河 NGC 3627 における分子雲の物理状態の推定

柴田和樹 (筑波大学), 渡邊祥正 (日本大学), 久野成夫 (筑波大学), 徂徠和夫 (北海道大学)

近傍銀河では、星形成が活発な領域と不活発な領域が存在するが詳しい理由は明らかになっていない。この星形成の多様性の起源を解明することは、近傍銀河研究における課題の一つである。そのために、星形成の材料となる分子ガスの物理状態を調べるのが重要である。近傍銀河 NGC 3627 は、渦状腕と比較して bar-ends(棒状構造の両端) で星形成が活発であることが知られている。そこで我々は、NGC 3627 の南側の bar-end における分子ガスの物理状態を推定し、星形成活動性と比較した。

本研究では、大型ミリ波・サブミリ波電波干渉計 ALMA で得られた $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ 、 $^{13}\text{CO}(J = 1 - 0)$ の分子輝線データを用いた。これらの CO の分子輝線のデータと RADEX を用いた統計平衡によるモデルと比較することで、分子雲の密度や温度などの物理状態を推定することができる。 ^{12}CO の分子輝線は光学的に厚いため、分子雲内に大きな速度勾配があると仮定して LVG 近似法を適用し、局所的な統計平衡から分子雲の物理状態を推定した。

解析の結果、NGC 3627 の南側の bar-end において、最も星形成が活発と考えられる領域で運動温度 $T_K \simeq 30$ K、数密度 $n_{\text{H}_2} \simeq 8.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ と見積もられ、星形成活動が活発な bar-end における分子雲の温度や密度が、周囲の渦状腕と比較して 20 K、約 6 倍程度高くなっていることが明らかになった。先行研究においても、それぞれ異なる速度をもつ分子雲同士が銀河の渦状腕と棒状構造の境界で衝突していると考えられている (H.Beuther et al. 2017)。今回の結果は、自己重力により収縮し星形成活動を開始しながら、南側の bar-end において最も星形成活動が活発な領域へ移動していることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15c 近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質 III : H₂ ガスの寄与

隈井泰樹 熊本学園大学

同じ星質量の銀河で比べたときに、冷たいガス (HI & H₂ ガス) の量には銀河ごとに顕著な差が存在する。我々は、近傍銀河についてガスの質量と銀河の基本的な観測的性質の関係について、主に HI ガスの欠乏度の視点から、様々な観測データを集計して統計的調査を行い、いくつかの新知見を得た (日本天文学会 2017 年秋季年会 R21c、同学会 2018 年度春季年会 R16c)。今回、我々はそれらをチェック・確認し、かつ新たな知見を求めるために、特に H₂ ガスについて質・量共により良いデータを用いて解析を行った。その主な結果を以下に記す。

(1) 星質量で規格化したときに、H₂ ガス量が低い銀河ほど、星形成率が低い。この傾向は HI ガス量や全ガス量に比べて顕著である。また、同様に規格化された特徴的半径内の星の平均表面密度が高く、銀河の中心集中度が大きく、星形成効率が低い銀河ほど星質量で規格化された星形成率が低い傾向にある。

(2) 星質量で規格化したときに、全ガス量および HI ガス量が少ない銀河ほどガス中の酸素の金属量に関する "effective yield" $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値が小さい。また、HI ガスが H₂ ガスに対して相対的に欠乏している銀河では $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値が小さく、全ガスおよび HI ガスの質量が光学半径内の力学的質量に対して小さい銀河は $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値が小さい。星質量で規格化された星形成率と $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値の間には弱い正の相関の兆候がある。

(3) 個々の銀河の、星質量で規格化されたガス中の酸素の金属量 (金属量超過) はガス量に対して顕著な相関は示さないが、 $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値が大きい銀河ほど金属量超過が大きい。また、金属量超過と星質量で規格化された星形成率との間には顕著な相関は見られない。

本講演では、より詳しい結果を報告すると共に、これらの関係の起源についての議論も行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R16c 非等方的速度分布の初期条件の下での球状星団の力学的進化

高橋広治 (埼玉工業大学)

球状星団の力学的進化の数値シミュレーションは、これまで非常に数多く行われてきたが、そこで使われた初期条件は、通常、Plummer モデルや King モデルといった比較的単純な分布関数で記述されるモデルであった。速度分布について言えば、ほとんどの場合、等方的な速度分布であった。2体緩和による進化が十分に進むと、星団の中心部における速度分布は、初期条件に関わらず、ほぼ等方的になると期待されるが、現実の球状星団の初期速度分布が等方的であると期待する積極的な理由はない。

Breen et al. (2017) は、非等方的 Plummer モデルを初期条件とした N 体シミュレーションを行い、コア崩壊までの時間が初期の速度分布の非等方性の傾向と度合に大きく依存することを発見した。非等方的 Plummer モデルとは、通常の等方的な速度分布の Plummer モデルと同じ密度分布を持ちながら、半径方向または接線方向に偏った非等方的な速度分布を持つモデルである。

本研究では、 N 体シミュレーションに比べて格段に計算結果のノイズが小さい Fokker-Planck シミュレーションを用いて、Breen et al. (2017) と同様な計算を行い、彼らの結果を検証した。その結果、彼らが発見したコア崩壊時間と速度分布の非等方性との間の関係を確認した。講演ではその詳細や速度分布の時間変化などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R17a ALMA による NGC 1068 の高分解能イメージング・ラインサーベイ観測

中島 拓, 谷口 暁星, 田村 陽一 (名古屋大), 高野 秀路 (日本大), 濤崎 智佳 (上越教育大), 河野 孝太郎 (東京大), 原田 ななせ (ASIAA), 泉 拓磨 (国立天文台), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

現在、ALMA をはじめとする高感度かつ広帯域なミリ波・サブミリ波観測装置の実用化により、周波数方向に無バイアスに観測 (分子輝線を網羅的に取得) する「ラインサーベイ」によって、星間ガスの物理的・化学的研究が積極的に行われている。系外銀河においては、スターバーストや活動銀河核 (AGN) などの銀河の活動性 (熱源) と、そこでの分子組成・分子存在度との関係性を解明することが重要なテーマとなっている。

我々は、近傍の AGN である NGC 1068 と典型的なスターバースト銀河である NGC 253、IC 342 に対する野辺山 45-m 鏡を用いた 3-mm 帯 (84–116 GHz) のラインサーベイの結果を 2018 年春季年会において報告した (高野他、中島他)。そこでは、各銀河で約 20 種の分子を検出し、特に CN や ^{13}CN の存在度が AGN で顕著に高い一方、 CH_3CCH はスターバースト銀河のみで検出されるなど、約 1 kpc というスケールで見た各銀河の分子組成と分子存在度の違いを明らかにすることができた (Nakajima et al. 2011; 2018, Takano et al. 2019)。

さらに我々は ALMA を用いて、NGC 1068 に対する観測を行った。得られたデータを全て合わせると、85–111 GHz に渡るほぼ完全な 3-mm 帯イメージング・ラインサーベイが完了しており、 ~ 50 pc のスケールで分子の分布を明らかにできた。検出が確実な 27 輝線について、中心核近傍の circumnuclear disk (CND) と中心から 1 kpc ほど離れたスターバーストリング領域での輝線強度を比較してみると、CND では H^{13}CN , SiO , CH_3CN , HC_3N , ^{13}CN などショックトレーサーや hot core chemistry に関連する分子が強いことがわかった。これは AGN からの放射や、衝撃波に由来する mechanical heating による加熱が効いていることを示唆している可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R18a 衝撃波トレーサー分子の高空間分解能観測で探る活動銀河核の特異な HCN/HCO⁺ 輝線強度比の起源

谷口 暁星, 中島 拓, 田村 陽一 (名古屋大), 高野 秀路 (日本大), 濤崎 智佳 (上越教育大), 河野 孝太郎 (東京大), 原田 ななせ (ASIAA), 泉 拓磨, 今西 昌俊 (国立天文台)

活動銀河核 (active galactic nucleus; AGN) や爆発的星形成 (starburst; SB) などの銀河の熱源の違いを、ミリ波サブミリ波帯の輝線観測を通して診断する手法を確立することは、埋もれた銀河の活動性を近傍から遠方宇宙に渡って理解するために必要不可欠である。現在、ALMA をはじめとする干渉計の高空間分解能観測により、HCN/HCO⁺ 輝線強度比が AGN の核周辺円盤 (circumnuclear disk; CND) で高い値 (> 1) を持つことが報告されている (e.g., Kohno et al. 2008, García-Burillo et al. 2014, Izumi et al. 2016a)。一方、この特異な輝線比の起源は様々な可能性が議論されているものの、観測的な制限は十分に得られていない。

本研究では、ジェットやアウトフローの力学的加熱による高温環境下で HCN の存在量が増加した可能性 (Harada et al. 2010, 2013) に着目した。そこで、衝撃波トレーサー分子の SiO、および光学的に薄い H¹³CN, H¹³CO⁺ を近傍の複数の活動銀河で観測し、X 線光度に依らず SiO/H¹³CO⁺ と H¹³CN/H¹³CO⁺ に相関が見られるかどうかを検証した。ALMA による高空間分解能 (15–25pc) 観測で、これまでに NGC 1068, 1097 の CND および SB 領域で、SiO (6–5), H¹³CN (3–2), H¹³CO⁺ (3–2) を検出した。その結果、SiO/H¹³CO⁺ と H¹³CN/H¹³CO⁺ がともに CND で高い値 ($\gtrsim 1.5$, $\gtrsim 4$) を持つことが明らかになった。また、輻射輸送モデル計算により、観測値の再現には、高温 ($T_{\text{kin}} > 100$ K), 高密度 ($n_{\text{H}_2} > 10^7$ cm⁻³), かつ H¹³CO⁺ に対して H¹³CN と SiO の存在量がともに増加する必要があるという制限を得た。以上より、観測から力学的加熱の可能性を強く示唆する結果が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R19a 電波偏波観測データによる近傍渦巻銀河の大局的磁場構造 I: 磁場ベクトルマップの作成法

中西裕之, 藏原昂平, 安楽健太 (鹿児島大学)

我々は、近傍渦巻銀河の大局的磁場構造を明らかにするため、シンクロトロン放射の2周波数偏波観測データおよび可視・赤外線画像データ、速度場を用いて磁場ベクトルマップを作成する方法を考案したので紹介する。シンクロトロン放射の偏波観測データにより、渦巻銀河には渦状腕に沿った μG 程度の大局的磁場が存在していることが知られている。しかしながら単一周波数の偏波観測データだけでは磁場の方向はわかるものの、 180° の不定性のためベクトルの向きはわからない。そこで我々は次のような手順で磁場ベクトルの 180° の不定性を解くことを考案した。まず銀河の渦状腕構造が trailing spiral であると仮定すると、可視・赤外線画像データと速度場を用いることによって銀河円盤の幾何学的な傾きが決定できる。またファラデー回転量の正負から磁場の視線方向成分の向きを決定する。その上で、2周波数のシンクロトロン偏波データのうち、高周波側の偏波マップを用いて、磁場の視線方向成分の向きがファラデー回転の正負と一致するように磁場ベクトルの方向を決定する。これにより観測点一点一点について磁場ベクトルが得られる。この方法は銀河の磁場構造のモデルを仮定せずに、観測データから直接磁場ベクトルマップを得ることができるという点でメリットがある。この新手法を、近傍渦巻銀河 NGC4414, NGC4736, NGC6946 の3天体に適用し、初めて磁場ベクトルマップを作成することができた。その結果、これら3天体いずれにも外向き・内向きの磁場ベクトルが存在しており、単純な軸対称渦状構造 (ASS: Axis Symmetric Spiral) には分類されず、より高次のモードが存在していると考えられる。また天の川銀河以外の近傍渦巻銀河でも大局的磁場に反転構造が存在することが示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R20a 電波偏波観測データによる近傍渦巻銀河の大局的磁場構造 II: NGC6946 の大局的磁場構造について

藏原 昂平, 中西 裕之, 工藤 祐己 (鹿児島大学)

天の川銀河には渦状腕構造に沿った数 μG 程度の大局的な磁場があり、それらは渦状腕とその間で反転していることが知られている (Han et al. 2006)。系外銀河においても、渦状腕構造に沿った大局的磁場構造が見られるが、天の川銀河に見られるような大局的磁場の反転があるかどうかの共通見解は得られていない (Beck. 2016)。銀河磁場の構造は、Rotation Measure (RM) を用いて議論されている (Buczkowski & Beck. 1991)。RM を用いた系外銀河磁場構造の先行研究では、天の川銀河で見られるような大局的磁場の反転は確認されておらず、その原因として、RM だけでは磁場の3次元的な向きが分からないことがあげられる。そこで、我々は系外銀河の大局的磁場の反転が存在するかを新しい手法を用いて調査した。本研究で用いた手法は、近年開発された磁場ベクトルマップ作成手法であり、観測量から磁場の「向き」を導出することができる (Nakanishi et al. 2019)。

我々は、近傍渦巻銀河 NGC6946 の磁場ベクトルマップを作成し、大局的磁場構造を調べた。作成した磁場ベクトルマップから、磁場ベクトルの方位角方向の変化を調べ、磁場の「向き」が急激に 180° 変化すること (磁場の反転) を発見した。この反転は NGC6946 の内側領域で6回あり、これは磁場のモード数 (m) が $m=3$ であることを示す。外側領域では反転の回数が4回であり、これは $m=2$ のモードに相当する。これらの結果から、系外銀河である NGC6946 で大局的磁場の反転が存在することを観測的に示し (Kurahara et al. 2019)、また、動径方向に大局的磁場のモード数が変化していることを観測的に示した。これまで、動径方向に大局的磁場のモード数が変わる理論モデルは確立されておらず、これらの磁場構造について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R21a 銀河系面内のセファイドを利用した磁場構造解析 II

善光哲哉、栗田光樹夫、木野勝、長田哲也 (京都大学)、松永典之 (東京大学)、西山正吾 (宮城教育大学)、中島康 (一橋大学)

これまで磁場は主に偏光観測によって調べられてきた。しかし、観測される偏光は積分されたものであるため特定の距離にある磁場構造がどうなっているかわからなかった。我々は *Gaia* DR2 とセファイドを用いて距離を決定し、銀河面方向にある磁場が距離に対してどう変化しているのかを調べる新しい解析手法を編み出した。

まず、Dékány et al. (2015) と Matsunaga et al. (2016) で観測された 52 個のセファイドを IRSF の SIRPOL で偏光観測した。SIRPOL は 1 視野約 8 分角で、 JHK_S の 3 バンドのイメージを撮る。*Gaia* DR2 と 1 秒角でマッチングを行い、マッチングした天体で年周視差から距離を計算し、明らかに前景にあると思われるフィールド星を選び出した。次に、セファイド周りのフィールド星に対して、 $H - K_S$ の色でヒストグラムを描くと 0mag から 2mag の間に分布し、セファイドの $H - K_S$ の赤化に対してかなり青いところに分布のピークを形成していた。このピークは銀河バルジに相当すると考えられるので、ピーク付近にあるフィールド星を取り出し、バルジの天体とした。最後にセファイドと同じ距離にある天体を銀河モデルを駆使して求めて、それを後景にあるフィールド星とした。

前回の春季天文学会 (法政大学) では、3 つの視野で前景・銀河バルジ・遠方の平均の偏光を計算し、その差分の結果を議論した。今回は 52 天体全てで同様な解析を行った結果、銀河面に対してよく揃った磁場が続いた視野は全体の中でも少なく、52 の視野の 2/3 が一様成分よりもランダム成分が卓越しているという結果になった。さらに JH バンドの偏光を利用した解析を用いて得られた結果に関して議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R22a 衝突銀河 NGC 3256 における隠された星形成活動 (MUSE/VLT and ALMA 観測)

道山知成 (国立天文台), 伊王野大介 (国立天文台/総研大), 中西康一郎 (国立天文台/総研大) 植田準子 (国立天文台), 斉藤俊樹 (MPIA), 山下拓時 (国立天文台/愛媛大学)

衝突銀河 NGC3256 における、Very Large Telescope (VLT) に搭載された MUSE を用いた電離水素再結合線 ($H\alpha, H\beta$) の観測結果と、ALMA を用いた $H40\alpha$ 輝線の検出を報告する。これらの観測から、銀河衝突過程において「どこで」爆発的星形成活動が誘発されるのかを調べることができる。中心核領域 ($<1\text{kpc}$) と円盤全体 ($>1\text{kpc}$) における爆発的星形成活動のどちらが支配的であるかを定量的に評価する。MUSE 観測では、円盤全体に広がって電離水素領域が広がっていることを確認したが、中心核領域ではダスト減光の効果が強く、星形成率を正確に求めることが困難であった。一方で、ALMA を用いた $H40\alpha$ 観測では MUSE で未検出であった中心核領域で、電離水素領域を検出した。両観測から、NGC 3256 の銀河全体での星形成率は $\sim 43 M_{\odot}\text{yr}^{-1}$ であり、中心核領域での星形成率は銀河全体の約 27 % 程度であることがわかった。これは、銀河衝突によって円盤全体にわたる星形成活動が誘発されていることを示している。中心核領域でのダストに隠された星形成活動を正確に調査した上での結論であることが重要である。さらに、電離水素観測から求められた星形成率と遠赤外線光度を比較することにより、爆発的星形成のタイムスケールがおおよそ 100 Myr 程度であることがわかった。これは、衝突のタイムスケール (約 500 Myr) より短いものであり、NGC 3256 で見られる爆発的星形成活動は、銀河衝突によって誘発されたものであることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R23a MUSE/ALMA/HST を用いた早期型銀河 NGC1380 のダークマター分布の測定

津久井崇史, 井口聖 (国立天文台), Sarzi Marc (Armagh Observatory), 大西響子 (愛媛大学)

宇宙の標準モデル (LCDM) において、ダークマター (DM) の銀河における分布は、DM とバリオンの相互作用そして DM が銀河進化に与える影響を理解する上で重要な物理情報である。しかし、これまで詳細に DM の分布が探られてきたのは晩期型銀河が主であり、さまざまな制限により早期型銀河に対しては行われてこなかった。たとえば、早期型銀河では、広がって分布する中性水素ガスの検出が難しいために広がった DM 分布を求める事ができず、中心に集中した星の力学に頼らざるを得ない状況である。

これを克服するために、早期型銀河 NGC1380 をターゲットとした、ALMA の分子ガス CO(2-1) 運動データと MUSE による星の運動データ、さらに主に星の輝度分布を表す HST 画像データを組み合わせることにより、精度の高い質量測定を行い中心部の DM 分布を測定する手法を検討した。まず、中心部 [半径 $6''$ (500pc)] の CO(2-1) 高分解能 (FWHM= $0.24''$ (82pc)) 運動データと HST 画像から、CO(2-1) ガスの円盤モデルを用い、BH 質量、星の質量分布を求めた。この手法は Davis et al. 2013 と Onishi et al. 2015 で開発された。次に、軸対称性を仮定した星の運動モデル JAM (Jeans Anisotropic Model Capperalli, 2008) を用い、星の運動データから DM の質量分布を測定を試みた。しかしながら、MUSE データでの JAM の下では、得られた星の運動データは分子ガスの運動から測定した中心部の質量分布を説明できないことがわかった。このため中心部ではガスの運動から得た BH 質量、質量光度比の結果を事前分布として与え、中心から離れた部分では星の運動データを用いて最終的な DM の質量を導出することにした。結果、得られた DM の中心の冪は $-0.45_{-0.10}^{+0.11}$ で、DM のみの N 体計算から予想される冪-1 (NFW profile) とは有意に異なることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R24a 矮小不規則銀河 NGC 6822 の外縁部に分布する淡い水素輝線放射領域の発見

小宮山裕 (国立天文台), 他 HSC 開発グループ

局所銀河群に所属する矮小不規則銀河 NGC 6822 は絶対等級 -15 等と比較的明るい矮小銀河であり、現在も活発に星生成活動を行っている銀河である。NGC 6822 は近傍 (520 kpc) に位置するため X 線から電波まで多波長に渡る観測が行われており、銀河を構成する恒星や星間物質などについて多くの情報が入手可能であり、銀河進化を探る上で格好の観測対象である。

我々はすばる望遠鏡超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam を用い、この銀河のハロー迄を覆うような広域探査観測を行った。本探査観測では H α 線帯を透過する狭帯域フィルター NB0656 を用いており、すばる望遠鏡の集光力のおかげで H α 輝線検出限界約 28 mag/arcsec² という非常に深い撮像データを得ることができた。同時期に得られた *r* バンド画像との差分画像を丹念に調べることにより、銀河外縁部 (半径 5–40 分角。0.8 – 40 kpc に相当) に H α を放射する淡く広がった領域を約 40 個発見した。これら外縁部 H α 放射領域の過半数には対応する紫外線源が付随しており、淡い HII 領域であることが推測される。しかし、それらの H α 光度は NGC 6822 本体や銀河系、他の銀河で観測されている HII 領域に比べるとだいぶ低く、NGC 6822 の総 H α 光度に占める割合もわずかであることが分かった。本講演では、これら外縁部 H α 放射領域の詳細を報告するとともに、銀河進化におけるその重要性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R25a Finding New Strong Gravitational Lens Systems from HSC Survey

Anton T. Jaelani (Kindai University), Anupreeta More (IUCAA), Alessandro Sonnenfeld (Leiden Observatory), Masamune Oguri (The University of Tokyo), Kenneth C. Wong (IPMU), James H. H. Chan (EPFL), Cristian E. Rusu (NAOJ), Sherry H. Suyu (MPA), Issha Kayo (Toho University)

Strong gravitational lensing is a valuable phenomenon for studying astrophysics and cosmology, producing multiple images of a distant background source appears on the sky due to light rays being deflected by a massive compact object in between the source and an observer. Lensing is a unique probe of the (dark) matter distribution at large scale and also can act as a natural telescope that magnifies the background sources, allowing for detailed studies of their properties at high resolution. However, strong gravitational lenses are rare and difficult to find, requiring deep wide-area high-resolution imaging surveys. The HSC Survey is the ongoing imaging surveys, expected to cover 1400 deg^2 that can help us to increase the number of strong lensing candidates in the future. Over 300 strong gravitational lens systems have been discovered from early data release, and expected to find more at the end of survey. In this presentation, we summarize the lens searching techniques applied to and the latest science results from the HSC Survey data.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a EHT による M87*の観測成果I: Overview

本間希樹, 小山友明, 川島朋尚, 田崎文得, 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 浅田圭一, 井上允, 小山翔子, 中村雅徳, 松下聡樹 (ASIAA), 池田思朗 (統数研), 沖野大貴 (東京大/国立天文台), 紀基樹 (工学院大), 笹田真人 (広島大), 眞賢二 (東北大), 崔玉竹 (総研大/国立天文台), 水野いづみ (EAO), 水野陽介 (フランクフルト大), 森山小太郎 (MIT), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

2019年4月、おとめ座の楕円銀河 M87 の中心に位置する巨大ブラックホールの「影」の撮影に成功したことが世界的に報告された。撮影された画像では、ブラックホール周囲の光子球に対応するほぼ真円のドーナツ状の構造が捉えられている。その中心部は周囲に対してコントラスト比10分の1以下で有意に暗くなっており、ブラックホールが光さえ脱出できない暗黒の天体であることを人類史上初めて視覚的に示している。この成果は地球規模のミリ波 VLBI 観測網を構築してブラックホールの影の撮像を目指す国際プロジェクト、Event Horizon Telescope (EHT) によって達成されたものである。今回の結果は2017年4月に行われた EHT 観測の初期成果として得られたものであり、ApJ Letter に6本の論文 (EHT collaboration, ApJL, 875, L1-6) としてまとめられた。

本講演およびこれに続く一連の講演では、今回の成果について観測や解析、理論との比較および結果の解釈について詳細を報告する。まず本講演では全体の overview として、EHT プロジェクトの概要および2017年に行われた観測について簡単に紹介する。さらに、その後のデータ解析の道のりや今回得られた結果について概要を紹介し、本講演に続く一連の詳細報告の導入とする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a EHT による M87*の観測成果 II：データ処理および較正過程

小山翔子 (ASIAA), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 浅田圭一 (ASIAA), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) は、ブラックホールの「影」を撮像することを目的として構成された地球サイズのミリ波・サブミリ波 VLBI アレイである。本講演では、人類史上初めてブラックホールの影の撮像に成功した 2017 年 4 月の観測に関して、目的天体である電波銀河 M87 と、較正天体のクエーサー 3C 279 を含むデータ処理・較正・検証の結果を報告する。また、画像化の前段階で読み取れる M87 データの特徴について述べる。

2017 年 4 月 5-11 日、EHT は地球上の 6 箇所に点在する全 8 局の電波望遠鏡を用い、波長 1.3 ミリで観測を行った。空間分解能は約 $25 \mu\text{as}$ に達する。本観測にはフェーズアップされたアルマ望遠鏡が初めて参加したことで、典型的な基線検出感度は、アルマ望遠鏡を含む基線で約 1 mJy、アルマ以外の望遠鏡間でも約 10 mJy を達成した。EHT データは、高速な大気位相変動の影響を受けるうえに、広帯域記録であり、また、不均一な感度の望遠鏡からなるアレイで得られることから、既存のデータ処理過程をそのまま適用することは難しい。我々は、EHT データの特徴に応じて位相較正とフリッジ検出を行うために、3つの独立なパイプラインを新たに開発した。各パイプラインで得られた結果は、一連の品質保証試験による検証から、誤差の範囲で一致していることがわかった。基線毎の系統誤差は振幅に対して約 2%、位相に対して約 1 度となった。M87 のデータから、相関フラックスが基線長に対して二箇所 (約 $3.4 G\lambda$ と約 $8.3 G\lambda$) でゼロ付近に位置すること、またクロージャ量が時間発展をしていることがわかった。これらは、数光日の空間スケールに相当する数十億太陽質量のブラックホールが M87 の中心部に存在すること、また、事象の地平面スケールの構造が数日で変動することを示唆する。本研究から、M87 におけるブラックホールの影の初の画像化に繋がった (秋山・田崎ら講演)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S03a EHTによるM87*の観測成果III:画像化手法およびM87*のファーストイメージ

秋山和徳 (NRAO/MIT), 田崎文得 (国立天文台), 森山小太郎 (MIT), 小山翔子 (ASIAA), 笹田真人 (広島大), 池田思朗 (統数研), 本間希樹, 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 浅田圭一 (ASIAA), 沖野大貴 (東京大/国立天文台), 水野陽介 (フランクフルト大), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) による M87* の観測成果を象徴するのは、初めて視覚的に捉えられたブラックホールの姿である。また科学的観点からも、特定のモデルを仮定せずに M87* の構造を明らかにできる観測データの画像化は重要であった。本講演では電波干渉計の画像化の数理的背景および各手法について述べたのち、M87* の画像化の第一段階として、独立な 4 チームによって復元された最初の M87* の画像を紹介する。

一般的に電波干渉計観測では、得られる空間周波数の数が復元する天体画像の画素数よりも少なく、観測データからは画像が一意に決まらない。そこで画像化では無数の解の中から事前知識をもとに尤もらしい画像を選び出す。我々は EHT 特有の様々な画像化の問題を克服するため、スパースモデリングを代表とする正則化付最尤推定法 (RML; Regularized Maximum Likelihood Method) と呼ばれる手法を開発してきた。RML は数理的に記述された様々な事前知識や、観測方程式に基づいた尤度関数の設定により系統誤差などの様々な観測的影響を取り入れることが可能で、従来法の CLEAN と比べてより柔軟な画像化を実現する。本成果では CLEAN を実装した DIFMAP、RML を実装した日本の SMILI、米国の eht-imaging の三つの画像化ライブラリが用いられた。M87* の画像化の第一段階では、画像化作業班全体が最初の画像に影響されることを避けるため、我々は作業班を 4 チームに分け、各チームは外部と一切情報を共有せずに独立に画像化に取り組んだ。4 チームの画像はデータが配布された 7 週間後に初めて比較され、全てのチームの画像で直径がおおよそ $40 \mu\text{as}$ の非対称リング構造が確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S04a EHT による M87* の観測成果 IV : 画像化方法の評価とリング構造の抽出

田崎文得 (国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 森山小太郎 (MIT), 小山翔子 (ASIAA), 笹田真人 (広島大), 池田思朗 (統数研), 永井洋, 本間希樹, 秦和弘 (国立天文台), 沖野大貴 (東京大/国立天文台), 浅田圭一 (ASIAA), 水野陽介 (フランクフルト大), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) による M87* の観測成果を象徴するのは、初めて視覚的に捉えられたブラックホールの姿である。また科学的観点からも、特定のモデルを仮定せずに M87* の構造を明らかにできる観測データの画像化は重要であった。本講演では秋山らに続いて、画像化方法の評価と、リング構造の抽出について述べる。

M87* の画像化の 1 段階目では、4 チームによって南側が明るい非対称リング構造が独立に確認された (秋山らの講演) が、各チームの画像には細かな差異が見られた。これは、各々が画像化の過程で下した様々な選択が最終的な画像に影響を与えたためである。そこでこの影響を精査するために、画像上では構造が異なるが、観測量にあたる画像のフーリエ成分が M87* の実観測データに良く似ている 4 つの擬似観測データを使って、5 万通りもの方法で画像化を行なった。そこから 4 つすべてにおいて真の画像の再現性が高く、観測データとの残差が小さい画像化方法を選んだ。この方法を用いて M87* の画像を復元し、観測データとの残差が小さい画像を選ぶと、最終的に選ばれた画像はおおよそ 2 千枚となった。このおおよそ 2 千枚の画像から、得られたリング構造のばらつきを評価した。その結果、ソフトウェアによっては 5 マイクロ秒角程度のばらつきはあるものの、観測日に依らずすべての画像で、南側が明るい直径おおよそ 40 マイクロ秒角のリング構造が確認できた。また、リングの幅は 20 マイクロ秒角という上限値が得られた。さらに、4 観測日の間で観測量が時間変化する (小山らの講演) のに応じて、画像上でもリングの方位角が系統的に変化する様子が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a EHT による M87*の観測成果Ⅴ：非対称リング放射構造の理論解釈

当真賢二 (東北大), 中村雅徳 (ASIAA), 水野陽介 (フランクフルト大), 川島朋尚 (国立天文台), 紀基樹 (工学院大), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) による 2017 年の楕円銀河 M87 中心の観測は、波長 1.3 mm において非対称なリング放射構造を明らかにし、2019 年 4 月に世界中に発信された。我々 EHT collaboration は、定常回転ブラックホール時空における一般相対論的電磁流体シミュレーションと一般相対論的輻射輸送計算に基づいて、理論モデルライブラリを作成し、観測データとの比較を行なった。ライブラリはブラックホールの回転速度、磁場の強さなどの広いパラメータ領域を網羅している。比較の結果、観測された放射はブラックホール近傍の高温プラズマからのシンクロトロン放射であり、リング状の放射構造は一般相対論が予言する特徴的な「光子リング」と整合的であることがわかった。EHT 観測データとこれまでの M87 のジェットの見測情報を組み合わせ、ブラックホールが回転していない可能性を排除した。理論モデルではジェットはブラックホールの回転によって駆動される (Blandford-Znajek 過程)。そして回転ブラックホールは、近傍のプラズマをブラックホールと同じ方向に回転させ、そのドップラー効果でリング輝度の非対称性が生じることがわかった。これらの報告と合わせて、一般相対論で記述されるブラックホール以外の天体である可能性を議論する。さらに理論的見地からの将来展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S06a EHTによるM87*の観測成果VI：ブラックホールパラメータの推定

笹田真人 (広島大学), 浅田圭一 (ASIAA), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 森山小太郎 (MIT), 水野陽介 (フランクフルト大), 本間希樹, (国立天文台), 池田思朗 (統数研), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) によって M87 の中心ブラックホール (M87*) の画像化がなされ、M87* には輝度分布が非対称なリング状の構造があることがわかった。この EHT の観測データおよびブラックホール画像からさまざまな情報を得ることができる。本講演では画像および観測データから見積もられる非対称リングの物理的特徴および中心ブラックホールの質量について発表する。

私たちは3つの異なる手法を用いて非対称リング構造の物理的特徴を調べた。1) 非対称なリングモデルを用いて観測ビジビリティデータに対してモデルの最適化を行うことで、データからの特徴量の抽出を行った。このときブラックホール近傍の輝度分布に対する非対称リングモデルは一般相対論的磁気流体 (GRMHD) モデルを用いることで較正を行っている。2) GRMHD モデルと取得されたブラックホールの観測データを直接比較することで、M87* の物理的特徴を見積もった (本年会・当真講演も参照)。3) 観測画像のリング構造の特徴量を観測データから直接抽出した。それにより、秒角スケールの総フラックスのうち50%以上が事象の地平面近傍から放射されており、中心部分が極端に暗くなっていることが明らかになった。これによってブラックホールによって形成された光子球、いわゆるブラックホールシャドウの直接的な証拠を得ることに成功し、活動銀河核の中心にブラックホールが実在することを明らかにした。ブラックホール画像のリング構造の直径は $42 \pm 3 \mu\text{as}$ と求められ、ここから M87* の重力半径の角度 ($GM/c^2 D$; D は距離) が $3.8 \pm 0.4 \mu\text{as}$ と見積もられた。M87* の距離 D を $16.8_{-0.7}^{+0.8}$ Mpc を用いると、ブラックホールの質量は $M = 6.5 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.7_{\text{sys}} \times 10^9$ 太陽質量と見積もられた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a フレア状態の M87 における三日月状シャドウ：2020 年代の EHT に向けた新しいブラックホール・スピン測定法

川島 朋尚 (国立天文台), 紀 基樹 (工学院大学/国立天文台), 秋山 和徳 (NRAO/MIT)

イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) により M87 楕円銀河中心のブラックホール (BH) シャドウが初めて観測され、BH 質量は太陽質量の約 65 億倍と見積もられた。一方で BH スピンに関しては、スピンの回転方向が地球からみて時計回りであることがわかったものの、スピンの速さについての制限は与えられなかった。これは、BH シャドウを縁取る光子リングの半径のスピンの依存性が非常に弱く、スピンの影響がおおよそ 5% 程度の半径の違いにしか現れないことに起因している。

そこで我々は新たなスピン測定法を探るために、今回観測された M87 の時期よりもやや質量降着率が高く (フレア状態)、降着円盤が局所的に光学的に厚い状況での BH シャドウ計算を実施した。計算の結果、光子リングに加えて BH 近傍の光学的に厚い降着流による明るいリング像が現れた。そして BH スピンが速いときは、この二重のリングの間に、特徴的な「三日月状シャドウ」が現れることがわかった。

この三日月状シャドウが現れる理由は、BH スピンにより光子リングの位置がスピン軸に垂直方向へと有意にシフトするのに対し、光学的に厚い降着流によるリング像はほとんどシフトせず、両リングの中心にずれが発生するためである。三日月状シャドウの幅は BH スピンが速いときほど大きくなり、BH スピン $a_* = 0.998$ のときには重力半径の約 2 倍に達する。この構造が観測されれば BH が高速自転していることの強力な証拠となる。模擬観測を行なった結果、この三日月状シャドウは GLT を含む 2020 年代の EHT の 350GHz 帯での観測でわずかに検出可能であり、さらにスペース VLBI に拡張された EHT を用いれば確実に検出可能であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a EHTによるSgr A*への落下ガス雲の直接撮像を用いたブラックホールスピン測定

森山 小太郎 (マサチューセッツ工科大学 ヘイスタック観測所), 嶺重 慎 (京都大学), 本間 希樹 (国立天文台), 秋山和徳 (アメリカ国立電波天文台/マサチューセッツ工科大学 ヘイスタック観測所)

銀河系中心の超大質量ブラックホール候補天体 いて座 A* (Sgr A*) は、全ブラックホール候補天体の中で最大の視直径を持つ、Event Horizon Telescope (EHT) のメインターゲットの一つである。Sgr A*の電波放射はブラックホールシャドウに肉薄する大きさと、10分から1時間の短い時間スケールの光度変動を持つことが知られている。そのため、ブラックホール近傍の相対論的な降着流を、EHT 観測によって空間・時間の両方から解明することが期待されている。EHT 観測による、ブラックホールへの落下ガス雲の直接撮像は、事象の地平面近傍でのみ検出可能なブラックホールスピンを測定することにつながる。しかし、短かな時間スケールでの変動は画像化を困難にするため、この課題を解決するための画像取得法とスピン測定法が不可欠である。

2018年秋の年会 [W34a] では、超大質量ブラックホールの降着を想定し、より任意の運動と放射スペクトルを持った落下ガス雲の光度変動とそのスピン依存性を一般相対論的放射輸送計算を用いて解明し、より実用的なスピン測定法を構築した。本研究では、Sgr A*周りの時間変動する降着円盤と落下ガス雲の光度変動を、2017-2020年の EHT 観測を想定した模擬観測シミュレーションによって調査する。得られた模擬観測結果に対し、最先端の画像・動画撮像法を適用することで、降着円盤の変動などを含む成分から、落下ガス雲の時間変動のみを検出する方法を構築し、光度変動から得られるスピンの測定精度を検証する。最後に、2020年以降の Sgr A*の EHT 観測に対する本スピン測定法の適用と、今後の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S09a M87-EHT-2017 キャンペーンに同期した東アジア VLBI ネットワーク観測で迫る、ブラックホール-ジェットコネクション

秦和弘 (国立天文台)、崔玉竹 (総研大)、紀基樹 (工学院大)、本間希樹 (国立天文台)、Bong Won Sohn (KASI)、他 EAVN AGN Science Working Group

M87 は中心核から強力な相対論的ジェットを噴出する最近傍の活動銀河として知られる。2017 年 4 月に実施された Event Horizon Telescope (EHT) 観測は、M87 中心核のブラックホール (BH) シャドウをついに撮影することに成功した (EHT Collaboration et al. 2019a-f)。EHT 230GHz 画像において M87 は数シュバルツシルト半径以内で際立ったリング構造を示し、その中心核に巨大 BH が存在する強力な証拠を捉えた。しかし一方で、今回の EHT 画像には広がったジェットからの放射が検出されず、巨大 BH とジェットが根元でどのように繋がるのか、「新たな宿題」として残された。そこで鍵となるのが、ミリ波 EHT と同時期に観測されたセンチ波 VLBI のデータである。特に 22/43/86GHz 帯の VLBI データは BH から数 10-数 100 倍程度下流のジェット撮影に最適であり、また多周波スペクトルが得られることから EHT と相補的である。我々は 2017 年 1 月から 5 月にかけて日韓中の電波望遠鏡で構成される東アジア VLBI ネットワーク (East Asian VLBI Network; EAVN) を用いて、M87 ジェット根元を約 1-2 週間毎の高頻度で集中的にモニターした。その結果、ジェットの limb-brightening 構造において、根元付近では南側のリムのほうが北側よりも系統的に明るいことがわかった。また、コア付近におけるジェットの噴出方向が、遠方で観測される北西方向と異なり、根元ほど真西に向かって変化していく様子が捉えられた。本講演では EHT-EAVN 準同時データを比較し、ブラックホールとジェットとのコネクション及び多周波 VLBI 観測から制限される M87 中心核の物理状態について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10a 日韓合同 VLBI 観測網で探る M87 ジェット速度場のプロファイル計測

紀基樹 (工学院大/国立天文台), J. Park (ソウル大), 秦和弘 (国立天文台), 中村雅徳 (ASIAA), 東アジア VLBI ネットワーク AGN サイエンスワーキンググループ

おとめ座銀河団中心にある楕円銀河 M87 は、ジェット形成メカニズムを探る格好の天体として知られる。2019 年 4 月には、イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) によって M87 ジェット根元のブラックホールシャドウが初めて撮影される飛躍的な進展がみられたが、ジェット成分については検出には至らなかった。ジェット形成メカニズムの解明は、残る未解決問題として大きな注目を集めている。われわれ東アジア VLBI (EAVN) AGN サイエンスワーキンググループは、M87 ジェット形成の仕組みを探る上で重要な鍵となるジェット速度の動径プロファイルを明らかにするため、2016 年に日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) の 22/43GHz 帯準同時の 2 週間間隔の高頻度モニター観測を実施した。M87 ジェットは豊かな空間構造をもつため、ジェット成分の同定は自明ではない。そこでわれわれは、ガウシアンモデル、点源モデルのグルーピング、ウェーブレット解析の 3 通りの独立なフィット手法を用いて慎重にジェットの運動を解析を進めた。

まず、この解析の結果から得られた M87 ジェット速度場のプロファイルから分かることは、中心エンジンからの各距離における速度の値に幅を持つことである。このことは、複数の異なる速度を持つ流線の重ね合わせを観測しているという描像で自然に理解できる。さらに興味深いことに、これまでの一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) に基づく数値実験が予言する速度場プロファイルと比較すると、EAVN 観測で計測した速度場データは、実際の M87 ジェットはこれまでの GRMHD 実験の予言よりもゆっくりと加速 (磁気エネルギーからバルク運動エネルギーへの変換) が進行していることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S11a M87 ジェット地平面領域の構造解明輻射輸送計算による EHT 偏波イメージの理論予測

恒任優, 嶺重慎 (京都大), 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT)

今年4月発表された EHT(Event Horizon Telescope) によるブラックホール地平面付近の観測結果では、意外なことにターゲット M87 の特徴として知られるジェットが全く見られなかった。活動銀河核ジェットの駆動機構は未解明であり、天文学における最大の謎の1つに数えられている。一方、理論的考察およびシミュレーションからブラックホールに近い根元付近の磁場が鍵を握ることが示唆されており、地平面近くでジェットが見られなかったことはその構造解明にあたり重要な意味を持つ。本研究の目的はジェット根元の磁場構造を偏光観測から明らかにし、ジェットの駆動構造を解明することである。そのため独自に開発した計算コードを用いて、偏波イメージを理論シミュレーションで予測した。輻射輸送の際に用いる粒子密度、速度、磁場などのプラズマの物理量については、観測されている M87 ジェットの幅をうまく再現する中村雅徳氏 (台湾中央研究院) の一般相対論的磁気流体力学計算の結果を用いた。計算から直線偏光分布のスピンの依存性を明らかにし、スピンパラメータ $a=0.9$ のモデルが、 $a=0.5$ や $a=0.99$ のモデルよりも EHT の撮像イメージと旧来の M87 コア偏波観測の結果を同時にうまく再現することがわかった。特に、ジェットの加速が強い $a=0.99$ のモデルに比べ、 $a=0.9$ のモデルでは地平面付近のプラズマの加速が適度に弱く相対論的ビーミング効果が小さいため、ジェットからの放射が見えにくくなり今回の EHT 観測の結果と整合的となることが示された。さらに先行研究では注目されていなかった円偏光についても、ファラデー変換による増幅の結果、地平面付近に存在する高温な降着流が持つ磁場構造の情報が含まれていることを新たに見出した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12a 多波長 VLBI 観測によるクェーサー 3C 273 のジェット収束領域の特定 II

沖野大貴 (東京大学/国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT Haystack), 浅田圭一 (ASIAA), 秦和弘 (国立天文台), 中村雅徳 (ASIAA), 本間希樹 (国立天文台), 他 GMVA+ALMA 3C273 Collaboration

活動銀河中心核 (AGN) から噴出する相対論的ジェットにおける重要な問題の一つは、ジェットの収束機構である。ジェットは周辺物質からの外圧により収束し、その形状が細く絞られることで、銀河中心部 1 pc 以内の領域から銀河間領域である数 Mpc にまで伝搬する。それ故ジェットの収束の様子を明らかにすることは、その周辺環境や銀河の宇宙論的進化を促すジェットの運動学的フィードバックを理解する上で重要である。近年、M87 を代表とする低光度 AGN のジェットの形状が広範囲に渡って測定され、多くの低光度 AGN においてジェットの収束がブラックホール重力圏である約 10^5 シュバルツシルト半径 (R_g) 以内で起きていることが明らかになった。

我々はこれまで探査が進んでいない質量降着率の高いクェーサーなどの AGN に着目した。2019 年春季年会 [S04a] では、ブラックホールの視直径が大きい近傍クェーサー 3C 273 のジェットの形状を多周波 VLBI 観測を用いて測定した結果を報告した。各周波数毎にジェット根元のコアを基準に測ったジェットの幅のプロファイルは、多くの低光度 AGN と同様にブラックホールの重力圏内で 3C 273 のジェットが収束していることを強く示唆した。

本講演では引き続き 3C 273 の観測結果を報告する。我々は新たに、ジェットの光学的厚みの周波数依存性に起因するコアの位置の変化 (コアシフト) を測定した。その結果、3C 273 のブラックホールの位置は 86 GHz のコアからおよそ $10^4 R_g$ 上流に位置していることが明らかとなった。またこれにより前回報告したジェットの幅を、中心ブラックホールからの距離の関数として記述することが可能となり、3C 273 のジェットがブラックホール重力圏内で収束することを確認した。本研究により、クェーサージェットの収束領域が初めて正確に特定された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S13a ブラックホール磁気圏での遷磁気音速ジェット加速

高橋真聡 (愛知教育大)、大海ほのか (大阪教育大)、紀 基樹 (工学院大)

活動銀河核からは、しばしば相対論的速度にまで加速された宇宙ジェットが観測されている。そのような銀河核の中心領域には超巨大なブラックホールが存在すると考えられるが、ブラックホール周辺の降着ガス流とそれに伴い生じる磁場の存在が宇宙ジェット発生機構の鍵であると考えられる。実際、2017年春にイベントホライズンテレスコープ (EHT) によって初めて M87 銀河中心の「ブラックホール影」が撮像観測されたが、得られたリング状画像の性質は一般相対論的磁気流体 (GR-MHD) モデルと整合的であった。今回の EHT 観測にジェット生成領域の姿は写っていなかったものの、リング状に観測されたブラックホール周辺プラズマと遠方にまで伸びる宇宙ジェットとの関わりは、観測的にも理論的にも極めて重要な研究課題として注目され始めている。そこにはジェットのプラズマ源や加速機構の本質が直接含まれているからである。

本講演では、ブラックホールの周りに定常で軸対称な磁気圏モデルを設定し、ブラックホール周辺からの GR-MHD ジェット流について考察する。ジェット流の起源となるプラズマ供給領域については未だ不明ではあるが、光円柱 (outer-light surface) よりも内側に位置し、低速で流れ出すと仮定する。磁気圏の回転による遠心力により、MHD プラズマはブラックホールの重力を振り切って加速され、遷磁気音速流となって遠方にまで流れ出すことができる。遷磁気音速流の解析のためには、一般的には臨界条件についての煩雑な扱いが必要とされるが、本研究では Takahashi & Tomimatsu (2008) で開発した解析手法を用いて、簡便な方法での解析を進めた。M87 ジェット観測から知られている磁場形状や加速プロファイルを参考にして、どのようなブラックホール磁気圏の物理パラメーターが、どのような加速ジェットを形成するかについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S14a 磁場反転ジェット of 伝搬ダイナミクス

松本仁 (福岡大学), 政田洋平 (愛知教育大学), 滝脇知也 (国立天文台)

活動銀河核ジェットやガンマ線バーストなどの相対論的ジェットの加速メカニズムは宇宙物理学における解明すべき謎の一つである。相対論的ジェットを駆動する物理メカニズムとして、回転している中心天体であるブラックホールおよびその周りに形成される降着円盤の回転エネルギーを磁場を介して引き抜き、ジェットの運動エネルギーに転換する理論が古くから提唱されている (Blandford & Znajek 1977; Blandford & Payne 1982; Uchida & Shibata 1985; Shibata & Uchida 1986)。近年のシミュレーション研究により 100 シュバルツシルト半径程度で数ローレンツ因子程度のジェットが駆動されることがわかってきているが (Liska et al. 2018; Nakamura et al. 2018)、観測されている最終的なローレンツ因子 (活動銀河核ジェットで数十程度) に達するには更なる加速が必要である。これはジェットが伝搬する際に蓄えているポインティングフラックスをジェットの運動エネルギーに転換する必要があることを示している。太陽の磁場はその極性が 11 年周期で反転することが知られているが、ブラックホール周りに形成される降着円盤の磁場も円盤ダイナモ起源により円盤の 10 回転程度のタイムスケールで極性が反転することがシミュレーション研究により示唆されている (e.g, Brandenburget al. 1995)。降着円盤の磁場が反転するとジェット中の磁気極性も反転し、反転の境界面で磁気散逸が生じることが期待される (Giannios & Uzdensky 2019)。そこで本研究では、磁場反転を繰り返しているジェットの伝搬ダイナミクスを相対論的電磁流体シミュレーションを用いて調べた。その結果、磁気中性面で散逸した磁気エネルギーがジェットの更なる加速に寄与することがわかった。本講演では、この加速メカニズムの詳細を述べるとともに活動銀河核ジェットやガンマ線バーストへの応用についても言及する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S15a 確率過程モデルを用いたジェット天体の多波長光度曲線解析

大間々知輝、植村誠（広島大学）

ジェット天体を多波長で観測すると異なる波長で時間差（タイムラグ）と広がり（タイムストレッチ）を伴って光度曲線が相関することがある。通常このようなデータ間の相関を調べるには Discrete Correlation Function (DCF) が使われてきた。これはデータの間隔が一定でない時にでも相関関数を求めることができる解析手法である。しかし DCF では、タイムラグの不定性が評価しにくい、タイムストレッチの効果を想定していないなどの問題点が存在する。これらの問題を解決する手法として確率過程モデルを用いることが考えられる。確率過程モデルの1つである Ornstein-Uhlenbeck 過程を用いてタイムラグとタイムストレッチをモデル化し、モデルのパラメータの事後確率分布を推定する手法は、反響マッピングの分野で使われている。本研究ではその手法を一般的な光度曲線解析に応用した。

人工データを用いた実験では、データが十分得られている時に各パラメータの推定に成功すること、完全なデータに対して 90% の欠損がある時でもパラメータの推定に成功することを確認した。ただし、同様の欠損データの場合、本来相関がないデータに対しても 30% の確率で偽の相関を検出することも分かった。また、実天体のデータへの適用例として、ブレーザー PKS 1510-089 のガンマ線と電波、ガンマ線と可視光の光度曲線解析を行った。ガンマ線と電波の光度曲線解析では、タイムラグが 53_{-7}^{+5} 日、タイムストレッチが 93_{-13}^{+13} 日と推定された。これはガンマ線のフレアと電波のフレアが誤差の範囲内で同時に立ち上がり、電波フレアの極大がガンマ線フレアの極大より 53 日程度遅れることを意味する。ガンマ線と可視光の光度曲線解析では有意なタイムラグ無しで相関することが分かった。これら 2 つの解析結果はジェットの内部衝撃波モデルでよく説明できる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S16a ガンマ線を発する電波銀河の X 線統計解析

眞武寛人、深沢泰司 (広島大学)

Fermi 衛星によりブレイザー天体に加え電波銀河もガンマ線を発する天体であることがわかった。Fermi 衛星は 1 年目で 10 個の電波銀河を検出し、X 線の統計的な調査 (Fukazawa et al. 2015) も報告されている。2019 年 3 月に 4 番目の preliminary なカタログが発表された。1 年目にカタログにリストされた電波銀河の 10 個に比べて、このカタログでは約 50 個と大幅に増加し、統計的な議論を行うことが可能となった。

本研究で用いる電波銀河は活動銀河核 (AGN) の一つであり、電波の弱い AGN に比べてジェット放射が明るい。ガンマ線では、ジェットをほぼ正面から受けるブレイザーが多数検出されている。このようなビーミング効果によりジェットのコアの部分が極めて明るいブレイザーに対して、ビーミングの弱い電波銀河はジェットのコア以外の構造を探る上で重要な天体である。

本研究では Fermi によりガンマ線で検出された電波銀河について X 線で解析し、ガンマ線で検出された電波銀河の X 線帯域がジェット放射であるのか降着関連の放射であるのかを区別することを目指している。X 線の解析には Swift 衛星の XRT (The X-ray Telescope) を用いる。Fermi により検出された電波銀河において Swift に観測データが存在するものは 40 程度ある。これらの電波銀河でのスペクトルフィット、時間変動、光度曲線による解析を行うことで、その結果をセイファート銀河のものと比較し電波銀河の構造を分析し報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S17a Chandra 衛星による活動銀河 NGC 1068 中心核近傍の X 線空間分解観測 (2)

中田諒、林田清、野田博文、松本浩典、米山友景 (大阪大学)

サブミリ波干渉計 ALMA 他の観測で活動銀河核 (AGN) 中心部 10-100pc の構造が空間分解されつつある。X 線観測は、物質の状態 (分子か原子か) によらず、かつ、中心ブラックホールの最近傍まで見通せる点で重要であるが、角度分解能の面では Chandra 衛星の 0.5 秒角を例外に、より短波長側には及ばない。我々は、より高い角度分解能の装置 (e.g. MIXIM 干渉計) を開発する一方で、最近傍 AGN に関する Chandra 衛星のアーカイブデータを、サブピクセルの位置情報も利用して解析を行っている。

最初のターゲットは、セイファート 2 型銀河のプロトタイプ NGC 1068 である。2019a 年会では、鉄輝線放射が中心から 100pc 程度の領域に広がっていること、中心核の東西で鉄輝線の分布が異なっていることを発見した。前回発表では未使用のデータも含めトータルの露光時間を 4 倍以上確保したデータ、特に中性の Fe-K 輝線と、高階電離の Fe-K 輝線の等価幅に対応するマップを作製し、両者の分布に違いがあることを発見した。さらに 2019a 発表では、鉄輝線の分布に関して、分子雲の分布と反相関していることも報告した。これは、Circinus galaxy に関する先行研究 (Kawamuro et al. 2019) でも報告されている傾向で、これが意味するところを議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S18a Rotating Ionized Gas Ring around the Galactic Center IRS13E3

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS), Makoto Miyosi (NAOJ), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum)

We detected a compact ionized gas associated physically with IRS13E3, an Intermediate Mass Black Hole (IMBH) candidate in the Galactic Center, in the continuum emission at 232 GHz and H30 α recombination line using ALMA Cy.5 observation (2017.1.00503.S, P.I. M.Tsuboi). The resultant angular resolutions of the observations are both $0.037'' \times 0.024''$, $PA = 87^\circ$ using “natural weighting”. The continuum emission image shows that IRS13E3 is surrounded by an oval-like structure. The oval-like structure is seen as an inclined linear feature in the H30 α position-velocity diagram, which is usually a defining characteristic of a rotating gas ring around a large mass. The gas ring has a rotating velocity of $V_{\text{rot}} \sim 150 \text{ km s}^{-1}$ and an orbit radius of $r \sim 7 \times 10^{15} \text{ cm}$. From these orbit parameters, the enclosed mass is estimated to be $M_{\text{IMBH}} \sim 1.2 \times 10^4 M_\odot$. The large enclosed mass would be a supporting evidence of that IRS13E3 is an IMBH. Because the orbital period is estimated to be as short as $T = 2\pi r/V \sim 100 \text{ yr}$, the morphology of the observed ionized gas ring is expected to be changed in the next several decades. The mean electron temperature and density of the ionized gas are $\bar{T}_e = 6800 \pm 700 \text{ K}$ and $\bar{n}_e = 6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$, respectively. Then the mass of the ionized gas is estimated to be $M_{\text{gas}} = 4 \times 10^{-4} M_\odot$. We will present the details of our ALMA observation and analysis with the data.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S19b VERA(GENJI)/KaVA/VLBA で探る 3C 84 ジェットの電波構造および超光速運動

平野あゆみ, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大学), 永井洋 (国立天文台), 紀基樹 (工学院大学), 秦和弘 (国立天文台), GENJI collaboration

巨大楕円銀河 NGC 1275 の中心核に存在する電波源 3C 84 は、電波で非常に明るい天体である。3C 84 はジェットが間欠的に噴出することが知られており、2005 年ごろから確認されている電波帯における増光もジェット活動の活性化に起因する可能性が考えられている (Nagai et al. 2010)。

我々は VERA 22GHz による高頻度 VLBI モニタープログラム GENJI(2007 - 2018 年) や、日韓 VLBI 観測網 (KaVA 43GHz) によるモニター観測 (2015 - 2018 年) によって、3C 84 のパーセクスケールにおけるジェットが多数の構造によって形成されていること、および VLBI コアから南に 0.7 パーセク程度の位置に見られる構造が複雑な運動をしていることを確認した。そこで我々は、この複雑な運動の原因を明らかにするため、VLBA 43GHz 観測のアーカイブデータ (2010 - 2018 年) 77epoch を用いて、3C 84 のジェットのサブパーセクスケールの構造変化を詳細に調査した。その結果、ジェット根元からおよそ 0.3 パーセクに見られる二股のリム構造が 1 年程のタイムスケールで輝度ピークが移動していること、リム領域にて複数の短命な成分が見られ、これらは見かけ上超光速運動をしていることがわかった。これまで 3C 84 のジェット成分において超光速現象は報告されていない。

本講演では、長期にわたる VLBI 観測の解析結果の報告と、3C 84 超光速成分の運動およびそこから示唆されるパーセクスケールジェットのジオメトリについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S20b 銀河中心核トーラスにおける輻射圧を考慮した磁気流体数値実験

工藤祐己、和田桂一(鹿児島大学)

活動銀河中心核の 0.1-10 pc スケールに存在する光学的・幾何学的に厚いトーラス状のガス雲には、ガス圧よりも大きい磁場が付随していることがダスト偏波の観測から示唆されている (Lopez-Rodriguez et al. 2015)。このような磁場は磁気回転不安定性 (MRI) によって、巨大ブラックホール周りの降着円盤へのガス供給や分子雲アウトフロー形成に寄与すると考えられる。Chan & Krolik (2017) や Dorodnitsyn & Kallman (2017) はトーラスガス雲の磁気流体計算を行っているが、低温ガスを考慮できていないことと MRI の性質について議論できていなかった。そこで我々はこれまで、輻射冷却・加熱を考慮した大局的 3次元磁気流体シミュレーションを用いて、強い磁場に貫かれた低温円盤中では、磁気回転不安定性 (MRI) が駆動することで磁場の増幅が起きること、磁場によってガスが圧縮・膨張させられることで熱的变化を引き起こすことができることを示した。しかし、この計算では観測で期待されるような幾何学的に厚いトーラス構造の再現には至らなかった。

本公演では、冷却効果によって形成された磁気圧優勢な低温ガス円盤が降着円盤からの非等方輻射圧によって及ぼされる影響について計算結果を報告する。輻射圧は円盤表面のガスを中心部へ掃き集めて間欠的に吹き上げる構造を作り出す。円盤表面の磁力線の一部は吹き上げられたガスによって引き伸ばされ、動径・鉛直磁場成分を作る。しかし、ガスは空間的に膨張するため磁場強度としては減少してガス圧優勢になる。円盤内部では輻射圧を考慮しない場合と同様に強い磁場に貫かれた低温円盤による MRI が駆動する。Wada (2012) による輻射駆動噴水モデルのガス分布の比較から磁場構造との関係を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S21b 広帯域X線スペクトルで探るセイファート1型銀河のトーラス特性

小川翔司, 上田佳宏, 山田智史, 谷本敦 (京都大学), 川口俊宏 (尾道市立大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) には、中心の超巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) を取り囲むトーラスが存在する。このトーラスは SMBH への質量供給源と考えられ、SMBH の成長を理解する上で重要な構造である。しかしながら、その基本的な性質 (幾何構造やガス・ダスト比) は、未だによく理解されていない。近年、多波長観測結果から、クランプ状にガス・ダストが分布する「クランピートーラス」が示唆されている。実際、赤外線スペクトルに適用可能なモデルが作成され (Nenkova et al. 2008)、トーラス中のダスト分布が調べられている。最近、X線においても、赤外線スペクトルモデルと同様の構造を仮定した X線スペクトルモデルが作成され (XCLUMPY: Tanimoto et al. 2019)、X線スペクトルからトーラス中のガス・ダスト分布を調べることが可能となった。これにより、赤外線と X線の直接比較をすることで、トーラスのガス・ダスト比を調べることができる。

私達は、赤外線スペクトルからトーラス中のダスト分布が調べられている、近傍のセイファート1型銀河 (Ichikawa et al. 2015; García-Bernete et al. 2019) に着目した。これらの天体の広帯域 (0.3–70 keV) X線スペクトルに XCLUMPY モデルを適用し、トーラスの赤道面における水素柱密度を推定した。2019年春季年会では、Ichikawa et al. (2015) のサンプル2天体の結果について報告した。今回は、さらに García-Bernete et al. (2019) の7天体を加え、合計9天体に対して同様の解析を行った。その結果、赤外線との比較から、これらセイファート1型銀河9天体のうち8天体のトーラスでは、銀河系の星間物質よりもガスに対するダストの比が大きいことが示唆された。本講演では、以上の結果から示唆される AGN トーラスの構造について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S22b マルコフ連鎖モンテカルロ法によるブレーザー Mrk 421 の SED モデルパラメータ推定

植村誠, 山田悠梨香, 深沢泰司, 大野雅功, 今里郁弥 (広島大学), 伊藤亮介 (美星天文台)

観測されるブレーザーのスペクトルエネルギー分布 (SED) に放射モデルを最適化させることによって、活動銀河核ジェット内の物理状態や時間変動の起源を調べることができる。典型的な BL Lac 型ブレーザーである Mrk 421 は、逆コンプトン散乱の種光子にシンクロトン放射を考える単純なモデルによって観測される SED が再現されるため、そのような研究の良いサンプルとなってきた。一方で、この場合でも一部のモデルパラメータは強く相関し、モデルは縮退して解が一意に決まらないことも知られている。特にパラメータの時間変動を調べる際には適切な推定法とその不定性の評価が重要となる。

我々はこの問題に対してこれまでマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたパラメータ推定法を研究してきた (2017 年秋季年会 S33a, 2018 年秋季年会 S11a)。本講演ではその最終報告を行う。SED サンプルは 2018 年時の 15 サンプルから、X 線で暗い時期と明るい時期の両方を含む 41 サンプルに増やした。その結果、この 2 つの時期でモデルパラメータが二極化する傾向が明確となった。暗い時期は比較的強い磁場 ($B \sim 10^{-1}$ G)、小さい放射領域 ($\sim 10^{16}$ cm)、低い電子エネルギーで特徴付けられ、逆に明るい時期は弱い磁場 ($B \sim 10^{-3}$ G)、大きい放射領域 ($\sim 10^{18}$ cm)、高い電子エネルギーを示す。また、電子のエネルギー u_e は磁場のエネルギー u_B よりも常に小さく、比較的磁場が強い X 線で暗い時期においても、不定性を考慮した上で $\log u_e/u_B > -1$ と推定された。ただし、推定された電子のエネルギー分布は天体が明るい時期においては衝撃波加速シナリオで期待されるものよりも有意にソフトで、電子のエネルギー分布が異なる複数の放射領域の存在を示唆しているのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S23c MCMC 法を用いたアウトフロー吸収線の model-fit 方法の提案

石田大、三澤透、伊東大輔 (信州大学)、堀内貴史 (NAOJ)

クエーサー吸収線として観測される AGN アウトフローは、SMBH の成長促進や母銀河の星形成の抑制、周辺の化学進化を促すなどの効果から銀河中心の SMBH と母銀河の共進化に貢献していると考えられている。そのうち、吸収線幅の小さい Narrow Absorption Line (NAL; $\text{FWHM} < 500 \text{ km/s}$) や mini-Broad Absorption Line (mini-BAL; $500 \text{ km/s} \leq \text{FWHM} < 2000 \text{ km/s}$) は 4 つのパラメータ (赤方偏移 z 、柱密度 $\log N$ 、ドップラーパラメータ b 、視線方向に対する光源の掩蔽率 C_f) を用いた model-fit で定量的な評価が可能である。しかし、 C_f についてはその値が、 $0 < C_f \leq 1$ の範囲に限定されているため、従来の推定方法では信頼区間の推定が困難であった。また、2 つの吸収体の重複を考慮した fitting も、重複部分の割合が各吸収体の C_f を超えてはいけないという制限があるため同様に困難である。そのため、最小二乗法や最尤推定法などの従来の方法では、上記の場合で吸収線の C_f を推定し誤差の評価を行うことが困難な場合が多々あった。

そこで我々は、ベイズ推定と MCMC 法による model-fit によりこれらの問題を解決する方法を検討し、その結果吸収線の重複率を評価できることを確認した。一部の mini-BAL にはスムーズなプロファイルの中に独立した NAL が見つかっている天体が存在し、それらの吸収体の重複を調べることで、mini-BAL とその中に存在する NAL 同士の関係性を明らかにできる可能性がある。本講演では従来の解析方法との比較、実際の天体への適応可能性などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S24c BAL 視線上に位置する intrinsic NAL absorber の光源距離の概算

伊東大輔、三澤透、石田大(信州大学)、堀内貴史(国立天文台)

Broad Absorption Line(BAL; FWHM $>$ 2,000km/s) は降着円盤からの輻射圧によって駆動するアウトフローガスのダイナミクスを反映した特徴的な吸収線であり、クェーサー中心の大質量ブラックホールと母銀河との共進化を解明する上で重要視されてきた。一方で近年では IGM や CGM が作るような幅の狭い吸収線、Narrow Absorption Line(NAL; FWHM $<$ 500km/s) に対しても、時間変動、line-locking、部分掩蔽などのクェーサーに物理的に関連している証拠を示すもの (intrinsic NAL) が検出されるようになった。だが、これら intrinsic NAL の起源は、BAL 同様クェーサー中心領域において輻射圧で駆動するアウトフローと、母銀河スケールに広がる星間アウトフローの2つの可能性が考えられる。

そのため我々は intrinsic NAL の起源を突き止めるために、吸収体が背景光源に対してどれだけ離れているか(動径距離)に着目した。なお、光電離モデルから吸収体の距離を概算するためには吸収体の電子密度の情報が欠かせない。その際、intrinsic NAL 吸収線系に含まれる SiII1260, SiII*1265 と CII1335, CII*1336 などの微細構造線を利用すれば電子密度、ひいては動径距離を求めることが可能となる。

そこで我々は ESO の VLT/UVES で取得された 10 天体の BAL クェーサーのうち、微細構造線を持つ intrinsic NAL を探査し、光電離モデルと微細構造線を用いた距離解析を試験的に実施した。その結果、スペクトル中に FWHM \sim 20,000 km/s に及ぶ強い BAL を持つ SDSS J121549.80-003432.1 の intrinsic NAL は、降着円盤風によって駆動される BAL の動径距離 (\sim pc) よりも数桁ほど遠方の母銀河の CGM スケール (kpc \sim 100kpc) に位置することを示唆した。本講演では、さらに他の天体の intrinsic NAL の距離の計測可能性についても検討する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25c IceCube-170922A 発生後の TXS 0506+056 におけるパーセクスケールジェット の構造変化

新沼浩太郎（山口大学）、永井洋（国立天文台）

ブレーザー TXS 0506+056 は IceCube ニュートリノ望遠鏡によって検出された高エネルギーニュートリノイベント IceCube-170922A の対応天体と考えられている。

我々は国内の VLBI 観測網である VERA を用いて、高エネルギーニュートリノイベント発生後 8 日目から 52 日目までの間に 4 回の追観測を実施したものの、この短期間では「VLBI コア」近傍における構造変化やフラックスの変化は見られなかった（2018 年秋季年会 Z213a）。一方、VLBA を用いた低頻度かつ長期のモニター結果によると、VERA によるモニター結果と同様、IceCube-170922A の発生前後で構造の変化は見られないものの、センチ波帯では 8 ヶ月程度の時間をかけて緩やかに VLBI コアのフラックスが増光していることが明らかになってきた。他のブレーザーにおいては高エネルギーフレア発生後に VLBI コアのフラックスが増光し、時間差を持って新しいジェットが出現する、という例が報告されている。

期待される VLBI コア近傍の構造変化を捉えるため、我々はジェットのより上流を見通すことができる 7 ミリ帯および 13 ミリ帯で VLBA を凌ぐイメージ感度を実現可能な東アジア VLBI 観測網（EAVN）を用いて、数ヶ月間隔のモニターを開始した。その結果、2019 年 1 月までの間、ミリ波帯においてもコアのフラックスが増光傾向にあることが分かった。加えて 2018 年末から 2019 年初頭にかけて VLBI コア近傍におけるジェット構造に変化が見られ始めてきた。

本講演ではミリ波帯の EAVN 観測による TXS 0506+056 のモニター状況および初期成果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a MAXI と WISE で実現する 2 型活動銀河核 NGC 2110 のダスト反響マッピング

野田博文 (阪大理)、川室太希 (国立天文台)、小久保充 (東大理)、峰崎岳夫 (東大天文センター)

活動銀河核 (AGN) トーラスの幾何構造は、AGN 研究の最重要課題の一つであり、近年、赤外線・サブミリ波干渉計によるトーラス外縁領域の撮像により理解が進みつつある。一方、トーラス最内縁部は未だに空間分解が困難であることから、撮像とは違う方法が必要となる。その最も有力な方法が、降着円盤からの紫外・可視光とトーラス内縁部からの近赤外線の強度変動の間の時間遅延を利用するダスト反響マッピングである。これまで数十個の 1 型 AGN において、可視光と近赤外線の間時間遅延が調べられ、その大きさが可視光や硬 X 線の光度の 0.5 乗と良く相関する結果が報告されている (e.g., Koshida et al. 2014)。しかし、降着円盤がトーラスで隠される 2 型 AGN ではダスト反響マッピングは困難と考えられ、これらの研究の対象から除外されていた。

我々は、2 型 AGN でダスト反響マッピングを実現するため、降着円盤の紫外・可視光の強度変動と良い相関を持つ X 線の強度変動 (e.g., Noda et al. 2016) に着目した。2 型 AGN NGC 2110 をターゲットとし、2009 年から 2018 年までの、全天 X 線監視装置 (MAXI) による 2–20 keV のライトカーブと、広域赤外線探査 (WISE) の W1(3.6 μm) および W2(4.5 μm) バンドのライトカーブを比較したところ、W1、W2 バンドの強度がともに X 線に対して ~ 65 日遅れて追従することを発見した。また、W1、W2 バンドが持つ時間遅延にほとんど差が無く、ダスト反響による時間遅延 τ_{dust} の波長依存性が乏しいことも突き止めた。さらに、NGC 2110 の τ_{dust} と 14–195 keV 光度 $L_{14-195\text{keV}}$ および [OIV] ラインの光度 $L_{[\text{OIV}]}$ が、1 型 AGN の $\tau_{\text{dust}}-L_{14-195\text{keV}}$ および $\tau_{\text{dust}}-L_{[\text{OIV}]}$ 関係と無矛盾であることを確認した。本講演では、これらの結果を紹介するとともに、1 型 AGN の τ_{dust} と可視光光度の関係を利用して、トーラスに隠された 2 型 AGN の降着円盤の放射を制限する新しい手法について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S27a Discovery of Dying Active Galactic Nucleus in Arp 187: Experience of Drastic Luminosity Decline within 10^4 yr

Kohei Ichikawa (Tohoku), Junko Ueda, Taiki Kawamuro (NAOJ), Hyun-Jin Bae (University of Ulsan College of Medicine), Kenta Matsuoka, Megumi Shidatsu (Ehime), Yoshiki Toba (Kyoto)

Arp 187 is one of the fading active galactic nuclei (AGNs), whose AGN activity is currently decreasing in luminosity. We investigate the observational signatures of AGN in Arp 187, which trace various physical scales from less than 0.1 pc to the nearly 10 kpc, to estimate the long-term luminosity change over 10^4 yr. The Very Large Array 5 GHz and 8 GHz images and the ALMA 133 GHz images reveal bimodal jet lobes with ~ 5 kpc size and the absence of the central radio core. The 6dF optical spectrum shows that Arp 187 hosts a narrow line region with the estimated size of ~ 1 kpc, and the line strengths give the AGN luminosity of $L_{\text{bol}} = 1.5 \times 10^{46}$ erg s^{-1} . On the other hand, the current AGN activity estimated from the AGN torus emission gives the upper bound of $L_{\text{bol}} < 2.2 \times 10^{43}$ erg s^{-1} . The absence of the radio core gives the more strict upper bound of the current AGN luminosity of $L_{\text{bol}} < 8.0 \times 10^{40}$ erg s^{-1} , suggesting that the central engine is already quenched. These multiwavelength signatures indicate that Arp 187 hosts a “dying” AGN: the central engine is already dead, but the large-scale AGN indicators are still observable as the remnant of the past AGN activity. The central engine has experienced the drastic luminosity decline by a factor of $\sim 10^{3-5}$ fainter within $\sim 10^4$ yr, which is roughly consistent with the viscous timescale of the inner part of the accretion disk within ~ 500 yr.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S28a Changing-look AGN Mrk 590 の紫外可視光度の急減光に伴うダストトールス内縁付近でのダスト粒子生成

小久保充 (東北大学), 峰崎岳夫 (東京大学)

Mrk 590 は、1990 年代には典型的な 1 型 Seyfert 銀河であったが、2000 年代に X 線可視光度の急激な減少が観測され、2010 年代初頭までに広輝線成分が消失して 2 型-like なスペクトルに変化したことが知られている (Changing-look 現象; Denney et al. 2014)。Mrk 590 における Changing-look 現象は、降着円盤における質量降着率の急激な減少による円盤放射の intrinsic な減少によって引き起こされたと考えられるため、広輝線領域の消失と共に、円盤光度で規定されるダスト昇華半径 ($R_{\text{dust}} \propto L_{\text{disk}}^{0.5}$) も減少したと考えられる。

我々は Mrk 590 の 1990 年代から 2000 年代に渡る測光データ (SDSS, MAGNUM 等) を再解析し、紫外-可視円盤光度とダストトールス内縁半径の変化の相関関係を調べた。まず、SDSS による 1998 年から 2007 年までの紫外-可視光観測データの解析から、Mrk 590 の急減光 (エディントン比 $0.05 \rightarrow 0.005$) が 2000 年から 2001 年の短い期間で生じたことがわかった。さらに、Mrk 590 の急減光後 (2003-2004 年) に測定されたダストトールス内縁半径の観測値 ($R_{\text{dust}} = 36.2 \pm 2.6$ 光日; MAGNUM の K バンドダスト反響マッピング観測) は、減光後の円盤光度に対応するダスト昇華半径の予言値と一致することがわかった。この結果は、円盤光度 (\propto ダスト昇華半径) の減少後に、ダスト昇華半径の外側領域で新しいダスト粒子が短時間 ($\lesssim 4$ 年) で凝縮し、新たなダストトールス内縁領域を形成していることを意味する。広輝線領域や降着円盤大気は、このような短時間でのダスト生成を引き起こすのに十分な高ガス密度環境 ($n \gtrsim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) であり、これらの領域で新たに生成したダストが円盤放射圧を受けて円盤鉛直方向に押し上げられることでダストトールス内縁領域を形成しているという描像を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S29a Changing Look AGN 降着流の3次元輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一 (千葉大学)、加藤成晃 (理化学研究所)、高橋博之 (駒澤大学)、大須賀健 (筑波大学)、松元亮治 (千葉大学)

セイファート銀河の一部では、数十日から数年のタイムスケールで光度とスペクトル状態が遷移することが観測され Changing Look AGN (CLAGN) と呼ばれる。これらのセイファート銀河では軟 X 線領域に謎の超過成分 (軟 X 線超過成分) が観測されることがあるが、その起源はよくわかっていない。Noda & Done (2018) は 1 型セイファート銀河 Mrk1018 において光度下降に伴い軟 X 線超過成分が小さくなることを見出した。高温降着流における降着率の増加に伴って、冷却不安定性が発生し $10^6 - 10^7$ K の温度領域が形成されると考えるとこの観測事実を説明できる。

そこで我々は、輻射磁気流体コード CANS+R を用いて太陽質量の 10^7 倍のブラックホール周囲の降着流のシミュレーションを実施している。2019 年度春季年会では、ブラックホール近傍の降着率がエディントン降着率の 10% 程度するとき、ブラックホール近傍の高温降着流とその外側の輻射圧優勢な低温領域が形成され、この輻射圧優勢領域が軟 X 線超過成分を放射する可能性があることを報告した。今回、さらに長時間の計算を実施した結果、この領域ではケプラー回転周期程度の準周期振動が励起されることがわかった。最近、Shapovalova et al. (2019) は CLAGN である NGC3516 において、 $H\alpha$ 線、 $H\beta$ 線が 20 日程度で準周期的に変動することを報告しており、電離源である紫外線を放射する領域が準周期的に振動することを示唆している。本講演では我々のシミュレーション結果を CLAGN に適用することにより、このような周期的な時間変動を説明することができるかについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S30a 広吸収線の短時間変動を示すクェーサーの光度-等価幅変動の関係

堀内 貴史 (国立天文台)

クェーサーの降着円盤より放出されるアウトフローは、円盤から角運動量を抜き去り新たなガスの降着を促進するため、クェーサーの成長に必須な要素である。アウトフローはクェーサーのスペクトル上に吸収線として検出され、特に広吸収線 (broad absorption line; BAL, $\text{FWHM} > 2,000 \text{ km s}^{-1}$) はアウトフロー研究の主流として用いられている。BAL は数ヶ月から数年以内に深さ、幅 (一括りに等価幅) などが時間変動を示すことが知られている。しかしながら、Sloan Digital Sky Survey - Reverberation Mapping (SDSS-RM) project により高頻度で観測された BAL クェーサー 27 天体を調査した研究によれば、そのうち 15 天体が短期間 (静止系で 10 日以内) で有意な BAL の変動を示したことが報告されている。BAL の変動の物理的な原因については詳しく解明されていないが、アウトフローの電離状態の変動が有力な候補の一つとして挙げられている。

本研究では、BAL 変動の要因がクェーサーの光度変動に伴う電離状態の変動なのか否かを調べるべく、上記のクェーサー 27 天体を用いて短・長期間で調査した。光度曲線には Palomar Transient Factory (PTF; g' , R -band) および Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (Pan-STARRS; $grizy$ -band) のアーカイブデータを用いた。光度・等価幅変動解析の結果、10 日以内に有意な BAL 変動を示したクェーサーはそうでないものと比べて、等価幅変動率が系統的にも大きい一方、光度変動幅に関して両者の差異は見られなかった。次に等価幅変動率がクェーサーの光度、ブラックホール質量、及び Eddington 比に依存しているかを調べ、その結果、変動率とこれらのパラメータが有意に相関する傾向は確認できなかった。これらの結果は、アウトフローの電離状態の変動が主に光度変動以外のメカニズム (降着円盤内縁の遮蔽ガスの変動が候補) で発生していることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S31a BAL クエーサー SDSS J004659.89+180739.6 に見られる高速アウトフローの場所について

青木賢太郎 (国立天文台ハワイ観測所)

活動銀河中心核からのアウトフロー現象の一つとして、クエーサーの静止系紫外域に観測される Broad Absorption Line (BAL) が古くから知られている。しかし、BAL を起こしているアウトフローは空間分解することができないため、光電離モデルを介して中心核からの距離を求める方法や Ly α 輝線が N V BAL に吸収されている現象からアウトフローの場所が推定されてきた。BLR の外側にあるという一致点はあるものの、その中心核からの距離は3桁にも広がっている。

SDSS DR14 クエーサーカタログに記載されている SDSS J004659.89+180739.6 (SDSS 0046) には強い Si IV+ O IV] 輝線が C IV BAL の底に見えるという目立った特徴がある。この BAL は幅が-19000 km/s から-45000 km/s にまで及ぶ、たいへん速度の大きいものである。強い Si IV+ O IV] 輝線が重なっているため C IV BAL の形は直接には測定できないが、N V BAL の形から推測した。

BAL を生じているアウトフローが BLR の外側にあり、Si IV+ O IV] 輝線を吸収していると考えた場合は、吸収される前の Si IV+ O IV] 輝線が C IV 輝線より強いということになってしまう。一方、アウトフローが BLR の内側にあり、連続光を吸収しているが、Si IV+ O IV] 輝線は吸収していないと考えた場合は Si IV+ O IV] 輝線は C IV 輝線より弱い強度にとどまる。Si IV+ O IV] 輝線が C IV 輝線より強いクエーサーは実際には稀であり、SDSS 0046 のアウトフローは BLR の内側にある可能性が高い。そうすると BLR の半径である 0.05 pc より内側にアウトフローが存在することになり、降着円盤風モデルの予想と一致する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S32a ALMA による NGC1275 の分子ガス核周円盤と高速アウトフローの発見

永井 洋¹、大西 響子²、川勝 望³、藤田 裕⁴、紀 基樹⁵、深沢 泰司⁶、中西 康一郎¹、野田 博文⁴、浅田 圭一⁷、輪島 清昭⁸、大山 陽一⁷ (1. 国立天文台、2. 愛媛大、3. 呉高専、4. 大阪大、5. 工学院大、6. 広島大、7. ASIAA、8. KASI)

NGC 1275 はペルセウス銀河団中心にある楕円銀河で、近傍宇宙を代表する Brightest Cluster Galaxy (BCG) である。中心核から東西方向に伸びる CO 分子ガスのフィラメントが、10 kpc もの距離にわたって存在していることが知られている。過去の電波干渉計観測から、フィラメントに沿って大量の低温ガスが AGN に供給されていると考えられていた。我々は ALMA を用いた高分解能観測によって、その詳細に迫ったので報告する。

CO(2-1) 分子ガス輝線の観測を行ったところ、0.1-1 kpc の領域で、フィラメントの形状や運動状態が非常に複雑であることがわかった。近年の数値実験では、熱的不安定性の成長によって、楕円銀河の中心に向かって複雑な低温降着流 (Chaotic Cold Accretion: CCA) が発生することが予想されている。我々が観測したフィラメントの特徴は、CCA とよく一致する。また、中心 100 pc 以内では、CO(2-1) に加え、HCN(3-2)、HCO⁺(3-2) の 3 つの分子ガス輝線で、回転するガス円盤を発見した。円盤のガス質量は $10^8 M_{\odot}$ にも及ぶ。粘性タイムスケールから期待されるガス円盤の質量降着率は、Bondi 降着率に匹敵することがわかった。これは、銀河団中心でも低温ガス降着流が AGN 活動に本質的な役割を果たしていることを示唆する。一連の低温ガスが、AGN と銀河・銀河団を結ぶフィードバックサイクルを形成するのに重要な役割を果たしていると期待される。本講演では、さらに、HCN(3-2)、HCO⁺(3-2) で見つかった青方偏移した吸収線と pc スケールジェットとの関係や、ガスの運動から求められるブラックホール質量について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S33a 超臨界降着活動銀河核をもつ近傍銀河 NGC 5728 における空間分解された分子ガスアウトフローの検出

山下祐依, 河野孝太郎, 江草美実, 廿日出文洋 (東京大学)

AGN の輻射圧等に駆動されたアウトフローが銀河中のガスを吹き飛ばし, 最終的に母銀河の星生成活動を抑制する所謂 AGN フィードバックは, 銀河とブラックホールの共進化を説明する物理過程として近年有力視されている. SMBH への質量降着が AGN へエネルギーを供給することから, エディントン比 λ_{Edd} が理論限界値を超える程の激しい質量降着 (超臨界降着; $\lambda_{\text{Edd}} \gtrsim 1$) を示す天体は非常に重要なターゲットとなる. そこで本研究は, 超臨界降着 AGN ($\lambda_{\text{Edd}}=3.8$) をもつ近傍銀河 NGC 5728 ($D_L=30.57$ Mpc) に着目した. NGC 5728 では, HST や VLT/SINFONI, MUSE によって bipolar な電離ガスアウトフローが観測されている (e.g., Wilson et al. 1993; Durré & Mould 2018). 我々は本天体の ALMA による CO(2-1) 輝線データ (角度分解能 $\sim 0''.5$, 感度 $1\sigma \sim 0.37$ mJy/beam ($dv = 20$ km/s)) に対して, 3D-BAROLO (Di Teodoro & Fraternali 2015) を用いた CO 輝線速度構造の詳細な解析を行い, AGN の位置から ~ 0.3 kpc に渡って bipolar に吹き出す分子ガスアウトフロー速度成分 ($v_{\text{OF}} \sim 150$ km/s) を検出した. この分子ガスアウトフローの質量負荷率 ($=56 M_{\odot}/\text{yr}$) は, 本天体の電離ガスアウトフローの質量負荷率 ($=38 M_{\odot}/\text{yr}$) に比べて大きかった. これは多天体で電離/分子ガスアウトフローの質量負荷率を比較した先行研究 (e.g., Fluetsch et al. 2018) とも一致する傾向であり, 分子ガスアウトフローの方が母銀河のガス構造へ与える影響が大きいことを示唆する. さらに分子ガスアウトフローの運動エネルギーを AGN 光度と比較したところ, 一般的な降着率の AGN で期待される値と同等であった ($E_{\text{Kin,OF}}/L_{\text{AGN}} \approx 1\%$). これは超臨界降着天体であっても AGN からアウトフローへのエネルギーの伝搬効率は変わらないことを示唆している.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S34a ALMA Resolves Jet-driven Molecular Outflows in the Lensed QSO MGJ 0414+0534

井上 開輝 (近畿大), 松下 聡樹 (ASIAA), 中西 康一郎 (国立天文台), 峰崎 岳夫 (東京大)

AGNによって駆動されるアウトフローは、銀河中心の大質量ブラックホールと銀河バルジの共進化を理解する上で重要な役割を果たすものと考えられている。しかし、そのようなアウトフローがどのようなメカニズムで発生するのか、また、宇宙論的タイムスケールでどのように周辺環境に影響をおよぼすのかといった問いに十分な答えは得られていない。特にAGNが宇宙論的距離にある場合は、空間的解像度がボトルネックとなり、これまでガスやダストの運動の詳細を調べることは困難であった。今回我々は、重力レンズ効果により4重像として観測されるradio-loud QSO MGJ0414+0534($z=2.639$)のCO(11-10)輝線をALMAバンド7で観測した(Cycle2(PI:井上開輝), Cycle4(PI:松下聡樹))。重力レンズモデルを用いて、光源を再構築した結果、QSOコアから東側へ80pc(0.01秒角)の距離にある電波ジェット成分's'の近傍で、高励起一酸化炭素分子ガスが視線方向に約600km/sの速さで運動していることが判明した。COガス分布はQSOコアを挟み電波ジェットに沿って二山構造(200-300pc)を成しているが、ミリ波フラックスが大きい's'成分に近い部分がより明るくなっていることが判明した。これらの観測結果は、AGNから放出された相対論的なプラズマジェットがISMと直接的に相互作用を起こし、アウトフローを引き起こしていることを示唆している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

S35a 超高光度赤外線銀河 IRAS 17208–0014 の「あかり」・ALMA 観測の比較

馬場俊介, 今西昌俊, 泉拓磨 (国立天文台), 中川貴雄, 磯部直樹, 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 道井亮介, 大西崇介 (ISAS/JAXA, 東京大学)

Ultraluminous infrared galaxy (ULIRG) IRAS 17208–0014 ($z = 0.0428$) は、Compton-thick AGN ($N_{\text{H}} > 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) 候補であり、近赤外線スペクトルに強い CO 振動回転吸収線 ($v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, $4.7 \mu\text{m}$) を示す銀河である。「あかり」の分光観測から、この吸収の area covering fraction が 1 に近く、CO ガスが高温 ($\sim 900 \text{ K}$) かつ大きな柱密度 ($N_{\text{CO,NIR}} \sim (1.3 \pm 0.4) \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$) を持つと分かっていた。これらの結果は、AGN 周囲のダスト昇華層から発せられた支配的な近赤外線連続光が、その手前に位置する X 線で加熱された CO ガスで吸収されているものとして解釈できる。同様の CO 近赤外線吸収は他の ULIRG 観測でも受かっており (e.g., Shirahata et al. 2013, Baba et al. 2018)、埋もれた AGN 周囲のガスをプローブするのに有効である可能性がある。しかし、一つの視線に対する分光観測で空間情報がないため、その妥当性には疑念が残っていた。

上記の解釈を検証するため、我々は IRAS 17208–0014 中心核におけるサブミリ波領域の ^{12}CO ($J = 6-5$) 回転輝線を、ALMA により空間分解能 $\sim 0''.04$ ($\sim 30 \text{ pc}$) で観測した。その結果、 $435 \mu\text{m}$ 連続波のピークは他の観測が示す埋もれた AGN の位置に一致し、またそのピークにおいて、CO(6–5) が吸収線として受かった。その等価幅から、「あかり」で得られたガス温度における分配関数を仮定し、CO の総柱密度を計算すると、 $N_{\text{CO,submm}} = (4 \pm 1) \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ となった。この値は、「あかり」で得られた柱密度と 2–3 倍以内で一致している。このことは、「あかり」で観測された CO 振動回転吸収が、ALMA で吸収線として受かった CO(6–5) と同様にこのビーム内で生じていることを示唆しており、CO 振動回転吸収の分光観測に関する上記の解釈を支持している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T01a 銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価 II

杉山剣人, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団外縁部などの低輝度の広がった放射を観測する際、我々の銀河系や太陽系からの放射を正確に見積もる事が重要となる。特に、Yoshino et al. (2009) や Sekiya et al. (2014 b) ではバックグラウンドの低いすぎく衛星による様々な領域の観測から、太陽系近傍の 0.1 keV 程度の放射や銀河系からの 0.2–0.3 keV の放射に加えて、一部の領域から 0.8–1.0 keV 程度の放射 (0.8 keV 成分と呼ぶ) が検出された。この放射は銀河団外縁部の銀河団ガスからの放射と温度や輝度が似ているため区別が困難である。そのため、0.8 keV 成分が天球上において広い範囲に分布する放射なのか、限られた領域にのみ存在する放射なのかを調べることは、銀河団外縁部の解析において非常に重要となる。前回の講演 (2019 年春季年会 杉山講演) では、すぎく衛星による 4 領域の観測データを用いて、観測視野内に低エネルギー側にピークを示すようなスペクトルを持つ点源が存在する場合、点源からの放射が漏れ込むことによって 0.8 keV 成分の一部を説明できる場合があることを示した。

本研究では、すぎく衛星で取得した銀河面を除くおよそ 100 領域の公開データを用いて、0.8 keV 成分の分布を調べた。今回の解析では点源からの漏れ込みによる影響を除いた上で 0.8 keV 成分の分布を調べるため、すぎく衛星の PSF による放射の漏れ込みを考慮し、点源を除去して解析を行った。その結果、銀河団外縁部の放射と同程度の輝度を持つ 0.8 keV 成分が半数ほどの観測領域で確認された。加えて、0.8 keV 成分の分布には銀経や銀緯に対する明らかな偏りは見られず、天球上の広い範囲に分布することが示唆された。これより、0.8 keV 成分が銀河団の観測領域にも存在する事が考えられるため、解析の際にはこれをバックグラウンドとして考慮することが必要となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a 銀河団外縁部に存在するガス塊の探査

上田将暉, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団に降着する銀河等の天体のガスは、降着過程で剥ぎ取られ、最終的に銀河団中に取り込まれていく。実際、降着した天体の名残であろう暗黒物質のサブハローから剥ぎ取られたガス塊が観測されている (Sasaki+2015)。これらのガス塊が多く存在する場合、静水圧平衡を仮定した場合と比べてガス密度は過大評価され、銀河団外縁部の「エントロピー」の評価に影響が生じる (e.g., Simionescu+11)。22の銀河団について、銀河団の外縁部 ($r \geq r_{500}$) で検出されたX線源の個数密度 ($\log N - \log S$) を求め、近くに明るい銀河や銀河団が存在しない COSMOS 領域のそれと比較したところ、前者のX線源数に有意な超過は見られなかった。(2019年春季年会 上田講演)

ガス塊のスペクトルは高エネルギー側に比べて低エネルギー側が卓越している。また、ガス塊は銀河団に降着する銀河に付随していたものである可能性があり、銀河スケール程度の広がりを持つものもあるはずである。しかし、 $\log N - \log S$ では、個々のガス塊を直接調べることができない。

そこで、本研究ではすざく衛星と XMM 衛星の双方でビリアル半径程度まで行われた観測のうち、約 20 天体について、XMM 衛星の公開データを用い、外縁部 ($r \geq r_{500}$) で検出されたX線源が、ソフトなスペクトルであるか、メンバー銀河と相関するかを調べ、ガス塊候補を直接探査した。A1689 銀河団では、 1.0×10^{-15} erg/cm²/s より明るいX線源のうち、活動銀河核に比べて有意にソフトなX線源は数%以下、メンバー銀河と相関のあるものも 2-3% 程度であるという結果が得られた。また、近傍の銀河団では、以上の解析に加えてX線源の広がりを調べる事が可能である。近傍に位置する A2199 銀河団で検出されたX線源の中には、一部広がっている兆候があるものも存在した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T03a X線天文衛星 XMM-Newton を用いた初期衝突銀河団 CIZA1359 の構造解析

山口友洋、中澤知洋 (名古屋大学)、加藤佑一 (東京大学)、Gu Lyli (RIKEN)、赤堀卓也 (国立天文台)、滝沢元和 (山形大学)、藤田裕 (大阪大学)

銀河団は衝突、合体を繰り返して成長していく。銀河団の重力ポテンシャルには X 線を放出する高温プラズマが閉じ込められており、その衝突では断熱圧縮や衝撃波加熱が起こるとともに、乱流や粒子加速なども引き起こされることが知られている。銀河団 CIZA J1358.9-4750 は先行研究 (Kato et al. 2015) の「すさく」衛星による観測から、2 つの銀河団は質量比かほぼ 1 で、2 つの銀河団の間の明るい領域 (フリッシュ領域) に明確な衝撃波が見られ、さらに $z = 0.07$ と近傍にある希少な衝突初期の系であることが知られている。さらに、先行研究より高温ガスの分布は衝突軸に対して非対称であると示されており、単純な正面衝突ではない。本研究では衝突のシナリオをより明確に理解するため、「すさく」よりも優れた空間分解能、有効面積を持つ X 線天文衛星 XMM-Newton の観測データを用いた。フリッシュ領域を 40 分割して分光解析を行うことで銀河団中の高温カスの温度、密度、圧力、エントロピーの分布を求めた。その結果、ブリッジ領域内の加藤らが発見した衝撃波よりも北の方角に $8.0_{-1.1}^{+1.4}$ keV から $4.8_{-0.52}^{+0.53}$ keV への有意な温度のジャンプを観測した。この温度ジャンプは衝突軸に垂直に、北東方向へ 700 kpc 以上伸びているように見える。高温側の圧力は低温側の約 1.6 倍であるが、密度は有意に上昇していないため、直ちに衝撃波とは結論できない。衝突によって断熱圧縮されて (あるいは衝撃波が立って) いる領域の南端が加藤らが発見した衝撃波で、今回発見した温度ジャンプ面がその北端である可能性があり、その場合に考えられる衝突シナリオを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T04a 機械学習を用いた電波の音響ショックの探索

バル・シュテファン (兵庫県立大学)

我々の銀河の向こうには銀河団が数多く存在し、それぞれの銀河団には数百から数千の銀河が含まれている。我々は、銀河団が衝突して起きる音響ショックを研究している。この衝撃波は地球上のどの粒子加速器よりも大きなエネルギーを持つ大きな天然粒子加速器として機能する。加速プロセスにより、エネルギーの高い放射光が放射され、音響ショックの残骸は電波スペクトルの拡散放射（ラジオレリック）として検出することができる。しかし今までに音響ショックは100個よりを見つけていない。本研究の目的は、音響ショックがほとんど知られていないため、音響ショックを検出、分類、分析するGPUベースの機械学習に基づくフレームワークを作成することである。我々は、GPUベースの機械学習と人工知能を使って、大規模なサーベイのアーカイブデータから個々のマップをスキャンし、新しいラジオレリックやハローを識別してカタログ化する自動検索のアルゴリズムを提案する。主な難点は、弱い拡散放射を、比較的強い装置雑音や背景ノイズから検出することだ。機械学習のアルゴリズムは、スカイマップ内の個々のコンポーネント（点源、背景、拡散放射）を識別するために使用される。新たに発見された音響ショックを用いて、宇宙における合体ショックの頻度さと、一般的な宇宙論に対するそれらの統計的な影響を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

T05a 弱重力レンズ効果による Shapley Supercluster 領域の質量分布測定

樋口祐一 (国立天文台、近畿大学)、岡部信広 (広島大学)、Paola Merluzzi(INAF)

超銀河団は100Mpc程度の大きさを持ち、宇宙に存在する構造の中で最も大きな構造のうちの一つである。超銀河団中の質量分布を解明することは、宇宙の階層モデルの検証、銀河の進化やその性質の解明を行う上で重要となる。Shapley 超銀河団は $z \sim 0.05$ の近傍宇宙に存在する超銀河団である。現在まで様々な波長の観測により超銀河団中の一部の銀河団領域に対して銀河分布や質量などが測定されてきた。重力レンズ効果は銀河団中の暗黒物質を含めた物質分布を広範囲に渡り測定可能であり、超銀河団中の物質分布と超銀河団中の銀河団の性質を解明する上で大変有用なツールとなる。

本講演ではVLT survey telescopeにより観測されたShapley超銀河団の中心付近 $260(h^{-1}\text{Mpc})^2$ に対し弱重力レンズ効果解析を行った結果を紹介する。観測領域中の物質分布と11個の銀河団に対するconcentration-mass($c-M$)関係について解析を行った。解析の結果、重力レンズ効果により求められた質量面密度と銀河の輝度分布に相関が見られた。また各銀河団に対する重力レンズ質量はX線などの観測結果から求められた質量と一致しており、超銀河団中の銀河団の $c-M$ 関係はシミュレーションの結果と 2σ の範囲で一致することがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

T06a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (5)

吉田篤史, 志村拓馬, 三石郁之 (名古屋大), 太田直美 (奈良女子大/AiFA ボン大学), 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 浜名崇 (国立天文台), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 上田周太朗 (ASIAA), 田中桂悟 (金沢大学), 他 HSC 銀河団コラボレーション

すばる望遠鏡 HSC を用いた戦略的観測プログラム (HSC-SSP) による ~ 160 平方度領域をカバーした弱い重力レンズ (Weak Lensing: WL) 観測により $10^{14}h^{-1}M_{\odot} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\odot}$ の幅広い質量レンジで 65 もの WL 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al. 2018)。我々はこのサンプルを用いて銀河団スケール則などを調べることを目的に X 線アーカイブデータを用いて系統的な解析を行なった。イメージ解析の結果、観測のあった 17 個全ての領域で WL 質量ピーク近傍に広がった X 線源を確認した。また、これらのサンプルの X 線光度と WL 質量の関係をまとめたところ、X 線同定銀河団と比較し系統的に X 線光度が低い、もしくは WL 質量が大きいという示唆が得られた。さらに、高空間分解能の X 線データがあった 4 サンプルについて X 線ピークと BCG との空間オフセットを調査したところ、3 サンプルで規則型銀河団の基準である $0.02R_{500}$ (Sanderson et al. 2009) を超過しずれていることが分かった (吉田, 三石他 日本天文学会 2017・2018 年秋季, 2019 年春季年会)。

今回我々は新たに観測された 1 個のサンプルを追加し、残りの全サンプルについても X 線ピークと BCG との空間オフセットを調査したところ、14 個の内 10 個のサンプルにて同様の大きな空間オフセットが観測され、WL 同定銀河団は規則型の銀河団と比較し系統的にガス構造が乱れていることが示唆された。本公演では、これらの結果に加えて、スケール則のべきや赤方偏移依存性を self-similar モデルと比較することで、WL 同定銀河団の性質について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T07a New constraints on the mass bias of galaxy clusters from the power spectra of the thermal Sunyaev-Zeldovich effect and cosmic shear

真喜屋龍 (Kavli IPMU), 日影千秋 (Kavli IPMU), 小松英一郎 (MPA, Kavli IPMU)

Thermal Sunyaev-Zeldovich (tSZ) effect とは銀河間空間に存在する高温の電子が宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 光子を逆コンプトン散乱することで CMB スペクトラムを歪める効果である。tSZ effect の強度は銀河団ガスの圧力に比例するため、その観測から銀河団ガスの物理的性質について調べることができる。また tSZ effect の角度パワースペクトルの強度は、宇宙の密度ゆらぎの大きさを表すパラメータに強く依存することが知られており、そのため tSZ effect の観測から宇宙論モデルに制限をつけることができる。

tSZ effect の解析においては宇宙論パラメータと mass bias と呼ばれるパラメータが強く縮退することが知られている。この mass bias とは、静水圧平衡を仮定して観測から求められた銀河団の質量と、真の銀河団質量との比を表すものである。これまでの研究から、Planck による CMB 観測から求められた宇宙論パラメータと tSZ effect から求められた宇宙論パラメータが一致するためには、理論から予言されるよりも大きな mass bias を仮定しなければならないことがわかっており問題となっている。

我々は、すばる HSC による cosmic shear の観測と Planck による tSZ effect の観測を組み合わせることで、CMB と独立に銀河団の mass bias を測定した。本講演ではその結果について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T08a 原始銀河団中ガスのメタル進化

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (国立天文台)

近年、すばる望遠鏡の Hyper Supreme-Cam を用いた撮像観測で、多くの原始銀河団候補が見つかってきている。2020年頃からすばる超広視野分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS) による分光観測が始まる予定である。原始銀河団は高赤方偏移の宇宙において密度が高い領域のため、星形成が活発であり重元素が生成される主な領域であると考えられている。PFSによる原始銀河団の観測により、高赤方偏移での元素組成比が分かり、宇宙の元素合成史の理解を深める事が出来ると期待される。そこで我々は、超新星爆発などによるメタル放出過程を実装した宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka により、原始銀河団形成の計算を zoom-in 手法を用いて行った。これにより原始銀河団内の金属組成を時間を追って調べる事ができる。Ia型、II型超新星爆発・AGB星による金属組成比進化は、化学進化モデル CELib を用いて計算し、原始銀河団の O/Fe と Fe/H の相関を調べた。この相関を観測結果と比較する事で、メタル生成過程の時間進化を調べる事ができ、またフィードバックのモデルに制限をつける事ができる。O以外のC, N, Siなどの元素に対しても同様の解析を行い、原始銀河団内部の銀河との相関関係も議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

T09a N 体シミュレーションを用いた銀河団ダークハローの質量集積の精密測定

白崎正人 (国立天文台)

銀河団の空間分布は、概ねその質量によって特徴付けられ、大質量の銀河団ほど空間相関が大きいことが知られている。一方で、 N 体シミュレーションを用いた先行研究により、同じ質量を持つ銀河団でも、銀河団の空間分布は、銀河団周辺の密度プロファイル、扁平度、力学状態などにも依存することが明らかになっている。将来の多波長銀河団観測では、銀河団のサンプル数は飛躍的に増えることが見込まれており、期待される銀河団統計量を正しく理解するためには、複数の銀河団変数と銀河団観測の関係性を明らかにすることが重要である。

質量集積史は、銀河団の密度プロファイルの中心集中度を決める物理的要因の一つとして知られており、銀河団の重力進化のタイムスケールは10億年に及ぶことを考えれば、重要な銀河団変数であると期待される。多くの先行研究で、 N 体シミュレーション内で測定された銀河団ハローの質量集積史には、ハロー外縁部の質量降着による寄与以外に、宇宙平均密度が宇宙膨張により変更することからくる不要な寄与 (Pseudo Evolution; PE) を含んでおり、物理的理解の進展の妨げになっている。我々は、時間軸方向に十分にサンプリングした N 体シミュレーションを使って、 $z=0$ から1までに起こった銀河団ハローの質量集積に、どの程度 PE からくる寄与があるかを定量化した。結果として、 $z=0$ でビリアル質量が $10^{14}h^{-1}M_{\odot}$ のダークハローの質量集積のうち、 $48 \pm 14\%$ は PE によるものであることを明らかにした。また、質量集積における PE の割合は、銀河団の周辺密度環境に依存し、銀河団周辺の密度プロファイルや空間分布といった銀河団観測に影響を及ぼしうることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

T10b Galaxy Clusters in the AKARI North Ecliptic Pole Field

Ting-Chi Huang (SOKENDAI/ISAS,JAXA), Hideo Matsuhara (ISAS,JAXA), Tomotsugu Goto (NTHU), Tetsuya Hashimoto (NTHU), Seong-Jin Kim (NTHU), Nagisa Oi (TUS) , Simon Ho (NTHU), Toshinobu Takagi (ISAS,JAXA)

Galaxy cluster is the best laboratory for studying the environmental effect of galaxy evolution, so it is fundamental and necessary to search for galaxy clusters for the purpose of further research. We used the data catalog from the AKARI North Ecliptic Pole (NEP) Survey, which was conducted by the AKARI Infrared Camera (IRC) with unique 9 filters in mid-infrared from 2 to 24 μm at a 5.4-deg² area. The entire AKARI NEP field has been observed by the Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) as the optical counterpart. To select galaxy cluster candidates, we binned our sample with redshift, and the high density peaks were defined in each redshift bins if its local density was $3\text{-}\sigma$ higher than median. The local density of each object was defined by the k-th nearest neighborhood method. The galaxy cluster candidates were determined by applying the friend-of-friend algorithm to all high density peaks. Based on the confirmation on the optical image of HSC and the color-magnitude diagram, we are confident that our method for cluster selection is reliable and our galaxy cluster candidates are promising.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U01a ビッグバンの以前、電磁気達が集まった状態のエネルギーと質量と大きさと体積と比重、及び、ビッグバン後、電子のラブと陽子のラブのエネルギーと質量と大きさと体積と比重の変化

小堀しづ

ビッグバンは電子のラブができ、自転するようになったから起きた。電子のラブのダークマターができる事によって、空間はどれだけ大きく成ったか。電子のラブのダークマターの自転軌道÷電子のラブが電磁気の固まりであった時の電子のラブの大きさ = $8.665 \times 10^{-24} \text{m} \div (1.233 \times 10^{-41} \text{m}) = 7.028 \times 10^{17}$ (倍)、に成った。ビッグバンの以前、陽子のラブの質量エネルギーは 1836J でした。それが、現代、地表では、陽子のラブの質量エネルギーは $1.503 \times 10^{-10} \text{J}$ です。陽子のラブの質量エネルギーと比重はどのように変化したか。電子のラブの変化と陽子のラブの変化を表に示す。電子のラブの変化と陽子のラブの変化より何が理解できるか。同じ星でも、初期の星のエネルギーは大きかった。同じ星でも、初期の星の質量は大きかった。同じ星でも、初期の星の大きさは小さかった。同じ星でも、初期の星の比重は大きかった。同じ星でも、遠くの星ほど星のエネルギーは大きかった。同じ星でも、遠くの星ほど星の質量は大きかった。同じ星でも、遠くの星ほど星の大きさは小さかった。同じ星でも、遠くの星ほど星の比重は大きかった。このように考えると、宇宙全体のエネルギーも減少し、宇宙全体の質量も減少し、宇宙全体の大きさは大きく成り、宇宙全体の体積は大きく成り、宇宙全体の比重は減少している。素粒子のエネルギーの比は宇宙のエネルギーの比です。素粒子の質量の比は宇宙の質量の比です。素粒子の大きさの比は宇宙の大きさです。素粒子の体積の比は宇宙の体積の比です。素粒子の比重の比は宇宙の比重の比です。(特願 2017-194062)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a 原始ブラックホールにより生じる Kinetic Sunyaev-Zeldovich 効果の非等方性

阿部克哉

宇宙論における重要課題の1つにダークマター (DM) の解明が挙げられる。宇宙初期に高密度領域が重力崩壊して形成されるブラックホールである、原始ブラックホール (PBH) はその候補の一つである。それゆえ、現在様々な観測によってその存在量に制限を与える取り組みがされている。本研究では Kinetic Sunyaev-Zel'dovich 効果 (kSZ 効果) と呼ばれる現象の観測により、PBH の密度パラメータに制限を与える。PBH ごく近傍のガスは、降着時の重力エネルギー解放により温度が上昇し熱制動放射を引き起こす。そのため、PBH は紫外線や X 線の放射源となり、周囲のガスを電離する。これらの電離されたガスが kSZ 効果を引き起こす。本研究ではまず、PBH 周辺のガスの電離構造を明らかにするため、PBH の放射光度を仮定し輻射輸送シミュレーションを実施した。こうして得られたガスの電離構造をもとに、PBH の kSZ 効果による CMB の温度ゆらぎの角度パワースペクトルを見積もった。この結果、得られたスペクトルの形がシルクスケールよりも小さなスケールにて平坦になるため、小スケールにて支配的な寄与をもたらす可能性が明らかになった。また、これらの結果と South Pole Telescope (SPT) の観測結果 [1] を比較することにより PBH の密度パラメータに対する制限についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a CMB 偏光観測実験 POLARBEAR の重力レンズ及び原始重力波探査サーベイの最新結果

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大学), 高倉理 (Kavli IPMU), 田島治 (京都大学), 西野玄記 (東京大学), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験は宇宙の開闢直後に起こったとされるインフレーションの探査と、ニュートリノ総質量の決定を目指した地上実験である。我々はこれらの目的を実現するために、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光観測を、チリのアタカマ砂漠、標高 5,200 m で 2012 年から行ってきた。POLARBEAR 実験は今迄、2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モードに焦点を当てた小角度スケールサーベイ、それ以降は原始重力波起源 B モードに特化した大角度スケールサーベイを実施してきた。2014 年春季年會に於いて世界で初めての重力レンズ起源 B モードの自己相関スペクトル観測を報告して以来、様々な解析結果を報告してきた。本発表では重力レンズ起源 B モード偏光解析の最新結果、特にすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) との重力レンズ相互相関解析の結果、更に原始重力波起源 B モード偏光解析によるテンソル・スカラー比 (r) の上限の最新結果について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U04a CMB 弱重力レンズ効果と 21cm 線相互相関の検出可能性と宇宙論パラメータの制限

田中章一郎、久保田賢志、高橋慶太郎 (熊本大学)、吉浦伸太郎 (メルボルン大学)、西澤淳、杉山直 (名古屋大学)

宇宙晴れ上がり後、中性水素に満たされていた宇宙は初代星や銀河の形成に伴い放出される紫外線光子により電離が行われる。この時代を宇宙再電離期という。再電離期後、ほとんどの中性水素は電離されてしまうが、ごく一部は高密度領域の中 (一般には銀河内部) に残る。そのため、中性水素の分布は銀河分布とその背景にあるダークマター分布をトレースする。また、宇宙全体の中性水素の量を表すパラメータ Ω_{HI} がある。 Ω_{HI} の測定は宇宙のバリオンのほとんどを占める水素の物理状態を知る上で重要である。 Ω_{HI} の赤方偏移進化は宇宙の三次元物質密度分布の再構築において欠かすことができない。宇宙論的スケールの物質分布は宇宙論の精度を上げるために非常に重要である。この Ω_{HI} を求めるために中性水素の超微細構造に由来する 21cm 線に着目する。

宇宙膨張に伴う赤方偏移の効果によって、遠方宇宙からの 21cm 線はより低周波な電波として観測される。つまり、赤方偏移した 21cm 線を広い周波数帯で観測することにより、各赤方偏移ごとの階層的な宇宙の探査が可能となる。従って、 Ω_{HI} の赤方偏移進化を探る上で 21cm 線観測は不可欠である。

しかし、21cm 線観測は銀河系内外からの強力な前景放射により、未だ宇宙論的スケールでの観測には至っていない。そこで本研究では、前景放射の影響を減らすことができる相互相関という手法を用いた 21cm 線-CMB Lensing クロスパワースペクトルに着目し検出可能性を議論した。これに加えて Fisher 解析を行い Ω_{HI} の制限について将来の精密観測によってどの程度制限が向上するか予測した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U05a 原始磁場と暗黒時代における kSZ 効果

箕田鉄兵, 田代寛之 (名古屋大学)

これまでの多くの観測によって、宇宙のさまざまな天体において磁場が存在しており、これらの宇宙磁場の起源の1つとして原始宇宙での磁場生成が考えられる。このような宇宙論的メカニズムによって生成される磁場は原始磁場と呼ばれ、原始磁場は宇宙論的な構造形成に影響を与えることが指摘されている。例えば、ローレンツ力に起因するガスの密度進化への影響と、磁場の散逸を通じた銀河間物質 (IGM) ガスの電離史への影響が重要であると考えられている。したがって、原始磁場の情報は kinematic Sunyaev-Zel'dovich 効果 (kSZ 効果) を通じて、宇宙マイクロ波背景放射の異方性に刻み込まれると予想される。我々は、原始磁場の初期パワースペクトルが IGM の密度進化と電離史に与える影響を定式化し、および結果として得られる kSZ 角度パワースペクトルを示す。その結果、多重極モーメント $10^4 \lesssim \ell \lesssim 10^6$ での kSZ 角度パワースペクトルを測定することで、原始磁場に厳しい制限を与える可能性があることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U06a KSテストを用いたダークマターの密度ゆらぎの再構築

吉田貴一, 西澤淳, 市來淨與 (名古屋大学)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) や宇宙の大規模構造 (LSS) などの観測により、宇宙の歴史や構成成分が高い精度で分かってきた。従来、宇宙論モデルの検証は分散に基づいた統計的な手法が主流であるが、それとは独立にモデルを推定する手法を持つことは我々の宇宙に対する正確な理解につながるため重要である。そこで本研究では、分散を評価する「パワースペクトル」に頼ることなく宇宙論モデルを推定する新たな方法の開拓を目指す。我々は、その手法としてダークマターの密度ゆらぎの再構築に着目した。

ダークマターの初期密度ゆらぎはガウス分布に従うと言われている。しかし、我々は線形成長した異なる時刻の密度ゆらぎ $\delta(x, t)$ を観測するため、この分布はガウス分布にならない。ここから、「線形成長因子 D を用いて再構築した初期密度ゆらぎ $\delta(x, t)/D(t)$ はガウス分布に従う」という条件が得られる。よって、この条件に従うように D の値を決めることで宇宙論モデルの推定が可能となる。本研究では非ガウス性の検証としてコルモゴロフスミルノフ検定 (KS テスト) を用いた。シミュレーションの結果、 1σ の範囲で正しくインプットの線形成長因子を再現することができた。KS テストを応用することで、パワースペクトルを用いる従来のモデル推定と独立な手法によるパラメータ測定が可能になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U07a A fitting formula of non-linear matter bispectrum

高橋龍一 (弘前大), 西道啓博 (京都大), 樽家篤史 (京都大), 小林洋祐 (Kavli IPMU)

宇宙の物質分布の密度揺らぎは通常2点関数(相関関数又はパワースペクトル)を用いて記述される。これは2点関数は揺らぎがガウス分布に従うとき、揺らぎに関する全情報を含んでいるためである。しかし、現実の宇宙では、特に低赤方偏移($z \lesssim 10$)において、揺らぎの非線形成長により非ガウス性が現れる。そのため、2点関数のみでは揺らぎの情報を記述するのに不十分であり、3点以上の多点関数を必要とする。本講演で扱うバイスペクトル(3点相関関数のフーリエ成分)はパワースペクトル(2点関数)の次に重要な関数である。

宇宙の密度揺らぎは遠方銀河の形状の歪みや宇宙背景輻射の重力レンズ効果から直接推定できる。これまで多くの観測グループでは主に2点関数を用いて解析を行っており、3点関数まで使ったものは少ない。バイスペクトルは、宇宙の密度揺らぎや物質の存在量に関する、相補的で有用な情報を含んでいる。

我々は物質の密度揺らぎのバイスペクトルのフィッティング公式を作成した。N体数値計算を用いて、41個の w CDM(ダークエネルギー入りの冷たい暗黒物質)宇宙モデルに対して、宇宙の構造形成の非線形重力進化を追った。測定された非線形バイスペクトルを再現するように、公式を作成した。その結果、揺らぎの波数 $k < 3 h\text{Mpc}^{-1}$ 、赤方偏移 $z = 0 - 2$ の範囲で10%の精度でフィットできる関数を作成した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U08a 銀河の赤方偏移空間パワースペクトルの宇宙論的情報

○小林洋祐 (Kavli IPMU)、西道啓博 (YITP)、高田昌広 (Kavli IPMU)、高橋龍一 (弘前大学)

銀河分光サーベイでは、宇宙の一樣等方膨張による赤方偏移に銀河の固有運動によるドップラー効果が加わることによって、観測される銀河クラスタリングが視線方向を特別な方向とした非等方性を有する。この効果は赤方偏移歪みと呼ばれ、銀河を駆動する周囲の速度場によって引き起こされることから、これを宇宙論パラメータの決定に利用することができる。サーベイで観測される赤方偏移空間上の銀河分布には、重力進化による密度場・速度場の非線形効果と、銀河形成の物理に依存して生じる非線形な銀河バイアスが組み込まれている。銀河分光サーベイの解析には、揺らぎの摂動展開による解析的モデルが用いられてきたが、これらの効果を正確に再現できないことによる系統誤差が存在していた。この非線形効果は特に小スケールにおいて顕著であり、銀河サーベイから高い精度で測定される小スケールのクラスタリングシグナルを宇宙論に用いる上で障害となる。

我々は、摂動論と異なるアプローチとして、 N 体計算とハローモデルに基づいて銀河の擬似カタログを生成し、そこから測定した赤方偏移空間パワースペクトルを用いてフィッシャー解析を行った。これによって、非線形性の強いスケールにおけるパワースペクトルのシグナルから得られるべき宇宙論的情報を評価できる。ハロー内部の銀河分布に関するパラメータの不定性を広くとって平均化した場合でも、パワースペクトルの非等方性と非線形スケールの情報を用いることで、宇宙論パラメータの制限が数倍程度向上することを示した。この結果は、 N 体計算に基づくハロークラスタリングのエミュレータが近年発展している中で、それを用いた銀河クラスタリングの解析が有効たりうることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U09a Super-sample tidal mode on the celestial sphere

秋津一之（東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構）、杉山尚徳（国立天文台）、白石希典（香川高専）

宇宙論において統計的等方性は最も基本的な仮定の一つである。しかし、現実の銀河分光サーベイでは、赤方偏移歪み（RSD）や Alcock-Paczynski（AP）効果のために観測されるパワースペクトルには非等方性が現れることが知られている。さらに、有限のサーベイ領域を超えるような長波長ゆらぎ（Super-sample modes）も、重力による非線形モードカップリングを通じて、観測されるパワースペクトルに非等方な痕跡を残すことが近年指摘された（Super-sample tidal effect）。先行研究では、通常の RSD 解析で用いられる二次元パワースペクトルの情報だけでは、RSD 及び AP 効果と Super-sample modes の効果とが縮退し、これらを同時には制限できないことが判明していた。

本研究では、三次元パワースペクトルの情報を最大限用いるために bipolar spherical harmonics（BiPoSH）によってパワースペクトルを展開し、この場合、RSD 及び AP 効果による非等方性と Super-sample modes による非等方性との縮退が解けることを見出した。また、原始曲率ゆらぎに存在する quadrupole の非等方性の制限に対する Super-sample tidal effect の影響も議論した。これらのことから、BiPoSH によって三次元パワースペクトルの情報を引き出せば、RSD 及び AP 効果から得られる宇宙論的情報と、super-sample modes が持っている大スケールのゆらぎの情報を同時に得ることが出来ることが判明した。また、広天域におけるサーベイでは多数の視線方向があることが、縮退と解くにあたって本質的であることも議論した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U10a 観測的相対論効果によって生じる大規模構造の双極子的非等方性の準線形理論モデル

嵯峨承平, 樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所), 藤田智弘 (京都大学), Michel-Andres Breton (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), Yann Rasera (Observatoire de Paris)

赤方偏移銀河サーベイにもとづき作成される銀河の3次元地図は様々な宇宙論的情報を有しているが、一般に、観測される銀河の位置と奥行きは見かけのものであり、実際の位置とは異なる。特に奥行きは、赤方偏移の測定から決められるため、銀河の特異速度によるドップラー効果を通じて、見かけの奥行きが本来のものからずれ、観測される銀河分布は見かけ上、観測者の視線方向に対して非等方になる。この効果は赤方偏移空間ゆがみと呼ばれ、近年、宇宙論的スケールでの一般相対論のテストで注目されている。ただし、分光観測で測定される銀河の赤方偏移は、ドップラー効果以外に、重力赤方偏移などといった相対論的效果も一般的に含みうる。将来の高精度観測でそうした効果による銀河分布の非等方性を検出できれば、相対論の新しい検証が切り拓ける可能性がある。

本講演では、観測的な相対論効果によって生じる大規模構造の非等方性の理論モデルについて報告する。ごく最近、我々はN体シミュレーションに観測的相対論効果を入れた銀河ハローカタログを作成、銀河ハローの相関関数に現れる非等方性について調べた (M-A.Breton et al.(2019))。その結果、相対論的效果は双極子的非等方性を生み、準非線形領域では、重力赤方偏移が卓越することで相関関数の符号が反転することが明らかになった。本講演では、この結果を踏まえ、摂動論にもとづく解析的な理論モデルの構築を行い、シミュレーションで得られたふるまいを定量的に再現できたことを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U11b MOA-II 望遠鏡を用いた低質量原始ブラックホールの探査

藤井大翔 (名古屋大学), MOA コラボレーション

宇宙背景放射などの観測により、宇宙のエネルギーの約 25 % を暗黒物質が占めていることがわかっている。様々な実験により精力的に探索されているが、暗黒物質の正体は未だわかっていない。宇宙初期に形成されたとされる原子ブラックホールは、近年暗黒物質の候補として注目されており、これは重力マイクロレンズ法を用いて探査することができる。

重力マイクロレンズ現象とは、観測天体と観測者の間を質量を持つ天体 (レンズ天体) が通過するとき、その重力によって観測天体の光が曲げられ、増光して観測される現象であり、ブラックホールなどの光を発しない天体の存在を知ることができる。これまで MACHO, EROS および OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) グループのマゼラン雲方向の重力マイクロレンズ探査から $10^{-5} - 10 M_{\odot}$ 程度の暗黒物質に対して、 $10^{-2} - 10^{-1}$ の制限が付けられている。また、すばる望遠鏡の HSC (Hyper Suprime-Cam) による M31 の高頻度観測によって $10^{-11} - 10^{-6} M_{\odot}$ の暗黒物質に対して、 $10^{-3} - 10^{-2}$ 程度の制限が付けられている。

我々 MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) グループは、ニュージーランドのマウントジョン天文台で重力マイクロレンズ探索を行っている。2013 年 3 月から 2016 年 6 月のおよそ 3 年間において、LMC 方向の 3 つの領域 (合計 6.6 平方度) に限り、15 分に 1 回という高頻度の観測を行った。この高頻度の観測はショートイベントを探すのに非常に適しており、 $10^{-5} - 10^{-3} M_{\odot}$ の原始ブラックホールの存在量に対して、 $10^{-4} - 10^{-3}$ 程度の制限をつけることができると期待される。本講演では現在進行中の、高頻度観測を行った間に検出された 990,876 個の変光天体についてのデータ解析の概要と進行状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U12b ブラックホール

小堀しづ

ブラックホールが光子をも引き付けられる原理は、光子の軌道エネルギーがブラックホールの軌道エネルギーと等しく成る事です。光子の軌道エネルギー=ブラックホールの軌道エネルギーこの軌道で、光子はブラックホールに引かれる。ブラックホールの軌道エネルギー= $5.438 \times 10^{18} \times 10^{2n}/3JKm \div \text{距離} = \text{光速}^2 = 9 \times 10^{16}$ 。距離= $5.438 \times 10^{18} \times 10^{2n}/3JKm \div (9 \times 10^{16}J) = 6.042 \times 10 \times 10^{2n}/3Km$ 。ブラックホールの質量が106太陽質量の場合。ブラックホールの中心からの距離は、 $6.042 \times 10 \times 10^{2n}/3Km = 6.042 \times 10 \times 10^4Km = 6.042 \times 10^5Km$ ブラックホールの光子が吸い込まれる軌道より小さな軌道はどのようなものであるか。ブラックホールの光子が吸い込まれる軌道より小さな軌道では、軌道エネルギーが大きくなり、マイナスの宇宙でおきている事がおきている。即ち、電磁気は場のエネルギーに自分のエネルギーを合わせて存在する。1束の電磁気数を多くして存在する。ブラックホールの光子（電磁気）が吸い込まれる軌道より小さな軌道の軌道エネルギーと引力と速度と場のAと1束の電磁気数を表に示す。ブラックホールは軌道の間隔が非常に短い物である。そこには、穴はない。ブラックホールの本体は光子（電磁気）も吸い込むので、黒い球体である。ブラックホールに接した電磁気は軌道を小さくし、高エネルギーの軌道に移動するだけである。どうしてインフレーションは光速以上であるか。ビッグバンに成った時の環境は $A=3.397 \times 10^{19}$ 以上です。それで、ビッグバン後、インフレーションは光速以上である。(特願 2018-096696)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U13c 原初磁場と有質量ニュートリノの弱重力レンズ効果に対する影響の考察

山崎大 (茨城大学、国立天文台)

銀河や銀河団等、周辺より物質密度の大きい領域では放射の経路が曲げられる。宇宙背景放射の放射面である最終散乱面と観測者である我々の間にそのような領域があった場合、宇宙背景放射もこの効果を受けて、それらが持っていた揺らぎが変化する。これを弱重力レンズ効果とよぶ。逆に、宇宙背景放射温度・偏光揺らぎから弱重力レンズ効果を抜き出して調べることで、宇宙背景放射の放射面から我々の間の宇宙の物質密度揺らぎや構造形成の情報を、間接的に取得することが可能となる。銀河や銀河団の空間分布の直接調査とは別の方向から、宇宙の構造進化や加速膨張について検証することができるとして、弱重力レンズ効果に関する研究が盛んに行われている。ニュートリノに質量がある可能性が示唆されている。速度分散が非常に大きい有質量ニュートリノは、特に小さいスケールにおいて、物質密度揺らぎを箒で掃くように均し小さくする。原初磁場の光子-バリオン流体の音速を増加させる効果と、ポテンシャルの時間進化に対する影響により、宇宙背景放射や物質密度揺らぎの幅広いスケールに影響を与える。今回はこれらの効果を同時に考慮した弱重力レンズ効果について考察した結果を発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U14c ブラックホールとビッグバン

小堀しづ

ブラックホールが光子をも引き付けられる原理は、ブラックホールの軌道エネルギーが光速2より大きく成る事です。ブラックホールの軌道エネルギー $\geq (3 \times 10^8)^2$ 。この軌道で、光子はブラックホールに引かれる。ブラックホールの軌道エネルギー $= 5.438 \times 10^{18} \times 10^{2n}/3JKm \div \text{距離} = \text{光速} 2 = 9 \times 10^{16}$ 。距離 $= 5.438 \times 10^{18} \times 10^{2n}/3JKm \div (9 \times 10^{16}J) = 6.042 \times 10 \times 10^{2n}/3Km$ 。ブラックホールの質量が106太陽質量の場合。ブラックホールの中心からの距離は、距離 $= 6.042 \times 10 \times 10^{2n}/3Km = 6.042 \times 10 \times 10^4Km = 6.042 \times 10^5Km$ 。ブラックホールの質量が106太陽質量の場合、光子が引きこまれる軌道は 6.042×10^5Km です。ブラックホールの光子が吸い込まれる軌道より小さな軌道はどのようなものであるか。光速より速い速度。109太陽質量、1010太陽質量、1011太陽質量のブラックホールの場合、宇宙の中心のブラックホール 2.631×10^{13} 太陽質量の場合について計算し、表に示す。場のAの値は光の速度です。マイナスの宇宙の場合を表に示す。エネルギーが同じプラスの宇宙のAの値はその軌道の光の速度を示す。マイナスの場で、電磁気1個のエネルギーが $3.769 \times 10^{-21}J$ の場合、ビッグバンが起きた点のAは $A=1020$ である。光の速度は秒速1020mです。このことによって、インフレーションの初めの速度は秒速1020mであった。(特願2018-122663)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

U15a 宇宙大規模構造整合性関係式と多点相関関数におけるバリオン音響振動の兆候

西道啓博 (京大基研), Massimo Pietroni (パルマ大), Marco Marinucci (パルマ大)

宇宙大規模構造整合性関係式は、系の持つ対称性を手がかりに密度揺らぎの多点相関関数同士を結びつけるいくつかの公式を指す。中でも並進対称性から導かれる「動的な」整合性関係式は、ガウス統計に従う初期条件と弱い等価原理の元で厳密に成立するため、その検証により宇宙論パラメタや銀河のバイアスを仮定することなく宇宙模型に強い制限を課すことができると期待される。この関係式は異なる時刻の密度場の間相関関数に対して定式化され、その間の小スケールの構造の変異に対して大スケールの相関量がどのように応答すべきかを計算したものであり、2つのスケールが十分に離れているという極限 (squeezed limit) で成立する。通常観測される同時刻の相関関数については関係式が恒等的にゼロとなるため、観測的に検証することが難しい。

squeezed limit からのずれに着目すると、2スケール間の比について同時刻でゼロに漸近する項の次の次数まで計算することで、観測可能な効果について議論できる。この次数では、スケールに対して強く変動する成分に感度が高いため、バリオン音響振動 (BAO) の議論に有効である (Baldauf et al. 2015)。近年の観測の大規模化により、3点相関関数にも有意な BAO のシグナルが検出できるようになりつつあるため、整合性関係式はこれを解釈する際に有用なツールとなり得る。

我々はこの考えをバイアスを持つトレーサーの赤方偏移空間でのクラスタリングに拡張し、関係式の成立を数値的に検証した。この結果、将来の究極的観測計画において想定される現実的な状況下でも、誤差の範囲内で関係式が成り立つことを示した。本講演では、主にこの数値実験の結果について報告する。さらに、この効果を利用してバイアスと構造の線形成長率の間の縮退を解く可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U16a Intrinsic alignments of halo orientations with velocity field and the baryon acoustic oscillation features

Teppei Okumura (ASIAA/Kavli IPMU), Atsushi Taruya, Takahiro Nishimichi (YITP, Kyoto Univ.)

The kinematic Sunyaev-Zel'dovich effect enables us to directly probe the density-weighted velocity field up to very large cosmic scales. We investigate the effects of intrinsic alignments (IA) of dark-matter halo shapes on cosmic density and velocity fields on such large scales. In literature IA have been detected up to $\sim 100 \text{ Mpc}/h$ using the gravitational shear-intrinsic ellipticity (GI) correlation and the alignment correlation function. In this talk we introduce the corresponding various velocity statistics: the (density-weighted) velocity-intrinsic ellipticity (VI) correlation as well as the alignment pairwise infall momentum, momentum correlation function, and density-weighted pairwise velocity dispersion. We derive theoretical expressions for these velocity alignment statistics for the first time based on the assumption that the density fluctuation is a Gaussian random field. Using large-volume, high-resolution N -body simulations, we measure the alignment statistics of density and velocity fields. Behaviors of IA in the velocity statistics are similar to those in the density statistics, except that the halo orientations are aligned with the velocity field up to scales larger than those with the density field, $r \gg 100 \text{ Mpc}/h$. We show that the detected IA of the velocity field can be well predicted by the linear alignment model. We also demonstrate that the baryon acoustic oscillation features can be detected in both the conventional and alignment velocity statistics. Our results indicate that observations of IA with the velocity field on large scales can provide additional information on cosmological models.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U17a N体シミュレーションを用いた大規模構造とハロー形状の相関測定

栗田智貴, 高田昌広 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 西道啓博 (京都大学基礎物理学研究所)

宇宙構造形成の標準シナリオである冷たいダークマターモデル (CDM モデル) では、CDM が密集した自己重力系であるダークマターハローの中に銀河が形成される。銀河の形状やその周囲を包むハローの形状は、それらを構成する物質と大規模構造による宇宙広域の潮汐力場との重力相互作用の結果を反映すると考えられる。このような大規模構造と形状の相関は Intrinsic Alignment (IA) と呼ばれ、理論と観測の両面で研究が進展している。

IA の理論的な研究手法として、摂動論によって理論モデルを構築する手法と N 体シミュレーションを用いる手法の二つがある。IA の理論モデルを得ることは、IA が弱い重力レンズ効果を用いた宇宙論パラメータ推定の系統誤差になり得る点や IA 自身に含まれる宇宙論的な情報を抽出できる可能性がある点から非常に重要である。しかし現状では N 体シミュレーションによって摂動論を検証する研究や IA の振る舞いを系統的に調べる研究は少ない。

本研究では、N 体シミュレーションを用いて大規模構造 (ダークマターの空間分布) とハローの形状の相関を測定し、ハロー質量や赤方偏移、宇宙論パラメータ (S_8, Ω_m) 依存性を系統的に調べた。特に、従来の 2 次元実空間相関関数に基づく研究とは異なり、ハローの 3 次元空間分布を利用した 3 次元パワースペクトルの測定を行ったことで、摂動理論の高精度かつ容易な検証が可能となった。本研究において、大スケール ($\gtrsim 100\text{Mpc}/h$) の相関が摂動論の予言と合致することを確かめ、さらにその相関は高質量のハローほど強く、宇宙の時間進化とともに減衰することを示した。これらの結果は、ハローの形状が構造形成初期の大規模構造の情報を多く含むことを示唆する。本講演ではこれらの結果を紹介するとともに、IA の観測的な研究への影響等、これからの展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U18a 粒子軌道に基づくダークマターハロー動径位相構造の解析

杉浦宏夢 (京都大学), 樽家篤史 (YITP), 西道啓博 (YITP), Yann Rasera (LUTH)

近年ダークマターハローに関してスプラッシュバック半径 (Diemer & Kravtsov 2014) という概念が注目を集めている。これはハローへ降着した物質のハロー内運動に関する第一遠点通過半径に対応する量であり、ハロー外縁部の密度プロファイルにその痕跡が残されることが指摘されている。Diemer (2017) は N 体シミュレーションにおいて N 体粒子あるいはサブハローの運動を追跡し、それに基づいてスプラッシュバック半径の位置を決定するアルゴリズムを提案している。

本研究ではこの手法を一般化し、ダークマターハローの動径位相構造を降着した物質の運動という観点から解析した。特に、ハロー内運動に関する遠点通過に注目した解析方法を導入する。その結果、 N 体シミュレーションで得られたハローに関して、動径位相空間内の分布が降着史に基づいたマルチストリーム構造となることがわかった。そこで Fillmore & Goldreich (1984), Bertschinger (1985) によるハロー形成の球対称自己相似解と N 体ハロー構造とを比較し、両者がどの程度一致するかを定量的に調べた。その結果、約半数のハローについて一致が良いこと、一致の悪いハローは現在時刻付近で大きな質量降着率を持つことなどが明らかとなった。最後に動径位相構造とハロー質量降着史の関係についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U19a HSC サーベイ初年度データの宇宙シシア二点相関関数測定と宇宙論パラメーターの制限

浜名崇、白崎正人、宮崎聡 (国立天文台), 日影千秋 (Kavli IPMU), 大栗真宗 (東京大学、Kavli IPMU), More Surhud (The Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics, Pune), HSC collaboration

Hyper SuprimeCam strategic survey program (HSC サーベイ) の初年度データから弱い重力レンズ効果による遠方銀河の像の歪み (cosmic shear, コスミックシシア) の二点相関関数を測定した結果を報告する。コスミックシシア二点相関関数は、重力レンズ源となる手前の構造の重力ポテンシャル場の情報と観測者から遠方銀河と重力レンズ源までの宇宙論的距離に依存するため、宇宙論パラメーターを制限する有用な観測量と認識されている。

HSC サーベイ初年度データの 136.9 平方度にわたる撮像データの重力レンズ形状測定解析を行った。銀河サイズや明るさの条件を満たしたおよそ 900 万個の銀河を用いてコスミックシシア二点相関関数を測定し、およそ 0.5 分角から 5 度角におよぶ広いスケールにわたって高い SN での検出を得た。

測定したコスミックシシア二点相関関数と理論モデルとの統計的解析を行い宇宙論パラメーター、特に物質密度パラメータ Ω_m と密度ゆらぎの振幅パラメーター σ_8 に対する制限を得た。この解析においては、形状測定の誤差や、理論モデルの不定性 (例えば銀河形状の固有クラスタリングや物質分布のパワースペクトルにおけるバリオンフィードバックの影響) も考慮に入れている。

講演においては、解析の概要を述べ得られた宇宙論パラメータを報告する。また CMB 実験や他のコスミックシシアの結果との比較を紹介し、本研究から得られた宇宙論モデルに対する示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U20a 広天域銀河サーベイデータの宇宙論解析における摂動論的手法の有効性の検証

杉山素直, 高田昌広, 宮武広直, 小林洋祐, Youngsoo Park (カブリ数物連携宇宙研究機構)

宇宙の大規模構造は、インフレーションなどの初期条件、ダークマターによる重力、加速膨張を引き起こすダークエネルギーの性質の情報を含んでおり、宇宙論の強力な手段として注目されている。特に、分光データの銀河のクラスタリング統計と、その銀河の位置と背景銀河の形状の相互クラスタリング相関による弱重力レンズ効果の測定を組み合わせた解析は、分光銀河とダークマターの分布間の不定性である、銀河バイアスの不定性を除去できる有効な手法である。

上記のクラスタリング統計量から宇宙論パラメタを正確に測定するためには、大スケールのシグナルのみならず、 S/N の高い小スケールの情報を使用することが効果的である。しかしながら、大規模構造は重力相互作用によって小スケールが強く非線形成長した構造であるため、小スケールの情報を使って宇宙論パラメタを推定する場合は線形理論を超えたモデルを用いる必要がある。小スケールの非線形性は正確な理論モデルの構築が困難であるため、理論モデルそのものが系統誤差をもち、結果として宇宙論パラメタに系統誤差が生じる可能性がある。したがって、小スケールの情報を使った宇宙論パラメタの解析では、使用するモデルがどのスケールまで有効であるかを定量的に評価することが重要であり、そのためには系統誤差と統計誤差を正確に評価する必要がある。そこで本研究の目的は、SDSS 分光銀河および HSC イメージング銀河のサンプルを想定した模擬宇宙論データを用いて、広く用いられている大規模構造の摂動理論と小スケールのマスキングを組み合わせた手法の評価を行なった。小スケールをマスキングすることによって非線形摂動論が有効に使えるスケールを広げ、正確かつより統計精度の高い宇宙論パラメタの解析手法を評価した。本講演では、これらの解析手法の評価結果について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U21a HSC データを用いたフィラメント構造の弱重力レンズ効果測定

近藤寛人、宮武広直 (名古屋大学)

宇宙の加速膨張の源である宇宙項 Λ と、構造形成に必要な重力の源である冷たいダークマターを含む Λ CDMモデルは、現在まで行われてきた様々な観測を説明することができるという点で、最も支持されている。 Λ CDMモデルに基づいたN体シミュレーションでは、ダークマターの構造として球状のハローとその間をつなぐ線状のフィラメント構造が形成される。従来の観測においてフィラメント構造は、主に内部に存在する銀河の空間分布を通して観測されてきた。しかし弱重力レンズ効果を用いることにより、ダークマター構造を直接的に測定することが可能になる。ハロー内のダークマター分布は、弱重力レンズ効果によって広く研究されているが、ハローと比較して質量が小さく、弱重力レンズ効果の小さいフィラメント構造においては、未だに十分に研究されていない。私たちは、分光銀河サンプルであるSDSS-BOSSの隣接するペアの間に存在するフィラメント構造をSubaru Hyper Supreme-Cam (HSC)の初年度データを用いて測定した。

本測定では、先行研究 (Clampitt et al., 2016) が提唱したフィラメント信号推定法を用いて、ダークマターハローの寄与を打ち消すことでフィラメントの重力レンズ信号を取り出した。また HSC コラボレーションにて、 Λ CDM モデルを仮定したN体シミュレーションに基づいて作成された擬似銀河カタログにおいても同様の測定を行い、現実のダークマターのフィラメント構造が Λ CDMモデルの予言と一致していることを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U22a H0LiCOW: An independent constraint on H_0 from time-delay lenses

Kenneth Wong (Kavli IPMU), H0LiCOW collaboration

Strong gravitational lens systems with time delays between the multiple images are a powerful probe of cosmology and astrophysics. In particular, the time-delay distance from such a system is primarily sensitive to the Hubble constant (H_0) that is key to probing dark energy, neutrino physics, and the spatial curvature of the Universe, as well as discovering new physics. The H_0 Lenses In COSMOGRAIL's Wellspring (H0LiCOW) project measures H_0 from several lensed quasars using deep high-resolution *HST* and/or AO imaging, precise time delay measurements from the COSMOGRAIL monitoring project, a measurement of the velocity dispersion of the lens galaxies, and a characterization of the mass distribution along the line of sight. Our latest results from a combination of six time-delay lenses constrains H_0 to $< 2.5\%$ precision for a flat Λ CDM cosmology. These results, combined with independent local determinations of H_0 using type Ia supernovae calibrated by the distance ladder method, are in $\sim 5\sigma$ tension with the early-universe determination from *Planck* CMB observations, hinting at possible new physics beyond the standard Λ CDM model and highlighting the importance of this independent probe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U23a Luminosity-Duration Relation of Fast Radio Bursts:a new tool for precision cosmology

Tetsuya Hashimoto, Tomotsugu Goto, Ting-Wen Wang, Seong Jin Kim, Yi-Han Wu, and Chien-Chang Ho (National Tsing Hua University)

Nature of dark energy remains unknown. Especially, to constrain the time variability of the dark-energy, a new, standardisable candle that can reach more distant Universe has been awaited. Here we propose a new distance measure using fast radio bursts (FRBs), which are a new emerging population of \sim ms time scale radio bursts that can reach high- z in quantity. We, for the first time, show an empirical positive correlation between the time-integrated luminosity (L_ν) and rest-frame intrinsic duration ($w_{\text{int,rest}}$) of FRBs. The $L_\nu - w_{\text{int,rest}}$ correlation is statistically very significant with $>95\%$ confidence level. This correlation can be used to measure intrinsic luminosity of FRBs from the observed $w_{\text{int,rest}}$. By comparing the luminosity with observed flux, we measure luminosity distances to FRBs, and thereby construct the Hubble diagram. This FRB cosmology with the $L_\nu - w_{\text{int,rest}}$ relation has several advantages over SNe Ia, Gamma-Ray Burst (GRB), and well-known FRB dispersion measure (DM)- z cosmology; (i) access to higher redshift Universe beyond the SNe Ia, (ii) high event rate that is ~ 3 order of magnitude more frequent than GRBs, and (iii) it is free from the uncertainty from intergalactic electron density models, i.e., we can remove the largest uncertainty in the well-debated DM- z cosmology of FRB. Our simulation suggests that the $L_\nu - w_{\text{int,rest}}$ relation provides tight constraints on the time variability of the dark energy when the next generation radio telescopes start to find FRBs in quantity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U24a 重力波の余剰な偏波の観測的検証に向けて

浅田秀樹 (弘前大学)、飯川大輔 (弘前大学)、江良直也 (弘前大学)、西澤篤志 (東京大学)

GW170817 イベントによって、マルチメッセンジャー天文学が始まった。このような電磁波対応天体を伴う重力波源に対して、電磁波観測から重力波源の方向が正確に測定できる。このおかげで推定すべきパラメタ空間の次元が低くなるので、重力波そのものの物理をより深く理解することが可能となる。本講演では、こうした電磁波対応天体を伴う重力波イベントを用いた重力理論の検証方法を議論したい。特に、重力波源の方向が電磁波観測で決まる状況（おもに中性子星合体など）に話を限定する。具体的に、LIGO の 2 台、VIRGO、そして我が国の KAGRA も加えた 4 台の重力波望遠鏡を用いれば、余剰な偏波であるスカラー重力波あるいはベクトル重力波の検証が可能となる、いわば「ラッキーな重力波イベント」の方向が天球上に存在することを我々が初めて見出した (arXiv:1807.07234)。また、こうしたイベントの確率も我々が評価した (arXiv:1904.02300)。そして、GW170817 イベントの公開データを用いた余剰な偏波の探査も行った。それらの結果によれば、近い将来、重力波の余剰な偏波に関する検証実験を行えることが期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 210–375 GHz 帯 同時観測用導波管フィルタの開発

増井翔, 山崎康正, 横山航希, 上田翔汰, 岡田望, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 徳田一起 (大阪府大/NAOJ), 木村公洋 (名古屋大), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez (NAOJ)

我々は国立天文台 野辺山宇宙電波観測所に設置された口径 1.85m 電波望遠鏡を開発・運用してきた。さらに、現在 230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の広帯域同時観測及び、観測領域の拡張 (南天領域) を狙って、本望遠鏡を南米チリの標高 2,500m サイトへ移設すべく準備を進めている。

広帯域観測のための受信機システムとして、210–270/280–375 GHz 広帯域周波数フィルタと、CO 輝線観測に焦点を当てた 215–235/245–265 GHz および 330–350/360–380 GHz 周波数フィルタを組み合わせた、210–375 GHz 4 帯域フィルタを開発中である。前年会では、電磁界解析ソフトを用いて広帯域周波数フィルタの設計を行い、210–375 GHz 帯にて反射損失が 17 dB 以上の低損失な設計が得られたことを報告した (増井他 2019 年春季年会)。その後、上記の設計で製作したフィルタを高周波 VNA を用いて測定した結果、大勢として反射損失が 17 dB 以上の低損失な特性を得ることができたが、一部 275–300 GHz 帯にて反射損失が 10 dB と悪くなっているのを確認した。この劣化は反射損失が悪くなっていることから、広帯域周波数フィルタを構成している共振器型 High pass filter (HPF) が原因と考えられる。上記の HPF を用いて過去に製作された導波管回路においても同等の特性劣化が確認でき、切削誤差による影響以外も視野に入れ原因の追求を進めている。さらに 4 帯域フィルタは、CO 同位体 6 輝線で反射損失が 15 dB 程度の低損失な設計を得ることができた。

本講演では、設計した広帯域 2 分配器の設計値と測定結果の違い及び、特性劣化の原因の考察、そして 4 帯域フィルタの設計結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102b 1.85 m 望遠鏡 210–370 GHz 帯 広帯域光学系の開発進捗 –ビーム伝送系及びコルゲートホーン的设计–

山崎康正, 横山航希, 増井翔, 上田翔汰, 岡田望, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 徳田一起 (NAOJ/大阪府大), 木村公洋 (名大), 小嶋崇文, 金子慶子, 坂井了 (NAOJ)

我々大阪府立大学を中心とするグループは 1.85 m 電波望遠鏡を南米チリの標高 2,500 m サイトに移設し、210–370 GHz (比帯域 55 %) に渡る超広帯域同時観測を計画している。その目的は CO 分子を中心とした複数の回転遷移スペクトルのデータをもとに星間分子雲の詳細な物理状態を明らかにし、星形成過程を探ることである。これまで 1.85 m 望遠鏡は野辺山観測所にて 230 GHz 帯に存在する CO 同位体 ($J = 2-1$) の観測を行なってきたが、受信機を広帯域化し CO ($J = 3-2$) を中心としたさらに多くの輝線を観測する。我々は特に、主鏡からフィードまでの 1 つの系で、上記周波数全てを同時に受信出来る光学系の開発を行っている。

本望遠鏡ではカセグレン・ナスミス方式を採用し、主鏡、副鏡、平面鏡、楕円鏡、ホーンの 5 種類のコンポーネントで構成される。超広帯域観測を達成するために光学系に求められる事は、宇宙から来た電波を低損失でビーム伝送させ、フィードで給電する事である。そこで、主鏡からフィードまでのビーム伝送系を設計し、フィードとして採用したコルゲートホーン的设计を行った。ビーム伝送系的设计については Frequency-Independent Matching 理論を適用し、周波数によらず低損失にフィードに伝送できるようにした。フィード的设计についてはコルゲートホーンの溝の幅、深さを広帯域に最適化することによって 210–370 GHz に渡って反射損失を -25 dB 以下に抑えることを目指した。その後、フィードを含めた光学系全体を物理光学手法を用いてシミュレーションした結果、上記周波数帯において 0.7 以上の開口能率を得た。本講演ではそれらの結果と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103b 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 広帯域観測へ向けた局部発振器系の検討

横山航希, 山崎康正, 増井翔, 上田翔汰, 岡田望, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 木村公洋 (名古屋大学), 小嶋崇文 (NAOJ)

我々は野辺山観測所に設置されている口径 1.85 m 電波望遠鏡を開発・運用している。現在までヘテロダイン方式を用いて、230 GHz 帯で CO 同位体 3 輝線の観測を行い星形成過程を探ってきた。さらに、本望遠鏡を南米チリの標高 2500 m サイトへ移設し、230/345 GHz 帯の CO 同位体 6 輝線の同時観測へ向けた広帯域受信機の開発を進めている。IF 帯域においても、従来の 4–8GHz から近年の開発により広帯域化されている 4–21GHz の系に (Kojima et al. 2017) 変更することで、HCO⁺ やその同位体など CO 以外の分子の同時観測も目指している。

従来、Gunn 発振器は非常に良い雑音特性を持っていることが知られており、本望遠鏡でも局部発振器として使用してきた。しかし、周波数の変更等をリモート制御で行うには不向きであることや、将来的に調達困難であるなどの問題があり、これからは逡倍器を組み合わせた局部発振器系を使用する予定である。逡倍器系では LO サイドバンドノイズが影響して雑音温度が高くなる傾向があり、それを確認するために、いくつかの逡倍器や源信で SIS 受信機を用いて雑音温度の評価を行なっている。さらに、IF 帯域の広帯域化によって、逡倍器やアンプが原因で生じるスプリアスが IF 帯域に混入することが懸念される。現在まで、70–100GHz 帯域に源信に関する強度の違ういくつかのスプリアスが発生していることを確認した。我々はこの信号を 3 逡倍し SIS の LO 信号として使用することを考えているため、このスプリアスが問題になる可能性がある。本講演では、これらを測定するための評価系、及びそれによる測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V104b 1.85m 電波望遠鏡/受信機制御のためのシステム開発

近藤滉、上田翔汰、高嶋辰幸、小西諒太郎、西村淳、大西利和、小川英夫（大阪府立大学）、甘利涼湖、堤稔喜（山口大学）、逆井啓佑、塩谷一樹、立原研悟（名古屋大学）

我々は国立天文台野辺山宇宙電波観測所に設置された 1.85m 電波望遠鏡を運用/開発してきた。現在、本望遠鏡を南米チリの標高 2,500m のサイトに移設し、230 及び 345GHz 帯の同時観測をする計画を推進している。これを効率よく実現するために制御システムには、(1) 自動化/冗長化：機材のリモート化を進め、自動観測を実現し、小型カメラ等のセンサ類を増やし遠隔操作によるエラー復帰を行う、(2) 拡張性：新しく開発した受信機の実証試験を行うために、装置の取り替えにソフト的に柔軟に対応する、(3) 小型化：ドームとコンテナに分かれている制御システムをドームに集約/小型化し、輸送/設置を容易にする、が要求される。また、現在運用中の制御システムはこれまで野辺山で約 10 年間運用しており計算機/モーター等の装置の老朽化が進んでいる。これらの交換を進めると共に計算機の小型化を行なった。ソフトウェアには、NANTEN2 用に Robot Operating System を用いて開発された NECST をベースに、改良したシステムを開発中である。NECST は、装置を制御する一連の操作やフィードバック処理等の各機能を細分化し個別の node として設計している事で、プログラムをシンプルに記述できデバッグが容易である。さらに新システムでは、node を望遠鏡に共通なパッケージ (core、sisrx、telescope) と固有な部分に分け、それらを組み合わせることで完成するより抽象度の高いシステムとした。これにより、最小限の開発で別の装置への応用が可能な汎用性の高いプログラムとなった。現在このシステムを用いて、NRO45m の TZ 受信機の制御系も開発中である。本講演では、これら新システムの概要と評価結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V105a SKA プロジェクトに向けた科学検討2

赤堀卓也、小林秀行、河野裕介（国立天文台水沢 VLBI 観測所）

SKA (Square Kilometre Array) は、メートル波・センチ波帯の大型電波干渉計を建設・運用する国際計画である。我々は国立天文台に新規に設置された SKA1 検討グループとして、SKA 計画に日本が参加するための準備を進めている。この講演では科学検討の進捗を報告する。

前回の報告に続き、まず SKA 先行機での重要な成果を紹介する。カナダの CHIME は初めて 400 MHz 帯域で FRB を複数発見し、さらに 2 例目の再発性 FRB を発見している (CHIME Collaboration 2019ab, Nature)。豪州の ASKAP は高分解・高感度・広視野の特性を生かして、小マゼラン雲からのガスの放出の様子を解明している (McClure-Griffiths et al. 2018, Nature Astronomy)。次に会議報告を行う。2019 年 4 月に英国マンチェスター郊外において SKA General Science Workshop 2019 が開催された。セレクションを受けた 200 名程度の参加者が一堂に会し、日本人研究者も 10 名が参加した。SKA1 の観測時間の 7 割を占める予定の大規模サーベイ計画について、各分野に分かれて議論を進めた。SKA1 が網羅する上限周波数 15 GHz を越えて、最大 50 GHz までの観測能力を付加する計画が初めてコミュニティから提案され、そのサイエンスユースケースの検討が始まることになった。2019 年 5 月には East Asia SKA Science Workshop 2019 が開催された。中国が豪州と密に連携し、MWA そして ASKAP に参画している様子が報告された。日本からは科学検討の状況を報告し、特に SKA 地域センターに関連して将来の協同について意見交換を進めることができた。また 2019 年 9 月には SKA-JP シンポジウムが開催予定であり、その様子も報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a 広帯域フィードの開発 (XVI)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛 (情報通信研究機構)

NICT 鹿島では広帯域測地 VLBI の VGOS(VLBI2010) や SKA への応用を意識しつつ、VLBI による遠隔地間の原子時計の精密周波数比較に使用する広帯域受信システム「Gala-V」を開発した。この広帯域フィードは周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件を考慮し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 × 4ch で最適化しつつ 3.2-14.4GHz の全域で受信可能としたので、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用したホログラフィなど幅広く利用できている。プロジェクト開始時と今とで RFI 環境が異なってきたが、周波数配列を適宜変えて実験を続けてきた。現在、鹿島 34m アンテナおよび 2.4m の可搬型小型局 MARBLE で広帯域フィードとともに使用中の OMT は 3GHz 以下の RFI の遮断特性の急峻化、反射損失の低減と広帯域化を図り、片側のポートは現在、上限 17GHz 程度まで使用できる。2018 年 6 月にイタリアに MARBLE を移設し、小金井との間で周波数比較実験を継続中である。この広帯域フィードを応用して 2018 年度からは科研費 (研究代表: NICT 市川) で KEK の開発したマイクロ波放射計「KUMODES」の小型化・高機能化に向けた開発を始めた。MARBLE 同様に可搬性がよくロバストで使いやすいシステムを目指している。気象予報や VLBI での水蒸気遅延の補正、火山の生態の理解に役立てたい。なお噴火予想では水蒸気量ではなく山の形状の計測が有用であり、測位精度の向上で貢献できるだろう。受信周波数は 20-60GHz 程度で水蒸気と雨滴、酸素を測る。光学系は既存のアンテナを使用し、フィードは光学系に合わせて設計する。フィードのビーム幅が光学系の見込み角より広いとパラボラでは地面の雑音、カセグレンでは目標を離れて取り囲むフィード視野からの輻射が混ざり、計測精度が劣化するからである。これら広帯域アンテナシステムの開発・実験状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V107a 那須電波干渉計が捉えた Cyg X-3 で最近起きた巨大フレア

大師堂経明, 坪野公夫 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 貴田寿美子 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICOT), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

Cyg X-3 はブラックホールもしくは中性子星および伴星からなる 4.8 時間周期の連星系であり、数年に 1 回程度の頻度で巨大フレアを起こすことが知られている。那須電波干渉計では今年 4 月から 1ヶ月程度に渡って発生前から平穏化までに至る巨大フレア現象を観測したのでその結果について報告する。Cyg X-3 では、電波活動の沈静期に活発なガンマ線の活動が見られた場合、その数週間後からジェット吹き出しに伴う電波フレアが始まることが知られている。今回も X 線・ガンマ線衛星 AGILE によって Cyg X-3 からのガンマ線の増加が 4 月中旬に報告されたが、4 月 18 日になって 1.14 ± 0.02 Jy (UTC 21:45) の新たなフレアが那須電波干渉計の 1.4GHz 帯において観測された。その後フラックスは増加を続け、4 月 24 日には 6.6 ± 0.7 Jy (UTC 21:21) のピークが観測された。その後はいったん減少に転じたが再び増光し始め、5 月 4 日には 7.9 ± 0.03 Jy (UTC 20:34) の 2 回目のピークを記録した。その後は徐々に減光をつづけ、5 月 23 日からは那須電波干渉計の検出限界である 100 mJy (5σ) 以下になっている。今回の Cyg X-3 における巨大フレアに関して、電波領域では那須電波干渉計の他に、RATAN-600 (610MHz-35GHz, ロシア) や LOFAR (250MHz, オランダなど) の観測結果が報告されている。今後これらのデータと X 線・ガンマ線での観測結果を総合的に解析することにより、マイクロクエーサーにおける降着円盤やジェットの物理的解明が進むと期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V108a 成層圏気球 VLBI 観測の実現に向けた地上実験

下向怜歩 (東京大学、JAXA 宇宙科学研究所)、河野裕介 (国立天文台)、土居明広、中原聡美 (JAXA 宇宙科学研究所)、木村公洋 (名古屋大学)、長谷川豊 (JAXA 宇宙科学研究所)、小山友明、鈴木駿策、亀谷収 (国立天文台)、村田泰弘 (JAXA 宇宙科学研究所)、金口政弘、山下一芳 (国立天文台)、海老沢研 (JAXA 宇宙科学研究所)、井上芳幸 (理化学研究所)

先日、地球上で最長規模の基線長を持つ EHT (Event Horizon Telescope) が波長 1.3mm でブラックホールの直接撮像に初めて成功した。EHT 以上に高い画質を得るためには、UV 平面を大幅に向上させる必要があり、そのためには観測中に移動する望遠鏡を配置するのが効果的である。将来的に人工衛星を用いたサブミリ波帯スペース VLBI が実現すれば、超長基線で UV 平面を十分に埋めることが可能になるが、コストや通信速度の点で乗り越えるべき課題が大きい。一方、成層圏気球においてはコストが圧倒的に低く、取得したデータを媒体に保管して持ち帰ることができるため通信速度の問題がない。そこで我々は波長 1mm 以下の成層圏気球 VLBI を実現することを目標にしている。気球 VLBI の技術的課題として、搭載望遠鏡の「指向決定精度の要求」と「相対位置決定精度の要求」の二つが挙げられる。一つ目の要求を満たすために、我々は Star Tracker (STT) の開発を行っている。気球観測高度では昼間の空は明るい、この STT カメラでは 23km 以上の高度で姿勢決定に必要な星を捉えられることを計算によって示した。さらに、成層圏において期待される条件を模擬した試験にて、温度・気圧による影響を調査し STT の安定性を確認した。また、バッフルによって太陽の迷光がミッションに問題にならないレベルまで減衰できることを実験によって確認した。二つ目の要求を満たすために、干渉縞の時間変動補償方法の開発を行った。観測中、気球ゴンドラは振り子運動を行う。天体からの干渉縞を得るためには積分時間より短いタイムスケールにおける望遠鏡の相対位置変動を決定する必要がある。地上局の隣でゴンドラを吊るして揺らす実験を行い、ゴンドラの角度変動データから相対位置決定が可能であることを示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V109b SPART 10-m 電波望遠鏡を用いた 230 GHz 国際ミリ波 VLBI 観測

青木貴弘 (山口大学), 前澤裕之, 増井翔, 岡田望, 西村淳, 築山大輝, 富原彩加, 小川英夫 (大阪府立大学), 新沼浩太郎, 甘利涼湖, 堤稔喜, 藤澤健太 (山口大学), 米倉覚則, 上地康仁 (茨城大学), 井上允 (ASIAA/国立天文台)

2019年3月18日および19日の連続した二日間に渡り, 大阪府立大学 SPART 10-m (Solar Planetary Atmosphere Research Telescope, 旧野辺山ミリ波干渉計 F 号機), 韓国 SRAO 6-m, グリーンランド GLT 12-m の3局を用いて, 日本としては初めてとなる周波数 230 GHz (波長 1.3 mm) の国際 VLBI 観測を実施した. この観測に先立って, 2015年4月27-29日にかけて野辺山観測所内にある SPART 10-m 電波望遠鏡と 1.85-m 電波望遠鏡を用いて 230 GHz 帯におけるミリ波 VLBI 実験に成功した. この先の国内実験を発展させ, SPART を用いて日本で初めて国際ミリ波 VLBI を行おうというのが本実験であり, 将来的な EHT (Event Horizon Telescope) への参加や EAVN -hi- (East-Asian VLBI Network at high frequency) にも発展すると期待される.

本実験の目的は, 近接した日時で同じ観測を繰り返すことで活動銀河核中心領域の構造変化を解明することだが, 当面の目標はフリッジ検出である. 日本にとっては初めての国際ミリ波 VLBI 観測となるため, 我々日本チームとしては技術実証としての意味合いが強く, その成功規準を, ミニマムサクセスとして SPART で国際ミリ波 VLBI 観測に参加し, フリッジ検出を試みる, フルサクセスとして SPART を含む基線でフリッジを検出する, エクストラサクセスとして SPART を含む基線を用いて VLBI イメージを得る, と設定した.

講演では, SPART で VLBI 観測システムを立ち上げるための作業やそのシステム構成, また観測中のできごとについて報告する. 観測データは予稿執筆時点で相関処理中であり, 観測結果の報告は別途なされる予定である.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110b 水沢 10m 電波望遠鏡用の L 帯受信システムの開発

亀谷收 (国立天文台), 福迫武, 春口将太郎 (熊本大学), 本間希樹, 小山友明, 浅利一善, 山内彩, 宇賀裕哉, 朝倉佑, 吉田利宏 (国立天文台)

国立天文台水沢 VLBI 観測所口径 10m 電波望遠鏡は、建設後 26 年を迎え、これまで様々な VLBI 観測や単一鏡観測、新しい観測技術開発、学生教育等に使用されてきている。ここ数年は、K 帯で行われる国内の気球 VLBI 観測計画に参加している。また近い将来打上げ予定の Nano-JASMINE 衛星の S 帯のダウンリンク局として使用する予定である (2016 年および 2017 年、2018 年の秋季年会で報告)。

一方、国内ではパルサー観測や transient 天体観測を低周波数で行う必要性が出てきており、新たに 10m 電波望遠鏡に設置できる L 帯 (1.1~1.6GHz) で使用可能な受信システムを開発した。10m 電波望遠鏡は、S 帯および X 帯以上の周波数帯を同時受信できる一次放射器を持っているが、L 帯は受信できない。そこで、この既存の一次放射器の上に設置できる L 帯用のホーンアンテナシステムを熊本大学で開発した。この出力は、任意の偏波を受信する事が可能である。この出力を常温アンプ (ゲイン 80dB) で増幅し、RF 帯の信号を光伝送システムを使って観測棟まで伝送する。その後、既存の VLBI システム等に接続することで記録が可能である。

本講演では、アンテナシステムの個々のユニットの性能および、総合的なシステム性能、今後の展望等について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V111c 大学 VLBI 連携の国立天文台 A プロジェクト化

藤沢健太 (山口大学) , 大学 VLBI 連携

大学 VLBI 連携観測事業 (大学 VLBI 連携) は茨城大学、筑波大学、岐阜大学、大阪府立大学、山口大学、鹿児島大学の 6 大学と国立天文台が連携して実施する研究事業であり、茨城局 (日立・高萩 32m)、山口局 (32m, 34m) と国立天文台の VERA 局を用いて VLBI 観測網を構築して観測的研究を行う。この VLBI 観測網が JVN である。JVN には NICT 鹿島 34m および宇宙研白田 64m が協力局として参加することもある。これまで JVN で行われてきた研究の主なものは、様々な種類の AGN のイメージング、6.7 GHz メタノールメーザーの観測などである。2018 年度から共同利用が開始された東アジア VLBI 観測網 (EAVN) にも参加を開始している。

2019 年度から、大学 VLBI 連携は国立天文台の A プロジェクト (連携事業) として位置づけられることになり、正式名称は「(大学間連携による) 国内 VLBI ネットワーク事業」となった。A プロジェクト化するにあたり、3 か年のプロジェクト期限を定めて、研究の内容と達成目標を明確にした。科学研究の内容は既に 2016 年から議論と準備を進めており、大質量原始星の時間領域 VLBI 天文学開拓と高エネルギー天体現象の時間領域 VLBI 天文学開拓の 2 つが中心となる。JVN の大学望遠鏡 (茨城、山口) が中核となり、長期間観測・アラート対応・マルチメッセンジャー観測などを実施することでプロジェクトの特色を出す予定である。メタノールメーザーのバースト現象、フレア星の強度変動、X 線連星のフレアなど、既に多波長連携観測を開始しており、現時点で研究発展の端緒についたと言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V112c VERA-upgrade for EAVN 計画の進捗 IV

小山友明、鈴木駿策、河野祐介、山内彩、永山匠、寺家孝明、秦和弘（国立天文台）、萩原喜昭（東洋大）他 KaVA, EAVN メンバー

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）の VLBI 運用開始から 17 年が経過し、現在 EAVN（East Asia VLBI Nnetwork）、SKA（Square Kilometer Array）、将来の GVLBI（Global VLBI）への対応として以下の VERA アップグレード計画が進行中である。1）RF-Direct-A/D（OCTAD）を用いた広帯域化（32 Gbps 以上）、OCTAD 用リアルタイムデジタル信号処理（デジタルイコライザー、Phase-up、偏波変換）開発、2）K、Q 両バンドでの両偏波同時受信、3）K、Q バンドの多周波同時受信、4）低周波（S-band）受信機の冷却、広帯域（L-band 含む）化、5）GP-GPU を用いたソフト相関器の高速化、6）10 GbE VDIF（VLBI Data Interchange Format）データのリアルタイムデジタル信号処理ライブラリ開発（VDIF ソフトウェアライブラリの開発、2012 年秋季年会 鈴木他）。上記の中で、今期は 1）12 Gbps の広帯域観測システムの定常運用開始、2）K、Q 両偏波観測用 DC の開発と小笠原局、石垣局への搭載、3）LS-band 新型超電導冷却フィルター受信機の開発、水沢、石垣局への搭載、4）GPGPU を用いて VDIF データの分光処理を行う”VSSPEC”について 512 MHz 帯域幅 4ch 1024 点分光のリアルタイム処理の実現、パルサー、SETI 解析処理を行う”VSPUL”、“VSSETI”の設計開発、試作器の制作、上記 4 点について進捗、目標を達成した。本発表では、上記開発進捗と合わせて、全体工程、試験観測結果についても合わせて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V113b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (19)

米倉 覚則, 齋藤 悠, 佐藤 公紀, 上地 康仁, 川上 泰輝, 平原 慶裕, 渡辺 雅人, 百瀬 宗武 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 久野 成夫 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

茨城観測局 (日立 32-m アンテナ、高萩 32-m アンテナ) では、VLBI 観測運用を年間 1,000 時間程度 6.7 GHz、8.4 GHz、22 GHz において実施するとともに、6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測や、パルサーなどの時系列データ取得観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施している。

(1) 2019 年 1 月 14 日に、6.7 GHz メタノールメーザー源 G358.931-0.030 において増光現象を検出し、速報を投稿した (Sugiyama+19, Astronomer's Telegram 12446)。これを受けて、ALMA も含めた世界中の電波望遠鏡でフォローアップ観測が行なわれるなど、一大ムーブメントを巻き起こした。この天体においては、過去にどの天体においても検出された事がなかったメタノールメーザー遷移が検出されたため (Breen+19)、それらの新検出遷移のうち 7.6 GHz および 7.8 GHz の遷移に対して、日本 3 (日立 32m、山口 32m、鹿島 34m)、中国 1、オーストラリア 8、ニュージーランド 1 の合計 13 局による VLBI 観測を 5 月 16 日に実施した。実施にあたり、日立局と山口局ではダウンコンバーターを改造した。現在解析中である。(2) 2018 年 9 月に発生した高萩アンテナの AZ 駆動部の不具合については完全な解決には至っていないが、現時点で AZ 駆動用 DC モーター 2 台のうちの 1 台のみを用いた運用が可能になった。(3) サンプラー ADS-3000+の出力を VDIF 形式で記録できる記録装置 (エレクトクス工業製 OCTADISK2) を導入し、現在記録試験を行っている。従来は専用形式で一旦記録したものを後処理で VDIF 形式に変換しなければならなかった作業が不要になり、観測終了後の解析時間の低減が期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V114c 拡張相互相関分光法による6.7GHzメタノールメーザー解析

岳藤一宏 (NICT), 米倉覚則, 齋藤悠 (茨城大学), 青木貴弘, 藤澤健太 (山口大学), 杉山孝一郎 (国立天文台), 今井裕 (鹿児島大学)

6.7GHzメタノールメーザー源はこれまでに1,000天体以上発見されており、その中に周期変動や突発変動するものが報告されている (Goedhart+, MNRAS, 2004; Fujisawa+, PASJ, 2012, など)。我々は、周期変動および突発変動の系統的な探査を目的として、高萩・日立32m電波望遠鏡や山口32m電波望遠鏡で6.7GHzメタノールメーザー天体をモニター観測している。このモニターで得られた生データに対して、相互相関分光法 (以後XCS) という新しい切り口でデータ解析をおこなった。XCSはマイケルソン分光法を電波領域で表現したものであり、フーリエ変換によって得たスペクトルAと、スペクトルAを遅延させたスペクトルBの相関を計算する。遅延を任意に変えることで、対象となる信号のコヒーレンス時間を測定できる (Takefuji+, PASJ, 2016)。6.7GHzメタノールメーザー天体は数十kHz程度のライン幅を持ち、通常のスเปクトル計算では1kHz前後の周波数分解能で計算を行う。しかし、XCSではメーザーライン幅程度で周波数分解能が最大となり、メーザー線が埋もれることがあった (周波数分解能を無理に上げるとメーザー信号の相関が低下して信号強度が低下する)。そこで、Zero padding法を導入して見かけ上の周波数分解能を向上させた。すると、通常フーリエ変換によるスペクトル計算では検出できなかったG0.167-04 (46.7日周期、この時期1~2Jy程度のon点データ)のメーザー信号をXCSで検出できた。さらに同メーザーの信号強度が増大するにつれコヒーレンス時間が減少するイベントが見つかった。コヒーレンス時間はメーザーのライン幅の逆数の関係があり、増光につれてライン幅が広がるような描像を得た可能性がある。本講演では、その他長期モニター観測データに対する処理結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115b へら絞り法を用いた口径2mサブミリ波アンテナ面測定

三好真、岡田則夫(国立天文台)、春日隆(法政大)、関戸衛、岳藤一宏(NICT 鹿嶋)、坪井昌人(宇宙研)、岡朋治(慶應大)、他

南米アンデス高地に移動型電波望遠鏡(きやらばん局)を含むVLBI網を作り、1~2千kmの短基線VLBI(230GHz帯)を実現し、「本当」のブラックホールの撮像をめざしている。きやらばん局では口径2mアンテナ複数枚で構成される開口面からの受信信号を低損失オーバサイズ導波管によって合成、一つの受信機に注入する複合鏡方式を想定している。

また低コストのサブミリ波アンテナを実現するため、へら絞り法による製作を検討してきた。これまでに口径1m試作では $30\mu m rms$ 、口径30cm試作では $15\mu m rms$ の面精度を達成している。熟練工によるへら絞りは加工精度が非常に高く、高精度金型を利用し、使用材であるアルミ板の残留応力を焼き鈍して除去すれば、 $20\mu m rms$ 程度のアンテナ面が実現される見通しを北嶋絞製作所の協力によって得た。2016年度より大澤科学財団の支援を得て、口径2.4m金型の精密切削(伊勢領/日造精密研磨/日立造船)、その内径部分を用いて口径2.2mのへら絞りアンテナを試作し、FAROによるレーザー測定で金型面 $30\mu m rms$ 、アンテナ面 $60\mu m rms$ の暫定値を得た。2018年度、クラウドファンド(アカデミスト)による支援、再度の大澤科学財団の支援を得て、クリスタル光学(株)の大型三次元測定器を用いて金型・アンテナの再測定を行った。これら試作・へら絞りアンテナの面精度測定結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V116b NANTEN2 マルチビーム受信機の開発および搭載試験の進捗報告

木村公洋, 藤城翔, 阪本茉莉子, 松永健汰, 逆井啓佑, 塩谷一樹, 堤大陸, 藤田真司, 榎谷玲依, 林克洋, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 小林和宏 (名古屋大学理装置開発室), 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 西村淳, 小川英夫 (大阪府立大学), 藤井泰範 (国立天文台)

我々は 4 m ミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で CO 輝線の超広域サーベイ計画である NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) プロジェクトを推進している。現在、2019 年秋 NANTEN2 望遠鏡への搭載を目指し、マルチビーム受信機の開発および望遠鏡の整備を進めている。この受信機の仕様は、冷却光学系を採用した 4 ビームの 115 GHz 帯両偏波 SSB と 1 ビームの 230 GHz 帯両偏波 2SB の計 5 ビームの 2 周波同時観測マルチビーム受信機である。本受信機は昨年冬に実験室において完成し、受信機性能評価 (システム雑音温度、ビームパターン測定等) を行ってきた (藤城他 2019 年春季年会、阪本他本年会)。

この受信機は、2018 年度冬から 2019 年度夏にかけて NANTEN2 望遠鏡に搭載を進めている。本システムは 1 つの Dewar に 5 ビームの受信機が搭載されるため、内部が配線や導波管等で複雑になってしまう。そのため NANTEN2 サイトの高地において初めから組み立てを行うと作業時間がかかり非常に効率が悪い。そこで、ある程度部品の状態でサイトに輸送し、受信機キャビンの中で組み立てる方式を採用した。また、複雑な光学系のため、受信機の設置調整が性能に大きく影響を与え、例えば受信機の角度が 1 度傾くと開口能率は半減以下になる。そこで光学レーザーを用いた光学素子位置調整や、ナイフエッジ法を用いた光軸調整を行い、受信機システム設置精度の向上を目指している。

本講演では、受信機開発および望遠鏡搭載の進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V117b NASCO 受信機光学系のビーム性能評価

阪本茉莉子, 木村公洋, 松永健汰, 逆井啓佑, 塩谷一樹, 藤城翔, 堤大陸, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 小林和宏 (名古屋大学装置開発技術支援室), 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 西村淳, 小川英夫 (大阪府立大学), 藤井泰範 (国立天文台)

我々は NANTEN2 望遠鏡による CO 輝線の超広域サーベイ NASCO (NANTEN2 Super CO survey as legacy) を計画している。この計画を実現するには観測効率の良い受信機が必要であり、115 GHz 帯 4 ビームと 230 GHz 帯 1 ビームのマルチビーム光学系を採用した NASCO 受信機を開発した。この 5 ビームにおいて各々高い開口能率を達成させるためには、ビームアライメントが非常に重要である。そこで、ナイフエッジ法を用いた 2 軸ビーム測定系を開発し、シミュレーションと実測を比較することで設計どおりの高開口能率の達成を目指している。

NASCO 受信機は、主鏡から受信機フィードホーンまで、100 GHz 帯で 9 素子の光学素子で、かつビームをスピルオーバーさせずに伝送させるために非平行で複雑な光学設計となっている。そのため、設置誤差等のため光軸に設計とのずれが生じると、性能やビームパターンに悪影響が出ると考えられる。現在までに、実験室でのビーム性能測定 (位置、傾き、大きさ) を行なった結果、光学系経路で 0.5 度程度のずれが生じる可能性があることがわかっている。搭載に際しては、この測定結果およびポインティング観測から、デュワーの設置位置を調整して、全ビームをあわせた総合的性能を最適化する予定である。一方で NASCO 受信機はビームローテーターを持たないため、仰角に対してビームが回転する光学仕様となっている。そのため新たに変則的なマルチビームのポインティングモデルの検討が必要である。ビーム伝送系シミュレーションソフト GRASP を用いて、モデル計算を行ったところ、最大 48 秒角程度の指向性のずれが生じたため、影響を評価した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118c Study of surface alignment for Tsukuba Antarctic 10-m radio telescope by near field phase retrieval holography

Bin Zhou, Nario Kuno (University of Tsukuba), Toshiyuki Nishibori (JAXA), Hiroaki Imada (LAL), Taishi Okumura (University of Tsukuba)

Some previous researches indicate that phase retrieval holography (PRH) in near-field could be utilized to estimate the large reflector antenna's main surface with relative high SNR, which is advantageous for high-precision alignment. And in view of the extreme environment and finiteness conditions of supply on Antarctica, we are considering to adopt PRH in near field to estimate 10-m THz telescope's primary surface accuracy, the target value is $20\mu m$ rms deviation.

In near field holography, the path-length of all rays from an emitter to antenna are not equivalent, which result in phase error during measurements. Some research showed details to derive the relative formula of phase error for phase correction of paraboloid reflector or Cassegrain telescope. However, 10-m THz telescope is Ritchey-Chrétien (RC) telescope with hyperboloid surface, and the formulas should be converted in this case.

In this research, we will show the basic flow of near field phase retrieval holography. Specifically, we will list the way of path-length error calculation for RC telescope by utilizing the relative equivalent paraboloid surface of 10-m telescope, and the procedure to convert the Misell-algorithm (PRH algorithm) from far-field into near-field. This study is significant as the preliminary research for future surface accuracy measurements of 10-m THz telescope or other RC style antennas.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V119a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2019

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, T. Minamidani, G. Kosugi, Y. Uzawa, K. Kikuchi, M. Hiramatsu, S. Asayama (NAOJ) and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: ALMA Cycle 6 observations continue with some slight delays due to several technical and weather issues since the start of the cycle in October 2018. The array was reconfigured for long baselines observations in May 2019.

Development: NAOJ is collaborating in the development of receivers for bands 1 (led by ASIAA) and 2 (led by ESO), and the ACA spectrometer (led by KASI). Around 20 units of band 1 receivers have been produced towards the MRR meeting in 2019. The ALMA Board approved in April 2019 a joint proposal by ESO and NAOJ to go ahead with the Phase 1 of the Band 2 receiver construction. Six cartridges will be built and tested. NAOJ will contribute the optics production. The ACA spectrometer is also progressing towards CDMR in Summer 2019.

Future Planning: The discussion of the implementation of the ALMA Development Roadmap is starting in ALMA Management for the upgrade of ALMA towards new top level Science Goals in the new decade. An ALMA Archive Review was held at ESO, in Garching (Germany), in May 2019 with positive results and the request to consider how to improve the Archive to increase its scientific impact and legacy value, as stated in the ALMA Development Roadmap.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120a IF 4-20 GHz を有する RF 275-500 GHz サイドバンド分離型 SIS ミキサの評価

小嶋崇文, Matthias Kroug, 上水と典, 金子慶子, 宮地晃平, Wenlei Shan, 鶴澤佳徳 (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

国立天文台では ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発として、RF および IF 広帯域受信機の開発研究を推進している。我々の当面の目標は、ALMA Band 7 と Band 8 を統合した RF 275-500 GHz をカバーし、できるだけ広い IF 帯域幅を有する受信機を実証することである。これまで国立天文台では広帯域化におけるキーテクノロジーである高臨界電流密度 SIS 接合を開発し、RF および IF 広帯域化に対して個別に技術開発を進めてきた。IF 広帯域化に対しては、Band 8 帯において IF 3-18 GHz をカバーする DSB ミキサの低雑音動作に成功している (Kojima et al., 2017)。また、RF 広帯域化に対しては、RF 275-500 GHz 全帯域において $2-3 h\nu/k_B$ の DSB 受信機雑音温度 (IF 4-8 GHz) を実証した (Kojima et al., 2018)。

今回、我々は RF 275-500 GHz 帯において IF 4-20 GHz を有するサイドバンド分離型 (2SB) SIS ミキサの性能評価を実施した。現在 IF 帯の冷却型広帯域アイソレータの入手は困難であることから、それは用いず、2SB ユニット (山屋ほか、2017 年天文学会秋季年会)、DSB ミキサ、市販の IF ハイブリッドのみを用いた 2SB ミキサを検討した。また、2つの DSB ミキサの IF 出力を、「直接 IF ハイブリッドで位相合成したのちに増幅する場合」と「増幅後に IF ハイブリッドで位相合成する場合」の2つの 2SB ミキサ構成で性能を比較した。その結果、両構成においてもサイドバンド分離比はおおむね 10 dB 以上、SSB 雑音温度は 150 K 以下の良好な結果を得たが、リップルが生じるなど課題も見出している。本講演では、広帯域 2SB ミキサの実験の詳細やその解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V121a フリースペース法を用いた誘電率測定系の構築とその光学系の評価

坂井了, 金子慶子, 大田原一成 (国立天文台), 山屋陽香 (電気通信大学), 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

フリースペース法を用いた誘電率測定系の構築とその準光学系の評価をおこなったので報告する。欧州南天文台 (ESO) 主導で ALMA Band2 (67-116GHz) 受信機の開発が進められており、国立天文台は光学系の設計・作製・評価に携わっている。Band2 光学系ではクライオスタット上の誘電体レンズによって、副鏡からのビームを受信機上のホーンアンテナに集光する。レンズ設計に用いる誘電率の値のずれが開口能率に大きく影響することが知られており、正確な値を得ることはレンズ設計において必要不可欠である。しかしながら、レンズの材料候補である高密度ポリエチレン (HDPE)、超高分子量ポリエチレン (UHMWPE) の誘電率を Band2 周波数帯において調べた例は少なく、また製造元によりばらつきがあるため正確な値を得ることは困難であった。そこで我々は、フリースペースにおける反射・通過特性の測定を用いた誘電率評価系の構築をおこなった。本測定系ではホーンアンテナと楕円面鏡の対を用いて試料位置にビームを収束させ、試料への入射波を平面波と近似した上で、得られた S パラメータから誘電率を逆計算する。本測定系により得られた UHMWPE の誘電率の値をもとに、Band2 誘電体レンズの再設計・作製をおこない良好な性能が得られた。しかしながら、光学系の設計値からのずれが、得られる誘電率の誤差になり得るため、今回、光学系のビームパターンの測定・評価もおこなっている。詳細は当日報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V122a サブミリ波帯反射防止構造の作製と評価

江崎翔平, 永井誠, 坂井了, 小嶋崇文, Wenlei Shan, 鶴澤佳徳, 浅山信一郎 (国立天文台)

ミリ波/サブミリ波電波望遠鏡用受信機の開発において、低反射・低損失なレンズや真空窓の実現は極めて重要である。我々はサブミリ波帯において低損失な特性を持つシリコン用い、サブミリ波帯の反射防止 (Anti-reflection, AR) 構造を施したクライオスタット用真空窓の開発を進めている。AR 構造作製において、深掘りエッチングを用いてシリコン基板表面に凹凸構造を形成する方法がある。この際重要になるのが、シリコンを均一な深さにエッチングすることである。そこで今回、silicon on insulator (SOI) 基板を導入し、面内全域に均一な高さの AR 構造の実現を試みた。活性層シリコンの深掘りエッチングでは、熱酸化膜層 SiO_2 がエッチングストッパーとして働くため、AR 構造と同じ厚さの活性層を持つ SOI 基板を用いることで広い面積でも均一な AR 構造を実現できる。その一方で、熱酸化膜層が光学特性に影響を与える可能性がある。本研究では AR 構造加工した SOI 基板について、テラヘルツ時間領域分光計を用いて透過率を測定し、その結果と HFSS によるシミュレーション結果を比較した。

900 GHz 帯における AR 構造を作製するため支持基板層が $350 \mu\text{m}$ 、熱酸化膜層が $0.2 \mu\text{m}$ 、活性層が $48.5 \mu\text{m}$ の厚さを持つ SOI 基板を用意した。支持基板層および活性層のシリコンは抵抗率 $>10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ である。 $20 \times 20 \text{ mm}^2$ にダイシングした SOI 基板の活性層面を、面積 $41.3 \times 41.3 \mu\text{m}^2$ 、ピッチ $50 \mu\text{m}$ の格子状に深掘りエッチングすることで、深さ $48.5 \mu\text{m}$ の凹構造を有する均一な AR 構造の形成に成功した。この光学特性を評価するために、透過率の周波数依存性を測定し、その結果と HFSS を用いた透過率のシミュレーション計算と比較したところ、700-1100 GHz の範囲で極めてよく一致した。これはシミュレーション通り、900 GHz 帯において SOI 基板の熱酸化膜層が、光学特性に影響を与えないことを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V123a 次世代 FITS ビューワ Vissage の開発：偏波表示機能 2

○川崎渉, 白崎裕治, Christopher Zapart, 吉野彰, 森田英輔, 林洋平, 小杉城治, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台)

Vissage (VISualisation Software for Astronomical Gigantic data cubEs) は、ALMA 望遠鏡で観測・公開された大サイズ且つ多次元の FITS データを、誰もが簡単に閲覧できることを主目的として開発中のスタンドアロン形式のソフトウェアである。本講演では、Vissage の紹介ならびに、偏波データ表示などに関する最近の開発状況について報告する。

Vissage の主な機能としては、(1) 空間 2+周波数 1 の 3次元データキューブの様々な表示 (モーメント図、チャネルマップ、P-V 図、スペクトル表示など)、(2) メモリ容量を超える大サイズデータの表示、(3) 複数画像表示、(4) JVO の ALMA データ公開機能・クイックルック機能 (WebQL) との連携、(5) EPS 形式での画像出力、などがある。ALMA だけでなく、野辺山 45m 鏡、すばる、HST、Chandra などのデータにも対応し、ALMA ユーザーが他波長のデータを、また逆にデータキューブになじみのない他波長の観測家が ALMA データを抵抗なく閲覧できるような環境を実現・提供することを目指してきた。

現在公開されている ALMA 偏波観測データの大部分は、Stokes パラメータ毎に別々のファイルに分れており、それらを組み合わせて偏波度や偏波角などの情報を可視化することは必ずしも簡単な作業ではない。我々は近年、単純なマウス操作のみによって偏波に関する情報を閲覧できるようにすることを目標に、Vissage の偏波データへの対応を進めている。ごく基本的な偏波表示機能については昨年日本天文学会秋季年会において報告した (V105a) が、今回は、複数の偏波画像の重ね表示など、より自由度の高い表示機能について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V124b Flow-down from the Top-Level Requirements to System Requirements for the ALMA Development

Hiroshi Nagai (NAOJ) and ALMA Frontend & Digitizer Requirements Update WG

ALMA Development Roadmap document (Carpenter et al. 2018) defines a new long-term development strategy for the upgrade of hardware, software, and analysis tools to enhance the ALMA observation capabilities for next decades. The Working Group proposed three science drivers or “Top-level science requirements” for the development. The ALMA observatory is now constructing a concrete upgrade plan engaged with these science drivers. The ALMA Frontend & Digitizer Requirements Update WG is charged to make a flow-down from the top-level requirements to system requirements, which would be a matrix for the new development, especially for the ALMA frontend and digitizer system.

In this poster, we report a study of requirements to the future ALMA system in line with the flow-down tree. For short-term capability enhancement, we require more than twice of IF bandwidth increase with 4×4 -bit quantization of digitizer and correlator. We also require an increase of number of spectral channels to realize the current highest frequency resolution even with the spectral setup of the widest IF bandwidth. For a longer term, we require an increase of number of antennas and an extension of baseline length.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V125b ASTEの運用(3)

阪本成一, 鎌崎剛, 伊藤哲也, 木挽俊彦, 藤井泰範, 芦田川京子, 松居隆之, 梅本智文, Andrea Silva, 浅山信一郎, ほか ASTE 運用チーム (国立天文台)

ASTE(Atacama Submillimeter Telescope Experiment)は、サブミリ波帯で優れた観測条件をもつチリ・アタカマ高地(標高4860 m)で国立天文台が運用している口径10 mのサブミリ波望遠鏡である。2000年にALMAのための技術試験機として野辺山に設置されて各種評価試験を行ったのち、2002年にはチリに移設され、ALMAの成果を高めるためのパイロット観測や、大口径サブミリ波単一鏡としての特徴を生かした広域・広帯域観測、さらには先駆的な技術開発のためのプラットフォームとして活用されてきた。

ASTEは2017年11月に発生した駆動系の故障のためにしばらく運用を休止していたが、方位角駆動ギヤと、その後の調査で同様な障害の兆候が見られた仰角駆動ギヤのトルクリミッター部分の交換を行い、2019年3月に駆動可能な状態となった。一方で、同3月に副鏡駆動制御系の計算機が経年故障を起こし、調査と部品調達等の復旧作業にさらに2か月強を要した。このため6月1日に予定していた共同利用開始を半月程度遅らせることとなった。影響を受けた共同利用ユーザーの皆様にはこの場を借りて改めてお詫びしたい。

現在使用可能な観測装置は3カートリッジ型ヘテロダイン受信機であり、昨年度に性能をさらに高めた345 GHz帯受信機(DASH345)と、500 GHz帯受信機(ASTE Band 8)が搭載されている。分光計は広帯域デジタル分光計(WHSF)であり、高分散観測のためのF-FXモードも今季から公開予定である。さらに、広帯域化したBand 10受信機を10月から12月末までの期間に残りのポートに搭載予定であり、この実証試験は国立天文台が合同ALMA観測所に行っているBand 10受信機の広帯域化の提案にも重要なマイルストーンとなると期待されている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V126b 多色連続波カメラ用FPC広帯域バンドパスフィルターの多段パターン最適化

宇野慎介, 陳家偉, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰, 吉岡佳輔 (国立天文台)

我々はミリ波サブミリ波帯の広帯域多色連続波カメラの開発を進めている。130–720 GHz の超広帯域にわたって多色の同時撮像をすることによってスペクトルの形状を決定し、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果の観測やサブミリ波銀河のサーベイを行うという観測装置である。この新しい観測には広帯域の光学素子が鍵となる。特に比帯域にして78%をカバーし、カットオフが急峻なバンドパスの光学フィルターが必要である。我々は近年微細化が進んでいる商用のフレキシブルプリント基板 (FPC) 製造技術に着目し、メタルメッシュフィルターの試作を行った (宇野他、2019 年春季年会 V108a)。そして設計の中で広帯域のバンドパスとなる六角格子型のメッシュパターンを選定した。しかし広帯域で急峻なカットオフを持つ多段フィルターの設計にあたっては課題があった。バンド内に生じるリップルを最小化する必要から各段に対して積層間隔やメッシュパターンのパラメータの最適化を行うが、その多次元的なパラメータ探索を3次元電磁界シミュレーションのみを用いて行うと計算コストが膨大になるのである。そこで我々はパラメータ探索を効率よく行う工夫をとる。まず数回の3次元シミュレーションで1段および2段のメッシュパターンに対して求めたSパラメータを使い、メッシュパターンに対する等価回路モデルのパラメータや層間の結合定数を求める。そして等価回路で網羅的に計算して広帯域・急峻なカットオフ・小さいリップルが得られる最適な回路のパラメータを求めたのち、3次元シミュレーションに反映させて透過特性を確認する。この手法は、多段フィルター実物の透過率を測定する際に組み合わせを絞って測定回数を削減する意味でも有効である。本講演ではFPCバンドパスフィルターの開発状況とパラメータ最適化の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127c SIS ミキサのデバイス製造プロセス標準化への取り組み

宮地晃平, Wenlei Shan, 江崎翔平, 田村友範, Matthias Kroug, 鵜澤佳徳 (国立天文台)

我々は、これまでミリ波・サブミリ波での高感度な検出デバイスである超伝導体-絶縁体-超伝導体 (SIS) からなる SIS 素子の研究開発を継続して行ってきた。SIS 素子の基本形は Nb/ AlO_x -Al/Nb 構造であり、このシンプルな構造を基本に製作される。

現在、我々は SIS 素子製造の標準化プロセスの確立を目指しており、この目的のもと行ってきた実験結果について、デバイス製造時の不純物混入による影響 (2018 年春季天文学会: 宮地)、SIS 接合のエッチング条件最適化 (2018 年秋季天文学会: 宮地)、リーク電流抑制 (2019 年春季応用物理学会: 高木) という内容でこれまで報告を行ってきた。標準化プロセスは、最終目的として、SIS 素子の臨界電流密度を制御し、いつでも高い性能指数 R_{sg}/R_n 値かつ高い歩留まりで作製する製造技術の確立であるが、これまでのデバイス開発においては、導通不良の素子 (オープン) や、低い R_{sg}/R_n 値の素子等が散見されている。その原因として考えられることは、酸化膜の僅かなピンホールが存在する可能性や、SIS 素子の上部 Nb 電極のエッチングが不十分である等 (ショート) が考えられている。また、作製パターンの定義づけに使用しているレジストの形状や残渣等についても影響している可能性がある。

今回の研究発表では、①SIS 素子の I/V 測定結果とその SEM 像との比較による不良解析 (I/V 測定結果を分類し、接合付近におけるそれらの SEM 観察結果との比較)、②SIS 接合の周辺形状と I/V 測定結果依存性について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V128c ミリ波受信機の高感度化に向けた局部発振信号の雑音特性改善の研究

入山 奨基, 中島 拓, 長濱 智生, 水野 亮 (名古屋大学), 藤井 泰範 (国立天文台)

ミリ波分子観測において、高感度で高時間分解能な観測を実現するためには受信機雑音温度の低減が重要である。安定したミリ波局部発信 (LO) 源として、従来、Gunn 発振器が主に利用されてきた。しかし、ミリ波帯 Gunn ダイオードの製造には高度な技術が求められ、入手困難になってきているほか、周波数安定化のためには外付けの PLL 回路も必要であった。そこで近年、マイクロ波帯のシグナルジェネレータ (SG) を原振として、周波数通倍するマルチプライヤによってミリ波信号を出力する発振方法が一般的となってきた。特に 10–20 GHz のマイクロ波を 100 GHz 帯に通倍するマルチプライヤは、複数メーカーの製品が比較的安価に入手できる状況である。

ところが SG + マルチプライヤを使用した場合、Gunn 発振器を使用した場合と比べ、製品による程度の違いはあるものの総じて受信機雑音温度が上昇する傾向が見られた。そこで、LO 源として SG + マルチプライヤを用いた場合と Gunn 発振器を用いた場合の LO 信号と IF 信号の周波数特性を複数メーカーの製品を用いて比較し、受信機雑音温度との関連を調査した。その結果、SG + マルチプライヤの LO 信号には、主信号の側波帯に雑音成分が生じており (以後 AM ノイズと呼ぶ)、それらがダウンコンバートされて IF 信号に混入することで受信機雑音温度を上昇させていることが分かった。そこで、LO 周波数 $f_{LO}=239$ GHz において、SG とマルチプライヤの間に狭帯域なマイクロ波バンドパスフィルタ (BPF) を接続すること LO 信号の AM ノイズの除去を試みた。その結果、受信機雑音温度が Gunn 発振器を使用した時とほぼ同等のレベルまで低減できることが確認された。

本ポスターでは、LO 信号および IF 信号の特性比較と BPF を用いた低雑音化実験の詳細を報告し、今後の課題や実際の観測装置への応用について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V129c ミリ波分光観測装置における多分子輝線同時観測 IF 系の開発

小瀬垣 貴彦, 中島 拓, 長濱 智生, 水野 亮(名古屋大学), 林 拓磨, 關谷 尚人(山梨大学)

宇宙電波観測や大気環境計測において、複数の分子を同時に観測することは、分子ガスの物理状態や化学反応を調べる為に有用である。我々は 170–260 GHz の RF 信号を 4 つの帯域に分割し、超伝導 SIS ミクサにそれぞれ出力する大気観測向けの導波管型マルチプレクサを開発した(中島他 2018 秋季年会)。これにより、4 系統の 4–12 GHz の 1st IF 信号が受信機から出力される。この合計 32 GHz 幅の IF 信号には、オゾンや窒素酸化物等の分子スペクトルがそれぞれ異なる周波数に存在する。しかし後段のデジタル分光計は 2 GHz の帯域幅しかない一方、かかる費用を考慮すると観測する分子スペクトルの数だけ用意するのは現実的ではない。そこで 1st IF 信号を適切にダウンコンバートして分子スペクトルを 0–2 GHz に無駄なく並べようを試みた。

本研究では、まず 1st IF 帯域内にある複数の分子スペクトルに対応する周波数をそれぞれ帯域通過フィルタ(BPF)で選択し、これらを 0–2 GHz の 2nd IF へと周波数変換した後、さらに一つの信号へと再結合して 1 台の分光計へと入力する IF 系を設計した。しかし、この IF 系は 1st IF で信号を分離し、2nd IF で結合するため、コンポーネントが多く構造が複雑になる。また、IF 経路間の回り込みや定在波の発生等の問題も懸念された。

そこで我々は、超伝導デュアルバンド帯域通過フィルタ(DB-BPF)の導入を検討している(關谷他 2019 春季年会)。DB-BPF は 1 つの素子で二つの帯域を持つ BPF であるため、電波分離器・結合器が必要なく、混信は起きない。また、IF 系のコンポーネント数も減らせるため、周波数特性の悪化も防げる。DB-BPF を用いた IF 系の試験的な測定をしたところ、従来のシステムと比較して、信号損失の低減とフラットネスの改善が確認できた。

講演では、従来の IF 系と DB-BPF を用いた IF 系をそれぞれ評価し IF 特性を比較した結果と考察を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V130a Development of DESHIMA 2.0: Upgrade design overview

Y. Tamura, A. Taniguchi, K. Suzuki, T. J. L. C. Bakx (Nagoya), T. Takekoshi, K. Kohno (UTokyo), T. Oshima, J. Maekawa, R. Kawabe (NAOJ), M. Naruse (Saitama), A. Endo, S. Ikarashi, N. Llombart, D. J. Thoen, A. Pascual Laguna, S. Dabironezare, S. Hähnle (TU Delft), P. P. van der Werf (Leiden), K. Karatsu, J. Bueno, V. Murugesan, S. J. C. Yates, R. Huiting, P. J. de Visser, and J. J. A. Baselmans (SRON)

DESHIMA (DEep-Spectroscopic HIgh-redshift MApper) is a wideband integrated superconducting spectrometer (ISS) for the ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) telescope. The DESHIMA ISS chip consists of an antenna coupled to a transmission line filterbank, with a microwave kinetic inductance detector (MKID) behind each filter. All MKIDs are read out simultaneously with a single pair of coaxial cables, using frequency domain multiplexing. In 2017, DESHIMA was evaluated in the laboratory (Endo et al. 2019a in press) and it detected the first astronomical signal using the ISS technology on the ASTE (Taniguchi et al., ASJ 2019 Spring Meeting, V103a; Endo et al. 2019b in press).

Here we report the design and plans for the upgrade of DESHIMA—DESHIMA 2.0. We will present the design of DESHIMA 2.0 that will allow an instantaneously frequency coverage of 220–440 GHz with a resolution of $F/\Delta F = 500$. With this upgrade, DESHIMA 2.0 will operate as a submillimeter redshift machine, targeting for example the luminous [CII] $158 \mu\text{m}$ line from submillimeter galaxies at $z = 3.3\text{--}7.6$. In the talk, we will also present prospects for the commissioning and science verification on ASTE in 2020.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131c 位置-速度図描画用ソフトウェア PVmap の開発

川崎優太, 土橋一仁 (東京学芸大学), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

本研究では, 天文学用の Flexible Image Transport System(FITS) 形式の 3次元ミリ波分子分光データから, 分子ガスの積分強度図及び位置速度図 (Position-Velocity map) の作成と表示を行うソフトウェアの開発を行った。PVmap と名付けたこのソフトウェアは, データの読み込みから画像の出力まで, 全て Interactive Data Language (IDL) 言語で記述されている。

PVmap には, 以下に示す 3つの特徴がある。(1) IDL を用いたことにより, 大規模なデータを高速で可視化することができるほか, Graphical User Interface(GUI) を用いた直感的な操作が可能となっている。具体的には, 積分する速度範囲やポジションの選択, 積分強度図の拡大やカラーレンジの変更を, サンプリングしたスペクトルや積分強度図を見ながらマウスを用いて対話的に行うことができる。また, IDL が動作する全てのプラットフォーム (Microsoft Windows, Mac OS, UNIX 等) で使用することが可能である。(2) 最大 3種類の FITS ファイルの読み込みが可能であるほか, 積分強度図及び位置速度図を最大 4つ (カラースケールが 1つ, コンターが 3つ) まで同時に表示することができる。これにより, 複数のデータを容易に比較することができる。また, 作成した図を, 学術論文にそのまま使用することができる質の高い PostScript ファイルで出力することが可能である。(3) 位置速度図のポジションの選択を, 4種類の方法で行うことができる。また, ポジションの数やビームサイズを自由に変更することができる。これにより, 用途に応じた位置速度図の描画が可能である。

これらの特徴により, PVmap を用いることで, 分子ガスの位置速度図の作成がより容易になり, 分子雲の速度構造を効率良く調査することができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V132a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子電波カメラの開発：柱状晶 Si レンズおよび真空窓の反射防止対策

新田冬夢 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 村山洋佑, 樋川遼太郎, 鈴木隆司, Pranshu Mandal, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎, 高倉隼人, 長谷部孝 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。本カメラの冷却光学系は直径 300-mm, 154-mm の柱状晶 Si レンズを用いた屈折式光学系であり、その焦点面に力学インダクタンス検出器 (MKID) を用いた 109 素子 Al-MKID アレイが搭載されている。2018 年度の野辺山 45 m 電波望遠鏡への搭載試験の結果、大気雑音限界の感度目標 (各ビームの $NEP < 10^{-16} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$) を達成出来ず、その原因の一つがカメラ冷却光学系の損失であることが分かっている (永井他, 2019 年春季年会 V105a)。この改善のため、冷却光学系の直径 300-mm 柱状晶 Si レンズおよび真空窓の反射防止対策を行った。

レンズおよび真空窓の反射防止対策として、サブ波長構造と呼ばれる観測波長以下の周期構造の加工を行った。サブ波長構造の加工に伴い、真空窓の材料を高密度ポリエチレンからシクロオレフィンポリマー (COP) へ変更した。構造の形状は、Si レンズが深さ 0.4 mm, 周期 0.53 mm の四角柱構造、真空窓が深さ 0.61 mm, 周期 1.23 mm の四角柱構造である。加工には、3 軸 NC 加工機を用いた。ネットワークアナライザを用いた常温での測定の結果、観測帯域 90 – 110 GHz での平均で、Si レンズの表面反射率は約 1%、COP 真空窓の透過率は約 98% とそれぞれ良好な結果を得た。本講演では、電波カメラの光学評価も合わせて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V133a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子電波カメラの開発: 焦点面 MKID アレイの Al-NbTiN ハイブリッド化

永井 誠 (国立天文台), 新田冬夢, 村山洋佑, 鈴木隆司, 樋川遼太朗, Pranshu Mandal, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei, Matthias Kroug, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司 (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。電波カメラの焦点面アレイは、ダブルスロットアンテナと結合された力学インダクタンス検出器 (MKID) である。これまでに、2017 年度に製作した 109 素子の MKID について、実験室での光学性能評価 (村山ほか, 2018 年秋季年会 V117c) の後、野辺山 45 m 電波望遠鏡への搭載試験を 2018 年 5 月から 6 月にかけて行っている (永井ほか, 2019 年春季年会 V105a) が、大気雑音限界の感度目標 (各ビームの $NEP < 10^{-16} \text{ W/Hz}^{1/2}$) を達成できていない。諸々の測定結果からカメラの光学効率が不足していることがわかっており、大きな課題となっている。

そこで、MKID アレイの光学効率を向上させるため、従来は超伝導体薄膜として Al のみを用いていたところを、グラウンドを NbTiN に変えコプレーナ導波路共振器の中心線のみを Al とする、MKID のハイブリッド化 (Yates et al. 2011) に取り組んでいる。ハイブリッド化に際し、Al 膜の厚さを薄く (150 nm から 50 nm 程度に) することで、応答性を増加させた。また、共振器と信号線の間の変調器の形状を大きくすることで雑音低減を、Al 膜の膜質を向上させることで感度向上を図った。本講演では、ハイブリッド MKID の設計から実際に製作した MKID アレイの性能まで含めて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134a 電波点回折干渉計 (IV)

奥村大志 (筑波大学), 今田大皓 (LAL), 永井誠 (国立天文台), 新田冬夢, 久野成夫, 周斌 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学)

我々は電波望遠鏡の新しい鏡面形状測定法として、点回折干渉計 (PDI) を電波領域に適応させた電波点回折干渉計 (RPDI) を提案している。PDI は可視・赤外線分野で提案されている波面測定法の一つで、一般に光路中に入射波面を乱さない程度に十分小さな回折体を置くことで構成される。中心部と周囲に異なる偏光特性を持たせて試験波と参照波を直交偏波とする偏波点回折ビームスプリッタ (PPBS) を用い、同時に複数の干渉像を取得する PDI が提案されている (今田ほか 2015 年春季年会 V243a、山本ほか 2015 年春季年会 V209a)。

我々は RPDI として、PPBS を用いて焦点面で干渉像を取得する方式を提案している。電波領域の特徴として回路上の信号操作で位相変調や干渉を行えるため、それらの機能を受信機に持たせることで、鏡と PPBS のみの簡素な光学系で波面測定を実現できる利点がある。これまで本手法の解析解や、平面波を測定した場合の物理光学手法を用いたシミュレーション、PPBS や受信機の製作誤差の影響について調べてきた (奥村ほか 2016 年春季年会 V127b、同 2017 年春季年会 V121a、同 2018 年秋季年会 V132c)。

今回は鏡面を測定する場合のシミュレーションを行ったので報告する。系は測定対象である試験鏡、PPBS、収束鏡からなり、焦点面で干渉像を取得する。試験鏡は平面鏡とし、理想的な形状の場合と凹凸を持つ様々な場合について考えた。試験鏡の各形状に対して、取得した干渉像から瞳面の複素電場分布を求め、位相分布から試験鏡の鏡面形状を推定した。この結果に基づいて、鏡面の推定精度、空間分解能、凹凸の形状による推定精度の変化などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135b LiteBIRD 搭載光学系の開発検 3

○鹿島伸悟 (NAOJ), 高倉隼人, 長谷部孝, 関本裕太郎, 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Universite Paris-Saclay), 他 LiteBIRD メンバー

LiteBIRD 衛星は、CMB の偏光観測によりインフレーション起源の原始重力波を探索する JAXA 主導の国際共同ミッションであり、JAXA 戦略的中型ミッションの 2 号機として 2027 年度の打ち上げを目指して開発を進めている。

我々日本チームが担当する望遠鏡には、クロスドラゴンと呼ばれる非球面ミラー 2 枚からなる光学系を採用する予定である。この光学系は、比較的広視野・高性能を実現しやすい光学系であり、実際光学設計的には、ほぼ全視野で無取差となっている。しかし、いくら取差的に良好であっても、迷光やゴーストが多く出ていればそれは何の意味も無い。迷光に関しては、実用上問題の無いレベルにまで低減することができたことを何度か報告したので、今回はもうひとつのノイズであるゴーストの解析に関して報告する。ゴースト解析に関して、迷光解析同様、まずは計算の速い光線追跡ベースのソフトで当たりを付けるという手法を取っている。

光学系そのものはミラー 2 枚であるためゴーストは発生しないが、偏光変調用に開口位置に回転半波長板があるため、これがひとつめの要因となる。もうひとつは、検出器そのものである。我々はレンズレットを用いた sinuous antenna を検出器に用いる予定であるが、この検出器は観測対象以外の周波数のビームに関しては、ほぼ全反射ミラーのように振る舞うため、非常に大きなゴースト源となる。

本発表では、電磁波的な振る舞いを如何にして光線追跡ベースのソフトで模擬し、効率的な解析手法を構築したかに関して詳細に述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V136a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション定義フェーズ III

関本裕太郎、堂谷忠靖、篠崎慶亮、高倉隼人、辻本匡弘、長谷部孝、満田和久 (JAXA)、永田竜、羽澄昌史、南雄人 (KEK)、片山伸彦、桜井雄基、菅井肇、高倉理、松村知岳 (東大 IPMU)、石野宏和、魚住聖 (岡山大)、鹿島伸悟 (NAOJ)、小松英一郎 (MPA)、今田大皓 (LAL) 他 LiteBIRD pre-phase A2 チーム

LiteBIRD 衛星は、CMB の偏光観測によりインフレーション起源の原始重力波を探索する JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA 戦略的中型ミッションの 2 号機として 2027 年度の打ち上げを目指して開発を進めている。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background: CMB) の偏光を、太陽・地球ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間かけて全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である渦巻き状の B モード偏光を、テンソル・スカラー比 r の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。

LiteBIRD は 2016 年 9 月より 2 年間、JAXA 宇宙科学研究所のミッション定義フェーズ (pre-phase A2) にて、概念検討を米国 (焦点面検出器、2K 冷凍機)、ヨーロッパ (中高周波望遠鏡 MHFT およびサブケルビン冷凍機)、カナダ (常温読出回路) と協力してすすめてきた。国内は、KEK (LFT 地上望遠鏡較正担当)、東大 IPMU (LFT 用偏光変調器担当)、他との協力をすすめている。広帯域 (34 - 448 GHz) 観測による前景放射除去や系統誤差の検討について検討をおこない、B モード偏光を検出する十分な見込みを得ている。日本の担当する広視野の低周波望遠鏡 (low frequency telescope: LFT)、放射冷却と機械式冷凍機を組み合わせた冷却システム、地上検証計画、衛星バスシステムについて、概念設計の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V137a LiteBIRD 低温ミッション部スケールモデルを用いた熱モデル検証

長谷部 孝、東谷 千比呂、安藤 麻紀子、澤田 健一郎、関本 裕太郎 (宇宙航空研究開発機構)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測衛星 LiteBIRD は、史上最高感度での CMB 観測を実現するため、望遠鏡全体を 5 K 以下に冷却することが求められる。LiteBIRD 低温ミッション部は、V-groove と呼ばれる断熱シールドによる放射冷却と、機械式冷凍機の組み合わせによって 5K 以下に冷却される。

低温ミッション部の冷却性能は、事前の地上冷却試験によって検証される必要がある。しかし、深宇宙温度環境下での V-groove 放射冷却を完全に再現することは、実機サイズの熱試験モデルを約 3K の大型クライオスタットで覆う必要があるため、現実的には困難である。そのため、要素毎の熱パラメータを事前に測定することで、熱数学モデルの精度を向上させ、軌道上熱環境での冷却性能を予測することが重要である。

そこで、我々は V-groove シールドを含めた低温ミッション部の 1/10 スケールモデルを用いることで、放射冷却性能の熱数学モデルとの一致性を確認するための試験を行う。本試験での主な検証項目は、V-groove シールドの形状に依存した放射熱交換係数を求めることである。そのためには、試験に用いるクライオスタット内壁およびシールドの放射率を事前に測定しておくことが必要であるため、個別の放射率測定試験を行う。

本講演では、冷却試験の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V138a スケールモデルを用いた LiteBIRD 低周波望遠鏡の偏光特性評価

高倉隼人 (東京大学, ISAS), 関本裕太郎, 稲谷順司, 長谷部孝, 加賀亨, 武田洋一, 岡田則夫 (ISAS/JAXA), 鹿島伸悟 (NAOJ), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay)

インフレーション宇宙の有力な観測手段として、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光の精密観測が挙げられる。CMB の偏光観測には、銀河面の放射の混信を生むサイドローブや、疑似偏光を生む交差偏波を抑えた広視野・広帯域望遠鏡が必要である。CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD に搭載する低周波望遠鏡 (LFT) は、 -56 dB の精度でサイドローブを較正できる、ミラー由来の交差偏波が -20 dB よりも十分小さい、といった要求を満たすべく光学設計がなされてきた (2018 年秋季天文学会 V126a, V127a)。

本研究では、LFT の光学特性検証にあたり、実機サイズでの試験の前段階として $1/4$ スケールでの評価試験を行っている。これまでに近傍界測定法を用いた測定装置を開発し、 $20^\circ \times 10^\circ$ の視野全体にわたり、 70 dB のダイナミックレンジで $\pm 60^\circ$ の遠方サイドローブを評価した (2019 年春季天文学会 V130a)。今回は、LFT の偏光特性に特に着目し、フィードホーンの前にワイヤグリッドを入れた測定を行った。その結果、LFT の交差偏波はフィードホーンに由来する成分が支配的であり、ミラー由来の交差偏波は -30 dB 以下であることが確認できた。このほか、直交する 2 偏光の差分について解析を行った結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V139a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XIII

永田竜 (KEK), 高倉隼人 (東京大学,ISAS), 関本裕太郎 (ISAS/JAXA) ほか LiteBIRD team

数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起こったか」の指標である。マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目的とし、2020年代半ばの打ち上げを目指す計画である。

原始重力波に由来する偏光信号は、既に観測で確認されている密度揺らぎ由来の偏光成分に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、その検出に向けた取り組みにおいては、高感度の装置を開発するだけでなく、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。今回の年会講演では、1/4スケールモデルから評価されたLFT(低周波望遠鏡)の光学特性について、観測シミュレーションに基づいて性能検証を行った結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V140a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 -観測開始に向けた観測サイトでの準備状況

長谷川雅也 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 安達俊介 (京都大), 阿部倫史 (京都大), 井上優貴 (National Central University), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 菊地修平 (横国大) 日下暁人 (東京大/LBNL), 鈴木有春 (LBNL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 田島治 (京都大), 高倉理 (Kavli IPMU), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (天文台), 西野玄記 (東京大), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 濱田崇穂 (東北大), 服部香里 (産総研), 廣瀬開陽 (横国大), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研), 他 POLARBEAR collaboration

宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を通して宇宙誕生及び進化の謎の解明を目指す POLARBEAR は、現在、望遠鏡を3台に増設し、それぞれに新型のレーバシステム (POLARBEAR-2 レシーバ) を搭載して観測を行う「Simons Array 計画」を進めている。POLARBEAR-2 レシーバには、これまでの6倍にあたる7588個のTESボロメータを搭載して統計感度の向上をはかると共に、アンテナをシニアスアンテナに変更して、90GHz, 150GHz (3台目のみ220GHz, 280GHz) の2バンド同時観測を実現する。これにより、Simons Array ではBモード偏光探索に関して前景放射の寄与を十分小さく抑えられる事が期待出来る。

1台目のレーバは日本での組み立てと基本的な性能評価を終えて昨年秋に観測サイトであるチリ・アタカマ高地に移設され、今年1月にファーストライトを達成している。本講演ではPOLARBEAR-2の概要と共に、本観測を目指して現在行なっているコミッショニングの現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V141a POLARBEAR-2A 較正光源の現地への設置と運用

金子大輔, 他 POLARBEAR コラボレーション

POLARBEAR-2A は南米チリのアタカマ高地で現在準備中の宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測実験である。講演のテーマは較正装置の一つのスティミュレータである。本装置は望遠鏡の副鏡の裏に搭載され、観測中定期的にヒータの黒体放射による信号を変調して副鏡の穴から受信器に送る装置で、センサのゲインと時定数の応答特性をモニタする。

POLARBEAR-2A 受信器本体と並行して行われたスティミュレータの開発は2018年に終了しプロトタイプで要求性能を満たすことは確認された。本装置の製造も終了しており、輸送にトラブルはあったものの2019年4月に望遠鏡に搭載された。現時点でスティミュレータはPOLARBEAR-2Aの初期データの確認とスティミュレータ自身の性能評価のため継続的に運用されている。

講演ではスティミュレータの設計と製造の状況、現地での設置と運用、取得した性能評価用データについて報告をおこなう。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V142a Simons Array 実験のための赤外線カメラによる雲モニターの開発

高倉理 (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験は、宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光ゆらぎを観測することで、宇宙誕生初期のインフレーションを検証することを主目的とした、地上実験である。地上実験にとって問題となるのが大気の影響である。2018 年の天文学会で発表したように、Simons Array 実験の前身の POLARBEAR 実験により、大気放射は十分無偏光だが、雲による散乱光が偏光していることがわかった。雲は偏光ゆらぎ観測に系統誤差を生む可能性があるため、雲を見てしまっているデータを正しく取り除く必要がある。POLARBEAR 実験では可視光の監視用カメラしか無かったため、夜間は雲の有無の確認ができなかった。Simons Array 実験では赤外線カメラを設置し、昼夜を問わず雲の監視を可能にする。また、機械学習を応用し、雲の有無の判定精度の向上を目指す。本講演では、新しく開発した赤外線カメラを用いた雲監視システムと、実際にチリ・アタカマ砂漠の観測所での試験観測で得られたデータについて発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V143a CMB 観測実験 GroundBIRD における最終試験ならびに観測サイト整備状況

長崎岳人 (理研), Jihoon Choi(IFS), Ricardo T. Génova-Santos(IAC, ULL), 服部誠 (東北大), 羽澄昌史 (KEK, 総研大), 本多俊介, 池満拓司 (京大), 石田秀郷 (東北大/理研), 石塚光 (総研大), Yonggil Jo(Korea univ.), 唐津謙一 (TU Delft), 木内健司 (東大), 小峯順太 (京大), 古谷野凌 (埼玉大), 杵間弘樹 (東北大/理研), Kyungmin Lee(Korea Univ.), 美馬覚 (理研), 箕輪眞 (東大), Joonhyeok Moon(Korea univ.), 永井誠 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大), 小栗秀悟, 大谷知行 (理研), Michael Peel(IAC), Rafael Rebolo(IAC, ULL, CSIC), Jose A. Rubiño-Martin(IAC, ULL), 関本裕太郎 (ISAS/JAXA), 鈴木惇也 (京大), 田井野徹 (埼玉大), 田島治 (京大), 富田望 (東大), 内田智久 (KEK, 総研大), Eunil Won(Korea Univ.), 吉田光宏 (KEK, 総研大)

GroundBIRD 実験は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測により、インフレーション仮説の有力な証拠である原始重力波の実証を目指す。地上からの大角度スケール観測においては大気等の信号強度の変動が大きな問題となる。本実験では回転変調により大気変動の影響を低減するため、3秒で1回転という高速回転にて観測を行う。検出器は高時間分解能を有する Microwave Kinetic Inductance Detectors(MKIDs) を採用する。観測帯域は CMB 用の 145GHz 帯 (330 ビーム) と前景放射であるダスト用の 220GHz 帯 (112 ビーム) を搭載する。

これまで GroundBIRD 望遠鏡は、KEK にて海外観測サイトへ移設前の国内試験を行ってきた。すでに 2018 年度内に日本からの輸出作業を行っており、現地は観測地であるカナリア諸島テネリフェ島にて受信機等の性能評価試験を行っている。加えて、観測サイトにおいては開閉式ドームのインストールを行っているなど、今年度の観測を目指して整備を進めている。本公演では、国内試験等の結果ならびにサイトの整備状況に関して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V144a CMB 望遠鏡群実験 Simons Observatory の研究計画と Optics Tube の開発状況

松田フレドリック (Kavli IPMU), Simons Observatory Collaboration

ビッグバンは時空の加速度的膨張「インフレーション」により生み出されたと推測されている。インフレーションの決定的証拠となりうるのが「原始重力波」であり、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光成分の大角度 (2°) スケール「Bモード」シグナルの元となっている。小角度 (0.1°) スケール「Bモード」の銀河団による重力レンズ効果計測からニュートリノ質量和を求められる。Simons Observatory (SO) 国際共同プロジェクトは原始重力波とニュートリノ質量和の計測を CMB の偏光観測で行う史上最大の CMB 望遠鏡群実験である。チリのアタカマ高地に 27-270 GHz 観測を可能とした二種類の望遠鏡を開発し、地上から過去にない精度でこれらの物理を追求する。6 m 級大口径 Crossed-Dragone 型望遠鏡により小角度観測、そして複数の 0.42 m 級小口径 3 レンズ屈折型望遠鏡により大角度観測を 2021 年から行う予定である。本公演では SO プロジェクト計画の概要、そして大口径と小口径望遠鏡それぞれの設計と開発状況を報告する。特に現在日本で製造と試験などを行なっている小口径望遠鏡の optics tube の開発状況を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V201a せいめい望遠鏡 I: 観測開始

長田哲也 (京都大学), せいめい望遠鏡グループ

京大岡山 3.8m せいめい望遠鏡は、2018 年 7 月に 18 セグメントの主鏡・副鏡・第 3 鏡の搭載をすべて完了し、調整作業を行なってきた。ドームの LED 光源、月、北極星、カペラ等の光を焦点面に導き、12 月 12 日には星像モニタカメラで分割鏡の角度調整を始めた (エンジニアリングファーストライト)。方位角 4度 s^{-1} ・高度角 3度 s^{-1} という速い駆動を実現し、ほぼシーイングサイズの光バケツ状態を達成して、科学観測を開始した。

この望遠鏡の半分の時間は、国立天文台により全国大学共同利用に供される。2018 年 8 月に公募説明会が開催され、2019 年 1 月に最初の公募が行なわれた。この 2019A 期 (2019 年 2 月下旬から 6 月中旬) には 22 のプロポーザルが出され、クラシカル観測 9・ToO (Target of Opportunity) 観測 5 の合計 14 が採択された。予稿締切の 6 月上旬段階で、ほとんどの観測が終了している。また、2019B 期 (8 月 1 日から 12 月末の 60 夜相当) の審査も進んでいる。一方、京都大学観測時間では、2019A 期にクラシカル観測 10 課題・ToO 観測 8 課題を採択した。突発天体現象をはじめとするさまざまな観測がなされている。

現在、ナスミス焦点にイメージローテータを設置し、そこからファイバー型可視光面分光装置 KOOLS-IFU (波長分解能 500 - 2000) に光を導入しての観測を行なっている。視野は 1 ファイバーあたり直径 0.91 秒角、全 127 ファイバーで直径 14.8 秒角である。2019B 期に向けてこれらは不変である。現状は、光学系の性能としてハルトマン定数が 1 秒角弱、指向精度が 10 秒角 rms にとどまっているものの、さらに位相カメラシステムでの分割主鏡の段差調整、ウォーピングハーネスでの個々のセグメント変形をはじめとする光学系調整やポインティング解析などを進め、安定した上質の観測ができるようにしたい。講演では、その進捗も含め報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V202a せいめい望遠鏡 II 分割主鏡の制御と光学調整

木野勝 (京都大学), せいめい望遠鏡グループ

せいめい望遠鏡は2018年7月に全ての鏡を搭載して以後、分割主鏡・副鏡・第三鏡の光学調整作業を進めてきた。12月のエンジニアリング・ファーストライトを経て2019年1月には概ねシーイングサイズ程度の星像が得られた。これと平行して各分割鏡の傾斜を測定・調整するためのシャックハルトマン (SH) センサを実装するとともに、調整された分割鏡の状態を保持するフィードバック制御システムの立ち上げと動作試験を進め、3月中旬には18枚の分割鏡を制御残差 ~ 0.1 秒角で安定して維持できる状態となった。これに先立ち2月末からは京大内時間での科学観測を、3月下旬からは全国共同利用観測を開始しており、6月時点において概ね順調な運用を続けている。

分割主鏡をSHセンサで調整後のハルトマン定数は ~ 0.97 秒角、天体を30分間追尾した場合の各分割鏡での焦点のぼらつきは ~ 0.6 秒角であった。高度角が大きく異なる天体に指向した場合にはSHセンサによる再調整が必要となるが、典型的な観測では一晩あたり2 \sim 3回も行えば十分である。SHセンサでの調整に要する時間は1分程度であり観測時間のロスは小さいといえる。ハルトマン定数を増大させている主な要因は(1)各分割鏡の設置高さの不一致によるデフォーカス、(2)分割鏡の面内回転による非点収差、(3)望遠鏡への設置時の初期ストレスによる鏡面の微小変形であるが、これらはウォーピングハーネスを使うことで修正していく。

現状において分割主鏡の調整にはSHセンサのみを用いた光バケツ状態での運用であり、分割鏡間の段差を計測する位相カメラは今後実装する予定である。またフィードバック制御システムについても安定性を優先するため制御帯域を1秒程度に抑えているが、外乱抑制を向上するために制御帯域を高めた運用も試験していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V203a せいめい望遠鏡 III：機械計測で製作したせいめい望遠鏡の副鏡と第三鏡の光学性能

栗田光樹夫, 木野勝 (京都大学), 所仁志 (京都光学), せいめい望遠鏡グループ

東アジア最大の口径 3.8m のせいめい望遠鏡の副鏡と第三鏡はそれぞれ大きさが 1m ほどあり、8m 級の望遠鏡と同規模のサイズである。副鏡は凸面の非球面 (焦点距離-1667.4mm)、第三鏡は平面であり、凹面の主鏡と異なり実の焦点を有さないため干渉計による計測が困難であった。従来の凸面の計測法としてヒンドル球面を用いた干渉計測が挙げられるが、計測対象の副鏡よりも数倍の大きさの球面鏡を副鏡の焦点と共有するように対向させる必要があり、非常に困難な作業であり製作に数年の時間を要する。一方、我々は 3 点法と呼ばれる機械計測を応用した計測システムを開発し、3 週間の修正研磨で副鏡を完成させた。全鏡面の計測結果からほぼ回折限界の 0.03 秒角の結像性能が得られることを確認した。また我々の知る限りでは世界で初めて干渉計による計測・確認を行わない、機械計測のみによる鏡の実用を遂行した。

今回、主鏡、副鏡、第三鏡を合わせて自然星を使ったシャックハルトマンテストを行い、結像性能の評価を行った。主鏡は望遠鏡への設置時の初期ストレスによる結像性能へ悪影響を及ぼすセグメントが多く、副鏡と第三鏡のネットの評価を行うことは困難であるが、内周 6 枚と外周 12 枚のセグメントのうちそれぞれシャックハルトマンのスポットの優良なセグメントを抽出して評価すると、結像性能は 0.64 秒角と 0.47 秒角であった。今後主鏡セグメントの形状誤差をウォーピングハーネス機構で修正することでシャックハルトマンの性能限界である 0.1 秒角まで改善したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V204a せいめい望遠鏡搭載にむけた太陽系外惑星撮像装置の開発

山本広大, 津久井遼, 木野勝, 栗田光樹夫, 長田哲也 (京都大), 入部正継, 藤田勝 (大阪電気通信大), 小谷隆行 (Astrobiology Center/国立天文台), 河原創 (東京大), 村上尚史 (北海道大), 田村元秀 (東京大/Astrobiology Center/国立天文台)

我々は、せいめい望遠鏡による 0.2 秒角以遠の木星型太陽系外惑星の直接撮像観測と、将来の TMT における系外惑星撮像装置の技術実証を目的に、高コントラスト観測装置 SEICA を開発している。この観測装置は地球大気によって乱された天体からの光を補正し星像を回復する極限補償光学系、恒星と惑星の間の大きな光度比 (コントラスト) を解決するコロナグラフ系からなる。そして、よりコントラストの改善を実現するためにポストコロナグラフ系を搭載する予定である。TMT の系外惑星撮像装置への搭載を目指し、これらサブシステムにおいては、極限補償光学系では、点回折干渉計方式の位相計測型波面センサの開発や、高い時間・空間分解能を持った補償演算装置の開発 (入部ポスター参照)、制御アルゴリズム最適化のためのシミュレータ開発 (藤田ポスター参照)、コロナグラフ系では、アクロマティックな性能を持つ SPLINE 開発 (村上ポスター参照) など、各種の新規技術開発を行っている。現在までに、極限補償光学系では低次 AO 系でシュトレール比 >0.2 の性能を確認しており、開発中の高次 AO 系と組み合わせることで目標のシュトレール比 >0.9 の実現が見込まれる。現在は、評価用光学系のうちおよそ半数が望遠鏡搭載用実機光学系へ置き換えられている。今後は、2021 年度ファーストライトを目指し、極限補償光学系とコロナグラフ系を統合し、本装置の系外惑星撮像性能の評価を行っていく予定である。本講演では、SEICA 全体の開発状況と望遠鏡搭載までのスケジュール等について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205b せいめい望遠鏡搭載に向けたコロナグラフ SPLINE の開発状況

村上尚史, 米田謙太 (北海道大), 黒田真之佑 (北海道大/スタンレー電気), 河合研弥 (北海道大/パナソニック), 山本広大 (京都大), 小谷隆行 (Astrobiology Center/国立天文台), 河原創 (東京大), 馬場直志 (北海道大), 田村元秀 (東京大/Astrobiology Center/国立天文台)

我々は、京大岡山 3.8m 望遠鏡 (せいめい望遠鏡) の高コントラスト観測システム SEICA のためのコロナグラフ装置の開発を進めている。SEICA は、大気揺らぎを高精度に補正する極限補償光学、恒星からの光を除去して系外惑星観測を目指すコロナグラフなどから構成される。SEICA 搭載に向けたコロナグラフとして、セグメント主鏡で高い観測性能が期待できる SPLINE の開発を進めている。SPLINE とは、サバル板 (複屈折プリズムによる偏光分離素子) を利用した横シヤリングナル干渉計であり、アクロマティックで安定な恒星除去が可能である。我々はこれまでに、偏光プリズムの製作および室内試験、安定性評価などを進めてきた (黒田他、2017 年秋季年会 V235b など)。現在では、コロナグラフ内部のリレー系のレンズ製作、せいめい望遠鏡腫を模擬するマスクを導入した現実に近い状況での試験などを実施しており、極限補償光学との早期接続を目指している。我々は更に、将来の TMT やスペースコロナグラフ時代も視野に入れ、惑星観測性能のさらなる向上を目指したスペckルナリング技術の開発も進めている。スペckルナリングとは、大気揺らぎや光学素子の不完全性などに起因するコロナグラフの残留恒星光 (スペckルノイズ) を、光波面補正により除去する特殊な補償光学技術である。これまでに、SPLINE に液晶デバイスを導入したスペckルナリング技術の開発を進めており (河合他、2018 年秋季年会 V246a)、最近の成果としては極めて広い領域にわたるスペckル除去に成功している。本講演では、せいめい望遠鏡への搭載に向けた SPLINE 開発および、さらに将来を視野に入れた関連技術の開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V206c せいめい望遠鏡にむけた極限補償光学の開発：制御アルゴリズム開発のためのシミュレータ

藤田勝, 入部正継 (大阪電気通信大学), 山本広大, 木野勝, 栗田光樹夫 (京都大学)

我々は木星型系外惑星の直接撮像による観測を目的とした、高コントラスト観測装置 Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics (SEICA) の開発を行っており、その実現のためのキーテクノロジーの一つである、時間と空間の分解能を極限まで高めた極限補償光学装置の開発に取り組んでいる。

そして現在、開発した制御装置を用いて実験室環境での補償光学実験を行っており、サンプリング周期 990Hz を達成し (2016 年秋季年会 V242a 中村、2017 年秋季年会 V245b 藤田)、最大 SR 10 %, 平均では約 4 % を達成している。そして現在では、これまでの実験結果 (2018 年秋季年会 V248a 藤田) を踏まえ、さらなる性能向上を目的とした制御アルゴリズム開発を目的として補償光学系の制御動作をシミュレート可能な計算機環境を Matlab/Simulink を用いて構築している。このシミュレーション環境を用いて上述の実験系の補償動作をシミュレートした結果、同様のふるまいを示すことを確認した。

本講演では、このシミュレーション環境構築とその評価内容について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V207c せいめい望遠鏡にむけた極限補償光学装置の開発：FPGAによる制御装置の実現

入部正継, 藤田勝 (大阪電気通信大学), 山本広大, 木野勝, 栗田光樹夫 (京都大学)

我々は、せいめい望遠鏡による木星型系外惑星の直接撮像観測を目的とした、高コントラスト観測装置 Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics (SEICA) の開発を行っている。この観測装置は Thirty Meter Telescope (TMT) の第二期観測装置のテストベッドとしても開発されている。この観測装置実現のためのキーテクノロジーの一つが、時間と空間の分解能を極限まで高めた極限補償光学装置である。極限補償光学装置の実現には、超多入力・多出力な制御系を超高速で処理する制御用演算装置が必要となるが、多くの従来研究のように汎用計算機を使用する場合には汎用通信プロトコルによるデバイス間通信を利用するため、通信レイテンシが無視できない大きさとなる。また、限られた時間内で処理が必要な演算量の増大に耐える計算リソースが貧弱であるため、極限補償光学装置には専用の制御装置を開発する必要がある。これらの問題を解決すべく、我々は制御装置に Field-Programmable Gate Array (FPGA) を採用することにより、デバイス間通信のレイテンシを最小にし、かつ演算リソースを確保することに成功した。具体的には、波面センサに使用する CMOS カメラでの通信レイテンシ (200us) を 2.48us まで圧縮し、さらに、492 個の制御素子を有する可変形鏡 (DM) の制御演算を 0.68us で、FPGA 回路から DM へのデータ転送時間を 7.87us で行うことに成功した。すなわち、制御装置の制御周期を 11us (制御周波数では 90kHz) まで高速化することに成功した。本講演ではこの FPGA を使った制御装置開発について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V208b 京都大学飛騨天文台 60cm 反射望遠鏡観測に向けた整備状況

木村剛一, 一本潔, 大辻賢一(京都大学), 萩野正興, 大屋真, 小林行泰(国立天文台), 宮良碧, 野澤恵(茨城大学), 遠藤くるみ, 石塚千彬, 浜屋ひかり, 小野寺幸子(明星大学)

京都大学理学研究科附属飛騨天文台は岐阜県高山市上宝町の標高 1336m の大雨見山の山頂付近に 1968 年に開設された観測施設である。ここは市街地からは 10km 以上離れており街の光害の影響も少ないうえ、昼夜問わず天体観測には良い条件の場所であると考えられる。近年は国内における太陽補償光学の一大拠点となっており、北見工業大学や茨城大学との共同利用など盛んに活用されている。

今夏、明星大学と茨城大学の卒業研究として夜間のシーイングを測定したいとの提案を受け、共同利用として公開されていない 60cm 反射望遠鏡の整備を行った。この 60cm 反射望遠鏡は 1960 年に京都大学花山天文台に設置されていたものを飛騨天文台の開台に合わせて移設され、惑星、月、彗星のフィルム観測、激変星などの突発天体、恒星フレアなどの CCD 観測が行われてきた経緯がある。今回の観測ではこの 60cm 反射望遠鏡に浜松ホトニクス社製の高速 CMOS カメラ ORCA FLASH 4.0 を設置し、月の像を用いたシーイング調査を行う。

本講演では、この観測に向けた 60cm 反射望遠鏡の整備について、また、今後の 60cm 反射望遠鏡を含めた夜間の飛騨天文台の活用について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209b 太陽粒状斑を用いた AO/GLAO の実験

三浦則明, 板坂紀幸, 鹿田諒太, 澁谷隆俊, 桑村進 (北見工大), 馬場直志 (北大), 上野悟, 仲谷善一, 一本潔 (京大理)

我々は、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) において太陽観測用の補償光学系 (AO) の開発を行っている。2019年5月、太陽粒状斑を波面センシングの参照物体として用いて、常設 AO と地表層補償光学 (GLAO) の動作実験を行ったので報告する。

太陽粒状斑は黒点に比較してコントラストが低いうえ、波面センサーに用いている高速カメラの SN がそれほど良くないため、従来太陽粒状斑を用いた波面補償が成功するケースは少なかった。今回、カメラで取得した画像に対して、バイアス除去と時間平均を行う前処理を導入した。これによって、センシングに用いる画像のコントラストが向上し、粒状斑を用いた場合でも頻繁に AO が安定して動作するようになった。追加した前処理部分も並列計算で行うようにコードを改良することによって、1300Hz での AO 動作を実現している。

GLAO については、DST の 1F に GLAO 用の波面センサーを設置し、2F の常設 AO 装置の変形鏡を駆動するようにした。波面センサーの矩形の小開口上で、なるべく離れるように3または4つの参照点を指定し、それらから得られる波面位相を平均したものをを用いて GLAO を動作させた。参照点同士の間隔は最小で 20.7 秒角だった。従来の実験では黒点を用いていたため、参照点の位置は黒点の配置で決まっていたのに対して、今回は参照物体として粒状斑を用いているため、参照位置を任意の位置に固定することが可能となった。しかしながら、参照点を増やすほど動作周波数が低下し、3点を用いた場合で 400~800Hz となってしまった。動作周波数の向上は今後の課題である。現在データ解析中であるが、波面補償の効果がみられるデータも確認できている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V210a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画の進捗状況

吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 本原顕太郎, 峰崎岳夫, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 上塚貴史, 鮫島寛明, 浅野健太郎 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学) 他

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡計画は、南米チリ・アタカマ高地のチャナントール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を設置して宇宙論から星惑星形成までの幅広いサイエンスを大学望遠鏡として柔軟に展開しようとする計画である。東京大学理学系研究科附属天文学教育研究センターによって推進されており、現在、チリ現地での建設工事が佳境に入りつつある。本講演ではその現状を報告する。

望遠鏡本体はすべての製造が完了し、2018 年頭に仮組みと駆動試験が終わって梱包状態で輸出を待つ状態であったが、2018 年 9 月の台風 21 号で被災し、甚大な被害を受けた。幸いなことに補正予算が措置され、2019 年度中には被災部分の再製作が完了する予定である。主鏡面を蒸着するための大型真空蒸着釜は中国・大連で製造が進められており、2019 年度末に完成予定である。エンクロージャは大阪府能勢町での仮組み立て及び試験の終了後に解体され、現在輸送用梱包の作業が進められている。また、エンクロージャ及び望遠鏡の基礎のためのプレキャストコンクリートはチリ・サンチャゴ市内で製造が完了している。チャナントール山頂アクセス道路の拡幅工事及び山頂整地工事が現在進行しており、いよいよ 2019 年後半から山頂でのドームの組み立てが開始される予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V211a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS：すばる望遠鏡での試験観測報告

小西真広, 本原顕太郎, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 櫛引洸佑, 中村洋貴 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 峰崎岳夫, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 大澤亮, 上塚貴史, 鯨島寛明, 浅野健太郎, 森智宏, 橋健吾 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5m 赤外線望遠鏡が建設されるチリ・アタカマ高地のチャナトール山山頂 (標高 5640m) は、乾燥した気候と高い標高のため非常に優れた赤外線大気透過特性を実現する。この利点を活かした観測を実現するために、我々は TAO 6.5m 望遠鏡の第一期観測装置として近赤外線多天体分光カメラ SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発を進めている。

この装置は波長 0.9–2.5 μm において、(i) 2色同時広視野撮像と、(ii) 波長分解能 $R \sim 1000$ での多天体同時分光または広視野面分光により近赤外線波長全域のスペクトルを一度の露出で取得する、という特長を有する。

TAO 6.5m 望遠鏡の完成に先立ち装置を仕上げるために 2017 年度に国立天文台ハワイ観測所に持ち込み、すばる望遠鏡を用いた機能・性能試験観測の準備を進めてきた。そして 2018 年 5 月 29 日–6 月 1 日に撮像及びロングスリット分光の、続いて 2019 年 1 月 22 日–26 日には多天体分光のファーストライト観測に成功し、設計通りの結像性能と分光性能を確認した。

本講演では試験観測の詳細とそれによる装置の性能評価、そして今後の運用計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V212a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU : すばる望遠鏡における第二回試験観測

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 内山允史, 森智宏, 吉田泰, 橋健吾, 左近樹 (東京大学), 尾中敬 (明星大学, 東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 峰崎岳夫, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 鮫島寛明, 加藤夏子, 寺尾恭範, 櫛引洸佑, 中村洋貴 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井讓) は、東京大学がチリ共和国アタカマ砂漠チャナンツール山山頂 (標高 5640 m) に建設を進める天文台である。TAO に設置する 6.5 m 望遠鏡の第一期中間赤外線観測装置が MIMIZUKU である。MIMIZUKU は 2–38 μm の広い波長域において撮像、および低分散分光 ($R \sim 100\text{--}600$) を可能とする。さらに、望遠鏡視野内の任意の二視野を選択して結合するフィールドスタッカーと呼ぶ機構を搭載し、従来の地上中間赤外線観測では難しかった標準星と観測天体の同時観測を実現する。これにより時間変動する大気の透過特性を正しく校正し、精度の良い測光・分光データの取得の実現を目指す。

実観測による装置性能の評価とフィールドスタッカーによる測光・分光観測の高精度化の実証を目的とし、MIMIZUKU を国立天文台すばる望遠鏡に搭載して試験観測を実施した。既に報告した第一回観測に続き 2018 年 12 月に第二回観測を実施した。結果、フィールドスタッカーの使用により、数% までの測光不定性の低減、および従来の地上観測では難しかった Q バンド分光の実現が可能となることを確認した。 Q バンド撮像では回折限界像 (半値幅 ~ 0.6 秒角) の達成、 N および Q バンド分光では $R = 180, 100$ の波長分解能の達成を確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V213a 超精密切削加工による SWIMS-IFU スリットミラーアレイ本加工

櫛引洗佑 (東京大学), 細島拓也, 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 尾崎忍夫, 都築俊宏 (国立天文台), 本原顕太郎, 高橋英則, 河野志洋, 小西真広, 加藤夏子, 寺尾恭範 (東京大学)

SWIMS は東京大学がチリのアタカマ高地チャナントール山に建設中の東京大学アタカマ天文台 (TAO)6.5m 赤外線望遠鏡に搭載する近赤外線撮像分光装置である。SWIMS-IFU はその焦点面に導入することで新たに面分光モードを追加することが出来るイメージスライサー方式の光学ユニットとなっている。スリット幅は seeing に最適化した $0.5''$ 、波長分解能は $R \sim 1000$ であり、視野は大型望遠鏡の近赤外線面分光装置で最大の $17''.2 \times 12''.8$ となる。また、 $0.9\text{--}2.5\mu\text{m}$ 全域を一度に面分光することが出来る唯一の装置となる。

SWIMS-IFU はスリットマスクと同様に装置内に収納されロボットアームで取り扱うため、コンパクト ($170 \times 220 \times 60\text{mm}^3$) かつ軽量 ($< 900\text{g}$) に設計されている。そのためそれぞれ 26 個のミラーからなる非常に複雑な形状をした三つのミラーアレイを各鏡面の形状精度 $P\text{-}V < 100\text{nm}$ 、表面粗さ $\text{RMS} < 10\text{nm}$ 、ミラー間相対位置精度 $< 20\mu\text{m}$ という厳しい精度で製作する必要がある。そこで我々はそれぞれのミラーアレイを超精密切削加工によって一つの母材から製作する手法に着目した。これまでの試験製作により、超精密切削加工で単一の鏡面が上記要求仕様で製作できることを確認している。それらの試験結果をもとに、今回三つのミラーアレイの一つであるスリットミラーアレイの本加工に成功したので、その結果を報告する。表面粗さは $\text{RMS} \sim 8\text{nm}$ 、ミラー間相対位置精度は $\sim 10\mu\text{m}$ と要求精度を満たす結果となった。一方、表面形状については $P\text{-}V \sim 200\text{nm}$ で当初の要求精度は満たさなかったが、スリットミラーアレイが結像面に位置していることから許容範囲と判断した。今後のミラーアレイ製作においては表面形状精度を上げることが課題となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V214a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen

酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 諸隈智貴, 小西真広, 一木真, 有馬宣明, 森田雅大, 紅山仁, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一, 森由貴, 中田好一, 茂山俊和 (東京大学), 白井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 山下卓也 (国立天文台), 前原裕之, 春日敏測, 有松亘 (京都大学), 冨永望 (甲南大学), 猿楽祐樹 (京都産業大学), 田中雅臣, 板由房, 小久保充 (東北大学), 吉川真 (宇宙航空研究開発機構), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 佐藤幹哉 (日本流星研究会), Tomo-e Gozen コラボレーション

東京大学木曾観測所では 105cm シュミット望遠鏡用広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の開発を 2014 年より進めてきた。そして 2019 年 4 月に 84 枚の全センサが焦点面に並び Tomo-e Gozen のカメラ部が完成した。今後、2019 年 10 月より突発現象の監視を目的とした全天サーベイを開始する予定である。本講演では Tomo-e Gozen のカメラ部とデータ処理システムの詳細を述べると共に、試験観測による初期成果を紹介する。Tomo-e Gozen カメラは 84 枚の CMOS センサでシュミット望遠鏡の直径 9 度の視野を覆うことにより計 20 平方度の空を最大 2 fps で連続撮像できる。センサの部分領域を読み出す場合は最大 200 fps の高速撮像も可能である。データの取得時刻は 0.2 ミリ秒の絶対精度で記録される。常温常圧かつ自然放熱の設計によりカメラの小型軽量化を実現している。外気温 25 °C 条件での暗電流は 6 e-/秒であり、暗夜の背景光に対して十分に低い。読み出しノイズは高ゲイン設定時に 2.0 e-を達成する。2 fps の連続観測では 30 TByte/夜の膨大な動画データが生成される。取得した生データは 10 日後に全てを消去するが、その間にオンサイト計算機群で逐次解析することで価値ある限られた情報を長期保存用ストレージに抽出する。2020 年度より長期保存用データとアラート情報を部分公開する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V215a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における迷光雑音の対策

阿久津智忠, Simon Zeidler, 正田亜八香, 平田直篤, 佐藤直久, 大淵喜之, 浦口史寛, 池之上文吾, 都築俊宏, 齊藤栄, 清水莉沙, 福嶋美津広, 麻生洋一, 高橋竜太郎 (国立天文台), 谷岡諭 (総研大), 長野晃士, 榎本雄太郎, 苔山圭以子, 田中健太, 宮川治, 上泉眞裕 (東大), 中野雅之 (富山大), KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。一般に重力波は極めて微弱な信号であり、地上の検出器でとらえるために、あらゆる雑音源を想定して対策を施さねばならない。たとえば、干渉計を構成する鏡の地面振動によるゆらぎも雑音となるため、KAGRA では干渉計を地面振動の小さな神岡の地下に設置し、かつ多段の防振系を用いることで対策している。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも問題となるため、メインの鏡を 20K 付近まで冷却する。これらの雑音源はいわば原理的なもので、その対策は望遠鏡の仕様そのものであるが、いっぽう、実装後の実際の運用上に問題になるのが迷光雑音である。

重力波望遠鏡における迷光雑音は、いまだ解明されていない点が多い。KAGRA に限らず、すでに重力波望遠鏡として稼働しているアメリカの LIGO や欧州の Virgo においても、性能向上をはばむ課題の 1 つとなっている。また、世界でいくつか提案されている次世代の重力波望遠鏡計画においても必ず問題となるであろうことが認識されている。一般に重力波望遠鏡における迷光雑音は、主光軸に再結合してくる迷光の量のみならず、その相対位相の揺らぎが原因であり、特に後者を低減するために、バッフルだけでなく光検出器にまでも防振が必要になる。

KAGRA においても迷光対策のため、光学バッフルやダンパーはもちろん、いくつかの光学素子にはこのための防振機構を用意している。本講演では、今年後半に予定されている KAGRA の観測運転の予定をふまえて、これらの設計開発、実装の現状および今後のアップグレードの予定について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における防振装置のための制御系の開発 II

藤井善範 (東京大学), 高橋竜太郎, 正田亜八香, 阿久津智忠, 佐藤直久, 石崎秀晴, M. Barton, 平田直篤, 麻生洋一, 都丸隆行, R. Flaminio(国立天文台), 奥富弘基, L. Trozzo, 牛場崇文, 山田智宏, 中野雅之, 榎本雄太郎, 三代浩世希, 山本尚弘, 宮川治, F. P. E. Arellano, 上泉眞裕, (東大宇宙線研), 和泉究 (宇宙研), on behalf of the KAGRA collaboration

重力波は光速で伝播する時空の歪みであり、コンパクト連星の衝突合体といった激しい天体現象が起こった際に放出される。重力波による時空を歪みは非常に小さいため、その直接検出は困難であったが、2015年に米国の重力波望遠鏡 Advanced LIGO により、ブラックホール連星の衝突合体からの重力波が初観測された後、複数の重力波の直接検出がなされ、現在、重力波による新たな天文学が拓かれようとしている。その重力波を捉えるため基線長 3km のレーザー干渉計からなる大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の運転に向けた調整が、現在岐阜県の神岡鉱山地下にて進んでいる。レーザー干渉計検出器においては、重力波の到来によって時空が歪むと鏡の位置が変化するため、これに伴うレーザー光の位相の変化を干渉計から読み取ることで重力波の検出するが、一般に重力波により生じる時空の歪みは非常に小さいため、干渉計を構成する鏡自体が地面振動などの外乱を受けてしまうと重力波を検出することはできない。そこで KAGRA ではこの地面振動からの雑音を低減するために、干渉計を構成する鏡を防振装置より懸架し制御を行い、外乱による振動の鏡への伝達を抑える。

本講演では、KAGRA の腕共振器を構成する鏡のための防振装置におけるダンピング制御の概要と、その性能試験の現状及び結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V217a スペース重力波望遠鏡 LISA に向けた機器開発

和泉究, 福邊健次 (JAXA 宇宙研), 阿久津智忠, 正田亜八香 (国立天文台), 安東正樹, 喜多直紀, 高野哲, 武田紘樹, 道村唯太 (東大理), 小森健太郎 (MIT), 長野晃士 (東大宇宙線研), 武者満 (電通大)

LISA は宇宙空間にレーザー干渉計を構築することで重力波観測を行う国際計画である。LISA は地上では達成の困難な低周波数 (0.1-100mHz 程度) に感度を持つよう設計されており、超大質量ブラックホール連星合体や銀河内に存在する白色矮星を含むコンパクト連星系といった系からの重力波を観測できると期待される。したがって LISA は地上検出器ではアクセスの困難な重力波源の探索を行う重要な計画であると位置付けられる。LISA は ESA の推進する大型ミッションの 1 つ (L3) として、現在国際協力のもとその開発が進められている。

本計画では 250 万 km 隔てられた 3 機の衛星間で計 6 つのレーザーリンクを構築し、これらをレーザー干渉計として動作させる。重力波信号はその各レーザーリンクの位相変化として記録される。このような長基線長レーザーリンクは、重力波成分を距離の分だけ積分増幅できる反面、回折広がりにより受信時に pW レベルの微弱光となってしまうことが予想されている。LISA ではこれを高い信号雑音比で読み出すために光ヘテロダイン方式を採用している。このような背景のなか、日本グループでは LISA への機器開発検討項目の 1 つとして、衛星相対運動からのドップラーシフトを受けた場合でも、微弱光量を要求される信号雑音比でヘテロダイン測定できる低雑音 ($2 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$) かつ広帯域 (5-25 MHz) な光検出器の開発検討を進めている。本講演では LISA 計画のサイエンス・ミッションを俯瞰したあと、上述の光検出器をはじめとする日本グループでの機器開発の検討状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218a TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 III

大屋 真、山下卓也、林左絵子、臼田知史、家 正則、遠藤立樹 (国立天文台)、ほか TMT 関係者

Thirty Meter Telescope (TMT) は対角が 1.44m の六角分割セグメント鏡を 492 枚組み合わせた口径 30m の次世代超大型望遠鏡である。国立天文台は TMT International Observatory (TIO) の一員としてこの計画を進めている。主鏡製作は日本の貢献の大きな柱の一つである。全セグメントの硝材を製造し、表裏球面研削しメニスカス形状に加工した状態 (ブランク) で提供する。その後の非球面研削・研磨、そして六角形への外形加工・支持機構搭載は米国、インド、中国と分担し、日本は全体の 30% のセグメントを担当する。

主鏡の量産工程は現在非球面研磨まで進んでいる。この工程を完了した鏡材 (ラウンデル) の TIO による技術適合レビューの資料作成を行っている。特に非球面研磨後の表面形状検査については、Type0 セグメントを米国と日本で交互に測定することで整合性を確認した。Type0 セグメントは球面研磨された鏡材を正六角形にカットして支持機構に搭載した試験用セグメントである。支持機構に搭載済なので測定結果が保持方法に影響されないという利点がある。その次に続く工程としてはラウンデルの外形を六角形にし裏面に支持機構やエッジセンサーの取り付け部分の加工を行う外形加工工程、外形加工完了後の鏡材 (ヘックス) の支持機構搭載工程があり、各工程開始のレビューに向けた準備も現在平行して進めている。これらの進捗に加えて硝材やブランクの状況も含めて、主鏡セグメント量産工程の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V219c 炭素繊維複合材を用いた軽量鏡基板の開発

樽田順 (京都産業大学), 奥明栄 (東レ・カーボンマジック), 大屋真 (国立天文台), 池田優二 (フォトコーディング/京都産業大学)

京都産業大学では炭素繊維複合材 (CFRP) を用いた天文学用途の高精度鏡の開発を行っている。CFRP は軽量高剛性、高熱伝導率といった優れた特性を持つため、従来から天体望遠鏡の鏡材として用いられてきたガラス鏡に代わる基板材料として、地上用途のみならず宇宙望遠鏡用として期待されている。この CFRP は、炭素繊維に樹脂を含浸させたシート (プリプレグ) の積層による型成形を基本とするため反復成形が可能で、光学研磨が施された「型」を用いることでレプリカ製法による非球面球面鏡の量産が可能のため、研磨工程に長時間を要するガラス鏡の製法と比較して大幅な低コスト化が実現できる。これは小口径望遠鏡のみならず、同じ形状の鏡を複数枚並べるセグメント方式の大口径望遠鏡に対しても非常に有効である。また CFRP は鏡基板の薄型化が容易であることから、能動光学や補償光学用可変形鏡への応用も期待できる。しかし、可視赤外光用の鏡として要求される形状精度 ($< \lambda/20$) を実現するにあたり、熱可塑成型による基板全体の歪みや運用環境変化による面精度の劣化、マトリックス材であるエポキシ樹脂の体積収縮 (ヒケ) による面粗度の劣化 (プリントスルー) などの解決すべき事項が存在する。そこで、我々はレプリカ製法とレジンコーティングを組み合わせた直径 10cm のテスト平面鏡を試作し、積層構成や硬化時間、温度勾配といったパラメータ空間に対して、最適な製造解の探索を行っている。発表では望遠鏡用 CFRP 鏡の天文学応用における可能性を紹介するとともに、現在の開発状況および見込みについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V220a ULTIMATE-START: すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学の開発 (IV)

寺尾航暉, 秋山正幸, 大金原, 大本薫, 飯塚悠太 (東北大), 美濃和陽典, 大屋真, 大野良人, 三枝悦子 (国立天文台), 山室智康 (オプトクラフト)

単一のレーザーガイド星を用いた補償光学系において、有限の高度に存在するガイド星による円錐状の光路では無限遠に存在する天体からの円筒状の光路全体をカバーすることができない(円錐効果)。そのため、大気揺らぎが測定できない領域の影響で波面測定が不完全となり、レーザーガイド星を用いた補償光学系の性能向上を妨げる要因となっている。特に、大口径望遠鏡では円錐効果が大きくなるため、高精度な波面測定を困難なものとする大きな要因となる。円錐効果を小さくする手法として、複数のレーザーガイド星を用いて円筒状の領域をカバーし、かつトモグラフィーの手法を用いて大気揺らぎを高さ方向に分解した波面補正を行うレーザートモグラフィー補償光学が提案されている。我々が進めている ULTIMATE-START (Subaru Tomography Adaptive optics Research experiment) 計画では、4 個のレーザーガイド星を 20 秒角程度の間隔で配置することで円筒状の領域をカバーできるレーザートモグラフィー補償光学系を開発を進めている。4 個のガイド星の波面測定には 4 台の Shack-Hartmann 型波面センサーを用いる。補償光学シミュレーションによって素子数は 32×32 、サブ開口の視野 7 秒角、サンプリングあたり 1 秒角というパラメータの最適化が完了し、光学設計を進め、公差解析による誤差要因の評価を進めている。また、ローリングシャッター読み出しの CMOS 型高速カメラを波面センサーに用いるための性能評価を進めている。本講演では、計画全体および各部分での開発状況の現状について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221b シャックハルトマン型波面センサー用マイクロレンズアレイの集光効率測定

寺尾航暉, 秋山正幸 (東北大)

マイクロレンズアレイ (MLA) は、多数の微小レンズを1つの基盤上に配列した素子で、光を分割して集光させることができる。そのため、ファイバー型面分光装置や大気揺らぎの波面測定を行うシャックハルトマン型波面センサーなどに用いられている。現在、東北大学と国立天文台が中心となって開発を進めているすばる望遠鏡に搭載するレーザートモグラフィ補償光学系では、波面測定に MLA を用いるシャックハルトマン型波面センサーを採用している。そのため、MLA の性能評価を行い最適な MLA を選択することは、補償光学系の光学設計や補償性能を最適化する上で重要である。そこで、点光源の光を集光させて、MLA を通さない瞳像の明るさと MLA を通した後のスポット像の第一暗環内での明るさを比較する方法で MLA の集光効率を評価した。これは、シャックハルトマンで重心検出を行う際に、スポット像の第一暗環内に注目すれば十分なためである。今回、110、150、300 μm ピッチで焦点距離が異なり、レンズ形状が Plano-Convex である7個の MLA について CCD、CMOS カメラを用いて測定を行った。その結果、AR コーティングされていない四角開口の 300 μm ピッチ MLA で集光効率 ~ 0.79 と最も高い結果が得られた。本講演では、これらの測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222b ULTIMATE-START: 数値シミュレーションを用いたレーザートモグラフィ補償光学の性能評価

大野良人 (国立天文台), 秋山正幸, 寺尾航暉, 飯塚悠太, 大金原, 大本薫 (東北大学), 大屋真, 美濃和陽典, 三枝悦子 (国立天文台), 山室智康 (オプトクラフト)

1つのレーザーカイト星を用いる従来の補償光学システムでは、有限の高度にあるレーザーカイト星の円錐状の光路と無限遠に存在する補償天体の円柱状の光路の違い(円錐効果)が補償性能を制限する要因であった。レーザートモグラフィ補償光学は、複数のレーザーガイド星を同時に用いることでこの円錐効果の影響を低減し、レーザーガイド星を用いた補償光学の性能を大きく向上させることができるシステムである。ULTIMATE-STARTプロジェクトは、現在する望遠鏡で稼働している補償光学システム「AO188」にレーザートモグラフィ補償光学モートを搭載することで、特に可視波長域での補償性能を大きく向上させる。

前回の春季年会では、解析的なPSF推定手法と数値シミュレーションを用いた各パラメータの最適化について報告をした。本発表では実際にレーザートモグラフィ補償光学で達成される性能について、数値シミュレーションによる結果をもとに議論を行う。特に低次の収差を測定するための自然ガイド星の明るさや視野中心から角度距離がレーザートモグラフィ補償光学の性能にどのような影響を与えるかを議論し、現在のAO188との比較や詳細な誤差解析の結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V223b 補償光学系を用いた大気ゆらぎの高さ分布推定法の開発

大金原、秋山正幸（東北大学）、大屋真、大野良人（国立天文台）

我々が開発を進めている、すばる望遠鏡用レーザートモグラフィ補償光学システムでは、観測天体を取り囲む4つのレーザーガイド星の波面を測定し大気ゆらぎ構造のトモグラフィ推定を行うことで、単一のレーザーガイド星ではカバーすることのできない領域の大気ゆらぎを補正し、より精度の高い補償を実現する。しかし4つのレーザーガイド星の離角は高々20秒角程度であるため、トモグラフィ推定は縮退度の大きな悪条件の逆問題となる。そこで、大まかな大気ゆらぎの高さ分布を先験情報として与えることが重要となる。Tokovinin(1998)によって提案されたMASS(Multi Aperture Scintillation Sensor)という手法では、単一の星の明るさ変動を1kHz程の高い時間サンプリングで、複数の開口形状で観測することで大気ゆらぎの高さ分布推定を行うことができる。異なる開口形状を作り出す必要性からこれまで専用の小型望遠鏡（口径20cm程度）を用いて行われてきたこの手法を、補償光学系で用いられる Shack-Hartmann 型波面センサーで実践することで、観測方向における大気ゆらぎの高さ分布を取得することが可能となる。そこで現在、手法の初期実証実験として、東北大学50cm望遠鏡に Shack-Hartmann 波面センサーを取り付けて星の明るさ変動データを取得しそれらを用いた手法実践を進めている。様々な形状の開口における明るさ変動の度合いから、各高さでの大気ゆらぎの強さを導く過程は連立1次方程式の形で記述される。行列の規模は小さいものの悪条件性の高い逆問題になっており、特異値分解などの直接法では測定ノイズが大きく増幅されてしまう。今回、解の空間に制約を付けた最適化問題として解くことによって、逆行列を解くよりも良い精度で大気ゆらぎの高さ分布を推定することができることをシミュレーション計算で確立した。本講演ではこの手法の詳細とこれまでに得られた結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224a すばる望遠鏡用極限補償光学装置「SCExAO」による近赤外線偏光観測

工藤智幸, Lozi Julien (国立天文台ハワイ観測所), Guyon Olivier (国立天文台ハワイ観測所 / アリゾナ大学/ アストロバイオロジーセンター), Norris Barnaby (シドニー大学) ほか、SCExAO team。

現在、国立天文台ハワイ観測所では、すばる望遠鏡用の極限補償光学装置「SCExAO (スケックスエーオー)」の開発が進んでいる (PI: Olivier Guyon 氏)。2000 素子の可変形鏡に加え、PIAA (Phase Induced Amplitude Apodization) コロナグラフ, PyWFS (Pyramid Wavefront Sensor), 大気擾乱予測アルゴリズム と言った最新のハードウェア・ソフトウェア双方を駆使し、近赤外線波長帯において、ストレール比 0.9, 主星から半径 0.5 秒角以内の領域において、 10^{-6} のコントラストを達成している。

これまで我々はすばる望遠鏡戦略枠観測 SEEDS プロジェクト (2015 年に終了) において、HiCIAO と AO188 を用いた偏光観測を成功させてきた。そのノウハウをもとに、今度は SCExAO に新たに近赤外線用の偏光機能を追加することで、より高いストレール比を最大限に生かし、原始惑星系円盤の形態や、晩期型星における質量放出現象の解明にむけた高精度高解像度偏光観測の実現を目指している。本講演では、S19A 期までの最新状況とその結果、および今後の展望を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V225a 8分割位相マスクコロナグラフのためのダークホール制御技術の開発

一円光, 村上尚史(北海道大学), 西川淳(国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

太陽型星ハビタブルゾーンに存在する地球型惑星を直接検出するためには、恒星光を 10^{-10} レベルに除去する極限高コントラスト観測装置が必要である。その観測装置の1つとして、8分割位相マスクコロナグラフが提案されている。8分割位相マスクコロナグラフは、理論上は完全に恒星光を除去できる。しかしながら、実際には光学素子の不完全性に起因して、恒星光がスペックル状に残ってしまう。この問題を解決するために、スペックルの電場を測定し、可変形鏡などの波面補正デバイスを用いて逆位相電場を発生させることで、恒星光強度を低減するダークホール制御技術が必要である。これまでに、8分割位相マスクコロナグラフを用いたダークホール制御実験は、ジェット推進研究所のテストベッド HCIT において行われている(村上他、2011年秋季年会 W23a)。しかしながら、その達成コントラストは 10^{-8} レベルに制限されている。

サイエンス目標達成に向けた 10^{-10} レベルのコントラスト実現のため、性能を制限する要因などを調査するための数値シミュレーションを行うことや、日本国内にテストベッドを構築し、より強力に技術開発を推進できる環境を整えることは非常に重要である。そこで我々は、8分割位相マスクコロナグラフにおけるダークホール制御の数値シミュレーションコードを構築した。スペックル電場測定の手法としては、Speckle Area Nulling 法 (Oya et al. 2015, Opt. Rev., 22, 736) を組み入れた。この数値シミュレーションにおいて、波面補正における位相分解能などの制御パラメータを変化させて、達成できるコントラストの評価を行った。また、波面補正デバイスとして液晶空間光変調器を導入したテストベッドを北海道大学の実験室に構築し、実証実験に着手した。本講演では、数値シミュレーションおよび実証実験の初期成果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V226a 広帯域コロナグラフ観測を目指した多層8分割位相マスクの開発

土生圭一郎, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center), Raphaël Galicher, Pierre Baudoz (Observatoire de Paris), Fabien Patru (Observatoire de la Cote d'Azur), 小室佑介, 馬場直志 (北海道大), 田村元秀 (東京大/Astrobiology Center/国立天文台)

ハビタブルゾーンに存在する地球型系外惑星の特徴づけのためには、恒星光を除去し、惑星探査領域において広い波長域で 10^{-10} レベルのコントラストを達成できる装置が必要である。そのため、8分割位相マスク (8OPM) コロナグラフの開発が行われている。8OPM とは、恒星像を8領域に分割し光波に空間的な位相変調を与えるデバイスである。我々は、フォトニック結晶半波長板をベースとしたマスクを開発しているが、達成できるコントラストは波長に強く依存してしまう。そこで近年、恒星光除去の広帯域化を実現するため、3層8OPMの開発が行われている (小室他, 2016年秋季年会 V237a)。これまでに、半波長板を順次3層に積み上げる手法で8OPMを試作し、コロナグラフの室内試験によりコントラストの波長依存性を評価した (小室他, 2017年秋季年会 V265a)。その結果、従来の (単層) 8OPM に比べて広帯域化に成功したが、理論性能には到達できなかった。我々は、半波長板各層の個体差にその原因があると予想し、3層を基板上で同時に製作し、製作後にアSEMBルする手法で新たにマスクを試作した。上記と同様の室内試験の結果、以前の試作マスクよりも広帯域化が実現され、より理論値に近い性能を得ることができた。我々は更なる広帯域化を目指し、5層8OPMの設計も行った。初期設計として、有力なバイオシグナチャーである O_2 の吸収線 (波長 $0.69 \mu\text{m}$ および $0.76 \mu\text{m}$)、さらには H_2O の吸収線 (波長 $0.82 \mu\text{m}$) をカバーできる設計に成功した。さらに、5層8OPMの製造誤差評価のための数値シミュレーションも行っている。本講演では、試作した3層8OPMの実証実験、および5層8OPMの設計について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227b 8分割位相マスクとバイナリ瞳を併用したコロナグラフ：すばる用詳細設計

西川 淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center) , 村上尚史, 一円 光 (北大・工)

系外惑星直接観測のための高コントラストコロナグラフは、地上と宇宙の任意の望遠鏡に対して、副鏡、スパイダー、セグメント境界に影響されず、かつ、中心星近くから遠方までの広い観測領域で高コントラストを実現できるものへの開発が続いている。瞳と焦点の両方にやや複雑なマスクを置く方法はまだまだ未開拓である。焦点面に置く8分割位相マスクは、 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ のコントラストが得られる4次の渦位相マスクの系列で最も分割数が少なく、各セグメントが0と π の位相差を持つ製作しやすいものであり、 $1.5\lambda/D$ を観測できるポテンシャルがある。数あるコロナグラフ方式のうち総合的にトップ2の性能にランクすると言って良い。しかし、開口が円形でない場合にコントラストが劣化する。その対策として、副鏡の影を埋める光学系や(押山2013年秋季年会)、円形副開口の使用(赤岩2016年秋季年会)があるが、それぞれ、波面精度を得るのが難しい、回折限界分解能が下がる、等の問題があった。第3の方法として、8分割位相マスクとバイナリ瞳の併用法の開発を進め、試作品による光学実験にも成功している(渋谷2017年秋季年会、西川2018年秋季年会)。バイナリ瞳は透過率を0か1にするアポダイザで(単体ではIWAが大きい弱点がある)、Princetonのコードを使わず解いているのは現時点では我々だけである。地上観測では超補償光学を用いても目標の生コントラストが $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であることを考慮し、対称性の無いSCExAOの瞳形状での設計を行った結果、焦点面の高コントラスト領域の範囲($< 15\lambda/D$)と目標コントラストを設定して、 256×256 の分解能でバイナリ瞳解が得られ、製作も完了した。バイナリ瞳は広帯域対応であり、別途進めている8分割位相マスクのJH(Ks)バンドへの広帯域化と合わせれば実用性が高く、SCExAOへの早期投入を計画している。なお、スペース向けに 10^{-10} での設計と試作試験も進めている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

V228b IRSF 望遠鏡に搭載する近赤外線分光器の開発

國生拓摩、古田拓也、石鉢卓也、森鼻久美子、金田英宏（名古屋大学）、永山貴宏（鹿児島大学）、石原大助（ISAS/JAXA）

我々は、名古屋大学が南アフリカ天文台に所有する IRSF1.4 m 望遠鏡へ搭載する、新しい近赤外線分光器の開発を進めている。本装置は、波長分解能は数 100 と低いものの、少ない光学面数 (10 面) により高い光学系スループット (70%) を実現し、小口径望遠鏡でありながら深い限界等級が期待できるユニークな分光器である (17.9 等 @ 波長 1.2 μm 、点源、 $S/N = 10$ 、600 秒積分)。また、本装置には近赤外線スリットビューワーが搭載され、 J バンドにてスリット周辺の $3' \times 4'$ の視野を撮像する。このスリット周辺の星の位置をもとに、観測天体をスリットに素早く導入することができ、加えてロングスリット ($1.7'$) を採用しているため、分光マッピング観測にも適した設計となっている。

2018 年に本装置を実験室内で完成させた後、鹿児島大学の協力のもと、2019 年 3 月から鹿児島大学 1 m 望遠鏡に本装置を取り付け、試験観測を行っている。この試験観測では、分光モジュールとスリットビューワーモジュールともに InGaAs アレイ検出器を搭載し、波長 1.0–1.6 μm での分光観測を行っている。観測の結果、様々な天体のスペクトル取得に成功し、さらに標準星や大気輝線を観測することで、波長分解能や限界等級といった本装置の性能評価を進めている。この試験観測の後には、分光モジュールの検出器を InSb アレイ検出器へと交換し、波長 1.0–2.3 μm の分光観測を行えるように本装置をアップグレードする。その後、南アフリカ天文台へ本装置を輸送して、2020 年中に IRSF 望遠鏡にて観測を始める予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V229a HSC-SSP のデータ解析進捗報告: 第2回世界公開 (PDR2) と次期共同研究者向けリリース (S19A) に向けた準備

瀧田 怜, 古澤久徳, 田中賢幸, 高田唯史, 山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 大倉悠貴, 池田浩之, 宮崎聡, 岩田生 (国立天文台), 他 HSC データ解析ソフトウェアチーム

国立天文台では、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構など多数の国内研究機関や米国・プリンストン大学、及び台湾のコミュニティと共同で、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) による戦略枠観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を 2014 年 3 月より行っている。我々はこの SSP で取得したデータを HSC データ解析パイプライン (hscPipe) を用いて処理し、その解析済みのデータの公開を行っている。SSP 共同研究者向けには 2018 年 1 月までに取得された 174 晩のデータを hscPipe バージョン 6 (hscPipe6) で解析し、その結果を S18A として 2018 年 6 月より提供している。また、この S18A データセットをベースとして、二回目の全世界公開 (PDR2) を 2019 年 5 月に行った。

一方で S18A の解析に使用された hscPipe6 において、いくつかの課題が確認されており、それらの改善作業も行っている。特に大きな変更点として、天体検出・測光アルゴリズムの最適化がある。S18A では天体の広がり (footprint) を過剰に見積もっていたケースが多く、このために見かけ上近傍の天体同士の footprint がつながった結果、各天体の切り分けにかなりの計算コストが生じていた。そこで天体検出を行う際のパラメータを検討して footprint のサイズの適正化を図った。さらに偽天体の除去や、暗い天体の検出率に関する調整等も行った。これらの改修作業は hscPipe7 として取り込まれ、次期共同研究者向けリリース (S19A) にて提供される。

本講演では PDR2 の概要、ならびに hscPipe7 における改善点やそれに伴う S19A での変更点等を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V230a SuMIRe-PFS[13]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2019 年秋季

田村直之 (東京大学カブリ IPMU), ほか PFS プロジェクトオフィス、PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野多天体分光器である。すばる主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーに天体や空からの光を導入し、「青」「赤」「近赤外」3つのカメラからなる分光器システムで 380nm から 1260nm の波長範囲に及ぶスペクトルを一度に取得する。PFS と、すでに稼働中の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は SuMIRe 計画 (“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts) の両輪であり、遠方銀河と星の広天域巨大統計から、ダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成、進化の物理過程に迫るのが目的である。PFS の開発は、東京大学カブリ IPMU を中心とした国際チームにより、2020 年の試験観測開始、2022 年の科学運用開始を目指し進められている。昨年にはメトロロジカメラがサブシステムの中で先陣を切ってすばる山頂に搬入され、10 月には望遠鏡に取り付けての夜間試験を行った。コブラ 57 本ずつを搭載したモジュールの組み上げはカリフォルニア工科大学において着実に進んでおり、台湾中央研究院台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) では主焦点装置 (PFI) へのモジュール搭載プロセスの最適化やモジュール制御ソフトの整備など準備が進んでいる。分光器は、赤カメラと青カメラを同時搭載しての調整、試験が最終段階を迎えており、望遠鏡上に敷設され PFI と分光器を結ぶファイバーケーブルは組み上げ試験の第一段階を完了し、近くブラジル国立天文台 (LNA) で次段階に入る予定である。本発表では、こうした装置開発の最近の進捗を中心に、サーベイ観測計画立案も含めた今後の予定について紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V231a SuMIRe-PFS[14]: 装置性能評価の現状

矢部清人 (東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構), 他 PFS コラボレーション

すばる望遠鏡 超広視野多天体分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS) は 2022 年初頭からの科学運用を目指し、現在開発が進んでいる。直径 1.3 度という広視野、約 2400 本というファイバー数により、PFS は大規模なサーベイ観測にその威力を発揮すると考えられる。すばる戦略枠観測 (SSP) を始めとして、PFS を用いた様々な観測が考えられ始めているが、観測計画を立てる上で実際の装置性能は重要な要素のひとつとなる。

PFS プロジェクトオフィスでは、装置の各コンポーネントの仕様値および実測値をもとに、予想される装置性能の評価を行い、Exposure Time Calculator (ETC) などを公開している。現在、分光器を始めとして、サブシステムの組み上げと試験が進んでおり、光学素子など実際の装置コンポーネントの効率などの測定も進んでいる。本講演では、これらの測定結果を考慮した最新の予想装置性能について報告する。

また、装置性能を決める上で、背景光 (特にスカイ) をいかに精度良く除去できるかが重要な鍵となる。現在、想定されるスカイ引きの残差パターンをいくつか検討し、ETC を利用することで、予想されるスカイ引きの精度に関する調査を行っている。本講演では、最新の結果を紹介するとともに、科学観測へのインパクトについても簡単に触れる予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V232a Subaru Prime Focus Spectrograph における二次元パイプライン開発の現状 (SuMIRe-PFS[15])

仲村佳悟 (IPMU), Robert Lupton, Hassan Siddiqui, Neven Caplar, Paul Price, Craig Loomis (Princeton), 安田直樹, 矢部清人 (IPMU), 田中賢幸, 峯尾聡吾, 山下拓時 (NAOJ), 他 PFS コラボレーション

東京大学 Kavli 数物連携宇宙研究機構が主導する Prime Focus Spectrograph (PFS) プロジェクトはすばる望遠鏡主焦点に 2394 本のファイバーを設置し、広い領域で分光サーベイを行う国際共同研究プロジェクトである。ファイバー分光器では一列に並んだファイバーを分光するため (fiber, 波長) の二次元の画像が生データとして得られる。この二次元のデータから一つ一つのファイバーを切り出して一次元のスペクトルを抽出する二次元パイプラインはプリンストン大学が中心となって開発が行われている。分光サーベイにおいて品質のよい天体のスペクトルを得るためには、sky subtraction を精度よく行うことが重要である。PFS では従来のように一次元スペクトルを抽出してから sky subtraction を行うのではなく、二次元画像の状態での Sky Subtraction を行う戦略をとっており波長キャリブレーションや PSF モデリングを正確に理解し、安定性を調べる必要がある。本公演では二次元パイプラインの概要と現状を日本グループの貢献にも触れながら報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V233a SuMIRe-PFS[16] HSC+PFS サイエンスデータベース ver.2 の開発 2

山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 瀧田怜, 大倉悠貴, 田中賢幸, 古澤久徳, 高田唯史 (国立天文台), 矢部清人 (Kavli IPMU), Ani Thakar, Sue Werner, Dmitry Medvedev, Joseph Booker(JHU) 他 HSC/PFS ソフトウェアチーム

国立天文台と Johns Hopkins University (JHU) を中心とするチームで、すばる望遠鏡主焦点に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) のデータ公開に向けたサイエンスデータベースシステムの開発を進めている。ユーザーが巨大な画像やカタログデータをダウンロードすることなく、サーバー上で相当程度の解析をおこなえることを目標とする。HSC(Hyper Suprime-Cam) のデータリリースで運用してきた天体カタログ・データ検索・画像ビューアの機能をまとめて扱えるような python スクリプトモジュール、JHU で開発されている SciServer/Compute を組み合わせて統合環境のプロトタイプを作成した。2017年11月にPFS共同研究者に公開した ver.1 についての意見を取り入れた上で、実際のデータに即したシステムの構築を目指しているのが、ver.2 である。

初回のバージョンは2台のサーバーで仮想マシン等を使って様々なプロセスを共存させていたが、ネットワーク構成も見直し、サーバーを6台に増強し、各機能を分散させた。開発中のパイプラインも用いて得られる仮想天体のデータを組み入れ、データベースを用いてそれらの検索ができるようにしている。Compute 上で動作する、HSC のデータを扱うスクリプトモジュールの改良も進んでいる。また、Compute 環境の背後では Kubernetes(コンテナ管理・分散システムツール) が一部稼働しており、将来的にはより効率的な計算機資源の利用ができるようになるであろう。

講演では、これらの機能を提供するプロトタイプサーバー Ver.2 の現状について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V234a SuMIRe-PFS[17]: PFS の科学運用の検討の進捗状況報告

小野寺仁人, Eric Jeschke, 田中賢幸, 古澤久徳 (国立天文台), 田村直之, 矢部清人, 安田直樹 (Kavli-IPMU), Robert Lupton (Princeton University)

すばる望遠鏡に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) は 2020 年からのコミッショニングおよび 2022 年からの共同運用開始が予定されている。PFS は直径 1.3 度角の視野内に 2394 本のファイバーを配置し、可視光 2 チャンネルと近赤外線 1 チャンネルからなる分光器モジュール 4 つをもちいてデータの取得をおこなう。このような大規模かつ複雑な広視野多天体分光データから科学的成果を最大限に抽出するには、これまですばる望遠鏡でおこなってきた運用形態の発展的な見直しが必要であると考え、現在我々はその検討を進めているところである。検討内容はたとえば、ターゲット天体情報や観測の進捗状況の効率的なデータベース化、キュー観測による気象条件等に応じた柔軟な観測視野の切り替えや複数プログラム間の観測視野の共有、データ取得直後の品質評価およびデータベース更新の自動化、観測者への整約済みデータの配布、などがある。本講演では、我々がおこなっている PFS の科学運用形態の検討について、進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V235b SuMIRe-PFS[18]: PFS 分光器モジュール用クリーンルーム制御システム

吉田裕茂、Julien Rousselle、Matthew Wung、Lucio Ramos、Philip Tait、越田進太郎、高遠徳尚(国立天文台ハワイ観測所)、田村友範(国立天文台先端技術センター)、他 PFS コラボレーションチーム

すばる望遠鏡ハワイ観測所では次世代観測装置 PFS (Prime Focus Spectrograph) の受け入れに向けて、分光器モジュール 4 台を搭載するためのクリーンルームの設置、クリーンルーム内部環境 (温度・湿度) 制御装置、及び分光器冷却装置の開発・試験を行っている。クリーンルーム内部環境制御装置に対しては分光器モジュールの温度を $3-5^{\circ}\text{C}$ 且つその時間変動 (30 分平均) を $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 以内に、またクリーンルーム内の湿度を $20-40\%$ に維持する事が求められる。分光器冷却装置に対しては停電時・主冷却装置の故障時にも補助冷却装置を用いて分光器を継続して冷却する事が求められる。

2019 年 6 月現在、クリーンルームの望遠鏡赤外焦点側 4 階フロアへの設置、クリーンルーム内部温度制御装置及び分光器冷却装置の 3 階・4 階フロア・クリーンルーム内部への設置を完了し、継続的に温度制御装置の試験・性能評価を行っている。今後は 2019 年 11 月に予定されている 1 台目の分光器モジュールの設置を目指し、分光器冷却装置の試験、クリーンルーム内部湿度制御装置の開発・設置・試験等を進めて行く。

本発表では上記システムの最新の進捗状況を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V236b HSC 巨大天体カタログの高速検索に向けた次世代データベースの開発

古澤久徳, 高田唯史, 山田善彦, 大倉悠貴 (国立天文台), 鬼塚真 (大阪大), 須賀秀和, 黒澤亮二, 神林飛志 (ノーチラス・テクノロジーズ)

近年データベース技術は、大規模データ高速処理への需要の高まりを受け、変革の時を迎えている。国内では産学連携の枠組みの中で、オープンソース基盤でのオンラインデータ登録と解析処理機能の開発、またそれらのハイブリッド化により、データベースを介した高速データ処理を実現するための新しいリレーショナルデータベースの開発が進められつつある。

一方、天文学におけるデータベース活用はこれまで小中規模の情報管理に限られ、比較的大きな天体カタログでも高々数億行程度の表を扱うのみであった。しかし、Hyper Suprime-Cam(HSC)の戦略枠観測では科学データアーカイブによる研究成果の推進を目標に掲げており、最終的には全積分ごとに3000パラメータ以上の測定情報を展開した300億行超えの表に対してより複雑な検索を扱わなければならない。HSCチームはデータベースの分散化などによる性能改善を試みているが、数百億行の表への応用を見越して技術開発を続ける必要がある。

我々は今回、上で述べた新しいデータベース開発の動作実証に参加する機会を得た。5年計画の初年度は、HSCの全世界公開データをデータベースに格納し、典型的かつ負荷の高い検索例についてHadoopクラスター上でのSpark SQLやImpalaなどの分散クエリ技術による高速化を試験した。この試験環境を用いて、クエリのワークロード情報による表設計の最適化を行い、さらに性能向上を図る予定である。また、時系列の天体測定情報を含むデータベースを作成し、様々な測定パラメータから外れ値を探索的に見つけ出す方法の開発も行う予定である。この技術を応用し、HSC戦略枠の蓄積データから変動・突発天体候補を効率的に抽出することを目指している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V237b 光子計数法による可視光観測システムの開発

中森健之、大内優雅、荻原理沙、郡司修一、柴田晋平（山形大学）

Mult-Pixel Photon Counter (MPPC) は、ガイガー放電による高い内部増幅機能を有するシリコン半導体可視光センサである。MPPC を天体観測素子として使うことができれば、1 光子が検出できるだけでなく、ナノ秒の応答速度によって光子到来時刻を非常に高い精度で測定できる。つまり、高感度と高い時間分解能を有するセンサとなり、時間領域天文学に大きく寄与することが期待できる。

MPPC は多数の有感セルが 2 次元に並べられた構造をしており、全てのセルのアナログ和が出力されるため、検出した光子数に比例した信号が得られる。一方で、熱ゆらぎに由来するダークパルスも加算して出力されるため、典型的に 100 kHz 程度の雑音レートとなり、天体観測に不向きである。そこで我々は、MPPC の有感セルを独立に読み出す改造を施し、100 μm \times 100 μm のセルが 4 \times 4 に並んだ素子を試作した。性能評価試験の結果、冬季の外気温下で 100 Hz 未満の雑音レートを確認でき、天体観測に用いても夜光雑音に対して十分に低いことがわかった（荻原他、2018 年秋季年会）。

本研究では、素粒子実験用の波高弁別回路とパルスカウンタを組み合わせ、16 チャンネルの信号処理系を構築した。これによって、100 μs 毎の検出光子数をデッドタイムなく数え続ける撮像システムのプロトタイプが実現した。波高弁別のしきい値設定、ダークとフラットに対応する計測モード、そして実効的に 7 分角程度の視野をカバーするモザイク撮像モードなど、観測に必要な手続きをリモートで実行できるシステムを構築した。本講演では測定システムの全体と機能について紹介する。本システムを用いたかにパルサーの観測については高密度天体セッションの大内講演を参照されたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V238a 複数輝線が混入する狭帯域撮像画像に適用する、二次計画法 (Quadratic Programming) を用いた各輝線成分抽出方法の開発

三戸 洋之 (東京大学)、植田 稔也 (デンバー大学)、大塚 雅昭 (京都大学)、中田 好一 (東京大学)

星雲、恒星などが発する輝線には、近接した波長範囲内に、異なる種類の物質による輝線が存在することがよくある。よく知られたものとして $H\alpha$ (656.3nm) と $[NII]$ (654.8nm, 658.3nm) がある。これに対して、一般的な狭帯域撮像観測に用いられるフィルターの透過帯の半値幅は狭くても 3-4nm 程度であり、 $H\alpha$ と $[NII]$ を分離して測定することは難しい。そのため、こうした輝線を分離するためには分光観測が必要となるが、スリット分光の場合も IFU (integral field unit) などの面分光の場合も、撮像観測に比べて一度に観測できる領域が狭いという問題が生じる。そのため、近傍の星雲など、空間的に広がりを持った天体の輝線強度分布を調査する研究は難しい。

そこで、本研究では、天体を透過特性の異なる複数の狭帯域フィルターで観測し、それらの透過特性をもとに、各狭帯域フィルターデータに混入している輝線の強度比を逆算して求める方法を開発した。最も単純な方法は連立方程式を解くことであるが、本研究では、観測データに含まれる測定誤差の影響を最小限に押さえ、より正確な輝線強度を求めることを目指し、二次計画法 (Quadratic Programming) を用いた輝線抽出方法を開発した。本研究は、他の装置や波長にも応用できる点など汎用性は極めて高い

開発にあたっては、惑星状星雲 NGC6720 (リング星雲 M57) の $H\alpha$ 帯の観測データを用いた。使用したデータのフィルターセットは HST/WFC3 の F656N、F658N、同 WFPC2 の F656N、F658N、さらに東京大学木曾観測所 KWFC の N657、Ha6577、N6590 の 3 セットである。

本発表では、各狭帯域フィルターデータセットから得られた研究成果と、他分野への発展性について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239c 西はりま VTOS によるスペckルデータを用いた連星の測定と評価(2)

小野翔太郎, 桑村進, 三浦則明 (北見工大), 圓谷文明 (元西はりま天文台), 坂元誠 (子ノ星教育社), 馬場直志 (北大)

天体スペckル干渉法は、大気揺らぎで劣化した多数枚の短時間露光スペckル像から、物体の回折限界像のパワースペckトルを回復する方法で、補償光学の適用が難しい可視域における高空間分解能像回復法として、補償光学と相補的に現在も利用されている。本方法を連星に適用した場合、分離角と位置角の測定から軌道が求められるが、軌道測定は恒星質量の情報が直接得られる殆ど唯一の方法である。二星の質量に加え、それらの等級差から両星の光度に関する情報も同時に得られる。大気揺らぎによる分解能限界以下に接近した連星の測定値を含めることで、恒星の質量光度関係の精度を向上させることに寄与する。

これまで我々は、西はりま天文台の2mなゆた望遠鏡に設置したEMCCD搭載の観測装置VTOSを使って、様々な天体クラスに対してスペckル観測を行ってきた。連星については、分離角1"から0.1"の十数個を観測し、データ処理および測定を行ってきた。測定では、まず、ダークと低照度フラットを用いて、検出器雑音による平均パワースペckトルのバイアス補正を行う。それから、参照星データを用いて大気揺らぎ伝達関数の補正を行い、物体パワースペckトルを求め、フリッジモデル当てはめを行い、連星のパラメータ値を推定する。前回の発表で我々は、雑音による伝搬誤差の評価式を雑音統計に基づいて導出し、連星パラメータ推定値の偶然誤差に対する評価を行った。しかし多くの場合、物体と参照星の観測条件(シーイング状態や高度など)の僅かな違いによりフリッジが歪んでしまい、モデルとデータの一致度は悪くなる。今回我々は、フリッジ画像に対して観測条件の違いを考慮に入れたモデルを開発したので、その適用結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V240c 最尤推定法による EMCCD スペックルデータからの物体像再生

鹿田諒太, 桑村進, 三浦則明 (北見工大), 馬場直志 (北大)

大気揺らぎによって天体像は劣化するが、狭帯域、短時間露光における点広がり関数 (PSF) の空間周波数成分は、回折限界の遮断周波数に至るまで非零の値を保つ。それ故、短時間露光像から物体の回折限界像の回復が可能となる。大気揺らぎ下の狭帯域・短時間露光像は、その PSF がスペックル状となるので、スペックル像と呼ばれる。暗い天体像を狭帯域・短時間露光で撮影する場合、光電子を増倍する機構が必要となる。そのために現在では、電子増倍型 CCD (EMCCD) が多く使用されている。通常の CCD で得られるデータはポアソン分布に従うが、EMCCD の場合、増倍後のデータはポアソン分布から外れ、データの雑音対信号比 (NSR) は増倍前の $\sqrt{2}$ 倍になってしまう。EMCCD データから物体に関するパラメータを推定する場合、この点を考慮する必要がある。実際、生物顕微鏡の分野では、EMCCD で撮られた蛍光画像データから、最尤推定により対象のパラメータ値を推定する研究が行われている。

本研究では、EMCCD の雑音統計モデルに基づく最尤推定法により、EMCCD スペックルデータから物体像推定を行うアルゴリズムを検討した。今回、我々が仮定した EMCCD 雑音モデルでは、CCD 部で発生する暗電荷、電子増倍による雑音指数、検出器応答関数、読み出し雑音を考慮に入れている。また、増倍後の電荷数分布としてガンマ分布を仮定した。まず、尤度関数を求めるため、EMCCD データの確率分布の特性関数を計算した。これを基に、最尤法による物体推定アルゴリズムを実装し、連星シミュレーションデータを用いて、PSF が既知の場合の物体推定を試み良好な結果を得た。今後、アルゴリズムのブラインド化および正則化を検討し、本講演にて発表する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V241c 連星スペckル像画素値の相対度数分布からの等級差推定

桑村進, 坂本隼人, 三浦則明 (北見工大), 馬場直志 (北大)

連星の分離角、位置角、強度比 (または等級差) の測定は、恒星の質量光度関係の精度を向上させる上で重要である。そのためには、地球大気揺らぎによる空間分解能限界 (シーイング限界) 以下に接近した連星の測定値をデータとして含める必要がある。分離角がシーイング限界 (1 秒角程度) 以下の連星の測定は、スペckル像再生法が適している。スペckル像は、大気揺らぎが凍結する数 ms から数十 ms の短時間露光で撮影された狭帯域像で、点広がり関数がスペckル状になることからこう呼ばれる。スペckル像再生法によって、分離角と位置角は、回折限界で観測したのとほぼ同程度の精度で求められる。一方、強度比の推定は、様々な要因で不確かさが増す。スペckル像再生法では、スペckル像多数枚の二次または三次モーメントを計算するが、この際、検出器雑音によるバイアス項が生じ、その影響で強度比は過小評価される。雑音バイアスは補正可能であるが、不適切な補正処理による誤差増大のリスクは避けられない。

シフト加算法は、最大画素が原点に来るようスペckル像をシフトして単純平均を取ることで、雑音バイアスの影響は受けない。この場合、原点に主星像、そこから離れた位置に伴星像が現れるが、強いバックグラウンドが重畳するので、これを除去する補正処理が結局必要となる。本研究は、原データに演算や補正処理を施さずに、原データから直接強度比推定を行うことを目指すものである。本方法では、シフト加算法と同様のシフト処理は行われない。その代わりに、多フレームに亘る主星位置 (原点) と伴星位置の画素値のヒストグラムを取り、参照星のそれと比較することによって強度比を推定する。本方法は、強度比が 0.1 以下の場合に有効と思われる。講演では、本方法の理論的枠組みとシミュレーションデータを使った予備的結果を報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V242a 国際大気球太陽観測ミッション「SUNRISE-3」/近赤外線偏光分光観測装置(SCIP)搭載のスキャンミラー機構の開発

大場崇義, 清水敏文 (宇宙科学研究所), 勝川行雄, 久保雅仁 (国立天文台), 小出来一秀 (三菱電機)

天体現象の理解には、偏光分光観測によって物理量を定量的に診断することが重要である。分光にはスリット観測が必要になるため、2次元空間情報を得るには、スリット位置を移動させるスキャン機構が必須となる。そこで我々は、広範囲な動的現象の物理量を捉えることを目指し、「広視野で高精度・高速にスリット位置を移動できるスキャンミラー機構」を開発している。本機構は、2021年に放球を予定している「国際大気球太陽観測ミッション(SUNRISE-3)/近赤外線偏光分光観測装置(SCIP; Sunrise Chromospheric Infrared spectro-Polarimeter)」に搭載される予定である。機構の設計検討の結果、広い駆動範囲を確保するため、アクチュエータに電磁吸引方式を選定した。また、ミラーの傾動角を精密に検出するため、静電容量型センサを内蔵した。内蔵センサが検出したミラーの傾動角をもとに電磁吸引によってミラー角度を制御することで、高精度・高速のミラー傾動を実現する。

本講演では、製造したフライト機が要求性能を保有していることを実証するため、光学試験環境を構築して検証した結果を報告する。まず、駆動範囲について、視野中心から端($\pm 1006''$; 指向角: $\pm 35''$)に渡って1%以下の誤差でスキャンできることを確認した。1ステップ間隔($2.857''$; 指向角: $0.0936''$)の移動時間は、要求値(1/32秒未満)を達成していた。指向安定度は、 $3\sigma=0.1''$ (指向角: $0.0035''$)未満であり、要求値($3\sigma=1.0''$; 指向角: $0.035''$)を大幅に上回っている。また、温度環境による特性変化を捉えるため、20-30°Cにおいて性能評価試験を同様に実施したところ、いずれも要求値を達成できていた。上述の基本性能に関する評価項目に加え、真空試験・熱サイクル試験の結果から、大気球環境下におけるスキャンミラー機構の機能性を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V243a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: プロジェクト進捗状況

松浦周二, 橋本遼, 瀧本幸司, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希 (関西学院大), 佐野圭 (金沢大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS), James Bock (Caltech), Micheal Zemcov (RIT), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), ほか CIBER-2 チーム

宇宙背景放射は個別に分解できない高赤方偏移天体や銀河間物質を研究するうえで重要な観測量である。我々はこれまでに、NASA の観測ロケットを用いた CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) により、近赤外線の宇宙背景放射は既知天体で説明できないほど大きな強度と非等方性をもつことを見出した。そこで我々は、より詳細な観測を行なう CIBER-2 を計画し観測装置の開発を進めてきた。CIBER-2 では、液体窒素冷却の口径 28.5 cm 反射望遠鏡、および $2k \times 2k$ の HgCdTe アレイ赤外線検出器 (HAWAII-2RG) を用いた 6 波長カメラと分光フィルタにより、波長 $0.5\text{--}2.0 \mu\text{m}$ での撮像 (視野 $2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$) と分光 ($\lambda/\delta\lambda \sim 15$) の観測を行なう。

これまでに、常温での観測装置の組立て調整を経て低温での機能実証や性能試験を実施してきた。特に、望遠鏡およびレンズ光学系を検出器やフライトエレクトロニクスと結合しての低温光学試験は、装置を完成するための最重要ステップの一つである。コリメータを用いた点光源による像サイズ測定と焦点調整、およびモノクロメータと積分球を用いた拡散光源による波長バンド測定などを実施した結果、観測装置は概ね仕様を満たすことを確認した。ただし、試験結果を評価する中でゴーストの発生やバッフル機能の不具合なども認められ、改修の必要性が認識された。現在は、NASA Wallops 基地にて焦点面スター・トラッカーの姿勢系との噛み合わせや観測装置全体の低温振動試験などを実施している。その後、観測装置の最終改修作業と感度較正を実施したのち、2020 年 2 月の打上げウィンドウを前提としてホワイトサンズ実験場に展開する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V244a 小型 JASMINE 計画の全般的状況

郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 三好 真, 辰巳大輔, 馬場淳一, 鹿島伸悟, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 片坐宏一 (宇宙研/JAXA), 西 亮一 (新潟大), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, exo-JASMINE チーム一同

小型 JASMINE は、銀河系の中心核バルジにある星々に対して、赤外線では世界で最も高い精度で測定する位置天文観測衛星計画である。銀河系構造（バルジ、バー、ディスク）と巨大ブラックホールの進化の解明に結びつく銀河系中心核バルジの探究を行い、銀河中心考古学を遂行することを科学目標とする。そのために、星の天球面上での位置変動を測定して得た時系列データ、およびそこから導出された星の年周視差、固有運動等の必要な物理情報をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開する。そのため、銀河系バルジの星に関して、我々が用いる H_w バンドで 12.5 等級以下の 7000 個程度に対して年周視差を 25 μ 秒角以内の精度（固有運動精度は 25 μ 秒角/年以内）で測定する。さらに、12.5 等級から 15 等級までの 6 万個以上のバルジ星に対して、125 μ 秒角/年以内の固有運動精度で測定する。また、中心核バルジ方向を観測できない時期には、小型 JASMINE の観測性能を活かし、トランジット手法により低温星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探索すること等も科学目標にしている。JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画宇宙科学ミッションでの実現を目指して今までにもいくつかの審査を経てきたが、2019 年 5 月に宇宙研により、小型 JASMINE は公募型小型 3 号機として正式に選定された。現在、さらなる科学目標の拡張の検討や将来のデータ解析チームおよびデータ検証チームの設立を目指して小型 JASMINE コンソーシアムを立ち上げた。さらに、重要な要素技術の実証等を進めつつ、ESA や米国の研究機関との国際協力の拡大も行っている。以上の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V245b 小型 JASMINE における高精度星像位置決定の実証実験

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 辰巳大輔, 三好 真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 片坐宏一 (宇宙研), 小型 JASMINE ワーキンググループ

位置天文観測衛星、小型 JASMINE は銀河系中心核バルジの星を 20 マイクロ秒角レベルの高精度で星の位置を測定する計画である。本衛星のミッションでは、高精度の位置測定を達成するために同一の星を多数回繰り返し測定する事によりそれらのデータから系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成されることになっている。我々は、地上での実験室における実験および数値シミュレーションを用いて星像の高精度位置決定が確かに達成できている事を示してきた。実証の第一段階としては 1 列にならんだ擬似星像の 2 星間の距離、すなわち 1 次元方向のみに着目した原理的な実証であり、検出器や光学系に備わる系統誤差を抽出し、画像の枚数に応じて測定精度が向上するという一定の成果を得てきた。更に進めて、1 次元に限定し、コントロールされた状況での実証のみならず、より一般的な状況での実証とするため、1 次元に限定せず、2 次元面に存在する星像の位置から高精度位置決定を行うための解析手法を検討してきた。数値シミュレーションを用いて実証のプロセスの妥当性を確認するとともに地上実験への適用を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V246b 小型 JASMINE 迷光防止フードのトレードオフ検討

○鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 辰巳大輔, 三好真, 井上登志夫, 宇都宮真, 間瀬一郎, 郷田直輝 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), 片坐宏一 (JAXA/ISAS)

小型 JASMINE では、非常に厳しい星像中心決定精度である $20\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためにはノイズとなる迷光を十分に低減させなければならないが、そのためのシステムからの要求は $5[\text{photon}/\text{sec}/\text{pix}]$ という非常に小さなものとなる。これまでは、サンシールドも含めて展開 (伸展) 構造を避けることを念頭に置いていたため、フードの長さは約 1.1m 以下に制約しており、この条件下では植毛しか解が無かった。

小型 JASMINE は、JAXA の次期打ち上げ候補として採用されたこともあり、メーカーとの開発検討も活発になってきており、その中で、これまであまり宇宙実績のない「植毛」を使ったものをノミナルにするのはリスクが大きいため、フードをもっと長くしても、これまでに実績があり TRL も十分高い内面処理を用いて設計できないかという意見が出た。メーカーでのラフ検討により、フード長が約 1.7m 以下ならフードは伸展せず、サンシールドのみに展開 (折り曲げ) 機構を設けることで、イプシロンのフェアリングに搭載可能であること、またサンシールドのみの展開機構であれば実績も多いためほとんどリスクはなく、質量やコストの増加も小さいことが分かった。

そこで、少し余裕をみてフードの長さを 1.6m とし、植毛よりは特性が劣るが、実績のある塗料や鍍金系の内面処理でも上記要求を満たせるかどうかの検討を行った。本発表では、その検討内容・検討方法とその結果に関して詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V247b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 IV

上田暁俊、間瀬一郎、辰巳大輔、井上登志夫、宇都宮真、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝、三好真(国立天文台)、山田良透(京大理)、片坐宏一(宇宙研)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE プロジェクトでは、小型 JASMINE の実現に向け、要素技術の検討や開発を推進している。概念設計は終了し、超低膨張ガラスと同程度の CTE を持つ材料（スーパーインバー改）を企業と開発し、その材料で STM を作製した。完成した STM の、現段階での振動試験は完了し、良好な結果を得ている。今年度、熱構造関連では、熱数学モデルの構築、熱真空試験事前解析を行った。この事前解析に基づき、軌道上での衛星への非平衡熱入力を模した、熱真空試験を実行した。予備的な解析では、概念検討を満足する熱制御が達成される感触である。フィルタの成膜設計は終了したため、評価用テストピースの作製を行い、光学特性の評価を行った。作製されたフィルタは、極めて設計に近い光学特性を示していた。迷光処理材は、企業との共同研究において、開発を進めている。望遠鏡ジオメトリの計測は、フォトグラメトリの手法で行う予定であり、その方法の検証と高精度化を並行して進めている。講演では、小型 JASMINE の要素技術開発進捗について、報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V248a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 郷田 直輝 (国立天文台), 矢野 太平 (国立天文台), 辰巳大輔 (国立天文台), 片坐宏一 (宇宙科学研究所), 吉岡諭 (海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大)

小型 JASMINE は現在公募型小型 3 号機の Pre Phase A2 にいるが、2019 年春に PrePhase A2 終了審査を通過し、年内くらいには Δ MDR とプロジェクト準備審査を受け、Phase A へ上がることを目指している。

位置天文観測は、データ解析のウエイトが非常に大きい。ミッション定義フェーズに上るにあたり、ソフトウェア開発の WBS を作成したところまでは、2017 年春の学会で報告した。スペースプロジェクトは長期間にわたるため、作ったものがすぐに役に立たなくなるリスクを避けるため、ISO/IEC/IEEE 15288:2015 や ISO/IEC 12207 に従った開発手法を取り入れ、十分にシステム化されたものにしなければならない。そのため、メーカーと有識者に、ソフトウェア開発に関して協力をしていただいて、開発を進めている。アジャイル開発の手法を取り入れて WBS を見直し、ソフトウェア仕様書を改訂しながら開発を進めている。

現在、メーカー委託でソフトウェアのプロトタイプを作成し、その評価を行っている。秋までには end 2 end のサブスケールシミュレーションを実施して、解析も含めたフィージビリティを確認することが、Phase A 以降の準備として求められている。また、必要なソフトウェアテスト等の仕様も定めてゆく必要がある。また、ハードウェア調達を含むため短期間で実施できるかどうかは不明だが、ソフトウェアはフルスケールへの拡張性を考慮しているので、年内くらいにはフルスケールのシミュレーションの実施を行うことを目標としている。

本講演では、開発状況と結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V249a SPICA（次世代赤外線天文衛星）：日欧共同推進による Phase A 検討の現状

金田 英宏（名古屋大）、芝井 広（大阪大）、山村 一誠、小川 博之、中川 貴雄、松原 英雄、山田 亨（ISAS/JAXA）、尾中 敬（明星大）、河野 孝太郎（東京大）、他 SPICA チームメンバー

日欧協力を軸に推進する次世代赤外線天文衛星 SPICA は、口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、波長 12–350 μm において超高感度な赤外線観測を行う計画である。日本が主導する中間赤外線観測装置 SMI（SPICA Mid-infrared Instrument）と欧州が主導する二つの遠赤外線観測装置（分光：SAFARI、偏光撮像：B-BOP）が搭載され、2030 年頃に打上げ、ノミナル 3 年、目標 5 年間の運用を行う。科学面では、ALMA、TMT、SKA、Athena などの他波長の大型望遠鏡との強力なシナジーが期待される。2018 年 5 月に ESA 中型クラス 5 号機の候補として選抜され、11 月に ESA ミッション定義審査を通過し、2019 年初頭から ESA との共同推進による Phase A study が本格的にスタートした。

日本側では、極低温冷却システム PLM（Payload Module、冷凍機を含む）、SMI、H3 ロケットなどの検討を進め、ESA への情報提供を行っている。とくに、システム全体設計において最重要な PLM 熱構造の検討の詳細化と複数方式のトレードオフを進めた。冷凍機については、最終形態を模擬した直線型熱交換器の性能評価試験を進めるとともに、振動擾乱対策の検討を行っている。一方、ESA 側では、PLM 以外のシステムおよび望遠鏡に関して、複数の企業による検討が開始された。科学面では、2019 年 5 月にギリシャで SPICA 国際会議を開催し、160 名以上の参加者を得て、科学目的や新しいサイエンスの議論を活発に行った。科学検討のさらなる組織化を進め、ESA 主導の科学検討チーム、JAXA 主導の研究推進委員会、さらにそれぞれのもとで 5 つの科学分野の WG が活動を開始した。本講演では、SPICA の主要な技術の検討および科学検討の最新状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V250a SPICA 冷却系の構成配置検討

中川貴雄, 小川博之, 篠崎慶亮, 竹内伸介, 大坪貴文, 片坐宏一, 後藤健, 西城大, 佐藤洋一, 澤田健一郎, 東谷千比呂, 長勢晃一, 松原英雄, 松本純, 水谷忠均, 山田亨, 山村一誠 (JAXA), 金田英宏 (名古屋大), 芝井広 (大阪大)

次世代赤外線天文衛星 SPICA の最大の特徴は、高感度の赤外線観測を実現するために、望遠鏡を含む観測装置全体を 8 K 以下の極低温に冷却することである。この実現のため、SPICA 冷却系では、効率的な放射冷却系 (V-grooves) と機械式冷凍機の組み合わせを採用している。この冷却系は、従来の寒剤を用いた系に比べ、大型の望遠鏡 (口径 2.5 m) の搭載を可能とし、かつ長寿命化が期待できるという大きな利点を持つ。一方、多くの冷凍機を必要とするため、冷凍機常温部の圧縮機の発熱量が極めて大きく (1 kW) なるという問題がある。したがって、この大きな発熱を、いかに効率的に宇宙に放熱するかが、本冷却系の大きな技術的課題となる。

SPICA 冷却系では、この課題の解決のため、2つの構成配置案を検討した。1つは Hybrid Payload Module (H-PLM) であり、圧縮機の熱を Loop Heat Pipe を用いてバス部に移送し、バス部のラジエータから宇宙に放熱するものである。もう1つは、Compact Payload Module (C-PLM) であり、圧縮機の熱を、圧縮機近傍に設けたラジエータから、直接に宇宙に放熱する方式である。我々は、この2つの構成配置を、熱および構造の観点から比較検討した。その結果、どちらの構成配置でも、SPICA の要求を満たす解を見出すことができた。ただし、C-PLM では、十分な放射冷却のために必要な V-grooves の層数 (4層) が、H-PLM に必要とされる層数 (3層) よりも1層多くなり、冷却系としては H-PLM よりも重くなることが分かった。そのため、軽量化の観点から、H-PLM を今後の冷却系の検討での構成の主候補として選択した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V251a SPICA 搭載ジュール・トムソン冷凍機用「直線型熱交換器」の性能評価

福岡遙佳 (東大理、ISAS/JAXA)、東谷千比呂、中川貴雄、関本裕太郎、松原英雄、西城大、篠崎慶亮、佐藤洋一 (JAXA)、恒松正二、金尾憲一、榎崎勝弘、大塚清見、岡林明伸 (住友重機械)

次世代赤外線天文衛星 SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) 搭載を目指したジュール・トムソン冷凍機用の「直線型熱交換器」評価について述べる。

SPICA では、高感度な観測を行うために、望遠鏡を含めた観測装置全体を極低温にまで冷却する必要がある。具体的には、ジュール・トムソン冷凍機を用いて、望遠鏡を 8 K 以下にまで冷却する (本年会中川他の講演参照)。我々が宇宙機用に開発してきたジュール・トムソン冷凍機は、3 段の向流型同軸二重管式熱交換器で構成されている。その熱交換器は従来はすべて「らせん型」であったが、SPICA では冷却ステージと圧縮機搭載位置との間に 3 m 以上の距離があるため、熱交換器の一部を直線状に延長する必要がある。ただし、この「直線型熱交換器」は新規開発となる。そのため、SPICA の温度環境を想定した実験系において、「直線型熱交換器」を用いた冷凍機の冷却能力を検証する必要がある。我々は、1.65 m, 3 m, 4.5 m の長さの「直線型熱交換器」を制作し、それぞれ冷却能力にどのような変化があるか検証を進めている。現在、1.65 m, 3 m 「直線型」及び参照用の従来型 1.65 m 「らせん型」の熱交換器の測定を行い、各々の熱交換器において SPICA における冷却能力の要求値 (40 mW@4.5 K) を達成できることを確認した。ただし、同じ長さの熱交換器では、「らせん型」と比較して「直線型」のものは熱交換効率が低いことが判明した。この傾向は、理論的な予測とも一致する。「直線型熱交換器」を用いる SPICA では、この熱交換効率の違いを設計に反映させる必要がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V252a SPICA 搭載焦点面観測装置の検討の現状

○松原英雄, 山岸光義, 篠崎慶亮 (JAXA)、土井靖生 (東京大)、他 SPICA チーム

本講演では次世代赤外線天文衛星 SPICA の冷却望遠鏡焦点面に搭載する観測装置アセンブリ (FPIA) の概念検討の現状を述べる。FPIA の構成要素には、日本が開発を主導する中間赤外線観測装置 SMI (本年会磯部他の発表参照)、欧州コンソーシアム主導の遠赤外線分光観測装置 SAFARI、及び遠赤外線偏光観測装置 B-BOP と、それらを支持し望遠鏡と結合する光学ベンチ等からなる (精密指向ガイドセンサ FGS の搭載の可能性もあり)。これらの装置の視野は天空上の別々の領域を占める。4 級 J-T 冷凍機への熱負荷は、FPIA 全体で 16.8 mW 以下、極低温部 (4.8 K 以下) での総重量 350 kg 以内に抑えることが求められており、現在日欧合同チームで焦点面機器配置や様々なリソースの調整作業が続けられている。

SAFARI は 34-240 μm をカバーする超高感度分光観測装置である。担当する欧州各国で開発が本格化し、個々のサイエンスのための観測運用と装置機能の組み合わせ検討が進行中である。B-BOP は、100、200、350 μm の 3 バンド同時の偏光撮像装置であるが、うち 100 μm バンドが波長 70 μm にシフトすることが検討されており、コンフュージョン限界が低減し遠方銀河サーベイのカメラとしての貢献が期待できる。

本講演ではさらに現在想定している主要な観測計画とその実現のための装置の観測モード (分光/撮像、指向/掃天等の組み合わせ) についても述べる。なお今のところデータ発生量やリソース制約のため、並行観測 (観測装置の同時運用) は行わないこととされているが、SMI の一部の機能と他装置との並行観測 (例えば 34 μm カメラと B-BOP の並行掃天観測、HR/MR 分光機能と SAFARI の分光掃天観測) であれば可能となる可能性もあり、科学的意義と共に今後詳細に詰めていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V253a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の Phase A 活動の進捗

磯部直樹, 和田武彦 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大学), 他 SMI コンソーシアム

次世代赤外線天文衛星 SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI について、Phase A における開発の進捗について報告する。SMI は、低分散分光 LR ($R = \lambda/\Delta\lambda = 50-150$, $\lambda = 17-36 \mu\text{m}$), 中分散分光 MR ($R = 1300-2300$, $\lambda = 18-36 \mu\text{m}$), 高分散分光 HR ($R = 33000$, $\lambda = 12-18 \mu\text{m}$) の三つのスペクトルチャンネルと広視野カメラ CAM (中心波長 $\lambda = 34 \mu\text{m}$, 視野 $10' \times 12'$, LR の slit viewer としても動作) を持つ。日本の主要大学と ISAS で構成される SMI コンソーシアムおよび ASIAA(台湾) などが中心となって、その開発を担う。

SMI コンソーシアムでは、Phase A における重要な技術開発要素として、光学系・光学要素 (自由曲面鏡, $30 \mu\text{m}$ 帯フィルター, LR 用 KRS-5 プリズム, HR 用 CdZnTe イメージョン回折格子), $1 \text{ K} \times 1 \text{ K}$ Si:Sb 検出器および検出器モジュール, 極低温アクチュエータ (Beam steering mirror) などをあげており、本年度より本格的な開発を開始している。光学系については、ESA との協力で望遠鏡パラメータや観測装置の視野配置などの調整を進めている。望遠鏡-装置間のアラインメント要求の緩和のために、装置の中で最も視野が広い LR/CAM を望遠鏡視野の中心に配置する検討が行なわれている。HR では、光学効率・感度の向上のため、屈折光学系から反射光学系への設計変更を行った。また、CdZnTe 素子の入手性向上のために、低純度な素子の透過率測定を進めている。検出器開発では、Fast mapping 観測の感度向上を目指した極低温読み出し回路の低雑音化、簡易試作検出器を用いた暗電流・量子効率の測定を進めている (和田他の講演を参照)。また、検出器駆動のための常温電気回路系も、試作モデルの開発を開始した。Beam steering mirror については、太陽系内天体の観測に関する科学要求も調査することで、仕様の再検討を行った。本講演では、以上のような SMI の Phase A の開発活動の報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V254a SPICA/SMI 搭載用 1K × 1K Si:Sb BIB 赤外線検出器の開発

和田武彦 (ISAS/JAXA), 鈴木仁研 (名古屋大学), 石原大助, 長勢晃一, Ryan Lau (ISAS/JAXA),
Shiang-Yu Wang (ASIAA), SMI コンソーシアム, SPICA プリプロジェクトチーム

SPICA/SMI では波長 $30\ \mu\text{m}$ 帯で圧倒的な分光撮像能力を実現するため、Si の外因性光伝導を検知原理とする高感度大フォーマット赤外線センサー 1K×1K Si:Sb BIB (Blocked Impurity Band) の開発を JPL Ressler 氏の助言を得つつ進めている。赤外線検知部である Si:Sb BIB は Spitzer IRS で実績のある 128×128 Si:Sb BIB を、読みだし集積回路 (ROIC) は WISE で実績のある 1Kx1K のものを、それぞれプロトタイプとしている。

SMI では中分散分光に於いて、Spitzer IRS に対し、検出器大フォーマット化による観測効率の向上に加え、100 倍の感度の向上を目指している。10 倍は望遠鏡の大口径化によっており、残りの 10 倍を検出器の低雑音化 (低暗電流・低読み出し雑音) より実現する。暗電流低減を目指し、Si:Sb BIB 検知器材料の開発を行なった。アルミ電極を用いた簡易素子での評価の結果、目標の低暗電流化 ($<0.8\ \text{e/s/p}$ at $18\ \mu\text{m}$ pixel) が確認出来た。しかし、量子効率は、目標値 (10% at $34\ \mu\text{m}$) を達成したものの、理論予測 (50%) より小さい。アルミ電極に起因するショットキー障壁が原因である可能性があり、現在、障壁の小さい評価素子を作成中である。並行して、ROIC の低雑音化の研究を進めている。プロトタイプ ROIC の回路シミュレーションを行なったところ、初段ゲインを大きくする事で雑音を低減できることが判明した。現在、低雑音化 ROIC の設計を進めている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V255a Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope (OST)

左近 樹 (東京大学), Thomas L. Roellig, Kimberly Ennico-Smith (NASA Ames), 松尾太郎 (大阪大学), 池田優二 (photocoding), 山室智康 (OptoCraft), Origins Space Telescope (OST) MISC Team, OST STDT

Origins Space Telescope (OST) は、米国の 2020 年の decadal survey に向けて検討が進められている 4 つの大型旗艦ミッションの一つである。2016 年 5 月の STDT 発足以降、OST は冷却望遠鏡を用いた大型の遠赤外線ミッションとして、「主鏡直径 9.1m の off-axis 光学系をもつ冷却望遠鏡」と、「主鏡直径 5.9m の on-axis 光学系を持つ冷却望遠鏡」との 2 つのコンセプトに対して、合計 10 回の F2F 会合を含む活発なミッション検討活動を実施した。日本からは JAXA が中心となり、NASA Ames と協力して、全コンセプトを通じて中間赤外線観測装置 MISC 装置検討チームを編成し装置検討の役務を担当した。OST の最終コンセプトでは、厳格なコスト評価に基づき主鏡 5.9m、4.5K 冷却望遠鏡を採用し、Baseline 装置として OST サーベイ分光装置 (OSS)、遠赤外撮像偏光装置 (FIP)、中間赤外線観測装置トランジット分光装置 (MISC-TRA)、UpScope 装置としてヘテロダイン分光装置 (HERO) と中間赤外線カメラ (MISC-WFI) を有し、波長 2.8 μ m-588 μ m を網羅する構成を採用した。最終検討報告書は、2019 年 4 月末に NASA HQ に提出され、NASA 内に組織される Large Mission Concept Independent Assessment Team (LCIT) のコメントを踏まえた改定を行った後、2019 年 8 月末に Decadal Committee へ提出される予定である。本講演では、JAXA Liaison として参加した Origins Space Telescope (OST) の STDT 活動を総括し、日本が次世代の赤外線衛星分野の国際旗艦ミッションに参加する道筋とその役割について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V256c Solar-C_EUVST(高感度 EUV-UV 分光望遠鏡衛星) 望遠鏡構造設計進捗

末松芳法 (国立天文台), 清水敏文, 川手朋子 (ISAS/JAXA), 原弘久, 勝川行雄, 渡邊鉄哉 (国立天文台), 一本潔 (京都大), 今田晋亮 (名古屋大), ほか Solar-C WG

Solar-C_EUVST は、太陽用高感度 EUV-UV 分光望遠鏡を搭載する JAXA 公募型小型衛星計画で、2018 年 1 月の公募機会に提案し、ISAS 理工学委員会による審査の結果、次の検討フェーズに進める計画の一つとして選定されている。Solar-C_EUVST はこれまでになく高い空間分解能及び時間分解能を達成するため、結像光学系は望遠鏡部軸外し放物面主鏡と分光器部トロイダルグレーティングのみで構成される。彩層からフレアコロナまで広い温度域のスペクトル線観測をスリット分光器で太陽面 2 次元分光データを得るため、主鏡を連続的に傾けることでスリット上の太陽像スキャンを実現する。同時に、高分解能要求から像安定は必須であり、主鏡にチップチルト可動鏡の機能を持たせる。加えて主鏡部は、軌道上での温度変化等に対応する焦点調節機構を持つ必要がある。スループットを高くするため、EUVUV 観測波長のみを通すフィルターは持たず、全太陽光を望遠鏡に入れるため、可視光吸収により主鏡温度が高くなる。高温主鏡はコンタミ付着防止の観点からは必須であるが (50 °C 以上)、主鏡熱変形を必要波面誤差バジェット内に抑える必要がある。これらの性能・機能を満たす望遠鏡構造・軽量化主鏡部構造設計の進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (16)

窪秀利, 井岡邦仁 (京都大学), 吉田龍生 (茨城大学), 山本常夏 (甲南大学), 齋藤隆之, 手嶋政廣, 戸谷友則, 野田浩司, 吉越貴紀 (東京大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による天体観測は、2000年代に入って大口径・ステレオ化した大気チェレンコフ望遠鏡アレイによって飛躍的に発展し、検出天体数は、銀河系内外合わせて現在 200 を超え、天文学の新たな一分野を形成した。さらに発展すべく、大 (23 m)・中 (10-12 m)・小 (4 m) 口径の望遠鏡計約 100 台からなる、世界で一つの大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ – CTA (Cherenkov Telescope Array) – の準備研究が、日本からの約 130 名を含めた 31 か国約 1400 名の国際共同により進められており、2022 年から公開天文台として運用、2025 年に全アレイによる観測が開始する予定である。CTA 計画では、望遠鏡アレイをスペイン・ラ パルマとのチリ・パラナルに建設し、現状より一桁以上高い感度 (かに星雲強度の 0.1%)、4 桁のエネルギー領域 (20 GeV から 300 TeV)、高い角度分解能 (1 TeV で 2 分角) で全天を観測する。銀河系内外から 1000 を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体のガンマ線放射機構および高エネルギー粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、赤外可視背景放射による星形成史の研究、ダークマター探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論や基礎物理まで研究範囲は広がり、観測計画の詳細検討が進んでいる。鏡・カメラ開発などにおいて日本が中心的役割を果たしている大口径望遠鏡初号機が北サイト (ラ パルマ) に建設され、2018 年 12 月にファーストライトを迎えた。さらに、同じく北サイトに建設される大口径望遠鏡 2-4 号機の鏡・カメラの組立て・試験も順調に進んでいる。また、カメラ開発で日本が貢献している中・小口径望遠鏡プロトタイプもファーストライトを迎え、試験観測が行われている。本講演では、CTA 計画全体の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V302a CTA 大口径望遠鏡初号機のカメラの較正と試験観測

齋藤隆之, 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 岡知彦, 梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也, 平子丈, 増田周, (京都大学), 奥村暁 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生 (茨城大学), 櫛田淳子, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 砂田裕志, 寺田幸功, 永吉勤 (埼玉大学), 田中真伸 (KEK 素核研), 田村謙治, 町支勇貴, 山本常夏 (甲南大学), 林田将明 (立教大学), 馬場彩 (東大理) 他 CTA-Japan consortium, 池野正弘, 内田智久, (KEK 素核研, Open-It)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画では、大中小3種類の口径の望遠鏡を用いて、20 GeV から 300 TeV のガンマ線を高感度で観測する。南北両半球に一つずつアレイが建設されるが、2018年に大口径望遠鏡 (Large Sized Telescope, LST) 初号機が北サイト (カナリア諸島ラパルマ) に完成した。LST のカメラは、7本の光電子増倍管 (PMT) を装備した PMT モジュール 265 台からなり、画素数は 1855 である。各モジュールにおいて、PMT の信号はプリアンプを経て読み出しボードに入る。バックプレーンを通して3モジュール (計 21PMT) の信号がアナログで足し上げられ、それが閾値を越えるとトリガが生成される。トリガがかかると PMT 波形は 1 GHz サンプリングでデジタル化され、カメラサーバーに送られる。本公演では、LST 初号機のカメラにおける各 PMT の増倍率の調整、出力電荷と検出光子数の較正、トリガタイミングの較正等について述べたのち、大気チェレンコフ光の試験観測の結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V303a SMILE-2+:MeVガンマ線気球観測における高エネルギー事象の解析

中村優太, 谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 竹村泰斗, 吉川慶, 阿部光, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 小野坂健, 齋藤要, 水本哲矢, 園田真也, 古村翔太郎 (京大), 黒澤俊介 (東北大 NICHe), 身内賢太朗 (神戸大), 澤野達哉 (金沢大), 濱口健二 (メリーランド大), 窪秀利 (京大), 小財正義 (JAXA), 莊司泰弘 (阪大)

銀河系内拡散ガンマ線におけるライン成分として電子陽電子対消滅線 (511 keV) や ^{26}Al (1.809 MeV)、 ^{60}Fe (1.173, 1.332 MeV) が検出されている。しかし、現状の観測では撮像精度が不十分であり、得られている銀河面内分布が不鮮明であるために陽電子の生成機構やこれらの放射性核種の生成候補天体についてははっきりとは分かっていない。撮像性能の向上には宇宙線と衛星筐体との間の相互作用によって発生する多量の雑音の除去や統計的撮像手法に依らない望遠鏡が必要である。

我々が開発を進めている次世代 MeV ガンマ線望遠鏡：電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) はコンプトン散乱の散乱体としてのガス飛跡検出器、散乱ガンマ線の吸収体としてのピクセルシンチレータアレイから成る。ETCC では取得した反跳電子飛跡を用いて電離損失率や運動学条件を用いた高精度な雑音除去が可能であり、また、電子反跳方向が求まることから個々のガンマ線事象に対して到来方向の決定も可能となっている。昨年実施した豪州 MeV ガンマ線気球観測実験 SMILE-2+ ではガス飛跡検出器内部で反跳電子が止まらない、約 800 keV 以上の高エネルギーガンマ線事象も解析可能となるよう装置設計の変更を行った。本講演では SMILE-2+ における高エネルギーガンマ線事象解析の開発状況およびフライトデータへの適用結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V304a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗

米徳大輔 (金沢大学)、HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線撮像検出器による突発天体の発見と、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行なう計画である。これにより、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態の観測、また重力波と同期した突発天体の観測などブラックホール形成の瞬間の物理を主要課題として掲げている。高エネルギー突発天体を利用して、初期宇宙探査、マルチメッセンジャー天文学、時間領域天文学を強力に推進する計画である。

突発天体を監視する広視野 X 線撮像検出器は、micro pore optics と呼ばれる X 線結像光学系と CMOS 検出器を用いたシステムを検討している。0.4–4.0 keV のエネルギー帯域において、約 1.2 ステラジアン of 広視野を、 10^{-10} erg/cm²/s @ 100 sec の感度で監視する。突発天体を発見した後、300 秒以内に衛星姿勢を変更し、近赤外線望遠鏡で追観測を行なう。望遠鏡の口径は 30 cm で、0.5–2.5 μ m の帯域において 4 バンドの同時測光観測を行い、高赤方偏移 GRB の同定や、重力波源の電磁波対応天体としての macronova の観測を行なう。

本講演では、計画全体の進捗報告とともに、(1) 熱数学モデルを用いた軌道上熱解析により、近赤外線望遠鏡の要求温度である 200K 以下を達成し、現実的な衛星姿勢変更において温度勾配は 5°C 未満で結像性能に影響を与えないと確認したこと、(2) 小型科学衛星標準バスの利用を前提とした簡易姿勢解析により、本ミッションで要求する 2 秒角/2 分という姿勢安定性要求を概ね達成できることを確認したことを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V305a HiZ-GUNDAM 搭載 CMOS イメージセンサーの放射線耐性評価

荻野直樹, 有元誠, 米徳大輔, 澤野達哉, 加川保昭, 渡辺彰汰, ホウユウ (金沢大学), 三原建弘 (理化学研究所), 平賀純子 (関西学院大学), 羽鳥聡 (若狭湾エネルギー研究センター)

現在, 赤方偏移 $z > 7$ の宇宙の物理状態についてはほとんど理解されていない. ガンマ線バースト (Gamma-ray Burst: GRB) は 10^{53} erg ものエネルギーをガンマ線として放射する宇宙最大の爆発現象であり, 初期宇宙を探る有力なプローブとして利用されている. HiZ-GUNDAM は, 軟 X 線帯 (0.4–4 keV) での突発天体観測を用いた初期宇宙・極限時空探査計画である. 特に時間変動の短い GRB の検出および位置同定を主目的としており, 0.1 秒程度の時間分解能と ~ 5 分角の精度の撮像性能が要求される. これらを同時に満足する検出器として Lobster-eye-optics と呼ばれる特殊な X 線光学系と焦点面検出器に CMOS イメージセンサー (以下, CMOS) を組み合わせた次世代 X 線検出器の開発を進めている.

CMOS の読み出し下限値 (LD) は ~ 0.2 keV @ -20 °C で HiZ-GUNDAM の要求性能を満たす有力なセンサーの候補である. そこで, 我々は CMOS が宇宙環境で利用可能であるか調査するために放射線耐性試験を行った. 強力な ^{60}Co を用いた TID (Total Ionizing Dose Effect) 実験では 30 krad 照射後も露光時間 0.1 s で動作させることによってダークノイズの影響を抑えることができ, HiZ-GUNDAM の要求を満足することがわかった. また, 220 MeV の He を軌道上 3 年分である 2.3 krad 照射した実験ではセンサー温度を -20 °C まで冷却することで LD の増加を ~ 0.3 keV まで抑えられることを実証した. 現在は 100 MeV の陽子線を 5 krad 照射することにより, 粒子線への耐性を評価しておりその結果について報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V306a 重力波源 X線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT³ フライトモデル製作状況 (4)

澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 加川保昭, 宮尾耕河, 渡辺彰汰, キムソンヨン, 橋建志 (金沢大学数物), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

連星中性子星衝突合体重力波イベント GW 170817 に同期したガンマ線バースト (GRB) GRB 170817A の電波残光で超光速運動が観測されたことから (Mooley et al. 2018)、相対論的ジェットが残光観測のフェーズで存在したことが確かめられた。一方、プロンプト放射が通常の GRB よりも 2-3 桁も暗かったこと (Abbott et al. 2017) は、角度構造をもつジェットからの放射としての解釈できるという報告があるが (Ioka&Nakamura 2019)、この仮説の検証には、重力波観測から得られる観測角、X線・ガンマ線の光度 (L_p) やエネルギー (E_{iso})、電磁波のエネルギースペクトル密度でのピークエネルギー (E_{peak}) の情報がこれまで知られている $E_{peak} - E_{iso}$ relation (Amati et al. 2002) や $E_{peak} - L_p$ relation (Yonetoku et al. 2004, Tsustui et al. 2013) に従うかを統計的に注意深く取り扱うことが重要である。従って、GW 170817/GRB 170817A のようなサンプルを増やすべく、広視野の X線・ガンマ線監視による早期の重力波天体の同定と多波長観測の実現が求められている。

我々は重力波天体の X線対応天体の検出と、位置・時刻情報の地上速報による重力波天文学への貢献を目指す超小型衛星計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。この衛星には 2 つのミッション機器を搭載する。ひとつは 1 次元コーデッドマスクを用い 15 分角の位置決定精度で突発天体を検出する X線撮像検出器 T-LEX、もうひとつは無機シンチレーターによる広視野ガンマ線検出器 KGD である。今回、T-LEX フライトモデルのスペクトル・ライトカーブ・イメージを含むミッションデータをオンボードで作成するファームウェア・ソフトウェアの構築を行った。本講演では、科学背景と Kanazawa-SAT³ が観測し生成するミッションデータで議論可能な展望を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V307a Kanazawa-SAT³ 搭載広視野 X 線撮像検出器フライトモデルの性能評価

宮尾耕河, 米徳大輔, 有元誠, 澤野達哉, 加川保昭, 渡辺彰汰, キムソンヨン, 荻野直樹, 橘建志 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

2015年9月14日、LIGOによる重力波の直接観測によって重力波天文学が幕を開け、VirgoやKAGRAの本格稼働によって重力波天文学のネットワークが広がってきている。重力波源の周囲の環境を電磁波で追観測することで、rプロセスによる重元素生成過程などの解明につながると期待されているが、重力波干渉計の観測だけでは10平方度程度の方向決定精度しかない。そこで金沢大学では、中性子星連星が衝突・合体する際に重力波とともに発生するガンマ線やX線の強力な放出であるShort Gamma-Ray Burst(SGRB)を検出し、その発生方向と発生時刻を決定して地上に通知することを目的とした超小型衛星Kanazawa-SAT³の開発を進めている。

我々はこの衛星に搭載する広視野 X 線撮像検出器 (T-LEX) を開発している。SGRBの初期放射やそれに付随して100秒程度続く軟X線の放射を観測対象としているため観測エネルギー帯域は2-20 keV、地上の大型望遠鏡による追観測を可能にするため角度分解能15分角、視野1ステラジアン以上を目標としている。方向決定にはコーデッドマスクとストリップ型シリコン半導体検出器(SSD)を用いる。現在、T-LEXの開発は実際に宇宙へ打ち上げるフライトモデルの性能評価の段階に入っている。14-35 keVのエネルギーをもつ複数のX線源の検出効率を測定することでSSDの空乏層の厚さを見積もった。また、SSDの信号の読み出しには1次元につき8チップのASICを用いるが、それぞれ64チャンネルの特性を知っておくことは観測データをハンドリングする上で必要不可欠である。衛星運用時に想定される、真空、-10°Cの環境下で、各チャンネルのエネルギーに対するデジタル値応答の線型性、またエネルギー分解能を求めた。本講演ではこれら性能評価実験の結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V308a Kanazawa-SAT³ 搭載ガンマ線検出器プロトフライトモデルの開発

渡辺彰汰, 澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 宮尾耕河 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 羽鳥聡 (若狭湾エネルギー研究センター)

ガンマ線バーストは、数秒間に 10^{53} erg ものエネルギーをガンマ線で放射する宇宙最大の爆発現象である。2017年8月17日、連星中性子星の合体を起源とする重力波が観測され、それと同期した同一方向からの短時間ガンマ線バースト (以下「SGRB」と称する) らしき天体現象が観測された。これは SGRB が中性子星の合体を起源とする理論モデルを強く支持する結果であるが、SGRB の発生過程の解明には至っていない。今後さらなる観測を行うことで、重力波から得られる母天体の情報と、電磁波から得られる SGRB の情報の統計的な議論が必要とされている。

そこで金沢大学では、重力波と同期した X 線 γ 線の観測を目的とした超小型衛星 Kanazawa-SAT³ 打上げを計画している。我々の研究室では観測機器開発を行っており、その1つがガンマ線を観測し、SGRB 到来時刻を決定するガンマ線検出器 (以下「KGD」と称する) である。

KGD は、CsI(Tl) シンチレーターと光子計測半導体素子 MPPC を組み合わせた検出器である。MPPC はアバランシェフォトダイオードの小さなセルを並べた素子であり、小型堅牢かつ、 $10^5 \sim 10^6$ の増倍率を持つ特徴がある。しかし、その持ち味である増倍率が温度により変化してしまう欠点を持っている。そこで KGD では温度センサーを用いて増倍率の変化を監視し、MPPC にかかる逆バイアス電圧にフィードバックをかけることで一定の増倍率を保つように設計を行っている。本講演は、科学目標や設計コンセプトを紹介したうえで、作成した KGD プロトフライトモデルのエネルギー分解能、温度センサーのフィードバックの評価の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a GRB 位置決定超小型衛星 CAMELOT を見据えた光検出素子 MPPC の基礎特性評価

廣瀬憲吾, 平出尚義, 内田和海, 鳥越健斗, 高橋弘充, 深沢泰司, 水野恒史 (広島大学), 久富章平, 山岡和貴, 中澤知洋 (名古屋大学), 大野雅功 (Eotvos U.), 羽鳥聡, 久米恭, 水嶋慧 (若狭湾エネルギー研究センター)

現在、我々はハンガリーの研究チームと合同でガンマ線突発天体全天観測ミッション:CAMELOT を計画中である。このミッションでは全天をカバーしつつ高い位置決定精度を実現するため、打ち上げられた複数の超小型衛星のイベントの検出時間差から位置決定を行う。これらの衛星の検出器部には CsI シンチレータと浜松ホトニクス社製の光検出素子 MPPC を接合したシンチレーション検出器を利用する。MPPC は小型かつ低動作電圧という利点を持つ。

本研究で用いた MPPC : S14160-6050HS は動作電圧が 40 V (1 世代前の S13360-6050CS に比べ 10 V 低い) で、消費電力に制限のある小型衛星ミッションに適している。この新型 MPPC は短波長域で高い感度を持つという特徴がある。これは、一般に紫外青色域で発光するシンチレータにとって利点となる。

今回行った実験では、MPPC の電流電圧特性を調べ、推奨動作電圧で ^{241}Am のスペクトルを取得し旧型 MPPC とデータを比較した。暗電流は旧型に比べ新型の方が数倍高かったが、青色域に高感度であったためエネルギー分解能は 60 keV で 23 % と旧型の 29 % からの向上を確認できた。さらにこれらの測定の温度依存性を調べ、低温でノイズを低減できることもわかった。本講演では、上記のような測定項目における新旧 MPPC の基礎特性の比較について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V310a GRB 位置決定超小型衛星 CAMELOT を見据えた光検出素子 MPPC の陽子線耐性の性能評価

平出尚義, 内田和海, 廣瀬健吾, 鳥越健斗, 高橋弘充, 深沢泰司, 水野恒史 (広島大学), 久富章平, 山岡和貴, 中澤知洋 (名古屋大学), 大野雅功 (Eotvos U.), 羽鳥聡, 久米恭, 水嶋慧 (若狭湾エネルギー研究センター)

CAMELOT(CubeSats Applied for MEasuring and LOcalizing Transients) は、複数の小型衛星を打ち上げて広い観測視野, 高い決定精度を持つガンマ線突発天体全天観測ミッションであり, ハンガリーの研究チームと共同で計画中である。我々日本チームは CsI シンチレータと光検出器 MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) からなる検出器部分を担当している。MPPC は APD をマルチピクセル化した光子計測デバイスであり, 小型かつ動作電圧が小さいという利点がある。しかし, MPPC は宇宙空間で使用された実績がほとんどなく, 軌道上陽子による悪影響が詳しく調べられていない。そのため, 検出器の放射線損傷による影響の評価が必要である。

本研究では浜松ホトニクス社製の新型 MPPC である S14160-6050HS を使用し若狭湾エネルギー研究センターにて, 宇宙線を模擬した 200 MeV の陽子を 300 rad, 1 krad, 5 krad 相当を照射した。ここで, 1 krad は衛星軌道上で 1 年間運用した際に想定される吸収線量に相当する。その結果, 大幅な暗電流の増加と, ノイズの立ち上がり成分であるエネルギーレスショルドの悪化, 増幅率の低下を確認した。また, 昨年度も同様の実験を 1 世代前の MPPC:S13360-6050CS でも行っており, 放射線による損傷を確認している。本講演では新型 MPPC が放射線損傷によりどのような影響が生じたかの結果を述べると共に, 旧型と新型の暗電流値, エネルギーレスショルド, 増幅率を比較して新型 MPPC が衛星軌道上の環境に耐えうるかについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V311c 全天 MeV ガンマ観測衛星計画 AMEGO の現状と日本の関わり

深沢泰司 (広島大学), 田島宏康 (名古屋大学), Jememy Perkins (GSFC/NASA), Julie McEnery (GSFC/NASA), AMEGO team

ガンマ線観測は、GeV 帯域では Fermi 衛星により高感度全天観測が続いており、TeV 帯域では CTA 望遠鏡が高感度観測を開始しようとしている。これらにより、2000 年以前に比べて観測感度は 2 桁向上している。一方、MeV ガンマ線帯域 (100 keV–10 MeV) は、軟ガンマ線側は Suzaku/HXD, INTEGRAL などにより向上したが、1MeV 以上は 1990 年代の CGRO 衛星 COMPTEL が達成した感度より向上していない。2000 年以降、さまざまな衛星計画が計画されては消えており、一方、複数の気球実験が実施されている。こうしたなか、GSFC/NASA を中心として全天 MeV エネルギーガンマ線観測計画「AMEGO」が提案された。AMEGO は 2030 年頃の打ち上げを目指しており、0.2 MeV – 10 GeV の帯域で、従来の 2 桁近い感度向上を目指し、さらにはガンマ線偏光観測も可能である。サイエンスでは、遠方ブレイザー天体によるジェットと SMBH の進化の関係、AGN や GRB のジェットの物理、超新星からの核ガンマ線、多数の未同定ガンマ線天体の探求、これらに付随する基本宇宙物理の理解が進むと期待されている。さらには、重力波や高エネルギーニュートリノとのマルチメッセンジャー天文学にも重要な役割を果たすと期待されている。日本からは、現状では半導体コンプトンカメラの開発経験をもつ数名がコンソーシアムに参加しており、シリコンセンサーの開発などで具体的な貢献が始まっている。今後は、2019–2020 年に予定されているガンマ線ビーム試験や気球実験などにより、技術実証が進み、具体的な衛星提案として進むことが考えられている。本講演では、AMEGO の観測装置の概要や期待されるサイエンス、日本の関わりも含めた現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V312a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (9)

鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉), 中島真也 (理研), 久保田あや (芝浦工業), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科), 内山泰伸 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/IPMU), 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 松本浩典, 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 栗木久光, 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 岡島崇, 森英之 (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

私達は 1-80 keV の広帯域X線を 10 秒角にせまる空間分解能で撮像分光する小型衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。特に 10 keV 以上の硬X線帯域で過去最高の角度分解能を発揮、従来に対し 1 桁以上高い硬X線感度を達成する。その主科学目的は、冷たいガスに埋もれた超巨大ブラックホール、天の川銀河系の孤立ブラックホール、存在が未確定の中質量ブラックホールなど、あらゆる階層における「ミッシングブラックホール」を探索し、それをプローブとして宇宙の進化を解明することである。また広がった硬X線天体に対しても過去最高の感度を発揮する。超新星残骸や銀河・銀河団などから、鉄やニッケル K 輝線を含む熱的放射や、シンクロトロン、(逆)制動、コンプトン散乱などの非熱的放射を捉え、高エネルギー宇宙の新たな地平を切り開く。現在我々は、2019 年度末のミッション提案を目指し、準備を進めている。講演では目指すサイエンスの検討と、国際協力、衛星システムデザイン、観測装置の準備状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V313a 小型衛星計画 FORCE 用の X 線反射鏡開発の現状 (2)

井出峻太郎, 松本浩典, 野田博文, 米山友景 (阪大), 栗木久光 (愛媛大), 田村啓輔, 三石郁行, 石橋和紀, 吉田篤史, 清水貞行 (名古屋大), 岡島崇, 森英之 (NASA/GSFC), 森浩二 (ISAS/JAXA), 他
FORCE WG

X 線天文衛星計画 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution) は、様々な質量範囲の「ミッシングブラックホール (BH)」を X 線で観測し、BH や銀河の進化の解明を目指す。その為には、エネルギー 1-80keV の X 線を角度分解能 (HPD)15 秒角で集光できる X 線望遠鏡が必要である。FORCE 計画では、NASA/GSFC で開発中のシリコン結晶薄板に多層膜を成膜したものを、反射鏡基板として使用する予定である。NASA/GSFC で製作された 2 回反射 1 ペアモジュールに大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 で平行 X 線ビームを照射し、反射光プロファイルを測定する実験を 2019 年 1 月に行った。30keV の X 線ビームを用いて得られた実験データの解析結果によると、HPD が要求値である 15 秒角を満たしていた事は 2019 春季年会で松本他 (V307b) により発表した。本講演では、15keV の X 線ビームから得られた解析結果を報告する。例えば、15keV の HPD 分布はサンプル全面で 15 秒角以下であった。また、有効面積と Point Spread Function の形状についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 38: X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能評価

児玉涼太, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 天野雄輝 (京都大学), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 北島正隼 (東京理科大学)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた X 線ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX はトリガ回路を各ピクセルに実装することで、時間分解能 $10 \mu\text{s}$ を実現する。これは、現行の X 線天文衛星で主力検出器として用いられている CCD の時間分解能を大幅に上回っている。また、6 keV の X 線に対して 299 eV (FWHM) という分光性能を実現した。現在は、軟 X 線側の検出感度・分光性能の向上が主要な開発項目となっている。我々はその第一歩として軟 X 線の性能評価を行い、本講演では、その結果について報告する。XRPIX の表面側には回路層、裏面側にはセンサ層が存在するため、軟 X 線は回路で吸収されないよう、裏面から入射させる必要がある。加えて、軟 X 線でもトリガがかかるように、トリガ回路の閾値を十分に下げる必要がある。しかし、そのトリガ閾値を下げると暗電流やトリガ回路起因のノイズが支配的になり、検出効率の低下を招くことが分かっている。本研究では、F-K α (0.68 keV)、Al-K α (1.49 keV) 等の X 線に対し、トリガ閾値を変化させて検出効率を測定することで、軟 X 線エネルギーに対するトリガ閾値の最適値を決定する。さらに、上述の単色 X 線に対する分光性能 (エネルギー分解能、テール構造など) を調べ、X 線エネルギーやセンサ層内における X 線吸収位置に対する依存性を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 39:新規構造を導入したX線SOIピクセル検出器の放射線耐性の評価

林田光揮, 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾, 北島正隼 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 天野雄輝, 児玉涼太 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 新井康夫 (KEK 素核研), 倉知郁生 (KEK), 濱野毅, 北村尚 (放医研), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専)

我々は次世代X線天文衛星「FORCE」への搭載を目的とし、SOI技術を用いたX線半導体検出器「XRPIX」の開発を行なっている。半導体検出器を軌道上で運用した際、宇宙線による放射線損傷により性能が経時的に悪化するため、地上において、損傷による性能の変化を定量的に評価しておく必要がある。我々は以前に、Single SOI構造のXRPIX2bが、陽子線損傷実験により軌道上約10年に相当する損傷では、性能の変化はみられず、十分な耐性を有すことを示した。ただし、さらに損傷が進むと、TID効果によりエネルギー分解能が悪化していることも分かった。そこで、センサー層と回路層の電氣的干渉を抑え、エネルギー分解能の向上を目的とした、Double SOI構造を用いたXRPIX6CとSingle SOI構造でもPinned Depleted Diode(PDD)を有するXRPIX6Eという2種類の異なる改良を施した素子を開発した。XRPIX6Cでの陽子線照射損傷実験から、軌道上約90年に相当する損傷でも、エネルギー分解能などの性能に大きな悪化は見られず、非常に高い放射線耐性を持つことがわかった。さらに、2019年7月にXRPIX6Eに対しても、陽子線損傷実験を行う予定であり、本講演では、その実験結果とXRPIX6Cとの比較の結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V316a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 40: イベント駆動読み出しにおけるヒットパターン処理回路の評価

日田貴熙, 武田彩希, 行元雅貴, 西岡祐介, 森浩二 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 天野雄輝, 児玉涼太 (京都大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 北島正隼 (東京理科大学)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、Silicon-on-Insulator (SOI) 技術を用いたセンサ・読み出し回路一体型の検出器であり、厚い空乏層と高度な信号処理を両立している。XRPIX では、各ピクセルにコンパレータ回路を組み込むことで、セルフトリガ機能を実装し、 $10 \mu\text{sec}$ 以下の時間分解能で X 線がヒットしたピクセルのみを読み出す「イベント駆動方式」を実現する。XRPIX は、イベント駆動読み出し時に検出された粒子によるヒットパターンを 1) 1 ピクセルのみヒット、2) 同時に 2 ピクセル以上が連続でヒット、3) 同時に 2 ピクセル以上が不連続でヒット、の 3 つの状態としてフラグを出力することができる。ヒットパターン処理機能は、FORCE におけるデータ処理で重要なものである。そこで、X 線・ β 線源等を使用し、線種によるパターン情報を解析することで、現在実装しているピクセル周辺回路 (デジタル回路) の有用性を評価した。本講演では、XRPIX のイベント駆動読み出しによるヒットパターン処理回路とその評価結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発

小高裕和, 春日知明, 會澤優輝, 丹波翼, 鈴木寛大, 畠内康輔, 高嶋聡, 馬場彩 (東大), 早藤麻美, 玉川徹 (理研), 周圓輝, 堤まりな, 内山慶祐, 武田朋志 (理科大/理研), 成影典之 (国立天文台), 高橋忠幸, 長澤俊作 (東大 Kavli IPMU), 朝倉一統, 林田清 (阪大)

X 線より高いエネルギーの偏光観測は技術的フロンティアに位置付けられている。10 keV 以下の軟 X 線の偏光観測は光電吸収型ガスピクセル検出器を用いた NASA の IXPE 衛星 (2021 年) によって実現する予定であり、30 keV 以上ではコンプトン散乱を利用した偏光計が成果を出しつつある。しかし、それらの間の 10–30 keV の硬 X 線帯の偏光測定、とりわけ偏光撮像は依然として困難である。この硬 X 線帯域は、高い偏光度が期待できる非熱的放射や散乱による放射が卓越し、光子フラックスも十分にあるため、天体物理学における重要性は非常に高い。したがって、この帯域における偏光撮像の実用的な技術の確立が急務となっている。

我々はシリコン固体検出器を用いた偏光計の開発を進めている。偏光を測るには光電吸収に伴う光電子の放出方向の測定が必要であるため、 $2.5\ \mu\text{m}$ の微小なピクセルサイズを持つ CMOS イメージセンサを用いる。シンクロトロン放射光ビームを用いて偏光測定能力の評価を行い、モジュレーションファクターが 16 keV で 12% との結果を得た。この結果を先行実験である SPring-8 における 12.4, 24.8 keV の測定 (Asakura et al., 2019) と比較した。撮像方式としては、ミラー光学系の他、超小型システムを実現可能な符号化開口も検討している。今回は符号化開口マスクをレーザー微細金属加工により製作し、CMOS センサと組み合わせ撮像能力を評価した。また Zynq SoC を用いたデータ取得系の開発も進めている (Ishikawa et al., 2018)。本講演では、撮像偏光計システムのコンセプトとその性能評価について報告し、目指すサイエンスミッションとその課題について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V318a シンクロトロン放射光を用いた高エネルギー X 線偏光計の性能評価

大久保美穂 (東理大・理研), 早藤麻美, 北口貴雄, 玉川徹 (理研), 周圓輝, 堤まりな, 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登 (東理大・理研), 榎戸輝揚 (京都大), 岩切渉 (中央大), 岸本俊二 (KEK)

X 線偏光観測は、ブラックホールや中性子星など高エネルギー天体の磁場の方向やジオメトリを探る重要な手法である。2021 年にはイメージング型偏光計を搭載した IXPE 衛星が打ち上がる予定であり、2–8 keV の X 線偏光観測の発展が期待される。いっぽうで、非熱的放射が優勢になり、偏光を発する天体が増える高エネルギー X 線帯域では、コンプトン散乱型偏光計を用いた気球実験 (PoGO+, X-Calibur) により、20 keV 以上の偏光観測が行われた。しかし、非熱的放射の偏光と、十分な光子統計が期待できる 8–20 keV 付近に観測ギャップが生じている。

我々はこれまで、2–10 keV で量子効率の稼げる Time Projection Chamber 型偏光計を開発してきたが、ガスの種類をより原子番号の大きな Ar にし、圧力も 4 倍の 1 気圧にすることで、20 keV 付近の偏光が観測できることを確認した (若松ほか, 2018 春)。今回は、チェンバーを軽量化して回転できるようにし、90 度回転させたデータを足し合わせることで、擬似的に無偏光 X 線の照射ができるようにした。さらに、シンクロトロン放射光施設 KEK-PF BL-14A において、12, 14, 16 keV の 3 エネルギーで偏光観測実験を行なった。ビームの偏光度は高いモジュレーション因子 (約 90%) を持つ、コンプトン散乱を利用した別の偏光計で測り、その値を用いて我々の偏光計のモジュレーション因子 (偏光検出能力) を求めたところ、16 keV で約 40% となった。本講演では、偏光計の詳細とシンクロトロン放射光実験による性能評価の結果の詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V319a 硬X線偏光観測実験 X(L)-Calibur 気球の2018年の観測結果と2021年フライトへ向けた準備状況

高橋 弘充、内田 和海、深沢 泰司、水野 恒史 (広島大学)、北口 貴雄、玉川 徹、早藤 麻美 (理化学研究所)、周 圓輝、堤 まりな、内山 慶祐 (東京理科大学)、林田 清、松本 浩典、常深 博 (大阪大学)、榎戸 輝揚 (京都大学)、田村 啓輔 (名古屋大学)、前田 良知、石田 学、斎藤 芳隆 (宇宙科学研究所)、宮澤 拓也 (沖縄科学技術大学院大学)、粟木 久光 (愛媛大学)、郡司 修一 (山形大学)、Henric Krawczynski、Brian Rauch、Manel Errando (ワシントン大学)、Fabian Kislak (ニューハンプシャー大学)、岡島 崇、David Stuchlik、林 多佳由 (NASA)、Mark Pearce、Mozsi Kiss (スウェーデン王立工科大学)、XL-Calibur チーム

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量 (磁場や幾何構造など) が得られる強力な観測手段である。しかしX線やガンマ線など高エネルギー帯域では、いまだ観測天体は数天体に限られており、我々は日米瑞の国際協力で、X(L)-Calibur 気球実験を推進している (PI: Henric Krawczynski)。X(L)-Calibur は、硬X線望遠鏡によって天体信号を集光することで、20-80 keV において高感度な偏光観測を実現させる。

これまでに、X-Calibur 実験として2018年12月に南極において3日間の科学観測を実施した。秒角で姿勢制御し、大質量X線連星 GX 301-2 からの天体信号の検出に成功している。今回は日本製の大型 FFAST 望遠鏡を搭載した XL-Calibur 実験を、2021年にスウェーデンから1週間の長期フライトさせる計画である。これにより、かにパルサーのパルス位相毎の偏光度、ブラックホール連星 Cyg X-1 のコロナ放射からの偏光の初検出を目指す。現在、気球搭載に向けた FFAST 望遠鏡の改修、南極から回収した偏光計の動作チェックを日米で進めている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320a 太陽 X 線撮像分光観測ロケット実験 FOXSI (1) –遮光フィルター開発と FOXSI-3 の観測初期解析結果–

清水貞行、三石郁之、加藤渉、大西崇文、石川真之介 (名古屋大学)、成影典之、高棹真介 (国立天文台)、高橋忠幸、古川健人、長澤俊作 (東京大学 Kavli IPMU)、渡辺伸 (ISAS/JAXA)、L. Glesener、Athray P.、S. Musset、J. Vievering (ミネソタ大)、J. C. Buitrago-Casas、S. Krucker (カリフォルニア大バークレー校)、S. Christe、D. Ryan (NASA/GSFC)

我々は、2018年9月7日太陽 X 線観測ロケット実験 Focusing Optics Solar X-ray Imager の3回目の打ち上げ (FOXSI-3) に成功した (2018年度秋季 成影他、2019年春季年会 成影他、石川他)。FOXSI は太陽の小規模なエネルギー解放や高エネルギー現象を捉えることを目的とし、過去2回の打ち上げでは高感度の硬 X 線観測により太陽コロナ中のわずかな超高温 (10 MK 以上) プラズマの評価を行ってきた (Ishikawa et al. 2014; 2017)。FOXSI-3 は最高到達高度約 300 km の弾道軌道で約 15 分間飛行し、活動領域・静穏領域・太陽の北極域といった X 線輝度の異なる3つの太陽コロナ領域を、約6分間観測した。これにより史上初めて、太陽のほぼ全面にわたって 0.5 – 5 keV の軟 X 線領域において X 線光子一つ一つのエネルギーを検出する photon-counting の手法による撮像分光観測データを得ることができ、合計数百万個以上の軟 X 線光子の検出に成功している。

本講演では、太陽からの強烈な可視光を遮断するための遮光フィルター開発 (2019年春季年会 三石他) において、特に UVSOR で実施した軟 X 線透過率測定とその一様性調査結果について詳細にのべる。またロケット実験で得られた各観測領域からのエネルギースペクトル解析において、温度・エミッションメジャーをはじめ、鉄・マグネシウム・シリコンなどの重元素量の空間分布と時間変動について、初期解析結果を簡単に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 IV

佐藤浩介(埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也(首都大)、山崎典子、中島裕貴、満田和久、石田学、前田良知(ISAS/JAXA)、三石郁之、田原譲(名古屋大)、藤本龍一(金沢大)、鶴剛(京大)、太田直美(奈良女子大)、大里健(IAP)、中島真也(理研)、藤田裕(大阪大)、永井大輔(Yale大)、吉川耕司(筑波大)、河合誠之(東工大)、旧 DIOS ワーキンググループ

2021年度打ち上げ予定のX線分光撮像衛星「XRISM」や2030年代初頭に稼働する欧州のAthena衛星によりX線帯域において、エネルギー空間での高い分光能力と空間的な高分解撮像が可能となるものの、宇宙の構造形成の解明のためには、宇宙の大規模構造に沿って分布すると考えられているダークバリオンの分布と量の観測が不可欠である。高いエネルギー分光能力と撮像能力、広視野を用いたサーベイ観測を目的とするSuper DIOS計画は、中高温銀河間物質(WHIM)のX線観測を通してダークバリオンを定量的に観測するだけでなく、広がった輝度の低い天体領域、銀河団の外縁部や銀河の周りのハローなどの精密分光に非常に有用であり、銀河、銀河団の力学的成長の過程や、宇宙における元素の物質循環を解明できると期待される。

我々は、Super DIOSのサイエンス要求を宇宙論的シミュレーションデータベースIllustrisをもとに検討を行っており、この結果をもとに検出器の要求に関する議論を行う予定ある。同時に、WHIMの定量的な評価や銀河や銀河団、フィラメント構造の同定方法などの解析手法の開発も進めている。並行して、観測器系の技術検討、開発も行い、広視野かつ高空間分解能を実現するX線望遠鏡、多画素のTESマイクロカロリメータからの信号を読み出すマイクロ波多重SQUID読み出し系の開発を進めている。本講演では、Super DIOSのサイエンス検討状況や技術立証の見通しについて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V322a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の開発

竹原佑亮, 瀧川歩, 清水貞行, 吉田篤史, 山口友洋, 三石郁之, 叶哲生, 立花健二 (名古屋大学)

宇宙 X 線望遠鏡にはこれまで、高角度分解能実現のため数枚の分厚い (≥ 1 cm) 反射鏡を磨く直接研磨型や、大きな有効面積を獲得するため薄い (≤ 1 mm) 反射鏡を同心円状に十から二百枚程度積層した多重薄板型が多く採用されてきた。近年では、 $10 \mu\text{m} - 1$ mm 程度の微細穴の側壁を X 線反射面とすることで、高角度分解能かつ大有効面積を併せ持つ次世代 X 線望遠鏡の開発が世界各国で精力的に進められている。

我々はその中で電鍍技術に着目し、秒角の高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の実現を目指し開発に着手した。電鍍は超精密原盤の nm レベルの構造を、電気化学反応により原盤表面にメッキし、脱型することで超高精度に転写することができる技術である。また二枚の反射鏡の組み合わせ精度向上のための二段一体構造、さらには周方向の反射鏡配置誤差を抑えるための全周構造が容易に実現できることも特長である。これまで我々は高精度原盤の製作を目指した切削・研磨工程、高精度原盤から電鍍鏡を脱型するまでの独自の電鍍工程の条件出しを進めてきた。前者については、評価の簡易性から小片平板に対して単結晶ダイヤモンドによる切削、磁気粘弾性流体を用いた研磨を施すことで、機械的な表面粗さが $1 \mu\text{m}$ スケールで ~ 0.2 nm (rms), $30 \mu\text{m}$ スケールにて ~ 0.6 nm を達成している (三石他 日本天文学会 2019 年春季年会)。

今回我々は母線方向の評価を行うため、小片平板サンプルに対して最適化された切削・研磨条件を用いて、直径と高さが 100 mm、周方向の長さが 10 mm 程度の二段一体 Wolter-I 型の部分鏡製作を試みた。本講演では小片平板に対する X 線散乱測定による結像性能および光学的表面粗さの見積もりや、部分鏡製作時に用いた原盤の機械的表面粗さ評価などの結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V323a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状

江副祐一郎(首都大), 三好由純(名古屋大), 笠原慧(東大), 船瀬龍(JAXA 宇宙研), 永田晴紀(北海道大), 中嶋大(関東学院大), , 三石郁之(名古屋大), 石川久美, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 満田和久, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩, 上野宗孝(JAXA 宇宙研), 平賀純子(関西学院大), 小泉宏之(東大), 佐原宏典(首都大), ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は世界初の地球磁気圏の X 線撮像を目指す衛星計画であり、次の太陽活動極大が期待される 2022-25 年頃の打ち上げを目指している。太陽から吹く高速のプラズマ流である太陽風には酸素や窒素などの多価イオンが含まれ、地球周辺の超高層大気である外圏と衝突して電荷交換反応による X 線を生じる。イオンの空間分布は、地球磁気圏の太陽側境界面の構造を反映するため、X 線は目には見えない磁気圏構造を可視化する全く新しい手段になると期待されている(江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018 JATIS など)。

地球周りの電荷交換 X 線放射は月付近から見た場合、 $10^{\circ} \times 20^{\circ}$ 程度に大きく広がっていると考えられ、多くの X 線天文衛星が投入されてきた近地球軌道よりも遠くから俯瞰的に観測する必要がある。そこで我々は本目的に特化した GEO-X 衛星計画を提案し、昨年度より JAXA 宇宙理学委員会の Working Group として活動している。現状、12 U CubeSat 約 25 kg に月付近までの高度に投入するための推進系 約 25 kg を加え、約 50 kg の衛星となる予定である。搭載機器は、限られた重量・電力リソースの中で広がった天体への高感度を実現するため、マイクロマシン技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡と pixel 毎に読み出しが可能な半導体ピクセルセンサーという新技術を採用する。こうした超小型衛星と搭載機器の技術は将来の惑星探査や超小型天文衛星にも繋がると考えている。講演では開発検討の現状と XRISM 衛星などの将来計画とのシナジーについても述べたい。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324a MEMS 技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡の ALD による Pt 膜付加工

伊師大貴, 江副祐一郎 (首都大), 石川久美 (ISAS/JAXA), 沼澤正樹, 大坪亮太, 福島碧都, 鈴木光, 湯浅辰哉, 内野友樹, 作田紗恵 (首都大), 満田和久 (ISAS/JAXA), M. J. Sowa (Veeco/CNT)

我々は Micro Electro Mechanical System (MEMS) 技術を用いた独自の超軽量 X 線望遠鏡を開発している (Ezoe et al. 2010 MST)。厚み $300\ \mu\text{m}$ の Si 基板に幅 $20\ \mu\text{m}$ の曲面微細穴を多数開け、側壁を X 線反射鏡として利用する。Si は MEMS 技術で加工しやすい反面、X 線反射率は大反射角・高エネルギー側において小さい。そこで我々は微細穴側壁に一樣に金属を膜付けできる原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition, ALD) による Pt 成膜を試した。ALD は重金属を含むガスと酸化ガスを交互に流し、純金属を膜付けする技術である。我々は Si と Pt の密着性を高めるために Al_2O_3 層を $10\ \text{nm}$ 入れ、前駆体ガスに MeCpPtMe_3 及び O_2 ガスを用いて Pt 層を $20\ \text{nm}$ 成膜した (Takeuchi et al. Appl. Opt. 2018)。Al $K\alpha$ $1.49\ \text{keV}$ において Pt 成膜による入射角 $>1\ \text{deg}$ の反射率向上を確認したが、表面粗さは成膜後 $2.2\pm 0.2\ \text{nm rms}$ と見積もられ、我々が搭載を目指す軟 X 線 ($<2\ \text{keV}$) による超小型磁気圏撮像衛星 GEO-X の要求値 $<2\ \text{nm rms}$ に対して更なる改善が求められていた。

表面粗さの課題を解決するため、我々は酸化ガスに O_2 プラズマを用いた Pt 成膜を試した。ALD サイクル初期は確率的に原子が堆積するため、金属の島状成長が避けられない。ラジカルの高い反応性を利用すれば、表面反応を促進できる。同様に Al_2O_3 $10\ \text{nm}$ 及び Pt $20\ \text{nm}$ の膜付け後、Al $K\alpha$ $1.49\ \text{keV}$ において反射率向上を確認し、さらに表面粗さは $1.6\pm 0.2\ \text{nm rms}$ と有意な改善を示した。これは GEO-X の要求値を満たし、なおかつ成膜前の表面粗さ $1.2^{+0.4}_{-0.2}\ \text{nm rms}$ とも大差ない。本講演では、ALD による MEMS X 線望遠鏡の Pt 膜付加工と評価に加え、側壁よりも表面粗さの良い Si 基板表面 ($<1\ \text{nm rms}$) に対する Pt-ALD 後の測定結果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V325a 超薄膜グラフェンを用いた飛翔体搭載用軟 X 線光学素子の開発

中山恵理子, 竹原佑亮, 三石郁之, 田原譲, 堀田貴都, 北浦良 (名古屋大学), 吾郷浩樹, 河原憲治, Pablo Solis Fernandez (九州大学)

薄膜を用いた光学素子は、宇宙分野でも特に軟 X 線を対象とする飛翔体において、熱制御、可視光防護、汚染物質防護目的のために利用されている。具体的には、反射鏡の熱歪みによる性能劣化、太陽光からの強烈な可視光による検出器ノイズの増加、アウトガスによる観測効率の劣化を防ぐことなどが目的として挙げられる。薄膜光学素子の実体は、アルミが成膜されている数百ナノからミクロン厚程度の薄膜フィルムと支持材としての金属メッシュ、さらに機械強度部材としての金属フレームである。この薄膜光学素子には各飛翔体で要求される打ち上げ・軌道上環境耐性はもちろん、観測効率の向上を目指した高い X 線透過率が求められる。

従来の薄膜光学素子の場合、その材質には機械強度や耐熱性に優れるポリイミドが多く用いられ、その厚さは 100 nm 程度以上であった。そのため、天文学的に重要な重元素である炭素の吸収端附近を含めた軟 X 線帯域において、透過率についてはまだ改善の余地がある (例えば 100 nm 厚で $\sim 60\%$ @0.3 keV)。そこで我々は耐熱性・機械強度がより優れ、1 層が炭素原子 1 個分の薄さのグラフェン ($\sim 3\text{\AA}$ 厚) に着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 ($>95\%$ @ 10–1000 eV) を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。

これまで我々はグラフェンの金属メッシュへの転写には成功したものの、膜質が悪く転写時に破れが生じた。また転写後のフリースタンディンググラフェンへのアルミスパッタにも試み、成功している。今後は高品質グラフェンを用いて、支持材のデザイン検討や、振動・熱・原子状酸素などの環境耐性評価試験を行っていく予定である。将来的には宇宙飛翔体用のみならず検出器窓等の地上応用も考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V326a 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 III

大上千智, 栗木久光, 相田望 (愛媛大学), 松本浩典, 野田博文, 米山友景, 井出峻太郎 (大阪大学), 三石郁之, 田村啓輔, 中澤知洋, 石橋和紀, 清水貞行, 吉田篤史 (名古屋大学), 石田 学, 前田良知, 中庭望 (ISAS/JAXA), 杉田聡司 (青山学院大学)

CFRP(炭素繊維強化プラスチック) は、炭素繊維と樹脂から構成される複合材料であり、強度を密度で割った比強度が大きく、軽量・強度が要求される航空・宇宙関連分野で構造系部材としてよく用いられている。熱膨張率など CFRP の物理特性は望遠鏡の大型化軽量化に適したものであり、CFRP の成型性の良さから、我々は宇宙観測用望遠鏡の候補として Wolter 1 型形状をもつ反射鏡の開発を進めてきた。現在、基板上への反射面形成法として、レプリカ法に代わる超薄板ガラスを用いる方法を開発している。

この方法は、平滑な面 ($\sigma \sim 0.4 \text{ nm}$) を持つ $50 \mu\text{m}$ 厚の超薄板ガラスを CFRP 基板に貼り付けるものである。レプリカ法よりも簡便に、かつ、CFRP 成形と独立に反射面を形成できるという利点がある。超薄板ガラスを接着する際に、点状に複数箇所接着剤を塗布し、固着する方法を前回紹介した。この手法では接着剤塗布箇所では接着剤の硬化収縮によるガラス基板の変形が見られたものの、塗布箇所以外の 3 割程度の領域では可視平行評価、X 線評価ともに、40~50 秒角を達成した。その後、ガラスを両面テープで接着する方法を検討することで、これまでのガラス基板の変形を減らすことができるようになった。反射膜を蒸着していないガラス基板の可視光による評価では、各段の一回反射で 2030 秒角、二回反射に換算して 3040 秒角の角度分解能を達成した。本講演では、7月上旬に実施予定の X 線評価試験の結果も踏まえて、この手法の現状と課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V327a CubeSAT 搭載を目指した Kirkpatrick-Baez 型 X 線ミラー光学系の開発

前田 良知, 浅井 龍太, 鈴木 瞳, 安藤 晴也, 武尾 舞, 中庭 望, 石田 学 (ISAS/JAXA)

Kirkpatrick-Baez (KB) 型 X 線ミラー光学系は、しばしば 1 次元の集光ミラーを二段組合わせて構築される。ミラーを多重に重ねることで大きな集光力を持たせることができる (多重型)。1 辺 10cm の反射鏡基板を用いると、1 辺 10cm 程度の立方体で 1 段分の望遠鏡を自然に構成することができる。一方、CubeSAT も一辺 10cm の立方体をユニットとして標準化が進んでいる。CubeSAT の限られたスペースを最大限に生かし、有効面積の大きな X 線望遠鏡を構築できる可能性が KB 型 X 線ミラー光学系にはあると考えている。

当研究では、昨年度試作した多重型 KB 型 X 線ミラー光学系の試作結果を報告する。市販の安価な 10cm 角の W を成膜したガラス基板を用い、10 枚分を多重化し、1 次元の X 線望遠鏡を組み上げた。反射鏡は、3 次元プリンターにより製作された構造 (通称、アラインメントバー) で粗く位置決めし、反射位置を測定しながらマイクロメーターで細かい精度調整した位置に固着した。組み上げ後、宇宙科学研究所の 30m ビームラインでペンシルビームを照射した。1 次元の角度分解能は 1.4 分角 (Half Power Width) 相当であった。

当講演ではこれらの試作結果に報告すると共に、スリットからなる前置光学系と組合わせた超解像望遠鏡の構想を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a 補償光学を利用した直入射 EUV 望遠鏡によるサブ秒角撮像

北本 俊二、津久井豊、福一誠 (立教大理)

補償光学を利用した直入射 EUV 望遠鏡の開発を行なっている。100mm 口径で焦点距離 2 m の主鏡と 55mm 直径の副鏡を用い、副鏡を可変形鏡としている。レーザープラズマ光源を使用して、13.5nm を含む EUV を発生させ、その EUV を主鏡から約 4m 離れたところに設置した直径 25 μ m のピンホールを通して、望遠鏡に導き入れている。EUV は Mo/Si の多層膜コーティングを施した主鏡、副鏡をほぼ直入射で反射させ、ピンホールの像を裏面照射型 CCD で撮像している。主鏡、副鏡ともに 13.5nm の EUV に対して直入射でおよそ 50% と 72% の反射率がある。ピンホールから少し離れたところに、1 μ m のピンホールを通した可視光レーザーを置き、このレーザー光も同じく主鏡、副鏡を反射させ、CCD の横に設置した波面センサーに導き、波面測定を行い、測定結果を使って、可変形鏡である副鏡を制御して、波面を整えている。また、光源とピンホールの間には Zr フィルターを置き、可視光は遮断している。撮像の結果、ほぼピンホールのイメージが取得でき、そこから、ピンホールによる広がり差を差し引き、レイレーの基準に換算すると、0.3 秒角の角度分解能を達成できている事がわかった。補償光学の効果とさらなる高分解能に向けての考察を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329b 多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発 –10m 構成の実験と二次元撮像–

林田清、朝倉一統、米山友景、野田博文、岡崎貴樹、井出峻太郎、石倉彩美、服部兼吾、佐久間翔太郎、花岡真帆、松本浩典、常深博 (大阪大学)、栗木久光 (愛媛大学)、中嶋大 (関東学院大)

我々は、格子とピクセル検出器という単純な構成で実現する X 線干渉計、多重像 X 線干渉計 (MIXIM; Multi Image X-ray Interferometer Module (Mission)) を発案し、その開発をすすめている (Hayashida+2016、2018)。2019a 年会では、ピクセルサイズ $2.5\ \mu\text{m}$ の CMOS 検出器を使用した放射光施設 SPring-8 BL20B2 における実験結果を紹介した。格子は、ピッチ $9.6\ \mu\text{m}$ 、 $4.8\ \mu\text{m}$ 、開口率 0.2、0.5 の計 4 種類を利用している。検出器のピクセルサイズが小さくなったことにより、像幅はより小さく (最小 0.26 秒角)、干渉縞のコントラストが大幅に向上した (最高 0.88) (花坂剛史 2018 年度修士論文)。偏光検出性能もあわせもっていることも実証した (Asakura et al., JATIS, 2019)。ただしこの実験では、格子・検出器間距離として、超小型衛星を想定した 46cm、92cm、184cm のセットアップを中心に行った。また、格子、従って撮像も全て一次元であった。

MIXIM のひとつの特長は、格子周期と格子・検出器間距離をあわせて変えることで実現するスケラブルなミッション形態にある。一般的な構成の X 線天文衛星に寄生する形態の MIXIM-P では、格子・検出器間距離 $\sim 10\text{m}$ で 0.1 秒角の像幅が期待できる。2019 年 7 月に同じく SPring-8 BL20B2 で実施する予定の実験では、これを模擬して約 10m の格子・検出器間距離をとり、撮像性能の評価を行う。加えて、二次元撮像の最初のステップとして、直交させた 2 枚の一次元格子を用いた実験を行う。本発表ではこれらの結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V330b 全天X線モニタ用光学系の開発

杉田聡司, 小野澤英樹, 小笠原健也, 斎藤祥太, 奥野充, 清田力, 吉田篤正 (青山学院大学), 前田良知 (ISAS/JAXA)

国際宇宙ステーションに搭載された全天X線観測装置 MAXI/GSC は、92分の軌道周期で全天の約85%の領域をスキャン観測することができるため、重力波源の広い誤差範囲をカバーし早期X線放射の観測が期待できる。Advanced LIGO と Virgo によって検出された重力波源 GW170817 では初めて電磁波対応天体が発見され世界中で多波長追観測が行われたが、発生時に MAXI は高バックグラウンド帯を通過していたため高圧を落としており、最初に観測を実施できたのは重力波検出の4時間40分後であった。一方で、付随した GRB170817A X線残光の明るさはこれまで観測されてきた短いガンマ線バーストに比べ非常に暗く、GSC が1周回目(92分以内)で観測していたとしても GRB170817A の早期残光は検出感度より暗かった可能性が高い。

通常より暗い可能性がある GW イベント付随 GRB 残光のX線全天モニタによる検出を可能にするため、我々はX線全天モニタ用の光学系の搭載を検討している。X線反射鏡で集光することによって光子統計を増やしかつ検出器を小型化することで高い検出感度の達成が期待できる。通常、全反射を用いるX線光学系においては入射角に厳しい制限がつくため視野は小さくなるが、MAXI/GSC の様な走査型の場合、全天モニタの走査方向にのみ一次元集光系を加えることによって1周回時の全視野は減らさずに受光量を増やすことが可能になる。

MAXI/GSC より二桁良い検出感度 0.1 mCrab/scan を目標に、我々は全反射過程を含めた Geant4 によるシミュレーションや平面X線反射鏡の試作及び評価(反射率測定など)を行なっている。本講演ではシミュレーションによる光学系のデザイン検討とX線反射鏡の試作結果などを報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V331b X線天文衛星 Athena 搭載用 SPO 反射鏡の光学定数測定

栗木久光, 康王珠 (愛媛大学), 松本浩典, 野田博文, 米山友景, 井出峻太郎 (大阪大学), 前田良知 (ISAS/JAXA), 宮澤拓也 (OIST), 三石郁之, 田村啓輔, 石橋和紀, 清水貞行, 吉田篤史 (名古屋大学), M. Bavdaz (ESA), M. Collon (Cosine), M. Guainazzi (ESA), S. Svendsen (DTU), Athena SPO team

Athena (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics) は、European Space Agency (ESA) が Cosmic Vision Program において採択した、2030 年代初頭の打ちあげを目指す大型 X 線天文衛星である。Athena は、1) 物質がどのようにして今日の大規模構造へと集積したのか、2) どのようにして巨大ブラックホール (BH) は成長し周囲に影響を与えたのか、という現代宇宙物理の 2 大問題の解明を目指す。1 平方メートルを超える大面積の望遠鏡と、焦点面に TES 型マイクロカロリメーターアレイを用いた高エネルギー分解能分光撮像検出器 (X-IFU) と、半導体検出器 DEPFET を用いた広視野撮像分光検出器 (WFI) を搭載する。

Athena 用の高角度分解能大面積望遠鏡は SPO (Silicon Pore Optics) 技術を用いて製作される。この技術では、十分な形状精度と表面粗さを持つシリコンウェハを望遠鏡基板として使用し、その基板にリブ構造を設け、イリジウムなどの反射面金属を成膜した後、リブをスペーサーとして多数枚積層し、望遠鏡を構成する。我々は、今年 1 月に大型軌道放射光施設 SPring-8 にて、イリジウムを成膜した SPO 反射鏡基板の光学定数を計測した。エネルギー範囲は 10 keV 以上である。角度スキャンの結果からイリジウムの膜厚が約 10 nm であること、表面粗さが 0.3–0.4 nm、光学定数 δ , β が 2.46×10^{-5} , 1.47×10^{-6} (11 keV での値を例として示す) との結果を得た。SPring-8 では、X-IFU のエネルギー分解能よりも小さい 1.5 eV ステップでイリジウムの反射率も測定しており、これらの結果も踏まえて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V332b 銀河面からの軟 X 線背景放射 (6)

三石郁之, 吉田篤史, 志村拓馬 (名古屋大学)

軟 X 線 ($\lesssim 1$ keV) の背景放射成分に対して、銀河面中性物質の吸収による X 線強度の減衰が予想より小さいことから、銀河面特有の軟 X 線放射成分が示唆されている (McCammon & Sanders 1997)。その後、すさく衛星を用いた軟 X 線分光解析により、温度 1 keV 程度の未知の超過成分が検出された (Masui et al. 2009)。銀河面他 14 領域に対してもその全てから同様の熱的超過成分が検出されており、熱的超過成分は銀河面全体に存在することが示唆された (三石他 日本天文学会 2013 年秋季年会)。また広視野・高角度分解能 XMM-Newton のデータを用い、熱的超過成分に対する点源の寄与が見積もられ、数領域と限られたものではあるが、X 線点源による熱的超過成分の殆どが星起源であることが示唆された (中野他 2017 年秋季年会, 石原他 2018 年秋季年会)。

そこで我々は系統的に調査するため、XMM-Newton 衛星の全アーカイブデータを調べ、観測時間 60 ks 以上の高品質データ 34 領域を選択した。各領域の点源数は 70–200 個にもものぼり、これらの足し合わせスペクトルの放射モデルを推定した。結果、全領域で熱的超過成分を検出した。その温度は 0.9 ± 0.1 keV (1σ) でほぼ一様であり、強度は $(0.3\text{--}12) \times 10^{-13}$ erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$ とばらつきが見られた。このうち 22 領域では、温度 ~ 0.2 keV のプラズマ放射成分も同時に検出され、放射起源が多温度のプラズマ構造を持つことが示唆された。次に、近赤外線観測データを用いて恒星とのマッチングを行い、近赤外対応 X 線点源を抽出した。これらの分光特性を調査した結果、全領域で先行研究と同様に超過成分の大半を恒星が担うことを初めて明らかにした。さらに可視光観測データからスペクトルタイプを調べると、超過成分に寄与する点源のほとんどが、G 型以下の晩期型星であった。本講演では解析手法および結果の詳細報告をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a X線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (4)

玉川 徹, 早藤麻美, 北口貴雄 (理研), 周圓輝, 内山慶祐 (理科大/理研), 三石郁之, 田原譲, 清水貞行, 竹原佑亮, 山口友洋 (名古屋大), 郡司修一, 斎藤 耀 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 山本龍哉 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 岩切 渉 (中央大), 林田 清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されているが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。2017年1月にNASA小型衛星計画として、NASAマーシャル宇宙飛行センター(NASA/MSFC)がイタリアと共同提案したIXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) が採択され、2021年の打ち上げが決まった。これにより、2-10 keV帯域の高感度軟X線偏光観測が実現することとなった。

IXPE衛星には日本から国際協力により参加しており、JAXA小規模プロジェクトの枠組みでハードウェア貢献を進めてきた。提供するのには、名古屋大学が開発した受動型熱光学素子であるX線望遠鏡サーマルシールドと、理化学研究所が開発した、X線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイル(GEM)である。サーマルシールドはフライト品製作に向けた準備が進んでおり、GEMはすでにフライト品の納品を完了し、X線偏光計への組み込みが進んでいる。IXPE衛星計画は2018年11月に、設計段階へ進む審査(KDP-C)を通過し、打ち上げに向けて大きく前進した。2019年6月末にCDR(詳細設計審査)が予定されている。本講演では、IXPE衛星計画の現状、ハードウェア準備・試験状況、日本グループの参加状況について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V334a X線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (5)

三石郁之, 清水貞行, 山口友洋, 竹原佑亮, 田村啓輔, 田原謙, 大西崇文, 立花一志, 宮田喜久子 (名古屋大学), 玉川徹 (理研)

NASA/MSFC が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げが予定されている。我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡の軌道上での温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体はシールド本体のアルミ薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属枠からなる。IXPE ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、初の国内産ポリイミドフィルムの使用を予定している。これまで我々はエンジニアリングモデルユニットの設計・製作・評価工程の確立までを終え、2018 年 5 月に NASA/MSFC に納品した (三石他, 二村他, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2018 年春・秋季年会)。納品後も、特にアルミ膜質のさらなる向上を目指した条件出しや評価方法の検討を継続的に進め、より緻密な薄膜構造の実現に成功した。また原子状酸素への耐性評価試験も同時に進め、 10^{20} atoms cm^{-2} のフラックスに対しては有意なアルミ膜厚や照射量依存性は見られなかった (清水他 日本天文学会 2019 年春季年会)。

現在は NASA/MSFC でのエンジニアリングユニットを用いての望遠鏡単体評価試験の結果を受け、フライトモデルユニットへの設計・製作・評価工程の詳細確認作業を進めている。フライトモデルユニットは 2019 年 10 月頃の納品を予定している。本講演では、フライトモデルユニット開発の現状や望遠鏡に取り付けての単体評価試験、および衛星本体に取り付けての総合試験を含めた開発スケジュールについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V335a シミュレーションを用いた IXPE 衛星による X 線偏光解析手法の研究

山本龍哉, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大), 玉川徹, 早藤麻美, 北口貴雄 (理研), 三石郁之, 田原譲, 清水貞行, 竹原佑亮, 山口友洋 (名古屋大), 郡司修一 (山形大), 周圓輝, 内山慶祐 (東理大), 岩切渉 (中央大), 榎戸輝揚 (京都大), 林田清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O' Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

IXPE 衛星は 2021 年 4,5 月頃に打ち上げ予定で、NASA の MSFC と ASI の共同で行われるミッションである。日本はハードウェアの鍵となる部分を提供しており、ミッションの実現と科学成果の創出に貢献する。打ち上げ前には、観測計画を立てたり、偏光解析のノウハウを確立する必要があり、ixpeobssim と呼ばれる専用のシミュレーションソフトでそれを行う。ixpeobssim はあらかじめ観測天体のフラックス、エネルギー分布、座標、空間分布や偏光情報などを設定し、予想される検出器応答を考慮しながら観測シミュレーションを行える。この ixpeobssim を使い、点状 X 線源を用いてエネルギー分解能、有効面積、角度分解能、モジュレーションファクターを求め、装置の応答が適切に組み込まれていることを確認した。さらに、点状 X 線源の観測シミュレーションの出力に対し、従来の偏光解析手法であるモジュレーションカーブを用いて解析を行い、また新しく提案 (Kislat+ 15, Vink+ 18) された、イベント毎のストークスパラメータ Q, U の推定値を用いる解析を行い、共に設定した偏光度と方位角を再現できることを確認した。現在は Q, U 次元マップを用いた解析方法の検討を行っている。本講演ではこれらシミュレータの検証と、偏光解析手法の検討について報告及び議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V336a 機械学習を用いた飛跡画像処理による光電子追跡型X線偏光計の感度向上および IXPE 衛星データへの応用

北口 貴雄, 玉川 徹, 早藤 麻美 (理研), 岩切 渉 (中央大), 榎戸 輝揚 (京都大), 水野 恒史 (広島大), Niccolò Di Lalla (INFN-Pisa)

我々は宇宙X線の直線偏光を観測するために、X線偏光計を開発している。この偏光計はガス電子増幅器を内蔵するガス検出器で、X線とガスが反応して飛び出す光電子の飛跡を撮像できる。K殻からの光電子は、入射X線の電気ベクトル方向に飛びやすいため、その射出方向を測ることで、入射X線の偏光情報を取得できる。我々の偏光計では、飛跡はX線入射方向に射影した2次元画像として得られ、その大きさは約 $3.6 \times 3.6 \text{ mm}^2$ で、 30×30 画素から成る。偏光計の感度を高めるためには、飛跡から最初の射出方向を正確に求める画像処理が必要になる。

我々は発展著しい機械学習に着目し、畳み込みニューラルネットワークを構築して、教師あり学習による分類を用いて、光電子の射出方向を予測した。その結果、従来法より感度が 10-20% 向上できたことを、2017 年秋季年会 (V324a) で報告した。しかし得られた変調カーブには系統誤差がのり、それを消す工夫が必要であった。そこで今回は、損失関数に変調カーブの非一様性を表すペナルティ項を、パルス信号サーチで使われる H 統計量を応用して導入し、訓練し直した。その結果、感度はサブ%劣化するが、無偏光変調カーブは平らになった。

開発した方法は、同様に光電子飛跡画像から偏光情報を得る IXPE 衛星 (2021 年打ち上げ予定) のデータにも応用できる。ただし IXPE 偏光計は、上記偏光計と異なり、画素が蜂の巣状に並んでいるため、 64×64 画素の四角形タイルに変換し、上記ネットワークを入力画素数に合わせて改造した上で学習させた。その結果、IXPE データでも同様に、偏光感度の改善が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V337a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 IV

Y. Ishisaki^{A,I}, R.L. Kelley^B, H. Akamatsu^C, H. Awaki^D, T.G. Bialas^B, G.V. Brown^E, M.P. Chiao^B, E. Costantini^C, J.-W. den Herder^C, M.J. Dipirro^B, M.E. Eckart^B, Y. Ezoe^A, C. Ferrigno^F, R. Fujimoto^{G,I}, A. Furuzawa^H, S.M. Graham^B, M. Grim^C, T. Hayashi^B, T. Horiuchi^I, A. Hoshino^B, Y. Ichinohe^K, R. Iizuka^I, K. Ishibashi^J, M. Ishida^I, K. Ishikawa^I, C.A. Kilbourne^B, S. Kitamoto^K, M.A. Leutenegger^B, Y. Maeda^I, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^J, H. Mori^B, S. Nakashima^M, T. Ohashi^A, T. Okajima^B, S. Paltani^F, F.S. Porter^B, K. Sato^O, M. Sawada^B, H. Seta^A, Y. Shibano^I, P.J. Shirron^B, G.A. Sneiderman^B, Y. Soong^B, A.E. Szymkowiak^P, Y. Takei^I, T. Tamagawa^M, M. Tsujimoto^I, Y. Uchida^O, C.P. de Vries^C, S. Yamada^A, N.Y. Yamasaki^I, S. Yasuda^I, N. Yoshioka^I (首都大^A, NASA^B, SRON^C, 愛媛大^D, LLNL^E, U-Geneva^F, 金沢大^G, 藤田保健衛生大^H, JAXA^I, 名古屋大^J, 立教大^K, U-Wisconsin^L, RIKEN^M, 東北大^N, 埼玉大^O, Yale-U^P)

X線分光撮像衛星 XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) に搭載される *Resolve* は、50 mK の極低温で動作する 6×6 のマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 m の多重薄板 X 線望遠鏡から成り、日米欧で開発を進めている。NASA 担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキ、X 線望遠鏡については 2017 年より FM 製作を開始、FM センサ評価においては「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本では液体 He デュウワについて 5 月のメーカー審査でゲートバルブ、冷凍機振動を減衰させるアイソレータなど全ての設計が確定し、すでに FM 製作を開始していた部分を用いて超流動液体ヘリウムを用いた低温リーク試験を実施した。波形処理装置 PSP についても、設計確認会を完了して FM 製造に入った。この講演では *Resolve* の開発の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V338a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (2)

林多佳由, 岡島崇, Yang Soong, 森英之, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Marshall Sutton, Marton Sharpe, Larry Lozipone, Sean Fitzsimmons, Tony Baltusis, Dan Dizon, Richard Kelley, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 石田学, 前田良知, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 石崎欣尚 (首都大), 藤本龍一 (金沢大), 林田清 (大阪大)

我々は NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で、X線分光撮像衛星 XRISM に搭載する、X線望遠鏡 (XMA) を開発している。XMA は XRISM の2つの観測システム (Resolve, Xten) で X線の集光、結像を担う。XMA はひとみ衛星の軟 X線望遠鏡 (SXT) と、設計上、ほぼ同等であり、150-300 μm 厚の反射鏡のペアを同心円状に 203 層並べた構造をしている。2019 年 6 月初旬に反射鏡の生産が完了し、望遠鏡本体の組み上げと反射鏡のアライメントを進めている。アライメント手法は試行錯誤している段階であるが、これまでに、反射鏡を全て挿入した 4 分の 1 口径望遠鏡 (Quadrant: QT) の 1、2、3 号機で、それぞれ 1.23、1.05、1.11 分角の角度分解能を達成している。これは、XMA の要求性能 (1.7 分角) を大きく上回っており、特に 2、3 号機は SXT の性能 (1.2 分角) も上回っている。この結果は、2019 年春季年会で報告した通り、ガラスシートを用いた反射鏡面形状の改善や、アライメント機構の高精度化によるものと考えられる。今後、2 号機以降の調整で改良したアライメント手法によって、1 号機の再調整を予定している。本講演では、講演までに完成した QT の性能や、プリコーメータのブレードの違いによる迷光への影響など、開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V339a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟X線撮像装置の開発の現状 (2)

村上弘志 (東北学院大学), 林田清 (大阪大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 中嶋大 (関東学院大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 内山秀樹 (静岡大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

2021年度に打ち上げが予定されているX線分光撮像衛星 (XRISM) には、X線ミラー (XMA) と CCD カメラ (SXI) からなる軟X線撮像装置 (Xtend) が搭載される。38分角の広視野が特徴であり、0.4–13 keV のエネルギーバンドをカバーする。本講演では、Xtend について SXI を中心とした報告を行う。

CCD は 2019 年 4 月より FM 候補素子の納入が始まっており、選定に用いるデータを順次取得している。エネルギー分解能、電荷転送非効率、可視・赤外遮光性能などの指標を用いて順位づけを行い、最終的に FM として用いるものを決定する。

CCD 素子以外の部分では、ASTRO-H で発生した異常の対策として電気系の改修が実施されている。また、読み出しに用いる ASIC の評価試験も行われ、FM に供する素子の選定が行われている。

これら個々の試験の結果に加え、全体的な製作・試験の最新状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V340b XRISM 衛星搭載 Xtend 用フライト CCD 素子スクリーニングシステム

野田博文、米山友景、林田清、朝倉一統、岡崎貴樹、松本浩典 (大阪大)、天野雄輝、内田裕之、田中孝明、尾近洸行、鶴剛 (京都大)、中嶋大 (関東学院大)、金丸善朗、佐藤仁、高木駿亨、西岡祐介、森浩二 (宮崎大)、富田洋 (ISAS/JAXA)、小林翔悟 (東京理科大)、村上弘志 (東北学院大)、萩野浩一、幸村孝由 (東京理科大)、山内誠、廿日出勇 (宮崎大)、信川正順 (奈良教育大)、信川久実子 (奈良女子大)、平賀純子 (関西学院大)、内山秀樹 (静岡大)、山岡和貴 (名古屋大)、尾崎正伸、堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)、常深博 (大阪大)、他 Xtend team

2021 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) には、X 線 CCD カメラを用いる軟 X 線撮像装置 Xtend を搭載する。Xtend の CCD 素子の設計は「ひとみ」軟 X 線撮像装置 SXI のものを踏襲するが、大きく 2 つの改善策を施す。1 つ目は、素子内の可視光遮断層を増やすことでピンホール数を削減し、可視光に対する遮光性能を向上する。もう 1 つは、電荷転送路にノッチ構造を導入することで、電荷転送非効率 (CTI) を抑え、エネルギー分解能を向上すると同時に、軌道上の放射線損傷によるエネルギー分解能の劣化を防ぐ。

大阪大学で行なった試作 mini CCD の系統的な測定によって改善策の有効性が確認できたため (2019 年春年会岩垣発表 V321a)、2019 年 6 月現在、浜松ホトニクス社にて Xtend 用フライト CCD 候補素子 12 個が順次製作され、大阪大学に納入されている。そこで我々は、X 線発生装置や可視光・赤外線照射用 LED を備えたフライト CCD 素子スクリーニングシステムを大阪大学クリーンブース内に構築し、CTI、エネルギー分解能、軟 X 線に対するレスポンス、可視光・赤外線の遮光性能などを測定し、フライト品となるベスト 4 素子の選定を行っている。本講演では、スクリーニングシステムの概要を紹介し、Xtend フライト CCD 素子選定の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V341b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮像装置 Xtend のフライト用X線 CCD 素子の性能評価 (1): 電荷転送効率評価

佐藤仁, 金丸善朗, 高木駿亨, 寺田裕大, 住田知也, 森浩二 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 田中孝明, 内田裕之, 天野雄輝, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子, 齋藤真梨子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

X線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟X線撮像装置 Xtend は、軟X線反射鏡とX線 CCD カメラの組み合わせにより、0.4–13 keV の帯域において 38 分角平方の広視野を実現する。X線 CCD カメラとしては、空乏層厚 $200\mu\text{m}$ を有する P チャンネル CCD 素子を裏面照射型として採用し、その 4 素子を 2×2 のモザイク状に並べることで、高感度・大面積を実現している。これまでにフライト用X線 CCD の仕様を確定し、2019年6月時点では、納入された複数の候補素子から衛星搭載用の素子選定をおこなっている段階である。フライト用素子の性能評価をおこなうにあたり、電荷転送効率は最重要評価項目の1つである。電荷転送効率は CCD 検出器に固有の評価項目であり、製造過程、補償方法、放射線損傷の度合により値が影響を受ける。また、一般的にその値は信号の電荷量に対する依存性を持ち、場合によっては、素子上での場所の依存性も見られることがある。本講演では、この Xtend のフライト用X線 CCD 素子の電荷転送効率の評価の最新結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V342b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮像装置 Xtend のフライト用X線 CCD 素子の性能評価 (2): 軟X線応答評価

高木駿亨, 金丸善朗, 佐藤仁, 寺田裕大, 住田知也, 森浩二 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 田中孝明, 内田裕之, 天野雄輝, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子, 齋藤真梨子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

X線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟X線撮像装置 Xtend は、軟X線反射鏡の焦点面にX線 CCD カメラを配置する構成を取る。X線 CCD 素子としては、空乏層厚 $200\mu\text{m}$ を有する P チャンネル CCD 素子を採用し、これを裏面照射型で用いる。2019 年 6 月の本稿作成時点では、納入された複数の候補素子から衛星搭載用の素子の評価・選定をおこなっている段階である。裏面照射型として使用することによる低エネルギー側での高感度を活かすためにも、軟X線での性能評価も重要評価項目の1つになる。特に入射面における不感層は検出効率に直接的に影響するため、素子選定の段階で、その厚みが許容範囲内に納まっていることを確認することが必須になる。また、硬X線側に比べ、軟X線側では単色X線スペクトルにおけるテール構成成分が相対的に強いことから、今回のフライト用素子におけるその度合も評価項目となる。本講演では、この Xtend のフライト用X線 CCD 素子の軟X線応答評価の最新結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V343b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X線撮像装置 Xtend のフライト用 X線 CCD 素子の性能評価: Grade 間における波高値の違いの評価

齋藤真梨子, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川正順, 迫聖 (奈良教育大学) 金丸善朗, 佐藤仁, 高木駿亨, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 林田清, 野田博文, 松本浩典, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 常深博 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 田中孝明, 内田裕之, 天野雄輝, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

我々は X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend 用に CCD 素子の開発を行なっている。CCD 素子の仕様は、可視光遮断層と電荷転送路へのノッチ導入という改善を行なっているが、基本的に「ひとみ」軟 X 線撮像装置 SXI を踏襲している。「ひとみ」SXI 用素子では、1 ピクセルイベント (Grade0) と比べて、複数ピクセルにまたがったイベント (Grade 2, 3, 4, 6) の方が波高値が高くなるという現象があった。さらに波高値の差にはエネルギー依存性があった。そこで「ひとみ」SXI では、電荷雲の広がりピクセルサイズを越えて大きく薄く広がった成分があると仮定してモデルを構築し、エネルギーの多項式関数を用いた補正を行なった。本研究ではまずこの仮定を検証するために、「ひとみ」SXI のフライト素子のデータを用いた解析を行った。イベント中心の周囲 3×3 ピクセル全ての波高値を足し合わせたところ、Grade 間の波高値の差は大きく減少した。すなわち Grade 法では大きく薄く広がった電荷雲成分を取りこぼしている可能性が高い。次に、Xtend 用 X 線 CCD のフライト用素子のデータでも Grade 間の波高値を比較した。その結果、Grade 0 より Grade 2, 3, 4, 6 の方が波高値が高く、波高値の違いにはエネルギー依存性が存在した。本講演では、解析結果の報告と補正方法の検討を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V344b X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 用試作 miniCCD の評価 (2)

岡崎貴樹、林田清、野田博文、朝倉一統、米山友景、松本浩典 (大阪大)、信川久実子 (奈良女子大)、中嶋大 (関東学院大)、金丸善朗、佐藤仁、西岡祐介、森浩二 (宮崎大)、富田洋 (ISAS/JAXA)、萩野浩一、幸村孝由 (東京理科大)、尾近洗行、田中孝明、内田裕之、鶴剛 (京都大)、村上弘志 (東北学院大)、山内誠、廿日出勇 (宮崎大)、信川正順 (奈良教育大)、小林翔悟 (東京理科大)、平賀純子 (関西学院大)、内山秀樹 (静岡大)、山岡和貴 (名古屋大)、尾崎正伸、堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)、常深博 (大阪大)、他 Xtend team

我々は2021年度末に打ち上げを予定しているX線分光撮像衛星XRISM搭載の軟X線撮像装置Xtendの開発を進めている。XtendのX線検出器であるCCD素子には、2016年打ち上げのひとみ衛星に搭載された軟X線撮像装置SXIをベースとして、可視光遮断層におけるピンホール数や電荷転送非効率(CTI)の改善を目指して改良を施した。その有効性を評価するため、衛星搭載用大型素子(FM素子)からピクセル数を1/20にした試作miniCCDを制作し、大阪大学にて評価試験を行った。それらの結果は2018年秋季年会(V309b)や2019年春季年会(V321a)等で発表した。2019年3月よりFM素子の選定作業を行っており、FM素子生産の過程で作成されるminiCCDの性能評価も並行して引き続き行ってきた。

miniCCDの性能評価ではこれまでMn-K α 線(5.9 keV)を用いてゲインやエネルギー分解能、CTIを算出していたが、新たにNp-L α 線(13.9 keV)も用いて性能評価を行った。本公演では、Mn-K α 線に加えてNp-L α 線も用いたFM素子ロットminiCCDの性能評価の最新結果を発表する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V345b X線分光撮像衛星XRISM搭載軟X線撮像装置XtendのX線シールド

永友健太郎, 廿日出勇 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 平賀純子 (関西学院大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 他 XRISM/Xtend チーム

X線分光撮像衛星XRISMに搭載される軟X線撮像装置(Xtend)は、X線ミラー(XMA)とCCDカメラ(SXI)で構成されており、0.4-13keVの帯域で38分角の広視野観測が可能である。X線シールドの目的は、XMAを經由せずにSXI受光部に侵入する視野外のX線を遮蔽し、これらのX線入射がSXIのバックグラウンドの主要因にならないように抑制することである。視野外からのX線は、衛星筐体を透過して入射するX線と衛星筐体で散乱された太陽X線の2つに分類できる。透過X線に対しては、固定式光学台(FOB)のプレート面にリング状の錫シールドを設置して対応した。また、散乱X線に対しては、SXI受光部から見える衛星筐体(プレートの一部)に太陽X線が当たらないようにFOBの太陽側の側面にカーテン状の錫シールドを設置して対応した。本講演では、X線シールドの概要、Geant4を用いたシミュレーションによる衛星筐体による太陽X線の散乱量の評価、評価結果をもとにASTRO-Hからシールドを強化した点について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

V346a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器にむけたパイルアップシミュレーターの構築

丹波翼, 小高裕和, 馬場彩 (東京大学), 村上弘志 (東北学院大学), 森浩二 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 他 XRISM MOPT グループ

2021 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM には、軟 X 線撮像を目的とした CCD 検出器 Xtend-SXI が搭載される。撮像型検出器では、1 フレームに多くの光子が入射すると、複数のイベントが1つのイベントとして統合されて処理される「パイルアップ」が起こるため、グレード分岐比の大きな変化やスペクトルの高エネルギー部分の過大評価といった問題が生じる。イベント処理を再現するシミュレーションを用いてパイルアップを評価し、従来のイベント解析手法に改良を加えることは、特に明るい天体を観測する上で非常に重要である。

我々は SXI のパイルアップを評価するとともに、それを用いた新たなイベント解析手法の開発を進めている。「すざく」の観測データを用いたパイルアップの評価は先行研究で行われており、パイルアップ度合いの高い点源の中心に近づくにつれて、高エネルギー側のカウントレートが過大評価される (Yamada et al. 2012)。我々は明るい X 線連星 Aql X-1 の「すざく」の観測データを解析した結果、CCD 検出器 XIS において、5–10 keV の光子指数が、パイルアップしていない部分では 2.80 ± 0.16 (半径 60–120 ピクセル) であるのに対し、パイルアップしている部分では 2.43 ± 0.17 (半径 0–25 ピクセル) であり、点源の中心でスペクトルが有意に硬くなるというスペクトル解析の系統的なバイアスを確認した。これはパイルアップに起因するものであり、我々は天体の信号と CCD 検出器の応答及びイベント処理のアルゴリズムをモンテカルロシミュレーションに実装して観測の再現を行っている。また、本講演ではパイルアップした観測データを復元する解析手法の検討状況の報告も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a MAXI による軟X線新星 MAXI J0126–745 の発見と 10 年間に発見されたブラックホール天体

根来 均, 中島基樹, 丸山和貴子, 小林浩平, 青木真凜 (日大), 岩切 渉, 佐々木 亮 (中大), 芹野素子 (青学), 三原建弘, 中平聡志, 松岡 勝 (理研), 河合誠之, 大枝幹 (東工大), 上田佳宏 (京大), 志達めぐみ (愛媛大), 山岡和貴 (名大) 他 MAXI チーム

軟X線新星 MAXI J0126–745 は、2019 年 6 月 1, 2 日に SMC X–1 から約 1.3° 離れた領域で MAXI/GSC により検出された (Negoro et al. ATel. #12833)。GSC の観測でのピーク強度は 2–4 keV で 24 ± 5 mCrab であったが、GSC の検出限界以下となった 3 日に Swift/XRT により行われた追観測では検出されなかった。検出されなかった原因としては、XRT による観測が GSC による位置決定の誤差領域の 6 割強の範囲であったことから、XRT の視野外であった可能性や、新星の爆発初期を初めて捉えた軟X線新星 MAXI J0158+760 (Morii et al. 2013, ApJ, 779, 118) と同様な、1 日以下のタイムスケールでの急激な減光による可能性が挙げられる。

一方、この 1 年間のうちに MAXI が発見した、MAXI J1631–479 (小林浩平らの講演) と MAXI J1348–630 (大枝幹らの講演) がその後の観測によりブラックホール天体である可能性が極めて高くなった。その結果、この 10 年間で MAXI が発見した銀河系内のブラックホール (候補) 天体の数は、2004 年から観測を始めた Swift 衛星を抜いて、歴代単独 2 番の 12 個となった。(1 番は、1995 年から 17 年間稼働した RXTE 衛星の 15 個。)

講演では、MAXI J0126–745 のほか、GRS 1915+105 (Iwakiri et al. ATel. #12761, 12787) や AT Mic (Sasaki et al. ATel. #12748) からの巨大フレアの検出など、2019 年度前半の MAXI による速報の報告とともに、MAXI により発見された 12 のブラックホール天体の特徴と発見の意義について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W02a ブラックホール候補天体 V4641 Sgr の X 線モニタ観測

山岡和貴 (名古屋大), John A. Tomsick (UC Berkeley)、中平聡志 (理研)

ブラックホール候補天体 V4641 Sgr は 1999 年 9 月に X 線で突然かに星雲の 12 倍 (12 Crab) に達し、1 日以内に減光してしまった特異な天体である。1999 年以降アウトバーストを繰り返してきており、RXTE 衛星や国際宇宙ステーション実験 MAXI によって全天・銀河面監視が行われてきた。特に 2005 年以降は 2005, 2007, 2008-2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2018 とほぼ 1-2 年でアウトバーストを起こしており、Swift 衛星 XRT によって 0.3-10 keV の X 線分光観測を行ってきた。しかし、これらの観測は、最大でもかに星雲の 7% (70 mCrab) と比較的暗い状態にあった。XRT のスペクトルは幾何学的に薄く、光学的に厚い降着円盤 (円盤黒体放射モデル) でよく説明され、円盤の内縁温度は 1.0-1.6 keV と高めで、内縁半径は 1-4 km と小さい。これらは一見するとソフト状態といえるスペクトルのように見えるが、1) そもそも光度はエディントン光度の 1% 以下と低く、通常 1-3% 以下ではハードステートとなるはず、かつ、2) 観測された内縁半径は変化している上に、値も最内縁安定軌道より小さく物理的に説明できないことから、降着円盤からの放射の多くは直接観測者に見えていないことを示唆する。これらは、1 keV にも迫る等価幅の鉄輝線が観測されることともコンシステントである。本講演では、RXTE 衛星、Swift 衛星、MAXI、NuSTAR、「すざく」衛星による観測結果について詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W03a ブラックホール連星 GRS 1915+105 の 24 年間の X 線変動の解析

白石一輝、橘優太郎、河合誠之（東京工業大学）

MAXI/GSC と RXTE/ASM の 24 年間の観測データを用いて、GRS 1915+105 の X 線光度曲線と時間変動性を調べた。その結果、GRS 1915+105 は数ヶ月から数年の時間尺度で継続する複数の特有状態を遷移することがわかった。本講演では、GRS 1915+105 の特有の状態と X 線放射機構、状態遷移について発表を行う。

「MAXI/GSC と Swift/BAT を用いたマイクロクエーサー GRS 1915+105 の長期間の状態遷移の解析」の題で行った 2019 年春季年会の講演では、MAXI/GSC と Swift/BAT の 10 年間（2009 年 8 月から 2019 年 5 月）の観測データを用いることで色強度図上で GRS 1915+105 を 3 種類の Branch に分類できること。さらに、その色強度図上の特徴から 3 種類の Branch を Diagonal Branch、Soft Branch、Faint Branch と名付け、各 Branch に対して X 線放射機構の考察を行った。本研究でそれに加えて RXTE/ASM の観測データ（1996 年 1 月から 2011 年 10 月）を用いて対象期間を 24 年間に拡張した研究である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W04a 光赤外線大学間連携によるマイクロウェーサー GRS 1915+105 の近赤外線観測

村田勝寛, 安達稜, 河合誠之 (東京工業大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 森鼻久美子 (名古屋大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 高橋隼, 加藤則行, 高山正輝, 戸塚都, 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 今里郁弥, 中岡竜也, 笹田真人, 秋田谷洋 (広島大学), 高木聖子 (北海道大学), 大朝由美子, 宝田拓也 (埼玉大学), 諸隈智貴 (東京大学), 野上大作, 山中雅之 (京都大学), 花山秀和, 堀内貴史 (国立天文台), 白石一輝, 大枝幹, 谷津陽一 (東京工業大学), 他光赤外線大学間連携メンバー

マイクロウェーサー GRS 1915+105 は、2018年7月頃から X 線で非常に暗い特異な状態が続いていたが、2019年5月14日から X 線フレアが検出され (Atel 12761) はじめ、暗い継続的な放射と大規模な物質降着や放出が起こる新たな状態へと遷移したと考えられている。我々は、X 線フレアが検出された翌日の5月15日から、光赤外線大学間連携の枠組みにより、IRSF 1.4 m 望遠鏡、なゆた望遠鏡、かなた望遠鏡を用いた近赤外線モニター観測をはじめた。経度の異なる南アフリカと日本の観測により、天候が良い日にはおよそ半日ごとに数時間の連続観測を実現できた。観測した多くの日に赤外線フレアを検出し、特に $J(1.25\ \mu\text{m})$, $H(1.63\ \mu\text{m})$, $K_s(2.14\ \mu\text{m})$ の三色同時観測を6時間おこなった5月21日には、全バンドで20–50分の準周期的なフレアを検出した。このフレアは振幅や発生間隔は過去の赤外線フレアに類似しているが、典型的にはフレアの立ち上がりが減衰よりもゆるやかである点が特徴的である。すべてのフレアで近赤外線3バンドのフラックスが単一の相関関係にのることから、これらのフレアは共通する物理プロセスで引き起こされている可能性が高い。また、フレアの観測された色は、ほぼフラットなスペクトルが $A_V \sim 18$ で赤化したものと一致する。本発表では、以上の結果について報告するとともに、フレアの起源について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W05a BH X線連星 MAXI J1820+070 の2019年の再増光時における多波長観測

安達稜, 村田勝寛, 大枝幹, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 花山秀和, 堀内貴史 (国立天文台), 高木聖子 (北海道大学), 大朝由美子, 宝田拓也 (埼玉大学), 諸隈智貴 (東京大学), 森鼻久美子 (名古屋大学), 野上大作, 山中雅之 (京都大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 中岡竜也 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 志達めぐみ (愛媛大学), MITSuME チーム, 光赤外線大学間連携メンバー

MAXI J1820+070 は2018年3月11日に全天X線監視装置 MAXI によって発見されたブラックホール X線連星である。2018年のアウトバースト時には可視光でも増光しており、ピーク時には12等に達していた。2019年の初頭には静穏期の明るさに近づきつつあった。しかし、2019年3月12日に可視光で再増光が報告され (Atel #12567)、ピーク時にはおよそ14等にまで達した。

我々は、光赤外線大学間連携 (OISTER) の望遠鏡を9台用いて、可視光から近赤外線までの広い波長帯で、再増光してからの MAXI J1820 に対する集中的な観測を実施した。さらに、3月23日、4月15日、16日の3日間について X線観測装置 NICER との同時観測を行なった。その中から、可視光の6バンド g' , Rc, Ic, r, i, z での同時観測を行なった3月23日の結果に注目する。この日の可視光のライトカーブには、各バンドで相関のある数十秒スケールでの変動があることがわかった。その変動について色に注目して解析を行うと、べき乗則 ($F_\nu \propto \nu^\alpha$) に従い、そのスペクトル指数は $\alpha \sim -0.8$ であった。これはジェットのシンクロトロン成分で説明できる指数である。また、同じ日の NICER との同時観測のデータから、X線のライトカーブには数秒スケールと数十秒スケールの2つの変動が確認された。このうち数十秒スケールの変動は、可視光の変動と相関があることが分かった。本講演では、多波長観測によって分かったこの数十秒スケールの変動成分について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W06a Gaia による恒星質量ブラックホールの観測可能性

鹿内みのり (東京大学), 熊本淳 (東京大学), 谷川衝 (東京大学), 藤井通子 (東京大学)

恒星質量程度のブラックホールは天の川銀河内に $10^8 - 10^9$ 個ほどあると推測されている (van den Heuvel 1992) が、ほとんどが未検出である。このようなブラックホールを観測する方法として重力波観測 (Abbott et al. 2018) 以外に、連星観測がある。Gaia では連星の速度変化から連星の軌道や質量比が分かるので、恒星質量ブラックホールは恒星との連星として観測される可能性がある。

Yamaguchi et al. (2018) では、このような連星が Gaia の五年の観測期間で $\sim 200 - 1000$ 個検出されると予想している。しかし、ここではブラックホール連星が孤立連星起源であると仮定しており、星団起源の連星について議論されていない。本研究では、N 体シミュレーションコード Nbody6++GPU を用いて散開星団モデルを計算し (Kumamoto et al. 2019, プログラム番号 W53a 2018 秋季年会)、星団から脱出する連星の性質を調べた。

解析の結果、ブラックホールと恒星の連星では、質量と周期によって四つのグループ (Group 1~Group 4) に分けられることが分かった。Group 1 は、伴星質量が $\sim 10 - 25M_{\odot}$ 、周期が 10 - 100 日のグループである。これらは脱出時刻が比較的早く ($\sim 10\text{Myr}$)、今後 BH-BH 連星へと進化し、合体すると考えられる。Group 2 は、伴星質量が $\sim 1 - 10M_{\odot}$ 、周期が 10 年 - 100 年ほどのグループである。このグループは脱出時刻が $\sim 10 - 1000\text{Myr}$ と遅い。この星団で形成する典型的な周期は星団の密度や質量によって決まるが、このグループは典型的な周期を持つ連星である。Group 3 は Group 1 と Group 2 の中間に存在する。周期は ~ 60 日 - 3 年で、このくらいの周期を持つ連星は Gaia で観測される可能性がある。シミュレーションで得られた伴星の質量分布をもとに、Gaia で観測されうる連星の個数を概算する。Group 4 は、周期が $\sim 200 - 2$ 万年のより長周期のグループである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a メーター波電波パルス観測による我が銀河中心巨大ブラックホール・バイナリーの検証

大家 寛、土屋史紀、三澤浩昭、熊本 篤、加藤雄人（東北大学）

本研究は従来デカメータ波電波によって我が銀河中心にえられたパルス周期とその変動に関して得られた情報を検証するために立ち上げられたメーター波電波による銀河中心の観測プロジェクト Trace Project of Galaxy Observation by Meter Radio Wave (TPGOMR) の成果の初期報告である。本研究に先立ち、2016年及び2017年に実施された我が銀河中心からのデカメータ波電波により、ブラックホール・バイナリーの存在を結論する複合パルスが観測されてきた。観測は21.86MHzで銀河中心部より到来する膨大な背景雑音から統計的手段で検出された Gaa 及び Gab2 者の電波源はそれぞれ $172 \pm 2 \text{sec}$ 及び $148 \pm 2 \text{sec}$ のスピン周期をもち 2200 ± 100 秒で周波数変調を受けていて、電波源を Kerr ブラックホールと仮定する場合、質量がそれぞれ $(2.27 \pm 0.02) \times 10^6 \text{ SM}$ 及び $(1.94 \pm 0.01) \times 10^6 \text{ SM}$ (SM は Solar Mass) 相互距離 0.27AU でそれぞれ光速の 18 及び 21 パーセントで運航している。

検証には長方形開口・放物面断面で有効面積 310 平方メートル、アンテナ利得 35dB をもつ、東北大学惑星大気プラズマセンター所属のメータ・デシメータ波電波望遠鏡、IPRT (Iitate Planetary Radio Telescope) を使い、初期調整を経て2019年5月16日より本格観測に入った。RA 17h45m40s Dec -29度00分20秒にある SgrA を中心に RA 及び Dec の偏移 0.3 度の範囲で分解能を持つ、3 sigma 精度を示す FFT 解析の結果は、デカメータ波観測の結果をそのまま再現することとなり、我が銀河系中心の巨大ブラックホール・バイナリーの存在を支持するものとなっている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W08b X線新星 MAXI J1631-479 の発見と MAXI/GSC のデータを用いたエネルギースペクトル解析

小林浩平, 根來均 (日本大学) ほか MAXI チーム

X線新星 MAXI J1631-479 は、2018年12月21日に MAXI によって発見された (Kobayashi+ ATel #12320)。太陽角制限により Swift 等は追観測ができなかったが、12月28日に NuSTAR により追観測が行われ、新天体であることが確認されるとともに、そのスペクトルが円盤黒体放射モデル ($T_{\text{in}} \sim 1.12$ keV) とべき関数 ($\Gamma \sim 2.39$) の和で表せることから、ソフト状態にあるブラックホール天体の可能性が指摘された (Miyasaka+ ATel #12340)。同天体は、1月始めに明るさが 2 Crab (2-10keV) を超え、その後減光し、1月23-24日にソフトからハードへの状態遷移が起き (Negoro+ ATel #12421)、3月に入ってから再びソフト状態に徐々に遷移した。

6月10日現在も減光中の、これら100日以上にわたる MAXI/GSC のデータを最大有効活用したエネルギースペクトル解析を行っている。MAXI は地球の周りを1周、約92分毎に全天をスキャン観測している。データの取得が不連続なため、スキャンによってはソース領域とバックグラウンド領域の一部が欠けてしまう。その問題に対応するため、スキャン毎に欠けている部分を検出し、それらを考慮したスペクトルを自動生成するプログラムを作成した。また、MAXI J1631-479 の像の広がり内には、明るい既知天体 4U 1624-490 と 4U 1630-472 がある。そこで、4U 1630-472 は MAXI J1631-479 のアウトバースト中は MAXI の検出限界以下であり、4U 1624-490 は MAXI の過去10年間のデータから検出される強度がほぼ一定であることを確認して解析を進めている。講演では、これらデータ処理の詳細と、アウトバースト中の様々な時期におけるスペクトル解析から見えてきた新天体 MAXI J1631-479 の特徴を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09b MAXI/GSC のデータを用いたブラックホール X 線新星 MAXI J1727–203 のスペクトル解析

青木真凜、小林浩平、根來均 (日本大学)、王思力、河合誠之 (東京工業大学)

X 線新星 MAXI J1727–203 は、2018 年 6 月 5 日に全天 X 線監視装置 MAXI により発見された (Yoneyama et al. 2018, The Astronomer's Telegram (ATel), 11683, 根來他 18 年秋季年会). 発見同日, NICER が追観測を行い, 1.5' の精度で位置を決定し, 冪 (photon index, Γ) が約 2.5 の power-law と内縁温度 (T_{in}) 0.20–0.24 keV の disk blackbody の和で表されるスペクトルを得た (Ludlam et al. 2018, ATel, 11689). 一方, Swift 衛星は 6 月 7 日から J1727 のモニター観測を始め, 6 月 7 日のスペクトルは power-law と disk blackbody の 2 成分の和で表せ, 各パラメータの値は Γ が 2.5 ± 0.2 , T_{in} が 0.46 ± 0.01 keV であった (Kennea et al. 2018, ATel, 11697).

今回, この X 線新星 MAXI J1727–203 の特徴を MAXI/GSC のデータを用いて詳細に調べた結果を報告する. X 線強度は 2–20 keV において発見後 4 日間でピークに達し, その後 70 日間で検出限界 15 mCrab 以下まで指数関数的に減少した. 増光途中である 2018 年 6 月 6 日の GSC のスペクトルは power-law と disk blackbody の和で表され, その時の各値は $\Gamma = 2.0 \pm 0.6$, $T_{\text{in}} = 0.5 \pm 0.1$ keV となり, 6 月 7 日の Swift の結果と一致する結果が得られた. そして, その後のアウトバーストのピーク強度付近にあたる 6 月 8 日には, スペクトルが $T_{\text{in}} = 0.4 \pm 0.1$ keV の disk blackbody だけでほぼ表されるソフト状態へと遷移していることを確認した. 発表では, アウトバースト中のスペクトル変化の詳細を示すとともに, 1 桁以上明るいブラックホール X 線新星 MAXI J1348–630 を含む, これまで MAXI が検出した X 線新星との比較を行う.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10b X線新星 MAXI J1348–630 の X線モニタ観測結果

大枝 幹, 細川 稜平, 安達 稜, 河合 誠之, 杉崎 睦 (東京工業大学), 根来 均 (日本大学), MAXI team

MAXI J1348–630 は 2019 年 1 月 26 日に MAXI で見つかったブラックホール候補天体である (ATel #12425)。本講演では 2019 年 1 月末から 4 ヶ月続いたアウトバーストの光度曲線とスペクトルの変化について MAXI/GSC のスキャンデータの解析結果を報告する。本天体は、発見後 14 日間かけて増光し、その後約 90 日間かけて減光した。flux はピーク時に $5.3 \times 10^{-8} \text{erg}^{-1} \text{sec}^{-1} \text{cm}^{-2}$ (2-20 keV) まで達した。また、2019 年 5 月 31 日から X 線で再増光していることが確認されている。本天体は、発見後約 1 週間は low/hard 状態であったが、増光に伴い high/soft 状態に遷移し、その後減光が進むにつれ、再度 low/hard 状態に遷移した。hardness の変化を hardness-intensity diagram で確認したところ、綺麗な q カーブを描いていた。発見から減光しきるまでの 2-20 keV の X 線スペクトルの形状はどの時期も、べき乗成分と降着円盤からの多温度黒体輻射成分の和でよく fit できるが、low/hard 状態はべき乗成分が支配的になっておりコンプトン散乱を受けた降着円盤、あるいはジェット起源の輻射であると考えられる。増光時の photon index は 1.6、減光時の photon index は 1.8 を示した。反対に high/soft 状態は多温度黒体輻射成分が支配的になっており、標準降着円盤からの黒体輻射が支配的であると考えられる。disk の最内縁半径における黒体輻射の温度は 0.5~0.7keV を示した。これらの特徴から、MAXI J1348-630 は典型的なブラックホール連星であると推測される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11b ブラックホール連星 LMC X-3 の降着円盤放射の研究2

岩尾祐希, 高橋弘充, 深澤泰司, 水野恒史 (広島大学), 久保田あや (芝浦工業大学), Chris Done (Durham 大学)

ブラックホール連星は恒星質量ブラックホールと伴星からなる天体であり、伴星からの物質の供給によりブラックホールの周りに降着円盤を形成し、X線で明るく輝いている。よって、降着円盤のX線放射スペクトルを解析することにより、降着円盤やブラックホールの物理を研究することができる。

ブラックホール連星である LMC X-3 は X 線天文衛星「すざく」により、3 回観測されている。この天体は視線方向の吸収柱密度がとて小さいので XIS 検出器 (0.5–10 keV) により低エネルギー側の円盤放射のスペクトルをよく観測できる。また HXD 検出器により 10 keV 以上も観測することができるので、高エネルギー側のコロナからのベキ型放射を精度よく決定できる。そこで LMC X-3 の公開データ 3 観測を先行研究 (1 観測目のみを解析:久保田 et. al.) の手法を参考に解析したところ、光度が減少する ($4.8\text{--}0.9 \times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$; 距離 52 kpc、2–10 keV 帯域) と最内縁半径は増加し、最内縁温度は増加する傾向を示し、またベキ型放射を逆コンプトン散乱放射に置き換え解析すると、標準降着円盤よりも幅広い放射が要求される結果となった (2018 年秋季年会)。標準降着円盤モデルでは半径と温度の依存性を示すベキ指数は -0.75 であるが、それをフリーパラメータとして解析したところ、3 観測とも標準降着円盤より大きい値を示した (最も明るい時: -0.70 , 最も暗い時: -0.61)。さらにより明るい LMC X-3 のデータを含む XMM-Newton の 4 観測 (光度 $3.8\text{--}28.3 \times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$) を解析したところ、すざくの示す傾向に倣う結果となった。本講演では、すざくと XMM-Newton による LMC X-3 の解析結果と、半径依存指数の振る舞いについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W12b 銀河中心方向のコンパクト電波源の探査

助廣沙知, 藤沢健太 (山口大学), 米倉覚則 (茨城大学)

銀河中心に存在する超大質量ブラックホールの形成過程の一説として、銀河合体に伴って取り込まれた大質量のブラックホール同士が合体成長する可能性が提案されている。もしそうなら、合体した銀河によって取り込まれたが、まだ Sgr A* に合体していない大質量のブラックホールが銀河系内に浮遊している可能性がある。これらは最終的には Sgr A* と合体すると考えられるので、銀河系中心に近い領域では相対的に存在密度が高いだろう。本研究では銀河系中心領域に浮遊している可能性のある合体前の大質量ブラックホールを発見することを目標としている。

これまでブラックホールの探査は主に X 線による観測で行われているが、我々は電波、特に高輝度天体を選別でき、また固有運動の観測ができる VLBI による観測を採用した。Sgr A* の性質を参考にすると、電波で観測されるブラックホールは以下の3つの特徴を持つと考えられる。1. コンパクトで高輝度である。2. 短期の強度変動を示す。3. 背景 AGN とは異なる固有運動を示す。現在我々は1の性質に注目した研究を行なっている。VLA による銀河中心領域のサーベイによって選定された5秒角以下のサイズを持つ電波天体84天体を対象として、Japanese VLBI Network による8 GHz の観測をこれまで5回実施した。解析が終了したのは67天体であり、そのうち10天体が8ミリ秒角以下のコンパクトなサイズ、 10^6K を超える高輝度温度を持つことを明らかにした。

これらの高輝度天体は背景の AGN である可能性が高い。今後は強度変動と固有運動を観測することで、背景 AGN、あるいは銀河系内ブラックホールの判断を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W13c X線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した2次元数値実験 IV

中村賢仁 (九州産業大), 町田真美 (九州大), 金子岳史 (名古屋大), 横山央明 (東京大), 松元亮治 (千葉大)

ブラックホール X 線連星で観測されるハード状態-ソフト状態遷移中の降着流の構造を調べる目的で、非等方熱伝導を考慮した2次元磁気流体数値実験を実施している。適当な密度の初期ガストラスから高温降着流へと時間進化させた後、輻射冷却を含めた計算をする。十分時間が経過すると、計算領域内の降着流は準定常状態に落ち着くが、熱伝導の有無により構造が異なる。熱伝導を考慮しない場合、初期ガストラスの密度が光学的に薄い高温降着流 (Radiatively Inefficient Accretion Flow: RIAF) の上限値より高ければ輻射冷却によって高温降着流が冷えて高温ハロー中の赤道面付近に低温降着円盤が形成される。一方、熱伝導を考慮する場合、高温ハローと赤道面に形成される低温降着円盤の間に、中間領域が形成される。

今回、形成された中間領域の平均温度、平均密度、幾何学的厚み、光学的厚み、コンプトン y パラメータについて、ハロー温度・密度、低温降着円盤温度・密度、磁場の幾何、熱伝導率等に対する依存性について調べたので報告する。一例として、基準的なパラメータに対し、 $R = 10r_g = 3.0 \times 10^7 \text{cm}$ 近傍で低温円盤の幾何学的厚み H が $H/R \sim 0.1$ に対し、中間領域の厚み W は $W/R \sim 0.5$ であり、中間領域の温度が $3 \times 10^{10} \text{K}$ 、個数密度が 10^{16}cm^{-3} 、コンプトン y パラメータは2程度となった。低温円盤からの軟 X 線が中間領域で逆コンプトン散乱されることにより、硬 X 線が生成され、この状態は「明るいハードステート」として観測されると考える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W14a 球対称降着流における輻射性衝撃波の構造

福江 純 (大阪教育大)

輻射性衝撃波については、Zel'dovich (1957) や Raizer (1957) 以来、数多くの研究が行われているが、多くは単純な1次元の場合であり、実際の天体现象に即した解析的な研究はあまりなされていない(数値シミュレーションでは、Okuda et al. 2004、Kawashima et al. 2016 など数多くある)。そこでここしばらく、厚みが増える円盤降着流 (Fukue 2019a)、相対論的輻射性衝撃波 (Fukue 2019b, c) など調べている。今回は重力場中における球対称降着流での輻射性衝撃波を調べたので、その結果を報告する。

通常の流体衝撃波と異なり、光学的に厚い媒質中での輻射性衝撃波では、輻射拡散によって衝撃波前面に前駆領域が生じる。重力場中における球対称降着流では、前駆領域における重力場の変化や幾何学的な曲率効果が存在する。これらの効果を入れて、輻射拡散近似とエディントン近似のもとで輻射性衝撃波を定式化し、衝撃波条件と前駆領域の構造を求めた。衝撃波条件は前駆領域の両端の開始点の座標を含むため、衝撃波条件と前駆領域の構造は同時に求める必要があった。

重力場の効果は結果に大きくは影響しないが、球対称に伴う幾何学的効果は前駆領域の幅などに大きく影響することがわかった。また、衝撃波半径で規格化した前駆領域開始点半径 x_1 は、衝撃波前面のマッハ数 \mathcal{M}_1 を用いて、 $x_1 = \mathcal{M}_1^{1/7}$ (輻射圧優勢)、 $x_1 = 1.21^{(\mathcal{M}_1-1)}$ (ガス圧優勢) ぐらいになることがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a 輻射圧で駆動される降着円盤風と特異点の性質

遠峰 勇佑, 福江 純 (大阪教育大学)

ブラックホール周辺の降着円盤では、しばしば輻射圧で駆動する降着円盤風が存在しており、連続光で駆動される降着円盤風については、光学的に薄い場合 (Icke 1989; Tajima & Fukue 1996, 1998) や厚い場合 (Fukue 2002, 2004; Fukue & Akizuki 2006, 2007) など多数の先行研究がある。ただしこれらの先行研究では、輻射場を解いていなかったり、簡単のためにガス圧を落として特異点を解いていなかった。そこで今回は、非相対論的で鉛直方向の流れという状況のもとで、中心天体の重力とガス圧を考慮し、輻射圧で駆動される降着円盤風の特異点解析を行って、赤道面から無限遠まで繋がる遷音速解を求めたので、その結果を報告する。

本研究では、輻射場の取り扱いについては、(1) 平衡拡散近似 (輻射温度とガス温度は等しい)、(2) 非平衡拡散近似 (輻射温度とガス温度は異なる) など、いくつかの場合について調べ、それぞれの特異点の性質について解析を行い、遷音速解のふるまいについても解析を行っている。

まずは、輻射場を平衡拡散近似で与えた場合については、輻射流束を標準降着円盤のエディントン光度比に依存する定数として与え、輻射駆動風の基礎方程式から得られる風方程式から、特異点解析と解のタイプの判別を行った。ここでは風方程式における重力項の特徴から、上空で saddle、低空では center となることが分かった。そして、低空の center 型の特異点の存在から、解の低空域に丸まりが見られた。またこのときにエディントン光度比が大きいと降着円盤上空で特異点のない超音速解のみになる場合が存在する。講演ではそれ以外の場合についても報告したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W16a Influence of the magnetic field for radiative shocks

大海ほのか、福江 純 (大阪教育大学)

M87に代表される活動銀河核中心のブラックホール近傍で観測されるジェットには、中心ブラックホール磁気圏で shock が生じることが知られている。ブラックホール近傍での shock は光学的に薄い場合でも厚い場合でも、なんらかの放射を伴う radiative shock になっていると考えられる。しかし、このようなブラックホール近傍での radiative shock について、磁場がどのように影響するのかは未だ解明されていない。そこで今回、磁場を考慮した radiative shock の構造を調べたので、その結果を報告する。

まず今回は、非相対論的な範囲で平衡拡散近似とエディントン近似を用い、光学的に厚い magneto-radiative shock を考えた。そして shock 前面での磁気圧はおよそガス圧のオーダーだとした。したがって、ガス圧に比べて放射圧が卓越している場合、磁場の存在は結果に大きく影響しないが、密度の圧縮率を少しだけ減少させることが分かった。今後はガス圧が支配的な場合についても磁場の影響を調べ、radiative precursor の構造も明らかにしていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W17a 降着円盤における重力波II

北野 萌音、福江 純 (大阪教育大学)

ブラックホール降着円盤は、鉛直方向に成層構造をなしているため、重力と浮力の作用によって重力波が生じる。降着円盤の振る舞いを調べるに当たって、このような振動は重要になってくる。

ガス圧が優勢で鉛直方向に等温のような単純な場合に対しては、降着円盤の振動は調べられているが (たとえば、Fukue and Okada 1990), 一般的な場合に対してはまだ十分に調べられているとはいえない。今回は、粘性加熱が円盤赤道面に集中しており、円盤大気内では粘性加熱のないエディントンモデル降着円盤における、重力波振動について発表を行った。今回は、円盤大気内で一様加熱である場合について、重力波振動を調べたのでその結果を報告する。

非加熱のエディントン大気では重力波振動は下層で生じたが、一様加熱の場合は上層で生じることが分かった。予想されることではあるが、温度構造の違いが重力波振動に大きく影響する。粘性加熱の場合についての重力波振動も紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W18a CANS+によるMRI乱流生成の高空間分解能MHD数値実験

町田真美 (九大), 川島朋尚 (NAOJ), 工藤祐己 (鹿児島大), 松本洋介, 松元亮治 (千葉大)

ブラックホール天体の活動性の源である降着円盤の角運動量輸送は、差動回転プラズマ中で発達する磁気回転不安定性 (MRI) が作る磁気乱流によると考えられている。しかし、降着円盤の一部を取り出す局所 MHD 計算においては、角運動量輸送率の飽和値が計算領域やその他、様々なパラメータに依存することが報告されている。2010年代に入り、大局計算においても解像度依存性が調査され、角運動量輸送率に相当する Maxwell 応力の非対角成分の磁気圧に対する割合は、スケールハイトを 20 メッシュ程度以上で分解することで飽和するが、磁場の各成分がもつエネルギーはテスト計算の範囲では収束しないことが報告されている (Hawley et al. 2013)。

我々は、大局的な降着円盤シミュレーションにおける解像度依存性を明らかにするために空間 5 次精度、時間 3 次精度を担保する CANS+ を用いた数値実験を行っている (町田ら、日本天文学会 2018 年春季年会など)。これらの報告では、空間解像度が最も低い方位角方向のメッシュ数のみを変化させている。数値計算の初期条件として、弱い方位角方向磁場のみをもつ回転平衡トーラスを仮定する。その結果、 $N_\phi = 64, 128$ までの計算においては、磁気エネルギーの飽和値は空間解像度と逆相関していた。これは、空間解像度が上昇することによって成長した短波長の乱流によって磁気エネルギーが散逸するために生じる現象であった。

本研究では、 $(N_r, N_\phi, N_z) = (768, 512, 768)$ の結果を中心に解析結果を報告する。方位角方向の空間分解能の向上により、波数の短い乱流が発達するため、低解像度モデルと比べて早い質量降着が生じていることがわかった。また、小スケールの磁場反転は多数見られるが、大局的な渦状構造も形成されることが示された。更に、中心近傍からのウィンドにより、定常的なウィンドと鉛直方向にそった磁場構造が形成されることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W19a ジャイロ運動論的乱流散逸によるイオン・電子加熱比

川面洋平 (東北大学), Michael Barnes (Oxford 大学), Alexander Schekochihin (Oxford 大学)

放射非効率降着流 (RIAF) では, プラズマは高温・希薄で弱衝突状態になっていると考えられている (Quataert 1998). そのため, イオンと電子は異なる温度を取っている. それぞれの温度を決定するために重要となるのが, イオンと電子の加熱比である. イオンと電子の加熱比は, 降着円盤からの放射プロセスに関わっているため, 重要な物理量である. しかし, MHD ではイオンと電子の加熱比を決定することができないため, 運動論的手法が必要となる. 降着円盤における代表的なプラズマ加熱プロセスは乱流の散逸であるが, Vlasov-Maxwell 方程式をフルに解いて乱流加熱を求めることは困難である. そこで我々は, 磁場閉じ込め核融合でポピュラーなモデルであるジャイロ運動論 (Rutherford & Frieman 1968) を用いた.

Alfven 的に駆動されたジャイロ運動論乱流のシミュレーションを行った結果, イオン・電子の加熱比はイオンのベータ値に最も強く依存し, ベータの増加関数となることが分かった (Kawazura, Barnes, & Schekochihin 2019). しかし, 加熱比には上限があり, ベータが 30 以上ではイオン・電子の加熱比は 30 程度以上にはならない. 逆にベータ $\rightarrow 0$ の極限では加熱は全て電子に行くことが示された [これは理論予測 (Schekochihin, Kawazura, & Barnes 2019) と合致] また, イオン加熱のメカニズムを明らかにするために, 位相空間における乱流スペクトルを調査した. その結果, 高ベータではイオン加熱はランダウ減衰によって生じているが, 低ベータでは, 実空間のカスケード時間の方がランダウ減衰率より短いためランダウ減衰が抑制されていることが分かった.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W20a 超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

朝比奈雄太 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 大須賀健 (筑波大学)

活動銀河核や X 線連星等から噴出されるジェット形成機構やブラックホールへの降着流の構造を探るために数多くのブラックホール降着流の計算が行われている。輻射輸送を流束制限拡散近似や 1 次モーメント (M1) 法を用いて解いた研究により (Ohsuga et al. 2009, Takahashi et al. 2016)、ブラックホール近傍のジェットの形成や降着流の構造に輻射が重要な役割を果たしていることが示されてきた。それらの近似解法は光学的に薄い領域で計算結果の信頼性が落ちてしまう等の問題を抱えているため、我々はより正確な輻射場を得るためにボルツマン方程式を解く GRRMHD コードを開発してきた。本発表では超臨界降着流の GRRMHD シミュレーションを実施し、M1 法の結果と我々の解法の結果との比較を行う。

初期条件は Fishbone & Moncrief (1976) で与えられる平衡トーラスを仮定し、輻射のエネルギー密度は十分に小さく等方であるとした。また、初期磁場はトーラス内部に弱いポロイダル磁場を仮定した。トーラスの歳差回転により成長した磁気回転不安定性により角運動量が輸送され質量降着が起きることを確認した。M1 法では回転軸付近での非物理的な輻射の衝突により、回転軸方向にビーミングするような構造が現れたが、我々の解法ではそのような構造を抑制することができた。また、輻射輸送の解法の違いにより降着流の構造に変化が起きることも確認できた。降着流からの輻射の抜け方によって構造の変化を引き起こした可能性を示している。本発表では初期の磁場強度や密度分布等を変えた結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W21a 多重コンプトン散乱込みの一般相対論的6次元輻射輸送計算コードの開発

小川拓未 (東北大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (NAOJ), 高橋博之 (駒澤大学)

「ブラックホールがどう観測されるのか？」一般相対論的6次元輻射輸送計算(空間3次元、光の方向2次元、振動数1次元)コードを開発し、輻射スペクトルや観測イメージといったブラックホールの観測的性質の解明を目指すのが本研究の目的である。特に、ブラックホール近傍には高温プラズマが存在するため、コンプトン散乱による輻射とガスの密接な相互作用が、観測的性質はもちろんのこと、場合によってはガスダイナミクスにも影響を与える。多重コンプトン散乱を精緻に扱うことが本研究特徴である。

現在、多くの研究で行われている輻射輸送計算では Boltzmann 方程式を直接解くような方法ではなく、そのモーメント方程式を解く手法(FLD法やM1法など)が採用されている。また、降着円盤の円盤風やジェットなどの高温アウトフロー領域において特に非常に重要になるコンプトン散乱も振動数依存性や方向依存性を仮定して近似的に解く手法などが採用されている。これらの近似は物理的には正しくない仮定をしているにも関わらず、それらの妥当性の検証は未だになされていない。また、輻射の振動数依存性が考慮された輻射流体計算も未だ発展途上にあり、それらの寄与がガスのダイナミクスにどれほど影響を与えるのかということも不明確なままである。

このような現状を鑑みて、我々は最も基礎的な方程式である Boltzmann 方程式に従って輻射を解き、かつコンプトン散乱を厳密に解くことができるコードを開発した。具体的には光子の移流を実験室系において Boltzmann 方程式により解き、一方、散乱過程は光子モンテカルロ計算で得られた散乱分布を用いて流体静止系で解く。テスト計算においてモンテカルロ計算の結果と一致するスペクトルが得られたことで本計算法の妥当性を確認した。実際の降着円盤においても計算を行い、スペクトルや輻射の構造、今までの輻射流体計算の妥当性を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W22b 超臨界降着流におけるアウトフローのフラクタル次元解析

古野雅之 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 北木孝明 (京都大学)

超臨界降着とはエディントン限界と呼ばれる古典的限界を超えたガス降着であり、ULXs(超高光度 X 線源) の有力なモデルと考えられている。Ohsuga et al.(2005) による 2次元輻射流体計算によって初めて継続的な超臨界降着が可能であることが示され、また同時に強力な輻射圧駆動円盤風 (アウトフロー) が存在することも明らかになった。その後多次元輻射流体計算によって超臨界降着流の円盤風が解析され、ぶつぶつにちぎれた構造 (クランピーアウトフロー) を持つことが分かった。この研究ではクランプのサイズと回転速度から視線を遮るタイムスケールも算出され、ULXs の光度変化を説明できることが示された (Kobayashi et al. 2018)。

クランプサイズは cross-correlation 解析により、円柱座標の r 方向と θ 方向で中心のブラックホールから約 900rs(シュバルツシルト半径) 離れた場所で各々値が 30rs、1000rs と求められたが、アウトフローがどのような過程を経てちぎられているのかは必ずしも明白ではなかった。そこで本研究ではさらに詳細にアウトフローの構造を解析するため、別の手法としてフラクタル次元解析を用いた。この方法によりクランピーアウトフローの次元を直接求め、フラクタル次元特有の非整数次元の解釈から噴出に伴う構造変動の解析を行った。この解析により、ブラックホールの中心から 600-800rs 離れた領域にフラクタル次元で 2 に近い値を示すガスが存在することが分かった。また BH 近傍からアウトフロー外縁への移動に伴い次元が 3 次元から 1.6 次元まで下がることが確認された。フラクタル次元における 1 から 2 の間の値をとる非整数次元は、細かい分岐を持つ線状構造などに見られることを考えると、これは噴出時に一様なガス流がまず 2 次元 (シート) 状に分裂し、その後さらに複雑にちぎれ飛んだ紐状構造になっている可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23b ULX Pulsar の超臨界降着柱モデル; Pulsed Fraction と磁軸、見込み角の関係

井上壮大 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (国立天文台)

超高光度 X 線源 (ULX) は、光度が恒星質量ブラックホールの Eddington 光度 $\sim 10^{38}$ (erg/sec) を超える大光源である。ULX の中心天体が恒星質量ブラックホールか、それとも中間質量ブラックホールか、長年議論されてきたが未だ決着がついていない。しかし近年、パルス発光する ULX (ULX Pulsar; ULXP) が見つかったため (Bachetti et al.2014)、中性子星への超臨界降着柱 (Eddington 質量降着率を超える降着) モデルが提案された (Kawashima et al.2016)。このモデルでは、中性子星周囲に磁気圏が形成され、磁極付近に形成される柱状の降着流を通じてガスが中性子星へ降着する。この降着柱が主たる光源であり、中性子星の自転によって見かけの光度が変わり、ULXP の光度変化を説明できる可能性がある。

前回の発表で我々は、Kawashima et al.(2016) で得られた降着柱の構造をもとに、Ray-Tracing 法を用いて超臨界降着柱の光度変化を計算し、降着柱モデルが ULXP で観測されている光度変化を説明できることを示した。本研究では、Pulsed Fraction (光度変化の割合に対応) の、磁軸の傾きと観測者の見込み角への依存性を詳細に調べた。結果、磁軸の傾きと観測者の見込み角が近い場合 (大きく異なる場合)、Pulsed Fraction が大きく (小さく) なることがわかった。現在までに発見されている 5 つの ULXP の Pulsed Fraction は数%から 80%までと幅広いが、我々の結果は、その違いが磁軸の傾きと観測者の見込み角に起因することを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W24b ブラックホール・スピンの超臨界降着流の輻射スペクトルに与える影響

川島 朋尚 (国立天文台), 大須賀 健 (筑波大学), 高橋 博之 (駒澤大学)

超高光度 X 線源と呼ばれる極めて明るい X 線点源は、その光度が恒星質量ブラックホールのエディントン限界を超えている。この光度の大きさから中心エンジンは中性子星か恒星質量ブラックホールへの超臨界降着、あるいは中間質量ブラックホールへの亜臨界降着と考えられているが未だわかっていない。この原因の一つは、超臨界降着流の理論的な輻射スペクトルがわかっていないことである。これまでに我々はブラックホールのスピンの場合、恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流が、超高光度 X 線源の典型的な X 線スペクトルの特徴を再現することを示した (2019 年春季年会)。しかし、スピンの有限の場合の超臨界降着流の輻射スペクトルは明らかになっていない。

そこで、我々はブラックホール・スピンをパラメータとして恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流 (超臨界降着円盤) の輻射スペクトル計算を実施した。その結果、無回転 ($a = 0$)、降着円盤と同方向への高速回転 ($a = 0.9M$)、降着円盤と逆方向への高速回転 ($a = -0.9M$) の順に、光度は高く輻射スペクトルはハードになることがわかった (M はブラックホール質量)。スピン $a = 0.9M$ のときには、降着円盤の回転軸からおおよそ 50 度の方向から観測すると、Ho II X-1 のような非常に明るく ($\sim 10^{40}$ erg s)、ソフトな (冪指数 $\Gamma > 2$) X 線スペクトルを再現できることがわかった。すなわち、一部の超高光度 X 線源の中心天体は高速回転するブラックホールである可能性がある。また、ブラックホールが円盤と高速逆回転する場合 ($a = -0.9M$)、回転軸方向から観測した場合の「みかけの光度」はエディントン光度の 1000 倍に達し、Swift J1644+57 のようなジェットを伴う潮汐破壊事象を説明できることもわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W25c 降着円盤からのフィードバックが超臨界降着条件に与える影響

竹尾英俊 (京都大学), 稲吉恒平 (北京大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 嶺重慎 (京都大学)

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 7$) における超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_{\odot}$) の存在は、ブラックホールが短時間で急成長したことを示唆するが、その具体的な過程は不明である。こうした急成長には、超臨界降着 (エディントン限界を上回る降着) が不可欠とされる一方、ガス降着に伴う輻射電離加熱により超臨界降着は困難とされてきた。

近年、超臨界降着の発生機構として、電離領域の消滅による全系の中性化が盛んに研究されている (e.g., Inayoshi *et al.* 2016; Sakurai *et al.* 2016)。電離半径 R_{III} がボンディ半径 R_{B} (この内部ではブラックホール重力が卓越) より小さい時、電離領域が潰れ (全系の中性化)、輻射フィードバックが無効化されることで超臨界降着が発生する。

ところで、従来の研究では簡単のため、13.6eV の電離光子を最も多く放出する、ソフトな輻射スペクトルが仮定されてきた。しかし、輻射源とされる降着円盤の温度は $\sim 10^7$ K に達し、keV 領域にピークをもつハードな輻射を放出することが知られている。ハードな光子は電離の吸収係数が小さく、輻射フィードバックの効果は減ずる可能性がある一方、遠方領域での加熱効率が上昇することも考えうる。こうした効果による、超臨界降着や中性化の条件への影響は明らかにされていない。我々は、降着円盤モデル (Watarai 2006) に基づくスペクトルを考慮した 2次元輻射流体計算を行った。結果、新たな超臨界条件を発見し、小質量ブラックホールで超臨界降着が発生しやすいことを明らかにした。さらに、超臨界降着が発生する条件と、背景にある物理過程を解明した。本講演では上記結果に基づき、円盤スペクトルの超臨界降着への影響について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W26c MAXI, Swift, RXTE による Be/X-ray Binary の X 線アウトバーストの観測

中島基樹 (日本大学), 三原建弘, 牧島一夫 (理化学研究所), 杉崎睦 (東京工業大学)

星周円盤を持つ Be 型星と中性子星で構成される Be/X-ray Binary は、星周円盤からガスが中性子星に降着することにより X 線で増光する。一般的にこの X 線増光は、増光開始の軌道位相と最大 X 線光度により大まかに 2 種類に分類されている。一つは、中性子星が近星点付近を通過する際に星周円盤からガスが降着し、最大 X 線光度が $\sim 10^{37}$ erg/s 程度にまで周期的に増光する normal outburst と呼ばれるものと、もう一つは軌道位相に関係なくランダムなタイミングで最大 X 線光度が $\geq 10^{38}$ erg/s に達する giant outburst と呼ばれる増光現象である。X 線天文学の草創期から幾多の X 線アウトバースト現象が Be/X-ray Binary から観測されてきた。特にこの 23 年間は、RXTE 衛星、Swift 衛星、そして MAXI による全天モニタ観測が継続的に実施された成果により、giant outburst の長周期性 (Laplace et al. 2017) や、Be 星の星周円盤の歳差運動によるアウトバースト開始軌道位相の変化 (Moritani et al. 2011, Nakajima et al. 2014, Kuhnelt et al. 2017) など、質の高いデータに基づいた結果が報告されている。今回は、これまでに観測された X 線アウトバーストの最大光度と連星軌道パラメタの関係性についてや、X 線アウトバースト中の intensity-color diagram の各連星系ごとの特徴についてまとめ、議論する。最大 X 線光度と連星軌道パラメタの関係性では、楕円軌道の semi-major axis との相関を明らかにし、コンパクトな系ほど最大 X 線光度が大きくなる傾向があることを示した。また、ピーク X 線光度が $\leq 10^{38}$ erg/s の連星系はアウトバースト中にハードになる傾向があるが、2017 年に発見された初の系内 ULX パルサーである Swift J0243.6+6124 や、アウトバーストピークでエディントン光度を超えて輝くパルサーは、アウトバーストピークでソフトになる傾向があることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27a 全天X線監視装置 MAXI を用いた CircinusX-1 増光現象の統一的解釈

富永愛侑, 海老沢研 (ISAS, 東京大学), 菅原泰晴 (ISAS)

CircinusX-1(以下、Cir X-1 と表記)は通常の星と中性子星からなる連星である。一般に X 線連星は、伴星の質量により「小質量 X 線連星 (Low Mass X-ray Binaries; LMXBs)」と「大質量 X 線連星 (High Mass X-ray Binaries; HMXBs)」に分類される。Cir X-1 は、LMXBs の特徴である I 型 X 線バーストが観測された (Tennant et al. 1986; Linares et al. 2010) 一方、伴星が B5-A0 型巨星であるという観測 (Jonker et al. 2007; Kaluzienski et al. 1976) も報告されており、これまでの分類に当てはまらない特異な天体である。CirX-1 ではこれまで増光が度々観測されているが、フレアは周期的なものではなく、全期間を通してスペクトルも複雑に変化している。X 線は中性子星表面とその周りの降着円盤から放射されると考えられているが、CirX-1 の複雑なスペクトル変動は単純なモデルでは説明できない。複雑な変動の原因を説明するモデルの 1 つとして、中性子星の周辺に吸収体が存在し、この吸収体が X 線放射領域を部分的に隠す割合が変化することで見かけ上のスペクトル変動を説明するというものがある。Chandra 衛星では、フレア期と静穏期でカルシウムや鉄の吸収線と輝線がそれぞれ観測されており (D'AI et al. 2007)、視線方向に何らかの吸収体が存在することを示唆している。

複雑な X 線放射について諸説ある解釈を検討するため、長期間にわたり増光現象を確認する必要がある。2009 年 8 月に観測を開始した MAXI は約 10 年間の CirX-1 のスペクトル変動を観測しているため、本研究に最適である。このような長期間にわたって Cir X-1 の X 線スペクトル変動を連続的に観測したのは MAXI が初である。我々は、10 年間で観測された $2.6 \times 10^{-9} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (2-20keV) を越える 40 回の増光を詳細に解析し、CirX-1 の周辺環境と放射機構に統一的解釈を与えることを最終目標としている。本講演では現時点での解釈を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a 降着中性子星 SMC X-1 の「すぎく」衛星による X 線スペクトル解析

高嶋聡, 小高裕和, 馬場彩 (東大), 窪田恵, 玉川徹 (理研)

超高光度 X 線天体 (Ultraluminous X-ray sources; ULX) は $10^{40} - 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ もの光を放射する非常に明るい天体であり、その正体について議論が続いてきた。近年 NuSTAR 衛星が複数の ULX の観測をしたところ X 線パルスを検出し、中性子星も ULX になりうるということが明らかになった (e.g., Bachetti et al. 2014)。大質量 X 線連星 SMC X-1 は「古典的」X 線パルサーの中でも最も明るく、ULX パルサーの性質を解明する鍵になると考えられる。

SMC X-1 は小マゼラン雲中に位置し、 $5 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ と Eddington 限界光度を幾分か超える光を放つ降着駆動型パルサーである。主星である中性子星と B0Ib 型の超巨星からなる連星で、中性子星から強い X 線が放射される。X 線のパルス周期は 0.71 s で、伴星による食で 3.89 日周期の軌道変動や降着円盤の歳差運動によると考えられる 40 日-60 日周期の超軌道変動が伴う。「すぎく」衛星は SMC X-1 を 2011 年 4 月-2012 年 3 月の間、様々な連星軌道および超軌道の位相で 10 回にわたって観測を行なった。

我々は「すぎく」による 10 回目の X 線撮像検出器 XIS のデータから 6.4 keV 付近の鉄の輝線とヘリウム様イオンの吸収線を発見し、そのドップラーシフトから降着物質の運動の様子について議論をした (Kubota et al. 2018, ApJL, 868, L26,5, 日本天文学会 2018 秋季大会 W49a)。今回、全 10 回の観測データについて硬 X 線検出器 HXD も含めて連続成分をカットオフを持つべき関数で表現し、広がった鉄輝線を評価した。本講演では解析結果を報告し、それに基づき降着流の構造と運動について議論する。さらに硬 X 線検出器 HXD のデータを用いたサイクロトロン吸収線の探索の結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W29a 超強磁場中性子星「マグネター」のバーストの時間的な性質

中川友進 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

マグネターは量子臨界磁場を超える $\sim 10^{15}$ G の超強磁場を持つ中性子星である。磁気エネルギーの解放により X 線で輝くと提案されており、定常的に X 線を放射し、ときおり間欠泉のように強烈に X 線を放出するバーストを起こす。我々は、「すぎく」衛星や HETE-2 衛星の観測データを用いて、バースト・X 線定常放射によらずエネルギースペクトルは熱的成分 (二温度黒体放射、 ≤ 10 keV) と非熱的成分 (冪函数、 ≥ 10 keV) で構成されることを明かにした (Nakagawa et al. 2011; Enoto et al. 2012)。また、両成分の光度の間に 5 桁以上の相関がある事を見出した (Nakagawa et al. 2011)。さらに、X 線定常放射の強度揺らぎはポアソン分布から推定される値よりも有意に大きいことを見出した (Nakagawa et al. 2018)。そこで我々は、バースト・X 線定常放射に共通の放射機構が存在すると考えており、「X 線定常放射は多数のマイクロバーストの重ね合わせ」とする「マイクロバーストモデル」を提唱している (Nakagawa et al. 2009, 2011, 2018)。

マイクロバーストモデルによると、通常のバーストも多数の数ミリ秒の継続時間を持つマイクロバーストの重ね合わせと考えることができる。この予測を検証するために、HETE-2 衛星が観測したマグネターである SGR 1806-20 のバーストの光度曲線の Power Density Spectrum を調べた。時間ビンは 0.1 ms、エネルギー範囲は 6-30 keV とし、光度曲線を作成した。その結果、バーストは >5.6 ms の継続時間を持つ同一の確率過程の現象の重ね合わせである可能性を見出した。この結果はマイクロバーストモデルとよく一致する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W30a マグネター SGR 1900+14 における硬 X 線パルスの位相変調の発見

牧島一夫 (東大 IPMU), 會澤優輝, 丹波翼 (東大理), 榎戸輝揚 (京大白眉)

これまで我々は「すぎく」などの観測で、マグネター 4U 0142+61 (パルス周期 $P = 8.69$ sec)[1,3] および 1E 1547-54 ($P = 2.07$ sec)[2] の硬 X 線パルスに、周期 $T = 55$ ksec および $T = 36$ ksec での位相変調を検出した。これらの天体は $B \sim 10^{16}$ の超強トロイダル磁場を内包し、 $\epsilon \equiv \Delta I/I \sim 10^{-4}$ ほど軸対称に変形するため、首振り角 $\alpha \neq 0$ の自由歳差運動が発生し、それと自転のビートが周期 $T = P/\epsilon \cos \alpha$ に現れたと解釈される [1-3]。

3 例目として今回、代表的マグネター SGR 1900+14 の「すぎく」および NuSTAR の公開データを解析した。観測条件を下表のコラム (1)-(3) に示す。その結果、パルス周期は (4) に検出され、また (5) の硬 X 線エネルギー範囲でパルスの位相が、(6) の周期および (7) の振幅で正弦波的に変調されていることを発見した。変調の有意度は「すぎく」で $\sim 95\%$ 、NuSTAR で $\sim 99\%$ だが、 T の値が誤差内で一致するので、有意度はさらに高くなる。これは自由歳差運動の 3 例目の発見と結論できる。星の変形度は $\epsilon \cos \alpha = 1.3 \times 10^{-4}$ と、先の 2 天体と似た値となった。また先の 2 例と同様、 < 7 keV の軟 X 線領域では $T \sim 42$ ksec のパルス位相変調は見られなかった。

(1) 衛星	(2) 観測 の年月	(3) 観測長 (ksec)	(4) パルス周期 P (sec)	(5) エネルギー 範囲 (keV)	(6) 変調周期 T (ksec)	(7) 変調振幅 A (sec)
「すぎく」	2009 年 4 月	114	5.20991	15-50	43 ± 3	1.1 ± 0.2
NuSTAR	2016 年 10 月	241	5.22670	8-25	41 ± 2	0.7 ± 0.2

[1] Makishima, K. *et al.* *Phys.Rev.Lett.*, **112**, id 171102 (2014) [2] Makishima, K. *et al.* *PASJ*, **68S**, id.12 (2016)

[3] Makishima, K. *et al.* *PASJ*, **71**, id.15 (2019)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W31a MPPCを用いた光子計数法によるかにパルサーの観測

大内優雅, 中森健之, 荻原理沙, 郡司修一, 柴田晋平 (山形大学)

かにパルサーは約 33 ms 周期で自転している中性子星である。電波からガンマ線におよぶ広い帯域で周期的な電磁波パルスが観測されており、全ての帯域で位相が揃っている特徴がある。かにパルサーでは、平均的なパルスと比較して 1,000 倍以上の強度で放出されることもある Giant Radio Pulse (GRP) の存在が知られており、GRP は通常の電波パルスの位相で放出されている。GRP の放射過程は明らかでないが、GRP に同期した可視光放射の観測が放射過程に制限を与えると期待される。実際に可視光領域では数%の増光が報告されている (Strader et al. 2013)。一方で、GRP の光度変動がマイクロ秒からナノ秒スケールであるのに対し、Charge Coupled Device (CCD) をはじめとする従来の可視光観測装置は時間分解能が数ミリ秒と悪く、GRP に同期した放射の詳細な光度変動を捉えることが困難である。

我々は、1 光子の検出が可能で光子検出時刻の決定精度がサブナノ秒である Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) を用いたパルサーの可視光観測システムを開発し、かにパルサーの観測を目指した。観測手法としては、MPPC が検出した光子の数を 100 μ s 周期で記録する光子計数法を採用した。天体観測用に独自にカスタムした 4 \times 4 pixel の MPPC アレイ (荻原他, 天文学会 2018 秋季年会) を 35 cm 反射式望遠鏡に搭載することで、7.2'' \times 7.2''/pixel 程度の撮像およびライトカーブ測定が可能となった。これまでに人工的な周期パルス光の測定や、恒星およびかに星雲の撮像とライトカーブ測定などによる観測システムの性能評価を行ってきた。本講演では、かにパルサーの観測データ解析の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32a 中性子星内部から発生するニュートリノ放射が及ぼすX線バーストの影響

土肥 明、橋本 正章 (九州大学)、野田 常雄 (久留米工業大学)

相対論的な高密度天体である中性子星と $1 M_{\odot}$ 程度の伴星からなる低質量X線連星は現在 100 個以上観測されている (Int'Zand *et al.* 2019)。そのような連星系は、I型X線バーストと呼ばれる急激なX線の増光現象をしばしば起こす。I型X線バーストは、伴星から中性子星表面にガスが降着し不安定核燃焼を起こすことにより観測されると考えられている。

バースターの光度曲線の特性 (e.g. バーストの強さ α 、バーストの再帰時間 Δt) は、中性子星の温度構造に大きく依存するが、その温度構造に関わる物理としては、中性子星表面での元素合成 (e.g. ap, rp 過程) の他に、中性子星内部で発生するニュートリノ放射プロセスも含まれる。特に、エキゾチックなニュートリノ放射プロセス (e.g. Direct Urca プロセス、パイオン凝縮) は、中性子星の内部温度を十分に下げため、バースターの光度曲線に大きな影響を及ぼす可能性がある。X線バーストのシミュレーションに関する先行研究 (e.g. Schatz *et al.* 2001, Heger *et al.* 2007) では、中性子星の降着層のみに計算領域を限定していたため、こうしたニュートリノ放射プロセスをはじめとした中性子星内部の物理過程を考慮することが出来なかった。そのため、従来の研究では、光度曲線の形がほぼ一定な *textbook burster*, GS1826-24 をはじめとしたバースターの観測値を満たすモデルの構築が不十分であると思われる。

本研究では、計算領域を中性子星の内部にまで拡張させたコード (Fujimoto *et al.* 1984) を用いて、中性子星内部でのニュートリノ放射が及ぼすX線バースト現象の影響について調べる。また、構築したモデルに関して、GS1826-24 の観測値 (特に Δt) との整合性についても調べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33a 中性子星（マグネター）のクラスト部分の数千年間の磁場進化

小嶋 康史, 鈴木 一毅 (広島大)

マグネターの活動性は磁場の変動に起源がある。そのためマグネターを含む中性子星の磁場は一定でなく、程度の差があれ常に変化していることを意味する。特に、マグネターではその進化の時間尺度が $10^2 \sim 10^4$ 年 (=千年程度) と観測的示唆がある。この数千年という尺度は中性子星の動的時間 (ミリ秒) やオーム散逸時間 (単純な見積りで数億年) から大きく離れた値である。約千年の進化時間尺度を得られる物理的機構に関して、いくつかの興味あるモデルが提唱されている。その一つとして、中性子星のコア部分での磁場の進化や、クラスト (殻) 部分では電子のみが移動可能で、その運動により磁場が進化するものである。後者で千年の時間尺度を得るためには、局所的に磁場が強いこと (サイズ $\sim 0.1\text{km}$ 以下で、磁場強度 $\sim 10^{15}\text{G}$) が必要である。

クラスト部分の磁場進化で最近、より現実的なモデルも研究されている (Lander & Gourgouliatos 2019)。磁場のストレスが蓄積され、変形の弾性限界を超えた場合に起きる可塑性な流れ (plastic flow) を考慮に入れたものである。その流れの反作用として磁場の時間進化にも影響を与える。しかし、彼らのモデルでは取り扱いが不十分であり、それを改善し発展させた。可塑性な流れの粘性力を含めて、重力、圧力や電磁気的な力で星は静水圧平衡の状態にあるが、その合力ベクトルの非圧縮部のみにより、可塑性な流れが決まると仮定する。残りベクトル場の渦なし部は、はるかに強い重力や縮退圧で抑えられるという考えである。ここでは、殻のある範囲を2次元平板と仮定した数値シミュレーション結果の一部を含め、可塑性な流れの磁場進化への影響も報告する予定。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W34a 原始中性子星冷却におけるニュートリノシグナルへの weak magnetism の影響

杉浦健一 (早稲田大学)

原始中性子星は、重力崩壊型超新星爆発中に中心部に形成される天体であり、内部にニュートリノをため込んだ高温な星である。原始中性子星は、このニュートリノを放出しながら冷えていき、中性子星へ進化していくと考えられている。この過程を理解は、中性子星の形成過程の理解のみならず、原始中性子星を構成している高温高密度物質の性質の理解につながる。次世代のニュートリノ観測機器を用いれば、銀河系内超新星爆発に対しては100秒程度の長い時間ニュートリノが観測可能であると見積もられており、次の超新星爆発の観測から最大限の情報を引き出すために、詳細な物理を取り込んだ原始中性子星冷却計算とそのニュートリノシグナルの解明が必要である。

本研究では、ニュートリノ-物質間の反応において重要な役割を果たしている電子型ニュートリノの吸収・放出における weak magnetism の影響について考察する。Weak magnetism とは、クォーク三体からなる核子は点電荷ではなく実際には内部に電荷分布を持っていることによる補正項であり、電子型ニュートリノに対しては不透明度を上げ、一方で電子型反ニュートリノに対しては不透明度を下げることで知られている。これらの効果は、原始中性子星からのニュートリノ光度やニュートリノスペクトルに影響を与えることが期待されている。本講演では、原子中性子星の冷却計算への weak magnetism の影響について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W35a 原始中性子星における対流ダイナモと大局的磁場形成

政田洋平 (愛教大), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大)

超新星爆発の際, その中心核として形成される原始中性子星 (Proto-Neutron Star : PNS) では, ニュートリノ放射とそれがもたらすレプトン数の不均一に起因して組成対流が駆動される. 対流の速さは $\mathcal{O}(10^8)$ cm/sec, PNS の密度が $\mathcal{O}(10^{13})$ g/cm³ であることを考慮すると, その運動エネルギーは $\mathcal{O}(10^{29})$ erg/cm³ に達する. PNS の内部は電磁流体近似が可能であり, レプトン駆動型対流の自然の帰結として, 磁場が生成・増幅されることが予想されてきた (e.g., Thompson & Duncan 1993). 単純なエネルギー等分配を仮定すると, 生成される磁場の強度は $\mathcal{O}(10^{15})$ G 程度になることが期待され, マグネター級の中性子星磁場の自然な説明を与える. 一方, PNS における磁場の生成・増幅が普遍的だとすると, 通常のパルサー (10^{12} G) の説明に困難が生じるという問題も内在する.

現在我々は, PNS における磁場の生成・増幅 (PNS ダイナモ) の過程を, 現実的な PNS の内部構造モデルと核物質の状態方程式を用いた MHD ダイナモ計算で系統的に調べている. 中心に特異点を持つ球座標ではなく, カーテシアンボックスで PNS の中心からニュートリノ球までの全域を解くグローバルモデルを独自開発し, シミュレーションを行った. 本研究の結果, (i) PNS の自転に起因して対流輸送が非等方的になり自発的に差動回転が生じること, (ii) 差動回転と対流, 磁場の非線形相互作用で $\mathcal{O}(10^{14})$ G の双極型の大局的磁場が自励されること等を明らかにした. 本講演では, 生成される磁場の強さ・形状の角速度や拡散係数に対する依存性も議論する予定である.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36b 「すぎく」による低質量X線連星XB1916-053のスペクトル中の吸収構造

渡辺佑馬, 堂谷忠靖 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、東工大)

中性子星の低質量X線連星 (Low Mass X-ray binary; LMXB) は磁場の弱い中性子星と晩期型星から成る近接連星系である。XB1916-053 は、 $\sim 10^{37}$ erg/s ほどの光度のやや暗い LMXB で、代表的な dip 天体の 1 つである。また、スペクトル中に吸収線が観測されることがあり、中性子星周辺の物質を探るのに有効である。「すぎく」による、XB1916-053 の 2014 年の観測データの解析を行った。広帯域スペクトルについては 2006 年の観測を元に出版されており (Zhang et al. 2014, PASJ, 66, 120)、今回我々は吸収構造に着目した。

約 4 日間の観測中に X 線光度が約 1/3 に減少し、前半では X 線バースト、後半では dip が見られた。更に、6.7, 6.9 keV に吸収線が、7.3 keV 付近には吸収端が検出された。そこで、前半部分、dip を含む後半部分、dip を除いた後半部分、dip 中、それぞれのスペクトルにおいて吸収線について解析を行ったところ、吸収線の等価幅が前半から後半にかけて増加するという結果が得られた。dip 中では、6.9 keV 付近の吸収線は有意ではなく、6.7 keV 付近の吸収線のみ確認出来た。本講演では、吸収構造の解析結果について報告すると共にその解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W37b 大質量 X 線連星: IGR J00370+6122 の主星である中性子星のスピンの周期変動

内田和海, 高橋弘充, 深澤泰司 (広島大学)

大質量 X 線連星は、ブラックホールや中性子星のようなコンパクト星と、OB 型主系列星からなる連星系である。このような系では、OB 型星が出す星風の一部がコンパクト星の重力によって取り込まれ、降着によって X 線で明るく輝く。コンパクト星が中性子星の場合、中性子星の持つ強い磁場によって星風は磁力線に沿って磁極付近へ落下し、中性子星は降着物から角運動量を受け取ることでスピニアップする。

本研究では、2004 年に INTEGRAL 衛星によって発見された大質量 X 線連星: IGR J00370+6122 の周期及びスペクトル解析を行った。この天体は、B1Ib 星と中性子星からなる大質量 X 線連星である。可視の視線速度法による周期解析と X 線の軌道周期解析から、軌道周期は 15.6627 ± 0.006 日と求められている。また、2005 年の RXTE 衛星の PCA 検出器による観測結果から、中性子星のスピンの周期は 346 ± 6 秒と報告されている。今回我々は、2008 年に取得された XMM-Newton 衛星の周期解析を行ったところ、スピンの周期が 337 秒であり、2.5 年程度で約 9 秒の大幅なスピニアップを観測した。これほど大きなスピンの周期変動を示す中性子星連星系は、低質量 X 線連星である GX 1+4 程度しか存在しない。また、フレア時の光度が $8 \times 10^{34} \text{erg s}^{-1}$ と暗い大質量 X 線連星の中性子星の中で、これだけスピニアップ割合が大きいものはまだ見つかっていない。これは、大質量 X 線連星を構成する中性子星において、磁場の弱い中性子星の存在の可能性を示す。本講演では、IGR J00370+6122 の、XMM-Newton, Swift/XRT, すざく衛星の周期解析、及びスペクトル解析の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W38b 超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による Crab パルサーの Giant Radio Pulse 時の光度変動の探査

一木真, 寺澤敏夫 (国立天文台), 榎戸輝揚 (京都大学), 中森健之, 荻原理沙, 大内優雅 (山形大学), 森正樹 (立命館大学), 土居守, 酒向重行, 茂山俊和, 新納悠, 諸隈智貴, 有馬宣明, 森田雅大, 小川貴士 (東京大学), Tomo-e Gozen プロジェクトチーム

Crab パルサーは可視光で周期が分解されて検出されている 5 件のみのパルサーのうちの一つであり, 電波からガンマ線までの広い波長で明るい信号が検出されている. Crab パルサーは電波において Giant Radio Pulse (GRP) と呼ばれる 100 倍程度にも及ぶパルス時の増光現象が確認されており, この GRP 時には可視光でも 3% 程度の増光があると報告されている. 2019 年 4 月に完成した Tomo-e Gozen カメラは, CMOS センサを用いることにより, CCD カメラでは実現が難しい, パルサーの一周期を時間分解できる高速性能と, 従来の光電子増倍管による観測では実現が難しい, 相対測光による大気変動の補正が可能な広い視野を兼ね備えており, GRP 時の増光を始めとしたパルサーのパルス光度の変動をより詳しく調べる可能性がある. 本講演では 2018 年 3 月から 12 月にかけて 8 日間, Tomo-e Gozen 試験機を用いて電波と X 線と Crab パルサーを同時観測したデータの解析の現状を報告する. まず, 電波で観測されたパルスの時刻を用いて, 周期情報を用いた折り畳み解析と同等の S/N (およそ 6 秒間分で S/N=20) で可視パルスを検出し, Tomo-e Gozen の時刻システムの安定性を確認した. また, 周期解析をしていく中でおよそ 3.5 Hz での望遠鏡の振動が Crab パルサーより 2.5 等明るい参照星に対しては 6% 程度の誤差を生んでいることが判明し, 重み付き測光と測光の重心位置の追尾を行うことで参照星に対する振動由来の測光値の誤差をおよそ 1/2 にまで軽減した.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W39c クォーク物質のカラー超伝導状態と中性子星の冷却

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 橋本正章 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (大阪産業大学)

中性子星は星全体が1つの巨大な原子核と例えられる高密度な天体である。それを形作る高密度核物質では、メソン凝縮やハイペロン混合、核子の超流動やクォーク閉じ込め解放等の、通常の原子核では出現しない状態を取りうると考えられている。このような状態は地上実験での検証が困難であり、中性子星の観測と理論計算とを比較することで探求が行われている。中性子星の観測的発見から半世紀が経過した現在までに、様々な観測が行われてきた。 $2M_{\odot}$ を超える星や重力波・電磁波による中性子星合体の観測は、状態方程式に強い制限を課した。中性子星の表面温度の観測は、星の熱的進化を決定するニュートリノ放射を制限することになるが、ニュートリノ放射は高密度核物質の状態と密接な関係がある。しかし、依然として中性子星内部の物質の状態は確定していない。

本研究では、星の中心部にクォーク物質を含む核を持つ中性子星の冷却計算を行った。このクォーク物質がカラー超伝導状態にあると仮定し、カラー超伝導のペアリング (CFL/2SC) が中性子星の冷却過程に及ぼす影響について調査した。その結果、冷えた星は2SCカラー超伝導状態にあればクォークによるニュートリノ放射によって、CFLカラー超伝導状態にあれば核子のニュートリノ放射によって冷やされるということがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W40c The largest glitch in the Crab pulsar in 2017 November

久野晋之介¹, 大枝幹², 寺澤敏夫³, 米丸直之¹, 隈本宗輝¹, 高橋慶太郎¹

¹熊本大学, ²東京工業大学, ³国立天文台

パルサーは強磁場を持ち高速で回転する中性子星である。その回転周期は数ミリ秒で、非常に安定している。しかし、若いパルサーの中には、短時間に突然スピンアップする glitch という現象が起こるパルサーが存在する。グリッチは中性子星の内部構造に起因すると考えられているため、その内部構造の情報が得られると期待されている。

2017年11月に過去最大の glitch が Crab pulsar で発生し、豊川、鹿島で観測された。この2地点で観測されたパルスの到来の時刻データを用いて、glitch 前後でのパルスの位相が揃うように fitting を行ない、Jodrell Bank の結果 (Shaw et al. 2018) と比較する。

また、同日の Crab pulsar の glitch は MAXI GSC(ガススリットカメラ)により X線でも観測が行われている。そこで、電波の観測データを用いて得られたパラメータを使って X線での観測データの解析を行い、電波と X線とで位相の変化の有無を調べ、その結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W41a U Gem の可視光 outburst における硬 X 線放射の振る舞い

武尾 舞, 中庭 望, 大橋隆哉 (首都大), 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC), 石田 學, 前田良知 (宇宙研)

代表的な矮新星はくちょう座 SS 星 (SS Cyg) とふたご座 U 星 (U Gem) では 2 keV 以上の X 線放射の振る舞いが大きく異なることが知られている。可視光での outburst 時、SS Cyg は極端紫外線の増光が始まると X 線は減光する。一方、U Gem は outburst 時に X 線放射も数倍明るくなり、期間中その明るさを保つ (Mattei 2000)。その違いは、硬 X 線を放射する境界層 (BL) が outburst 時に光学的に厚い状態に転移する臨界質量降着率 (10^{16} g s^{-1}) を、系の質量降着率が超えるかどうかで決まると考えられている。実際に SS Cyg ではこれを超えていることが確認されているが、U Gem ではそのような研究はなされていない。そこで我々は、XIS に加え、硬 X 線領域で高感度な HXD が搭載されている X 線天文衛星「すざく」のデータを用いて U Gem の outburst における X 線放射領域の状態を調べる研究を行った。

矮新星での X 線放射は銀河団の cooling flow モデルで説明できるため、これを用いて 2012 年 4 月の outburst および比較のため quiescence のスペクトルのフィッティングを行った。光度と BL に存在するプラズマ最高温度を用いて質量降着率を求めると outburst 時も一般的な白色矮星の臨界質量降着率を一桁以上回っており、実際に BL が光学的に薄い状態であることと矛盾しない。一方で、outburst では 6.4 keV の鉄輝線のラインが広がって見えるという結果も得られた。輝線の広がりを理解するため、outburst 時もプラズマと反射体である白色矮星や降着円盤の位置関係を様々に変えた反射シミュレーションも取り入れプラズマの空間分布の精密な見積もりも行なった。本発表では、これらの結果について詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W42a 静穏時における矮新星 VW Hyi の白色矮星への質量降着率の変化

中庭望、武尾舞、大橋隆哉 (首都大学東京), 林多佳由 (GSFC, UMBC), 石田學, 前田良知 (ISAS)

磁場の弱い白色矮星 (White Dwarf: WD) と主系列星の近接連星系である矮新星は、WD の周りに伴星のガスによる降着円盤を形成する。矮新星の円盤では可視光で 2-5 等級の増光 (アウトバースト) が見られる。アウトバーストは、一定量のガスを溜め込んだ円盤が、摩擦熱による熱不安定によって急激にガスを降着させる際に起きる。一方、円盤内縁と WD 表面の間の ”境界層” では、ケプラー回転する円盤ガスが、自転する WD との速度差により強い摩擦を受けて高温プラズマとなり、X 線を放射する。私は SU UMa 型矮新星みずへび座 VW 星 (VW Hyi) の静穏時の X 線観測データを用いて、円盤がアウトバーストまでガスを溜める間の境界層を観察した。

VW Hyi は約 30 日間隔でアウトバーストを起こすことに加え、可視光の増光期間が 5 倍程長いスーパーアウトバーストを約 200 日の周期で起こす。矮新星の X 線スペクトルは cooling flow モデルで再現でき、WD への降着率は X 線光度とモデルのパラメータであるプラズマの最高温度から求めることができる。私は 0.2-10 keV のエネルギースペクトルを、円盤や WD 表面によるプラズマの反射成分を加えた cooling flow モデルでフィッティングした。求めた質量降着率を、スーパーアウトバースト後の経過日数と、アウトバースト後の経過日数という 2 つの指標に対して評価した結果、スーパーアウトバースト後の経過日数と降着率とは一意的な関係が見えないのに対し、アウトバースト後の経過日数に対しては降着率が単調に減少するという関係を見出した。これまで、光度曲線の変化から降着率の減少を示唆した研究はあったが、分光観測から質量降着率の減少を確認したのは本研究が初めてである。一方、標準的な降着円盤不安定性モデル (Lasota 2001) では、静穏時の WD への質量降着率は時間経過とともに増加すると予測されている。本研究の結果は、この標準モデルに変更を迫るものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W43a 特異に軌道周期が長いSU UMa型矮新星：ASASSN-18yiおよびASASSN-18aan

若松恭行, 小路口直冬, 磯貝桂介, 木邑真理子, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 伊藤弘, Sjoerd Dufoer, Tonny Vanmunster (VSNET), 他 VSNET Collaboration, Oister Collaboration

矮新星は軌道周期が数時間程度の近接連星系であり、伴星から輸送された物質によって主星の周囲に降着円盤が形成されている。この降着円盤内の不安定性により円盤がアウトバーストを起こすのが特徴である。さらに、特に質量比(=伴星質量/主星質量)が小さなSU UMa型矮新星と呼ばれる系ではスーパーアウトバーストと呼ばれるより大規模な増光が観測される。スーパーアウトバーストは、質量比が一定値以下の系において円盤内で起こる潮汐不安定性によって発生すると考えられている。また、連星進化理論によると、伴星からの質量輸送および連星系からの角運動量損失により、質量比と軌道周期はともに小さくなる方向に進化する。スーパーアウトバーストは軌道周期が約2時間以下の系で起こると考えられている。

2018年にスーパーアウトバーストを起こしたASASSN-18yiおよびASASSN-18aanの軌道周期は、それぞれ4時間と3.6時間であった。これまでに見つけていた軌道周期の最も長いSU UMa型矮新星TU Menが2.8時間であったため、これらの天体は極めて長い軌道周期を持つことがわかる。我々は京大屋上望遠鏡の他、国際変光星ネットワークVSNETや光赤外線天文学大学間連携Oisterを通じた観測提案によってこの2天体のスーパーアウトバーストの連続測光観測を行った。解析により質量比を求めた結果、これらの天体が通常の連星進化経路上に分布していることがわかった。これは、これらの天体が他の矮新星と同様の進化をしてきたことを示唆しており、これらの軌道周期が長い天体が特殊な進化をする天体ではないことが言える。本講演では、以上の観測と解析の結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

W44a 冷たく安定した降着円盤をもつと考えられていた GP Comae Berenices のアウトバースト

小路口直冬, 加藤太一, 今田明, 磯貝桂介, 大西隆平, 野上大作 (京都大学)

ヘリウム激変星 (りょうけん座 AM 型星, AM CVn 型星) とは、主星が白色矮星、伴星がロッシュローブを満たした水素の欠乏したヘリウム星、もしくはヘリウム白色矮星で構成された近接連星系である。軌道周期は 5–65 分と短く、系は重力波放射によって角運動量を失うため、伴星から主星へと質量が輸送され降着円盤を形成する。降着円盤の熱的不安定性モデルによれば、質量輸送率によって降着円盤は常に熱い状態、間欠的に熱くなる (アウトバーストを起こす) 状態、常に冷たい状態の 3 つの状態をもつとされている。本講演で扱う GP Com は常に冷たい降着円盤を持つとされ、降着円盤物理を解明するための貴重なサンプルと考えられてきた。

我々は Digital Access to a Sky Century @ Harvard のデジタル化された写真乾板アーカイブデータから 1950 年に GP Com がアウトバーストしていたことを報告する。アウトバーストの前半は太陽との合によって観測されていないが、プラトーと減光期の観測が確認でき、光度曲線の形と絶対等級から矮新星アウトバーストであると考えられる。また、過去 100 年のなかでアウトバーストが確認されたのはこの一度限りで、このアウトバーストから現在まで約 70 年が経過しているためアウトバーストサイクルは 70 年以上であると考えられる。本講演ではこれらの結果から、降着円盤の熱的不安定性モデルについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a *Gaia* Data Release 2 を使った機械学習による矮新星のサブタイプ分類

磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作, 今田明, 小路口直冬, 大西隆平 (京都大), 大島誠人 (兵庫県立大), Franz-Josef Hambsch, Berto Monard (VSNET team), 清田誠一郎 (VSOLJ), 西村栄男

激変星は主星の白色矮星の周りに降着円盤を持つ近接連星系である。降着円盤の活動現象、アウトバーストを示す天体は矮新星と呼ばれる。矮新星は降着円盤の基礎研究において最適な天体である他、連星進化の終着点の1つであるため、連星進化理論の検証においても重要な意味を持つ。

連星は進化とともに伴星からの質量輸送率などが変化し、次第にアウトバーストのタイプが変化していく。伴星は最終的に核燃焼をやめるほど軽くなり、質量輸送率が非常に低い「period bouncer」と呼ばれる天体になる。連星進化理論によれば、激変星の70%はperiod bouncerだと予想されるが、実際の発見数は少ない。period bouncerの多くはWZ Sge型矮新星と呼ばれるサブタイプと考えられるが、WZ Sge型矮新星の増光頻度は低い(数年数十年に一度)ため、観測バイアスによって発見数が少なくなっていると考えられる。

そこで我々は、大規模サーベイによって見つかる無数の突発天体から、効率的にWZ Sge型矮新星を見つけてフォローアップ観測することを目的とし、機械学習による矮新星のサブタイプ判別器の作成を行った。今回は正確な分類よりも、観測の優先順位を知ることが目的であるため、ロジスティック回帰によって未知天体の「WZ Sge型確率」を求める判別器を作成した。使用するデータはGaia Data Release2のもので、新たな突発天体が発見され次第、Gaiaのカatalog値を参照するだけでWZ Sge型矮新星の候補天体を見つける事が出来る。

本講演では、分類境界線の物理的解釈の他、類似天体であるヘリウム激変星(AM CVn型星)への応用結果についても合わせて議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

W46a 質量移動に伴う連星白色矮星系の進化

安西信一郎, 政井邦昭, 福田晋久 (首都大学東京)

連星白色矮星系は、主に重力波放射により軌道半径が小さくなり最終的に連星合体による 1a 型超新星爆発を起こすシナリオが考えられている。ただし、質量比等の条件によっては連星合体前にロッシュローブを満たし、質量移動が起こる事による激変星の発生源である可能性が指摘されている。

この質量移動はロッシュローブオーバーフローにより引き起こされる現象であることから、連星系の軌道半径が変化を起こす必要があり、軌道角運動量を重力波放射等により外部に放出することが駆動源と考えられる。ただし白色矮星がロッシュローブを満たす為には、軌道半径が白色矮星の大きさの数倍程度 ($\sim 10^9$ cm) のオーダーの近接連星である事が条件になる為、潮汐力や質量降着に伴う輻射圧や角運動量の輸送による各パラメーターの変化を考慮に入れる必要がある。

本研究ではドナー側の白色矮星がロッシュローブを満たした場合について、連星間の安定な質量移動が起こる条件を求めた。この条件下での連星系のモデルを作成し、連星系の時間発展について解析を行う。計算結果より安定な質量移動が起きる条件下では、角運動量の輸送等により連星間の軌道半径が増大する傾向にあることが分かった。講演では、安定な質量移動の条件、また系の進化により変化する質量降着率や角運動量等のパラメーターから得られた結果について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W47b B&C 61cm 望遠鏡による南天での重力波対応天体探査

亀井悠平 (名古屋大学), MOA コラホレーション, J-GEM コラホレーション

2017年8月17日に初の重力波対応天体が観測された。そして2019年4月より2台のadvanced LIGOとVirgoが稼働するO3が始まり、2019年6月までに中性子星連星または中性子星-ブラックホール連星合体アラート3件を含む複数件のアラートがLIGO/VirgoよりGCNを通して報告されている。MOA(Microlensing Observations in Astrophysics)グループではニュージーランドMt.John天文台にある口径61cm視野 30arcmin^2 の3色(g, r, i)同時撮影可能なB&C望遠鏡等を用いてフォローアップ観測を行なっている。重力波検出後に光学フォローアップを行うことは、重力波イベント内部の物理プロセスを解明する上で非常に重要である。しかし、LIGO/Virgoによる重力波天体の位置決定精度は 10deg^2 以上であり、詳細な観測のためには重力波対応天体の位置を決定する必要がある。また、GW170817では可視光線は重力波検出後1日以内に減光が始まっており、早急なフォローアップが必要となる。そこで我々は、重力波検出後に即時にサーベイ観測を行い、自動で画像処理をし、重力波対応天体探査を行うフォローアップシステムを開発した。現在のO3では、中性子星が含まれているイベントを中心に、主にB&C望遠鏡を用いて対応天体の探査を行なっている。

本講演では、主にB&C望遠鏡についてフォローアップシステムの概要と、O3における探査実績を紹介する。また、探査の中でCCDセンサー内のトラップにとらわれた電荷による残像が発生してしまい、突発天体と誤認してしまう問題が確認された。その解決策として、カメラ内部の光源で一度センサーのトラップを電子で満たし、空読みしてから撮影を行うPre-flashという機能を用いれば残像が残らないことがわかった。そこで、このPre-flashによる性能変化の調査結果も報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

W48b 重力波観測ラン O3 における J-GEM の重力波フォローアップ

笹田真人 (広島大学)、吉田道利 (国立天文台)、田中雅臣 (東北大学)、富永望 (甲南大学)、諸隈智貴 (東京大学)、内海洋輔 (スタンフォード大学)、伊藤亮介 (美星天文台)、森鼻久美子、亀井悠平 (名古屋大学)、村田勝寛 (東京工業大学)、柳澤顕史 (国立天文台)、松林和也 (京都大学)、宝田拓也 (埼玉大学)、小野里宏樹 (兵庫県立大学)、関口雄一郎 (東邦大学)、J-GEM Collaboration

2015年に重力波望遠鏡 LIGO/Virgo によって重力波が検出され、重力波天文学が幕を開けた。さらには2017年8月に中性子星連星合体である GW170817 が検出され、史上初めて重力波源の電磁波対応天体が発見された。特に可視光・近赤外線帯域の放射は中性子星合体により放出された物質内で速い中性子捕獲反応 (r-process) により生成された重元素の放射性崩壊をエネルギー源として生じた放射 (キロノバ) であることがわかった。重力波源の可視・赤外線放射を観測することで連星合体時に合成される元素についての詳細な研究を行うことができることから、重力波源の可視・近赤外線フォローアップ観測が求められた。J-GEM では日本が所有する可視・近赤外線望遠鏡を用いて重力波フォローアップを実施し、重力波源の電磁波対応天体検出・観測を目指している。

2019年4月から重力波観測ラン O3 が開始され、観測開始直後から重力波が複数検出された。さらに2019年6月までに重力波が検出された三つのイベントは中性子星を含む連星合体であることが示唆され、全世界で電磁波対応天体探査が行われた。J-GEM でも国内外の小口径望遠鏡群やすばる望遠鏡を用いて中性子星連星合体の三つを含む複数イベントにおいて可視・近赤外線によるサーベイ観測を実施した。さらには、全世界で行われたサーベイ観測によって発見された可視光新天体に対して、撮像・分光観測によるフォローアップ観測もおこなった。本講演では O3 ランにおける J-GEM のフォローアップ実施状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W49b Tomo-e Gozen を用いた秒スケールでの可視突発天体の探査

有馬宣明, 酒向重行 (東京大学), Michael Richmond (Rochester Institute of Technology), 田中雅臣 (東北大学), 諸隈智貴, 土居守, 大澤亮, 新納悠, 一木真, 森田雅大 (東京大学), 富永望 (甲南大学), Tomo-e Gozen プロジェクトチーム

現在、ZTF (Zwicky Transient Facility)、ASAS-SN (All-Sky Automated Survey for Supernovae) に代表される可視光広視野望遠鏡を用いたほぼ全天にわたる突発天体サーベイプロジェクトが稼働しており、日々多くの突発天体が発見されている。そうしたサーベイのターゲット天体は超新星や変光星といった、光度変動のタイムスケールが数日、ないしは数時間より長いものに最適化された観測戦略が組まれている。一方で、CCD センサの読み出し時間にかかる制約から、分から秒に渡る短いタイムスケールを持つ可視突発天体の性質や発生頻度についてはほとんど調べられていない。よって秒スケールでの光度変動現象は可視光突発天体観測のフロンティアと言える。

東京大学木曾観測所では、105cm シュミット望遠鏡に搭載する広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の開発を進めてきた。2019年4月には20平方度の視野を覆う全84チップのCMOSセンサの取り付けが終了し完成を迎えた。Tomo-e Gozen の最大の特長は、広視野突発天体サーベイ目的の望遠鏡・装置では初となる CMOS センサによる 2Hz (毎秒2フレーム) 読み出しによる撮像が可能な点で、これにより秒スケールでの突発天体の探査が可能となる。2019年5月には84枚のCMOSセンサを搭載した Tomo-e Gozen による地球の影の領域の 2Hz 連続撮像観測を実施した。本講演ではこうした 2Hz 連続撮像観測について、2016年3月4日に取得した Tomo-e Gozen プロトタイプカメラによる8晩分のデータも含め、主に秒スケールでの突発天体の発生頻度について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W50b GRB090618 の減光過程における熱的成分の探査とその変動

勝倉 大輔, 堀江 光希, 田代 信, 寺田 幸功 (埼玉大学)

ガンマ線バースト (GRB) は最大光度が 10^{54} erg/s を超える宇宙で最も明るい爆発現象として知られるが、発見から 50 年経過した現在でも未だに放射過程が明らかになっていない。その即時放射の放射過程として、シンクロトロン放射、逆コンプトン散乱や熱的放射が主な候補にあげられる。一方、指数減光を示す GRB では、放射機構によって時定数のエネルギー依存性が異なることが考えられている (Rybicki & Lightman 1979 他)。そこで我々は、*The Neil Gehrels Swift Observatory* (Swift 衛星) 搭載の Burst Alert Telescope (BAT) と X-Ray Telescope (XRT) の両者で指数減光が観測された GRB090618 に対し、その減光の時定数のエネルギー依存性を 0.3-150 keV のエネルギー帯域において調べた。その結果、時定数 τ は 0.3-3.2keV で $\tau \propto E^{-0.5}$ となり、シンクロトロン放射に期待される減光と矛盾しないが、3.2keV 以上ではその依存性から外れ、熱的成分の存在が示唆された (堀江ら: 本年会)。本研究では、スペクトルにおいて熱的成分の存在とその温度変化を調べるため、Swift/XRT, BAT の両者のデータを用い、同イベント同区間における減光過程の広帯域スペクトル解析を行った。その結果、GRB のスペクトルモデルとして一般的に用いられる Band 関数に、 $k_B T = 10.8^{+2.6}_{-2.2}$ keV の黒体放射モデルを加えるとフィッティングが有意に改善することを確認した。続いて、放射面積一定の仮定の元にフィッティングを行い、温度の時間発展を調べたところ、その変化は $k_B T \propto t^a$, $a = -0.32^{+0.14}_{-0.15}$ の冪関数となった。これは放射面積一定を仮定した場合における放射冷却の冪指数 $a = 1/3$ (Tashiro et al. 2012) と無矛盾である。本講演では時間発展スペクトル解析によって得られた黒体の温度変化を中心に、各パラメータの時間発展の物理的解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W51b W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 II

小野 宏次朗, 大村 匠, 町田 真美, 酒見 はる香 (九州大学), 朝比奈 雄太 (筑波大学)

系内 X 線連星 SS 433 は電波星雲 W50 の中心部に位置しており、光速の約 26% の準相対論的速度で東西方向に伝播するジェットを持つ。W50 は中心に球状構造、両端にローブ構造を持っており、SS 433 から噴出しているジェットの伝播方向とローブの軸が一致していることが電波・X 線観測により分かっている。その観測結果から、W50 は SS 433 のジェットが中心の球状構造を突き破ってできたと考えられている。この W50/SS 433 系の構造の再現を目指した流体計算は、超新星残骸 (SNR) とジェットから成るモデルが主流である (e.g. Zavala+ 2008, Goodall+ 2011)。先行研究は磁場を考慮していないが、SS 433 の螺旋ジェットや W50 東端からは偏波が観測されており、磁場強度の下限は数マイクロガウスと示唆されている。そのため、W50/SS 433 の進化を明らかにするためには磁場を考慮することは必須である。

我々は 2 次元円筒座標系において、SNR とジェットの共進化について磁気流体計算を行った。ジェットのバックフローが SNR を押し出すことで高密度なシェルを形成することを追試したが、観測結果を満たす形状は再現できなかった (2019 年春季年会)。今回の計算では前回と異なり、ジェットの速さを観測値である $0.26c$ として与えた。また、爆発エネルギー 10^{51} erg、イジェクタ質量 $5M_{\odot}$ 、初期半径 5 pc の超新星爆発を仮定し、Truelove & McKee (1999) に基づいて初期プロフィールを設定した。そして、SNR の半径が 40 pc に到達した爆発後約 5 万年からジェットを注入し、系の時間発展を追った。その結果、ローブの長さが観測結果と同程度まで達する可能性が示された。ジェットや SNR の運動エネルギーやプラズマ β のパラメータサーベイの結果や、分子冷却を取り入れたことによる構造への影響についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W52c 超新星爆発時のフォールバックと中心天体からのエネルギー供給が決める若い中性子星の多様性

岩田 朔, 茂山 俊和, 檜山 和己 (東京大学)

重力崩壊型超新星爆発が起こると、爆発した星の外層は爆発エネルギーを受け取って放出されるが、一部の物質は十分なエネルギーを受け取ることができず、中心に形成されたコンパクト天体の重力に引かれてやがてフォールバック降着が起こると考えられている。一方、中心天体が高速で自転する中性子星の場合、磁気双極子放射によって自転エネルギーを解放することで戻ってくる物質に対してエネルギーを供給し、再び外側へ押し戻すことができる。中性子星から球対称で時間のべき乗に従った量だけエネルギーが供給される場合には、降着物質の運動は自己相似解で記述することができる (Shigeyama & Kashiyama 2018)。それによると断熱指数が $4/3$ 以下の時には臨界降着率が存在し、それ以上の降着率では解がない。しかし、実際には磁気双極子放射は球対称ではなく、さらに条件次第では自己相似解の形から Rayleigh-Taylor 不安定性が生じることが予想されている。

そこで我々は中性子星からのエネルギー供給を受けたフォールバック降着流の運動について2次元の流体計算を実行し、球対称自己相似解との比較を行った。その結果、初期条件に摂動を加えると不安定性が成長することで解が球対称から離れ、自己相似解から求められた臨界降着率を下回る状況下でも物質が中性子星表面に到達する可能性があることがわかった。また、磁気双極子放射のような非球対称のエネルギー供給の場合についても計算を行い、中性子星の持つ磁場とフォールバックの強さの関係についても調べた。本発表ではこれらの結果を若い中性子星の多様性、すなわち中心天体が強い磁場を持つマグネターになるのか、非熱的放射が見られない Central Compact Object になるのか、回転駆動型パルサーになるのかと結びつけつつ議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W53a ガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883 の ALMA による初検出

藤田裕 (大阪大学), 河内明子 (東海大学), 赤堀卓也, 永井洋 (国立天文台), 山口正輝 (甲南大学)

パルサーが Be 星の周囲を 3.4 年の周期で公転するガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883 は、これまでも多波長の観測で詳しく調べられてきた。これまでの観測では連星は近星点通過ごろに明るくなることが知られており、特にパルサーと Be 星の星周円盤が相互作用をすることで明るくなる可能性が指摘されてきた。この天体は低周波数での電波観測は行われてきたが、ミリ波/サブミリ波での検出はこれまでなされていなかった。我々は 2017 年の近星点通過後にこの天体を ALMA で観測し、検出に成功したので報告する。

観測は ALMA バンド 3 ($\lambda = 3$ mm) で近星点通過後 71 日目と 84 日目に、バンド 7 ($\lambda = 0.9$ mm) で近星点通過後 69 日目に行われた。いずれの観測でも連星からのフラックスを検出した。バンド 3 の 2 回の観測のうち、1 回目の観測のときにはガンマ線で活発な活動が観測されていたが、このときのバンド 3 フラックスは、ガンマ線放射が減少傾向にあった 2 回目の観測のときのフラックスと誤差の範囲内で一致していた。このことはバンド 3 での放射はガンマ線での放射と無関係であることを示す。バンド 3 のフラックスは低周波 ($\lesssim 10$ GHz) でのスペクトルを外挿した線上にあり、シンクロトロン放射と考えられる。一方、バンド 7 のフラックスはこの外挿から予想されるフラックスを大きく上回っている。理論モデルとの比較から、バンド 7 の放射は Be 星の星周円盤の放射の可能性が高いと考えられる。連星に高エネルギー電子が存在する場合、星周円盤からの放射を種光子とする逆コンプトン散乱がこの天体の X 線やガンマ線放射に寄与している可能性がある。

本講演ではこの天体の 2014 年の近星点通過時の Australian Telescope Compact Array による観測についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W54a ALMA Polarimetry of AT2018cow

Kyuiyun Haung (台湾・中原大学), 霜田治朗 (東北大学), 浦田裕次 (台湾・中央大学), 當真賢二 (東北大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 浅田圭一 (台湾・中央研究員), 永井洋 (国立天文台), 高橋智子 (国立天文台), Glen Petitpas (ハーバード・スミソニアン天体物理学センター), 田代信 (埼玉大学)

ALMA で行った AT2018cow の偏光観測について報告する。AT2018cow は 2018 年 6 月に観測された正体不明の突発天体である。現在までの観測から、大まかに、マグネターにより駆動された超新星爆発や、質量の大きい白色矮星の電子捕獲崩壊といった「星の爆発現象」を起源とする説 (e.g. Margutti et al. 2019; Lyutikov & Toonen 2018) と、中間質量ブラックホールによる太陽質量程度の「星の潮汐破壊現象」を起源とする説 (e.g. Perley et al. 2019) が提唱されている。偏光観測の結果、AT2018cow からの 230 GHz バンドの偏波は非常に微弱な偏光度 (0.15 %以下) を持つことが分かった。この結果から AT2018cow の発生環境に制限がつき、その起源として濃い星風を伴う星の爆発現象説が支持された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W55a Swift/BAT と XRT で同時観測された指数減光を示す GRB の減光過程の解析

勝倉 大輔, 堀江 光希, 田代 信, 寺田 幸功 (埼玉大学)

ガンマ線バースト (GRB) の即時放射の放射過程として、シンクロトロン放射、逆コンプトン散乱や熱的放射が主な候補にあげられるが、その詳細は未だに謎に包まれている。これら放射過程の候補を観測的に区別するためには、指数関数に比例して減光する GRB の減光過程を調べるのが有効である。指数減光を示す GRB では、放射機構によって時定数 (τ) のエネルギー依存性が異なることが考えられており、特にシンクロトロン放射では $\tau(E) \propto E^{-0.5}$ であることが考えられている (Rybicki & Lightman 1979 他)。先行研究 (Tashiro et al. 2012, 以下 T12) では、すざく/WAM のデータを用い、指数減光を示す GRB について時定数のエネルギー依存性が 50-5000 keV の帯域において調べられ、その依存性は $\tau(E) \propto E^{\gamma}$, $\gamma \sim 0.34 \pm 0.12$ と報告された。これはシンクロトロン放射と逆コンプトン散乱の両者と矛盾しない値である。そこで我々は、T12 よりも低いエネルギー帯域での依存性を調べるため、Swift/BAT, XRT の両者で指数減光が長く観測されている GRB090618 について、0.3-150 keV の帯域において、減光の時定数のエネルギー依存性を調べた。その結果、時定数のエネルギー依存性は折れ曲りのある冪関数 ($\tau(E) \propto E^{\gamma_1}, \propto E^{\gamma_2} \dots$) で表され、 $\gamma_1 = -0.50$, $\gamma_2 = 0.02$ となり、シンクロトロン放射を支持する依存性から外れることが確認された (堀江ら: 本年会)。本研究では、上記依存性が普遍的であるかを確認するため、新たに 14 例の GRB に同様の解析を行った。その結果、合計 16 区間で減光の時定数のエネルギー依存性が得られ、そのうち 3 区間は冪関数、13 区間は折れ曲りのある冪関数で表された。後者の低エネルギー側の冪指数の平均値は、シンクロトロン放射を支持する $\gamma_1 = -0.59 \pm 0.12$ となった。一方、高エネルギー側の冪指数は $-0.3 < \gamma_2 < 0.1$ に分布し、上記と同様の依存性が確認された。本講演ではその物理的解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W56a Swift 衛星による GRB090618 の減光過程の広帯域ライトカーブ解析

堀江光希, 勝倉大輔, 田代信 (埼玉大学)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst; GRB) は数秒間で 10^{54} erg のエネルギーが放射される天体現象であり、発見から 50 年以上が経ち観測例も多い。The Neil Gehrels Swift Observatory (Swift 衛星) も 1000 個以上の GRB を観測し、GRB 研究に大きく貢献している。しかし、いまだに放射機構など謎の多い天体現象である。GRB の放射機構について相対論的火の玉モデルが典型的であり、そのモデルに基づくと、GRB 本体の放射は内部衝撃波から生じる非熱的な放射と、コンパクトな領域からくる熱的な放射がある。従来は主に前者のみが観測されていたが、近年、熱的成分を含む挙動を見せる放射も観測されている (Ryde & Pe'er, 2009 他)。また GRB の減光は、指数関数で表される放射冷却によるものと、べき関数で表される曲率効果によるものの 2 つが知られている。放射冷却による減光の場合、時定数のエネルギー依存性が放射機構によって異なることが考えられており (Rybicki & Lightman, 1979 他)、減光の時定数を調べることでその放射機構を探ることができる。本研究では、GRB090618 を Swift 衛星搭載の検出器 Burst Alert Telescope (BAT) と X-Ray Telescope (XRT) を用いて、幅広いエネルギー帯域で減光過程のライトカーブを解析した。まず、BAT の全エネルギー帯域を用いたライトカーブにおいて、減光が放射冷却を示す指数関数型減光であることを確認した。次に、BAT, XRT をそれぞれについて、細かくエネルギー帯域を区切ったライトカーブを描き、減光の時定数のエネルギー依存性を調べた。その結果、時定数 τ は $0.3 - 3.2$ keV で $\tau \propto E^{-0.5}$ となり、シンクロトロン放射に期待される減光と矛盾しないが、3.2 keV 以上ではその依存性から外れ、熱的成分の存在を示唆する結果が得られた。本講演では、時定数のエネルギー依存性に基づく熱的放射成分の可能性について、特に重点的に考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W57a MAGIC 望遠鏡による GRB 190114C からの超高エネルギーガンマ線の発見

深見哲志、野田浩司、稲田知大、岩村由樹、齋藤隆之、櫻井駿介、高橋光成、Daniela Hadasch(東京大学)、手嶋政廣、Daniel Mazin(東京大学、Max-Planck-Inst. fuer Phys.)、井上進(理化学研究所)、Alessio Berti(INFN)、Stefano Covino(INAF)、Davide Miceli(INFN, INAF)、Elena Moretti(IFAЕ)、Lara Nava(INAF, INFN, IFPU)、須田祐介、Ievgen Vovk(Max-Planck-Inst. fuer Phys.)、窪秀利、野崎誠也、増田周(京都大学)、櫛田淳子、辻本晋平、西嶋恭司(東海大学)、他 MAGIC Collaboration

ガンマ線バースト (gamma-ray burst, GRB) は宇宙最大の爆発現象と言われ、瞬間的に全銀河に匹敵する光度のガンマ線を放射する。その膨大な放射エネルギーにも関わらず、発見以降 50 年以上経った今でも相対論的ジェット of 駆動機構、ガンマ線の放射機構、中心エンジンの正体等、基本的な情報が未解明である。GRB の物理機構解明のための比較的新しい手段として地上ガンマ線望遠鏡による約 100 GeV 以上の超高エネルギーガンマ線の観測が挙げられる。2000 年以降 MAGIC、H.E.S.S.、VERITAS 等現行の主要な地上ガンマ線望遠鏡が建設され、現在までに計約 200 もの超高エネルギーガンマ線天体が発見されるも、GRB の明確な検出は長らく達成できていなかった。MAGIC 望遠鏡は、17 m の大口径による低いエネルギー閾値や 30 秒以内で全天観測可能な高速回転性能など、他の地上ガンマ線望遠鏡と比べ GRB 検出のために有利な特徴をもつため、長年 GRB の検出を期待されてきた。そして遂に 2019 年 1 月 14 日、GRB 190114C の発生アラート受信後ただちに MAGIC 望遠鏡がポインティングし観測すると、大きな天頂角や月光下にも関わらず、300 GeV 以上において非常に明るいガンマ線を初検出した。本講演では MAGIC 望遠鏡による GRB 190114C の観測について、主に観測方法やデータ解析方法、解析結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W58a GRB 190114C からの TeV ガンマ線放射の物理

井上進 (理研)、Lara Nava (INAF)、野田浩司、深見哲志 (東大宇宙線研)、Alessio Berti、Davide Miceli (INFN)、Stefano Covino (INAF)、Elena Moretti (IFAE)、須田祐介、Ievgen Vovk (MPP)、稲田知大、岩村由樹、齋藤隆之、櫻井駿介、高橋光成、Daniela Hadasch (東大宇宙線研)、手嶋政廣、Daniel Mazin (東大宇宙線研, MPP)、櫛田淳子、辻本晋平、西嶋恭司 (東海大)、窪秀利、野崎誠也、増田周 (京都大学)、他 MAGIC Collaboration

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙で最も明るい電磁波放射源として知られているが、その中心エンジンの正体、ジェットの形成機構、即時放射・初期残光の放射機構など、基本的な駆動機構の物理について、多くの謎が残されている。GRB において、電波から GeV ガンマ線に至る放射は、多数のイベントですでに観測されていたが、TeV ガンマ線は長らく未知の帯域であった。2019 年 1 月 14 日、MAGIC 望遠鏡による 15 年間に及ぶ努力が実り、GRB 190114C の追尾観測で、GRB からの TeV ガンマ線が、史上初めて明確に検出された。

本講演では、この観測結果が GRB の理解にとって新たにもたらす物理的見識について、いくつかの観点から議論する。特に、TeV ガンマ線の放射機構、放射を起こす高エネルギー粒子の加速機構、粒子加速を起こす相対論的衝撃波の物理状態などについて、新たに得られた知見を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W59a ニュートリノ優勢降着円盤における質量降着の不安定性とガンマ線バーストへの応用

川中宣太 (京都大学), 政田洋平 (愛知教育大学)

ガンマ線バーストを引き起こす中心エンジンの有力なモデルとしては、大質量星の重力崩壊やコンパクト連星の合体の際に形成される星質量程度のブラックホールとそれを取り巻く大質量の降着円盤という系がしばしば議論される。このときの降着円盤は高温・高密度になるためニュートリノ放射による冷却が卓越すると考えられ、一般にニュートリノ優勢降着円盤 (NDAF) と呼ばれている。これまでに多くの研究によって NDAF の構造と安定性が議論されてきたが、そのほとんどは円盤の角運動量輸送においてシア粘性と圧力の比 α が一定とするモデル (Shakura & Sunyaev 1973) に基づいたものであった。ところが近年の磁気流体シミュレーションではこの α が磁気プラントル数 (動粘性係数と磁気拡散率の比; Pm) に依存するという兆候がいくつか報告されており、降着円盤内でも α が一定とするモデルは現実的でないという可能性が指摘されている。そこで我々はまず高温・高密度物質での磁気プラントル数の密度・温度依存性を調べ、 α がそのべき乗に比例する ($\alpha \propto Pm^\beta$) という仮定のもとで NDAF の新しいモデルを構成し、さらにその構造の安定性を解析した。その結果、べき β がある範囲のとき NDAF は必ず粘性不安定かつ熱的不安定となることが示された。さらに円盤の時間発展を調べるために NDAF の動径分布の時間発展を追うシミュレーションを実行し、上で導出した条件下で NDAF の質量降着が激しく変動することを確認、さらにこのときの質量降着率の変動がガンマ線バーストの即時放射の変動に近い特徴を持っていることを見出した。講演ではこの時間変動のタイムスケールを決める物理についても詳説する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W60a 超新星爆発におけるニュートリノ集団振動の普遍性と観測への影響

森長大貴 (早稲田大学), 長倉洋樹 (Princeton University), 加藤ちなみ (東北大学), 山田章一 (早稲田大学)

大質量星が進化の果てに引き起こす重力崩壊型超新星爆発は、未だにその発生機構が良く解明されていない高エネルギーの天体現象であるが、この現象を理解する上で重要な要素の一つがニュートリノである。重力崩壊後に中心に形成される原始中性子星からは大量のニュートリノが放出され、これが停滞衝撃波を加熱することによって爆発が引き起こされると考えられている。また、放出されたニュートリノを観測することによって、超新星やニュートリノの質量起源の解明にも手がかりを与えると期待されている。

ところがニュートリノはニュートリノ振動と呼ばれる現象によってそのフレーバーを変化させながら伝播しうるため、これを適切に扱わなければならない。特に超新星爆発においては大量のニュートリノが自己相互作用をすることによって引き起こされるニュートリノ集団振動が重要である。これは複雑な非線形方程式によって記述され、完全に解くことは困難を極めるが、電子レプトン数角度分布が0との交差を持つ場合にのみフレーバー転換が発生するということが線形解析によって予測されている。

本研究では、衝撃波外部におけるコヒーレント散乱が反電子ニュートリノを強く散乱することで、電子レプトン数角度分布に0との交差が生じてフレーバー転換が引き起こされることを示した。これは簡単なニュートリノ球モデルで示されるばかりか、いくつもの超新星シミュレーションでも確認できる普遍的な現象である。また線形解析によって、フレーバー転換は動径方向外向きに発生することを示した。従って、この衝撃波外部におけるニュートリノ集団振動は観測スペクトルに影響を及ぼしうるということが明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W61a Occurrence of fast-pairwise collective neutrino oscillations and their role in the explosion mechanism of core-collapse supernovae

Milad Delfan Azari, Shoichi Yamada, Taiki Morinaga, Wakana Iwakami, Hirotada Okawa, Hiroki Nagakura and Kohsuke Sumiyoshi

Neutrinos are believed to play a key role in the explosion mechanism of core-collapse supernovae. They may change their flavor identities through so-called fast-pairwise conversions induced by mutual forward scatterings. If the fast-pairwise neutrino collective oscillation happens, the dynamics of supernova explosion will be influenced, since the conversion may occur near the neutrino sphere, from which the neutrinos are effectively emitted.

In my presentation, I will speak about such possibilities based on the results of fully self-consistent, realistic simulations of a core-collapse supernova explosion in two and three spatial dimensions under axisymmetry. As we solved the Boltzmann equations for neutrino transfer in the simulation not as a post-process but in real time, the angular distributions of neutrinos in momentum space for all points in the core at all times are available, a distinct feature of our simulations. This is a first ever such attempt and the detailed results will be presented.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W62a 輻射輸送計算による II_n 型超新星の光度曲線モデル構築

武井勇樹 (ビッグバン宇宙国際研究センター、理研), 茂山俊和 (ビッグバン宇宙国際研究センター)

超新星は光度曲線やスペクトルによって様々な分類に分けられているが、その中でもスペクトルに狭い幅の水素輝線を持つ超新星は II_n 型超新星に分類される。水素輝線幅が狭いのは星周物質 (CSM) に由来するため、II_n 型超新星は高密度な CSM に囲まれており、輻射が CSM に影響を受けているということが示唆される。このことから、II_n 型超新星は吹き飛ばされた親星の外層 (エジェクタ) と CSM が衝突し、エジェクタの運動エネルギーの一部が輻射に散逸することで光っていると考えられる。この変換は非常に効率が良いため、II_n 型超新星は通常の超新星と比べて非常に明るく光っている。

先行研究では II_n 型超新星の光度曲線を解析的、数値的に計算しているものは存在しているが、いずれにおいても加熱領域は十分に解像されてこなかった。そこで我々は、加熱領域が与える影響を調べるために加熱領域を解像し、光度曲線の計算を試みた。また、この領域からの輻射は加熱領域に入っていない CSM を通り、その影響を受けることによって我々観測者に届くため、CSM 内での輻射輸送計算をしてその影響を調べる必要がある。加熱領域からの輻射を境界条件とすることでこの計算も同時に行った。本講演では加熱領域の解像方法を紹介し、CSM が光度曲線へ与える影響について輻射輸送計算で調べた結果の考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W63a 種族合成計算と星団進化計算用の超低金属量星の進化経路モデルの開発

谷川衝, 吉田敬, 衣川智弥 (東京大学), 高橋亘 (マックス・プランク研究所), 梅田秀之 (東京大学)

現在、多くの連星ブラックホール (BH) からの重力波が発見されている。連星 BH の起源の有力候補は大質量星連星である。しかし、その大質量星連星の金属量 (Z) や形成場所は明らかになっていない。それらを明らかにするには、連星 BH のテンプレートの作成と、そのテンプレートと観測データの比較が必要である。

連星 BH のテンプレートはある Z を設定した種族合成計算や星団進化計算を行って作成できる。これまで、連星 BH のテンプレートは、 $0.01 \lesssim Z/Z_{\odot} \lesssim 1$ (Z_{\odot} は太陽金属量) で精力的に作成されてきた。一方で $Z/Z_{\odot} \lesssim 0.01$ はあまり調べられていない。Kinugawa et al. (2014) は、 $Z/Z_{\odot} = 0$ の大質量星連星は $Z/Z_{\odot} \sim 0.01$ に比べてはるかに重い連星 BH を形成することを発見し、 $Z/Z_{\odot} = 0$ の大質量星連星を起源とする連星 BH が重力波観測に大きく寄与する可能性を示した。 $Z/Z_{\odot} = 0$ と $\gtrsim 0.01$ で連星 BH の性質が大きく異なるのは、 $Z/Z_{\odot} = 0$ の恒星の多くが青色超巨星のまま進化を終えることを起因とする。以上のことは、連星 BH の起源の解明には、 $0 \lesssim Z/Z_{\odot} \lesssim 0.01$ の連星 BH の性質の推移を調べる必要があることを意味する。

種族合成計算や星団進化計算用の恒星進化経路モデルは $0.01 \lesssim Z/Z_{\odot} \lesssim 1$ 及び $Z = 0$ しか存在しない。そのため、我々は $Z/Z_{\odot} = 10^{-8}, 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-2}$ の恒星進化経路モデルを開発した。このモデルは、青色超巨星のまま進化を終える恒星の質量範囲の変化、ヘルツシュプリング・ギャップやブルー・ループの有無なども考慮したものである。このモデルは種族合成計算コード SSE/BSE や星団進化計算コード NBODY を通して利用できる。本講演ではこのモデルを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W64a 散開星団起源の連星ブラックホール合体率の金属量依存性

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝 (東京大学)

LIGO による初の重力波直接検出以降、連星ブラックホール合体を示唆する重力波検出が続いている。我々はこのような観測を説明する理論モデル構築のため、散開星団起源の連星ブラックホールの寄与について調査を行うためシミュレーションを行った。その結果、2018 年秋季年会 (W53a) で報告したように、散開星団特有の連星ブラックホール形成過程として、重い主系列星の連星が形成され、連星ブラックホールに進化する過程を発見した。これまでのモデル (0.1 太陽金属量) では、この過程によって期待される散開星団から星団単位質量当たりにはハッブル時間以内に合体するような連星ブラックホールは個数は球状星団の場合の 20 - 50 % に相当していた。

球状星団は古い (> 12 Gyr) 星が多いのに対し、散開星団程度の質量の星団はあらゆる時代に形成されることが期待されるため、各時代で形成される散開星団の寄与を見積もることが重要である。一方で各時代の星団を考慮するうえで、金属量の違いが形成される連星ブラックホールの質量等に強く影響することが予想される。そこで、金属量が異なる星団について、重力 N 体シミュレーションコード NBODY6 を用いて、Kroupa の初期質量関数に従う 0.08 から 150 太陽質量の主系列星からなる星団の進化を計算した。本研究では 2500 太陽質量の星団について 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 太陽金属量のモデルについて計算を行った。星団内の星は与えられた金属量に依存し、星の進化モデル (Cambridge stellar evolution package) に従って進化する。その結果、形成されるブラックホール質量の分布がモデルによって異なり、連星ブラックホール合体時間の分布も金属量に強く依存することを発見した。本講演では、これらの結果を紹介し、散開星団起源の連星ブラックホール合体による重力波検出率への寄与について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W65a 球状星団における連星形成シミュレーション

吉成直都, 藤井通子, 熊本淳, 谷川衝 (東京大学), 岩澤全規 (理化学研究所)

2015年以降、重力波の検出が相次ぎ、合体できるほど距離が近いブラックホール連星が普遍的に存在することが確認された。恒星質量ブラックホール連星の形成メカニズムの一つとして、星団内での近接遭遇による形成が考えられる。星団のコア内でブラックホール連星が形成し、周囲の星との近接遭遇を繰り返すことで連星間距離が縮まり、最終的にブラックホール連星は星団外に弾き飛ばされる。この時に連星間距離が十分短ければ、ブラックホール連星は宇宙年齢以内に重力波を放出して合体する。密度の高い球状星団はブラックホール連星形成の有力な場であるが、連星進化は星団内の星の近接遭遇によって起こり、星団全体の進化と強く関連しているため、星団全体をシミュレーションする必要がある。一方、連星の軌道周期は日の単位であり、星団の年齢に対して非常に短い。そのため、球状星団のブラックホール連星の軌道進化を計算するには、連星のみ別のアプローチをして数値計算しなければならない。

本研究では、重力計算コストの削減のためにP³T法を取り入れたコードPENTACLEと、孤立した連星の軌道を2体問題として扱うコードGORILLAを組み合わせ、新しいN体シミュレーションコードを開発した。本講演では、新規開発のコードと従来のコードを用いて行った星団進化シミュレーション結果や計算時間の比較について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

W66a Density cusps around supermassive black holes as nurseries of gravitational wave events

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Leigh, W.C. Nathan (University of Concepción), Spera, Mario (CIERA); Fujii, Michiko (The University of Tokyo)

The environment close to supermassive black holes (SMBHs) can reach stellar densities of about $\sim 10^7 M_{\odot}/\text{pc}^3$. An example is the SMBH in our galaxy, which features a density cusp composed of old and young stars, and even compact remnants. Moreover, a high number of binaries is expected to be present close to SMBHs in galactic nuclei, either deposited by infalling star clusters or born in situ from tidally disrupted molecular clouds. These binaries can efficiently interact dynamically with other stars, undergoing close encounters that can trigger tidal disruptions and mergers. Previous studies only considered the effect of Kozai-Lidov cycles as a mechanism to merge compact object binaries orbiting around SMBHs. For the first time, we follow the evolution of such binaries also considering the effect of 3-body encounters with background stars, by means of hybrid Monte-Carlo/direct N-body simulations. We find that 3-body encounters can alter dramatically the evolution of binaries, interrupting the Kozai-Lidov evolution. Encounters can accelerate the coalescence of the compact binaries, by exciting their eccentricity or by altering their orbital inclination and thus triggering Kozai-Lidov cycles. These kinds of events will be detected by LIGO, Virgo and KAGRA. Three-body encounters will also breakup the binaries, preventing the coalescence and quenching the merger rate in galactic nuclei.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W67a キロノヴァの多様性と輻射輸送計算によるその光度曲線の予測

川口 恭平 (宇宙線研究所), 柴田 大 (マックスプランク研究所/ポツダム), 田中 雅臣 (東北大学)

2017年8月17日、中性子星同士からなる連星の合体からの重力波が検出され (GW170817)、同時に、幅広い波長域での電磁波対応天体が観測された。特に近赤外線から可視光域で観測された光度曲線は、連星合体時に放出される物質を起源として光る kilonova と呼ばれる現象の理論的予測と合致し、その解釈からは放出物質の性質や系の進化に対する示唆が得られた。例えば、合体から数日間において観測された可視光域で明るい放射は中性子過剰度が比較的大きくない放出物質を起源した場合と整合するが、こうした放出物質の性質は連星合体後に合体後の中性子星がブラックホールに崩壊するまで比較的長時間存在していた場合における予測と合致することから、GW170817 における系の合体後の進化について一定の示唆を与えるものとなっている。

一方、連星合体の数値シミュレーションによる研究によって、放出される物質の性質やそれを決定づける重要な要因となる系の合体後の進化は合体する中性子星の質量や半径に依存することが明らかにされている。また、ブラックホール・中性子星連星の合体時においても物質が放出され kilonova が観測される場合があると期待されているが、その放出物質は連星中性子星からのものとは異なった性質を持つことが予測されている。このように今後重力波とともに観測されると期待される kilonova の光度曲線は、その合体する連星系の多様性を反映し、GW170817 とともに観測されたものと異なった性質を示す可能性がある。そこで本研究では、連星合体からの数値シミュレーションの結果に基づいた様々なセットアップのもと輻射輸送計算を行い、kilonova 光度曲線の多様性を調べた。本講演では、これらの結果を紹介するとともに、観測によって系のどのような性質に迫ることができるかについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W68a 連星中性子星合体初期の電磁波放射予測のための輻射輸送計算コード開発

石井彩子 (東京大学), 茂山俊和 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学)

2017年8月, 初めて連星中性子星合体からの重力波および電磁波放射が同時に観測された. このイベントでは合体から約10時間後に電磁波観測が開始されたため, それ以前のごく初期の放射については観測することができなかった. その後, 重力波検出器の性能は向上しており, 現在行われている観測でもさらに多くの連星中性子星合体からの重力波および電磁波放射が観測されることが期待され, より初期段階の放射が観測されることもまた期待されている. 初期の電磁波放射からは合体直後の中性子星の情報を多く引き出せる可能性があるため, これを解析するための輻射輸送シミュレーションコードを開発することは重要な課題である. しかし合体直後は中性子星の温度が高く, 合体時に生成される鉄より重い元素 (特にランタノイド) について非常に多くの遷移を考慮しつつ輻射輸送計算を行う必要があり, まだ課題が多く残されている状態である. 一方で, 初期の電磁波放射に関する先行研究として, 合体後の中性子星の最外層では自由中性子が存在しており, それらのベータ崩壊によって合体から数時間後に放射が起こるといったシナリオが提案されている (Metzger+ 2015). 合体時に形成される衝撃波により加熱された領域では, 原子核はばらばらになり自由中性子が生成され, その後の断熱冷却が速い最先端部では核融合反応が進まず, 自由中性子が放出される. 我々はこのシナリオに基づき, 1次元相対論的流体計算により中性子星合体におけるショックブレイクアウトを再現し, 陽電子捕獲, 電子捕獲, および元素合成反応を計算し, 最終的に放出される自由中性子の量を見積もった (Ishii+ 2018). 本研究では, モンテカルロ法を用いた輻射輸送シミュレーションコードを開発し, 先行研究にて見積もった自由中性子の空間分布や物質の速度分布, 温度分布などを用いてスペクトルを計算し, 初期の電磁波放射がどのように見えるかを予測する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W69a 円偏向から探る GW170817 の時空のダイナミクス

作野優理枝, 端山和大 (福岡大学)

重力波は質量を持った物体が運動するときに光速で伝わる、時空の歪みである。宇宙の観測手段の一つである重力波の解析を行うことで、宇宙の謎の解明に一步近づくことが期待されている。米国の LIGO とイタリアの VIRGO によって、2015 年の初検出を皮切りに、重力波が検出されるようになった。また今後、日本の KAGRA が稼働する予定であることから、今以上に重力波が正確に観測できるようになると考えられている。観測された重力波はブラックホールの合体が多い。しかし、2017 年 8 月 17 日に観測された重力波 (GW170817) は中性子星の合体から発生したものであることが知られている。中性子星の合体による重力波の発生については、力学的にまだ明らかになっていないことが多数ある。その中の一つが、合体前に連星がどのような動きをしているかである。中性子星合体の時空のダイナミクスを明らかにするために、私は円偏向に注目した。重力波源が回転している場合、二つの偏極モードは回転に応じた円偏向を持つことになる。円偏向を調べることで、回転のダイナミクスと合体直後の時空の時間発展を知ることができる。円偏向を調べるために、LIGO と VIRGO の雑音が寄与する円偏向のレベルを評価した。また、GW170817 の円偏向の強さを解析し、円偏向の時間発展を定量的に調べ、得た結果がどのような物理的な意味を持つかを探っている。本講演では、今まで得た結果を報告する

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W70a 連星中性子星合体残骸による高エネルギー宇宙線生成

木村成生 (東北大学), 村瀬孔大 (ペンシルベニア州立大学), Peter Meszaros (ペンシルベニア州立大学)

2017年に発生した連星中性子星の合体による重力波と対応天体の電磁波観測により、中性子星の合体時には多量の噴出物質が生成されることが明らかになった。紫外線・可視光線・赤外線の詳細な観測データから、噴出物質の質量は $10^{31} - 10^{32}$ g、速度は $10^9 - 10^{10}$ cm/s 程度と見積もられており、噴出物質の運動エネルギーは 10^{51} erg 程度の超新星爆発と同程度となる。これらの噴出物質は星間媒質と相互作用して衝撃波を形成し、超新星残骸と同様に「連星中性子星合体残骸」となって宇宙線を加速する。連星中性子星合体残骸は超新星残骸よりも大きな衝撃波速度を持つため、より高エネルギーの宇宙線を生成することができる。そこで、我々は銀河系内で発生した連星中性子星合体残骸が、Knee 領域よりも高エネルギーの宇宙線の起源となりうるかどうかを調べた。近年の Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションで得られている衝撃波での磁場増幅過程と連星中性子星合体残骸の動力学を考慮に入れると、連星中性子星合体残骸は陽子を 20 PeV, 鉄の原子核で 500 PeV まで加速することができる。一方、重力波の観測から連星中性子星合体事象の銀河系での発生率は1万年に一回程度であり、爆発エネルギーの10%程度が宇宙線の生成に使われると、地上で観測されている Knee より高エネルギー側の宇宙線を説明するのに十分な量の宇宙線を供給することができる。また、近年の PIC シミュレーションによると、衝撃波加速による宇宙線生成率は核種に依存しており、重元素ほど効率的に宇宙線加速過程へと注入される。このモデルを用いて中性子星連星合体からの宇宙線の地上での各元素のフラックスを計算し、連星中性子星合体残骸からの宇宙線が観測データを再現できることを示した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W71a iPTF 14gqr と同種の ultra-stripped supernovae の発生率と、NS 合体との関係

聖川昂太郎、衣川智弥、吉田敬、梅田秀之 (東京大学)

2017年に連星中性子星合体由来の重力波 GW170817 が検出された。重力波は強い重力場中での物理現象を探る手段として重要視されており、代表的な波源である連星中性子星に関する知見を深めることは重要な課題である。その形成過程において二度の超新星爆発が生じるが、その際に連星が解離してはならない。しかし通常の重力崩壊型超新星爆発の場合、爆発の非対称性により生じるキック速度が大きいため、爆発後に連星系を保つことが困難である。そこで連星相互作用により通常の超新星爆発では達成できない程に外層を削り取られた (0.2 太陽質量以下) ultra-stripped supernova (USSN) が注目されている。このように外層を剥ぎ取られた星が爆発する場合、外層の束縛エネルギーが小さいため、非対称性が成長するよりも先に比較的弱いショックが外層を吹き飛ばしてしまい、キックが小さくなる。このように連星中性子星形成に至る最終段階として USSN が必要とされているが、これまで直接観測されていなかった。ところが最近、ejecta が 0.01 太陽質量程である USSN、iPTF 14gqr の観測が報告された。

本研究では大質量星連星の populaltion synthesis を行い、これと同等の ejecta 質量を再現する USSN の発生頻度及び、Zwicky Transient Facility (ZTF) などのサーベイでの観測可能性を見積もった。その結果、今後 ZTF で、iPTF 14gqr と同種の USSN が年間 10 天体程検出されることがわかった。

加えて、iPTF 14gqr が実際に DNS 形成過程で生じたか、つまり伴星が NS か否かを議論する。更に、宇宙年齢以内の合体を起こすか否かについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W72a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による重力波フォローアップ観測

新納悠, 諸隈智貴, 酒向重行, 大澤亮, 鹿内みのり, 小西真広, 土居守, 茂山俊和 (東京大学), 冨永望, 浜崎凌 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 吉田道利 (国立天文台), Tomo-e Gozen コラボレーション, J-GEM コラボレーション

2017年に中性子星連星合体からの重力波が初めて検出され (GW170817)、その電磁波対応天体が発見されたことで重力波検出器と電磁波望遠鏡の連携によるマルチメッセンジャー天文学が本格的に幕を開けた。GW170817の観測によって中性子星連星合体には従来理論予想されていた通りキロノヴァと呼ばれる可視光・近赤外線に対応天体が付随することが確認されたが、高密度星連星合体の現場の諸過程を理解するためにはさらなる観測の積み重ねが必要である。

現在の重力波検出器による重力波イベントの決定精度は典型的に数100平方度程度となっており、対応天体の探査には広い観測視野が求められる。東京大学木曾観測所は重力波追跡観測チーム J-GEM に参加し、1.05m シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen カメラの持つ20平方度の広視野を活かして重力波イベントの可視光対応天体探査を実施している。2019年には本講演申し込み時点までに重力波検出器によって発見された14の重力波イベントの内、6つに対してフォローアップ観測をおこなっている (中性子星を含むと考えられるイベントは3つ)。本講演では、2019年4月に始まった重力波検出器の第三期運用期間 (O3、約1年間を予定) における木曾観測所の重力波フォローアップ観測体制を紹介し、O3前半におけるフォローアップ観測実施状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X01a 原始銀河団領域における巨大ブラックホール形成

矢島秀伸, 安部牧人 (筑波大学)

近年の広域銀河サーベイによって、初期宇宙における原始銀河団候補が多数発見されている。このような宇宙の高密度環境で、銀河や巨大ブラックホールはどのように形成されるのだろうか。我々は、大規模な宇宙論的流体シミュレーションによって、原始銀河団領域における銀河と巨大ブラックホールの形成過程を調べた。500 cMpcのサイズの計算ボックス内において、原始銀河団領域を複数同定し、ズームイン初期条件を作ることで高精度流体シミュレーションを実行した。結果として、原始銀河団領域では、ダストに覆われた爆発的星形成銀河が複数個クラスタリングして形成されることが分かった。また、それらの銀河内では 10^8 乗太陽質量以上の巨大ブラックホールも同時に形成される。これら巨大ブラックホールは、赤方偏移10以上で超エディントン降着による急激な質量成長を経験することが分かった。本講演では、これらの結果に加え、ブラックホールのモデルの影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X02a AGN クラスタリングで探る X-ray AGN の発現機構

大木平 (カブリ IPMU), 白方光 (株式会社 タダノ), 長島雅裕 (文教大学), 川口俊宏 (尾道市立大学), 岡本崇 (北海道大学), 石山智明 (千葉大学)

様々な観測から、銀河とその中心に存在する超大質量ブラックホール (SMBH) の共進化が示唆されている。しかし、SMBH の形成過程が、銀河の形成過程とどのように関係しているかは明らかになっていない。SMBH の成長における銀河の役割を明らかにすることができれば、宇宙論的な枠組みのもとで銀河と SMBH の形成・進化を統一的に理解することができる。観測による AGN のクラスタリング解析から、X-ray AGN のホストダークマターハロー質量は、 $\sim 10^{13} h^{-1} M_{\odot}$ と見積もられている。Fanidakis et al. (2013) は、これを説明するためには、SMBH へのいわゆる “hot-halo” mode accretion に伴う AGN 活動性が必要であると主張している。しかしながら、このホストハロー質量を他の活動性で説明可能かどうかはよくわかっていない。本研究では、我々の最新の準解析的銀河形成モデルを用いて、観測される X-ray AGN のホストハロー質量を説明可能かどうかを検証する。

我々は、銀河同士の合体時及び、銀河円盤が力学的に不安定である時に、スターバースト・銀河中心へのガス供給が起きると仮定した。また、ガス降着によるブラックホール成長のタイムスケールは、ガスの角運動量損失のタイムスケールで制御されると考えた。このモデルは、観測される X-ray AGN の光度関数をよく再現する。このモデルを用いてクラスタリング解析を行い、X-ray AGN の有効ハロー質量を調べた。その結果、X-ray AGN の有効ハロー質量は $10^{12.5-13.5} h^{-1} M_{\odot}$ となり、観測から推定されるホストハロー質量を説明できることがわかった。

以上の結果から、X-ray AGN の発現機構として hot-halo mode AGN は必須ではなく、X-ray AGN の活動性は銀河合体及び銀河円盤の不安定性で理解可能であるといえる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a すばる HSC で探る $z \sim 4-5$ における AGN 光度関数

下館果林, HSC319

ビッグバン後、宇宙の膨張とともに中性化した銀河間物質は、 $z \sim 6-10$ で再び電離した。この宇宙再電離は宇宙初期の電離放射により引き起こされたと考えられるが、その電離放射源の正体は明らかになっていない。最近まで、再電離への寄与は星形成銀河がもたらす電離放射が主で、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は個数密度が少なくほとんど寄与しないものと考えられていた (e.g. Masters et al. 2012)。しかし暗い AGN が観測されるようになり、AGN が再電離に大きく寄与している可能性が指摘された (Giallongo et al. 2015 以下、G15)。一方で暗い AGN の測定誤差 (特に系統的誤差) は大きく、AGN の正確な寄与はわかっていない。

AGN の宇宙再電離への寄与を議論するためには AGN の光度関数及びその進化を調査することが必要である。従来の研究のほとんどは形態や色等から AGN 候補天体を選択し、光度関数を描いていた。しかしこの手法では AGN 候補天体を選択する際に大きな不定性が生まれる。そこで今回の研究では $z \sim 4,5$ それぞれにおいて検出された全天体の光度関数にシェヒター関数と DPL を合成してフィッティングした。これはすばる HSC による、かつてなく広範囲 ($\sim 100 \text{deg}^2$) かつ限界等級が暗い (~ 27 等級) 観測により得られた、過去最大規模の天体サンプル (~ 100 万天体) [3] を利用することで実現した。

今回得られた $z \sim 4$ での光度関数が予想する暗い (紫外等級 > -22 等級) AGN の数密度は、これまでの研究の中で最高密度を予想する G15 と同程度であった。しかし、G15 で示されたよりも AGN の個数密度が $z > 4$ で急激に減少することが示された。宇宙再電離期である $6 < z < 12$ でもこの傾向が続くとすると、AGN はほとんど宇宙再電離に寄与していなかったと結論づけることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a すばる望遠鏡 HSC データを用いた、宇宙史前半のクエーサー母銀河のスタッキング解析

佐衛田祐弥, 松岡良樹, 小山舜平, 石野亨, (愛媛大学)

マゴリアン関係として知られる超巨大ブラックホール (supermassive black hole: SMBH) の質量とその母銀河の質量の比例関係などから推測されるように、両者は共進化していると考えられている。この共進化のメカニズムを紐解くために、どのような母銀河で星形成活動が進んでいるか、あるいは AGN フィードバックによって抑制されているかを明らかにすることは重要である。特に宇宙史前半における共進化の様子についての理解を深めるためには $z > 1$ に位置するクエーサー母銀河の観測が必要であるが、高赤方偏移におけるクエーサー母銀河の観測は感度や空間分解の点で難しい。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の撮像データを用いて SDSS クエーサーカタログより選出した $z > 1$ クエーサー 3530 天体の母銀河の性質についての研究を行った。HSC は高感度、高空間分解能を誇るために、クエーサーの周辺環境を精度良く観測することができる。選出されたクエーサーに対して HSC 撮像データを取得し、PSF プロファイルを基にして AGN 成分を差し引いた。残った母銀河成分を3つの赤方偏移帯に分けてスタッキング処理し、開口測光を行うことで、平均的な母銀河成分の光度プロファイルを計測した。5バンド (g, r, i, z, y) で同様のスタッキング解析を行い、各バンドの絶対等級を銀河モデルと比較し、それぞれの赤方偏移での平均的なクエーサー母銀河の色やスペクトル型についての調査を行った。本講演ではその結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X05a すばる HSC による宇宙史後半における1型クエーサー母銀河の性質調査

石野亨, 松岡良樹, 小山舜平, 佐衛田祐弥 (愛媛大学)

銀河中心にある超巨大ブラックホールとその母銀河のバルジの質量に正の相関があることから、ブラックホールと銀河はお互いに影響を及ぼしながら共進化していると考えられている。この共進化を引き起こす原因として、活動銀河核からの放射により母銀河の星形成が抑制される AGN feedback という物理メカニズムが考えられている。しかし、活動銀河核が母銀河へどのような影響を及ぼすかについては観測的に明確な結論は得られていない。そこで本研究では、活動銀河核が母銀河へ与える影響を解明するために1型クエーサーの母銀河の性質調査を行った。

1型クエーサーの母銀河を調べるためには中心のクエーサー成分と母銀河の成分の分離が必要であるので、高感度かつ高分解能のデータが必要になる。そこで我々は、 $z < 1$ の SDSS クエーサー 859 天体に対してすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略枠プログラムの撮像画像を用いて解析を行なった。HSC は SDSS などよりも高感度かつ高分解能であるため、過去の研究よりもより詳細に母銀河の性質を調査できると期待される。分離方法としては、撮像画像から天体の輝度プロファイルを求め、Point Spread Function とセルシックモデルとを組み合わせることで天体から母銀河の成分を抽出した。そして、1型クエーサー母銀河と活動銀河核を宿していない通常の銀河とを色等級図上にプロットすることで、クエーサー母銀河は通常の銀河とは異なり green valley と呼ばれる領域に集中して分布していることがわかった。この結果から AGN feedback により母銀河の星形成活動が抑制されていることが示唆され、活動銀河核は銀河の進化過程の中で重要な役割を担っていると考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a 銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響

小林宇海 (総合研究大学院大学、国立天文台), 田中賢幸 (総合研究大学院大学、国立天文台)

冷たいダークマターモデルに基づくと、銀河同士の衝突・合体、相互作用は宇宙において頻繁に起こっている。これらのプロセスは銀河の進化において非常に重要な役割を果たしていて、この時銀河に起こっている現象を理解することは、銀河の形成と進化を知る上で大きな手がかりとなる。近年では銀河と活動銀河核がともに進化してきた描像が提案されており、銀河の衝突合体と活動銀河核の関係を観測的に検証することは極めて重要である。

衝突合体の過程でガスが中心核に流れ込み、活動銀河核が誘発されることがナীবに期待されるが、現在までの先行研究では、その明確な観測的証拠は掴めていない。しかしながら、今までの研究は浅い SDSS のデータや、狭い領域のハッブル宇宙望遠鏡のデータに基づいたもので、銀河の衝突合体というイベントを確実に捉えるには適していなかった。そこで、我々は Hyper Suprime-Cam の戦略枠プログラムによる広くて深いデータを用いて、銀河同士の衝突・合体、相互作用が活動銀河核の活動性に及ぼす影響を調べた。

本研究では、SDSS の DR14 から取ってきた赤方偏移 0.2 未満の数千個の銀河について HSC の画像を目で見て、衝突・合体銀河かどうかを判別した。そして、そういった銀河の色、等級、環境分布を評価し、さらに活動銀河核を持つ割合を BPT diagram を使って調べていた。また、統計を上げる為、上を教師サンプルとして Convolutional Neural Network (CNN) という方法を採用して、CNN で得られたサンプルについても上と同様の評価を行う予定である。そして、活動銀河核の割合を銀河同士の距離の関数、つまり、相互作用の時系列としてどのように変化するのかについても調べる。本公演では、衝突・合体銀河の特徴と活動銀河核について得られた結果を、目で分類したサンプルと CNN で得られたサンプルのそれぞれについて、議論し考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07a A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS).
II. Physical Properties derived from the SED Fitting with Optical, Infrared, and
Radio Data

Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Takuji Yamashita (NAOJ), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Wei-Hao Wang (ASIAA), Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.), Kohei Ichikawa (Tohoku Univ.), WERGS project

We present physical properties of radio galaxies (RGs) with $f_{1.4\text{GHz}} > 1$ mJy discovered by Subaru Hyper Supreme-Cam (HSC) and VLA FIRST survey. For 1056 FIRST RGs at $0 < z \leq 1.7$ with HSC counterparts in ~ 100 deg², we compiled multi-wavelength data of optical, infrared (IR), and radio (150 MHz). We derived their color excess ($E(B - V)_*$), stellar mass (M_*), star formation rate (SFR), IR luminosity, the ratio of IR and radio luminosity (q_{IR}), and radio spectral index (α_{radio}) that are derived from the SED fitting with CIGALE. We estimated Eddington ratio based on M_* and integration of the best-fit SEDs of AGN component. We found that $E(B - V)_*$, SFR, and IR luminosity clearly depend on redshift while stellar mass, q_{IR} , and α_{radio} do not significantly depend on redshift. Since optically-faint ($i_{\text{AB}} \geq 21.3$) RGs that are newly discovered by our RG survey tend to be high redshift, they tend to not only have a large dust extinction and low stellar mass but also have high SFR and AGN luminosity, high IR luminosity, and high Eddington ratio compared to optically-bright ones. The physical properties of a fraction of RGs in our sample seem to differ from a classical view of RGs with massive stellar mass, low SFR, and low Eddington ratio, demonstrating that our RG survey with HSC and FIRST provides us curious RGs among entire RG population (Toba et al. 2019b, ApJS, in press.).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X08a The faint-end of the radio luminosity function of ALMA-selected galaxies

Kianhong Lee, Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade (University of Tokyo), Wiphu Rujopakarn (Chulalongkorn University/IPMU), George Rieke (University of Arizona), Rob Ivison (University of Edinburgh/ESO), Kristina Nyland (NRL), Preshanth Jagannathan (University of Cape Town/NRAO)

The radio luminosity function of quasars has been known that there is a bump-like feature on the faint-end. Given the assumption that the radio emission of a quasar is contributed by both its AGN and the star formation activity in the host galaxy, previous studies suggest that the radio emission originating from the star formation activity dominates the faint-end of their radio luminosity function, although this has not yet been proved due to the lack of deep infrared and radio surveys. ALMA-selected sources allow us to avoid the bias of AGN, so their radio luminosity function can help us trace the nature of quasar-host galaxies. We use data of ALMA twenty-six arcmin² survey of GOODS-S at one-millimeter (ASAGAO; $1\sigma \sim 61 \mu\text{Jy}/\text{beam}$) and a very deep ($1\sigma \sim 0.7(0.3) \mu\text{Jy}/\text{beam}$ at 3(6) GHz) JVLA survey in the same region, to derive the faint-end of the radio luminosity function of dusty star-forming galaxies. We cross-matched the catalog of two surveys and found that 17 sources ($S_{1.2\text{mm}} \sim 2.0 - 0.24 \text{ mJy}$; $S_{3\text{GHz}} \sim 42 - 6.2 \mu\text{Jy}$), ranging from redshift 1 to 3, have counterparts within $1''$. We divided them into three redshift bins and found that the resulting radio luminosity functions in all three bins are consistent with both the bump-like shape and the Schechter function, due to the large Poisson uncertainty. While thanks to the deep data, we made the constraint at $\log L_{6\text{GHz}} \sim 22.6 - 24.2 \text{ WHz}^{-1}$, and the tendency of decrease of the number density on the most faint-end may support the postulate.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X09b すばる HSC / SHELLQs と WISE による最遠赤色クエーサーの探査

加藤奈々子, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

赤色クエーサー (red quasars) とは、塵に覆われて赤く見えるクエーサーのことで、その起源は未だ明確にされていない。銀河衝突を端緒とする銀河・巨大ブラックホールの共進化シナリオ (Hopkins et al. 2006) によると、赤色クエーサーは母銀河と巨大ブラックホールの活発な成長期にあり、通常のクエーサーが発現する直前の塵が晴れ上がる過程に存在すると考えられている。赤色クエーサーの起源を明らかにすることは、クエーサーやその母銀河の進化を理解する上で重要である。これまでに赤色クエーサーは、塵による減光の影響が少ない赤外線や電波、X 線による選出で発見されてきたが、 $z \sim 6$ を超えるような高赤方偏移帯では見つかっていない。高赤方偏移帯に赤色クエーサーが存在していれば、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成などを探る上でも有用なツールとなり、新たな知見を得られることが期待される。

我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略的サーベイデータを用いて、高赤方偏移クエーサーを探査するプロジェクト (Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars : SHELLQs) を推進している。この探査により、80 天体以上の高赤方偏移 ($z > 5.7$) クエーサーが現在までに発見されてきた。そこで我々は、SHELLQs で見つかったクエーサーから赤色クエーサーを選出するため、WISE データとのマッチングを行った。また、WISE で検出された SHELLQs クエーサー 4 天体を赤色クエーサー候補とし、クエーサーと銀河のテンプレートを用いた SED フィッティングを行った。本講演では、この解析から得られた最新の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b SPICA/SMI 高分散分光による $z \sim 2$ AGN 分子アウトフロー観測の可能性

馬場俊介 (国立天文台), 中川貴雄, 磯部直樹, 和田武彦, 松原英雄, 石原大助, 山岸光義 (ISAS/JAXA), 金田英宏, 大藪進喜, 國生拓摩, 鈴木仁研 (名古屋大学)

活動銀河核 (AGN) が放出する高エネルギーアウトフローによる母銀河星形成へのフィードバックは、銀河進化を理解するうえで欠かせない要素である。そのアウトフローの質量の大部分は分子ガスの状態で存在しているので、分子ガスの運動状態を理解することが、現在から星形成が最も活発であった $z \sim 2$ にかけて特に重要である。

我々は、次世代赤外線天文衛星 SPICA の中間赤外線観測装置 SMI を用いてどのような分子アウトフロー研究が可能か検討した。SPICA は、大型極低温望遠鏡 (口径 2.5 m、温度 8 K 以下) による高感度赤外線観測を行う。2030 年頃の打ち上げを目指し日欧主導で開発が進められている。観測装置の 1 つである SMI の最も高分散のチャンネルでは、波長 12–18 μm を分解能 $R = 33,000$ ($\Delta v = 10 \text{ km/s}$) で分光できる。この波長範囲における分子のラインとしてはまず、 H_2 の純回転輝線がある。 $z = 0$ では S(1) 17.03 μm と S(2) 12.28 μm を観測でき、遠方ほど高い回転準位に移り、 $z = 2$ では S(7) から S(11) を観測できる。これらの輝線は比較的強く、アウトフローの探索と速度・質量の推定に役立つ。 $z > 1.6$ では、CO の振動回転遷移 ($v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, $\sim 4.67 \mu\text{m}$) も観測できる。この遷移では、 $\sim 0.01 \mu\text{m}$ ずれて並ぶ数十の回転準位のラインを同時測定でき、ガスの物理状態を強く制限できる。またこれらのラインは、中心核に熱されたダストの熱放射を背景光とし基本的に吸収線として観測されるので、中心核近傍を実効的に高い空間分解能でプローブできる。各ラインの速度プロファイルは、アウトフローの開口角が小さければ吸収のみだが、大きい場合、吸収と放射から成る P-Cygni プロファイルとなる。今回は、ある質量放出率とアウトフロー形状のときに、CO のどのような速度プロファイルが予想されるか例示する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X11b FOCAS IFU による銀河スケールのアウトフローを示す AGN/ULIRG Mrk273 の観測

尾崎忍夫, 服部堯, 青木賢太郎 (国立天文台), 川口俊宏 (尾道市立大学)

銀河進化に関する理論的研究では、活動銀河中心核 (AGN) からの莫大なエネルギー放出によるガスアウトフローが銀河進化に影響を及ぼしている可能性が示唆されている。観測的にも AGN を持つ銀河ほどより高速のアウトフローが見られる傾向が確認されている。しかし、シミュレーションでは銀河中心ブラックホールへの降着質量の静止エネルギーの一定割合を中心付近のガスに与えるという単純化がなされており、AGN と銀河内ガスとの間でどのような相互作用が起こっているかは定かでない。

そこで我々はアウトフローを空間分解して、アウトフロー内や銀河内で起こっている物理現象を探るために、近傍の超高光度赤外線銀河 (ULIRG) Mrk 273 をすばる望遠鏡の可視光撮像分光装置 FOCAS に新たに追加された面分光ユニット FOCAS IFU を用いて観測した。Mrk 273 は AGN を持ち、さらに銀河スケールのアウトフローを示すことが知られているので、最適なケーススタディー対象である。FOCAS IFU の視野は $13.''5 \times 10''$ であり、Mrk 273 のアウトフロー領域 ($\sim 14''$; ~ 11 kpc) をほぼカバーすることが出来る。観測では $H\beta$ 、 $[O\ III]4959,5007$ 、 $[O\ I]6300,6364$ 、 $[N\ II]6548,6583$ 、 $H\alpha$ 、 $[S\ II]6716,6731$ の輝線データを $110\text{--}130\text{ km s}^{-1}$ の速度分解能で取得することができた。輝線プロファイルは場所によって異なり、輝線の種類によってプロファイルが明らかに異なる場所もあることが確認された。本ポスター講演では、代表的な場所のスペクトルを示し、その輝線比の様子からそれぞれの場所での物理現象に関して考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b 銀河中心超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着とその金属量依存性

豊内大輔 (京都大学), 杉村和幸 (東北大学), 仲谷 峻平 (東京大学), 細川隆史 (京都大学), Rolf Kuiper (Tübingen Univ.)

近年の観測により赤方偏移 $z \sim 7$ の初期宇宙において太陽の数億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールが存在していることが明らかになっている。そのような初期宇宙における超巨大ブラックホール形成の有力な説のひとつとして銀河中心ブラックホールへの超臨界降着がある。近傍の活動銀河核の観測から、銀河中心数 pc スケールの領域に dust torus と呼ばれる円盤状の構造が存在することが知られており、この構造を介して銀河中心超巨大ブラックホールへの質量降着が行われていると考えられる。Wada et al. (2016, 2018) では3次元輻射流体シミュレーションを用いて、活動銀河核周辺の dust torus 構造について、詳細なガスの空間分布や力学構造を調べた。彼らの計算によればダストへの輻射圧によってガスが降着円盤の上空高くまで巻き上げられ、中心ブラックホールへの速やかなガス降着が阻まれているようであり、結果として亜臨界降着が実現されている。

しかしながら、彼らは近傍の活動銀河核を再現することを念頭に置いていたため、ガスの金属量は太陽組成しか考えていなかった。ダストへの輻射圧強度は金属量が下がると弱くなるので金属量がある値以下になれば超臨界降着を実現することも可能かもしれない (e.g., Toyouchi et al. 2019)。このような限界の金属量があるか、あればいくらなのかを確かめる必要がある。そこで、本研究では独自に開発した3次元輻射流体シミュレーションコードを用いて、Wada et al. (2016, 2018) で調べられていない、ブラックホール質量、ガス密度、金属量の初期条件を調べ、ブラックホールの超臨界成長の可能性を探る。本ポスター講演では計算コードの開発状況と初期の結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13b “Slowing Down” of the Cosmic Growth of Supermassive Black Holes

白方 光 (株式会社 タダノ), 川口 俊宏 (尾道市立大学), 岡本 崇 (北海道大学), 大木 平 (カブリ IPMU), 長島 雅裕 (文教大学)

Eddington 比は光度と超大質量ブラックホール (SMBH) の質量との比に比例し, SMBH 成長速度の指標, ひいては SMBH 形成機構を明らかにする鍵となる. 同じ光度の AGN でも異なる Eddington 比を持ちうるため, AGN 光度のみでは SMBH の質量に関する情報は得られない. つまり Eddington 比と AGN 光度双方の個数密度分布の赤方偏移進化を明らかにして初めて, SMBH の質量獲得史を詳細に理解することができる. Eddington 比の赤方偏移進化について現在得られている観測結果は, 測定誤差や推定方法による不定性が大きく, 定性的にすら傾向が明らかになっていない. そこで本研究では, 準解析的銀河形成モデル “New Numerical Galaxy Catalog” (ν^2GC) を用いて, 各 Eddington 比ごとの AGN 個数密度の赤方偏移進化を示す.

準解析的モデル ν^2GC は, 銀河と AGN についてこれまで得られている観測諸量をよく再現するモデルである. また, この ν^2GC を用いて, 2018 年秋季年会において, SMBH は高赤方偏移ほど, また低質量の SMBH ほど super-Eddington 降着率による成長が重要であることをすでに示した (2018 年秋季年会 X5a). このモデルを用いて, 各 Eddington 比ごとの AGN 個数密度の赤方偏移進化を調べた. その結果, (i)SMBH は宇宙初期に超臨界ガス降着による急速なブラックホール成長によって形成されたこと, (ii)SMBH の成長速度が低赤方偏移になるにつれて下がることを明らかにした (Shirakata et al. 2019b). これは, 宇宙の SMBH 形成が, 時とともに徐々に遅くなってきたことを意味する. このような SMBH 成長シナリオは, 観測データのエラーを考慮すると Sołtan’s Argument (e.g. Sołtan 1982) の結果と矛盾しない.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X14b Swift 衛星/BAT で選択された近傍活動銀河核サンプルに対するエディントン比と母銀河のガス質量/星質量比の相関関係の検証

山下祐依, 河野孝太郎, 江草美実, 廿日出文洋 (東京大学)

近傍クエーサーサンプルを用いた近年の研究によって, AGN のエディントン比 λ_{Edd} と母銀河のガス質量/星質量比 $f_{\text{gas}} (\equiv M_{\text{gas}}/M_{\text{star}})$ との間に弱い相関がみられたことが報告されている (Izumi 2018). この結果は, 降着率の高い AGN は SMBH が急成長段階にあるだけでなく, 母銀河の成長とも深く関係している可能性を示唆している. そこで本研究は, Swift 衛星/BAT で選択された AGN 分光サーベイ (BASS) カタログをもとに, より低光度の一般的な AGN まで含むサンプルを新たに構築し, λ_{Edd} と f_{gas} の間の相関を検証した. 本サンプルは, 先行研究で用いられたもの ($6.5 < \log M_{\text{BH}}[M_{\odot}] < 9.0$) よりも, BH 質量が幅広い ($4.5 < \log M_{\text{BH}}[M_{\odot}] < 9.5$) など, パラメータスペースを広げた検証が可能である. これらに対して我々が実施した野辺山 45m 電波望遠鏡による観測では 6 天体で CO(1-0) 輝線を初検出し, ALMA Band6 による観測では 4 天体で CO(2-1) 輝線を検出した. さらに ALMA アーカイブ上で利用可能な low-J CO 輝線観測データに対しても新たに解析し, その他の文献値も合わせ, CO 輝線観測値から母銀河のガス質量を推定した. そして BASS 天体の母銀河の星質量カタログ (Koss et al. 2011) と合わせて母銀河の f_{gas} を推定し, 最終的に計 33 天体のサンプルを用いて λ_{Edd} と f_{gas} の相関を検証した. その結果, 両者の間に相関は見られなかった (相関係数 $r \sim -0.06$). 結果が先行研究と異なった要因は, 両サンプルにおける分子ガスの分布の違いにあると考えられる. 先行研究で対象となったクエーサーはスターバースト領域が銀河中心に集中する傾向があるため, 分子ガスも比較的中心に集中して, 本研究で多く含まれる一般的 AGN でのおよそ銀河スケールに分布したガスに比べて SMBH からの影響を受けやすいことが期待される.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15a The cosmic variance on the H α luminosity function examined by the new numerical galaxy catalogue (ν^2 GC)

小倉 和幸, 長島 雅裕 (文教大学), 嶋川 里澄, 林 将央, 小山 佑世, 小野寺 仁人 (国立天文台), 大木 平 (カブリ IPMU), 小林 正和 (呉高専)

“New Numerical Galaxy Catalogue” (ν^2 GC, Makiya et al 2016; Shirakata et al. 2018) は $0 \leq z \lesssim 6$ の広い赤方偏移に亘って銀河の様々な統計量をよく再現する準解析的銀河形成モデルである。良質な N 体シミュレーション (Ishiyama et al. 2015) に基づく最大でおよそ 1 Gpc^3 に及ぶ広大な共動体積が ν^2 GC の強みであり、広範囲に亘る銀河の統計的性質を調査するのに最適である。我々は ν^2 GC を用いて H α 輝線銀河 (HAE) のモデルを構築し、その統計的性質を調査した。HAE など、強い輝線を放射する銀河は狭帯域 (NB) フィルターを用いた撮像観測で広視野に亘って観測可能であるため、銀河が作る宇宙の構造のトレーサーとして有用である。一方、領域によって銀河の個数密度に大きな違いがあるという結果が報告されていたり、異なる基準で選び出したサンプルから求めた光度関数がなぜか一致するなど、観測される輝線銀河がどのような構造をどのようにトレースするかは、はっきりと理解されていない。本講演では、すばる望遠鏡 HSC による NB 探査観測により HAE の観測が行われてきた赤方偏移 0.4 に着目し、探査面積や観測する場所の違いによって H α 光度関数にどのような違いが見られるか調査した結果を紹介する。主要な結果として、(1) HAE の空間分布は高密度領域と低密度領域との濃淡がはっきりしており、HAE に着目することでフィラメント構造がよくトレースできる、(2) 2 平方度程度の探査面積では場所により H α 光度関数に最大で 1dex 程度の違いが現れる、(3) 平均的な H α 光度関数を得るためにはおよそ 15 平方度以上の探査面積が必要である、ということがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16a 大規模天体サーベイ観測に向けた模擬カタログの構築と公開

石山智明 (千葉大学) , and the Uchuu collaboration

宇宙論的 N 体シミュレーションは、宇宙初期の微小な密度揺らぎからはじまる、ダークマター分布の重力的な進化を計算する手法のひとつであり、大規模構造やダークマターハローの研究に広く用いられている。また準解析的銀河・活動銀河核形成モデル、halo occupation distribution モデル、abundance matching モデルなどと組み合わせ、ハローの中で誕生する銀河などの天体の性質を推定し観測と比較するなど、その適用事例については枚挙にいとまがない。

Hyper Prime-Cam などによる近年の大規模天体サーベイ観測と比較するためには、銀河スケールを十分表現できる分解能をもち、かつ 1 Gpc/h を大きく超えるスケールのシミュレーションをベースに模擬カタログを構築する必要がある。しかしこのスケールのシミュレーションはいまだ達成されていなかった。我々はこの状況を改善するために、2018年6月に本格稼働した国立天文台の新しいスーパーコンピュータ、アテルイ II を用いた大規模宇宙論的 N 体シミュレーションに、数種類の準解析的銀河・活動銀河核形成モデルを組み合わせた、大規模模擬カタログを構築し公開する国際プロジェクトを進めている。

ベースとなる大規模シミュレーションは粒子数 12800^3 、ボックスサイズ 2 Gpc/h 、粒子質量 $3.27 \times 10^8 M_{\odot}/h$ であり、他のグループによって行われた同程度のボックスサイズ、かつハローの合体形成史のデータが利用できるシミュレーションよりも、1桁以上良い質量分解能である。本講演では、シミュレーションの詳細やハロー合体形成史の作成法、ハロー質量関数や質量進化史などの基本統計量をはじめとした初期科学成果のほか、模擬カタログの詳細や各種データのリリーススケジュールについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X17a 宇宙論的シミュレーションで探る、恒星ストリームと銀河重力場の関係

森永優, 石山智明, 桐原崇亘 (千葉大学)

恒星ストリームは、矮小銀河や星団が宿主銀河の重力ポテンシャルの中を軌道運動する過程で、宿主銀河からの潮汐力を受け、過去の軌道に沿って星が引き剥がされ形成される。そのため、恒星ストリームは銀河系や近傍銀河のダークマターハローの形状など、重力ポテンシャルの特徴を制限できる重要なトレーサーとして大きな注目を集めている。本研究では大規模宇宙論的 N 体シミュレーションと Morinaga et al. (2019) で用いられた準解析的手法を組み合わせて得られた、銀河系サイズハロー周辺に存在する多数のストリームの構造と、宿主銀河のハローの形状の関係を統計的に調べた。まずストリームの恒星粒子の空間分布からアームの向きを特定し、 $z = 0$ の宿主ハローの長軸方向とアームのなす角を測定した。そして、ストリームの先祖ハローの質量、宿主銀河に取り込まれた赤方偏移、軌道離心率と宿主ハローの形状の関係を調べた。

解析の結果、約 40% のストリームが宿主ハローの長軸方向にそろった傾向にあることが分かった。また質量が大きなハロー、高赤方偏移で取り込まれたハロー、軌道離心率が高いハローを起源とするストリームのアームは、より宿主ハローの長軸方向にそろった傾向がある。特に、軌道離心率が中央値より高いストリームの約半数が宿主ハローの長軸方向にそろった傾向があり、ストリームの先祖ハローの軌道と宿主ハローの形状の間の最も強い相関が確認された。本講演では宿主ハローの形状と相関するストリームの宇宙論的な形成過程に加え、コズミックフィラメントを含む宇宙の大規模構造がそれらに与える影響についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18a 衛星銀河ハローのダークマターによる構造の違いと銀河形成過程による影響

岡本 崇 (北海道大学)

コールドダークマター (CDM) モデルは宇宙の大規模構造など様々な観測を説明することに成功している。一方、特に矮小銀河スケールでは、天の川銀河やアンドロメダ銀河の衛星銀河に関して、missing satellite problem, core-cusp problem, too-big-to-fail problem 等の問題が知られている。

これらの問題は銀河形成過程を取り入れることで解決できると考えられている。これは、ガス冷却によってゆっくりと中心部に集まったガスが超新星爆発によって吹き飛ばされることによって衛星銀河サブハロー中心部のダークマターの速度分散も増し、中心密度が下がることによるものである。逆に、矮小銀河スケールで CDM とは異なる振る舞いをするダークマターを導入することでもこれらの問題は解決可能である。例えば、self-interaction の cross-section が相対速度依存性をもつような self-interacting dark matter (SIDM) を導入することで銀河団スケールでの制限を満たしつつ、矮小銀河では kpc サイズのコアを作ることが可能である。

今回我々は、銀河形成過程を考慮した場合にもこのような SIDM は観測と矛盾しないのか、また衛星銀河の性質から CDM と SIDM を区別可能かどうか検証するために、CDM と SIDM を仮定して宇宙論的な銀河形成シミュレーションを行った。具体的には CDM と SIDM で $z=0$ に $10^{12} M_{\odot}$ 程度になるダークハローを用いて、天の川銀河の衛星銀河光度関数と速度関数を (だいたい) 再現し、衛星銀河ハローの構造を比較した。本講演では衛星銀河ハローの密度構造、速度構造について CDM と SIDM の違い、またダークマターのみシミュレーションと比較することにより銀河形成過程の影響について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19a IC10の銀河衝突シミュレーションで探る Dark Satelliteの存在可能性について

森正夫、宮川銀次郎（筑波大学）、三木洋平（東京大学）

我々の住む天の川銀河や近傍のアンドロメダ銀河 (M31) の周囲には、数十個程度の衛星銀河が観測されている。しかし、 Λ CDMモデルに基づく N 体シミュレーションによると、M31サイズの Dark Matter Halo には、観測されているよりも遥かに多くの sub halo が付随していると予想されている (Moore et al., 1999)。この理論と観測との不一致は missing satellite problem と呼ばれ、銀河形成の謎の一つとされている。この missing satellite problem に対して、総質量のほとんどが dark matter で構成された非常に暗い銀河 (Dark Satellite ; DS) が多数存在している可能性が理論的に指摘されている。Starkenburger et al.(2016) では、矮小銀河と DS との minor merger シミュレーションを行い、DS の観測可能性について様々なケーススタディを行った。一方で観測的には、M31 の衛星銀河である IC10 に counter part が観測されていない HI gas stream が観測されており、DS との相互作用の可能性が議論されている (Nidever et al., 2013)。

そこで我々は、この IC10 の gas stream の形成過程に着目し、M31 に付随する DS との衝突によって stream の観測的性質を精密に再現するモデル構築に取り組んでいる。本研究では、IC10 モデルと NFW profile (Navarro et al., 1996) のダークマターとガスをもつ DS の衝突実験を N 体/SPH シミュレーションを用いて行った。IC10 モデルには proper motion の観測 (Brunthaler et al., 2007) に基づく軌道運動を考え、DS には過去に IC10 に接近した軌道を与えた。そして、DS の質量やスケール半径、軌道 (初期相対速度) を変えながら、粒子分布の時間変化を調べた。本講演では、DS の質量や軌道等を変化させた衝突シミュレーションの結果を報告し、観測との比較や stream を形成する DS の条件及び DS の存在可能性について議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X20a 周期的な超新星フィードバックによる Ultra-diffuse galaxy の形成

加藤一輝, 森正夫 (筑波大学), 穂積俊輔 (滋賀大学)

Ultra-diffuse galaxy (UDG) は初めに van Dokkum et al. (2015) によって、新しい種族の銀河として発見された。その特徴は表面輝度が矮小銀河程度で低いのに対して、半光度半径が天の川の円盤程度と大きいことである。精力的な観測により、すでに 1000 以上の UDG が検出されているが、その形成過程の理論的理解は未だ途上である。そのような中で、Di Cintio et al. (2017) は宇宙論的な流体シミュレーションを用いて UDG の形成過程に関する研究を行い、UDG のような星分布が広がった系の形成にはガスのアウトフローが重要であり、UDG は矮小銀河の一種である事を示唆をした。しかし彼らの研究は、その物理過程の詳細に関しては議論しておらず、現象論的な理解でとどまっている。

本研究ではこの結果を踏まえて、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローによって、UDG が形成される物理的な条件や過程に着目して研究を行った。Dark matter halo と星で作られた系に、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローに対応したポテンシャル変動を外場として加えて、N 体シミュレーションを実行した。その結果、フィードバックによって星分布が時間とともに膨張する物理過程を明らかにした。さらに、UDG における半光度半径や質量 - 光度比のような典型的な特徴を再現し、その形成条件に一定の知見を得ることに成功した。本研究の結果は、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローが UDG の形成に決定的な役割を果たすことを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21a Galaxy Evolution as Seen from Machine Learning

竹内 努 (名古屋大)

Galaxies evolve in various aspects. Traditionally, properties that characterize galaxy evolution were chosen based on researchers' scientific intuition, and examined by them. However, such a classical approach would miss significant number of important features to represent the evolution of galaxies, since the dimension of galaxy survey data is enormous. Since we have an overwhelmingly large amount of new datasets, now it is a good moment to reconsider what the "galaxy evolution" is.

We demonstrate a method to extract the evolutionary features of galaxies through unsupervised machine learning algorithm. The dataset is a 52,000 galaxies with high- S/N , extracted from the public data provided by the VIPERS project. We constructed a multidimensional space of twelve luminosities (FUV, NUV, $u, g, r, i, z, B, V, J, H$ and Ks , and redshift. The luminosities were normalized to distribute around unity to match the range of redshifts ($0.4 < z < 1.3$), in order to avoid extremely elongated cluster in the data space. We applied a Gaussian mixture model to the data and estimated parameters by the Fisher Expectation-Maximization algorithm. This method automatically reproduced important characteristics of galaxies such as the classical active/passive galaxy dichotomy, star-forming galaxy main sequence, etc. We stress that, since we started from luminosity + redshift space, this analysis is free from the entangled selection effects that typically hampers the straightforward interpretation on the color-color planes. This will be a powerful tool to explore the next-generation astronomical datasets.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a Examining the Spatially Resolved Star Formation Histories of Local Interacting Galaxies

Kiyoaki Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

In order to understand the physical processes that go on inside interacting galaxies, we must first understand their star formation histories. We have identified interacting galaxies in the Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA: Bundy et al. 2015) catalogue using the Transfer Learning and Convolutional Neural Network (CNN) models developed by Ackermann et al. (2018), and obtained their star formation histories. The MaNGA FIREFLY Value Added Catalogue (Goddard et al. 2017) applies SED Fitting on spatially binned spectra in galaxies, and allows us to obtain spatially resolved star formation histories. The SED Fitting revealed that many interacting galaxies showed young stellar populations in regions where the galaxies seem to be interacting. Further, we have checked for consistency by applying the PCA method outlined in Rowlands et al. (2018) on galaxy spaxels. This method uses information related to the 4000Å break as PC1 and information related to the total excess Balmer absorption as PC2 to analyze the stellar population in each region. The PCA results showed that the interacting regions have increased recent star formation, which is consistent with the our obtained SFH. We will discuss our findings of the physical properties of these regions, as well as possible underlying relevant physical processes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a ALMA データを用いたスパースモデリングによる $z = 2.56$ の重力レンズ天体 Cloverleaf QSO の超解像度イメージング

戸上陽平, 田村陽一, 谷口暁星, 竹内努 (名古屋大学), 中里剛 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所)

本研究では、スパースモデリングに基づく ALMA 像合成ツール PRIISM (池田他 2018, 年会 V138a; 中里他 2018, 年会 V139a) を用いて、ALMA で観測された $z = 2.56$ の重力レンズ天体 Cloverleaf QSO のデータに対して、超解像度イメージングの検証を行った。銀河形成の研究において空間分解能の不足は大きな問題の一つである。遠方銀河では ALMA 等の高分解能干渉計を用いても数百 pc 程度の構造が分解できるような空間分解能に留まり、それ以下のスケールでの観測が難しい。本研究で使用した PRIISM は、従来の CLEAN 法とは異なり、天体構造のスパース性となめらかな輝度変化を仮定してイメージングを行う。そのため本手法は、従来法よりも高分解能の像合成を可能にし、極めて S/N の高い原始惑星系円盤等への適用例では、従来法に比して 3-4 倍高い分解能が得られる可能性が示されている。

そこで本研究では、ALMA/Band7 (338-341GHz) が角分解能 $0''.24$ で観測した Cloverleaf QSO のダスト連続波データに対し、ソフトウェアパッケージ PRIISM を用いて、 $0''.24$ を切る超解像度イメージングの検証を行なった。その結果、本手法により従来法の CLEAN よりも分解能の高いイメージを得ることができ、得られたイメージは別途独立に取得された同一天体の $0''.14$ のデータとの比較においてノイズレベルの範囲で無矛盾であった。本検証により、少なくとも約 1.7 倍の分解能の向上が認められたことに加え、Cloverleaf QSO の 4 重像の各々に内部構造が存在することがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X24b 機械学習による遠方銀河の形態パラメータ推定

馬屋原拓也, 澁谷隆俊 (北見工業大学), HSC Project 264 メンバー

広領域探査データを用いた銀河形態研究では、銀河サイズ/Sérsic 指数の環境依存性、大質量銀河の軸比分布など銀河進化に関わる多くの知見が得られると期待されている。しかし、Sérsic profile fitting などの従来の形態パラメータ測定方法では、一天体につき数十秒の測定時間が掛かってしまうため、 $\sim 100 - 1000$ 万個に及ぶ大規模銀河データを効率的に解析することは困難である。

そこで我々は、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 探査データの画像から銀河の形態パラメータを推定する機械学習モデルを構築した。畳み込みニューラルネットワークによる回帰分析により、銀河の等級 m 、半光度半径 r_e 、Sérsic 指数 n 、軸比 q を従来手法の数百 - 数千倍の速度で推定することができた。機械学習モデルの訓練のために、まず、様々な m, r_e, n, q を持つ人工銀河の画像を 6 万枚作成し、教師データとしてモデルに入力した。次に、ハッブル宇宙望遠鏡データで形態パラメータが既に測定されている遠方銀河の画像 ~ 5 千枚を入力し、機械学習モデルを fine tuning した。訓練した機械学習モデルをテストデータに適用させたところ、形態パラメータの入力値と推定 (出力) 値は良い一致を示し、 m, r_e, n, q を $\sim 5 - 60\%$ の精度で推定することができた。

本講演では、機械学習モデルの構成や性能を紹介するとともに、すばる望遠鏡 HSC 探査データの解析から得られた遠方銀河形態の環境依存性、大質量銀河の形態について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25b SIMD 命令を用いた SPH 法の高速化

吉川耕司 (筑波大学)

宇宙物理学の数値シミュレーションでは、星形成・銀河形成から宇宙大規模構造形成まで幅広いスケールにわたって粒子法に基づく流体力学シミュレーション手法である SPH 法やそれに類似した計算手法が使われている。これらの手法では、Lagrange 的に運動する粒子に物理量を持たせて近傍の粒子と相互作用させるため、相互作用する粒子が時々刻々変化するという特徴を持っている。そのため、メッシュ法のような計算手法と比較すると計算コストが比較的大きくならざるを得ない。

一方、近年のプロセッサの性能向上の一部は計算コアの数を増やすことによって達成されているが、もう一つの方向性として各計算コア内の SIMD 命令と呼ばれる多数のデータに対して同一の演算を同時に並列計算する命令の性能(並列性)を向上させることでプロセッサの性能向上を達成している。しかしながら、通常の C 言語などの高位言語の標準的な機能で SIMD 命令を効率的に利用することは一般には困難である。

本発表では、この SIMD 命令を活用することで SPH 法の計算コストを大幅に削減する手法を紹介する。SPH 法ではある粒子に対して数十から 100 個程度の近傍粒子群との流体相互作用を計算するが、これを単純に SIMD 命令を用いて計算する場合メモリアクセスの帯域によって性能が本来よりも大幅に劣化する。それは粒子のデータ構造を AoS (Array of Structure) から SoA (Structure of Array) に変換する必要があるためである。我々はこの性能劣化の要因を、一旦 AoS 形式で複数個の粒子をロードした後で、SIMD 命令レジスタ上で転置操作を実施することで排除し、結果的に SPH 計算の計算コストを大幅に削減することに成功した。なお、本研究で開発したコードは粒子シミュレーションフレームワーク FDPS 上で動作するものを公開してある。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26a 3次元輻射流体シミュレーションによる低金属量星団形成

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学), 杉村和幸 (メリーランド大学)

巨大分子雲 (GMC) における星形成は、大質量星による輻射フィードバックや超新星爆発、またその星形成効率によって、銀河形成や進化を特徴づける。観測によると、GMC の寿命は自由落下時間程度と超新星爆発が起こる時間より短いため、内部で形成された大質量星の輻射や星風によるフィードバックにより GMC が破壊されていると考えられる (Kruijssen et al. 2019)。また、近年行われた輻射流体シミュレーションによると、大質量星による HII 領域形成が GMC からのガス蒸発を起こすことで、GMC の寿命や星形成効率を調整していることが明らかになっている (e.g. Geen et al. 2017, Kim et al. 2018)。

本講演では、適合格子計算法流体コード (SFUMATO; Matsumoto 2007) に Adaptive Ray-Tracing による輻射輸送 (Sugimura et al. in prep) および非平衡化学反応計算を実装した輻射流体コードを用いて、GMC における星形成について計算した結果を紹介する。また、この結果から星形成効率の金属量や面密度依存性、先行研究では含まれていなかった重元素による熱過程の影響について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27a HSC-SSP 深撮像データと可視分光観測で探る $z \lesssim 0.02$ 極金属欠乏銀河

小島崇史, 大内正己, 小野宜昭 (東京大学), Michael Rauch (Carnegie), 他 29 名 (HSC project 251)

形成直後の銀河は、低金属量 ($Z/Z_{\odot} \sim 0.01-0.1$)、小星質量 ($M_{\star}/M_{\odot} \lesssim 10^7$)、年齢が若い ($\lesssim 30\text{Myr}$) といった性質を持つと考えられる。このような銀河は、銀河形成や銀河進化の初期段階を理解するためのよい標本となる。近傍宇宙には極金属欠乏銀河と呼ばれる銀河が存在し、上記の性質を持つことが知られている。

本研究は、HSC-SSP と SDSS のデータを用いて、近傍宇宙 ($z \lesssim 0.02$) に潜む極金属欠乏銀河の探査を行うものである。深い HSC-SSP 測光データと浅い SDSS 測光データを組み合わせることによって、幅広い等級レンジ ($i \sim 17-24$ mag) の極金属欠乏銀河候補を約 70 個発見することに成功した。HSC-SSP データは SDSS データより 5 等級以上深いため、SDSS データでは発見が困難な、暗い極金属欠乏銀河候補 ($i \lesssim 24$ mag) も多数発見されている。我々は、Keck/DEIMOS, Subaru/FOCAS, Magellan/LDSS-3, Magellan/MagE を用いた初期分光観測によってまず 10 個の極金属欠乏銀河を同定した。この中には、 $\sim 2\%$ 太陽金属量と非常に金属量の低い天体も含まれていることが確かめられた。本講演では、初期分光観測の報告を行うとともに、同定された極金属欠乏銀河の性質について報告する。また、極金属欠乏銀河の元素組成比や高い電離状態から示唆される大質量星の寄与についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X28b すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の有効半径・星質量関係—遠方初期銀河との関係—

磯部優樹, 大内正己, 小島崇史, 菅原悠馬 (東京大学), 他 29 名 (HSC project 251)

遠方宇宙の形成後間もない初期銀河は, 低金属量で低質量といった性質をもつと考えられている. このような性質の銀河は, 近傍宇宙において極金属欠乏銀河 (EMPG) と呼ばれる天体と似ており, 遠方宇宙の初期銀河を理解する上での手掛かりとなる. 本研究では, すばる HSC と SDSS の撮像データから機械学習により選ばれ, 分光同定された EMPG (Kojima et al. in prep) のうち, すばる HSC SSP 探査の Wide 領域にある 11 個の EMPG に対して, 有効半径 r_e と星質量 M_* を求めた. EMPG のすばる HSC i バンド画像に対して, GALFIT (Peng et al. 2010) コードを用いて Sérsic プロファイルフィッティングを行なった. この際, 近くにある大きな銀河も同時にフィッティングを行い, 画像データ全体での最適解を求めた. その結果, EMPG の多くは Sérsic インデックス n が $n \simeq 1$ であった. さらに, EMPG の有効半径は小さく $r_e = 30 - 150$ pc であることが分かった. また, EMPG の i バンド等級は, -13 から -12 等級であり, 星質量にして $10^{5-6} M_\odot$ と小さかった. $r_e - M_*$ 関係図を用いて EMPG を近傍の多様な銀河と比較したところ, EMPG の大半は矮小楕円体銀河 (dSph) に分類される天体であることが分かった. さらに我々が調べた EMPG のうち 1 個は, $r_e \sim 30$ pc と極めてコンパクトで, 星質量も $M_* \sim 10^5 M_\odot$ と小さい天体であった. この天体は, 星形成活動を行なってはいるものの, $r_e - M_*$ 関係図において球状星団に分類される天体であり, 近年報告されている遠方宇宙の初期銀河候補銀河の local analog の可能性がある.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29b $z = 5-6$ における星形成銀河のアウトフロー II

菅原悠馬、大内正己 (東京大学)、播金優一 (国立天文台)、Nicolas Bouché (CRAL)、Peter D. Mitchell (Leiden)、Jérémy Blaizot (CRAL)

星形成銀河におけるアウトフローは星形成フィードバックとして銀河進化を制御すると考えられている。アウトフローの重要な物理量の一つであるアウトフロー速度を推定するためには、吸収線が受かるほどの深い可視スペクトルと正確な赤方偏移が必要であり、これまで $z \gtrsim 4$ ではほとんど調べられていなかった。我々は2019年春季年会 X26a において、DEIMOS と ALMA で観測されていた $z = 5-6$ の星形成銀河でアウトフロー速度を推定し、星質量 $M_* \sim 10^{10.1} M_\odot$ でアウトフロー速度が $z = 0$ から 6 へと単調増加することを報告した。本講演ではこれらの結果を元に、アウトフロー速度と銀河の物理量の関係について議論するとともに、吸収線の深さから推定した Lyman 連続光の脱出率 (f_{esc}) についても議論する。金属吸収線から推定したアウトフローの最大速度 (v_{max}) と銀河の物理量の間で相関をとったところ、 v_{max} は星形成率 (SFR) やハローの回転速度 (v_{cir}) と強い相関 ($r \simeq 0.8$) を示した。このことは SFR と v_{cir} の間に正の相関があることを意味しており、実際、星形成 main sequence 銀河では $z = 0$ から 6 にわたって正の相関関係にある。一方で、比星形成率 (sSFR) や星形成率面密度 (Σ_{SFR}) は v_{max} と強い相関を示すものの、その関係は $z \sim 0$ における関係と $z = 0-6$ にわたる関係を同時に説明できない。よって、 $z = 0$ から 6 にわたってアウトフロー速度を統一的に説明できるパラメータは v_{cir} と SFR であり、 v_{cir} の寄与を議論する重要性を改めて指摘した。また、スペクトル中の SiII λ 1260 吸収線の深さやプロファイルの形から、近傍で得られた経験則を使って f_{esc} を推定した。吸収線の深さからは $f_{\text{esc}} \sim 0.02$ と、宇宙再電離を引き起こすには小さな値が得られた一方、近傍の Lyman 連続光放射天体と似た吸収線プロファイルを示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30b 星形成銀河からの遷音速アウトフローの赤方偏移依存性

五十嵐朱夏、森正夫 (筑波大学)、新田伸也 (筑波技術大学)

銀河から星間ガスが流出する銀河風は、銀河内外の力学進化や化学進化に影響を与える重要な現象である。近年、金属の吸収線を用いた近傍星形成銀河の観測的研究によって、アウトフロー速度が星質量や星形成率と相関を持つことが明らかになった (Martin 2005; Heckman et al. 2015, 2016)。同様の傾向は、高赤方偏移星形成銀河でも観測されている ($z \sim 1$: Weiner 2009; Martin 2012; Rubin et al. 2014, $z \sim 2$: Sugahara et al. 2017)。銀河進化史を検討する上で重要な物理量である質量流束 (ガス流出量) は、このアウトフロー速度にモデルを適用して求めることができる。しかし、よく用いられる shell outflow モデルは、ガス柱密度などの大きな不定性を常に伴っている。今回構築した球対称定常遷音速銀河風モデルは、そのような不定性を含まないので、より正確に質量流束を算出することができる。

本研究では、Heckman et al. (2015, 2016) による 39 個の近傍星形成銀河のアウトフロー速度から質量流束を算出した。その結果、質量流束と星形成率との比 (MLF) は、大質量銀河に比べて低質量銀河で大きいことがわかった。これは、低質量銀河では星形成に使われた量よりも多くの星間ガスが流出することを示す。宇宙論的シミュレーションからも、今回の結果に近い MLF の値が得られている。さらに、高赤方偏移星形成銀河 (Sugahara et al. 2017) でもアウトフロー速度から質量流束を算出した。その結果、高赤方偏移では近傍に比べて MLF が低下する傾向があることがわかった。本講演では、宇宙論的シミュレーションで得られた高赤方偏移星形成銀河での MLF との関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X31b ALMA を用いた $z=4.3$ サブミリ波銀河の金属量測定

但木謙一, 伊王野大介, 松田有一, 中西康一郎, 植田準子, 道山知成 (国立天文台), 長尾透 (愛媛大学) 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 齊藤俊貴 (MPIA), 梅畑豪紀 (理研), 李民主 (MPE)

銀河の化学進化を理解するに当たって、金属量は最も重要な物理量の1つである。多くの場合、静止系可視の波長帯にある電離ガスからの輝線放射を観測し、その輝線比から光電離モデルを介して金属量を推定するというアプローチがとられる。近年では MOSFIRE など高感度の近赤外分光観測が可能となり、 $z = 1 - 3$ にある星形成銀河の金属量測定が盛んに行われている。しかしながら楕円銀河の $z > 3$ での祖先と考えられるサブミリ波銀河の金属量を測定するためには、2つの大きな困難がある。1つ目は、金属量の推定に有用な $H\alpha, [N II]6563$ 輝線が、地上から観測することができないこと。2つ目は、サブミリ波銀河では $[O III]5007$ 輝線などの静止系可視域の輝線は強い減光を受けてしまい、検出するのが難しいことである。

そこで我々は ALMA を用いて、 $z=4.3$ にあるサブミリ波銀河 COSMOS-AzTEC-1 の静止系遠赤外域の微細構造線 $[C II]158\mu m$ 、 $[N II]205\mu m$ 、 $[O III]88\mu m$ を観測し、ダスト減光の影響を受けないこれらの輝線を用いて、金属量の測定を行った。以前観測した $CO(4-3)$ 輝線と $[C II]158\mu m$ 輝線を組み合わせることで、PDR ガスの物理状態 (FUV 放射強度、ガス数密度) を推定し、電離ガスの物理状態 (電離パラメーター、ガス数密度) に制限を与えた。この制限の下では、観測された $[O III]/[N II]$ 光度比は $Z_{gas} = 0.7 - 1.0 Z_{\odot}$ に相当し、太陽と同程度の金属量を持つことがわかった。このようなダスティーな銀河種族はこれまでの可視・近赤外観測では見逃されてきたが、次期赤外線天文衛星 SPICA によって、包括的な銀河の化学進化の描像が見えてくると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32b すばる HSC 広域可視光データを用いた高赤方偏移 DLA の対応天体の探索

玉田望, 長尾透, 登口暁 (愛媛大学), 小倉和幸 (文教大学), 池田浩之 (国立天文台), 鳥羽儀樹 (京都大学), HSC-SSP project 2

銀河進化の全貌を知る上で、形成初期の銀河の性質について理解することは重要な課題である。しかし、形成初期の銀河は高赤方偏移に多く、星に対するガスの割合が大きいことから、暗くて観測することが難しい。形成初期の銀河を研究するため、Damped Lyman- α Absorption system (DLA) がしばしば注目される。DLA はクエーサースペクトル上に現れる吸収線系であり、クエーサーより手前にある柱密度の大きな中性水素雲 ($N_{\text{HI}} \geq 2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$; Wolfe et al. 1986) によって生じている。この DLA と対応する銀河 (以下「DLA 銀河」) を特定することにより、形成初期の銀河を調べることができる。しかし、これまでに見つかっている $z > 2$ の DLA 銀河は 20 個程度に過ぎず、DLA と星形成との関係は未だはっきりと理解されていない。

そこで、本研究では Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の分光観測で見つかった $2 < z < 3$ の DLA に着目し、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam のすばる戦略枠観測 (HSC-SSP; Aihara et al. 2018) で取得された可視光画像を用いて DLA 銀河の探索を行った。DLA 銀河候補である $2 < z < 3$ の銀河をカラーセレクションによって選出し、 $2 < z < 3$ の DLA を持つクエーサーと、DLA を持たないクエーサー周囲における銀河の空間分布をそれぞれ調査した。その結果、DLA を持つクエーサーから 2-3 arcsec の範囲における銀河の個数密度が、DLA を持たないクエーサー周囲と比較して約 27 % 高いことがわかった。本発表ではこの結果を報告するとともに 2-3 arcsec における空間分布の違いの解釈について議論し、分光追求観測に向けた取り組みを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33b $z = 2.4$ 53W002 原始銀河団における大質量銀河の星形成の調査

米倉直紀, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 馬渡健 (東京大学), 山田亨 (ISAS)

近傍の銀河団では大質量の早期型銀河が多く存在し、これらの銀河を構成する古い星は $z \sim 2$ で形成されたと考えられている。したがって高密度環境での早期型銀河の形成と進化を理解するためには、 $z > 2$ の原始銀河団を観測することが重要である。本研究では Ly α 輝線銀河 (Lyman Alpha Emitters : LAEs) の密度超過により発見された $z = 2.4$ にある 53W002 原始銀河団 (Mawatari et al. 2012) に注目した。これまで我々はこの原始銀河団に対して、Subaru/MOIRCS の近赤外線 J, H, K_s バンドの撮像データを用いた大質量銀河の探査を行い、LAEs の構造に沿って大質量銀河の密度超過を発見した (濱口他、日本天文学会 2014 年秋季年会)。近赤外線のデータに加えて Subaru/S-Cam の V および i' バンドのデータを追加することで、近赤外線 J, H, K_s バンドで選出した銀河の可視光および近赤外線のカラー分布を調べ、種族合成モデル (Bruzual & Charlot 2003) との比較から星形成活動を推定した。

その結果、red sequence を構成しているように見えた非常に赤い近赤外線のカラー $(J - K_s)_{AB} > 2$ を持つ銀河は、可視-近赤外線のカラーが星形成を終えた銀河のモデルほど赤いわけではなく、ダストに覆われた星形成銀河のモデルと一致することがわかった。一方で、近赤外線のカラーが $(J - K_s)_{AB} \sim 1.5$ であった銀河が星形成を終えた銀河のモデルと一致した。また、ダストに覆われた星形成銀河と星形成を終えた銀河の空間分布を比較した結果、これらの銀河は互いにずれて分布していることが分かった。本講演ではこれらの結果を報告し、大質量銀河の形成と進化について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X34a Ly α 輝線で見える $z \sim 3$ のクエーサーを持つ原始銀河団

菊田智史, 松田有一, 今西昌俊, 小宮山裕 (総合研究大学院大学/国立天文台)

近年銀河形成分野で重要視されている cold accretion シナリオでは、小質量ハローおよび高赤方偏移 ($z > 2$) の大質量ハローにおいて網状の構造 (cosmic web) からの銀河間物質 (Intergalactic Medium; IGM) の大量流入 (cold stream) が銀河へのガスの主要な供給源となって成長を支配することが予想されている (Dekel et al., 2009, Nature, 457, 451)。銀河周辺に分布するガス (Circumgalactic Medium; CGM) は、流入したガスと星形成や活動銀河核のフィードバックで銀河から吹き飛ばされたガスが混ざり合う場であり、その性質を理解することも銀河形成の理解に非常に重要である。物質の密度が高い原始銀河団領域および強い紫外光を放つクエーサー周辺ではこれらのガスからの Ly α 放射を直接検出できる可能性があり、実際にいくつかの特殊な (極端に明るいものや複数個クエーサーが集まった系など) クエーサーの周囲に巨大な Ly α 星雲が見つかってきている (Cantalupo et al. 2014, Nature, 506, 63)。しかし、未だ観測例に乏しく cold accretion シナリオとの関係などの詳しい性質は依然良く理解されていない。

我々は、IGM/CGM のさらなる検出/理解を目指し、すばる望遠鏡の可視光広視野カメラ Hyper Suprime-Cam に搭載された狭帯域フィルターを用いていくつかのクエーサーを含む原始銀河団領域を撮像し、その周囲の Ly α 放射をあぶり出した。うち一つの非常に明るいクエーサー周辺では、実際に巨大な Ly α 放射体が見つかったため (Kikuta et al. 2019, PASJ, 71, L2)、その測光的性質を報告する。また、そのクエーサー周辺の大規模構造も明らかにし、これと広がった Ly α 放射を示す天体の分布が関係していることを示す。他の原始銀河団での例も示し、上記シナリオとの関係も議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X35c 多波長データに基づく $z \sim 2$ の原始銀河団コアに属する銀河の性質

安藤誠, 嶋作一大 (東京大学)

銀河の星形成や形態の進化は, 周囲の銀河数密度をはじめとした「環境」に依存することが知られており, この環境依存性の起源解明のためには, 星形成の最盛期であった $z \sim 2$ の宇宙で銀河の性質と環境の対応を調べる必要がある. 原始銀河団の中で最も重いダークマターハロー (DMH: ダークマターのビリアル系) は高赤方偏移において環境依存性が強く現れる場所と期待される. そこで前回の講演 (日本天文学会 2019 年春季年会 X32a) では, このような DMH を原始銀河団の「コア」と定義し, 星質量が大きな銀河が属する系を目印にすることで $z \sim 2$ のコアを COSMOS 領域で探し, そのメンバー銀河の性質を調べた. その結果, コアに所属する銀河はフィールド銀河に比べて相対的に重いものが多く, 星形成をやめたものの割合が数倍程度高いことがわかった. このことは, コアにおける環境依存性が $z \sim 2$ で既に生じていたことを示唆する.

本研究ではこれまでに見つけたコアに属する銀河の性質をより詳しく知るため, COSMOS 領域に存在する多波長観測データに基づくカタログを用いて, コアと様々な種族の銀河 (e.g. AGN, 電波銀河) の分布の対応を調べた. これらの結果を踏まえ, 本講演ではコア環境がそこに属する銀河にどのような影響を与えるかについて議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a ALMA および Keck で探る赤方偏移-1.5 の銀河団領域における銀河の化学進化

木村大希 (東北大学), 児玉忠恭 (東北大学), 林将央 (国立天文台), 鈴木智子 (東北大学)

近傍の銀河団領域で観測される early-type 銀河は、遠方の銀河団領域における大質量銀河を祖先とすることが分かってきた。その時代は銀河が星形成の材料であるガスを大量に保有し、ガスの消費メカニズムや、流入および流出が進化に大きな影響を与えとも言われている。特に大質量銀河では、活動銀河核と呼ばれる銀河中心に存在するブラックホールの活動によりガス消費が抑制される可能性も高い。遠方ではガスの流入、流出を直接観測することは非常に難しいが、銀河のガス質量と、ガスに含まれる重元素量 (金属量) が分かれば、モデルから特徴を調べることができる。

そこで、私は宇宙の星形成最盛期 ($z \sim 1.5$) における銀河団 XMMXCS J2215.9-1738 に着目し、銀河のガス質量と金属量の関係や活動銀河核 (AGN) の feedback について調べた。CO 分子の回転遷移である CO(2-1) 輝線から分子ガス質量を求め、Keck/MOSFIRE の H-band 分光観測から、 $H\alpha$, [NII] の輝線強度比を調べ、金属量を求めている。モデルでは、ガスの流入率、流出率が星形成率に比例すると仮定し、その比例定数をパラメータとして、観測から得られたガス量と金属量を再現するパラメータを計算する。また、AGN の feedback については、AGN の有無と星形成の活発さとの関係、環境パラメータ (銀河数密度) との関係について調べた。結果として、ALMA で CO に加えてダスト放射の検出もあった天体の多くが高い輝線強度比と速度幅を持ち、AGN を有していること、AGN により大質量銀河の星形成が抑制されていること、銀河団の中でも高密度環境に AGN が存在することが分かった。これらから高密度環境にいる大質量な銀河は、合体などを経験して爆発的な星形成や AGN 活動を引き起こし、星形成を止めていくというシナリオが考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X37a 赤方偏移 ~ 0.9 の超銀河団 CL1604 の大規模構造の全貌

林将央, 小山佑世 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 小宮山裕 (国立天文台), Yen-Ting Lin (ASIAA), 宮崎聡, 嶋川里澄 (国立天文台), 鈴木智子 (東北大学), 田中壺 (国立天文台), 山元萌黄 (総研大), 山本直明 (東北大学)

CL1604 超銀河団は赤方偏移 ~ 0.9 に存在し、少なくとも3つの銀河団および5つの銀河群から構成される大規模構造である。その構造は約26Mpcにも及び、既知の遠方宇宙の大規模構造の中で最も大規模かつ卓越した構造の一つである。故に、大規模構造の形成過程とそこでの銀河の進化過程を調べることに適した領域である。

我々は、HSC すばる戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の Wide-layer のデータを使うことで、既知の CL1604 超銀河団は、南北にさらに広がった50Mpc以上にもわたる大規模構造の中に存在する構造の一部であることを発見した。HSC データを使った測光的赤方偏移をもとに選んだ銀河の分布から、北側に1つの高密度領域が、また、南側に3つの高密度領域が存在することが明らかになった。すばる望遠鏡の FOCAS と Gemini 望遠鏡の GMOS を使った追観測により、55個の red-sequence 銀河と82個の star-forming 銀河が、赤方偏移 ~ 0.9 の構造に付随することを確認した。つまり、既知の CL1604 超銀河団は氷山の一角を見ていたに過ぎず、本研究により、その全貌を明らかにすることに成功した。さらに、red-sequence 銀河の分光スペクトルを用いて、4000Å ブレイクと H δ 吸収線の強度の関係から恒星種族を調べた。red-sequence 銀河は約2Gyrより古い年齢の恒星から成り、約50Mpcにもわたって分布しているにも拘らず、恒星の年齢は同等であった。一方で、星形成史は銀河によって、ばらつきが大きいことが示唆される。本講演では、HSC の広視野がもたらす大規模構造探査の威力を示し、その大規模構造に属する銀河の恒星種族から宇宙の構造形成と銀河の進化過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a すばる超広視野観測で明かす大規模構造形成と銀河進化

山本直明, 児玉忠恭 (東北大学), 林将央 (国立天文台), 小山佑世 (国立天文台), 嶋川里澄 (国立天文台), 鈴木智子 (東北大学), 他 *HSC*² チーム

近傍宇宙の観測によると銀河の特性（色、年齢、形態など）は、銀河がどのような周辺環境にいるかによって大きく異なっている。これらの銀河の環境依存性の起源や進化を過去に遡って調べていくことは、銀河の形成進化の歴史を辿る上で非常に重要なテーマである。しかし遠方銀河団のサンプル数も少なく統計的に調べられてきた例は少ないという問題や、形成から十分に時間の経った銀河団が見つかるバイアスがあるという問題があった。そこで私たちは従来よりも視野が広く深い観測データのある、すばる広視野撮像装置 HSC に着目した。この装置は一つの視野で宇宙の大規模構造を効率よく捉えることができる、銀河団探査に適したユニークな装置である。私たちは HSC の 4 年に渡るレガシーデータ (HSC-SSP) を使って前人未到の銀河団サーベイを行った。ここでは 2 種類の銀河を手掛かりに銀河団サーベイを行った。一つ目は Red sequence survey である。これは赤く古い銀河の高密度領域を見つけることができる。二つ目は Blue cloud survey であり、狭帯域フィルターを使って青く若い輝線銀河の高密度領域を見つけることができる。サーベイの結果、様々な進化段階の銀河団候補を見つけることに成功した。さらに Blue cloud survey で見つかった銀河団候補の中で、輝線銀河が多く群れている領域を Blue dominated cluster、赤い銀河と青い銀河どちらも集まっている領域を Dual cluster と命名して、銀河団の発達段階による違いを調べた。 $z \sim 0.84$ の色等級図や光度関数によると、Blue dominated cluster では明るい側にのみ赤い銀河が分布しているが、Dual cluster では赤い銀河がより暗い側にまで分布していた。明るく重い銀河が先に進化し、暗く軽い銀河ほど遅れて進化する「ダウンサイジング」のシナリオとこれらの結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a $z = 0.9$ 銀河団の最新観測で探る銀河降着過程と星形成活動の関係

朝野哲郎 (東京大学/東北大学), 児玉忠恭 (東北大学), 本原顕太郎 (東京大学), SWIMS チーム, 他 10 名

銀河は銀河団への降着に伴い、色や形態、星形成活動などの性質を変えることが知られている。そのような銀河の性質の変化がどのような物理過程によって引き起こされているのかを理解するためには、銀河集積過程にある遠方銀河団を直接観測することが重要である。そこで、我々はこのような銀河団として $z = 0.9$ の銀河団 (C11604-D) に着目した。C11604-D は、ORELSE サーベイの一環として精力的に観測されてきた銀河団であり、すでに多くの銀河団メンバーに対して分光赤方偏移や Spitzer/MIPS、HST/ACS による撮像などのデータが揃っている。また、この銀河団は HSC-SSP サーベイ Wide 領域にも位置しており、grizy バンドの測光データも利用可能である。さらに、我々は C11604-D の狭帯域撮像を行うことによって $H\alpha$ 輝線銀河 (HAE: $H\alpha$ Emitter) 探査を行い、17 個の HAE を銀河団内に見つけることができた。これらの充実したデータと我々の観測から、HAE の多くが銀河団中心部を取り囲むように分布していて、それらは銀河団への降着段階にあるグループを形成していることがわかった。また、このグループ内には高光度赤外線銀河 (LIRG) などスターバースト銀河やマージャー/相互作用銀河も多く見られた。これらの結果は、銀河団降着段階での銀河合体や活発な星形成を経て銀河の性質の変化が起こることを示唆していて、Mahalo-Subaru サーベイなどで見られている銀河団での inside-out 的星形成シナリオとも整合的である。

今回の狭帯域撮像は、東京大学アタカマ天文台 (TAO)6.5m 望遠鏡のために開発された近赤外分光撮像装置 SWIMS を用いて行った。今回の我々の観測はすばる望遠鏡での試験観測の一部であったが、上記のような銀河団への銀河降着と銀河の性質の変化の関係を示唆するような結果が得られたため本講演で紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 長波長・赤外線放射の相関が及ぼす銀河星形成率推定への影響

吉田俊太郎, 竹内努 (名古屋大学), Luca Cortese, O. Ivy Wong, Barbara Catinella (ICRAR, UWA)

銀河星形成率 (Star Formation Rate : SFR) は銀河の星形成活動度を定量的に表す重要な物理量である。SFR は個々の銀河の星形成活動度の違いを示すだけでなく、現在から宇宙初期までの各時代における SFR の空間密度を求めることで銀河進化の解明に繋げることができる。本研究ではこの SFR の「推定法」に焦点を当て、2020 年代に運用が開始予定の超大型電波干渉計 (Square Kilometre Array : SKA) に向けて近年気運が高まっている「長波長帯メートル放射」を用いた手法の妥当性について議論を行う。このような長波長帯では超新星残骸によって加速された高エネルギー電子により放射されるシンクロトロン放射が支配的で、この放射は赤外線におけるダストの熱放射と良い相関を持っていることが知られている。この相関は q 値と呼ばれる値で表され、SFR 推定の際に因子として寄与する。しかしながらこの q 値の周波数依存性や赤方偏移依存性については未だ未解明な部分が多い。今回は前者の周波数依存性に着目し、SKA の先行機の 1 つである Murchison Widefield Array : MWA のデータを用いて 34 個の星形成近傍銀河について 100 MHz 周辺での q 値の周波数依存性を調べた。その結果予測されていたよりも小さな冪を持つ周波数依存性の存在が確認された。この結果は一般に知られているよりも銀河内の高エネルギー電子の割合が高い可能性を示唆するものである。本発表ではこの結果に加えて各銀河の性質と q 値の周波数依存性の関係性についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X41a ガスの流入を考慮した銀河内ダストの化学進化

長崎早也香, 竹内努, 浅野良輔 (名古屋大学)

ダストは銀河内に存在する固体微粒子で、そのサイズ分布や量などによって、銀河の物理量に影響を与えている。そのため、ダストの進化を正確に見積もることは、銀河の進化を正確に把握することにつながるため、非常に重要である。Asano et al. (2013a, b, 2014) は、クローズドボックスモデルで銀河でのダストの化学進化を精密に解いた理論モデル (Asano モデル) を提唱した。ダストは星から供給されたのちに、星間物質中で金属の accretion により成長する。Asano モデルでは銀河内の金属量がある臨界金属量に達すると、ダストへの金属の accretion が支配的になりダストが急激に成長することを明らかにしている。近年の観測では銀河の初期の段階で星質量に対するダスト量の割合が多い銀河が発見されているが、このような銀河を Asano モデルで説明することは困難である。本研究では、Asano モデル に銀河外からのガスの流入を入れた、新しいモデルを構築した。銀河形成を考えると、ガスの流入に伴ってバルジやディスクが形成されると考えられるため、より現実に即したモデルとなっている。ガスの流入を考慮することでより低星質量の段階でダストの急激な成長が可能となることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X42a Galaxy simulation with the evolution of grain size distribution

青山尚平, 平下博之, 長峯健太郎

We compute the evolution of interstellar dust in a hydrodynamic simulation of an isolated disc galaxy. We newly implement the evolution of full grain size distribution by sampling 32 grid points on the axis of the grain radius. We solve it consistently with the chemical enrichment and hydrodynamic evolution of the galaxy. This enables us to theoretically investigate spatially resolved evolution of grain size distribution in a galaxy. The grain size distribution evolves from a large-grain-dominated ($\gtrsim 0.1 \mu\text{m}$) phase to a small-grain production phase, eventually converging to a power-law-like grain size distribution similar to the so-called MRN distribution. We find that the small-grain abundance is higher in the dense ISM in the early epoch ($t \lesssim 1 \text{ Gyr}$) because of efficient dust growth by accretion, while coagulation makes the small-grain abundance less enhanced in the dense ISM later. This leads to steeper extinction curves in the dense ISM than in the diffuse ISM in the early phase, while they show the opposite trend later. The radial trend is also described by faster evolution in the inner part. We also confirm that the simulation reproduces the observed trend in the relation between dust-to-gas ratio and metallicity, and in the radial gradients of dust-to-gas ratio and dust-to-metal ratio. Since the above change in the grain size distribution occurs in $t \sim 1 \text{ Gyr}$, the age and density dependence of grain size distribution has a significant impact on the extinction curves even at high redshift.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X43a JCMT/SCUBA2 mapping of the AKARI NEP WIDE field

Tomotsugu Goto (NTHU), and the AKARI NET team

Understanding infrared (IR) emission is fundamental to revealing the cosmic star formation history and AGN evolution. The AKARI space telescope performed deep mid-infrared observation with its continuous 9-band filters in the NEP field (5.4 deg²), using 10% of the entire pointed observations available throughout satellite's lifetime. AKARI's mid-IR data are truly unique in that Spitzer and WISE have filter gaps in mid-IR. No other telescope can provide continuous 9-band photometry in mid-IR wavelength (2-24 μ m) in 5.4 deg² of wide area.

However, the AKARI NEP field lacks complimentary far-infrared data. Hershel coverage is too shallow to match AKARI's deep photometry. To rectify the situation, we are performing a submm mapping survey of the premier AKARI deep field in the North Ecliptic Pole using SCUBA2/JCMT. By combining SCUBA2 data with AKARI's mid-IR data, we can clearly separate infrared emissions from two powerful sources of IR emissions in the Universe, AGN and star-formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X44a High-z Galaxies are Hot: ALMA band-8 Dust Temperature Measurements of Star Forming Galaxies at $z \sim 5.5$

Yoshinobu Fudamoto¹, Andreas Faisst², Pascal Oesch², and ALPINE team (¹University of Geneva, ²California Institute of Technology)

The development of sensitive mm/submm telescopes (e.g. ALMA, NOEMA) opened a new window to the far infrared continuum (FIR) emitted by dust in high-redshift star forming galaxies. These FIR continuum observations are used to estimate the total infrared luminosities (L_{IR}) of the galaxies. The L_{IR} estimations need to assume spectral energy distributions (SEDs) that are applied to the single data points obtained by ALMA. Previous studies show the evolution of the FIR SEDs of normal star forming galaxies up to $z \sim 4$, however it is not tested at $z > 4$. Thus, one of the largest caveats of L_{IR} estimations come from the unknown SEDs of the normal star forming galaxies in the high-redshift Universe, and the assumptions of SEDs create up to > 0.8 dex systematic uncertainties. As the shapes of FIR SEDs are most strongly controlled by the dust temperatures (T_{d}), constraints on the SEDs require T_{d} measurements. Accurate T_{d} measurements need multi-band FIR continuum observations, in particular at high frequency ALMA band that is close to the peak of the FIR SEDs. In this talk, we present our recent T_{d} measurements using ALMA band 8 observations of four normal main sequence galaxies at $z \sim 5.5$. We found, on average, $T_{\text{d}} \gtrsim 45$ K in our sample (i.e. ~ 10 K higher than the T_{d} of $z \sim 2$ galaxies). We discuss implications of the high T_{d} to the dust attenuation property of star forming galaxies at $z \sim 4 - 6$ observed by our recent ALMA large program: ALPINE.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X45a Stellar velocity dispersion of a massive galaxy with suppressed star formation at $z = 4.01$

Masayuki Tanaka, Masato Onodera, Rhythm Shimakawa (NAOJ), Francesco Valentino, Sune Toft (DAWN)

We report on the measurement of stellar velocity dispersion of the most distant, massive quiescent galaxy spectroscopically confirmed to date. Using deep multiwavelength data in UDS, we have constructed a photometric sample of massive ($\gtrsim 10^{11}M_{\odot}$) galaxies with suppressed star formation rates at $z \sim 4$. We made a spectroscopic follow-up observation of the brightest galaxy in the sample with Keck/MOSFIRE. The 7 hour MOSFIRE spectrum reveals 4 prominent Balmer lines and we confirmed the galaxy at $z = 4.01$. This is the most distant galaxy with suppressed star formation rate confirmed to date. Thanks to the high S/N of the spectrum, we successfully measured its stellar velocity dispersion, $\sigma_* = 288 \pm 61 \text{ km s}^{-1}$. This is consistent with the velocity dispersion of nearby massive galaxies, which indicates that the stellar velocity dispersion does not evolve significantly since $z = 4$. Using the physical size of this galaxy measured from the deep HSC data, which is consistent with the typical size of massive quiescent galaxies at $z \sim 4$ in the rest-frame optical from Kubo et al. 2018, we find that the stellar mass inferred from photometry is consistent with the dynamical mass, which excludes exotic IMF models.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X46a Correlation between galaxy and IGM at $z \sim 2.2$ based on Subaru/HSC MAMMOTH overdensities and SDSS/(e)BOSS quasar spectra

Yongming Liang (Sokendai/NAOJ), Nobunari Kashikawa (U. Tokyo), Zheng Cai (Tsinghua Univ.), Xiaohui Fan (U. Arizona), J. X. Prochaska (UCO/Lick), Masayuki Tanaka (Sokendai/NAOJ), Hisakazu Uchiyama (NAOJ), Masafusa Onoue (MPIA), Jun Toshikawa (Bath Univ.), Kazuhiro Shimasaku (U. Tokyo), Rhythm Shimakawa (NAOJ), Kei Ito (Sokendai/NAOJ)

The correlation on distribution between HI in the intergalactic medium (IGM) and galaxies now attracts great interests. In the MAMMOTH project, Cai+2016 found that Coherently Strong Lyman-alpha Absorption Systems (CoSLAs) can be ideal tracers for massive overdensities. We performed deep narrowband imaging using the Hyper Suprime-Cam (HSC) on the 8.2-m Subaru Telescope to probe Lyman Alpha Emitters (LAEs) at $z \sim 2.2$ in the fields traced by such extreme groups of HI absorbers. The CoSLAs are selected from quasar spectra of the complete SDSS/(e)BOSS database covering over $10,000 \text{ deg}^2$, equivalent to a survey volume of 1 cGpc^3 , which is one order of magnitude larger than current $z > 2$ galaxy surveys. Here we show our results that massive large scale structures are found in the four observed HSC fields. We also find a hint of the direct positive correlation between our LAE overdensity sample and the optical depth of Lyman-alpha absorption in (e)BOSS background quasar spectra, which is also supported by a cross-correlation analysis for the distribution of LAEs and LoSs with low/high optical depth subsamples. Such results will help to constrain the different mass assembly history for galaxies and neutral intergalactic gas during the epoch of Cosmic Noon.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X47a Properties of H α emitters at $z \sim 2.1$ – 2.5 selected from broad-band photometry

寺尾恭範 (東京大学), Lee Spitler (Macquarie University), 本原顕太郎 (東京大学)

It is important to identify star forming galaxies (SFGs) at different redshifts and investigate their properties to understand galaxy evolution. Since constructing large spectroscopic SFG sample is difficult at high- z due to their faintness, many techniques have been developed to detect spectral features of galaxies, such as emission lines and multi-band colors, so that SFGs can be identified using only imaging data. Especially, the H α emission line is one of the best tools for identifying SFGs because it is the most direct star formation tracer originating from hydrogen ionized by massive stars. That is why many narrow-band (NB) surveys have been carried out to detect the H α emission line from distant galaxies. When using NB filters, however, large survey areas are needed to construct large samples due to narrow redshift windows corresponding to their band-widths. If the H α emission line fluxes can be extracted from broad-band data, we can construct SFG samples much more effectively. In this work, we have derived the H α fluxes of galaxies at $z \sim 2.1$ – 2.5 from K_s band data using the ZFOURGE multi-band catalog. Since fluxes observed in the K_s filter consist of stellar continuum and emission lines, it is essential to accurately estimate stellar continuum fluxes. Therefore we have performed SED fitting with emission line templates and identified ~ 2000 H α emitters. Their luminosity function shows an excess compared to the result of a NB survey (HiZELS; Sobral et al. 2013) especially in the bright end. The excess can be mostly explained by missing flux in HiZELS considering H α profiles depending on stellar masses of the galaxies. We also find our H α star formation rate density is consistent with HiZELS regardless of the excess.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X48a ロング・ガンマ線バースト GRB 080207 母銀河における分子ガスの性質

廿日出文洋, 河野孝太郎, 新納悠 (東京大学), 橋本哲也 (台湾国立清華大学), 中西康一郎 (国立天文台/総研大), 太田耕司 (京都大学), 田村陽一 (名古屋大学), Viktor Tóth (Eötvös Loránd 大学)

Long-duration gamma-ray burst (GRB) は大質量星の爆発に起因しており、星形成活動と密接に関連していると考えられている。GRB は非常に明るく、遠方 ($z > 6$) でも観測可能なため、遠方宇宙の星形成活動を探る新たなツールとして期待されている。しかし、GRB が一般的な星形成銀河で発生するのか、バイアスの無い星形成トレーサーとして使えるかどうかは見解が分かれている。GRB がどのような星形成環境で発生するかを明らかにするためには、母銀河の詳細な観測が重要である。

我々は、 $z = 2.0858$ の GRB 080207 母銀河における分子ガスの性質を探るため、VLA 及び ALMA を用いて CO(1-0), CO(4-3) 輝線の観測を行った。この母銀河は GRB 母銀河の中でも massive である ($M_* \sim 1.7 \times 10^{11} M_\odot$)。活発な星形成活動を行っており ($\text{SFR} = 120 M_\odot \text{ yr}^{-1}$)、 $z \sim 2$ における main sequence の massive end に位置する。観測の結果、CO(1-0), CO(4-3) 輝線とも検出された。既に報告されている CO(2-1), CO(3-2) 輝線と合わせて、3 遷移以上の CO 輝線が観測された初めての母銀河となる。金属量の影響を考慮した conversion を用い、分子ガス量は $8.7 \times 10^{10} M_\odot$ と求まった。空間分解された CO(4-3) cube を用い 3 次元モデルフィットを行った結果、半光度半径 2.4 kpc、回転速度 350 km s^{-1} の rotation-dominated 円盤で再現できることが分かった。CO spectral line energy distribution (SLED) はスターバーストに類似し、高い励起状態を示す。分子ガス質量比や、ガス消費時間、ガスダスト比、Kennicutt-Schmidt 則での位置や kinematics は、同時代の一般的な星形成銀河と共通の性質を示した。これらの結果は、GRB は $z \sim 2$ における一般的な星形成銀河で発生し得ることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X49a Molecular clumps in a main sequence galaxy at $z \sim 1.4$

牛尾海登, 太田耕司, 前田郁弥 (京都大学), 矢部清人 (東京大学)

clumpy 銀河は $z \sim 1 - 3$ の星形成銀河の約半数を占める。各 clump のサイズは $0.1 - 2$ kpc, stellar mass は $10^{8-10} M_{\odot}$, SFR は 1 数 $10 M_{\odot}/\text{yr}$ である。ダークマターハロー等からの gas 降着によってできた gas-rich な円盤の重力不安定性により clump が形成されるという理論的モデルがある。このモデルが正しいのであれば、先に分子ガス clump ができて、そこで星が形成され、rest UV で観測されている clumpy 銀河になると考えられる。このモデルを検証するためには、分子ガスの clump を見つけ、その性質を調べることが重要であるが、このような分子ガス clump の観測的研究は未だ殆どない。

我々は $z = 1.4$ の main sequence 銀河の性質を調べるべく、ALMA を用いて CO(5-4) の観測を行っていたが、その中に分子ガス clump が見られる銀河 ($M_{star} \sim 2 \times 10^{11} M_{\odot}$, SFR $\sim 300 M_{\odot}/\text{yr}$) を発見した。この分子ガス clump の性質をより詳しく探るために、ALMA で CO(2-1) の観測を行った。その結果、分子ガス clump を 6 つ検出した。各分子ガス clump の物理量は、deconvolved size $\sim 2 - 3$ kpc, $M_{mol} \sim (1.1 - 2.5) \times 10^{10} M_{\odot}$ であった。更に、CO(5-4) との flux 比を測定し ($S_{5-4}/S_{2-1} \sim 0.7 - 2.1$)、分子ガス温度は $T \sim 35$ K と仮定して RADEX を用いて分子ガスの密度を計算すると、 $n(\text{H}_2) \sim 10^{2.9-3.6} \text{ cm}^{-3}$ であった。また、銀河全体の分子ガス質量は $\sim 1.5 \times 10^{11} M_{\odot}$ であり、gas-rich ($f_{gas} \sim 0.4$) であることがわかった。分子ガスの運動状態は回転が支配的であり円盤状であると考えられる。その回転速度は $r \sim 5$ kpc で $v_{rot} \sim 250$ km/s であり、ガスの速度分散 (~ 50 km/s) 等から計算される円盤の Toomre の Q 値は $Q \sim 0.1$ であった。これは重力不安定のモデルを支持する。本講演では観測された分子ガス clump の性質についてより詳しく報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X50a グリーンバレー銀河、およびMS銀河における星形成効率の形態依存性

小山舜平¹, 小山佑世², 山下拓時², 林将央², 松原英雄³, 中川貴雄³, 並木茂朗⁴, 鈴木智子^{2,5}, 深川奈桜⁴, 児玉忠恭⁵, Lihwai Lin⁶, 諸隈佳菜⁷, 嶋川里澄², 田中壺² (1. 愛媛大学, 2. 国立天文台, 3. 宇宙科学研究所, 4. 総合研究大学院大学, 5. 東北大学, 6. ASIAA, 7. 東京大学)

Martig et al. (2009) などのシミュレーション研究により、早期型銀河において星形成効率が低下する“morphological quenching”が提唱されているが、銀河進化に対するその影響力は観測的に明らかになっていない。本研究では、銀河進化に対して morphological quenching が本当に寄与しているのかを調べるために、円盤の卓越したグリーンバレー銀河 15 天体と、バルジの卓越したグリーンバレー銀河 13 天体を SDSS から選択し、NRO 45m 電波望遠鏡による CO($J=1-0$) 観測を行なった。その結果、グリーンバレー銀河の星形成効率は銀河形態に依らずほぼ一定の値をもっており、morphological quenching が銀河進化に対してほとんど影響していない可能性を示した (2018 年秋季年会 X10a)。

本研究ではさらに、xCOLD GASS による CO データを用いて、主系列 (MS) 銀河に関しても同様の解析を行うことで、MS 銀河に関しても形態と星形成効率の間に有意な関係が見られないことを示した。一方で、平均的な星形成効率は MS 銀河からグリーンバレー銀河にかけて、形態と無関係に低下していることも分かった。また、CO が検出できなかったバルジの卓越したグリーンバレー銀河 (全体の約 20%) について、スタッキング解析を用いることで、これら銀河が有意に低い分子ガス質量 (つまり、高い星形成効率) を持つことを新たに示した。このような銀河がバルジの卓越したグリーンバレー銀河にのみ存在していることは、morphological quenching と逆の傾向であるものの、形態と銀河進化を結びつける何らかのメカニズムが存在していることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X51a 前主系列星を含む初代銀河スペクトルの分類

三谷啓人, 吉田直紀 (東京大学), 大向一行 (東北大学), 細川隆史 (京都大学)

初代銀河は宇宙誕生から数億年以内に生まれた初期宇宙の電離源となる重要な天体であると考えられている。観測技術の発達により、赤方偏移 10 以上の天体の観測が現実味を帯びてきている。観測に先立ち初代銀河スペクトルがどのような特徴を持つかを明らかにすることは重要である。従来の計算では、ダストが存在しない初代銀河では大質量星からの放射が卓越することで青いスペクトルが予想されてきた。先行研究では水素燃焼が始まる前段階である前主系列段階にある星々からの寄与は考慮されていなかった。近傍銀河では光学的に厚いダストにより前主系列星からの光は遮られる為にこの仮定は妥当であった。しかし、ダストのほとんど存在しない初代銀河では前主系列星からの寄与が大きくなる可能性がある。本研究では初代銀河観測における前主系列星の寄与の影響を明らかにすることを目標としている。昨年度の年会では、前主系列星から星の進化計算を行うことで前主系列星を含む初代銀河スペクトルの計算を行い 10 万年程度の非常に若い初代銀河では従来の計算と異なり、冷たい前主系列星由来の赤い成分を含むことを明らかにした。

昨年度の結果を踏まえ、本講演では具体的に前主系列星により赤く見える初代銀河の特徴をより現実的な初代銀河の初期質量関数を用いて明らかにする。また、その他の影響 (ダスト減光や輝線) により赤く見える銀河の分類手法を考え、実際に観測されたダストの少ない遠方銀河への本モデルの応用を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X52a 宇宙再電離期における 21cm 線と [OIII] 銀河の相互パワースペクトル

森脇可奈、吉田直紀（東京大学）、M. B. Eide、B. Ciardi（MPI）

中性水素からの 21cm 線を直接検出することで、宇宙再電離現象を詳細に理解することが可能である。SKA などの次世代観測器では遠方 21cm 線パワースペクトルを検出することを目的としている。遠方 21cm 線シグナルには近傍からのシンクロトン放射などの前景の寄与が含まれるが、宇宙再電離の電離源であると考えられる遠方銀河と 21cm 線シグナルとの間の相互パワースペクトルを観測することで、前景の寄与を取り除いたシグナルを得ることができる。これまでの多くの理論研究では、ライマンアルファ銀河と 21cm 線との相関が扱われてきた。しかし、ライマンアルファ銀河は中性度の高い宇宙では周りの中性水素によって散乱されてしまい観測することができない。このため、宇宙再電離初期を研究するには他のトレーサーを用いる必要がある。中でも本研究で注目する [OIII] 輝線は、ALMA 望遠鏡による近年の観測によって遠方銀河で特に明るい輝線であることが示唆されている。

本研究では、宇宙論流体シミュレーションを用いて宇宙再電離初期の 21cm 線と [OIII] 輝線銀河との相互パワースペクトルを計算した。21cm 線の強度は様々な電離源を考慮した複写輸送計算によって行われ、ガスの電離度だけでなくガスの温度も計算した。宇宙再電離初期においては温度揺らぎと銀河分布の間の正の相関が観測され、この時の相関強度は温度揺らぎを考慮しない場合よりも数倍大きくなる。本講演では [OIII] 輝線銀河や [OIII] intensity map と 21cm 線シグナルとの相互パワースペクトルの赤方偏移進化を示し、その検出可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X53a 深宇宙探査による赤方偏移 $z > 10$ の銀河の検出可能性再考

井上昭雄, 橋本拓也, 山中郷史 (早稲田大学)

観測的宇宙論や銀河形成進化論の究極の目標の一つは、初代星や初代銀河を発見することである。最遠方銀河探査はこの目標に真正面から挑戦するものと言える。深宇宙探査はそのためのもっとも根本的な手法であろう。新しい撮像装置が登場すれば、必ずと言って良いほど、無バイアス深宇宙撮像が試みられる。それは、観測バンド、深さ、広さという三つの条件で規定されるものである。次世代の装置で最も大きな期待を受けているのは James Webb Space Telescope (JWST) であろう。JWST では、3種類の深さ、広さの組み合わせによる深宇宙探査が計画されている。これら JWST による深宇宙探査でどれほど初期の銀河に迫ることができるのであろうか。その先の Wide Field Infrared Survey Telescope (WFIRST) ではどうであろうか。

本講演では、JWST による探査に加え、Ultimate Subaru、Euclid、WFIRST による深宇宙撮像探査計画で、赤方偏移 $z > 10$ の銀河が何個くらい発見されるのか議論する。そのような研究はすでに多くなされてはいるが、最新の紫外線光度関数の観測結果や、近年報告が相次いでいる明るい (< 25 AB) $z > 10$ 銀河候補の統計などにもとづいて改めて見直してみた。すると、JWST で計画されている3種類の探査では、 $z \sim 12$ の銀河が限界で、それらが1個検出できるかどうかという結果となった。また、見かけ等級が 29–30 AB のため、現在計画されている装置では分光することができない。一方、分光観測が可能な < 26 –27 AB の銀河に注目すると、JWST に比べて桁違いに広い探査が必要となるが、それが可能な Euclid, Ultimate Subaru や WFIRST への期待が大きくなる。また、WFIRST がカバーしない波長 2 ミクロン以上での広視野深宇宙撮像専用宇宙望遠鏡が果たす役割についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X54a 再電離期のバルマーブレーク銀河候補と赤方偏移 1.4 以上の星形成率密度への制限

馬渡健 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 橋本拓也 (早稲田大学), John Silverman (Kavli IPMU), 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 山中郷史 (早稲田大学), 山田亨 (JAXA/ISAS), Iary Davidzon (Caltech), Peter Capak (Caltech), Lihwai Lin (ASIAA), Bau-Ching Hsieh (ASIAA), 谷口義明 (放送大学), 田中賢幸 (国立天文台), 小野宜昭 (東京大学), 播金優一 (国立天文台), 長尾透 (愛媛大学)

現在の大質量銀河の形成メカニズムの一つとして、短期間での大規模な星形成が考えられている。その場合、一気にガスを星にしてしまうためすぐに星形成が止まり、生成された星が受動的に (パッシブに) 進化するだけになる。このようなパッシブ銀河は過去の星形成の痕跡を残す化石のような天体であるため、高赤方偏移宇宙で発見されれば、観測時点よりも数百 Myr 以上昔の星形成活動に制限を与えることができる。我々は COSMOS 領域において X 線から電波に渡る深い多波長撮像データから、赤方偏移 5 から 8 のバルマーブレークが卓越したパッシブ銀河 (Balmer Break Galaxy; BBG) 候補を 7 天体同定した。更に我々は ALMA 望遠鏡によるフォローアップ観測を行い、3 天体からはダスト連続光が検出されないことが分かった。詳細な SED 解析からそれら 3 天体は確かに赤方偏移 5 以上の可能性が高く、その場合、星形成を終えてから ~ 700 Myr 以上を経過した大質量パッシブ銀河であることが判明した。それらの星質量密度は $2.4 \times 10^4 M_{\odot} \text{Mpc}^{-3}$ で、より低赤方偏移の外挿からの予想と概ね一致した。これら的大質量 BBG の存在は赤方偏移 1.4 以上での星形成を示唆し、予想される星形成率密度は赤方偏移 4 から 8 までの単調減少の外挿と無矛盾である。本講演では、高赤方偏移 BBG サンプル構築の詳細とそれが示唆する赤方偏移 1.4 以上の星形成率密度について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X55a Early Low-Mass Galaxies and Star-Cluster Candidates at $z \sim 6 - 9$

菊地原正太郎, 大内正己, 小野宜昭, 馬渡健, 小島崇史, 大栗真宗 (東京大学), 播金優一 (国立天文台),
Jacopo Chevallard, Stephane Charlot (Sorbonne Universités), Gustavo Bruzual (UNAM)

We present very faint dropout galaxies at $z \sim 6 - 9$ with a stellar mass M_* down to $M_* \sim 10^6 M_\odot$ that are found in the Hubble Frontier Fields (HFF) program in conjunction with the deep *Spitzer* images and lensing effects. We investigate stellar populations of the galaxies with the optical/NIR photometry and BEAGLE (stellar population synthesis + photoionization) models, identifying 357 galaxies with $M_* \sim 10^6 - 10^9 M_\odot$. We derive the galaxy stellar mass functions (GSMFs) at $z \sim 6 - 9$ that extend a stellar mass limit to $M_* \sim 10^6 M_\odot$. Comparing M_* of the galaxies with the effective radii R_e on the source plane, we have pinpointed two objects with low stellar masses ($M_* \leq 10^7 M_\odot$) and very compact morphologies ($R_e \leq 40$ pc) that are comparable with those of globular clusters (GCs) in the Milky Way today. These objects are candidates of star clusters that should be a part or a dominant component of high-redshift low-mass galaxies, some of which may be related to GCs today.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X56a ISM Properties of $z > 6$ Galaxies Revealed with ALMA [OIII] and [CII] Observations

Yuichi Harikane, HSC Projects 180&181 members

Investigating inter stellar medium (ISM) properties of high redshift galaxies is important for understanding galaxy formation and cosmic reionization. To study ISM properties of high redshift galaxies, we observed three Lyman break galaxies at $z = 6.033 - 6.206$ using ALMA. We have detected [OIII] $88\mu\text{m}$ and [CII] $158\mu\text{m}$ emission lines at $> 4\sigma$ significance levels from all of the three targets. We have calculated the $L_{[\text{OIII}]} / L_{[\text{CII}]}$ emission line ratios based on our ALMA observations, and found an anti-correlation between the $L_{[\text{OIII}]} / L_{[\text{CII}]}$ ratio and the $L_{[\text{CII}]} / SFR$ ratio. This anti-correlation indicates that the high ionization state of the ISM is the origin of the [CII] deficit (the low $L_{[\text{CII}]} / SFR$ ratio) recently reported in high redshift galaxies. Based on these results and the literature, we will discuss ISM properties of high redshift galaxies and implications for galaxy formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X57a 遠赤外から紫外線データに基づく $z = 6.1$ のライマンブレイク銀河における電離状態の診断

須永夏帆, 田村陽一, 谷口暁星, Tom Bakx (名古屋大学), 馬渡健 (東京大学), 井上昭雄, 橋本拓也 (早稲田大学), 李民主 (MPE), 松尾宏 (国立天文台)

赤方偏移 $z > 6$ における星形成銀河は宇宙の再電離に寄与したと考えられている。近年、アルマ望遠鏡を用いて、このような遠方の星形成銀河から遠赤外線微細構造線の [O III] $88 \mu\text{m}$ や [C II] $158 \mu\text{m}$ が観測されている。これらの微細構造線は星間物質の物理状態を理解するために重要な輝線である。また、金属量や電離状態の指標となる、静止系紫外領域に位置する輝線 (C IV $\lambda\lambda$ 1548, 1550 Å, C III] λ 1907, 1909 Å など) も、遠方銀河で観測されている。これら遠赤外から紫外までの情報を組み合わせることで、遠方銀河や星間物質の理解をさらに進めることができる。

我々は $z = 6.1$ に位置する、重力レンズ効果を受けたライマンブレイク銀河 RXCJ2248-ID3 (ID3) に注目した。ID3 は [O III] $88 \mu\text{m}$ に加えて静止系紫外域の星雲線も検出されており、遠方銀河の性質を探る上で非常に有力な天体の一つである。アルマ望遠鏡による観測では ID3 からダスト連続波放射が検出されず、レンズ増光率 ($\mu = 5.3$) を補正した遠赤外線光度 ($8 - 1000 \mu\text{m}$) は $L_{FIR} < 8.2 \times 10^{10} L_{\odot}$ 、ダスト量の上限值は $M_{dust} < 8.3 \times 10^6 M_{\odot}$ と推定した ($T_{dust} = 40\text{K}$, $\beta_{dust} = 1.5$ を仮定)。また、輝線と測光値を組み合わせた SED モデリングから、非常に若い星成分 ($\sim 2 \text{Myr}$) と古い星成分 ($\sim 640 \text{Myr}$) が存在することが示された。一方で、現在の SED モデルでは静止系紫外輝線の強度を再現できなかった。これは、電離パラメータが高く硬い紫外放射場の存在を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X58a Ly α Intensity Mapping with SFGs at $z = 5.7$ and 6.6 : Ly α Emission Extended at > 150 ckpc Beyond the Virial-Radius Scale of Galaxy DMHs

鹿熊亮太, 大内正己 (東京大学宇宙線研究所), 播金優一 (国立天文台)、他 11 名

We present results of the cross-correlation Ly α intensity mapping with Subaru/HSC ultra-deep narrowband images and LAEs at $z = 5.7$ and 6.6 in a total area of 4 deg^2 . We conduct extensive analysis evaluating systematics of large-scale point spread function wings, sky subtractions, and unknown errors on the basis of physically uncorrelated signals and sources found in real HSC images and object catalogs, respectively. Removing the systematics, we carefully calculate cross-correlations between Ly α intensity of the narrowband images and the LAEs. We identify very diffuse Ly α emission with the 3σ (2σ) significance at > 150 ckpc far from the LAEs at $z = 5.7$ (6.6), beyond a virial radius of star-forming galaxies with $M_h \sim 10^{11} M_\odot$. The diffuse Ly α emission possibly extends up to $1,000$ ckpc with the surface brightness of $10^{-20} - 10^{-19} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ arcsec}^{-2}$. We confirm that the small-scale (< 150 ckpc) Ly α radial profiles of LAEs in our Ly α intensity maps are consistent with those obtained by recent MUSE observations. Comparisons with numerical simulations suggest that the large-scale ($\sim 150 - 1,000$ ckpc) Ly α emission are not explained by unresolved faint sources of neighboring galaxies including satellites, but by a combination of Ly α photons emitted from the central LAE and other unknown sources, such as a cold-gas stream and galactic outflow. We find no evolution in the Ly α radial profiles of our LAEs from $z = 5.7$ to 6.6 , where theoretical models predict a flattening of the profile slope made by cosmic reionization, albeit with our moderately large observational errors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X59a CHORUS による赤方偏移 3.3 および 4.9 の電離光子放射銀河の探査

山中郷史 (早稲田大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 岩田生 (NAOJ), 他 HSC project 194

宇宙再電離とは過去に宇宙を満たしていた中性水素ガスが再び電離された現象のことを指し、およそ赤方偏移 6 までに完了したとされている。宇宙再電離に大きく寄与した天体は星形成銀河であると考えられ、理論と観測の両側面から活発に議論がなされている。星形成銀河の宇宙再電離への寄与を議論する上で鍵となるパラメーターの 1 つが、星形成銀河から電離光子 ($\lambda_{\text{rest}} < 912\text{\AA}$) がどの程度脱出したのかを表す電離光子脱出率である。電離光子脱出率は銀河から放射された電離光子を直接検出することで見積もることができる。しかし、電離光子は銀河間物質中の中性水素ガスによって大きく吸収される。このため、赤方偏移 5 以上の銀河については電離光子を直接検出することがほぼ不可能であるとされている。また、電離光子直接検出の観測的な困難さから、赤方偏移 5 以下であっても直接検出された例は未だ多くはない。観測から電離光子脱出率の統計的な議論を行うためには、電離光子が直接検出された銀河の大サンプルを構築する必要がある。

そこで我々は、Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS; PI: A. K. Inoue) のもと、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam に搭載されたユニークな狭帯域フィルターによる超広視野の撮像観測を行なった。NB0387、NB0527、NB0718 の 3 つのフィルターを用いることで、赤方偏移 3.3 の Ly α と電離光子、赤方偏移 4.9 の Ly α と電離光子を捉えることができる。これら撮像データを用いて Ly α 輝線銀河候補の電離光子を調べた。この結果、赤方偏移 3.3 と 4.9 の複数の電離光子直接検出の候補天体を発見した。赤方偏移 4.9 については、この検出が本物であれば電離光子の直接検出例として最遠方の天体となる。本講演では、これら電離光子検出候補天体の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X60a Unbiased study on LAE fraction at $z \sim 3-6$ with MUSE

Haruka Kusakabe (日下部晴香)¹, J. Blaizot², T. Garel^{1,2}, J. Richard², R. Bacon², B. Guiderdoni², H. Inami (稲見華恵)³, T. Hashimoto (橋本拓也)⁴, A. Drake⁵, and A. Verhamme^{1,2}. 1: Univ. of Geneva, 2: CRAL, 3: Hiroshima Univ., 4: Waseda Univ., 5: MPIA

The redshift evolution of Ly α emitter (LAE) fraction among galaxies, $X(\text{LAE})$, has been used to probe the evolution of the HI gas fraction of the intergalactic medium at the end of reionization. It has been found to increase from $z = 3$ to 6, and to decrease at $z > 6$. However, uncertainties in the measurement of $X(\text{LAE})$ are still a matter of debate (e.g., Stark et al., 2011; Tilvi et al., 2014), and an unbiased sample and homogeneous Ly α measurements over a wide redshift range are required to assess $X(\text{LAE})$. As we discussed in the last ASJ meeting (X27a), we use a deep photometric catalog in Rafelski et al. (2015) and VLT/MUSE data (e.g., Bacon et al., 2017; Inami et al., 2017). We have found that our $X(\text{LAE})$ with Ly α equivalent width larger than 50 Å and UV magnitude larger than -19 mag at $z \sim 4$ tends to be lower than the previous results for the LBG sample in Stark et al. (2010). In this talk, we plan to discuss the cause of the difference. We use mock observations in a cosmological galaxy evolution model in Garel et al. (2015) to assess an effect of field-to-field variance and find that field-to-field variance does not affect our MUSE results. On the other hand, we confirm that strong Ly α emission at $z \sim 4$ enhances a flux in V-band (F606W) for B-dropout sample and that the bias in the LBG selection can raise $X(\text{LAE})$. These results are consistent with a trend suggested for $X(\text{LAE})$ at $z \sim 6$ in De Barros et al. (2017). We will also discuss the implications for reionization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X61a Ly α halos around quasars at $z > 6$

Rieko Momose (U. Tokyo), Tomotsugu Goto (NTHU), Yousuke Utsumi (Stanford/SLAC), Tetsuya Hashimoto, Chia-Ying Chiang, Seong-Jin Kim (NTHU), Nobunari Kashikawa, Kazuhiro Shimasaku (U. Tokyo), Satoshi Miyazaki (NAOJ)

The circumgalactic medium (CGM) of quasars is a key ingredient to understanding the evolutionary process of supermassive black holes (SMBHs) and its connection to host galaxies (“coevolution”: e.g. Kormendy & Ho 2013). Host galaxies form stars by acquiring gas from the intergalactic space through the CGM (e.g. Dekel et al. 2009a,b). During and subsequent to the star-formation activities, SMBHs grow in mass shining as quasars, and finally return a large amount of gas in the host galaxies to the CGM by negative feedbacks, thereby quenching the subsequent star formation (e.g. Scannapieco et al. 2005; Dave et al. 2011). Thus, the evolution of SMBHs and host galaxies through gas exchanges to/from the CGM is evident in the CGM. The spatial extent of quasars’ CGM is often traced by hydrogen Ly α emission, which is called Ly α halos. Recently, we have detected a very luminous $z > 6$ Ly α halo with > 30 pkpc extent around the quasar J2329-0301 (Momose et al. 2018 submitted). By combining another three $z > 6$ quasars’ Ly α halos (one small Ly α halo and two non-detections), we have found that J23290301 has the smallest dust mass $M_{\text{dust}} < 10^7 M_{\odot}$ and the least massive black hole $M_{\text{BH}} = 2.5 \times 10^8 M_{\odot}$ among the four quasars. It indicates that J2329-0301 is still in a growing phase of quasar activity. One possible explanation why this quasar has such a luminous Ly α halo invokes that a small dust content helps ionizing photons to escape from the host galaxy to the CGM.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X62a ケーサー放射による銀河周辺物質への影響

内山久和 (国立天文台), 柏川伸成 (東京大学), Roderik Overzier (ブラジル国立天文台), 利川潤, 百瀬莉恵子 (東京大学), 松田有一, 石川将吾, 久保真理子 (国立天文台), 尾上匡房 (MPIA), 伊藤慧, 竝木茂朗, Yongming Liang (総合研究大学院大学)

遠方宇宙にはライマンアルファハローと呼ばれる、 > 100 kpc まで広がったライマンアルファ輝線天体が存在する。その物理的起源の一つとして、電離光子あるいはライマンアルファ光子と銀河周辺物質との相互作用が考えられている。これらの光子は中心銀河中の星形成領域由来のものだけでなく、周辺の星形成銀河やケーサー由来のものも考えられる。実際に、明るいライマンアルファハローが星形成銀河の高密度領域に存在する傾向にあることが観測されている。興味深いことに、 $z > 2$ においてケーサーの UV 放射によって銀河の明るさが増幅されているという系も見つかっている。その一方で、いくつかのケーサーに対してはその効果が見出されないという研究結果も存在する。ゆえにケーサー放射による、その周囲銀河への影響については全く分かっていないのが現状である。

この効果をより系統的に特徴づけるために、我々は $z = 2 - 3$ の 11 個の、様々な明るさを持つケーサー領域において撮像観測を行い、その定量的な評価を行った。我々はまずそれぞれのケーサーと同じ赤方偏移に存在するライマンアルファ輝線銀河カタログを構築した。ケーサー紫外放射による銀河周辺物質への影響を特徴づけるために、ケーサー近傍とフィールドにおいて、それら輝線天体のライマンアルファ輝線画像をスタッキングすることにより、その効果の平均的な描像を得た。本講演ではそのサンプルの構築について、およびケーサー放射による銀河周辺物質への影響について理論と比較することにより定量的に評価し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X63a 最近傍の radio loud QSO, 3C273 周辺での拡がったミリ波連続波の検出

小麦真也 (工学院大学), 鳥羽儀樹 (京都大学), 松岡良樹 (愛媛大学), 山下拓時 (国立天文台), 齊藤俊樹, 尾上匡房 (MPIA)

クエーサー (QSO) から放出されるエネルギーがいつ、どの範囲で、どの割合で母銀河の星間物質を加熱するかという問題は銀河進化の理解にとって鍵となる。多くの QSO の周辺にはキロパーセク以上に拡がった輝線領域 (EELR) が形成されることがわかっている。これらは中心の QSO が主な熱源であるとされ、EELR の電離エネルギーや真の拡がりを調べる事は QSO と母銀河の関わりを直接紐解く手がかりになる。しかし、可視の狭帯域フィルター撮像に基づいたこれまでの観測ではダストによる減光が無視できない。電離エネルギーを見積もるためには重元素量や密度を仮定する必要もあり、中心の明るい点源周りの淡い領域を調べる事は容易ではない。我々は ALMA のアーカイブデータに基づいて、近傍 QSO である 3C273 の周辺に 3mm 帯で数 10kpc に渡って拡がった連続波を検出した。もしこれが熱制動放射であるとすれば、ダスト減光を無視できる上に電離ガスを直接的にトレースする手段を得たことになる。空間分解が容易な 3C273 を詳細に調べる事は、high-z QSO の EELR を解釈する上で重要な示唆を与える。講演では検出の手法について説明し、可視撮像やセンチ波との比較を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y01a IAU 戦略計画の日本における理念実装への課題と考察

縣 秀彦 (国立天文台)

国際天文学連合 (IAU) は、2018 年 8 月にウィーンにて開催された第 30 回 IAU 総会において IAU 戦略計画 (IAU Strategic Plan) 2020-2030 案を全会一致で承認した。この計画では IAU 活動として 5 つの目的が設定されており、それらは (1) 研究者の活動・交流の推進、(2) 天文学のインクルーシブな発展、(3) 社会発展のための天文学利用、(4) 天文学をすべての人々に、そして (5) 初等中等教育に天文学を である。100 年前 (1919 年) に (1) を目的に設立された IAU が社会のための国際学会と変貌していることに日本天文学会員も注視すべきであろう。

実際、IAU は 2019 年度予算の内訳として、研究 (出版、IAU シンポジウム等) が 30 パーセントなのに対し 42 パーセントを天文学の教育・普及に支出しており、知識のための天文学のみならず、開発のための天文学、社会における天文学と社会のための天文学等を志向していることが窺える。さらに IAU 戦略計画 2020-2030 では、4 つ目の組織 OAE (Office of Astronomy for Education、教育のための天文学推進室) の設置を盛り込んでいる。

このような国際的な動きの中、国際競争力が高まった日本の天文学の価値と使命を議論するとともに、日本の天文学コミュニティはどのように開発、教育、社会に今後寄与することが可能かを考察する。

注: IAU 戦略計画 2020-2030 (日本語版) は、IAU 及び日本天文教育普及研究会のウェブサイトから PDF 版を入手可能

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y02a 日本での天文教育分野の研究論文のサーベイ

富田晃彦（和歌山大学）、縣秀彦（国立天文台）、鴈野重之（九州産業大学）、寺菌淳也（会津大学）、松本直記（慶応高校）

日本での天文教育分野の査読を経た研究論文は、縣・鴈野・松本（天文月報 2015 年 8 月号）の指摘のように、中心的な学術誌がない、多くの雑誌に分散して発表、教育実践・研究者の間での回覧性が悪いという問題がある。縣らの上記研究を引き継ぐ形で、2007 年以降、日本で発表された査読を経た天文教育研究論文 105 件（2019 年 5 月までの数）を調査した。先行研究・実践の上に積み上げていくための資料として教育実践研究では必ずしも査読を経た研究論文だけが使われているわけではないが、ここでは査読を経た研究論文として日本ではどのような傾向を持っているのか俯瞰するという目的に絞った。結果は以下の通りである。(1) 掲載雑誌は、掲載数が多かった順に地学教育、理科教育学研究、科学教育研究、天文教育、日本教育工学会論文誌、情報文化学会誌と続いた。(2) 児童・生徒・大学生向けの教材開発・実践と教職員向け研修の開発・実践は、3:1 の割合である。(3) 教材開発や実践の内容として、月の満ち欠けは全体の 3 分の 1 近くを占める。(4) 大学教員以外に、小学校、高校教員が主著者として目立つ。学生（院生、post-doc）からの寄与が小さい。(5) 南米の天文教育専門誌 RELEA での統計（Bretones et al. 2016）や IAU meeting での統計（Bretones and Neto 2011）では、学校種を小中高と並べるとその順に研究論文数が多くなるが、日本ではその反対の傾向となっている。(6) Lelliot and Rollnick (2010) による欧米での天文教育研究の傾向調査と比べると、Sun-Moon-Earth system の概念を扱うところは同じく頻度が高いが、日本ではこのうち、地球そのものの概念に焦点化したものは少ない。この調査研究は日本天文教育普及研究会の論文アーカイブ WG の活動のひとつでもある。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y03b アストロバイオロジーを伝える学際的な広報普及

日下部展彦（アストロバイオロジーセンター）

アストロバイオロジーセンター（ABC）は、太陽系外惑星分野の著しい進展に伴い、宇宙における生命の可能性を探るため、2015年に自然科学研究機構内に設置された、機構直轄の新しいセンターである。ABCが発足して4年目となり、天文分野だけでなく、生物分野の研究者も増えつつあり、アストロバイオロジーとしての学際的研究をするための体制が整いつつある。一方で、「宇宙における生命」という題材は、社会一般からの興味関心は高いものの、それを科学的に探求するアストロバイオロジーという研究分野がどのように研究されているかについては、ほとんど知られていない。興味関心の高い分野だからこそ、その研究の現場を伝えることはABCの広報にとって重要である。

これまで、シンポジウムや国立天文台特別公開、市民向けのイベント等を通して、アストロバイオロジーという学際的分野の広報普及活動を行ってきた。アストロバイオロジーの広報活動では、天文学と生物学の両方を扱うことも多い。しかし、系外惑星に興味はあるが光合成に興味がないなど、アストロバイオロジーという分野の興味関心の方向性は多岐にわたる。そのため、科学館などで講演をする際に、単純に天文学と生物学の話は別々にするだけでは、アストロバイオロジーの広報普及としては効果的ではないと考えられる。

これまでに行ってきた活動を、「アストロバイオロジーにおける広報普及」として一度整理し、学際的分野の広報普及について俯瞰し、天文学からのアプローチだけに捕らわれない、新しい学際分野の広報普及の可能性について検討する。そして、天文学と生物学の有機的な繋がりを伝えられる手法などについて議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y04b 木曾シュミット乾板デジタル化データの公開 - 乾板のデジタル化

中嶋浩一 (一橋大学), 宮内良子 (国立天文台), 青木 星 (明星大学), 青木 勉, 征矢野 隆夫, 小林 尚人, 樽澤 賢一, 森 由貴 (東京大学), 猿楽 祐樹 (京都産業大学)

木曾観測所のシュミット望遠鏡は, すでに写真乾板による観測は終了しているが, これまでに撮影された写真乾板は 7000 枚余りとなり, すべて観測所内の保管庫に収納されている. これらは, 天体现象の数十年スケールの時間変動や突発現象の研究に有効に利用されるデータを提供するものであり, 貴重な資料として保存されねばならない. また, これらは保存だけでなく有効な利用を可能にするためにデジタル化して公開することも重要である. 本プロジェクトはこのような観点から, 木曾観測所のシュミット乾板をすべてデジタル化する目的で, 2015 年に開始されたものである. なお, 2018 年の国際天文学連合総会の決議の B3 として, このような歴史的天文データの保存, デジタル化, および有効活用が行われるべきことが勧告されている.

デジタル化作業は A3 判フラットベッドスキャナを用いて行われ, 2019 年 3 月にはすべて終了した. 読み取り精度は 1200dpi, 大型乾板 1 枚のデータ量は約 230MB となる. 作業結果は以下の通り:

- 1) シュミット観測の開始からの乾板リストに掲載されている枚数: 7,040 枚
- 2) 欠番, 紛失等, および望遠鏡の光学試験用の撮像乾板など, スキャンを省略した枚数: 536 枚
- 3) 特殊目的のために手札判で撮影されており, 今回スキャンを省略した乾板の枚数: 235 枚
- 4) 事故や天候の影響により星像が撮影されていないため, スキャンを省略した枚数: 33 枚
- 5) スキャンを行った枚数: $7,040 - 536 - 235 - 33 = 6,236$ 枚

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y05b 木曾シュミット乾板デジタル化データの公開—公開システムの開発

古澤順子, 市川伸一 (国立天文台), 青木勉, 征矢野隆夫 (東京大学), ほか 木曾観測所乾板デジタル化チーム

東京大学 木曾観測所では、シュミット望遠鏡で撮影された 1975 年からの写真乾板を全て保管している。写真乾板として蓄積されてきた過去の天文データの劣化や散逸を防ぎ、将来にわたって広く活用するために、デジタル化プロジェクトを 2015 年 9 月から進め、2019 年 3 月に完了した。

我々は、デジタル化された TIFF 形式の画像データ (1975 年から 1998 年までに撮影された写真乾板のうち 6,103 枚分) と、写真乾板の撮影情報 (プレートサイズ/座標/積分時間/フィルター/プリズム/乳剤/観測者等 7,035 枚分) との照合を行い、データ公開に必要な項目と概略位置の WCS 情報を付加した FITS 形式のデータ (6,090 ファイル) を作成した。

また、この FITS 化されたデータを Web で公開するために、データベースの構築、サムネイル画像の作成、検索やデータ取得のユーザインターフェースの開発等を行った。引き続き、概略位置の精度の検証と位置較正の必要性の考察を進めている。さらに、研究や教育活動に有益な情報の整備や公開システムの機能拡張についても、関係者とともに検討を進めていく予定である。

本講演では、乾板データ (TIFF 画像) の FITS 化の過程と公開システムの詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y06c SMOKA の現状と今後の取り組み

古澤順子, 市川伸一 (国立天文台), ほか SMOKA 運用/開発グループ

SMOKA(すばる-三鷹-岡山-木曾 アーカイブシステム)は、すばる望遠鏡、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡、東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡、東京工業大学 MITSuME 望遠鏡、広島大学 東広島天文台 150cm かなた望遠鏡の、観測者占有期間が終了した観測データをインターネットを介して配布するデータアーカイブシステムである。SMOKA は観測データの研究や教育活動へのさらなる利用を促進するだけでなく、研究成果の検証を可能にするものであり、2001 年 6 月より運用を続けている (<https://smoka.nao.ac.jp>)。

運用開始当初に比べ、取り扱う観測装置数が増加した(現 28 装置)だけでなく、生成されるデータ数/量が激増している。装置ごとのデータ型や拡張型の多様性も増し、観測データに付加されている観測情報(FITS ヘッダキーワードの個数等)も増える一方である。こういった時代の変化に対応すべく、データベースの再構築やデータフローの見直しを行う一方、ユーザからのデータ請求の際に、並列処理や複数の圧縮モードを用意したりデータの一部切り出し請求に対応する機能の拡充にも力を注いできた。

30 年近くに及ぶ観測アーカイブデータを損失のないように管理し、各観測所との連携の下、観測時に欠落した情報を補ったり、誤った情報を修正したりして可用性を高めている。

本講演では、2017 年 2 月の第一回に続き、2019 年 5 月に行ったすばる望遠鏡 HSC の SSP 生データ大量公開第二回等 SMOKA の現状と、今後の取り組みについて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y07c 天文学と時間学

藤沢健太 (山口大学・時間学研究所)

時間学とは、様々な観点において時間の性質および意味を明らかにし、その結果明らかになる時間の諸相が互いにどのように関連しているのかを描き出して体系化し、またその成果を社会の諸問題に適用することを目指す学問であると言える。古来より様々な学問分野で時間に関する研究が行われてきた。これら個別の時間論を扱ってきた学問分野は、一方の極に哲学が位置づけられ、社会学、人類学、経済学、法学、言語学、歴史学、文学、心理学、医学、生物学、地球科学、数理科学、とほぼあらゆる学問にわたり、もう一つの極に物理学が位置づけられる。天文学における時間論は物理学を基礎とするが、歴史性を持つことから地球科学的な性格もある。

山口大学時間学研究所は日本で唯一の、時間学を専門とする研究所である。時間学研究所の究極の使命は、時間学という新しい学問を構築することである。言い換えれば、時間学はまだ学問としての体系も十分には確立されていない。多くの学際領域研究に共通するように、時間に関わる研究内容の豊かさゆえにその全貌を描き出すことが困難なのである。この難題を突破するには、多くの研究分野・研究者を巻き込んだ研究の推進が必要である。この講演では、天文学にたずさわる多くの研究者が時間学にも興味を持ち、時間学における天文学的な内容を豊かにすることに寄与することを訴えたい。

時間学研究では活動の一環として時間学の体系化を目指したシリーズ書籍「時間学の構築」を継続的に出版している。これまでに「1巻 防災と時間」「2巻 物語と時間」「3巻 ヒトの概日時計と時間」を出しており、第4巻は「宇宙と時間」(仮題)として2020年度の出版を予定している。この書籍制作の準備として「宇宙と時間」に関わるワークショップを開催する予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y08a 東京女子高等師範学校に設置された水路部分室の勤務体制

馬場幸栄 (一橋大学)

第二次世界大戦が激化の一途をたどる昭和19年、パイロットが天体の高度方位から基地の位置を容易に特定できるようにと水路部は『高度方位暦』の刊行を始めた。だが電子計算機がなかった当時、その刊行に無くてはならない暦計算の作業量はあまりに膨大で、水路部の人員だけでは到底それをこなすことができなかった。そこで水路部は複数の女学校に「水路部分室」を設置し、女子挺身隊として動員された女学生たちを暦計算作業に従事させた。東京女子高等師範学校(現・お茶の水女子大学)もまた水路部分室が設置された女学校のひとつで、同校の女学生ら五十余名が昭和19年10月から終戦まで暦計算作業に従事した。水路部分室における暦計算作業は軍事機密であったためその詳細に関する記録は現存しないが、お茶の水女子大学には東京女子高等師範学校が記した『海軍水路部(於学校)日誌(一)』および『水路部(於学校)日誌(二)』が伝えられている。これらの日誌には塚本裕四郎技師(当時の水路部第四課長)をはじめとする水路部の技師・技手らの名前が出てくるほか、同校の女学生らの勤務状況も記録されており、水路部分室の勤務体制をある程度窺い知ることができる。本発表では、これらの日誌から読み取れる水路部分室における女学生への指導・監督体制、女学生の組織編制、勤務時間割、他校の指導員としての女学生の派遣、空襲時の対応などについて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y09b 緯度観測所の応召記念写真に記録された水路部水沢分室

馬場幸栄 (一橋大学)

水路部は東京空襲のあいだも天体暦の計算を継続するため、昭和19年から昭和20年にかけて日本各地に疎開して、疎開先に水路部分室を設置した。岩手県水沢の緯度観測所(現・国立天文台水沢VLBI観測所)が作成した『緯度観測所略史(案)』という年表には、そのひとつ「水路部水沢分室」が昭和19年8月14日より緯度観測所内に置かれたこと、同日より水路部の鈴木敬信技師ほか「技工士二名」(女性)と「新規採用の軍属十名」が作業を開始したこと、昭和20年3月1日に水沢高等女学校へ移転するまで水路部水沢分室は緯度観測所内にあったことが記されている。だが『緯度観測所略史(案)』に見られる水路部水沢分室の情報は以上で、「技工士二名」や「新規採用の軍属十名」がいったい誰のことを指すのかは長いあいだ不明のままだった。ところが最近、国立天文台水沢VLBI観測所に現存する緯度観測所ガラス乾板から当時の写真を復元したところ、鈴木敬信技師ら水路部水沢分室の室員たちが写っている集合写真が発見された。この写真は緯度観測所所員の応召記念に水沢の駒形神社で撮影されたもので、応召者に贈られた寄せ書き付きの日の丸もはっきりと写り込んでいる。この寄せ書きを手掛かりに、水路部水沢分室の「技工士二名」および「新規採用の軍属十名」の一部を特定することができた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引TOPに戻る](#)

Y10b 超小型人工衛星を使った新たな教育利用の試み：中高生による軌道上望遠鏡超小型衛星 Stars-AO (あおい) を用いた観測研究立案プロジェクト

内山秀樹, 町岳, 中村美智太郎, 郡司賀透, 齋藤茉美, 能見公博 (静岡大学), 野澤恵 (茨城大学)

超小型人工衛星 (特に 10 cm 立方の Cubesat) を学生が「作る」教育利用は行われてきており、観測天文学や宇宙工学の研究者・技術者養成の良い題材となっている。一方で1つの超小型衛星を「作る」ことによる教育利用の恩恵を得られるのは、主に大学3~4年生や大学院生のみであり、人数も期間も限られている。超小型衛星を地上から「使う」ことにより、多くの(世界中の)生徒や学生が利用でき、かつ全く新しい教育の手段とできる可能性がある。そこで、我々は超小型衛星 Stars-AO (あおい) を「使う」ことによる教育利用を試行した。

Stars-AO は高感度カメラを搭載した天体・地上撮像が可能な Cubesat である。中高生がこの Stars-AO 衛星を使った観測研究を立案する科学教室を我々は開催した。「理数知識を具体的な現象に活用する能力」と同時に「創造的なアイデアを生むために建設的な議論を行う能力」の育成を目指し、天文学・理科教育学・哲学・教育心理学の研究者が協働してカリキュラムを作成した。2日間にわたる科学教室に37名8チームの中高生が参加した。人工衛星や天文学の基礎に関する講義に加え、議論そのものについて学ぶ講義も参加者は受けた。その上で参加者同士で議論を行い、観測実現性も定量検討して観測研究のアイデアを作り上げた。中間発表の際には、実際に人工衛星を使い研究を行っている天文学者から講評を受けた。参加したチームの内の1つは、最終発表での観測アイデアの検討を科学教室後も進め、第21回日本天文学会ジュニアセッションにて発表した。

科学教室の実施の様子と、参加者が作成した資料(個人でのアイデア、中間発表資料、最終発表資料)とアンケートの分析による本科学教室の効果測定の結果を、本発表では報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11b 超小型カメラによる夜空の明るさ自動測定

柴山万優子, 小野間史樹 (星空公団), 中城智之 (福井工業大学)

「夜空の明るさ」とは人間活動に伴う照明の上方漏れ光により, 夜空のバックグラウンドが自然光以上に明るくなることである. このバックグラウンドの値は照明のみならず大気状態の影響を受け日々変化するため, 夜空の明るさを正確に求めるには継続的な測定が必要である. 我々はデジタルカメラを用いた独自の夜空の明るさ測定法をもとに, 夜空の明るさの継続的な全国調査に取り組んできた. さらに近年, 星空の地域資源としての価値が改めて見直されてきており, 地域に焦点を当てた継続的な調査の拡充が求められている.

これまで我々が用いてきたデジタル一眼カメラによる測定装置は, RAW 画像をサーバ側で解析するためにデータ通信量が大きくなることや, 消費電力等の観点から地域の継続調査のためにセンサを多数配置することに課題があった. そこで, 消費電力の小さい Raspberry Pi Camera Module を用い, 撮影画像をオンサイトで処理することで通信量を削減する測定システムを開発した. このシステムと, 2019 年末頃に打ち上げ予定である超小型衛星 FUT-SAT-1 とを組み合わせることで, 衛星側から観測した屋外照明の上方漏れ光と, 本システムで同時に観測した夜空の明るさとの関係を明らかにし, 地域における光害の影響のモデル化を目指している.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y12a すばる望遠鏡HSCの大規模データを使った市民天文学 2. ウェブサイトの開発

白田-佐藤功美子, 小池美知太郎, 柴田純子, 田中賢幸, 内藤誠一郎, 山岡均 (国立天文台)

すばる望遠鏡ハイパー・シュプリーム・カム (HSC) を使った大規模戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の公開データを用いて、衝突銀河の分類に市民が参加する「市民天文学」を推進している (市民天文学は、国立天文台で行うシチズンサイエンスをさす造語)。非専門家 (市民) にとっては、最新のデータに触れることで天文学や天体画像の魅力を味わうことができ、研究者にとっては、より多くの天体を分類できるメリットがある。特に本プログラムでは、不定性の大きい銀河の形の分類に多くの人に関わることで、統計的に解析することが可能となる。

市民天文学ウェブサイト、銀河を巡るクルーズ船になぞらえ、GALAXY CRUISE と名付けて作成した。参加者が銀河について手軽に学び、自信を持って分類できるようにするため、サイト上に簡単な質問に答える形のトレーニングページを設けたが、その内容は、昨年度日本科学未来館の協力を得て、データ収集しながら作成したメニューのプロトタイプ (2019年春季年会) を踏まえて作成した。

天文学への興味が高く、かつアクティブな天文ファン層がメインのターゲットではあるが、参加者が銀河分類を長く続けられるしかけを組み込んだ。例えば、完了した小領域の数にあわせて「おみやげ」を集められたり、領域の数にあわせてレベルアップできたりする。参加登録者はマイページにて、分類した銀河数などとともに、集めたおみやげや自分のレベルを見ることができる。また、ウェブサイトのアクティブ感を演出するため、ニュースとして衝突銀河についての豆知識や、本プログラムの進捗状況の報告など、新しい記事を毎月公開する。

本講演では、GALAXY CRUISE ウェブサイトの概要と、進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y13a Mitaka の新機能について ～古代の日食の再現とコマンド機能～

加藤恒彦 (国立天文台)

国立天文台 4次元デジタル宇宙 (4D2U) プロジェクトでは、天文シミュレーションソフト「Mitaka」の開発をしている。これは宇宙の様々な観測や理論モデルに基づいて、地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して様々な天体や構造を見る事ができるソフトである。これまで、国立天文台三鷹キャンパスにある立体視ドームシアターで一般向け公開の上映などに使用されてきたほか、フリーソフトとしても公開をしており (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>)、教育用途、上映、展示、講演、個人での利用、など様々な用途で広く使われてきた。最近ではバーチャルリアリティ (VR) にも対応をしている。

今年1月にリリースした最近のバージョン (v1.5.1) では、長期間にわたる惑星や月の位置および地球の自転などの計算精度が向上し、古代の日食の再現などもある程度の精度でできるようになった。また、この予稿執筆時点で開発中の次期バージョンでは、テキストファイルに記述された簡単な「コマンド」を使用して Mitaka の動作を制御する機能が追加される。これにより、プリセット、スクリーンメニュー、番組の初期化、連番画像出力機能などの設定・動作をユーザーが自由に定義することが可能になる。天文教育用の教材を作る際や一般向けの上映などを行う際にも有用な機能になると考えられる。今回の講演では、これらの新機能について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y14a ぐんま天文台 150-cm 望遠鏡と低分散分光器 GLOWS を用いたカラー分光画像

橋本修, 田口光 (ぐんま天文台)

ぐんま天文台 150-cm 望遠鏡に設置されている低分散分光器 GLOWS の CCD 検出器を一時的に一般的なデジタルカメラに置き換え、多様な天体に対してカラーの分光画像を取得し、分光観測を基本とする天体物理学の理解を支援するための教材・資料としての活用を試みた。

遠方にある天体の客観的な物理情報を得るためには分光学的な観測手法が用いられることが一般的であり、現代科学としての宇宙の描像を得るためには分光観測に基づく天体物理学を理解することが不可欠である。しかし、初学者や一般の天文愛好者にとってその理解は必ずしも容易ではなく、それを克服するための手段のひとつとして接眼分光器を開発した。双眼鏡のように並んだふたつの覗き口を持ち、一方で天体のスペクトルを、もう一方で直接像を同時に見比べることができる分光装置である。世界的にも前例のない装置で、シーイングによる影響も小さく、眼視であっても大型望遠鏡の集光能力を最大限に発揮させることができる。対象の天体分光特性と色とを一度に比較しながら観察することができるため、その直接的な体験から天体物理学における分光観測の意味をより直感的かつ正確に理解しやすくなる。

GLOWS で獲得したカラー画像は、接眼分光器で直接眼にすることになるスペクトル像の例を映像や印刷資料などのうえで実際の視覚に近い表現で提供することを可能とする。実戦的な教材・資料として非常に効果的なものとして機能する。我々が開発した接眼分光器は、観望で用いられる一般的な接眼レンズと置き換えて利用できる構造となっているため、観望光学系を持つ大型望遠鏡の多くでそのまま利用することが可能である。このようなカラー画像による教材・資料の整備は、各地でより広範な教育活動を実施するためにも有効である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y15a 人工衛星の太陽反射光からオゾンを検出する

大西浩次 (国立長野高専)

すでに 4,000 個以上の系外惑星が発見されている。このような状況で、第 2 の地球の探査やバイオマーカーの検出・生命探査などの検討が具体的に進められている。系外惑星での生命探査の手法の 1 例として、オゾンバイオマーカーとする試みが検討されている。それらの多くは (大気圏外からの) 紫外線領域での吸収帯か、赤外線領域での吸収帯での検出を考えている。一方、非常にブロードであるが、オゾンには可視光での吸収帯 (シャピュイ (Chappuis) 帯=500nm-700nm で中心波長が約 600nm) が知られている。

著者は、天文部の部活動で、オゾンの可視光での吸収帯での人工衛星の太陽光の反射光の色変化から、オゾンの検出に成功している (日本天文学会 2018 春季年会ジュニアセッション 20T)。

このオゾンの検出法として、人工衛星の太陽光の反射光の色変化に注目し、デジタルカメラによる RGB の 3 色測光観測を行なった。反射光の色変化は、オゾン層の上空を通過した光線に対しては、大気が厚くなるにつれてレイリー散乱 (波長の 4 乗分の 1 に比例する減衰) の法則にしたがって減少する。一方、オゾン層を通過した光は、(G と)R で吸収されるため、レイリー散乱減少のベキが、B では変化しないが、(G と)R でのみ地球の影に近づくにつれてベキの傾きが大きくなる。

本講演では、「系外惑星での生命の兆候の探査のデモ」としてのオゾン層の検出法を紹介する。さらに、実際の RGB の 3 色測光観測から、オゾン吸収の検出だけでなく、オゾン量をも推定できるか検討し、オゾン量のモニター観測の可能性についても言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y16a 天文部の活動を通じた次世代育成と STEAM 教育

川越至桜 (東京大学), 日下部展彦 (アストロバイオロジーセンター)

現在、従来の理科教育に加えて STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) 教育の実践と体系化が国際的に進められている。天文学は総合科学であるとともに、観測機器の設計やデータの可視化など、学際的な分野であり、STEAM 教育の題材として適していると考えられる。

本研究では、都内の中高一貫校の天文部の活動にて、STEAM 教育を念頭においたプログラムを開発し、実践した。この学校では、2009 年より小学生を対象とした観望会を月に 1 回開催している。その観望会では、初めに研究者が天文学についての講義を行うが、その後の望遠鏡工作や星座早見盤工作、望遠鏡操作や星空解説については、天文部の生徒が行っている。観望会に必要な天文の知識は、初めは研究者が生徒向けに講義を行っていたが、現在では、先輩から後輩へと知識が受け継がれている。また、生徒たちは研究者の助言のもと、天文学研究を進めている。生徒たちは、自らデータ解析やデータの可視化等を行い、2017 年度より天文学会ジュニアセッションにて発表を行っている。このような活動を通して、生徒たちは天文学のみならず、望遠鏡の仕組み、星座早見盤の制作、プラネタリウムやエアドームの設計・制作等、天文学を軸として様々な知識を深めることができている。従って、天文学を軸とした STEAM 教育を実践することができたと考えられる。

これまでに観望会参加者がこの学校に多数入学しているが、そのうち数名は天文部に入部し、研究や小学生への指導を行っている。更に、天文部を卒業した学生らが、天文部の指導にあたっており、自身のコミュニケーション能力や指導力を向上させている。我々は天文部の活動を通して、次世代を育成するサイクルを確立できたと考えている。最後に、このような次世代育成や STEAM 教育の継続性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y17a 小学生でも簡単に作れて月のクレーターが見える安価で実用的な天体望遠鏡

谷口康一 瀬谷サイエンスクラブ

小型望遠鏡で天体を見て多くの人が最も感激するのは、月のクレーターと土星の環であろうと感じている。月の比較的に大きなクレーターは、例えば「君もガリレオ」望遠鏡の一つとして認定されて市販されている望遠鏡（口径40mm、倍率15倍）でも良く見える。しかし、小学生向けの理科教室として「レンズの働きや望遠鏡の仕組みを説明し、各受講者が望遠鏡を組み立て、使い方を練習し、そして実際に月のクレーターを観察する」という講座を、1.5時間程度で開催するためには、もっと安価でありながら簡単に組み立て可能、かつ、簡単に扱えて、クレーターが見える望遠鏡が必要となる。

そのため、100円ショップで入手可能な材料（老眼鏡、表彰状入れ、ルーペ）を使用して、小学生でも簡単に組み立てられて、ピント調整も容易で、月のクレーターを見ることが出来る安価で実用的な望遠鏡を検討、試作し、2015年にその望遠鏡を使用して理科教室を開催した。2019年も同様の理科教室を開催するにあたり、最適な口径（有効径）を検討し、試作、評価した。その結果、望遠鏡は口径（16mm（月を観察する時は10mm）、焦点距離340mm、倍率9倍という仕様となった。この望遠鏡で月を観察すると、月の欠け際に見える直径60km程度以上のクレーターを確認することができた。

本講演では、今回の望遠鏡の検討、評価結果を示すとともに、100円ショップで入手した材料を望遠鏡用部品として使用する際に問題となった点を紹介する。また、今回試作した望遠鏡と同様の材料を使用し、月のクレーターがもっと大きく見えるよう、同様の構造で倍率が上記望遠鏡の約3倍となる望遠鏡も製作したので、その検討、評価結果も紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y18a 宇宙・天文分野の特性を踏まえた対論型サイエンスカフェの試行

玉澤春史（京都市立芸術大学）、一方井祐子（東京大学）

天文分野を含んだ宇宙に関する科学技術政策への賛否について、宇宙分野に潜在的ファンが多いといわれる一方、直接的な政策の論点に上りにくく、一般市民がどのように思っているかが分かりにくい。2014年にインターネットで行われた宇宙政策に関する社会調査、また2017年にはインタビュー調査が行われ、積極的に情報を入手し考察するといったレベルでの「輿論」およびその前段階の関心を持っているといったレベルの「世論」を判断するには難しい現状がうかがえた。情報から熟議に発展させる仕掛けを模索するため2019年より複数の話題提供者を立て参加者に議論をより活発にすることを狙った「対論型サイエンスカフェ」の試行を行ってきた。議論の活性化につながるような題材の設定に工夫が必要であり、個々のイベントでの参加者の役割を分析することにより、単発のイベントではその後の議論発展はわかりにくい、世論形成のキーになりうる潜在的オピニオンリーダー候補がどのような人物かを考える題材になりうる。本発表では実施状況と分析の途中経過、および今後の予定を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y19c コズミックカレッジとその教育普及効果

京田綾子, 佐々木芳恵 (日本宇宙フォーラム), 長尾美穂 (宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター)

コズミックカレッジは、小・中学生を対象に、宇宙をテーマにした体験活動を通して科学への関心や探究意欲を喚起し、豊かな心を育むことを目的とした体験型プログラムである。本プログラムの特徴として、知識の修得に偏らず、実験・体験による感動を与えること、学び続ける姿勢を重視していること、いのちの大切さを基盤に、好奇心、冒険心、匠の心を備えた創造的な資質・能力を持つ青少年の育成を目指していることが挙げられる。

コズミックカレッジでは、現在、25種類のプログラムと教材を提供している。プログラムの一例として、水ロケット作成プログラムがある。ペットボトル、画用紙、粘土など身近な材料を用いて水ロケットを作成し、推進力となる水の量、おもりの量や位置、尾翼の向きなどを変えて、まっすぐ遠くへ飛ばすための試行錯誤を繰り返すことにより、実体験に基づく科学的思考の構築が期待される。

これらのプログラムは半日程度で実施することができ、夏休みや土日などの休日を利用して子供たちが気軽に参加できるため、全国各地で開催されている。実施主体は、全国の科学館、図書館、児童館、自治体、学校関係者、地域の宇宙教育活動実践者であり、2018年度の開催件数は525会場、参加者は24,701人であった。

コズミックカレッジのプログラムと教材は、宇宙航空研究開発機構の監修のもと開発されている。コズミックカレッジ支援事務局として、日本宇宙フォーラムは、主催者の要望に応じてプログラムや教材のコンサルティングなど、開催における運営全般を担っている。

本発表では、25種類の体験型プログラムと教材を紹介するとともに、これまでの取り組みとそこから得られた知見や教育普及面での効果などについて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

講演者索引
(50音順)

【A】 – 【Z】

Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	R07a
Milad Delfan Azari (Delfan Azari Milad).....	W61a
Fumi Egusa (Egusa Fumi).....	R10b
Yoshinobu Fudamoto (Fudamoto Yoshinobu).....	X44a
Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro).....	V119a
Tomotsugu Goto (Goto Tomotsugu).....	X43a
Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo).....	P125a
Ting-Chi Huang (Huang Ting-Chi).....	T10b
Kohei Ichikawa (Ichikawa Kohei).....	S27a
Anton Timur Jaelani (Jaelani Anton Timur).....	R25a
Gwanjeong KIM (KIM Gwanjeong).....	P148a
Kianhong Lee (Lee Kianhong).....	X08a
Liang, Yongming (Liang Yongming).....	X46a
Teppeï Okumura (Okumura Teppi).....	U16a
Conor Omand (Omand Conor).....	N34a
Kiyooki Christopher Omori (Omori Kiyooki).....	X22a
Yen-Chen Pan (Pan Yen-Chen).....	N50c
Nirmit Deepak Sakre (Sakre Nirmit Deepak).....	Z308a
Yoichi Tamura (Tamura Yoichi).....	V130a
Alessandro Alberto Trani (Trani Alessandro).....	P310b
Alessandro Alberto Trani (Trani Alessandro).....	W66a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	S18a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	Z307r
Wang Yikang (Wang Yikang).....	M30a
Kenneth Wong (Wong Kenneth).....	U22a
Sarolta Zahorecz (Zahorecz Sarolta).....	P154a
Yichen Zhang (Zhang Yichen).....	P138a
Bin ZHOU (Zhou Bin).....	V118c

【あ】

青木賢太郎 (あおき けんたろう).....	S31a
青木貴弘 (あおき たかひろ).....	V109b
青木勉 (あおき つとむ).....	Y04b
青木真凜 (あおき まりん).....	W09b
青木和光 (あおき わこう).....	N40a
青山尚平 (あおやま しょうへい).....	X42a
青山実樹 (あおやま みき).....	M21b

赤堀卓也 (あかほり たくや).....	V105a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y01a
秋津一之 (あきつ かずゆき).....	U09a
秋山和徳 (あきやま かずのり).....	S03a
阿久津智忠 (あくつ ともただ).....	V215a
浅井歩 (あさい あゆみ).....	Z104a
浅田秀樹 (あさだ ひでき).....	U24a
朝野哲郎 (あさの てつろう).....	X39a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	W20a
麻生有佑 (あそう ゆうすけ).....	P104a
麻生有佑 (あそう ゆうすけ).....	P105b
安達稜 (あだち りょう).....	W05a
阿部克哉 (あべ かつや).....	U02a
安部大晟 (あべ だいせい).....	P135b
甘田溪 (あまだ けい).....	N30b
天野雄輝 (あまの ゆうき).....	Q19a
荒川創太 (あらかわ そうた).....	P205a
荒木光典 (あらかみ みつのり).....	Q49a
有馬宣明 (ありま のりあき).....	W49b
粟木久光 (あわき ひさみつ).....	V331b
安西信一郎 (あんざい しんいちろう).....	W46a
安藤誠 (あんどう まこと).....	X35c

【い】

飯島孝 (いいじま たかし).....	N10a
飯島陽久 (いいじま はるひさ).....	Z111a
飯野孝浩 (いいの たかひろ).....	P305a
家正則 (いえ まさのり).....	R01a
五十嵐朱夏 (いがらし あすか).....	X30b
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	S29a
生駒大洋 (いこま まさひろ).....	Z210r
伊師大貴 (いし だいき).....	V324a
石井彩子 (いしい あやこ).....	W68a
石岡千寛 (いしおか ちひろ).....	P321b
石川遼子 (いしかわ りょうこ).....	Z106a
石川遼太郎 (いしかわ りょうたろう).....	M24a
石崎欣尚 (いしさき よしたか).....	V337a
石田大 (いした だい).....	S23c
石田光宏 (いしだ みつひろ).....	N03a

石塚千彬(いづか ちあき).....M36b
 石塚典義(いづか のりよし).....M11a
 石野亨(いしの とおる).....X05a
 石山智明(いしやま ともあき).....X16a
 和泉究(いずみ きわむ).....V217a
 磯貝桂介(いそがい けいすけ).....W45a
 磯部直樹(いそべ なおき).....V253a
 磯部洋明(いそべ ひろあき).....M10a
 磯部優樹(いそべ ゆうき).....X28b
 板由房(いた よしふさ).....Z214a
 一円光(いちえん ひかる).....V225a
 市川貴教(いちかわ たかのり).....P216a
 一木真(いちき まこと).....W38b
 井出峻太郎(いで しゅんたろう).....V313a
 出口真輔(いでぐち しんすけ).....Q33a
 伊藤颯一郎(いとう そういちろう).....Q29a
 伊東大輔(いとう だいすけ).....S24c
 伊藤洋一(いとう よういち).....P320b
 犬塚修一郎(いぬつか しゅういちろう).....Z315r
 井上昭雄(いのうえ あきお).....X53a
 井上壮大(いのうえ あきひろ).....W23b
 井上開輝(いのうえ かいき).....S34a
 井上茂樹(いのうえ しげき).....Z306a
 井上進(いのうえ すすむ).....W58a
 今井裕(いまい ひろし).....N29a
 今井宗明(いまい むねあき).....P143a
 今田晋亮(いまだ しんすけ).....Z119b
 入倉柚貴(いりくら ゆずき).....R11b
 入部正継(いりべ まさつぐ).....V207c
 入山奨基(いりやま しょうき).....V128c
 岩井一正(いわい かずまさ).....Z113a
 岩尾祐希(いわお ゆうき).....W11b
 岩切渉(いわきり わたる).....M14a
 岩崎一成(いわさき かずなり).....P150a
 岩田朔(いわた さく).....W52c

【う】

上田暁俊(うえた あきとし).....V247b
 上田翔汰(うえた しょうた).....Q09b

上田将暉(うえた まさき).....T02a
 植松海(うえまつ かい).....P124b
 植村誠(うえむら まこと).....S22b
 牛尾海登(うしお かいと).....X49a
 氏原秀樹(うじはら ひでき).....V106a
 臼田知史(うすだ とものり).....Z202a
 臼田-佐藤功美子(うすだ-さとう くみこ).....Y12a
 内田和海(うちだ なごみ).....W37b
 内田裕之(うちだ ひろゆき).....Q27a
 内山久和(うちやま ひさかず).....X62a
 内山秀樹(うちやま ひでき).....Y10b
 内山瑞穂(うちやま みずほ).....P156a
 采女昇真(うねめ しょうま).....M25a
 宇野慎介(うの しんすけ).....V126b
 馬屋原拓也(うまやはら たくや).....X24b
 宇留野麻香(うるの あさか).....Q06a

【え】

江崎翔平(えざき しょうへい).....V122a
 江副祐一郎(えぞえ ゆういちろう).....V323a
 榎谷玲依(えのきや れい).....Q01a
 遠藤いずみ(えんどう いずみ).....Q51c

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....P120b
 大出康平(おおいで こうへい).....P119b
 大上千智(おおうえ ちさと).....V326a
 大内優雅(おおうち ゆうが).....W31a
 大枝幹(おおえだ もとき).....W10b
 大金原(おおがね はじめ).....V223b
 大神隆幸(おおがみ たかゆき).....Z205a
 大木平(おおぎ たいら).....X02a
 大木平(おおぎ たいら).....X13b
 大久保美穂(おおくぼ みほ).....V318a
 大小田結貴(おおこだ ゆき).....P134b
 大澤亮(おおさわ りょう).....N26a
 大島修(おおしま おさむ).....N19a
 大塚雅昭(おおつか まさあき).....N21a

【き】

菊田智史(きくた さとし).....	X34a
菊地原正太郎(きくちはら しょうたろう).....	X55a
北口貴雄(きたぐち たかお).....	V336a
北野萌音(きたの もね).....	W17a
北本俊二(きたもと しゅんじ).....	V328a
木野勝(きの まさる).....	V202a
紀基樹(きの もとき).....	S10a
木下真一(きのした しんいち).....	Z318b
木村和貴(きむら かずたか).....	P106b
木村公洋(きむら きみひろ).....	V116b
木村剛一(きむら ごういち).....	V208b
木村成生(きむら しげお).....	W70a
木村真博(きむら ただひろ).....	P324a
木村大希(きむら だいき).....	X36a
京田綾子(きょうだ あやこ).....	Y19c
桐原崇亘(きりはら たかのぶ).....	P152a

【く】

日下部展彦(くさかべ のぶひこ).....	Y03b
日下部晴香(くさかべ はるか).....	X60a
草野完也(くさの かんや).....	M01a
榎引洗佑(くしびき こうすけ).....	V213a
楠根貴成(くすね たかよし).....	P128a
工藤哲洋(くどう たかひろ).....	P129a
工藤智幸(くどう ともゆき).....	V224a
工藤祐己(くどう ゆうき).....	S20b
國友正信(くにとも まさのぶ).....	N04a
窪秀利(くぼ ひでとし).....	V301a
久保勇樹(くぼ ゆうき).....	M38b
隈井泰樹(くまい やすき).....	R15c
熊本淳(くまもと じゅん).....	W64a
藏原昂平(くらはら こうへい).....	R20a
栗田智貴(くりた としき).....	U17a
栗田光樹夫(くりた みきお).....	V203a
栗山直人(くりやま なおと).....	N45a
黒崎健二(くろさき けんじ).....	P304a
桑村進(くわむら すすむ).....	V239c

桑村進(くわむら すすむ).....	V240c
桑村進(くわむら すすむ).....	V241c
Goux Pierre(ぐ ぴえる).....	Q36a

【こ】

高妻真次郎(こうづま しんじろう).....	N13a
高妻真次郎(こうづま しんじろう).....	N14b
古賀駿大(こが しゅんた).....	P201a
國生拓摩(こくしょう たくま).....	V228b
小久保充(こくぼ みつる).....	S28a
小路口直冬(こじぐち なおと).....	W44a
小島崇史(こじま たかし).....	X27a
小嶋崇文(こじま たかふみ).....	V120a
小嶋康史(こじま やすふみ).....	W33a
小瀬垣貴彦(こせがき たかひこ).....	V129c
児玉涼太(こだま りょうた).....	V314a
小西真広(こにし まさひろ).....	V211a
小西諒太郎(こにし りょうたろう).....	R12b
小林宇海(こばやし うみ).....	X06a
小林浩平(こばやし こうへい).....	W08b
小林将人(こばやし まさと).....	P149a
小林洋祐(こばやし ようすけ).....	U08a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U01a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U12b
小堀しづ(こぼり しづ).....	U14c
小松勇(こまつ ゆう).....	P333c
小松勇(こまつ ゆう).....	Q50c
小宮山裕(こみやま ゆたか).....	R24a
小麦真也(こむぎ しんや).....	X63a
小山舜平(こやま しゅうへい).....	X50a
小山翔子(こやま しょうこ).....	S02a
小山佑世(こやま ゆうせい).....	Z216a
近藤依央菜(こんどう いおな).....	P316a
近藤滉(こんどう ひろし).....	R13b
近藤滉(こんどう ひろし).....	V104b
近藤寛人(こんどう ひろと).....	U21a
郷田直輝(ごうだ なおてる).....	V244a
後藤健太(ごとう けんた).....	P123b

【さ】

佐伯優(さいき ゆう).....	P110c
斉田浩見(さいだ ひろみ).....	Z207a
齋藤晟(さいとう せい).....	N35a
齋藤隆之(さいとう たかゆき).....	V302a
齋藤貴之(さいとう たかゆき).....	Z312a
齋藤弘雄(さいとう ひろお).....	Q37a
齋藤真梨子(さいとう まりこ).....	V343b
佐衛田祐弥(さえだ ゆうや).....	X04a
坂井伸行(さかい のぶゆき).....	R03a
坂井了(さかい りょう).....	V121a
阪本成一(さかもと せいいち).....	V125b
阪本茉莉子(さかもと まりこ).....	V117b
嵯峨承平(さが しょうへい).....	U10a
作野優理枝(さくの ゆりえ).....	W69a
酒向重行(さこう しげゆき).....	V214a
左近樹(さこん いつき).....	V255a
佐々木亮(ささき りょう).....	M13a
笹田真人(ささだ まひと).....	S06a
笹田真人(ささだ まひと).....	W48b
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V321a
佐藤仁(さとう じん).....	V341b
佐藤樹(さとう たつき).....	M20b
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Q21a
澤田涼(さわだ りょう).....	N49c
澤野達哉(さわの たつや).....	V306a

【し】

潮平雄太(しおひら ゆうた).....	P318a
鹿内みのり(しかうちみのり).....	W06a
柴垣翔太(しばがき しょうた).....	N38a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M09a
柴田和樹(しばた かずき).....	R14b
柴田修吾(しばた しゅうご).....	R08a
柴山万優子(しばやま まゆこ).....	Y11b
柴山良希(しばやま よしき).....	P122b
島和宏(しま かずひろ).....	Z317a
嶋口愛加(しまぐち あいか).....	Q28a

島尻芳人(しまじり よしと).....	P130a
清水貞行(しみず さだゆき).....	V320a
清水敏文(しみず としふみ).....	Z103a
清水結花(しみず ゆか).....	M27b
下井倉ともみ(しもいくら ともみ).....	P116a
下条圭美(しもじょう ますみ).....	M31a
霜田治朗(しもだ じろう).....	W54a
下館果林(しもだて かりん).....	X03a
下西隆(しもにし たかし).....	P140a
下向怜歩(しもむかい れいほ).....	V108a
庄田宗人(しょうだ むねひと).....	Z112a
白石一輝(しらいし かずき).....	W03a
白崎正人(しらさき まさと).....	T09a

【す】

末松春乃(すえまつ はるの).....	P314a
末松芳法(すえまつ よしのり).....	V256c
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X29b
菅原泰晴(すがわら やすはる).....	N18a
杉浦圭祐(すぎうら けいすけ).....	P302a
杉浦健一(すぎうら けんいち).....	W34a
杉浦宏夢(すぎうら ひろむ).....	U18a
杉田聡司(すぎた さとし).....	V330b
杉谷光司(すぎたに こうじ).....	P117a
杉山孝一郎(すぎやま こういちろう).....	P145a
杉山素直(すぎやま すなお).....	U20a
杉山剣人(すぎやま はやと).....	T01a
助廣沙知(すけひろ さち).....	W12b
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	N44a
鈴木大輝(すずき たいき).....	Q48a
鈴木建(すずき たける).....	Z101r
鈴木智子(すずき ともこ).....	Z217a
鈴木瞳(すずき ひとみ).....	Q18a
須田拓馬(すだ たくま).....	N17a
須永夏帆(すなが かほ).....	X57a

【せ】

関大吉(せき だいきち).....	M23c
-------------------	------

関本裕太郎(せきもと ゆうたろう).....V136a
善光哲哉(ぜんこう てつや).....R21a

【た】

高木駿亨(たかき としゆき).....V342b
高木健吾(たかぎ けんご).....N31b
高倉理(たかくら さとる).....V142a
高倉隼人(たかくら はやと).....V138a
高棹真介(たかさお しんすけ).....N16b
高棹真介(たかさお しんすけ).....P213a
高嶋聡(たかしま さとし).....W28a
高嶋辰幸(たかしま たつゆき).....P132b
高田将郎(たかた まさお).....N01a
高田昌広(たかだ まさひろ).....Z206r
高橋広治(たかはし こうじ).....R16c
高橋実道(たかはし さねみち).....P101a
高橋弘充(たかはし ひろみつ).....V319a
高橋真聡(たかはし まさあき).....S13a
高橋龍一(たかはし りゅういち).....U07a
高見道弘(たかみ みちひろ).....P111a
高見道弘(たかみ みちひろ).....P112b
高見道弘(たかみ みちひろ).....P113c
宝田拓也(たからだ たくや).....P312a
瀧哲朗(たき てつお).....P202a
瀧田怜(たきた さとし).....V229a
武井勇樹(たけい ゆうき).....W62a
竹内努(たけうち つとむ).....X21a
竹尾英俊(たけお えいしゅん).....W25c
武尾舞(たけお まい).....W41a
竹原佑亮(たけはら ゆうすけ).....V322a
岳藤一宏(たけふじ かずひろ).....V114c
竹村英晃(たけむら ひであき).....P146a
田崎文得(たざき ふみえ).....S04a
但木謙一(ただき けんいち).....R02a
但木謙一(ただき けんいち).....X31b
辰馬未沙子(たつうま みさこ).....P204a
立松健一(たてまつ けんいち).....P147a
田中圭(たなか けい).....P151a
田中章一郎(たなか しょういちろう).....U04a

田中孝明(たなか たかあき).....N47a
田中秀和(たなか ひでかず).....P326a
田中雅臣(たなか まさおみ).....Z203r
田中賢幸(たなか まさゆき).....X45a
田中佑希(たなか ゆうき).....P212b
谷川衝(たにかわ あたる).....W63a
谷口暁星(たにぐち あきお).....R18a
谷口康一(たにぐち こういち).....Y17a
谷口琴美(たにぐち ことみ).....P136b
谷口琴美(たにぐち ことみ).....P137a
玉川徹(たまがわ とおる).....V333a
玉澤春史(たまざわ はるふみ).....M29c
玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y18a
玉田望(たまだ のぞむ).....X32b
田村直之(たむら なおゆき).....V230a
田村元秀(たむら もとひで).....Z211a
樽田順(たるた じゅん).....V219c
丹波翼(たんば つばさ).....V346a
大海ほのか(だいかい ほのか).....W16a
大師堂経明(だいしどう つねあき).....V107a

【ち】

茅根裕司(ちのね ゆうじ).....U03a
千葉友樹(ちば ゆうき).....N42a
鄭昇明(ちよん すんみょん).....Z304r

【つ】

塚越崇(つかごし たかし).....P209a
塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....P215a
津久井崇史(つくい たかふみ).....R23a
柘植紀節(つげ きせつ).....Z314a
辻本志保(つじもと しほ).....Q04a
恒任優(つねとう ゆう).....S11a
鶴剛(つる たけし).....V312a
鶴田康介(つるだ こうすけ).....M16b

【て】

鄭祥子(てい あきこ).....	Z109a
寺居剛(てらい つよし).....	Z212a
寺尾航暉(てらお こうき).....	V220a
寺尾航暉(てらお こうき).....	V221b
寺尾恭範(てらお やすのり).....	X47a
寺田幸功(てらだ ゆきかつ).....	Z102r
田光江(でん みつえ).....	M39c

【と】

当真賢二(とうま けんじ).....	S05a
遠峰勇佑(とおみね ゆうすけ).....	W15a
戸上陽平(とがみ ようへい).....	X23a
徳田一起(とくだ かずき).....	Z320a
鳥羽儀樹(とば よしき).....	X07a
富田晃彦(とみた あきひこ).....	Y02a
富永愛侑(とみなが まゆ).....	W27a
富永遼佑(とみなが りょうすけ).....	P210b
豊内大輔(とようち だいすけ).....	X12b
鳥居和史(とりい かずふみ).....	Z316a
鳥海森(とりうみ しん).....	M03a
土井靖生(どい やすお).....	P127a
土橋一仁(どばし かずひと).....	P118a
土橋一仁(どばし かずひと).....	Q12b
土肥明(どひ あきら).....	W32a

【な】

直井隆浩(なおい たかひろ).....	Q13c
仲内大翼(なかうち だいすけ).....	P153a
中川亜紀治(なかがわ あきはる).....	N24b
中川貴雄(なかがわ たかお).....	V250a
中川友進(なかがわ ゆうじん).....	W29a
中川原峻介(なかがわら りょうすけ).....	Q07b
中島拓(なかじま たく).....	R17a
中島基樹(なかじま もとき).....	W26c
仲田資季(なかた もとき).....	Z108a
中田諒(なかた りょう).....	S17a

仲谷峻平(なかたに りょうへい).....	Z305a
中津川大輝(なかつがわ ひろき).....	Q14b
中西裕之(なかにし ひろゆき).....	R19a
中西佑太(なかにし ゆうた).....	Q32a
中庭望(なかにわ のぞみ).....	W42a
中道晶香(なかみち あきか).....	P330b
仲村佳悟(なかむら けいご).....	V232a
中村賢仁(なかむら けんじ).....	W13c
中村航(なかむら こう).....	N37a
中村文隆(なかむら ふみたか).....	P115b
中村文隆(なかむら ふみたか).....	Z302a
中村優太(なかむら ゆうた).....	V303a
中本泰史(なかもと たいし).....	P217b
中森健之(なかもり たけし).....	V237b
中山恵理子(なかやま えりこ).....	V325a
長足友哉(ながあし ゆうや).....	P203a
永井洋(ながい ひろし).....	S32a
永井洋(ながい ひろし).....	V124b
永井誠(ながい まこと).....	V133a
長崎早也香(ながさき さやか).....	X41a
長崎岳人(ながさき たけと).....	V143a
長沢真樹子(ながさわ まきこ).....	P327a
長田哲也(ながた てつや).....	V201a
永田竜(ながた りょう).....	V139a
永友健太郎(ながとも けんたろう).....	V345b
梨本真志(なしもと まさし).....	Q44a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	N12a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	Z107a

【に】

新沼浩太郎(にいぬま こうたろう).....	S25c
新納悠(にいのう ゆう).....	W72a
西亮一(にし りょういち).....	P155a
西川淳(にしかわ じゅん).....	V227b
西田直樹(にしだ なおき).....	Q31a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	U15a
西村淳(にしむら あつし).....	Q41a
西本将平(にしもと しょうへい).....	M04a
西山正吾(にしやま しょうご).....	Z208a

新田伸也(にした しんや).....	Z118b
新田冬夢(にした とむ).....	V132a

【ね】

根来均(ねごろ ひとし).....	W01a
-------------------	------

【の】

野澤恵(のざわ さとし).....	M22b
野田常雄(のだ つねお).....	W39c
野田博文(のだ ひろふみ).....	S26a
野田博文(のだ ひろふみ).....	V340b
信川久実子(のぶかわ くみこ).....	Q20a
野村英子(のむら ひでこ).....	P219b

【は】

萩野正興(はぎの まさおき).....	M28b
橋本修(はしもと おさむ).....	Y14a
橋本哲也(はしもと てつや).....	U23a
長谷川隆(はせがわ たかし).....	P307c
長谷川隆祥(はせがわ たかひろ).....	Z110a
長谷川大空(はせがわ たく).....	P214a
長谷川雅也(はせがわ まさや).....	V140a
長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....	P207a
長谷部孝(はせべ たかし).....	V137a
畠内康輔(はたうち こうすけ).....	Q17a
秦和弘(はだ かずひろ).....	S09a
八田良樹(はった よしき).....	N02a
廿日出文洋(はつかで ぶんよう).....	X48a
花岡庸一郎(はなおか よういちろう).....	M37b
花輪知幸(はなわ ともゆき).....	P218b
土生圭一郎(はぶ けいいちろう).....	V226a
濱田翔太(はまだ しょうた).....	P133b
浜名崇(はまな たかし).....	U19a
早川貴敬(はやかわ たかひろ).....	Q11a
早川朝康(はやかわ ともやす).....	N36a
林克洋(はやし かつひろ).....	Q42a
林多佳由(はやし たかゆき).....	V338a

林利憲(はやし としのり).....	P313a
林将央(はやし まさお).....	X37a
林田清(はやしだ きよし).....	V329b
林田光揮(はやしだ みつき).....	V315a
原弘久(はら ひろひさ).....	M06a
播金優一(はりかね ゆういち).....	X56a
半田利弘(はんだ としひろ).....	Q38a
馬場俊介(ばば しゅんすけ).....	S35a
馬場俊介(ばば しゅんすけ).....	X10b
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y08a
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y09b
パール・シュテファン(ばる しゅてふあん).....	T04a

【ひ】

樋口祐一(ひぐち ゆういち).....	T05a
日暮凌太(ひぐらし りょうた).....	Q24a
久野晋之介(ひさの しんのすけ).....	W40c
聖川昂太郎(ひじかわ こうたろう).....	W71a
日田貴熙(ひだ たかひろ).....	V316a
平井遼介(ひらい りょうすけ).....	N27a
平田優志(ひらた ゆうし).....	Q40a
平出尚義(ひらで なおよし).....	V310a
平野あゆみ(ひらの あゆみ).....	S19b
平野照幸(ひらの てるゆき).....	P311a
廣瀬憲吾(ひろせ けんご).....	V309a
廣田朋也(ひろた ともや).....	P144a

【ふ】

深沢泰司(ふかざわ やすし).....	V311c
深見哲志(ふかみ さとし).....	W57a
福井康雄(ふくい やすお).....	Z301r
福江純(ふくえ じゅん).....	W14a
福岡遥佳(ふくおか はるか).....	V251a
福島啓太(ふくしま けいた).....	T08a
福島光太郎(ふくしま こうたろう).....	Q16a
福島肇(ふくしま はじめ).....	X26a
藤井大翔(ふじい ひろさね).....	U11b
藤井通子(ふじい みちこ).....	Z313a

藤井悠里(ふじい ゆり).....	P206a
藤井善範(ふじい よしのり).....	V216a
藤沢健太(ふじさわ けんた).....	V111c
藤沢健太(ふじさわ けんた).....	Y07c
藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう).....	N06a
藤城翔(ふじしろ かける).....	P139a
藤田真司(ふじた しんじ).....	Q08b
藤田孝典(ふじた たかのり).....	P108a
藤田勝(ふじた まさる).....	V206c
藤田裕(ふじた ゆたか).....	W53a
藤本信一郎(ふじもと しんいちろう).....	N39a
古澤順子(ふるさわ じゅんこ).....	Y05b
古澤順子(ふるさわ じゅんこ).....	Y06c
古澤久徳(ふるさわ ひさのり).....	V236b
古荘玲子(ふるしょう れいこ).....	P308b
古田拓也(ふるた たくや).....	Z309a
古野雅之(ふるの まさゆき).....	W22b
古屋玲(ふるや れい).....	P126a

【ほ】

堀内貴史(ほりうち たかし).....	S30a
堀江秀(ほりえ しゅう).....	R04a
堀江光希(ほりえ みつき).....	W56a
本田充彦(ほんだ みつひこ).....	Z213a
本間希樹(ほんま まれき).....	S01a

【ま】

前田郁弥(まえだ ふみや).....	R05a
前田良知(まえだ よしとも).....	V327a
前田龍之介(まえだ りゅうのすけ).....	Z310a
前原裕之(まえはら ひろゆき).....	N11a
牧島一夫(まきしま かずお).....	W30a
真喜屋龍(まきや りゅう).....	T07a
政田洋平(まさだ ようへい).....	W35a
増井翔(ますい しょう).....	V101a
増田智(ますだ さとし).....	M02a
眞武寛人(またけ ひろと).....	S16a
町田真美(まちだ まみ).....	W18a

松浦周二(まつうら しゅうじ).....	V243a
松岡良樹(まつおか よしき).....	Z218a
松木場亮喜(まつこば りょうき).....	P102a
松下祐子(まつした ゆうこ).....	P107a
松田フレドリック(まつだ ふれどりっく).....	V144a
松田真宗(まつだ まさむね).....	Q15a
松永健汰(まつなが けんた).....	Q02a
松野研(まつの けん).....	M08a
松野雅子(まつの まさこ).....	N25b
松原英雄(まつはら ひでお).....	V252a
松本仁(まつもと じん).....	S14a
松本琢磨(まつもと たくま).....	M17b
松本侑士(まつもと ゆうじ).....	P328a
馬渡健(まわたり けん).....	X54a

【み】

三浦則明(みうら のりあき).....	V209b
水木敏幸(みずき としゆき).....	P309b
三谷啓人(みたに ひろと).....	X51a
道山知成(みちやま ともなり).....	R22a
三石郁之(みついし いくゆき).....	V332b
三石郁之(みついし いくゆき).....	V334a
三戸洋之(みと ひろゆき).....	V238a
箕田鉄兵(みのだ てっぺい).....	U05a
宮尾耕河(みやお こうが).....	V307a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P315a
宮地晃平(みやち あきひら).....	V127c
宮良碧(みやら あおい).....	M34b
三好真(みよし まこと).....	V115b
三輪祐也(みわ ゆうや).....	N41a

【む】

村岡和幸(むらおか かずゆき).....	Z319a
村上尚史(むらかみ なおし).....	V205b
村上弘志(むらかみ ひろし).....	V339a
村瀬建(むらせ たける).....	Q39a
村田勝寛(むらた かつひろ).....	W04a

【も】

元木業人(もとぎ かずひと).....	P103a
百瀬莉恵子(ももせ りえこ).....	X61a
森正夫(もり まさお).....	X19a
森正樹(もり まさき).....	P322a
森万由子(もり まゆこ).....	P323a
森川雅博(もりかわ まさひろ).....	M26a
守田篤史(もりた あつし).....	N20a
森長大貴(もりなが たいき).....	W60a
森永優(もりなが ゆう).....	X17a
森本太郎(もりもと たろう).....	M18c
守屋堯(もりや たかし).....	N43a
森山小太郎(もりやま ことろう).....	S08a
森脇可奈(もりわき かな).....	X52a
諸隈佳菜(もろくま かな).....	N32b
諸隈智貴(もろくま ともき).....	Z204a

【や】

矢島秀伸(やじま ひでのぶ).....	X01a
矢島義之(やじま よしゆき).....	R06a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N08a
矢野太平(やの たいへい).....	V245b
矢部清人(やべ きよと).....	V231a
山内茂雄(やまうち しげお).....	Q22a
山岡和貴(やまおか かずたか).....	M19c
山岡和貴(やまおか かずたか).....	W02a
山川竹玄(やまかわ たけはる).....	P319b
山岸光義(やまぎし みつよし).....	Q47a
山口友洋(やまぐち ともひろ).....	T03a
山崎大輝(やまさき だいき).....	M05a
山崎大輝(やまさき だいき).....	M35b
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V102b
山崎大(やまざき だい).....	U13c
山敷庸亮(やましき ようすけ).....	P325a
山下真依(やました まい).....	P114b
山下祐依(やました ゆい).....	S33a
山下祐依(やました ゆい).....	X14b
山田善彦(やまだ よしひこ).....	V233a

山田良透(やまだ よしゆき).....	V248a
山田麟(やまだ りん).....	Z303a
山中郷史(やまなか さとし).....	X59a
山根悠望子(やまね ゆみこ).....	Q43a
山本広大(やまもと こうだい).....	V204a
山本直明(やまもと なおあき).....	X38a
山本龍哉(やまもと りゅうや).....	V335a
山脇翼(やまわき つばさ).....	P317a

【よ】

横塚弘樹(よこづか ひろき).....	Q10a
横山航希(よこやま こうき).....	V103b
横山央明(よこやま たかあき).....	Q35a
吉井譲(よしい ゆずる).....	V210a
吉川耕司(よしかわ こうじ).....	X25b
吉川真(よしかわ まこと).....	P301a
吉田篤史(よしだ あつし).....	T06a
吉田貴一(よしだ きいち).....	U06a
吉田俊太郎(よしだ しゅんたろう).....	X40a
吉田大輔(よしだ だいすけ).....	P131b
吉田裕茂(よしだ ひろしげ).....	V235b
吉田正樹(よしだ まさき).....	M32a
吉田道利(よしだ みちとし).....	Z201a
吉成直都(よしなり なおと).....	W65a
吉村勇紀(よしむら ゆうき).....	Q45a
米倉直紀(よねくら なおき).....	X33b
米倉覚則(よねくら よしのり).....	V113b
米徳大輔(よねとく だいすけ).....	V304a

【わ】

若松恭行(わかまつ やすゆき).....	W43a
鷺ノ上遥香(わしのうえ はるか).....	N07a
渡邊恭子(わたなべ きょうこ).....	M15b
渡辺彰汰(わたなべ しょうた).....	V308a
渡邊優作(わたなべ ゆうさく).....	M12a
渡邊裕人(わたなべ ゆうと).....	Q05a
渡辺佑馬(わたなべ ゆうま).....	W36b

渡邊祥正(わたなべ よしまさ).....	Q46a
和田武彦(わだ たけひこ).....	V254a
Wang, Shijie (わん しじえ).....	P329a

2019年8月20日発行

年会実行委員会

委員長	酒井剛	(電気通信大学)
委員	岩切渉	(中央大学)
	鈴木知治	(中部大学)
	成田憲保	(アストロバイオロジーセンター)
	廿日出文洋	(東京大学)
	古澤久徳	(国立天文台)
	堀田英之	(千葉大学)
	松岡良樹	(愛媛大学)
	安井千香子	(国立天文台)
	町田真美	(九州大学) 保育室担当

年会開催地理事

小出眞路 (熊本大学)