

2021年 秋季年会

# 講演予稿集

## 電子版

於 京都産業大学(オンライン開催)

2021年9月13日(月)～9月15日(水)

日本天文学会

# 日本天文学会 2021年秋季年会プログラム

期 日 2021年9月13日(月)～9月15日(水)

場 所 オンライン開催

電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2021年9月13日(月)～9月15日(水)>

E-Mail nenkai-committee@asj.or.jp(年会実行委員会)

月日	会場	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9月9日 (木)							記者会見						
9月12日 (日)											公開講演会		
9月13日 (月)	A	Z1. 新電波単一鏡			昼 休 み 11:40-13:00	Z1. 新電波単一鏡			ポスター	天文教育 フォーラム	理事会		
	B	W. コンパクト天体				W. コンパクト天体							
	C	S. 活動銀河核				S. 活動銀河核							
	D	V3. 観測機器(X線・γ線)				V3. 観測機器(X線・γ線)							
	E	V2. 観測機器(光赤・重)				V2. 観測機器(光赤・重)							
	F	P2. 原始惑星系円盤				P2. 原始惑星系円盤							
	G	Y. 教育・広報・他				Y. 教育・広報・他							
	H					X. 銀河形成・進化							
	I					T. 銀河団							
	J	M. 太陽				M. 太陽							
9月14日 (火)	A	Z1. 新電波単一鏡			昼 休 み 11:40-13:00 (代議員総会)	N. 恒星・恒星進化			ポスター	会員全体集会			
	B	W. コンパクト天体				W. コンパクト天体							
	C	S. 活動銀河核				S. 活動銀河核							
	D	V3. 観測機器(X線・γ線)				V1. 観測機器(電波)							
	E	V2. 観測機器(光赤・重)				V2. 観測機器(光赤・重)							
	F	P1. 星形成				P1. 星形成							
	G	P3. 惑星系				P3. 惑星系							
	H	X. 銀河形成・進化				X. 銀河形成・進化							
	I	Q. 星間現象				Q. 星間現象							
	J	M. 太陽				M. 太陽							
9月15日 (水)	A	N. 恒星・恒星進化			昼 休 み 11:40-13:00	N. 恒星・恒星進化			ポスター	受賞記念講演			
	B	W. コンパクト天体				W. コンパクト天体							
	C	U. 宇宙論				U. 宇宙論							
	D	V1. 観測機器(電波)				V1. 観測機器(電波)							
	E	R. 銀河				R. 銀河							
	F	P1. 星形成				P1. 星形成							
	G	P3. 惑星系											
	H	X. 銀河形成・進化				X. 銀河形成・進化							
	I	Q. 星間現象				Q. 星間現象							
	J												
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

※セッション(午前) 09:30～11:40

※セッション(午後) 13:00～15:10

※ポスターセッション 15:30～16:30

## ◎講演数

講演数：合計 592

(口頭講演 (a)：498、ポスター講演 (b)：74、ポスター講演 (c)：20)

## ◎参加登録について (参加希望者は、必ず事前に参加登録をしてください)

2016年秋学会より、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	無 料	無 料
講演登録費	3,000円(不課税)(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)	10,000円(1講演につき)
年会予稿集	2,000円(消費税込み) (購入希望者のみ)	2,000円(消費税込み)

○参加登録受付場所：学会ホームページ (<https://www.asj.or.jp/>)

○参加登録受付期間：2021年7月末～8月31日 (事前登録が必要。但し講演者は不要です)

※参加費については今回は無料です。

※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。

## ◎講演に関する注意

- 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。

- PC及び通信環境はご自身でご用意をお願いいたします。発表に要する通信料等は、発表者の自己負担です。Zoomを利用しますので、学会ホームページをご覧になり、事前にダウンロードや動作確認をしてください。また、発表者自身のインターネット接続、映像・音声等のトラブルの対応はできません。基本的にはご自身での解決をお願いいたします。
- 講演者は、セッション開始時刻の20分前から10分前までにご入室ください。  
※開始20分前から10分前まで、希望者は画面共有のテストができます。  
※開始10分前からは、担当者が講演方法の説明をいたします。  
視聴者は、セッション開始時刻の5分前からご入室ください。  
また入室の際には、下記の命名規則に従って「参加者名」を設定してください。

参加種別	「参加者名」の命名規則	例
講演者	「*(アスタリスク)」+「講演番号」+「氏名」+「(所属)」	*Z141a天文花子(天文大学)
視聴者	「氏名」+「(所属)」	天文花子(天文大学)

- ポスターセッション(添字b、c)はSlackを利用します。コアタイムの間、極力リアルタイムで返信をしてください。(添字aの講演者にもSlackチャンネルをご用意いたします)
- 講演の実施方法の詳細は、学会ホームページに掲載いたします。事前に説明をよく読んで、Zoomの操作手順に関する理解を深めておいていただくようお願いいたします。
- 受信画像や発表資料の保存(キャプチャを含む)、録音や配布は固くお断りします。

## ◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
9月 9日(木)	13:00～15:00	オンライン	記者会見
9月12日(日)	17:30～20:00	オンライン	公開講演会
9月13日(月)	16:30～18:00	オンライン	天文教育フォーラム
9月14日(火)	16:30～18:00	オンライン	会員全体集会
9月15日(水)	16:30～18:00	オンライン	受賞記念講演(研究奨励賞)

## ◎会合一覧表

※今回、通常の会合は募集しておりません。

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否 <sup>※</sup>
9月13日(月)	18:00～19:00	オンライン	理事会	D
9月14日(火)	11:40～13:00	オンライン	代議員総会	D

※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：「研究者とのコラボレーションによる事業企画」

日 時：2021年9月13日(月) 16:30～18:00

場 所：オンライン会場(学会ホームページにて事前登録が必要)

概 要：天文学者と科学コミュニケータの「コラボレーション」の必要性が重視されるようになって久しく、さまざまな社会教育機関で研究者の協力を得た企画が行われている。学問の専門分化が進み、利用者の望むクオリティも高まっている昨今、専門家との共同事業としての企画展示やコンテンツの必要性は以前にも増して高まっている。

今回のフォーラムでは、あらためて研究者と科学コミュニケータのコラボレーションをテーマに、天文学をより正しく魅力的に世間に広める取り組みのありかたを議論したい。そのため、企画・監修の経験豊富な招待講師をお招きしてお話を伺うとともに、参加者全体でディスカッションを行いたいと考えている。

話題提供：新井達之氏(葛飾区郷土と天文の博物館)

寺藺淳也氏(合同会社ムーン・アンド・プラネッツ代表)

本間希樹氏(国立天文台)

世 話 人：松本佳也(広島市交通科学館)、鴈野重之(九州産業大学)、石田光宏(戸塚高校)、田崎文得(国立天文台)

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：2021年9月12日(日) 17:30～20:00(予定)  
 場 所：オンライン会場(学会ホームページにて事前登録が必要)  
 対 象：中学生以上・一般向け  
 テー マ：「せいめい望遠鏡で迫る宇宙の謎」

汎用可視光赤外線望遠鏡として3.8mという東アジア最大の口径を誇るせいめい望遠鏡は、2018年に完成し、2019年に科学的観測を開始しました。今回の公開講演会では、最先端の技術が注ぎ込まれたせいめい望遠鏡の紹介を望遠鏡そばからの実況中継を含めて行ないます。また、この望遠鏡を使って続々と上がりつつある最新の研究成果の中から、超新星爆発と恒星スーパーフレアを取り上げてわかりやすく解説します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料(事前登録制)

定 員：1,000名(先着順)

### <講演内容の紹介>

講演1：「せいめい望遠鏡のここがすごい！」

講師：栗田光樹夫(京都大学 准教授)、木野勝(京都大学 助教)

東アジア最大にして日本初の分割鏡望遠鏡せいめいについて紹介します。せいめい望遠鏡計画では、将来発展も見込んで分割鏡の製造とその制御技術を、突発天体をいち早く観測するための軽量の望遠鏡架台を開発しました。本講演では、それらの技術に現地からの中継も交えて迫りたいと思います。

講演2：「新時代の幕開け！せいめい望遠鏡で切り拓く多様な超新星の素顔」

講師：川端美穂(京都大学 研究員)

超新星は、恒星進化の最終段階において引き起こされる宇宙最大規模の爆発現象です。近年、新天体の大規模探索が開始され、従来の理論的枠組みでは全く説明出来ないような超新星の発見への期待も高まっています。私たちは、せいめい望遠鏡を中心に国内10台以上もの望遠鏡を総動員して近傍に現れた超新星を精力的に観測しています。その結果、超新星はこれまで考えられてきたよりも多様性に富んでいることがわかってきました。さらに、超新星に至る恒星進化や爆発機構に迫りうる重要な観測事実も明らかにすることが出来ました。本講演では、これらの研究成果について解説します。

講演3：「恒星で起こるスーパーフレア」

講師：野上大作(京都大学 准教授)

太陽はその光で地球におけるあらゆる生命に恵みをもたらすだけでなく、フレアと呼ばれる爆発現象では我々の生活に大きな影響を及ぼす可能性があります。近年、太陽に似た恒星で、太陽で観測された最大級のフレアの10倍以上のエネルギーを持つスーパーフレアが起こることが明らかになってきました。さて、スーパーフレアは太陽でも起こるのでしょうか？またスーパーフレアは惑星への影響は及ぼしうるのでしょうか？本講演では、せいめい望遠鏡を用いた我々の観測から明らかになってきた、恒星でのスーパーフレアについての研究成果を紹介します。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室、同附属天文台

※プログラム、参加申込方法につきましては学会ホームページ(<https://www.asj.or.jp/>)をご覧ください。

# 座 長 一 覧 表

2021 年秋季年会

日時 会場	9月13日(月)		9月14日(火)		9月15日(水)	
	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10
A	Z1.新電波単一鏡 橋本拓也 (筑波大学)	Z1.新電波単一鏡 下井倉ともみ (大妻女子大学)	Z1.新電波単一鏡 酒井剛 (電気通信大学)	N.恒星進化 谷川衝 (東京大学)	N.恒星進化 鈴木昭宏 (国立天文台)	N.恒星進化 野上大作 (京都大学)
B	W.コンパクト天体 小島康史 (広島大学)	W.コンパクト天体 衣川智弥 (東京大学)	W.コンパクト天体 三原建弘 (理化学研究所)	W.コンパクト天体 井岡邦仁 (京都大学)	W.コンパクト天体 北本俊二 (立教大学)	W.コンパクト天体 河合誠之 (東京工業大学)
C	S.活動銀河核 秦和弘 (国立天文台)	S.活動銀河核 野村真理子 (呉工業高等専門学校)	S.活動銀河核 永井洋 (国立天文台)	S.活動銀河核 長尾透 (愛媛大学)	U.宇宙論 田代寛之 (名古屋大学)	U.宇宙論 宮武広直 (名古屋大学)
D	V3.観測機器(X・γ線) 江副祐一郎 (東京都立大学)	V3.観測機器(X・γ線) 一戸悠人 (立教大学)	V3.観測機器(X・γ線) 佐藤寿紀 (立教大学)	V1.観測機器(電波) 中島拓 (名古屋大学)	V1.観測機器(電波) 小林秀行 (国立天文台)	V1.観測機器(電波) 前澤裕之 (大阪府立大学)
E	V2.観測機器(光赤・重) 片坐宏一 (宇宙航空研究開発機構)	V2.観測機器(光赤・重) 小宮山裕 (国立天文台)	V2.観測機器(光赤・重) 永山貴宏 (鹿児島大学)	V2.観測機器(光赤・重) 秋田谷洋 (千葉工業大学)	R.銀河 中西康一郎 (国立天文台)	R.銀河 西山正吾 (宮城教育大学)
F	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 奥住聡 (東京工業大学)	P1.星形成 藤井通子 (東京大学)	P1.星形成 元木業人 (山口大学)	P1.星形成 廣田朋也 (国立天文台)	P1.星形成 千秋元 (東北大学)
G	Y.教育・広報・他 山岡均 (国立天文台)	Y.教育・広報・他 橋本修 (ぐんま天文台)	P3.惑星系 佐川英夫 (京都産業大学)	P3.惑星系 平野照幸 (ASTROB イオロジ-センター)	P3.惑星系 葛原昌幸 (ASTROB イオロジ-センター)	
H		X.銀河形成 澁谷隆俊 (北見工業大学)	X.銀河形成 柏野大地 (名古屋大学)	X.銀河形成 播金優一 (東京大学)	X.銀河形成 長峯健太郎 (大阪大学)	X.銀河形成 齋藤貴之 (神戸大学)
I		T.銀河団 深沢泰司 (広島大学)	Q.星間現象 辻直美 (理化学研究所)	Q.星間現象 馬場彩 (東京大学)	Q.星間現象 佐野栄俊 (国立天文台)	Q.星間現象 立原研吾 (名古屋大学)
J	M.太 陽 一本潔 (京都大学)	M.太 陽 横山央明 (京都大学)	M.太 陽 下条圭美 (国立天文台)	M.太 陽 原弘久 (国立天文台)		

## 口頭セッション 9月13日(月)

	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	新電波 単一鏡	コンパクト 天体	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	観測機器 (光赤・重)	原始惑星系 円盤	教育・他			太 陽
09:30	Z101a	W01a	S01a	V301a	V201a	P201a	Y01a	-	-	M01a
09:42	Z102a	W02a	S02a	V302a	V202a	P202a	Y02a	-	-	M02a
09:54	Z103a	W03a	S03a	V303a	V203a	P203a	Y03a	-	-	M03a
10:06	Z104r	W04a	S04a	V304a	V204a	P204a	Y04a	-	-	M04a
10:18		W05a	S05a	V305a	V205a	P205a	Y05a	-	-	M05a
10:30	Z105a	W06a	S06a	V306a	V206a	P206a	Y06a	-	-	M06a
10:42	Z106a	W07a	S07a	V307a	V207a	P207a	Y07a	-	-	M07a
10:54	Z107r	W08a	S08a	V308a	V208a	P208a	Y08a	-	-	M08a
11:06		W09a	S09a	V309a	V209b V210b V211b	P209a	Y09a	-	-	M09b M10b M11b
11:18	議論	W10a	S10b S11b S12b	V310b V311b V312b	V212b V213b	P210a	Y10a	-	-	M12b M13b M14b
11:30	-	W11a	S14b	-	-	-	-	-	-	M15b M16b
11:42	-	W12b W13b W14b	-	-	-	-	-	-	-	-
11:40	昼休み									
開始時刻	新電波 単一鏡	コンパクト 天体	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	観測機器 (光赤・重)	原始惑星系 円盤	教育・他	銀河形成	銀河団	太 陽
13:00	Z108r	W16a	S15a	V313a	V214a	P211a	Y13a	X01a	T01a	M20a
13:12		W17a	S16a	V314a	V215a	P212a	Y14a	X02a	T02a	M21a
13:24	Z109a	W18a	S17a	V315a	V216a	P213a	Y15a	X03a	T03a	M22a
13:36	Z110a	W19a	S18a	V316a	V217a	P214a	Y16a	X04a	T04a	M23a
13:48	Z111a	W20a	S19a	V317a	V218a	P215a	Y17a	X05a	T05a	M24a
14:00	Z112a	W21a	S20a	V318a	V219a	P216a	Y18a	X06a	T06a	M25a
14:12	Z113b Z114b 議論	W22a	S21a	V319a	V220a	P217a	Y19a	X07a	T07a	M26a
14:24	Z115r	W23a	S22a	V320a	V221b V223b V224b	P218b P219b P220b	Y20a	X08a	-	M27a
14:36		W24a	S23a	V321a	V225b V226b V227b	-	Y21a	X09b X10b X11b	-	M28a
14:48	Z116a	W25a	S24a	V322a	-	-	-	X12b X13b	-	M29a
15:00	-	W26b W27b	-	V323b	-	-	-	-	-	M30a
15:30	ポスター									
16:30	天文教育フォーラム									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

## 口頭セッション 9月14日(火)

	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	新電波 単一鏡	コンパクト 天体	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	観測機器 (光赤・重)	星形成	惑星系	銀河形成	星間現象	太 陽
09:30	Z117a	W28a	S25a	V324a	V228a	P101a	P301a	X15a	Q01a	M31a
09:42	Z118r	W29a	S26a	V325a	V229a	P102a	P302a	X16a	Q02a	M32a
09:54		W30a	S27a	V326a	V230a	P103a	P303a	X17a	Q03a	M33a
10:06		W31a	S28a	V327a	V231a	P104a	P304a	X18a	Q04a	M34a
10:18	Z119a	W32a	S29a	V328a	V232a	P105a	P305a	X19a	Q05a	M35a
10:30	Z120r	W33a	S30a	V329a	V233a	P106a	P306a	X20a	Q06a	M36a
10:42		W34a	S31a	V330a	V234a	P108a	P307b P308b P309b	X21a	Q07a	M37a
10:54		W35a	S32a	V331a	V235a	P109a	-	X22a	Q08a	M38a
11:06	Z121a	W36a	-	V332a	-	P110a	-	X23a	Q09a	M39a
11:18	総合討論	W37a	-	V333a	-	P111a	-	X24a	Q10b Q11b	M40a
11:30	-	W38a	-	-	-	P112a	-	-	-	-
11:42	-	W39b W40b W41b	-	-	-	P113b P114b P115b	-	-	-	-
11:40	昼休み(代議員総会)									
開始時刻	恒星進化	コンパクト 天体	活動銀河核	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	星形成	惑星系	銀河形成	星間現象	太 陽
13:00	N01a	W43a	S33a	V101a	V236a	P116a	P310a	X25a	Q12a	M41a
13:12	N02a	W44a	S34a	V102a	V237a	P117a	P311a	X26a	Q13a	M42a
13:24	N03a	W45a	S35a	V103a	V238a	P118a	P312a	X27a	Q14a	M43a
13:36	N04a	W46a	S36a	V104a	V239a	P119a	P313a	X28a	Q15a	M44a
13:48	N05a	W47a	S37a	V105a	V240a	P120a	P314a	X29a	Q16a	M45a
14:00	N06a	W48a	S38a	V106a	V241a	P121a	P315a	X30a	Q17a	M46a
14:12	N07a	W49a	S39a	V107a	V242b V243b V244b	P122a	P316a	X31a	Q18a	M47a
14:24	N08a	W50a	-	V108a	V245b V246b V247b	P123a	P317a	X32a	Q19a	M48a
14:36	N09a	W51a	-	V109a	V248b V249b	P124a	P318a	X33a	Q20a	M49a
14:48	N10a	W52a	-	V110b V111b	-	P125a	P319a	X34a	Q21a	M50a
15:00	-	-	-	-	-	P126b	-	-	-	-
15:30	ポスター									
16:30	会員全体集会									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

## 口頭セッション 9月15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	恒星進化	コンパクト天体	宇宙論	観測機器(電波)	銀河	星形成	惑星系	銀河形成	星間現象	
09:30	N11a	W53a	U01a	V112a	R01a	P127a	P320a	X35a	Q22a	-
09:42	N12a	W54a	U02a	V113a	R02a	P128a	P321a	X36a	Q23a	-
09:54	N13a	W55a	U03a	V114a	R03a	P129a	P322a	X37a	Q24a	-
10:06	N14a	W56a	U04a	V115a	R04a	P130a	P323a	X38a	Q25a	-
10:18	N15a	W57a	U05a	V116a	R05a	P131a	P324a	X39a	Q26a	-
10:30	N16a	W58a	U06a	V117a	R06a	P132a	P325a	X40a	Q27a	-
10:42	N17a	W59a	U07a	V118a	R07a	P133a	P326a	X41a	Q28a	-
10:54	N18a	W60a	U08a	V119a	R08a	P134a	P327a	X42a	Q29a	-
11:06	N19a	W61a	U09a	V121a	R09a	P135a	P328a	X43a	Q30a	-
11:18	N20b	-	U10b	V122a	R10a	P136a	P329a	X44a	Q31a	-
11:30	-	-	-	V123b V124b	R11a	-	-	-	-	-
11:42	-	-	-	-	R12b	-	-	-	-	-
11:40	昼休み									
開始時刻	恒星進化	コンパクト天体	宇宙論	観測機器(電波)	銀河	星形成		銀河形成	星間現象	
13:00	N21a	W62a	U12a	V125a	R13a	P137a	-	X45a	Q32a	-
13:12	N22a	W63a	U13a	V126a	R14a	P138a	-	X46a	Q33a	-
13:24	N23a	W64a	U14a	V127a	R15a	P139a	-	X47a	Q34a	-
13:36	N24a	W65a	U15a	V128a	R16a	P140a	-	X48a	Q35a	-
13:48	N25a	W66a	U16a	V129a	R17a	P141a	-	X49a	Q36a	-
14:00	N26a	W67a	U17a	V130a	R18a	P142a	-	X50a	-	-
14:12	N27a	W68a	U18a	V131a	R19a	P143a	-	X51a	-	-
14:24	N28a	W69a	U19a	V132b V133b V134b	R20a	P144a	-	X52a	-	-
14:36	N29a	W70a	U20a	-	R21a	P145a	-	X53a	-	-
14:48	N30a	W71a	U21a	-	R22a	P146b P147b	-	X54a	-	-
15:00	-	-	-	-	-	-	-	X55a	-	-
15:30	ポスター									
16:30	受賞記念講演(研究奨励賞)									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

ポスターセッション 9月13日(月)・9月14日(火)・9月15日(水)

<p>【Z1. 新電波単一鏡】(2)</p> <p><b>Z113b Z114b</b></p> <p>【M. 太陽】(11)</p> <p><b>M09b M10b M11b M12b M13b</b></p> <p><b>M14b M15b M16b M17c M18c</b></p> <p><b>M19c</b></p> <p>【N. 恒星・恒星進化】(1)</p> <p><b>N20b</b></p> <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(7)</p> <p><b>P107c P113b P114b P115b P126b</b></p> <p><b>P146b P147b</b></p> <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(6)</p> <p><b>P218b P219b P220b P221c P222c</b></p> <p><b>P223c</b></p> <p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(3)</p> <p><b>P307b P308b P309b</b></p> <p>【Q. 星間現象】(2)</p> <p><b>Q10b Q11b</b></p> <p>【R. 銀河】(2)</p> <p><b>R12b R23c</b></p> <p>【S. 活動銀河核】(5)</p> <p><b>S10b S11b S12b S13c S14b</b></p>	<p>【U. 宇宙論】(2)</p> <p><b>U10b U11c</b></p> <p>【V1. 観測機器(電波)】(8)</p> <p><b>V110b V111b V120c V123b V124b</b></p> <p><b>V132b V133b V134b</b></p> <p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(23)</p> <p><b>V209b V210b V211b V212b V213b</b></p> <p><b>V221b V222c V223b V224b V225b</b></p> <p><b>V226b V227b V242b V243b V244b</b></p> <p><b>V245b V246b V247b V248b V249b</b></p> <p><b>V250c V251c V252c</b></p> <p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】(4)</p> <p><b>V310b V311b V312b V323b</b></p> <p>【W. コンパクト天体】(10)</p> <p><b>W12b W13b W14b W15c W26b</b></p> <p><b>W27b W39b W40b W41b W42c</b></p> <p>【X. 銀河形成・進化】(6)</p> <p><b>X09b X10b X11b X12b X13b</b></p> <p><b>X14c</b></p> <p>【Y. 天文教育・広報普及・その他】(2)</p> <p><b>Y11c Y12c</b></p> <p>※紙版予稿集では「Y08b Y09b」となっています。 正しくは上記の通りです。訂正してお詫びいたします。</p>
--	---

## Z1. 次世代サブミリ波 - テラヘルツ地上単一鏡

9月13日(月) 午前・A会場		9月13日(月) 午後・A会場	
09:30	Z101a Large Submillimeter Telescope (LST): 6. プロジェクトの概要と今後の展望 河野孝太郎(東京大学)	13:00	Z108r Exploring the Unseen Distant Universe with Large Aperture Submillimeter- Terahertz Observations Hanae Inami (Hiroshima University)
09:42	Z102a Large Submillimeter Telescope (LST): 7. 望遠鏡仕様 田村陽一(名古屋大学)	13:24	Z109a 近傍渦巻銀河M83の[CII] mapping 観測 宮本祐介(国立天文台)
09:54	Z103a 南極テラヘルツ望遠鏡計画 久野成夫(筑波大学)	13:36	Z110a 南極からの[N II] 1.46THz 輝線による 銀河面サーベイ 梅本智文(国立天文台)
10:06	Z104r 広視野サブミリ波探査で解き明かす巨 大銀河の形成 但木謙一(国立天文台)	13:48	Z111a 次世代単一鏡による高速度コンパクト雲 の研究 竹川俊也(神奈川大学)
10:30	Z105a 高赤方偏移銀河のダスト温度と高周波 観測の重要性 平下博之(ASIAA)	14:00	Z112a 大口径望遠鏡による広域マッピング観測: LMT 50m 望遠鏡搭載 2mm 帯受信機に よる Orion A 領域の電波再結合線観測 結果及び LST 将来サイエンス 吉村勇紀(東京大学)
10:42	Z106a 広領域遠方輝線銀河観測による宇宙再 電離現象の探究 森脇可奈(東京大学)	14:12	Z113b LMT50m 鏡搭載 2mm 帯受信機 B4R を 用いた Orion-KL 領域マッピング観測に よる分子の存在量比の観測結果報告 米津鉄平(大阪府立大学)
10:54	Z107r サブミリ波・テラヘルツ帯での突発天体・ 高エネルギー変動天体 井上進(文教大学/理化学研究所)	14:15	Z114b 初期宇宙でのクエーサー前駆体探査に おける電波単一鏡の有用性 泉拓磨(国立天文台/総合研究大学院 大学)
11:18	議論	14:18	議論
		14:24	Z115r 星形成の未解明問題の解明に向けて 中村文隆(国立天文台)
		14:48	Z116a ALMA およびミリ波サブミリ波大型地上 単一鏡で探るフィラメント形成 島尻芳人(国立天文台)
		15:00	質疑応答(10分)

## M. 太陽

9月14日(火) 午前・A会場		9月13日(月) 午前・J会場	
09:30	Z117a 次世代地上単一鏡の分子輝線観測で探る、原始星エンベロープの電離率と化学的多様性の起源 野津翔太(理化学研究所)	09:30	M01a 赤道加速を達成した超高解像度計算の解析結果 堀田英之(千葉大学)
09:42	Z118r ミリ波サブミリ波電波望遠鏡を支える受信機技術の動向と将来開発 小嶋崇文(国立天文台)	09:42	M02a 高磁気レイノルズ数での大規模磁場の成因に関する解析 畠田遼太(東京大学)
10:18	Z119a ビームパターンの変形の解析的な予測とその応用 今田大皓(国立天文台)	09:54	M03a 太陽内部対流が黒点形成・進化へ与える影響 金子岳史(名古屋大学)
10:30	Z120r 次世代の地上単一鏡装置開発におけるデータ科学の応用 谷口暁星(名古屋大学)	10:06	M04a 光球での振動によるエネルギー輸送について 松田有輝(京都大学)
11:06	Z121a 超広視野時代のサブミリ波連続波観測の大気放射の除去について 大島泰(国立天文台)	10:18	M05a 機械学習を用いた静穏領域における水平速度場予測の観測への適用 正木寛之(千葉大学)
11:18	総合討論:(i)科学的課題,(ii)技術的課題,(iii)実現へのロードマップ	10:30	M06a Mask R-CNNを用いた活動領域の検出における空間解像度への依存性の検証 小松耀人(新潟大学)
		10:42	M07a 畳み込みニューラルネットワークを用いた太陽活動領域の成長予測モデル構築 大沼伊織(新潟大学)
		10:54	M08a オーストリアの修道院文献から復元するダルトン極小期の太陽活動 早川尚志(名古屋大学)
		11:06	M09b 太陽フレアX線・EUV放射とデリンジャー現象の関係 北島慎之典(防衛大学校)
		11:06	M10b High-time resolution physics in stellar flares from a 7-day multi-wavelength campaign on young planet-hosting M dwarf flare star AU Mic 野津湧太(東京工業大学/コロラド大学)
		11:06	M11b シア磁場非対称磁気リコネクションの構造とエネルギー変換 新田伸也(筑波技術大学)
		11:18	M12b 離散的にエネルギー方程式の整合性を保つ頑健な磁気流体解法の提案 飯島陽久(名古屋大学)

11:18	M13b	飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡偏光分光観測装置搭載の近赤外カメラ精度評価 山崎大輝(京都大学)	9月13日(月)午後・J会場
11:18	M14b	太陽フレアの経験予測と物理予測の比較 近藤芳穂(名古屋大学)	13:00 M20a 惑星形成が太陽内部構造に及ぼす影響について 國友正信(久留米大学)
11:30	M15b	Ar XIVを使ったポストフレア領域の電子密度評価 石神瞬(総合研究大学院大学)	13:12 M21a スーパーカミオカンデ実験における太陽フレア由来のニュートリノ探索 岡本幸平(東京大学)
11:30	M16b	Data-driven MHD Simulation of Solar Active Region NOAA 11283 Yeongmin Kang(名古屋大学)	13:24 M22a Super-Kamiokande 実験における太陽ニュートリノ観測の最新結果 中野佑樹(神戸大学)
	M17c	ひので磁場データを用いた太陽極域の表面速度の算出 的場健悟(名古屋大学)	13:36 M23a スーパーカミオカンデによる太陽反電子ニュートリノ探索研究 伊藤博士(東京理科大学)
	M18c	機械学習を用いた太陽黒点の出現緯度・経度・傾き角度の予測 道脇健斗(名古屋大学)	13:48 M24a KamLANDによる太陽フレアニュートリノの探索 川田七海(東北大学)
	M19c	20世紀の写真乾板を用いた太陽 Ca K線強度長期変動解析 格和純(国立天文台)	14:00 M25a 巨大フレア同時観測で得た軟X線とH $\alpha$ 線のフレア減衰時間の相関 河合広樹(中央大学)
11:42		質疑応答(10分)	14:12 M26a K型主系列星 LQ Hyaにおけるスーパーフレアの測光分光同時観測 前原裕之(国立天文台)
			14:24 M27a TESSで観測したけんびきょう座AT星のフレア検出方法およびフレア発生頻度分布について 岡本豊(中央大学)
			14:36 M28a M型星フレアのH $\alpha$ 線分光・可視光測光観測で迫る恒星の噴出現象 行方宏介(国立天文台)
			14:48 M29a 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(2021年秋) 成影典之(国立天文台)
			15:00 M30a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の新偏光分光観測システム 一本潔(京都大学)
			15:12 質疑応答(10分)

9月14日(火) 午前・J会場		9月14日(火) 午後・J会場	
09:30	M31a 国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 : 近赤外線偏光分光装置SCIPの偏光試験 川畑佑典(国立天文台)	13:00	M41a 野辺山強度偏波計によるマイクロ波円偏波率でみる太陽周期 下条圭美(国立天文台)
09:42	M32a A Fast-filament Eruption Observed in the $H\alpha$ Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling Denis Pavel Cabezas (Kyoto University)	13:12	M42a 2017年・2019年の皆既日食における白色光コロナの測光・偏光測定 花岡庸一郎(国立天文台)
09:54	M33a SMART/SDDIIによる太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の観測的研究 白戸春日(京都大学)	13:24	M43a 深層学習を用いた太陽フレア予測モデルによる予報運用評価 西塚直人(情報通信研究機構)
10:06	M34a Lyman 線のダブルピーク強度に非対称性を作る彩層速度構造 長谷川隆祥(宇宙航空研究開発機構/東京大学)	13:36	M44a 数値モデルを用いた太陽フレア放射による電離圏変動の検証 西本将平(防衛大学校)
10:18	M35a 多波長観測と統計平衡コードによるプロミネンスの物理量診断 橋本裕希(京都大学)	13:48	M45a 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDIを用いた“星としての太陽活動現象”と $H\alpha$ スペクトルの対応に関する研究 大津天斗(京都大学)
10:30	M36a 数値的に解像できない遷移層への対処法と分光観測量への影響 飯島陽久(名古屋大学)	14:00	M46a 太陽フレア、恒星フレアのエネルギー頻度分布 桜井隆(国立天文台)
10:42	M37a Solar-C (EUVST) に向けた EUV スペクトル線仮想分光観測 鄭祥子(宇宙航空研究開発機構)	14:12	M47a Constrained-Transport 法を用いた磁気流体力学緩和法の開発 三好隆博(広島大学)
10:54	M38a 高速太陽風流源である極域コロナの輝線非熱速度幅の測定 原弘久(国立天文台)	14:24	M48a 次世代太陽風観測装置による太陽圏研究 岩井一正(名古屋大学)
11:06	M39a 粒状斑間隙からのエネルギー発生を考慮したコロナループの輻射流体シミュレーション 国吉秀鷹(東京大学)	14:36	M49a ICME 磁場の変形に関するシミュレーション研究 森美南(名古屋大学)
11:18	M40a 軟 X 線マイクロフレアの足元から分かること: ひので-IRIS-ALMA 観測から 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)	14:48	M50a マクスウェル方程式から導出した MHD 方程式 柴崎清登(太陽物理学研究所)
11:30	質疑応答(10分)	15:00	質疑応答(10分)

## N. 恒星・恒星進化

9月14日（火）午後・A会場		9月15日（水）午前・A会場	
13:00	N01a ボルツマン輻射流体計算で探る超新星爆発における原子核組成の影響 原田了（理化学研究所）	09:30	N11a 爆発から約1年後に赤外超過を示したIIIn型超新星SN 2017hccのSED解析 濱田大晴（広島大学）
13:12	N02a 重力崩壊型超新星における核崩壊に伴う核 $\gamma$ 線・電子捕獲X線の検出可能性 藤本信一郎（熊本高等専門学校）	09:42	N12a 超新星後期ニュートリノ放射の解析解 諏訪雄大（東京大学）
13:24	N03a 多次元対流効果を導入した超新星爆発の球対称1次元シミュレーション 佐々木俊輔（国立天文台/総合研究大学院大学）	09:54	N13a 連星系内での超新星爆発の後期観測から得られる連星進化への制限 小形美沙（早稲田大学）
13:36	N04a Ia-CSM型超新星SN 2020uemの測光・分光・偏光観測に基づくCSM構造 宇野孔起（京都大学）	10:06	N14a 連星中性子星形成に至った超新星の、残骸としての長期間進化 松岡知紀（京都大学）
13:48	N05a 電子捕獲型超新星2018zd 平松大地（カリフォルニア大学サンタバーバラ校）	10:18	N15a 球対称降着流における熱核反応の役割 茂山俊和（東京大学）
14:00	N06a 金属欠乏星のNi/Fe組成比による低金属量環境での電子捕獲型超新星レートの制限 鈴木昭宏（国立天文台）	10:30	N16a 高速回転大質量星の最終進化における酸素殻燃焼3次元流体シミュレーション 吉田敬（京都大学）
14:12	N07a 光度曲線の系統的調査に基づく重力崩壊型超新星の爆発機構への制限 齋藤晟（東北大学）	10:42	N17a Rate density of tidal disruption events of white dwarfs in the local universe 谷川衝（東京大学）
14:24	N08a X線による超新星残骸Cassiopeia Aにおける高エントロピー上昇流の発見 佐藤寿紀（立教大学）	10:54	N18a 新SiOレーザー検出が示唆する「宇宙の噴水」天体の進化急速進行 甘田溪（鹿児島大学）
14:36	N09a 大質量星の爆発間際の大規模な質量放出とその後の超新星の光度曲線の研究 武井勇樹（東京大学/理化学研究所）	11:06	N19a 古典新星V1405 Casの最初期のスペクトル進化 田口健太（京都大学）
14:48	N10a Ultra-Stripped Supernovaeにおける $^{56}\text{Ni}$ 生成とfallback質量降着について 澤田涼（東京大学）	11:18	N20b 太陽型星EK Draの長時間スーパーフレアのH $\alpha$ 線分光・可視測光観測II 行方宏介（国立天文台）
15:00	質疑応答（10分）	11:30	質疑応答（10分）

## P1. 星・惑星形成(星形成)

9月15日(水) 午後・A会場		9月14日(火) 午前・F会場	
13:00	N21a WR140のX線スペクトル解析によるプラズマ診断 宮本明日香(東京都立大学)	09:30	P101a 宇宙初期における星質量分布とその進化: CMB 温度依存性について 鄭昇明(東北大学)
13:12	N22a 金属欠乏星におけるs-processの特性とその起源 山田志真子(北海道大学)	09:42	P102a 輻射輸送の近似法が同一ミニハロー内の初代星形成に与える影響 千秋元(東北大学)
13:24	N23a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査II.リチウム組成 青木和光(国立天文台)	09:54	P103a 収縮する始原ガスコアで増幅された乱流の飽和と散逸 東翔(甲南大学)
13:36	N24a Why the star expands 藤本正行(北海道大学)	10:06	P104a 初代星形成における大質量原始星近傍からのフィードバックについて 木村和貴(京都大学)
13:48	N25a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性III 浦郷陸(鹿児島大学)	10:18	P105a 磁場環境下での初代星形成における両極性拡散の効果 定成健児エリック(東北大学)
14:00	N26a ひまわり衛星を用いたベテルギウスの可視近赤外多色撮像モニタリング 谷口大輔(東京大学)	10:30	P106a Multiplicity of the first stars confirmed by supervised classification of extremely metal-poor stars Tilman Hartwig (The University of Tokyo)
14:12	N27a LSP 赤色巨星変光星の周期光度関係と脈動モード 高山正輝(兵庫県立大学)		P107c Simulations of Inhomogeneous Metal Mixing after the first Supernovae Tilman Hartwig (The University of Tokyo)
14:24	N28a 太陽型の零歳主系列星における活動性と黒点による光度変化 山下真依(兵庫県立大学)	10:42	P108a Massive Core Formation in Magnetized, Turbulent, High-speed Colliding Clouds Sakre Nirmal Deepak (Hokkaido University)
14:36	N29a $\gamma$ Dor 型脈動変光星における内核と外層の振動の共鳴についての星震学 徳野鷹人(東京大学)	10:54	P109a フィラメント状分子雲内において擬似観測される分子雲コア角運動量の性質 三杉佳明(名古屋大学)
14:48	N30a $\mu$ Gem からの磁気駆動風への乱流圧の影響 保田悠紀(北海道大学)	11:06	P110a 分子雲形成初期の乱流構造と乱流星形成 小林将人(東北大学)
15:00	質疑応答(10分)	11:18	P111a 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(6): 分子雲コア速度構造の進化とその起源 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)
		11:30	P112a BISTRO Project Status (10) Tetsuo Hasegawa(NAOJ)

11:42	P113b ダークマターとバリオン間の相対速度による超音速駆動ガス天体形成 仲里佑利奈(東京大学)	9月14日(火) 午後・F会場
11:42	P114b ALMAを用いた大マゼラン雲 N159 領域の観測: 分子雲の全体像 南大晴(大阪府立大学)	13:00 P116a 星団形成における EUV/FUV 輻射フィードバック 福島肇(筑波大学)
11:42	P115b 数値流体シミュレーションで探る、フィラメント状分子雲同士の衝突進化過程 柏木頼我(国立天文台/総合研究大学院大学)	13:12 P117a Formation of the Orion Nebula Cluster 藤井通子(東京大学)
11:54	質疑応答(10分)	13:24 P118a 大マゼラン雲 N159W-North 領域の大質量クランプの性質と形成過程 南大晴(大阪府立大学)
		13:36 P119a ALMAを用いた巨大星団 RCW38 に対する高密度ガスの観測 鈴木大誠(大阪府立大学)
		13:48 P120a Methanol detection toward young stellar objects in the Small Magellanic Cloud Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University/NAOJ)
		14:00 P121a 巨大分子雲における星形成と銀河進化: 大マゼラン雲の Type 分類の再吟味 福井康雄(名古屋大学)
		14:12 P122a 巨大分子雲における星形成と銀河進化: M33 小西亜侑(大阪府立大学)
		14:24 P123a 巨大分子雲における星形成と銀河進化: NGC 4321 (M100) 出町史夏(名古屋大学)
		14:36 P124a Discovery of two infrared objects with strong ice absorption in the AKARI slitless spectroscopic survey 尾中敬(明星大学)
		14:48 P125a Investigation of roles of the UV radiation on the chemistry around protostars in the Ophiuchus region 谷口琴美(国立天文台)
		15:00 P126b ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成(3) 西岡丈翔(名古屋大学)
		15:12 質疑応答(10分)

9月15日(水) 午前・F会場		9月15日(水) 午後・F会場	
09:30	P127a The relation of accretion to protostellar multiplicity and chemistry with Nobeyama Nadia M. Murillo (RIKEN)	13:00	P137a 超大規模並列計算に向けた、テレグラフ方程式を用いた重力ソルバーの開発 前田龍之介(名古屋大学)
09:42	P128a ガス雲の降着による連星の種の成長 森井健翔(茨城大学)	13:12	P138a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究(1) 山崎駿(九州大学)
09:54	P129a 磁場の向きと回転軸が非平行な場合の連星形成環境の解明 佐伯優(九州大学)	13:24	P139a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究(2): 中間質量原始星 DK Cha のケーススタディ 原田直人(九州大学)
10:06	P130a OMC-2/FIR 6b からの高速回転ジェットの駆動 松下祐子(国立天文台)	13:36	P140a 大マゼラン雲 N113 領域における大質量星形成: 潮汐相互作用によるトリガー 西岡丈翔(名古屋大学)
10:18	P131a ALMA View of Molecular Outflow in Elias 29 雑賀恵理(東京大学)	13:48	P141a ALMA による小マゼラン雲 N66 領域の大質量原始星に付随する分子ガス観測 大川将勢(大阪府立大学)
10:30	P132a Misaligned rotations of the envelope, outflow, and disks in the triplet protostellar system of VLA 1623-2417 大橋聡史(理化学研究所)	14:00	P142a ALMA による重力不安定な円盤を伴う大質量原始星からの分子ガスアウトフロー観測 元木業人(山口大学)
10:42	P133a Class 0 原始星 CB68 周囲のインフォールエンベロープ 城戸未宇(鹿児島大学)	14:12	P143a 低金属度環境における大質量星周円盤の分裂 松木場亮喜(京都大学)
10:54	P134a Chemical and Physical Characterization of the Isolated Source CB68 大屋瑠子(東京大学)	14:24	P144a 有限金属量のもと急速降着で成長する原始星の進化 櫻井祐也(Kavli IPMU)
11:06	P135a B335 における原始星近傍 10 au スケールの化学組成分布と速度構造 大小田結貴(東京大学)	14:36	P145a 3次元磁気流体計算に基づくダスト粒子の軌道計算と統計的性質の解明 古賀駿大(九州大学)
11:18	P136a 分子雲コア収縮時における原始惑星系円盤の形成とダストの合体成長 今枝佑輔(法政大学)	14:48	P146b 衝撃波圧縮の継続時間を考慮した分子雲における誘発的星形成シミュレーション 安部大晟(名古屋大学)
11:30	質疑応答(10分)	14:48	P147b 山口干渉計による赤外線暗黒星雲に埋もれた原始星アウトフロー天体の探査観測 北口慶太(山口大学)
		15:00	質疑応答(10分)

## P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

9月13日(月) 午前・F会場		9月13日(月) 午後・F会場	
09:30	P201a Structure of Molecular Cloud Circumstellar Disks Bo Zhang (Saga University)	13:00	P211a 冷却効果による原始惑星系円盤上のガス渦散逸 小野智弘(東京工業大学)
09:42	P202a 非軸対称降着が原始惑星系円盤の回転速度分布に及ぼす磁気張力加速 海野真輝(大阪大学)	13:12	P212a Improved mass predictions of the potential planets in gaps of ALMA disks Shijie Wang (The University of Tokyo)
09:54	P203a 原始星アウトフローによって引き起こされる原始惑星系円盤への「降灰」 塚本裕介(鹿児島大学)	13:24	P213a 熱波不安定性による原始惑星系円盤のミリ波リング・ギャップ形成 植田大啓(国立天文台)
10:06	P204a Spitzer/IRAC による Sh 2-208 の中間赤外線観測: 低金属量環境下における原始惑星系円盤の進化 安井千香子(国立天文台)	13:36	P214a 移動する惑星が作るダストリング構造について 金川和弘(茨城大学)
10:18	P205a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算: 円盤ダスト-ガス質量比依存性 駒木彩乃(東京大学)	13:48	P215a ダスト成長が駆動する原始惑星系円盤の不安定性の数値シミュレーション 富永遼佑(理化学研究所)
10:30	P206a 原始惑星系円盤光蒸発の再考 仲谷峻平(理化学研究所)	14:00	P216a 磁気流体力学的に降着する原始惑星系円盤のスノーラインの進化: ダスト成長の影響 近藤克(東京工業大学)
10:42	P207a 原始惑星系円盤における HC <sup>18</sup> O <sup>+</sup> 輝線の検出 古家健次(国立天文台)	14:12	P217a 磁場が降着を駆動する周惑星円盤のモデル化 森昇志(東北大学)
10:54	P208a 原始惑星系円盤における一酸化炭素同位体組成の測定可能性 吉田有宏(総合研究大学院大学/国立天文台)	14:24	P218b 分子雲コア初期質量の原始惑星系円盤サイズへの影響 高石大輔(鹿児島大学)
11:06	P209a へびつかい座円盤天体の超解像イメージング: II 円盤サブストラクチャー 川邊良平(国立天文台)	14:24	P219b H <sub>2</sub> O スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造 野津翔太(理化学研究所)
11:18	P210a Multiple Rings and Asymmetric Structures in SR 21 Disk Yi Yang (The University of Tokyo/NAOJ)	14:24	P220b ダスト層重力不安定による微惑星形成時の雷発生 中本泰史(東京工業大学)
11:30	質疑応答(10分)		P221c 雷放電後の高温領域がコンドリュールを形成可能であるための条件 金子寛明(東京工業大学)
			P222c 磁場強度と原始惑星系円盤、アウトフローとの関係 小林雄大(鹿児島大学)

## P3. 星・惑星形成(惑星系)

14:36	P223c ダスタグリゲイト間衝突破壊に関する 破片と質量比の関係性 長谷川幸彦(東京大学)	9月14日(火) 午前・G会場
	質疑応答(10分)	09:30 P301a 磁極から探る惑星磁場の動力学 中道晶香(京都産業大学)
		09:42 P302a ベスタ様小惑星への巨大衝突の数値計算と金属コア・表面地殻の混合によるメソシデライトの形成 杉浦圭祐(東京工業大学)
		09:54 P303a 自転する天体への巨大衝突に伴う角運動量輸送と自転軸傾斜角変動 黒崎健二(名古屋大学)
		10:06 P304a 木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測 紅山仁(東京大学)
		10:18 P305a $^{13}\text{C}$ isotopic ratios of $\text{HC}_3\text{N}$ on Titan measured with ALMA 飯野孝浩(東京大学)
		10:30 P306a サブミリ波帯大気放射モデルを利用したALMA 火星 CO データの解析 山田崇貴(情報通信研究機構)
		10:42 P307b 火星の偏光観測 川上碧(兵庫県立大学)
		10:42 P308b すばる望遠鏡HSCの観測画像・カタログデータベースを活用した既知太陽系小天体探査 大坪貴文(国立天文台)
		10:42 P309b 太陽系外惑星系からのX線放射に関するChandra 衛星を用いた研究 梅谷翼(東京都立大学)
		10:54 質疑応答(10分)

9月14日(火) 午後・G会場		9月15日(水) 午前・G会場	
13:00	P310a 階層的三体系の不安定性時間スケールの軌道要素依存 林利憲(東京大学)	09:30	P320a Starspot mapping with parallel tempering for TESS data of M-type flare stars. II. The variation of light curves in two years 幾田佳(京都大学)
13:12	P311a OGLE-2014-BLG-0221(0284)/MOA-2014-BLG-069: 晩期型星またはコンパクト天体周りの巨大ガス惑星 桐川凜太郎(大阪大学)	09:42	P321a 閃光の惑星系: デブリ円盤からのスーパーフレア中間赤外エコーの観測可能性 有松亘(京都大学)
13:24	P312a 重力マイクロレンズイベント MOA-2019-BLG-273/OGLE-2019-BLG-0825/KMT-2019-BLG-1389 の解析 佐藤佑樹(大阪大学)	09:54	P322a 太陽・太陽型星の XUV 放射モデリング: 光蒸発理論の発展に向けて 庄田宗人(国立天文台)
13:36	P313a PRIME 望遠鏡での近赤外線マイクロレンズサーベイ観測による惑星の検出 近藤依央菜(大阪大学)	10:06	P323a ホットジュピターの大気散逸における水素分子励起を通じた加熱の影響 三谷啓人(東京大学)
13:48	P314a 離心率の大きなホットジュピターを持つ若い星の高コントラスト撮像 清水利憲(東京大学)	10:18	P324a M型星周りの惑星サーベイ: すばる戦略観測 IRD-SSP におけるサンプルの特性調査 三井康裕(東京大学)
14:00	P315a 軌道歳差観測による WASP-33b の惑星軌道傾斜角測定 渡辺紀治(東京大学)	10:30	P325a M3型星まわりのサブネプチューン TOI1696.01 の発見確認 森万由子(東京大学)
14:12	P316a 木星型惑星の成長と惑星散乱 長沢真樹子(久留米大学)	10:42	P326a 2:1 周期比ペアを含む3つの惑星がトランジットする M型星の発見 福井暁彦(東京大学)
14:24	P317a ダストから惑星まで統一シミュレーション: 巨大ガス惑星形成と軌道の分布 小林浩(名古屋大学)	10:54	P327a <i>Spitzer</i> and <i>CHEOPS</i> follow-up of the nearby multi-planet system GJ 9827 John Livingston (The University of Tokyo)
14:36	P318a 原始惑星 PDS70b, c の $H\beta$ 測光: 減光強度への示唆 青山雄彦(清華大学)	11:06	P328a 原始大気中の水生成を考慮した種族合成モデルによる惑星の獲得水量の予測 木村真博(東京大学)
14:48	P319a 太陽系外惑星・褐色矮星の高分散キャラクタリゼーションのための自動微分可能なスペクトルモデル 河原創(東京大学)	11:18	P329a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮したハビタブルゾーンの再評価 山敷庸亮(京都大学)
15:00	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

## Q. 星間現象

9月14日(火) 午前・I会場		9月14日(火) 午後・I会場	
09:30	Q01a X線衛星 <i>Chandra</i> による SN1006 北西部衝撃波の空間分解スペクトルの解析 市橋正裕(東京大学)	13:00	Q12a 重力崩壊型超新星残骸 G350.1-0.3 の X線観測で迫る爆発の非対称効果 土岡智也(立教大学)
09:42	Q02a X線天文衛星「すざく」を用いた超新星残骸 G352.7-0.1 におけるプラズマの空間構造の調査 藤重朝妃(奈良女子大学)	13:12	Q13a 超新星残骸 RX J0852.0-4622 におけるガンマ線発生機構:陽子起源・電子起源ガンマ線の観測的分離と定量 有賀麻貴(名古屋大学)
09:54	Q03a 高密度な白色矮星を起源とする Ia 型超新星残骸 3C 397 の重元素分布 大城勇憲(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:24	Q14a すざくによる PeVatron 候補天体 G106.3+2.7 の観測 藤田裕(東京都立大学)
10:06	Q04a マグネターの親星推定のための RCW103 の X線精密分光解析 成田拓仁(京都大学)	13:36	Q15a HESS J1848-018/W43 領域の多波長観測 辻直美(理化学研究所)
10:18	Q05a XMM-Newton 衛星による超新星残骸 1E 0102.2-7219 の高統計X線スペクトル解析 天野雄輝(京都大学)	13:48	Q16a Observations of the unidentified source HESS J1809-193 at TeV energies with the MAGIC telescopes using the Very Large Zenith Angle technique Marcel C. Strzys(The University of Tokyo)
10:30	Q06a 超新星残骸 G 296.1-0.5からのOVII He $\alpha$ の高い禁制/共鳴線強度比の発見 田中優貴子(京都大学)	14:00	Q17a 超新星残骸が加速する粒子の最高エネルギーとその環境依存性の観測的研究 鈴木寛大(甲南大学)
10:42	Q07a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B の空間構造の調査 鈴木那梨(奈良女子大学)	14:12	Q18a すざくを用いた銀河系高温ガスハローの観測 上田将暉(東京理科大学)
10:54	Q08a ALMA による超新星残骸 W49B の観測:宇宙線加速と過電離プラズマの起源 佐野栄俊(国立天文台)	14:24	Q19a Milky Way Hot Gaseous Halo Revealed by Oxygen Absorption Lines of the Galactic X-ray Sources Yu Zhou(JAXA/ISAS)
11:06	Q09a 低エネルギー宇宙線陽子は超新星残骸プラズマの過電離状態を説明するか? 澤田真理(理化学研究所)	14:36	Q20a フェルミバブル周辺における電離非平衡プラズマの発見 山本真理乃(早稲田大学)
11:18	Q10b プラズマ粒子シミュレーションにおける運動方程式の厳密解に基づく粒子積分法:I.非相対論的な場合 加藤恒彦(国立天文台)	14:48	Q21a PeV ガンマ線で探る天の川銀河ハロー内の宇宙線とその役割 井上進(文教大学/理化学研究所)
11:18	Q11b マイクロクエーサー SS433 のジェットと分子雲 N4 との相互作用の詳細解析 山本宏昭(名古屋大学)	15:00	質疑応答(10分)
11:30	質疑応答(10分)		

9月15日(水) 午前・I会場		9月15日(水) 午後・I会場	
09:30	Q22a 急冷窒素含有炭素質物質の宇宙環境曝露実験 - 帰還試料の初期分析報告 遠藤いずみ(東京大学)	13:00	Q32a すざく衛星による銀河面拡散 X線放射のスペクトル解析 山本久美子(奈良女子大学)
09:42	Q23a 放射型分光計 SUMIRE を用いたメタノール分子同位体種のマイクロ波分光 小山貴裕(理化学研究所)	13:12	Q33a 銀河系中心領域に発見された特異分子雲“Tadpole”の空間速度構造 金子美由起(慶應義塾大学)
09:54	Q24a 放射型分光装置 SUMIRE を用いたメタノール重水素置換体 CH <sub>2</sub> DOH の測定と観測データ解釈への影響 大野有紀(東京理科大学/理化学研究所)	13:24	Q34a 爆発的星形成銀河 NGC253 中心部で発見された高速度コンパクト雲 西山苑実(慶應義塾大学)
10:06	Q25a Tracing the methanol deuteration towards Perseus low-mass protostars Shaoshan Zeng (RIKEN)	13:36	Q35a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布(2) 早川貴敬(名古屋大学)
10:18	Q26a The NANTEN Galactic Plane Survey I : (Overview) 立原研悟(名古屋大学)	13:48	Q36a 星形成史の解明に向けた磁場・宇宙線が駆動する銀河風についての理論研究2 霜田治朗(名古屋大学)
10:30	Q27a NANTEN 銀河面サーベイデータを利用した星間水素の精密定量 堤大陸(名古屋大学)	14:00	質疑応答(10分)
10:42	Q28a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法(2) 藤田真司(大阪府立大学)		
10:54	Q29a 大マゼラン雲における大質量星形成領域に対する機械学習を用いた観測的研究 上田翔汰(大阪府立大学)		
11:06	Q30a Sub-kpc scale gas density histogram of the Galactic molecular gas : a new statistical method to characterise the galactic-scale gas density structure 松坂怜(鹿児島大学)		
11:18	Q31a 銀河系中心領域における磁気活動の数値解析 柿内健佑(名古屋大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

## R. 銀河

9月15日(水) 午前・E会場		9月15日(水) 午後・E会場			
09:30	R01a	ALMA [CII] 輝線・遠赤外線連続波観測とNRO 45m CO(5-4) 輝線観測で探る $z \approx 5$ の超臨界降着クエーサー J0131-0321 の母銀河の性質 山下祐依(東京大学)	13:00	R13a	大マゼラン雲における銀河間潮汐相互作用による大質量星形成 柘植紀節(Friedrich-Alexander University)
09:42	R02a	スターバースト銀河 NGC 253 におけるラジカル分子の ALMA 観測 原田ななせ(国立天文台)	13:12	R14a	すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 用狭帯域フィルター NB515 で探るアンドロメダ銀河恒星ハローの構造 小上樹(法政大学)
09:54	R03a	NGC 253 中心部における回転/非回転ガスの分離 榎谷玲依(慶應義塾大学)	13:24	R15a	超高速星を用いた銀河系ダークマターハローの形状推定 服部公平(統計数理研究所)
10:06	R04a	NGC 253 中心部の特異構造 "western-superbubble" の観測的研究 小西諒太郎(大阪府立大学)	13:36	R16a	銀河面からの軟 X 線背景放射 (7) 安福千貴(名古屋大学)
10:18	R05a	Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の $^{12}\text{CO}$ , $^{13}\text{CO}$ $J=2-1$ 広域観測 (3): 分子雲のサイズ-線幅関係 村岡和幸(大阪府立大学)	13:48	R17a	Instability analysis for spiral arms of local galaxies 井上茂樹(筑波大学/国立天文台)
10:30	R06a	棒渦巻銀河 Maffei 2 における $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ , $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ を用いた分子ガスの 2 成分解析 矢島義之(北海道大学)	14:00	R18a	銀河渦状腕中の星のエピサイクル位相同期 IV 吉田雄城(東京大学)
10:42	R07a	NRO レガシープロジェクト COMING (30): 近傍銀河における分子ガスの速度分散と星形成効率の関係 清水一揮(北海道大学)	14:12	R19a	介在銀河による偏波解消の数値シミュレーション II 大前陸人(総合研究大学院大学)
10:54	R08a	棒渦巻銀河 NGC1300 における巨大分子雲の $\text{CO}(2-1)/\text{CO}(1-0)$ 比 前田郁弥(東京大学)	14:24	R20a	3次元磁気流体数値実験に基づく渦状銀河電波放射領域の同定 田嶋裕太(総合研究大学院大学)
11:06	R09a	Molecular gas conditions in the central region of NGC 1365 Fumi Egusa (The University of Tokyo)	14:36	R21a	空間解像度差のあるデータセットを用いた深層学習による銀河形状分類精度 本間裕也(新潟大学)
11:18	R10a	GMC における星形成と銀河進化: M51 山田麟(名古屋大学)	14:48	R22a	Astrometry of the Nuclear Star Cluster using ALMA Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)
11:30	R11a	銀河スケールの構造と分子雲スケールの物理的・化学的性質の関係 (1): NGC 613 銀河中心領域 金子紘之(上越教育大学/国立天文台)	R23c	衝突系における制限付き 1PN 方程式の導出とその評価 立川崇之(高知工業高等専門学校)	
11:42	R12b	Galactic Center IRS21, Falling Hyper Compact HII Regions? Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)	15:00		質疑応答 (10 分)
11:54		質疑応答 (10 分)			

## S. 活動銀河核

9月13日(月) 午前・C会場		11:18	S12b	Growing supermassive black holes through secular processes: a machine learning approach to identifying substructures in quasar host galaxies with HSC Tilman Hartwig (The University of Tokyo)	
09:30	S01a	EHTC 公開データ再解析によって見えてきた M87 中心核 三好真(国立天文台)			
09:42	S02a	厳密な時間依存型の多波長・一般相対論的輻射輸送計算で探るブラックホールシャドウおよびスペクトルの時間変動 川島朋尚(東京大学)	11:30	S13c	せいめい望遠鏡 KOOLS-IFU 可視面分光観測で探る NGC 7674 の AGN 活動 鳥羽儀樹(京都大学)
09:54	S03a	Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign Daniel Mazin (The University of Tokyo)	11:42		質疑応答(10分)
10:06	S04a	巨大ブラックホール降着流の輻射磁気流体シミュレーション: 熱不安定性による軟 X 線放射領域の振動 五十嵐太一(千葉大学)	9月13日(月) 午後・C会場		
10:18	S05a	モンテカルロ X 線放射輸送コード MONACO の光電離モデル 小高裕和(東京大学)	13:00	S15a	Study on the outflow impact of SMBH seed at high-z through radiation hydrodynamic (RHD) simulations Ignacio Botella Lasaga (Kyoto University)
10:30	S06a	モンテカルロ X 線放射輸送コード MONACO による AGN Warm Absorber のスペクトル解析 谷本敦(東京大学)	13:12	S16a	ダスト昇華半径周辺における輻射駆動アウトフロー 工藤祐己(鹿児島大学)
10:42	S07a	Circinus 銀河中心核の空間的に広がった鉄輝線放射領域の詳細解析(2) 澤上拳明(大阪大学)	13:24	S17a	NGC1068 の ALMA 高空間分解能観測: 逆回転する高密度分子トラスの発見 今西昌俊(国立天文台)
10:54	S08a	Fe-K $\alpha$ 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究(2) 峯田大靖(大阪大学)	13:36	S18a	電波銀河 NGC 1052 における SO 吸収線による分子ガストラスの温度計測 亀野誠二(国立天文台 / Joint ALMA Observatory)
11:06	S09a	銀河中心核領域での大質量ブラックホールの動き回りと、ブラックホール質量とバルジ質量の相関 井上一(宇宙航空研究開発機構)	13:48	S19a	WISE データの変動カラーによる AGN ダスト減光量の新推定法の提案 水越翔一郎(東京大学)
11:18	S10b	一般相対論的重力場における 3 次元粒子加速・ニュートリノ輻射輸送コード「 $\nu$ -RAIKOU」の開発 川島朋尚(東京大学)	14:00	S20a	NGC 1275 核周円盤における超新星爆発起源の電波放射の発見 永井洋(国立天文台)
11:18	S11b	狭輝線セイファート 1 型銀河の X 線スペクトルの理論的解釈 川中宣太(京都大学)	14:12	S21a	将来計画における X 線超高速アウトフローのモニター観測の必要性と可能性 水本岬希(京都大学)
			14:24	S22a	AGN アウトフローに対する MCMC 法を用いた吸収線モデルフィットの適用 三澤透(信州大学)

14:36	S23a	遠赤外線で明るい活動銀河核における狭輝線ガスの運動速度 繁澤政樹(関西学院大学)	9月14日(火) 午後・C会場
14:48	S24a	Kiloparsec-scale Neutral Atomic Carbon Outflow in the Nearby Type-2 Seyfert Galaxy NGC 1068: An Evidence for the Negative AGN Feedback 齊藤俊貴(日本大学/国立天文台)	13:00 S33a 最近傍の radio loud QSO, 3C273 の高ダイナミックレンジイメージング 小麦真也(工学院大学)
15:00		質疑応答(10分)	13:12 S34a <i>Swift</i> /BAT X線サーベイの最高光度活動銀河 H1821+643で見られる爆発的星生成とブラックホールへの質量降着の起源 福地輝(東北大学)
9月14日(火) 午前・C会場			13:24 S35a Systematic search of fading AGN in the local universe at $z < 0.4$ Janek PFLUGRADT (Tohoku University)
09:30	S25a	M87 宇宙ジェット加速領域: GRMHD アウトフローにおける角運動量輸送 高橋真聡(愛知教育大学)	13:36 S36a How does the polar dust affect the correlation between dust covering factor and Eddington ratio in type 1 quasars selected from the SDSS DR16? 鳥羽儀樹(京都大学)
09:42	S26a	<i>NuSTAR</i> による Centaurus A の硬 X 線時間変動の調査 岩田季也(東京大学)	13:48 S37a Subaru HSC COSMOS+SXDS 時間軸データを用いた光度変動 AGN の探査 小久保充(プリンストン大学)
09:54	S27a	電波銀河 M87 の X 線短時間変動 今澤遼(広島大学)	14:00 S38a Searching for obscured AGNs in deep and wide multi-wavelength imaging datasets Bovornpratach Vijarnwannaluk (Tohoku University)
10:06	S28a	GeV-loud 電波銀河の高エネルギー放射の系統的性質と種族研究 深沢泰司(広島大学)	14:12 S39a MAGIC 望遠鏡による高エネルギーニュートリノ対応天体観測 Yoo Seokhyun (京都大学)
10:18	S29a	電波銀河のガンマ線 loudness と X 線スペクトルの関係 榎木大修(広島大学)	14:24 質疑応答(10分)
10:30	S30a	低光度AGNのTeVガンマ線光度とその時間変動 木坂将大(広島大学)	
10:42	S31a	かなた望遠鏡によるブレーザー BL Lacertae の増光期における可視・近赤外線同時連続偏光撮像観測 間夏子(広島大学)	
10:54	S32a	ジェット・ガス雲衝突で誘発された 3C84 電波ローブの FR II/FR I 遷移 紀基樹(工学院大学)	
11:06		質疑応答(10分)	

## T. 銀河団

## U. 宇宙論

9月13日(月) 午後・I会場		9月15日(水) 午前・C会場	
13:00	T01a 銀河系前景放射と銀河団外縁部の観測への影響 松下恭子(東京理科大学)	09:30	U01a Grid-based calculation for perturbation theory of large-scale structure in redshift space 樽家篤史(京都大学)
13:12	T02a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 II 福一誠(立教大学)	09:42	U02a Dark Quest II: パワースペクトル、ハロー質量関数エミュレータの構築 田中賢(京都大学)
13:24	T03a 初期の衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 における衝撃波の X 線および SZ 信号の比較 大宮悠希(名古屋大学)	09:54	U03a Dark Quest II: 距離依存した成長率を持つ宇宙モデルにおける銀河バイアス 西道啓博(京都大学)
13:36	T04a 大小様々な銀河団の冷却コア内のガス揺らぎの系統解析 上田周太郎(ASIAA)	10:06	U04a すばる HSC と SDSS データの銀河弱重力レンズとクラスタリングの小スケール信号を用いた宇宙論統合解析 宮武広直(名古屋大学)
13:48	T05a 銀河団磁場との相互作用によって折れ曲がるジェット 大村匠(東京大学)	10:18	U05a すばる HSC と SDSS データの銀河弱重力レンズとクラスタリングの大スケール信号を用いた宇宙論統合解析 杉山素直(東京大学 Kavli IPMU)
14:00	T06a 銀河団電波ハローの数値モデルに基づいた Faraday Spectrum の解析 菅原充祥(山形大学)	10:30	U06a すばるPFSとHSCによる大規模構造探索: 分光ファイバー割り当てに伴う系統誤差の検討 真喜屋龍(台湾中央研究院)
14:12	T07a 銀河団の構造形成史から示唆される巨大電波ハローの駆動条件 西脇公祐(東京大学)	10:42	U07a HSC と BOSS のデータを用いた銀河分布と弱重力レンズ効果の二点相関による現象論的な修正重力の制限 大河内雄志(名古屋大学)
14:24	質疑応答(10分)	10:54	U08a 21-cm 線観測による BAO 解析のための理論的枠組みの構築 安藤梨花(名古屋大学)
		11:06	U09a 21cm 線強度マップの直接画像解析による暗黒物質探査 村上広椰(名古屋大学)
		11:18	U10b 銀河形成シミュレーションを用いた銀河の特異速度の推定法の開発 阿部祐大(弘前大学)
			U11c Constraints on primordial magnetic fields with energy density 山崎大(茨城大学)
		11:30	質疑応答(10分)

## V1. 観測機器 (電波)

9月15日(水) 午後・C会場		9月14日(火) 午後・D会場	
13:00	U12a 銀河スピカタログの作成と銀河分布による双極子異方性の補正 福本英也(放送大学)	13:00	V101a Update on ALMA Operations and Development Program – Autumn 2021 Alvaro Gonzalez (NAOJ)
13:12	U13a 超低輝度矮小銀河を用いた Fuzzy Dark Matter 理論への制限 林航平(一関工業高等専門学校)	13:12	V102a Progress in Device Fabrication at Microfabrication Cleanroom in NAOJ Wenlei Shan (NAOJ)
13:24	U14a 宇宙マイクロ波背景放射による WIMP-PBH 混合暗黒物質モデルへの制限 田代寛之(名古屋大学)	13:24	V103a RF 211–373 GHz 広帯域 IF SIS ミキサの試作 小嶋崇文(国立天文台)
13:36	U15a 熱的制動放射による宇宙初期でのダークマターハロー形成への制限 箕田鉄兵(名古屋大学)	13:36	V104a 超伝導体を用いた 4–8GHz 帯 90 度ハイブリッドカップラの試作 有馬海里(電気通信大学)
13:48	U16a 初代星が再電離に与える影響と将来 CMB 実験での観測可能性 坂本陽菜(名古屋大学)	13:48	V105a アップ/ダウンコンバート Mixer を用いた Isolator のための原理確認実験 増井翔(大阪府立大学/国立天文台)
14:00	U17a Cosmology with clusters from component separation to cosmological tension 谷村英樹 (Institut d'Astrophysique spatiale, France)	14:00	V106a ファブリペロー開放型共振器法を用いたミリ波帯誘電損失の評価 坂井了(国立天文台)
14:12	U18a 宇宙マイクロ波背景放射の銀河団散乱による宇宙初期揺らぎの推定 角谷健斗(名古屋大学)	14:12	V107a The Next Generation Very Large Array – Fall 2021 伊王野大介(国立天文台)
14:24	U19a インフレーション起源 Bモード検出に向けた Bモード分離手法の開発 茅根裕司(東京大学)	14:24	V108a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 V: 受信機開発の進捗 II 長谷川豊(大阪府立大学)
14:36	U20a GW170817 のスカラーモード再構成によって行うスカラーテンソル理論のモデルに依存しない検証 具島侑也(福岡大学)	14:36	V109a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VI: 誘電体レンズを用いたビーム伝送系の設計及び評価 山崎康正(大阪府立大学)
14:48	U21a 電子のラブの寿命と陽子のラブの寿命と宇宙の大きさ 小堀しづ	14:48	V110b 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VII: 広帯域直交偏波分離器の設計と評価 米山翔(大阪府立大学)
15:00	質疑応答(10分)	14:48	V111b 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VIII: 導波管型 Triplexer の設計および評価 川下紗奈(大阪府立大学)
		15:00	質疑応答(10分)

9月15日(水) 午前・D会場		11:30	V123b 多色サブミリ波カメラ用超広帯域準光学バンドパスフィルターの開発 宇野慎介(東京大学)
09:30	V112a CMB偏光観測衛星 LiteBIRD計画の進展 堂谷忠靖(宇宙航空研究開発機構)	11:30	V124b An Iterative Reconstruction Algorithm for Faraday Tomography Suchetha Cooray (Nagoya University)
09:42	V113a CMB偏光観測衛星 LiteBIRD 低周波望遠鏡の熱構造歪みによる光学性能への影響 松田フレドリック(宇宙航空研究開発機構)	11:42	質疑応答(10分)
09:54	V114a LiteBIRD 低周波望遠鏡の広視野アンテナパターン測定の高精度化 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	9月15日(水) 午後・D会場	
10:06	V115a LiteBIRD 低周波望遠鏡のホログラフィー近傍界アンテナパターン測定法の開発 中野遼(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:00	V125a Simons Observatory, Large Aperture Telescope のための較正光源の開発 金子大輔(高エネルギー加速器研究機構)
10:18	V116a 200 GHz帯直列接合型 SIS素子の開発:伝送線路構造と雑音特性の関係 中島拓(名古屋大学)	13:12	V126a Simons Array 実験における惑星観測による検出器評価 山田恭平(東京大学)
10:30	V117a 次期国際火星探査 Mars Ice Mapper 計画のサブペイロードを見据えたテラヘルツヘテロダイン分光装置 THSS の検討 前澤裕之(大阪府立大学)	13:24	V127a Simons Array 実験における較正光源を用いた検出器性能評価試験 高取沙悠理(総合研究大学院大学)
10:42	V118a FPGA のみで実現する完全デジタルな電波分光計(ARDS):傾斜型 ADC シミュレータの開発 松英裕大(名古屋大学)	13:36	V128a 狭帯域 RF 発振器を用いた Simons Array 望遠鏡の検出器の特性評価手法の研究 廣瀬開陽(横浜国立大学)
10:54	V119a ROS 2 を用いた電波望遠鏡制御のための分散コンピューティングシステムの負荷試験 西川薫(名古屋大学)	13:48	V129a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発(I) 氏原秀樹(京都大学)
	V120c 山口 32m電波望遠鏡の駆動系に生じたガタと対策 藤沢健太(山口大学)	14:00	V130a 水沢 10m 電波望遠鏡の低周波観測に向けたシステム向上 亀谷收(国立天文台)
11:06	V121a 超伝導検出器焦点面に適した低熱収縮シリコンアルミ合金の極低温特性評価 竹腰達哉(北見工業大学)	14:12	V131a SKA プロジェクトへの参加計画 4 小林秀行(国立天文台)
11:18	V122a 多色サブミリ波カメラ用超広帯域反射防止技術の開発 長沼桐葉(電気通信大学)	14:24	V132b SKA1 LOW に向けた VLBI 観測計画 小林秀行(国立天文台)
		14:24	V133b 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発 知念翼(大阪府立大学)
		14:24	V134b 高萩/日立 32m 電波望遠鏡の整備状況 2021B 米倉覚則(茨城大学)
		14:36	質疑応答(10分)

## V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

9月13日(月) 午前・E会場		11:18	V213b 極低温下における自由曲面鏡の表面形状測定に向けたCGH干渉計の開発 近藤翼(名古屋大学)
09:30	V201a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 偏光分光装置 SCIP 光学ユニット熱真空試験 勝川行雄(国立天文台)	11:30	質疑応答(10分)
09:42 V202a Solar-C (EUVST) における地上支援システムに関する検討 飯田佑輔(新潟大学)		9月13日(月) 午後・E会場	
09:54	V203a JASMINE 計画の概要と全体状況 郷田直輝(国立天文台)	13:00	V214a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)
10:06	V204a JASMINE における検出器変更可能性に基づく仕様、観測データの再検討 矢野太平(国立天文台)	13:12	V215a TMT 広視野可視撮像分光器 WFOS 用面分光ユニットの概念検討 2 尾崎忍夫(国立天文台)
10:18	V205a JASMINE アstrometri解析ソフトウェアの開発 大宮正士(アストロバイオロジーセンター)	13:24	V216a 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(V) 寺尾航暉(東北大学)
10:30	V206a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2 の打上げ報告 松浦周二(関西学院大学)	13:36	V217a 広視野サーベイ観測 WISHES: サーベイの概要 大栗真宗(東京大学)
10:42	V207a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 打ち上げ前最終感度較正 橋本遼(関西学院大学)	13:48	V218a 広視野サーベイ観測 WISHES: データ解析 古澤久徳(国立天文台)
10:54	V208a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 将来に向けた成果の継承 山村一誠(宇宙航空研究開発機構)	14:00	V219a SuMIRe-PFS[22]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2021年秋季 田村直之(東京大学 Kavli IPMU)
11:06	V209b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 感度較正における誤差の評価 野田千馬(関西学院大学)	14:12	V220a SuMIRe-PFS[26]: PFS による共同利用観測の枠組み 田中賢幸(国立天文台)
11:06	V210b 可視近赤外宇宙背景放射観測装置 EXZIT: 金属鏡表面粗さの評価 橋本遼(関西学院大学)	14:24	V221b SuMIRe-PFS[23]: 赤外線検出器 HAWAII-4RG の persistence 特性評価 濱野哲史(国立天文台)
11:06	V211b Solar-C (EUVST) に搭載する超高精度太陽センサ「UFSS」: バイアス誤差の低減とバイアス誤差決定精度向上に向けた検討状況 鄭祥子(宇宙航空研究開発機構)		V222c SuMIRe-PFS[24]: PFS-HSC 試験観測(投影写像・姿勢検出について) 川野元聡(国立天文台)
11:18	V212b 将来衛星搭載に向けた高感度赤外線検出システムの低雑音・低発熱化 海老原大路(東京工業大学)	14:24	V223b SuMIRe-PFS[25]: PFS Cable B における Focal Ratio Degradation の測定 越田進太郎(国立天文台)
		14:24	V224b SuMIRe-PFS[27]: Optimal tiling algorithm for the PFS open-use programs Wanqiu He (NAOJ)

14:36	V225b SuMIRe-PFS[28]: 夜間試験観測へ向けたデータ解析環境の準備状況 矢部清人(東京大学 Kavli IPMU)	9月14日(火) 午後・E会場	13:00	V236a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 押野翔一(東京大学)
14:36	V226b TMT 科学運用の検討 青木和光(国立天文台)		13:12	V237a 光・赤外大学間連携観測による STARLINK Visorsatの多波長の等級測定 堀内貴史(国立天文台)
14:36	V227b JVO portal 開発状況: すばる望遠鏡 Suprime-Cam 処理済みデータの配信と Gaia EDR3 可視化システムの開発 白崎裕治(国立天文台)		13:24	V238a 岡山 188cm 反射望遠鏡 / HIDES-F の 全自動データリダクションツールの開発・ 運用状況について 原川紘季(国立天文台)
14:48	質疑応答(10分)		13:36	V239a ハーフトーン手法を用いた高コントラスト観 測のためのダークホール制御技術の開発 米田謙太(北海道大学)
9月14日(火) 午前・E会場			13:48	V240a 国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤 外偏光分光観測装置の SQL-DB と連携 した pipeline 処理と校正精度向上 森田諭(国立天文台)
09:30	V228a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 宮田隆志(東京大学)		14:00	V241a 気象衛星ひまわり 8 号の可視赤外多色 撮像データを用いた天体測光とその応用 宇野慎介(東京大学)
09:42	V229a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡用蒸着装置の性能評価 高橋英則(東京大学)		14:12	V242b 可視偏光サーベイ計画 SGMAP: 北天銀 河面の可視近赤外サーベイと南天観測 の海外協力 川端弘治(広島大学)
09:54	V230a TAO/MIMIZUKU用冷却チョッパーの開発 : 常温制御試験 近藤智也(金沢大学)		14:12	V243b かなた望遠鏡 / HONIR で得られる偏光 撮像データの自動解析システムの構築 及び性能評価 森文樹(広島大学)
10:06	V231a TAO/MIMIZUKU用冷却チョッパーの開発 : 冷却動作試験 道藤翼(東京大学)		14:12	V244b かなた望遠鏡による情報理論・機械学 習を用いた自動意思決定システムの実 用性の検証 古賀柚希(広島大学)
10:18	V232a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS: すばる望遠鏡での初期観測運用 報告 本原顕太郎(国立天文台/東京大学)		14:24	V245b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用 波面センサの開発 津久井遼(京都大学)
10:30	V233a 近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU 開 発状況: スライスミラーアレイ +PO0 の 超精密切削加工と X 線 CT による評価 櫛引洗佑(東京大学)		14:24	V246b 偏光 2 チャンネル型位相マスクコロナグ ラフのための焦点面波面センサーの開発 大平泰広(北海道大学)
10:42	V234a 広視野近赤外マイクロレンズサーベイ 望遠鏡 PRIME の進捗報告 宮崎翔太(大阪大学)		14:24	V247b フォトニック結晶にもとづく広帯域離散型 6 次ベクトル渦マスクの設計 林寛昭(北海道大学)
10:54	V235a PRIME望遠鏡 H-bandテストカメラの開発 と展望 山響(大阪大学)			
11:06	質疑応答(10分)			

V3. 観測機器 (X線・ $\gamma$ 線)

14:36	V248b 飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡の観測とデータ処理の自動化 永田伸一(京都大学)	9月13日(月) 午前・D会場
14:36	V249b 解析手法改善によるなゆた望遠鏡近赤外カメラ NIC の高精度化と、遠方 QSO モニタリングへの展望 斎藤智樹(兵庫県立大学)	09:30 V301a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡(XMA)開発の現状(5) 林多佳由(NASA's GSFC, UMBC)
	V250c Shack-Hartmann センサーを用いた波面位相・振幅ゆらぎの総合的計測 三浦則明(北見工業大学)	09:42 V302a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VII 石崎欣尚(東京都立大学)
	V251c 低融点金属を用いた反射望遠鏡の開発に関する基礎的研究 今泉瑛介(東京工業大学)	09:54 V303a XRISM 衛星搭載精密 X線分光装置 Resolveの単体試験時の低周波帯ノイズ解析 小湊菜央(立教大学)
	V252c 連星スペckル差測光における確度向上のためのデータ解析手法の検討 桑村進(北見工業大学)	10:06 V304a X線分光撮像衛星(XRISM)搭載軟X線撮像装置(Xtend)の開発の現状(6) 富田洋(宇宙航空研究開発機構)
14:48	質疑応答(10分)	10:18 V305a XRISM 衛星搭載 Xtend の Contamination Blocking Filter の X線透過率の測定 角町駿(東京理科大学)
		10:30 V306a X線偏光観測衛星 IXPEへの参加現状(7) 玉川徹(理化学研究所)
		10:42 V307a MeVガンマ線観測衛星AMEGO計画におけるコンプトン再構成プログラムのスタディー 末岡耕平(広島大学)
		10:54 V308a GRAMS 計画 3: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験 一戸悠人(立教大学)
		11:06 V309a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(20) 野田浩司(東京大学)
		11:18 V310b 硬 X線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X線望遠鏡の開発(2) 鴨川航(大阪大学)
		11:18 V311b グラフェン超薄膜を用いた高機能汎用型光学素子の開発 柏倉一斗(名古屋大学)
		11:18 V312b 次世代 X線偏光観測衛星を目指した高温塑性変形 Si 湾曲ブラッグ反射光学系のミッション検討 内野友樹(東京都立大学)
		11:30 質疑応答(10分)

9月13日(月) 午後・D会場		9月14日(火) 午前・D会場	
13:00	V313a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (12) 森浩二(宮崎大学)	09:30	V324a 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 VIII 佐藤浩介(埼玉大学)
13:12	V314a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 48 : PDD 構造におけるリーク電流の原因特定とその解決手法 行元雅貴(宮崎大学)	09:42	V325a 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(5) 瀧川歩(名古屋大学)
13:24	V315a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 49 : PDD 構造における分光性能のウエルの不純物濃度依存性の評価 米村修斗(宮崎大学)	09:54	V326a PhoENiX 衛星計画に向けた高精度 Wolter ミラー保持機構の検討 坂尾太郎(宇宙航空研究開発機構)
13:36	V316a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 50:Double-SOI 構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器の放射線損傷による暗電流増加の原因究明 北島正隼(東京理科大学)	10:06	V327a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価 長澤俊作(東京大学 Kavli IPMU)
13:48	V317a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 51 : Double-SOI 構造の大面积 X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価 三枝紀嵐(宮崎大学)	10:18	V328a 広視野を少数の撮像素子でカバーする多重化ロブスターアイ X 線光学系 内山慶祐(東京理科大学/理化学研究所)
14:00	V318a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 52: X 線 SOI ピクセル検出器のトリガー性能評価 山田龍(京都大学)	10:30	V329a 広視野 X 線集光系の光跡シミュレーション 杉田聡司(青山学院大学)
14:12	V319a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 III 江副祐一郎(東京都立大学)	10:42	V330a 広視野 X 線集光系のための X 線ミラーの開発 清田力(青山学院大学)
14:24	V320a 明るい X 線天体を狙う 6U キューブサット NinjaSat の進捗 武田朋志(東京理科大学/理化学研究所)	10:54	V331a X 線ビームラインによる Lobster Eye Optics の性能評価 後藤初音(金沢大学)
14:36	V321a NinjaSat における信号波形による X 線と荷電粒子の弁別方法の開発 吉田勇登(東京理科大学/理化学研究所)	11:06	V332a 大面积 CMOS イメージセンサ GSENSE 4040BSI の軟 X 線基礎性能評価 盛顯捷(青山学院大学)
14:48	V322a NinjaSat に搭載する観測機器のコンポーネント環境試験 沼澤正樹(理化学研究所)	11:18	V333a X 線干渉計に向け TES を応用する高精度 X 線センサーの開発 野田博文(大阪大学)
15:00	V323b NinjaSat に搭載するアナログ信号処理基板の開発 大田尚享(東京理科大学)	11:30	質疑応答(10分)
15:12	質疑応答(10分)		

## W. コンパクト天体

9月13日(月) 午前・B会場		11:42	W13b 一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA を用いたブラックホール降着流シミュレーションによるスピン依存性 朝比奈雄太(筑波大学)
09:30	W01a 静穏時のブラックホール連星での強磁場降着流の形成と電磁波・宇宙線放射 木村成生(東北大学)	11:42	W14b Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着: 円盤面の傾きによる非軸対称構造について 尾形絵梨花(筑波大学)
09:42	W02a 自転するブラックホール近傍での磁気リコネクションの数値計算 小出美香(一ツ葉高校熊本)	W15c Boltzmann法によるカー・ブラックホール近傍の輻射輸送 小川拓未(筑波大学)	
09:54	W03a BTZ ブラックストリングまわりの磁気圏中を伝播するアルペン波の数値計算 小出眞路(熊本大学)	11:54	質疑応答(10分)
10:06	W04a 測地線に沿った時間依存型一般相対論的輻射輸送計算コードの開発 高橋幹弥(筑波大学)		
10:18	W05a 大局的輻射流体計算による超臨界降着流からのアウトフローの構造解明 芳岡尚悟(京都大学)		
10:30	W06a MAXI,Swiftを用いたブラックホールX線連星アウトバースト光度変動の相似性解析 栗原明稀(東京大学)		
10:42	W07a ダスト散乱の影響を考慮した MAXI J1631-479 のエネルギースペクトル解析 小林浩平(日本大学)		
10:54	W08a はくちょう座 X-1 の Dip の観測 八木駿介(立教大学)		
11:06	W09a 低質量 X 線連星 GRS 1915+105 の X 線で異常に暗い期間での近赤外線の放射起源について 今里郁弥(広島大学)		
11:18	W10a MAXI J1820+070 の時系列解析によるブラックホール周辺構造の解明 大間々知輝(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)		
11:30	W11a いかくじゅう座 V723 の視線速度変動における潮汐変形の影響のモデル化 増田賢人(大阪大学)		
11:42	W12b 全天 X 線監視装置 MAXI/GSC のデータを用いた MAXI J1820+070 と MAXI J1631-479 のパワースペクトル解析 清野光輝(日本大学)		

9月13日(月) 午後・B会場		9月14日(火) 午前・B会場	
13:00	W16a Wakefield Acceleration in a Jet from a NDAF around a Black Hole Yoshiaki Kato (RIKEN)	09:30	W28a 中性子星 X 線連星 Aql X-1 の X 線及び可視光変動の研究 庭野聖史(東京工業大学)
13:12	W17a 超臨界ブラックホール降着流におけるライマンアルファ輝線の放射力の計算 武者野拓也(筑波大学)	09:42	W29a MAXIとNICERによるSwift J1858.6-0814のスペクトル 坂井謙斗(芝浦工業大学)
13:24	W18a 潮汐破壊現象からの電波放射の包括的解析 松本達矢(東京大学)	09:54	W30a GS 1826-24 の X 線バースト観測による中性子星の物理過程の制限 土肥明(九州大学)
13:36	W19a Gaia によるブラックホール連星の観測可能性の連星進化パラメータ依存性 鹿内みのり(東京大学)	10:06	W31a NICER による X 線連星 Circinus X-1 の軌道周期を完全にカバーした観測 富永愛侑(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
13:48	W20a ブラックホール・中性子星連星の合体に対する放射輸送磁気流体数値相対論シミュレーション 林航大(京都大学)	10:18	W32a 大質量 X 線連星 Cen X-3 の軌道位相に伴う放射機構の変化 丹波翼(東京大学)
14:00	W21a Regulation of gas accretion by cocoon from stellar-mass BHs in AGN disks 田川寛通(東北大学)	10:30	W33a X 線連星内での非対称な恒星風駆動と降着 平井遼介(Monash 大学)
14:12	W22a Merging binary black holes with misaligned spins from primordial binaries Alessandro A. Trani (The University of Tokyo)	10:42	W34a 磁気回転風に関する自己相似解 黄天鋭(東京大学)
14:24	W23a Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources Long Wang (The University of Tokyo)	10:54	W35a X 線観測による矮新星 SS Cyg の硬 X 線放射領域の空間分布の解明 武尾舞(東京都立大学)
14:36	W24a 散開星団における連星ブラックホールの形成とスピン進化 熊本淳(東京大学)	11:06	W36a 木曾 Tomo-e Gozen と NICER 望遠鏡による矮新星 SS Cyg の可視光・X 線同時高速観測 西野耀平(東京大学)
14:48	W25a 超巨大バイナリー・ブラックホールにおいて重力波発生のない状況について 大家寛(東北大学)	11:18	W37a 再帰型ニューラルネットワークを用いた高密度天体の X 線強度変動のパワースペクトル推定 牧田佳大(立教大学)
15:00	W26b P <sup>3</sup> T- DENEb を用いた球状星団内の連星形成シミュレーション 吉成直都(東京大学)	11:30	W38a 矮新星 MASTER OT J004527.52+503213.8 の 2020 年 outburst 時における測光観測とその解析 松井瀬奈(名古屋大学)
15:00	W27b Eccentric-Kozai-Lidov 機構による BH 連星の合体: Post-Newtonian 効果 稲熊穂乃里(東京大学)	11:42	W39b 食を用いた IW And 型矮新星のアウトバースト機構の検証 II 柴田真晃(京都大学)
15:12	質疑応答(10分)		

11:42	<p>W40b 木曾シュミット、せいめいで観測可能な可視光パルサーの調査 高橋尚人(東京大学)</p>	9月14日(火) 午後・B会場	
11:42	<p>W41b 「すざく」による低質量 X 線連星 EXO 0748-676 の dips/bursts の解析 中間洋子(東京工業大学)</p>		
11:54	<p>W42c Systematic search of optically thick magnetic rotating wind solutions for double white dwarf merger remnants : sub-Chandrasekhar mass case Toshikazu Shigeyama (The University of Tokyo)</p> <p>質疑応答(10分)</p>	13:00	<p>W43a すざくによるはくちょう座 X-3 のエネルギースペクトルの解析 荒神歩己(立教大学)</p>
		13:12	<p>W44a 那須電波干渉計によって観測された Cygnus X-3 の巨大フレア(2) 坪野公夫((一社)電波天文学研究会)</p>
		13:24	<p>W45a MAXIによる長期観測データの時系列解析 鈴木開斗(青山学院大学)</p>
		13:36	<p>W46a 大型液体シンチレータ検出器KamLANDにおける重力波事象由来ニュートリノ探索および超新星爆発由来ニュートリノ探索 小原脩平(東北大学)</p>
		13:48	<p>W47a 超高輝度超新星 PTF10hgi における後期電波放射の時間変動 廿日出文洋(東京大学)</p>
		14:00	<p>W48a rプロセス元素を合成する特異な超新星爆発の観測的特徴 長谷川樹(東北大学)</p>
		14:12	<p>W49a ジェット状超新星におけるrプロセス元素の生成と放出 西村信哉(理化学研究所)</p>
		14:24	<p>W50a SS433 ジェット TeV ガンマ線領域からの電波放射とH<math>\alpha</math>線との相関 酒見はる香(国立天文台)</p>
		14:36	<p>W51a ほぼトロイダルな背景磁場を持つMRI乱流におけるAlfvén的揺動と圧縮的揺動の分配 川面洋平(東北大学)</p>
		14:48	<p>W52a シンクロトロンメーザー放射に伴う相対論的ピックアップ過程 岩本昌倫(九州大学)</p>
		15:00	<p>質疑応答(10分)</p>

9月15日(水) 午前・B会場		9月15日(水) 午後・B会場	
09:30	W53a マグネター SGR 1900+14 の硬 X 線パルス位相変調: エネルギー依存性の発見 牧島一夫(東京大学)	13:00	W62a Relativistic radiation mediated shocks in photon starved regime 伊藤裕貴(理化学研究所)
09:42	W54a 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(4) 中川友進(海洋研究開発機構)	13:12	W63a GW170817 の年スケール X 線光度曲線の Fallback 降着モデル 石崎渉(京都大学)
09:54	W55a FRB 121102 と連星コムモデル 和田知己(京都大学)	13:24	W64a 相対論的無衝突衝撃波での乱流ダイナモによる磁場増幅 富田沙羅(東北大学)
10:06	W56a 磁気中性子星におけるクラストの弾性力は有効か 小島康史(広島大学)	13:36	W65a The Cocoon Breakout and Emission in Binary Neutron Star Mergers HAMID HAMIDANI (Kyoto University)
10:18	W57a 磁化中性子星への超臨界降着によるアウトフロー; 駆動機構とその温度について 井上壮大(筑波大学)	13:48	W66a ガンマ線バースト残光で探る trans-relativistic 衝撃波における粒子加速 高橋和也(京都大学)
10:30	W58a かなた望遠鏡と光子計数法による Crab パルサー巨大電波パルスの可視電波同時観測 中森健之(山形大学)	14:00	W67a Highlights of Galactic observations with the MAGIC telescopes Hadasch, Daniela (The University of Tokyo)
10:42	W59a パルサー星雲広帯域スペクトルの系統解析 馬場彩(東京大学)	14:12	W68a MAGIC 望遠鏡による GRB 201015A と GRB 201216C の観測 寺内健太(京都大学)
10:54	W60a クォーク物質を含む中性子星の冷却と超流動・超伝導状態 野田常雄(久留米工業大学)	14:24	W69a MAXI/GSC が検出した 2021 年度前半の突発現象 - X線新星 MAXI J0903-531 と MAXI J1803-298 の発見 根来均(日本大学)
11:06	W61a 強い多重極磁場を伴った中性子星表面の磁気山の構造 藤澤幸太郎(東京大学)	14:36	W70a MAXI が観測した GRB の系統的解析 平松裕貴(青山学院大学)
11:18	質疑応答(10分)	14:48	W71a OHMAN (MAXI-NICER ISS 上連携) の準備状況 三原建弘(理化学研究所)
		15:00	質疑応答(10分)

## X. 銀河形成・進化

9月13日(月) 午後・H会場			
13:00	X01a	$z=7$ クエーサーにおける大規模アウトフローと始原的共進化関係 泉拓磨(国立天文台/総合研究大学院大学)	14:36 X11b 原始銀河団領域 SSA22 におけるJVL A 5cm電波連続光観測 : I. ソースカタログの作成 松田慧一(名古屋大学)
13:12	X02a	ALMA を用いた赤方偏移 6 にあるクエーサーの [OI] $63\ \mu\text{m}$ 輝線観測と星間媒質の性質の解明 石井希実(筑波大学)	14:48 X12b 銀河ハローでのダスト進化と小さなダストの起源 平下博之(ASIAA)
13:24	X03a	宇宙再電離期 ( $z\sim 7$ ) におけるダストに隠された optically-dark 銀河の初検出 札本佳伸(早稲田大学)	14:48 X13b 近傍銀河における銀河衝突が星形成率に与える影響の定量的検証 藤谷愛美(名古屋大学)
13:36	X04a	ALMA Lensing Cluster Survey: A Sub-kpc View of [CII] Emission from a Sub-L* Galaxy in the Epoch of Reionization 藤本征史(Cosmic Dawn Center, Niels Bohr Institute)	X14c 分子雲の乱流状態に基づく星形成モデルと銀河シミュレーション 堀江秀(北海道大学)
13:48	X05a	Low star-formation activity and low gas content in quiescent galaxies at $z > 3.5$ constrained with ALMA Tomoko Suzuki (University of Groningen)	15:00 質疑応答(10分)
14:00	X06a	Finding gravitational lenses among half a million Herschel sources Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Nagoya University)	
14:12	X07a	「あかり」北黄極ワイドサーベイ領域における Dust Obscured Galaxies の特徴 榎木谷海(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)	
14:24	X08a	An ACA Survey of [C I] $^3P_1-^3P_0$ , CO $J=4-3$ , and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs 道山知成(大阪大学)	
14:36	X09b	ALMA lensing cluster survey (ALCS): Overview and initial results KOHNO Kotaro (The University of Tokyo)	
14:36	X10b	JWST 撮像観測シミュレーションによる LIRGs 観測における点源の抽出限界 星岡駿志(広島大学)	

9月14日(火) 午前・H会場		9月14日(火) 午後・H会場	
09:30	X15a すばるによる極金属欠乏銀河観測：He量から探る初期宇宙の熱史と新素粒子 松本明訓(東京大学)	13:00	X25a コア崩壊型超新星爆発を用いた遠方銀河の初期質量関数への制限 青山尚平(東京大学)
09:42	X16a 電離スペクトルから迫る形成初期銀河の強いHeII輝線の起源 梅田滉也(東京大学)	13:12	X26a Super-Resolution with Subaru/HSC Data I: Major Merger Fractions of $L_{UV} \sim 3-15 L_{UV}^*$ Dropout Galaxies at $z \sim 4-7$ 澁谷隆俊(北見工業大学)
09:54	X17a 形成初期銀河における高い鉄酸素比が示唆する対不安定型超新星の兆候 磯部優樹(東京大学)	13:24	X27a 赤方偏移 $3 < z < 3.7$ における極めて強い[OIII]輝線を示す銀河の近赤外線分光観測による物理的性質 小野寺仁人(国立天文台)
10:06	X18a 機械学習と分光観測データで探る極金属欠乏銀河とその形成メカニズム 西垣萌香(総合研究大学院大学)	13:36	X28a The diversity of IGM-galaxy connection at redshift $z = 2-3$ 百瀬莉恵子(東京大学)
10:18	X19a すばる望遠鏡 HSC で探る宇宙再電離非一様性の物理的起源 石本梨花子(東京大学)	13:48	X29a $2 < z < 4.5$ における $Ly\alpha$ 輝線銀河と大質量銀河がなす環境の相互関係 伊藤慧(総合研究大学院大学/国立天文台)
10:30	X20a CHORUS中性水素マッピング:ライマン $\alpha$ 輝線銀河とライマンブレイク銀河の個数比による宇宙の中性水素割合の推定法 井上昭雄(早稲田大学)	14:00	X30a A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC(WERGS): $z \sim 4$ の暗い電波銀河周辺環境の統計的理解 内山久和(愛媛大学)
10:42	X21a CHORUS中性水素マッピング:HSCで挑む宇宙再電離の空間的非一様性の解明 吉岡岳洋(東京大学)	14:12	X31a $z = 2.4$ 53W002 原始銀河団における大質量銀河の SED 解析 米倉直紀(愛媛大学)
10:54	X22a Revealing the cosmic reionization history with fast radio bursts in the era of Square Kilometre Array 橋本哲也(国立清華大学)	14:24	X32a Exploring chemical evolution of star-forming galaxies at cosmic noon 柏野大地(名古屋大学)
11:06	X23a $z \sim 7.8$ における $H\alpha$ 輝線天体の探査と星形成率密度への制限 浅田喜久(京都大学)	14:36	X33a A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity 安藤誠(東京大学)
11:18	X24a Luminosity Function and Clustering from $\sim 4$ Million Star Forming Galaxies at $z \sim 2-7$ 播金優一(東京大学)	14:48	X34a Swimmy Survey: 深層異常検知で拓くすばる HSC 希少銀河探査 田中匠(東京大学)
11:30	質疑応答(10分)	15:00	質疑応答(10分)

9月15日(水) 午前・H会場		9月15日(水) 午後・H会場	
09:30	X35a Uchuu simulation と準解析的モデルで探る高赤方偏移クエーサー形成 大木平(千葉大学)	13:00	X45a 低質量ダークマターハローの成長過程について 数野優大(筑波大学)
09:42	X36a Evolution of high-redshift quasar hosts and promotion of massive black hole seed formation 稲吉恒平(北京大学)	13:12	X46a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成: 金属量依存性について 大滝恒輝(筑波大学)
09:54	X37a 原始銀河内における超大質量星および中間質量ブラックホールの形成 豊内大輔(東京大学)	13:24	X47a 局所銀河群外におけるミッシングサテライト問題への統計的検証 梨本真志(国立天文台)
10:06	X38a 機械学習を用いた宇宙論的 $N$ 体シミュレーションの補間 本間慎一郎(千葉大学)	13:36	X48a HSC と Gaia データを用いた銀河系ハローサブ構造の恒星種族と運動 鈴木善久(東北大学)
10:18	X39a 高分解能宇宙論的シミュレーションを用いた、ダークマター自己相互作用モデルの制限 石山智明(千葉大学)	13:48	X49a Gaia データを用いた銀河系恒星ハローの広領域の化学動力学構造 佐藤元太(東北大学)
10:30	X40a 銀河合体による超低光度矮小銀河ハローの形成 垂水勇太(東京大学)	14:00	X50a Detailed Analysis of the Resolved Kennicutt-Schmidt Law with COMING 竹内努(名古屋大学/統計数理研究所)
10:42	X41a 原始銀河団中銀河の $\text{Ly}\alpha \cdot \text{H}\alpha$ 放射とその星形成史 福島啓太(大阪大学)	14:12	X51a Analysis of the spatially resolved SFR-M relation for DustPedia galaxies 施文(名古屋大学)
10:54	X42a AGN Jet Feedback Model for Galaxy Simulation Abednego Williardy (Osaka University)	14:24	X52a Spatially resolved mass-metallicity relation of SDSS-MaNGA galaxy pairs Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University)
11:06	X43a 多相アウトフローを考慮した超新星フィードバックモデルの構築 奥裕理(大阪大学)	14:36	X53a 空間分解した近傍渦巻銀河におけるダスト減光量と星形成率, 星質量関係 北條妙(名古屋大学)
11:18	X44a 深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測 平島敬也(東京大学)	14:48	X54a 機械学習を用いた銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響の評価 小林宇海(総合研究大学院大学)
11:30	質疑応答(10分)	15:00	X55a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning Suchetha Cooray (Nagoya University)
		15:12	質疑応答(10分)

## Y. 天文教育・広報普及・その他

9月13日(月) 午前・G会場		9月13日(月) 午後・G会場	
09:30	Y01a ふれあい天文学:11年目の挑戦 - 参加者アンケートから分かること - 縣秀彦(国立天文台)	13:00	Y13a Tomo-e Gozen Sky Atlas の公開 瀧田怜(東京大学)
09:42	Y02a はやぶさ2プロジェクトにおける教育・広報・アウトリーチ活動 吉川真(宇宙航空研究開発機構)	13:12	Y14a 光害の自動測定手法の開発と美星天文台における夜空の明るさの推移 伊藤亮介(井原市美星天文台)
09:54	Y03a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE 参加者の属性 臼田 - 佐藤功美子(国立天文台)	13:24	Y15a 天文シミュレーションソフト Mitaka のコマンド実行機能 加藤恒彦(国立天文台)
10:06	Y04a 「はやぶさ2」のメディアリレーション 生田ちさと(宇宙航空研究開発機構)	13:36	Y16a キトラ古墳・天文図/ダジック・アースの活用 土井正治(アクトパル宇治(天文ボランティア))
10:18	Y05a 物理・探究授業のための超小型衛星デモ機教材の構築 内山秀樹(静岡大学)	13:48	Y17a 戦前の緯度観測所に勤務した或る女性所員の生涯 馬場幸栄(一橋大学)
10:30	Y06a 東京学芸大学の新しい40cm鏡と制御システムの開発2 土橋一仁(東京学芸大学)	14:00	Y18a 市民科学による「長野県は宇宙県」の近代天文学史100年の構築に向けてII 大西浩次(長野工業高等専門学校)
10:42	Y07a デジタル Diamond Mandala Matrix による宇宙に関する反転学習型オンライン授業の実践例と分析 青木成一郎(京都情報大学院大学)	14:12	Y19a 長野県における星空環境保護活動～光害防止に係る県条例改正に向けて～ 衣笠健三(国立天文台)
10:54	Y08a 動画配信プラットフォーム YouTube を用いた天文普及活動報告 萩野正興(日本スペースガード協会)	14:24	Y20a 長野県天文文化研究会の現状～諏訪天文同好会の多様な活動～ 陶山徹(長野市立博物館)
11:06	Y09a 国立天文台三鷹「オンライン定例観望会」の試みと今後の展望 桑田敦基(東京大学)	14:36	Y21a 「ジャパンサーチ」の天文教育普及研究利用 玉澤春史(京都大学)
11:18	Y10a 自然科学研究機構野辺山展示室オンライン4D2Uシアター実施報告 林満(国立天文台)	14:48	質疑応答(10分)
	Y11c 東京学芸大学の新しい40cm鏡と制御システムの開発3 富田飛翔(東京学芸大学)		
	Y12c 外国語学部における天文学実習の取り組み 福江慧(京都産業大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

予稿ページ

## Z101a Large Submillimeter Telescope (LST): 6. プロジェクトの概要と今後の展望

河野孝太郎 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 遠藤光 (デルフト工科大), 川邊良平, 大島泰 (国立天文台) ほか LST/AtLAST ワーキング・グループ

LST は、ミリ波サブミリ波帯で広視野・広波長域を一挙に観測可能な大口径 (50m) 単一鏡を南米チリに建設し、アルマや ngVLA と相補的で新しいディスカバリー・スペースを開拓する計画である。最近の観測結果は、宇宙開闢後わずか 3 億年弱 ( $z \sim 15$ ) の時代に、「最初期の星生成銀河」がすでに誕生していたことを示唆している。ミリ波サブミリ波帯での広域かつ高感度な分光撮像探査は、希少な最初期の星生成銀河を見出す有力な手段であることが理論的に予測されつつあり、LST 計画は、[OIII]88 $\mu$ m 輝線や  $\gamma$  線バースト逆行衝撃波をプローブとしたユニークな手段により、このフロンティアに切り込む。また、この波長帯で観測されるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果は、宇宙の構造形成に伴うガス加熱・冷却過程のユニークな研究手段、特に高赤方偏移宇宙に強い手段である。この他、アルマと Planck・LiteBIRD 等スペースからの偏波観測をつなぐ空間スケールでの星間磁場構造とその星形成での役割の全貌解明、星生成初期段階の物理的および化学的多様性と普遍性の研究、宇宙再電離期のキューサー前駆体や放浪する中質量ブラックホールの探査、および高頻度サブミリ波 VLBI 観測の実現によるブラックホール科学への貢献、超新星残骸に付随する分子雲の広域観測に基づく宇宙線研究、長期間分光観測モニターによる太陽系惑星の突発的あるいは長期的気候環境変動の研究など、新たな切り口の開拓により、天文学・天体物理学・惑星科学の幅広い発展に寄与する。LST 計画は日本発の構想であるが、その後、欧州主導の AtLAST 計画との仕様の共通化・統合が合意される (川邊他 2019 年秋季年会 V101a, 河野他 2020 年秋季年会 V125a) など世界的な潮流へと発展してきた。本講演では、LST/AtLAST ほか関連計画の状況を報告する。

[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](#)

## Z102a Large Submillimeter Telescope (LST): 7. 望遠鏡仕様

田村陽一 (名古屋大学), 河野孝太郎 (東京大学), 川邊良平, 石井峻, 大島泰, 朝木義晴 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), ほか LST/AtLAST ワーキング・グループ

大型サブミリ波望遠鏡 LST は、ミリ波サブミリ波帯で広視野・広波長域を一挙に観測可能な大口径 (50 m) 単一鏡を南米チリに建設し、ALMA や ngVLA と相補的で新しいディスカバリー・スペースを開拓する計画である。LST によって実現する科学観測は、宇宙論的銀河探査と銀河団観測、分子雲の広域偏光/分光撮像観測、突発天体の探査及び追求観測、サブミリ波 VLBI 等、多岐にわたる。これらの科学観測から要請される性能、及び望遠鏡サイトの環境条件の統計 (風速や気温) に基づき、望遠鏡の暫定的仕様を策定した。

望遠鏡は、広視野 ( $\gtrsim 0.5^\circ$ ) を実現する Ritchey-Cretien 光学系とし、主鏡パネル調整機構または可変形副鏡とミリ波参照光源による能動補償光学を備える。また、広視野を活かすための大型の焦点面装置を受け入れるカセグレン及びナスミス受信機室を備える。想定される Chajnantor サイトでは、年間 50% 以上の時間でサブミリ波 ( $> 300$  GHz) の観測が可能な可降水量、及び低風速条件 ( $\leq 10$  km s $^{-1}$ ) が成立することから、この環境条件で 45  $\mu$ m (r.m.s.) の鏡面精度を達成し、年間通して 70–420 GHz の観測が可能なものとするとともに、最好条件下では補償光学の駆動と鏡面精度の良い主鏡中央部のみを用いた集光により 950 GHz までの観測を想定する。また、大口径鏡では方位角の慣性モーメント及び副鏡質量が大きくなる点に配慮し、大気放射の除去や突発天体の即時観測、VLBI 位相較正のための方位角・仰角駆動性能を検討した。

本講演では、こうした仕様に関する現在までの検討結果を報告する。また、本年会企画セッションを通して様々な科学的要求を集約し、仕様をアップデートする端緒とする。

[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](#)

## Z103a 南極テラヘルツ望遠鏡計画

久野成夫, 新田冬夢, 橋本拓也, 齋藤弘雄, Dragan SALAK (筑波大学), 中井直正, 瀬田益道 (関西学院大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学), 永井 誠, 梅本智文, 松尾 宏 (国立天文台), ほか南極天文コンソーシアム

南極内陸部は標高が4000m近くあり、気温が $-20 \sim -80^{\circ}\text{C}$ の極寒の地であるため、大気中の水蒸気が極めて少なく且つ大気が安定している。そのためサブミリ波での大気透過率が非常に高く、また、テラヘルツから赤外にかけて地上から宇宙への最後の窓が開いている。晴天率は9割で可視光のシーイングは $0''.2$ に達し、風も弱い地上で圧倒的に優れた天文観測環境にある。南極天文コンソーシアムでは、この南極内陸部に建設される予定の国立極地研究所の新ドームふじ基地に超広視野 ( $> 1^{\circ}$ ) の10m テラヘルツ望遠鏡を建設してサブミリ波~テラヘルツ波による天文観測を行う計画を推進している。観測装置としては、多周波同時連続波観測 (400 GHz, 850 GHz, 1.3 THz) 用の超広視野カメラ (MKID) を搭載し、南天の広域掃天観測を行う予定である。これによって、銀河と AGN (巨大ブラックホール) の形成・進化史などの研究を大きく推進できると期待される。また、200 GHz ~ 2 THz の大気の窓に合わせて分光観測用ヘテロダイン受信機も搭載し、未開拓であるテラヘルツ帯での輝線観測も行う。さらに、将来的には30m級テラヘルツ望遠鏡への発展を目指す。

[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](#)

## Z104r 広視野サブミリ波探査で解き明かす巨大銀河の形成

但木謙一 (国立天文台)

最近の近赤外分光観測によって、 $z = 3 - 4$  の宇宙ですでに星形成を終えた巨大銀河がいくつも発見されてきている (例えば Tanaka et al. 2019)。興味深いことにどの銀河もかつては星形成率が  $1000 M_{\odot}\text{yr}^{-1}$  程度、星形成のタイムスケールが数億年程度の爆発的な星形成史を経てきたことを示唆している。このことは  $z > 5$  にある爆発的な星形成銀河、つまりサブミリ波銀河がその祖先であることを強く支持している。近い将来、JWST によって地上からは観測の難しい  $2 - 4 \mu\text{m}$  の分光観測が可能になるため、 $z = 5 - 6$  にある巨大銀河が発見されるのも時間の問題である。その祖先がやはり  $z > 7$  にあるサブミリ波銀河であるならば、このような銀河種族の系統的探査が、2030 年代の銀河形成研究において重要になると予想される。その時に大口径サブミリ波単一鏡による広視野観測が重要な役割を果たすことに疑いの余地はないが、具体的にどのような機能を持った装置で、どのような観測をしていくのが良いか、また次世代の多波長観測のシナジーについて、ALMA によって得られた知見を元に考えたい。

[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](#)

## Z105a 高赤方偏移銀河のダスト温度と高周波観測の重要性

平下博之, 王為豪, 陳雍穎 (ASIAA), 林芝羽 (NTU), 中井直正 (関西学院大)

星間ダストの起源を明らかにすることは、銀河進化解明の中心課題の一つである。最近 ALMA により、ダスト進化の黎明期にあたる赤方偏移 5 以上のダストを直接観測できる様になってきた。ダスト進化解明の第一歩は、各銀河のダスト質量を正確に評価することであるが、それには正確なダスト温度を得る必要がある。また、ダスト温度自体も、星や AGN の輻射場を反映しており、銀河の活動性の指標としての重要性を持つ。高赤方偏移ではダスト温度が高い傾向にあるという結果もあるが、高赤方偏移銀河の活動性の全貌を把握する為にも、ダスト温度の偏りがなく、かつ統計的にも有意なサンプルを得る必要がある。

本講演では、我々の簡単な計算に基づいて、赤方偏移 5 以上の銀河サンプルに関して下の点を指摘したい。(i) 感度上最適な 850  $\mu\text{m}$  や 1 mm バンドでは、何を基準にサンプルを選択するかで異なったバイアスがダスト温度に対して掛かる。則ち、遠赤外光度で選択すると低温に、星質量で選択すると高温にバイアスする可能性がある。(ii) 高周波 (短波長) バンド (450  $\mu\text{m}$  など) では、上記のバンドよりは浅いものの、ダスト温度には比較的バイアスしない。また、ダストの SED peak に近い為、ダスト温度決定にも適している。以上より、ダスト温度の偏りのないサンプルを得る為には、サンプル自体をサブミリ波で探査・選択して高温ダストへのバイアスを避けつつ、高周波「サブテラヘルツ」(350, 450  $\mu\text{m}$  など) での深い観測で低温ダストへの偏りを補正する戦略が考えられる。これは、高赤方偏移でのダスト温度上昇 (活動性上昇) の傾向を批判的に確かめることにもなる。この戦略はまさに、南極などのサブテラヘルツ観測に適したサイトに設置された大口径単一鏡の望遠鏡で実現できる。最後に AGN も含めて、高温ダストの各バンド (テラヘルツも含めて) への寄与を論じ、感度との関係如何にも言及する。

[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](#)

## Z106a 広領域遠方輝線銀河観測による宇宙再電離現象の探究

森脇可奈 (東京大学)

宇宙再電離現象の詳細を明らかにするには、遠方銀河間ガス中の中性水素からの 21cm 線シグナルを観測することが重要である。これまですでに様々な望遠鏡による観測が実行・計画されているものの、遠方 21cm 線シグナルはシンクロトロン放射などの手前の放射に埋もれてしまい検出が難しい。こういった前景放射の寄与を取り除く手法として、他の観測データとの相関をとる手法が挙げられる。宇宙再電離は主に銀河からの放射によって進むと考えられるため、同じ赤方偏移帯における 21cm 線強度マップと銀河の分布の相互パワースペクトルを評価することで宇宙再電離の詳細について探ることができる。これまでの研究では、その明るさからライマンアルファ輝線銀河 (LAE) が 21cm シグナルの相関相手として特に注目されてきた。しかし、宇宙再電離初期の銀河の周りがまだ中性の時代においては、ライマンアルファ光子は銀河間ガスに散乱されてしまうため LAE を検出することが難しくなる。そこで、サブミリ波地上単一鏡による観測が重要となる。単一鏡望遠鏡によって遠方銀河からの酸素や炭素輝線を広領域にわたって観測することができれば、これを 21cm 線観測データと組み合わせることで宇宙再電離を探ることができる。特に、これまで探ることの難しかった宇宙再電離初期や宇宙再加熱期を捉えることが可能となる。本講演では、宇宙論シミュレーションと輻射輸送計算を用いて計算した 21cm 線シグナルと酸素輝線銀河との相互パワースペクトルの特徴を紹介し、その検出可能性やそれを観測することで得られる宇宙再電離現象に関する制限について発表する。

[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](#)

## Z107r サブミリ波・テラヘルツ帯での突発天体・高エネルギー変動天体

井上進 (文教大学 / 理化学研究所)

突発天体・変動天体の天文学は、様々な波長でアラートに即時対応できる観測装置や、広い視野を高頻度で探査できる装置の進歩により、ニュートリノ・重力波などの新しい観測チャンネルの進歩と相まって、近年、飛躍的な発展を遂げている。サブミリ波・テラヘルツ帯でも、同様の機能を持つ望遠鏡が稼働すれば、時間領域天文学・マルチメッセンジャー天文学への大きな貢献が期待される。

ガンマ線バースト (GRB) は、発生後しばらく、電波からガンマ線に至る広い帯域で明るい残光放射を伴うとともに、少なくとも赤方偏移  $z \sim 8-9$  まで起きることが知られており、遠方宇宙を探る重要な手段になると考えられている。特に、高赤方偏移 GRB の残光放射のうち、逆行衝撃波による成分は、発生後数時間から数日の間、サブミリ波・テラヘルツ帯で最も明るくなると予想される。このような放射を分光観測できれば、周囲の物質によって生じる原子・分子吸収線を通じて、宇宙初代の星形成を探る貴重な方法となる可能性も秘めている (Inoue et al. 2007, MNRAS, 380, 1715)。高赤方偏移 GRB は、現在までは限られた数しか発見できていないが、HiZ-GUNDAM や THESEUS など、高赤方偏移 GRB 探査に最適化された衛星が上がれば、効率よく検出され、適度な頻度のアラートが期待できる。

本講演ではこの他、ブレーザー、中性子星連星合体、潮汐破壊現象などの突発天体・変動天体についても、サブミリ波・テラヘルツ帯観測の展望と意義について、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](#)

## Z108r Exploring the Unseen Distant Universe with Large Aperture Submillimeter-Terahertz Observations

Hanae Inami, Hiroshima University

Submillimeter-Terahertz (submm-THz) observations probe key processes that elucidate galaxy formation and evolution from right after the Big Bang to the current epoch. For example, in the submm-THz, we can observe dust emission, which constitutes half of the electromagnetic emission in the universe, and important spectral lines to unveil the physical conditions in the interstellar medium. However, we have not yet obtained the capabilities needed to fully explore the submm-THz sky due to a combination of limited resolution, limited sensitivity, and limited field of view. The planned telescopes, such as LST/AtLAST and ATT, will conquer all of these limitations and enable access to the unseen universe in the submm-THz. In this talk, I will discuss what LST/AtLAST and ATT will enable us to explore distant galaxies based on insights from recent studies of ALMA large surveys, the cosmological survey with the integral field spectrograph VLT/MUSE, and science planned for SPICA. Some of these works have exposed key missing pieces in revealing how the first galaxies were formed and how they evolved, which a large aperture submm-THz single dish telescope will finally let us fill.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z109a 近傍渦巻銀河 M83 の [CI] mapping 観測

宮本祐介(国立天文台)、保田敦司(筑波大学)、渡邊祥正(芝浦工業大)、瀬田益道(関西学院大)、久野成夫、Salak Dragan(筑波大)、石井峻、永井誠(国立天文台)、中井直正(関西学院大)

銀河における星形成を理解する上で、その母胎である低温分子ガスの分布、量を理解することは本質的に重要である。近年、一酸化炭素分子(CO)に代わる分子ガスのトレーサーとして中性炭素原子(CI)が注目されているが、その観測的検証は銀河の中心領域などに限られている。[CI] ( $^3P_1-^3P_0$ ) 輝線(以下[CI])がCOに対して優れた分子ガストレーサーになりうるか評価するには、銀河円盤における[CI]とCO、および独立した手法で推定した分子ガスの分布を比較する必要がある。我々はASTE望遠鏡を用いて近傍渦巻銀河M83北側領域の[CI]マッピング観測を実施し、[CI]とCOおよびHI等多波長データの分布を比較した。結果、銀河中心領域では[CI]はCOと同様の分布を示すものの、渦状腕では[CI]はCOの周囲に分布することがわかった。さらに、赤外線連続波を用いたSEDフィッティングからダスト温度 $T_{\text{dust}}$ とダスト質量面密度 $\Sigma_{\text{dust}}$ を求めた結果、 $\Sigma_{\text{dust}}$ の分布は[CI]よりもCO(1-0)と一致した。ダストとガスがよく混合し、原子相と分子相でガス対ダスト比(GDR)が一定であるとすると、分子ガス面密度 $\Sigma_{\text{mol}}$ は $\Sigma_{\text{dust}}$ から求まる全ガス成分から原子ガスの寄与を差し引くことで推定できる。我々はGDRとCO-H<sub>2</sub>(および[CI]-H<sub>2</sub>)変換係数を自己矛盾なく解くことで、ダスト、CO(1-0)、[CI]からそれぞれ分子ガス質量を求めた。中心領域ではダスト、CO(1-0)、[CI]から推定した分子ガス質量は互いに一致するものの、円盤領域、特に $T_{\text{dust}}$ が低い領域で[CI]は質量を過小評価する傾向にあることが分かった。これらの結果は、銀河全体の低温分子ガスのトレーサーとして、[CI]はCO(1-0)に比べて信頼性が低いことを示している。本講演では次世代望遠鏡による近傍銀河の低温ガスとダストサーベイ観測の展望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](#)

## Z110a 南極からの[N II] 1.46THz 輝線による銀河面サーベイ

梅本智文(国立天文台)、久野成夫、齋藤弘雄(筑波大)、徂徠和夫(北大)、瀬田益道、中井直正(関西学院大)

星間物質のガスの循環の過程を把握するためには、CO輝線でトレースされる中性ガスだけでなく、[N II] [C II] 輝線などでトレースされる薄く広がった電離ガスの分布や物理状態を知る必要がある。テラヘルツ帯には様々な原子や分子の輝線が存在しているが、これまでCOBE衛星/FIRASの全天観測から、角分解能7度、速度分解能1000km/sで[C II]と[N II]輝線の全天マップが得られ、[N II]の強度は[C II]の10分の1程度であることが知られている。[N II]輝線は強く電離している領域で生じるため、[C II]と[N II]輝線を比較すれば、[C II]輝線が電離した領域からなのか中性ガス領域から来ているのかを決定できる。しかしハーシェル宇宙望遠鏡の観測から、[C II]輝線はしばしば吸収線がみられ、[C II]輝線の観測からだけでは電離度の高いガスを著しく過小評価することがわかった。ここで[N II]輝線は温かく低密度のWIMをトレースするとするとともに、星形成領域からの貢献もあるが、高い分解能で観測すれば星形成領域の貢献とWIMの貢献を空間的に分離することが出来る。

1THz以下の高励起のCOや中性炭素の[C I]輝線の観測はチリ・アタカマでも観測可能であるが、南極テラヘルツ望遠鏡が計画されている標高3800mの南極ドームふじでは、気温が極めて低いために水蒸気が少なく1THz以上にも大気窓があり、地上で唯一1.46THzの[N II]輝線の観測が可能となる。そこで、南極からの[N II] 1.46THz輝線による銀河面サーベイを提案する。10m鏡ではビームサイズは約5"となるが、銀河面サーベイによって、例えば渦状腕の接線方向の観測を行い、その終端速度の視線速度の違いから、[N II]の輝線が示す温かく低密度のWIMとCO輝線が示す高密度の分子ガスの渦状腕に対する分布より、WIMがアームの重力ポテンシャルに落ち込んで圧縮され、高密度ガスにうまく変換されている様子を知ることが出来ることを期待される。

[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](#)

## Z111a 次世代単一鏡による高速度コンパクト雲の研究

竹川俊也 (神奈川大学), 岡 朋治, 辻本志保, 横塚弘樹, 金子美由起 (慶應義塾大学), 岩田悠平 (茨城大学)

銀河系中心数百 pc 以内の領域には、高速度コンパクト雲 (HVCC) と呼ばれる、空間的広がりが小さい ( $d \lesssim 5$  pc) にもかかわらず、極端に広い速度幅 ( $\Delta V \gtrsim 50$  km s<sup>-1</sup>) を持つ分子雲が広範に点在している。HVCC はその特徴から、局所的に外部より莫大なエネルギーが注入されていることが示唆されるが、駆動源と思しき対応天体は検出されていない。近年いくつかの HVCC については、ALMA による詳細な観測が行われ、sub-pc スケールのリング状構造を持つことが明らかとなった。運動解析の結果、これら HVCC の空間・速度構造は、 $\sim 10^4 M_{\odot}$  の点状重力源周りのケプラー運動として非常にうまく説明できることがわかった。同方向には重力源に対応する放射源が検出されないことから、質量降着率が著しく低い孤立した中間質量ブラックホール (IMBH) が潜んでいる可能性が有望視されている。同様の手法で、銀河系中心領域には現在 5 つの IMBH 候補が報告されている (Takekawa et al. 2020)。宇宙初期において IMBH は超大質量ブラックホール (SMBH) の“種”であった可能性があり、IMBH の検出は SMBH の起源や銀河進化を理解する鍵となる。そして、HVCC は銀河系中心領域の星間現象の理解という観点だけでなく、孤立ブラックホールの探査という観点でも有用な研究対象であり、個々の HVCC を分解し、詳細に調べることは重要である。一方で、現存する単一鏡では小型な HVCC の空間分解は難しく、多数の HVCC の内部運動や物理状態・化学組成を効率よく調べることは困難である。次世代単一鏡で実現されるであろう高感度化・高分解能化・広視野化・広帯域化は、HVCC 研究を飛躍的に加速させることが期待できる。本講演では、HVCC 研究における近年の進展を紹介し、次世代単一鏡の可能性と今後の展望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](#)

## Z112a 大口径望遠鏡による広域マッピング観測：LMT 50m 望遠鏡搭載 2mm 帯受信機による Orion A 領域の電波再結合線観測結果及び LST 将来サイエンス

吉村勇紀 (東京大), 川邊良平 (NAOJ), 米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府大), 酒井剛 (電通大), 田中邦彦 (慶応大), 竹腰達哉 (北見工業大), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大), 大島泰, 島尻芳人 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez, Arturo Gómez, Victor Rodriguez, Edgar Colin, Javier Zaragoza, Miguel Chavez (INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass)

我々は 2018 年にメキシコ LMT 50m 望遠鏡に 2mm 帯受信機システム (B4R) を搭載し、2019 年 11 月までに計 4 回の試験観測を行った。その中で今回 2019 年 11 月の観測で得られた Orion A 領域の  $5' \times 5'$  の OTF 観測データを解析した結果、H35 $\alpha$  及び He35 $\alpha$  を検出し、電離ヘリウム原子の存在量の領域全体の平均値として、 $y^+ = n(\text{He}^+)/n(\text{H}^+) = 0.09 \pm 0.02$  という値を得た。さらに領域を細かく分け、HII 領域の主な電離源である  $\theta^1$  Ori C からの離角依存性を調べたところ、 $y^+$  については依存性は見られなかった。一方 H35 $\alpha$  を用いて推定した輝線幅は、離角が大きくなるほど広がる傾向を示し、先行研究同様に非対称な「水膨れ」モデルを示唆する結果となった。現在 VLA と GBT で得られた 8.4GHz の連続波強度と H35 $\alpha$  の積分強度との比を取ることで、Orion A 領域の電子温度の分布の解析を進めている。本研究結果は、再結合線のように空間的に広がった天体信号を捉える上で、大口径望遠鏡による高い角度分解能と掃天能力が組み合わさった事によって得られたものである。LST を始めとする将来の大口径望遠鏡においては、さらに DESHIMA などに代表される広帯域に同時分光可能な受信機を搭載することにより、系内天体のみならず、再電離期の [CII]/[OIII] 輝線銀河のパワースペクトルの検出などが期待される。本講演では遠方 [CII] 輝線銀河の Intensity Mapping に関する科学検討状況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](#)

## Z113b LMT50 m 鏡搭載 2 mm 帯受信機 B4R を用いた Orion-KL 領域マッピング観測による分子の存在量比の観測結果報告

米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府立大学), 川邊良平 (NAOJ), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大学), 大島泰, 島尻芳人 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez-Arguelles, Arturo Gómez-Ruiz, Iván Rodríguez-Montoya, Javier Zaragoza-Cardiel, Edgar Colin, Miguel Chavez-Dagostino, Sergio Rojas (INAOE), Peter Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass)

我々は、2mm 帯 SIS 受信機 B4R をメキシコの LMT50 m 鏡に搭載し、大質量星形成領域である Orion-KL 領域 (~414 pc) において、127.9-152.4 GHz のうち、約 20 GHz の周波数帯域で OTF 観測による試験観測 (空間分解能: 10 秒角、観測領域: 10' × 10' (2018 年)、5' × 5' (2019 年)) を行ってきた。これにより複数の遷移を用いた Rotation Diagram による解析が 2 次的に可能となり、Hot Core や Compact Ridge 周辺の炭素鎖分子および複雑な有機分子などの分布や回転温度、柱密度の導出を進めている (米津他 21 年春季年会、他)。本観測結果 (空間スケール: 0.02 pc) より、CH<sub>3</sub>OCHO と C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>CN の存在量比を導出した。Coletta ら (A&A, 641, A54, 2020) は、より遠方の異なる進化段階にある大質量星形成領域の O-bearing 分子と N-bearing 分子の存在量比が対数で概ね一定 (0.8~2.0) であるとしており、本観測での Compact Ridge の存在量比と近いことが分かった。このことは、Coletta らが抽出した領域 (空間スケール: 0.2-0.7 pc) では、Orion-KL の比較的高温の N-bearing 分子が多い環境よりも、Compact Ridge のような O-bearing 分子が多い環境が比較的広く分布していることを示唆する。本講演では、LMT/B4R の大集光力、広域観測、広帯域分光による観測の効果と上記一連の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](#)

## Z114b 初期宇宙でのクエーサー前駆体探査における電波単一鏡の有用性

泉拓磨 (国立天文台/総研大)

近年の大規模・高感度可視光サーベイ観測から、続々と高赤方偏移 ( $z > 6-7$ ) のクエーサーが発見されている。それらの近赤外線フォローアップ観測からは中心の超巨大ブラックホールの質量が、ALMA を用いた静止系遠赤外線観測からは母銀河の星形成活動や力学質量が求められる。特にすばる望遠鏡で見つかりつつある低光度クエーサー (光度や質量に関する選択バイアスを低減したサンプル) の観測からは、 $z \sim 6-7$  の初期宇宙でも、いわゆる銀河とブラックホールの共進化関係が成立しつつあることが示唆されている (e.g., Izumi et al. 2019, PASJ, 71, 111)。こうしたクエーサー母銀河の一部では、銀河合体の兆候や、星形成を阻害するに足る大規模な低温ガスのアウトフローも観測されている (e.g., Izumi et al. 2021, ApJ, in press.)。これらの結果は銀河合体が駆動する天体進化モデル (e.g., Hopkins et al. 2008, ApJS, 175, 356) と非常によく整合する。さて、このモデルに立脚すると、さらに遠方の宇宙 (たとえば  $z > 7$ ) のクエーサー前駆体として「爆発的星形成銀河とその中心で塵に深く埋もれた活動銀河核 (AGN)」が存在すると期待される。本講演では、そうした塵に埋もれた銀河核を発見して性質を理解する上で、次世代の電波単一鏡に期待される機能について議論する。鍵となるのは (1) 数密度の低い天体を効率良く発見する高サーベイ能力 (広視野)、(2) 赤方偏移を高効率で確定させる広帯域分光能力、(3) AGN の有無を判定する手法 (AGN 周りに形成される X-ray dominated region = XDR の物理的・化学的特性を利用した診断、すなわち CO 分子高励起線や C 原子輝線の観測や、AGN に温められた高温ダスト連続波の直接検出等) である。同時代に活躍する電波干渉計 (ALMA-2, ngVLA 等) を用いた高解像度観測とのシナジー (合体现象の兆候の調査や銀河中心部のガスの重力的な安定性の評価等) 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](#)

## Z115r 星形成の未説明問題の解明に向けて

中村文隆 (国立天文台)

星形成研究の最大の未説明問題は磁場の役割の理解である。磁場は分子雲や分子雲コアの力学安定性を決めるので、星形成のタイムスケールや効率を決める。弱い磁場の場合、星形成は速く進むことになり、強い磁場は遅く進むことを意味する。速い星形成シナリオでは、星形成は分子雲の自由落下時間で進み、星形成効率は高くなる。さらに、星形成は一世代程度で終わることになる。一方、強い磁場の場合、星形成は自由落下時間の数倍から10倍程度継続することになる。星形成効率も低くなるので、同じ領域で数世代に渡って星形成が継続できる。どちらのシナリオが正しいかは、1970年代から議論されているが、両モデルには一長一短あり、いまだにどちらが正しいかわかっていない。

最近の研究から、星なしコアは周囲からガスを獲得することが観測的に示唆され、競争的降着モデルに代表される速い星形成シナリオが支持されると議論されているが、磁場で平衡に近い状態にあるコアは、質量獲得できるので、むしろ遅い星形成を支持するかもしれない。また、大質量星形成において分子雲衝突が重要になるには強い磁場が必要である。なぜなら、弱い磁場の場合、衝突前に効率的に星形成が進むので、衝突の影響は2次的になるからである。このように銀河系の星形成過程を解明するには、磁場の役割の正しい理解が必須である。

星形成における磁場の役割を理解し、星形成の未説明問題を解決するには、磁場強度を観測で測定すること以外に解決策はないだろう。そのためには、直線偏波観測と円偏波観測が効率的に実行できる高視野・大口径ミリ波サブミリ波望遠鏡が必要である。講演では、単一鏡によるゼーマン観測の開発のために現在推進しているeQ受信機の計画についても簡単に触れたい。

[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](#)

## Z116a ALMA およびミリ波サブミリ波大型地上単一鏡で探るフィラメント形成

島尻芳人 (NAOJ)

ハーシェル宇宙赤外線望遠鏡(2009-2013年)による星形成領域の観測から、0.1pc幅の円柱状の細長い構造(フィラメント)が至るところで検出され、(a)乱流によりフィラメントが形成、(b)フィラメントの重力により周辺ガスがフィラメントへ流れ込み、フィラメント質量が増加し重力不安定が起り、(c)フィラメントから星を生むもとなる密度が高いガスの塊(コア)へ分裂する、といったフィラメント形成シナリオが低質量形成領域に対する観測の結果から提唱されている。さらに、90%のコアはフィラメント上で形成される。そのため、フィラメント形成の理解は、星形成の理解に直結する。しかし、このフィラメント形成シナリオの普遍性を明らかにするためには、大質量星形成領域や系外銀河の直接観測からフィラメント形成過程を明らかにする必要がある。各領域におけるフィラメント形成過程を明らかにするためには、0.1pc幅のフィラメントを十分空間分解できる分解能、フィラメントの広がりを抑えることができる広域観測、フィラメントの周辺の低密度ガスからフィラメントおよびコアを捉える高密度ガスを抑えるために複数の分子輝線および連続波による観測が要求される。本講演では、ALMAを含めた既存観測装置で、どこまで明らかにすることができるかを述べ、フィラメント形成シナリオの普遍性の解明のために次世代単一鏡に求められる性能について議論する。

[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](#)

## Z117a 次世代地上単一鏡の分子輝線観測で探る、原始星エンベロープの電離率と化学的多様性の起源

野津翔太, 坂井南美, 大橋聡史 (理化学研究所)

原始星の形成に伴う化学進化過程を理解することは、後に形成される惑星系の物質的環境に迫る上でも重要である。過去の地上単一鏡観測による飽和有機分子・不飽和炭素鎖分子に富む天体 (Hot Corino Chemistry/Warm Carbon Chain Chemistry 天体) の発見などを通じ、原始星エンベロープの化学進化過程の多様性が示唆されている (e.g., Sakai & Yamamoto 2013)。化学モデル計算によると、分子雲からエンベロープに至る段階の化学進化が、その後の原始惑星系円盤内の化学進化の結果にも大きく影響を与えることが示唆されている。また、ALMA等の干渉計による詳細観測により、円盤形成領域での化学的多様性も明らかになりつつある。分子雲からエンベロープ・円盤へと構造形成が進む中で化学的多様性が生じる外的環境要因については、近傍での大質量星形成や分子雲内での原始星の位置など様々なものが考えられる。これらは、UVなどの放射場への影響のほか、ガスの宇宙線電離率を介し磁場とガスの親和性などにも影響を及ぼす。次世代地上単一鏡を用いることで、(1) エンベロープスケールでの化学的多様性の全貌 (e.g., Higuchi et al. 2018) を明らかにできるのみならず、(2) HCO<sup>+</sup>, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> 輝線などの大規模観測を通じ、分子雲からエンベロープに至る過程全体での宇宙線電離率推定 (e.g., Favre et al. 2017) やその影響を調べることが可能となる。本講演ではこれらに加えて、時間の許す範囲で以下の様な分子輝線観測テーマについてその概要と重要性を紹介する。(3) H<sub>2</sub>O, HDO 輝線と <sup>16</sup>O<sup>18</sup>O 234GHz 輝線 (Taquet et al. 2018) の観測を通じた、酸素系分子の組成進化の解明。(4) HCO<sub>2</sub><sup>+</sup> 輝線の観測を通じた、CO<sub>2</sub> 組成とその分布の理解 (e.g., Sakai et al. 2008)。(5) H<sub>2</sub>D<sup>+</sup> 輝線などを用いた重水素濃縮過程の解明。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z118r ミリ波サブミリ波電波望遠鏡を支える受信機技術の動向と将来開発

小嶋 崇文 (国立天文台)

高感度ヘテロダイン受信機は、電波望遠鏡の中で最も重要なサブシステムの一つである。アルマ望遠鏡の建設期以降、日本国内のミリ波サブミリ波帯における受信機フロントエンド技術は驚ましい発展を遂げてきており、特にアルマバンド4 (125-163 GHz), バンド8 (385-500 GHz), バンド10 (787-950 GHz) 受信機は現在でも世界的に唯一無二の性能を発揮している。また近年、アルマ望遠鏡においては広帯域受信機開発が世界的な潮流となっており、付随する技術が大きく成長しつつある。一方、近年、関連分野においても技術開発が大きく進展しており、その恩恵を多大に受けていることにも留意すべきである。たとえば、アナログ信号の発振・検出・増幅技術、デバイス製造技術、機械加工技術、デジタル技術、高周波シミュレーション技術、測定器や測定手法などは、アルマ望遠鏡の建設期と比較しても著しく性能や精度が向上してきている。

本講演ではこれまでの受信機フロントエンドの開発について振り返るとともに、近年の動向やその関連技術をレビューする。そのうえで、関連分野における高度化した技術をどのようにに取り込み、受信機技術を発展させていくのかについて考えてみたい。

[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](#)

## Z119a ビームパターンの変形の解析的な予測とその応用

今田 大皓 (国立天文台)

近年、多数の受信機を搭載した電波望遠鏡の計画や開発の議論が盛んに行われている。それに伴って、光線追跡や物理光学、有限要素法によるシミュレーションも頻繁に用いられている。その一方で、受信機を多数搭載した際のビームパターンの振る舞いについて理解が進んでいるとはいえない状況である。例えば、望遠鏡の円形開口に対して、多数のビームが斜めに入射し偏心もしている場合、個々のビームパターンがどう歪むかを数値的に示すことはできる。しかし、多数のビームの歪みを即座に予想したり、どうすれば相殺できるか見当をつけたるするには、ビームパターンの振る舞いを熟知しておくことが必要となるであろう。

本講演では、特定の望遠鏡や計画を前提とせず一般に成立する話題を扱い、マルチビーム望遠鏡で現れるであろうビームパターンへの効果を解析的な計算により示す。スカラー波の回折を仮定し、基本モードのガウシアンビームが楕円(真円を含む)の開口に適切な角度、偏心で入射して回折するというモデルを用いた。計算結果と、簡単な例によるビームサイズやサイドローブレベルの見積もり、受信機開発時のビームパターン測定などへの応用についても触れたい。

[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](#)

## Z120r 次世代の地上単一鏡装置開発におけるデータ科学の応用

谷口暁星 (名古屋大学)

データ科学は、画像のような“大きな”データやサンプルが不完全な“小さな”データなどから新たな知見を得るためのアプローチとして近年注目され、機械学習やスパースモデリングをはじめとする様々な手法が天文学へ応用されつつある。次世代の地上単一鏡計画においても、広視野・広波長域の同時分光撮像に対する世界的なニーズからビッグデータ化は不可避であり、従来の“人の手を介した”処理に頼らない観測・データ処理・天体検出の方法論の確立が急務である。また、多波長観測とのシナジーを前提としたデータ公開の仕組みも重要である。

本講演では、次世代の単一鏡装置開発におけるデータ科学が果たす役割と課題を、実際の応用例を交えて紹介する。一般的な地上観測では、天体信号は複数の要素(地球大気・アンテナ・受信機・分光計)を通して観測者に届くため、それぞれの要素での信号の劣化が課題である。この際、天体信号または雑音信号の持つ統計的な性質に即したデータ科学的方法を導入できれば、信号の劣化を抑えることが可能である。一例として、大気放射の天体信号への重畳は感度を制限する大きな要因である。本講演では大気放射を自動的に分離するデータ科学的方法を紹介し、次世代の装置開発においてデータ科学が観測感度の向上に必要な不可欠であることを示す。

また、先行してビッグデータ化が進む光赤外望遠鏡の例を挙げつつ、観測から公開までのデータの取扱いに関する課題も述べる。特に、観測データの全てを観測者が手元にダウンロードし解析するという従来の方法は困難になることが予想される。本講演では、これに代わる方法としてデータ解析や可視化をクラウドベースで行うサイエンスプラットフォームの可能性を紹介し、実現のために必要なデータ形式やデータ処理の開発課題を示す。

[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](#)

## Z121a 超広視野時代のサブミリ波連続波観測の大気放射の除去について

大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平 (東京大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学)

ミリ波サブミリ波の観測システムの広視野化が進むにつれて、これまで以上に重要になってくるのが、時々刻々と変動する視野全面にわたる大気放射をいかにして除去するかである。観測視野内の大気放射のゆらぎの強度が天体の強度よりも強いことから、大気ゆらぎに由来する系統誤差が到達感度(深さ)を制限していることが報告されている (Wilson et al. 2008)。その除去に観測と解析の両面から様々な試みがなされているが、主成分分析と独立成分分析を組み合わせた複雑な相関処理ですら誤検出が起き得ることが報告されている (Rodriguez-Montoya et al. 2018) など、十分な解決策は得られていない。その要因として、ASTE 望遠鏡に搭載した2色カメラの視野直径8' できえ既に見えてきている視野内の非相関成分が存在することが挙げられる。さらに、視野にまたがって大きく広がった天体の場合、天体成分も大気と同様に視野面内での相関を持つために、相関のみを用いて大気と分離することは簡単ではない。また、現状で大気除去の方法はソフトウェア一辺倒であるが、ASTE 望遠鏡に搭載された AzTEC や2色カメラ TESCAM の観測データの処理時間が実観測時間を何倍も超えてしまうという問題があった。広がった天体に至っては、実観測時間の10倍以上の処理時間を要するなど、その克服に大きな課題が残されている。このような状況の下、より深い感度、広い視野、多い色数が囑望されている将来の大型望遠鏡では、観測者個人で複雑なデータ解析を行うことが非常に難しくなることが予想される。

そこで、本公演では、今一度ハードウェアに立ち返って、これまでの大気ゆらぎ除去の課題を、超伝導回路技術を用いて大気放射のみを直接撮像することで解決する方法について紹介する。

[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](#)

## M01a 赤道加速を達成した超高解像度計算の解析結果

堀田英之(千葉大学), 畠田遼太(東京大学), 草野完也(名古屋大学), 横山央明(京都大学)

赤道加速を達成した超高解像度計算について解析をおこない、差動回転生成の維持メカニズムを明らかにした。太陽は赤道が速く、極が遅く自転していることは長きに渡って観測によって確認されてきた。しかし、最近の熱対流の数値計算では、この差動回転分布を再現するために、粘性を強くするなど非現実的な処方が必要であり、実際の太陽で赤道が速く自転している理由は謎となっていた。2021 年春季年会 Z324a で紹介したように、我々のグループでは富岳を利用した超大規模計算により世界で初めて非現実的な処方なく太陽の差動回転分布を再現することに成功した。本講演では、この計算の詳細な解析結果について示す。これまでは、熱対流の異方性により角運動量を選び、赤道を加速しているというのが通説であったが、今回の計算を詳しく解析すると熱対流よりもむしろ磁場が角運動量を運んでいることがわかった。コリオリ力により、磁場の成分同士で相関を持つことにより、全体として磁場自身が角運動量を動径方向外側に運んでいることがわかった。超高解像度化により、磁場エネルギーが運動エネルギーを超えるほどに強くなっており、磁場による角運動量輸送が支配的となっ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](#)

## M02a 高磁気レイノルズ数での大規模磁場の成因に関する解析

畠田遼太(東京大学), 堀田英之(千葉大学), 横山央明(京都大学)

太陽対流層についてのグローバル計算の結果を用いて、高磁気レイノルズ数での大規模磁場の成因を調査した。太陽では時空間的にコヒーレントな大規模磁場の存在が示唆されているが、激しい乱流状態にある対流層で大規模磁場が維持される理由は明らかとなっておらず、太陽ダイナモの重要な課題の1つである。Hotta et al. (2016) は、これまで大規模磁場を得る事が難しいと考えられていた高磁気レイノルズ数において高解像度での計算を行い、より高い磁気レイノルズ数では大規模磁場が復活する事を示した。さらにこの復活を担うメカニズムとして、大規模磁場の生成を難しくする小スケールの乱流が、小スケールでの磁場生成によって抑制される効果を挙げた。本講演では、大規模磁場の復活について解析を行った結果を報告する。本研究は平均場ダイナモ理論に基づいた解析を行い、磁気レイノルズ数の上昇とともに、乱流磁気拡散率が減少することを明らかにした。乱流磁気拡散率は、小スケールの乱流場が大規模磁場を散逸する効果を表しており、今回得られた結果は、Hotta et al. (2016) で指摘された大規模磁場の復活を担う効果を確認するものとなった。

[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](#)

## M03a 太陽内部対流が黒点形成・進化へ与える影響

金子岳史、草野完也 (名古屋大学)、堀田英之 (千葉大学)、鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)

黒点は、対流層内の磁場が光球へ浮上することで形成される。黒点の磁場分布は様々であり、これは太陽内部の対流運動や磁場のパラメータによって決まると考えられる。大規模フレアの発生とも関連することから、黒点の磁場分布を決めるメカニズムの解明は重要である。近年、対流層深部から光球までを包括する輻射磁気流体シミュレーションコード R2D2 が開発され、太陽内部から光球までの磁場輸送過程を再現できるようになった。本研究では、太陽内部の対流運動と黒点磁場分布の関係を明らかにするため、R2D2 コードとスーパーコンピューター富岳を用いて大規模パラメータサーベイを実施した。シミュレーションでは、対流層内の適当な位置に配置された磁束管が、対流運動によって変形、拡散を受けながら輸送される。初期磁束管の磁場に関するパラメータは固定し、対流速度場に対する初期位置 (水平位置と深さ) だけを系統的に変え、100 例ほどのシミュレーションを行なった。結果、対流場の違いだけで、 $\beta$  型 (単純な双極磁場) から  $\delta$  型 (1つの半暗部に正極と負極が存在)、四重極型まで、様々な磁場分布を持つ黒点が再現された。磁場が浮上しないケースも存在した。 $\delta$  型の磁場分布は、深さ 20Mm 付近から深部にかけて下降流セルが存在する領域に形成される。初期磁束管の近傍に複数の下降流セルが存在する場合に多重極となる。 $\delta$  型の磁場分布が形成されるためには、下降流は水平方向にある程度局在化している必要がある。下降流が水平方向に広がって分布する場合は、磁束管は浮上しなくなる。本講演では、黒点磁場形成・進化に対する対流運動の影響について、統計的な性質も踏まえて議論する。

[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](#)

## M04a 光球での振動によるエネルギー輸送について

松田有輝, 白戸春日, 橋本裕希, 一本潔 (京都大学)

太陽光球は 5 分振動など、様々な周波数の変動が重なって振動している。太陽の振動は速度場で最も顕著だが、強度や吸収線の幅など、他の観測量も変動を示すことが知られている。これらの変動は、太陽大気の温度と密度の変化によって引き起こされる。吸収線の中心波長と等価幅の時間変化から、その吸収線の形成高度での速度と温度の時間変化を求め、その時系列に対してフーリエ変換を行うことで、周波数ごとの振幅や位相差を導き、そこで得られた速度変動と温度変動の位相差からエネルギーがどのように運ばれるのか解析を行った。観測は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の水平分光器を用いて、FeI など多数の吸収線が存在する波長領域と H  $\alpha$ 、Ca8542 で同時に分光スキャンを行った。今回の観測で光球での周期 5 分の振動は速度と温度の位相差が 90 度よりも小さく、下降中の方が上昇中よりも温度が高くなっていることが分かり、このことから光球では 5 分振動によるエネルギー輸送が下向きであることが分かった。また、輻射による熱交換を考慮した波動伝播モデルとの比較も行った。

[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](#)

## M05a 機械学習を用いた静穏領域における水平速度場予測の観測への適用

正木寛之, 堀田英之 (千葉大学)

数値シミュレーションとディープラーニングを用いて作成した太陽の放射強度画像 1 枚から太陽表面に水平な速度を予測するネットワークを、ひので観測データに適用した。太陽表面の熱対流は太陽物理学の諸問題と大きく関連しているが、視線方向に垂直な運動はドップラー効果を用いた観測ができない。また、Local Corelation Tracking (LCT) と呼ばれる観測データの時間変化から水平速度場を推定する手法が存在しているが、これは時間平均的な速度しか得ることができず、定常的な流れの推定は困難である。我々のグループでは数値シミュレーションと機械学習を組み合わせた手法によって 1 組みの太陽表面の物理量から水平速度を求めるネットワークを 2020 年秋季年会 M12a で提案した。本研究ではこのネットワークをひので衛星の観測データに適用した。その結果、学習に用いるデータにはひのでに合わせた点拡がり関数 (PSF) とノイズをかける必要があることがわかった。また LCT と比較することで性能を評価し、LCT よりも粒状斑の時間スケールの速度を推定することにおいて、優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](#)

## M06a Mask R-CNN を用いた活動領域の検出における空間解像度への依存性の検証

小松耀人 (新潟大学), 飯田佑輔 (新潟大学)

Mask R-CNN を用いた活動領域検出モデルにおける領域検出の精度と入力データの解像度と相関について調べた結果について報告する。

正確に宇宙天気予報を行うことは航空機運用や大気圏外で活動する装置や人員の安全を守る上で非常に重要である。近年、機械学習を応用した太陽フレア予測研究により、その予測精度は大きく進展している。これまでの太陽フレア予測の手法は、まず太陽全球データから活動領域を切り出し、切り出された画像データや特徴量を用いた予測を行うものがほとんどであった。そこでの活動領域の切り出し手法の多くはしきい値を決めたルールベースのものであり、領域検出の手法を用いた例はなかった。そこで、深層学習を用いた領域検出の手法である Mask R-CNN を使用した活動領域モデルを開発し、2021 年春季年会にて有用性を示した。

しかし、深層学習の中でも特に領域検出の手法は訓練に必要な計算量が多く、機械学習に適した高性能な GPU を使用しても学習に多くの時間が必要なのが課題であり、集まったデータをリアルタイムでモデルの訓練に反映させるのが難しいという欠点があった。

そこで、計算量に大きく影響するパラメータである背景画像の解像度と訓練後のモデルにおける領域検出の精度の関係について調査した結果について報告する。結果としては従来、1024\*1024 ピクセルの画像で訓練を行い、AveragePrecision[IoU=0.50]=0.940 だったものを半分程度の計算時間で学習が完了する 512\*512 ピクセルの画像で AveragePrecision[IoU=0.50]=0.874 を達成した。これは自然画像における領域検出の精度 AveragePrecision[IoU=0.50]=0.600 と比較しても高い値であり、より少ない計算コストで高い精度を達成したと言える。

[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](#)

## M07a 畳み込みニューラルネットワークを用いた太陽活動領域の成長予測モデル構築

大沼伊織 (新潟大学), 飯田佑輔 (新潟大学)

畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network; CNN) を用いて、活動領域の磁束量が最大に達した時の総磁束量とそれまでにかかる時間を予測するモデルの構築に挑戦した。

活動領域は太陽表面上の磁場活動が活発な領域であり、太陽フレアなどの宇宙天気現象を引き起こす。これまでの研究では、成長した黒点について、機械学習による太陽フレア発生予測が行われてきた。前回講演では、より早い段階からのフレア発生予測に繋げるため、深層学習を用いた活動領域特徴量からの成長予測に挑戦した。結果は、最大成長時の磁束量の誤差は自然対数値で 0.26、かかる時間の誤差は 29 時間となった。本研究では、より高精度の予測実現を目標とし、画像を直接インプットとする CNN を用いた成長予測モデル開発に挑戦した。

Solar Dynamics Observatory が取得する視線方向磁場データを用いて、モデルを構築した。前回講演 (2021 年春季年会講演番号 M08a) と同様の 2010 年 5 月から 2019 年 12 月の SHARP データのうち、目視で十分に大きな黒点が現れていることがわかる 678 個の活動領域データを用いた。出現初期 5 時間分データを 1 時間間隔で用いて、畳み込み層 4 層、全結合層 3 層の予測モデルを構築した。

最大磁束量について、予測値と正解値の回帰直線は  $y = 1.07x - 0.38$ 、誤差は自然対数値で 0.20 となった。また、最大成長時までにかかる時間について、予測値と正解値の回帰直線は  $y = 1.05x - 10.57$ 、誤差はおおよそ 20.8 時間となった。DNN による成長予測と比較すると、回帰直線はどちらの場合も  $y = x$  に近く、誤差はどちらも小さくなっており、より高精度なモデルが構築できた。また、本研究結果は現物理学から考案した特徴量よりも CNN による特徴量作成が高精度達成しており、CNN を利用した新たな特徴量作成の可能性を示す。

[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](#)

## M08a オーストリアの修道院文献から復元するダルトン極小期の太陽活動

早川尚志 (名古屋大学), 伊集朝哉 (国立天文台), 今田晋亮 (名古屋大学)

太陽活動は 1610 年以降太陽黒点観測を通して直接観測され、その中には通常の 11 年周期に加え、マウンダー極小期 (1645-1715)、ダルトン極小期 (1797-1827) という、太陽活動が大幅に落ち込んだ時期が存在する。直近の太陽活動周期 24 (2008-2019) の振幅が過去 100 年で最低水準まで落ち込んだことを考えると、太陽活動がさらに低下した場合の太陽地球環境を知るために、マウンダー極小期やダルトン極小期の太陽黒点観測は根本的な参照事例となる。一方、1850 年以前の太陽黒点群数については復元毎に齟齬が大きく、ダルトン極小期やマウンダー極小期の太陽活動の様子には必ずしも明らかではない [1]。加えて、マウンダー極小期には太陽黒点が南半球に偏在していたのに対し、ダルトン極小期の太陽黒点の分布はこれまで明らかではなかった [1]。そこで、本研究では、オーストリアの修道院に残る、当時の観測記録の手稿を二種類分析し、当時の黒点群数と太陽黒点座標を導出することを企図する。両記録の検討の結果、これまで知られていなかった新データが追加されたのに加え、既存の黒点群数も大幅に改訂に改訂され、これまで不明瞭だった太陽活動周期がより明瞭に浮上した [2][3]。加えて、黒点群の分布が両半球に確認されたことから、ダルトン極小期当時の様子は黒点群が南半球に偏在したマウンダー極小期と大きく対照的であったことも明らかになった [2][3]。この結果は当時の記録に見る太陽コロナの形状とも整合的である [4]。

[1] Munoz-Jaramillo and Vaquero 2019, *Nature Astronomy*, 3, 205 – 211. [2] Hayakawa et al. 2020a, *The Astrophysical Journal*, 890, 98. [3] Hayakawa et al. 2021, *The Astrophysical Journal*. doi: 10.3847/1538-4357/abee1b [4] Hayakawa et al. 2020b, *The Astrophysical Journal*, 900, 114.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M09b 太陽フレア X 線・EUV 放射とデリンジャー現象の関係

北島慎之典, 渡邊恭子, 荒尾宗睦, 西本将平 (防衛大学校), 埜千尋, 西岡未知 (情報通信研究機構)

太陽フレア放射により惑星大気を構成している原子・分子が電離し、惑星大気中の電子密度が増大する。特に地球大気では、X 線 (0.1 – 10 nm) と極端紫外線 (EUV, 10 – 120 nm) 放射が電離圏の電子密度変動に主に効いている。これらのフレア放射によって急速に電子密度が増大することにより、通信障害が発生すると考えられている。このうち、特に電離圏 D 層 (60 – 90 km) の電子密度の増大が原因で発生する通信障害は、デリンジャー現象と呼ばれている (Dellinger 1937)。このデリンジャー現象の発生は、イオノゾンデで観測されている最小反射周波数 ( $f_{min}$ ) の値で知ることができる。デリンジャー現象が発生すると  $f_{min}$  値が上昇し、その変動量は主にフレアの X 線ピーク放射強度と太陽天頂角に依存することが統計研究より報告されている (Tao et al., 2020 など)。

一方、最大規模のフレアである X クラスフレアにおいてもデリンジャー現象が発生していない事例があり、フレア放射と電離圏 D 層における電子密度の増大との関係は明確には分かっていない。このことから、GOES 衛星及び SOHO 衛星搭載の SEM で観測された X 線・EUV データと、情報通信研究機構が運用しているイオノゾンデで観測された  $f_{min}$  値の比較を行なった。2006 年から 2014 年の間に日本の昼間に発生した 14 例の X クラスフレアについて調査したところ、 $f_{min}$  値の増大が確認できたのは 9 例で、放射強度と  $f_{min}$  値の関係は確認できなかった。これより、デリンジャー現象の発生には X 線以外の放射も効いている可能性が考えられる。

そこで、 $f_{min}$  値の増大に主に影響している太陽放射波長を特定するため、SDO/EVE(2011-2014 年) のデータを用いて M3 クラスフレア以上かつ  $f_{min}$  値の増大が観測された 12 例のイベントを解析対象として、 $f_{min}$  値の変動量と放射強度スペクトルとの比較を行なった。今回は、本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](#)

## M10b High-time resolution physics in stellar flares from a 7-day multi-wavelength campaign on young planet-hosting M dwarf flare star AU Mic

Yuta Notsu (CU Boulder/NSO/Tokyo Tech), Adam Kowalski, Isaiah Tristan (CU Boulder/NSO), Alexander Brown (CU Boulder), Rachel Osten (STScI), AU Mic Campaign team, Superflare team

M dwarfs are considered one of the best targets of exoplanet surveys, but they have intense flaring events, which could negatively impact the habitability of exoplanets. Our current understanding of the multi-wavelength properties of M dwarf flaring events is surprisingly far from complete both in wavelength coverage and temporal resolution. To rectify this, our team conducted multi-wavelength (e.g., X-ray/NUV/optical/radio) campaign of the dM1e flare star AU Mic over 7-days (Oct 10 - 17, 2018), with a large fleet of ground and space-based observatories, including XMM-Newton, Swift, VLA, ATCA, SMARTS 0.9m & 1.5m, APO 3.5m, and LCOGT. AU Mic itself is also becoming famous since a Neptune-size exoplanet was recently reported (Plavchan et al. 2020). We present high time-resolution light curves, flare correlations across the spectrum, and discuss the Neupert effect (i.e. the X-ray derivative peak and NUV/optical peak timings overlap) among the X-ray, UV, and optical response in  $\sim 22$  flares. We find that the Neupert effect is not necessarily present in all of our flares. We also investigate how flaring  $H\alpha$  &  $H\beta$  line profiles have a correlation with NUV/optical continuum and soft X-ray responses, which can be good constraints on the heating process of flaring atmosphere (cf. Namekata et al. 2020). Quiescent emissions in X-ray and  $H\alpha$  also show possible rotational modulations and could be helpful to investigate the active region distribution of active stars (cf. Toriumi et al. 2020; Takasao et al. 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](#)

## M11b シア磁場非対称磁気リコネクションの構造とエネルギー変換

新田伸也(筑波技大), 近藤光志(愛媛大)

太陽を始め、様々な宇宙プラズマ現象での素過程研究として、広大な空間で自発的に生じる MHD 的磁気リコネクション (RX) の特徴を調べている。このような RX 系の終状態は自己相似解で記述される (自己相似モデル)。これまで、初期電流シート (CS) に対する磁場強度の非対称 (以下、非対称) の効果 (Nitta+2016, Nitta & Kondoh 2019)、シア磁場の効果 (Nitta & Kondoh 2021) を論じてきた。今回は、MHD 数値シミュレーションによって、非対称かつシア磁場を持つ、最も一般的な初期平衡からの自発的時間発展で生じる RX システムの自己相似位相に於ける空間構造とエネルギー変換特性に注目した所、下記の特徴が確認された。

1) 非対称系では、CS を挟んでプラズモイドも非対称になる。長い方のプラズモイド進展速度が短い方のプラズモイド側の fast-mode 速度を超えている場合、短い方のプラズモイド前方には長大なファスト衝撃波 (Forward Fast-Shock: FFS) を生じるが、シア磁場の無い場合と比して衝撃波はシア磁場の影響で弱まる。2) 非対称系では、長い方のプラズモイド中に、CS の反対側からのプラズマが浸入し、内部に接触不連続面 (CD) を生じる。これは、元々 CS で隔てられていたプラズマ同士の効率的物質混合をもたらす。3) リコネクションレイトは磁場シア角の減少関数であり、またリコネクション線の方位角のやや複雑な関数でもある。

これらは既存モデルとは大きく異なる特徴であり、MHD-RX についても素過程としての理解に不備が残されていることを示している。特に、リコネクションレイトは非対称性と磁気シアに鋭敏に反応して数値も減少する。現実の現象では、Petschek モデルよりも遥かに遅い RX がしばしば生じていることが予想される。差分法シミュレーションで遭遇する数値拡散で生じた RX が物理的意味を持つかについても再考する必要があるだろう。

[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](#)

## M12b 離散的にエネルギー方程式の整合性を保つ頑健な磁気流体解法の提案

飯島陽久(名古屋大学)

天体物理学、特に太陽型星の彩層・コロナ加熱問題の数値モデルにおいて、磁気流体的なエネルギーの輸送と散逸過程を正確に取り扱うことは、物理的に妥当な数値解を得るために避けては通れない課題である。

天文学で利用される典型的な磁気流体方程式の数値解法では、内部エネルギー、運動エネルギー、磁気エネルギーの総和は保存するものの、それぞれの時間発展は格子幅に依存する離散化誤差を含んでいる。特に内部エネルギーが運動・磁気エネルギーに比べて非常に小さい場合には、この離散化誤差によって圧力が負になるなど非物理的な数値解が出現し、計算が破綻する。これを避けるために内部エネルギーの時間発展方程式を陽に解くこともできるが、この場合は内部・運動・磁気エネルギーの総和に格子幅に依存する離散化誤差が生まれてしまう。

本研究では、陽に内部エネルギー方程式を解きながら内部・運動・磁気エネルギー間のやり取りを空間格子幅に依存せずに離散化する新たな有限差分解法を提案する。我々は差分式に成り立ついくつかのライプニッツ則に注目し、これを利用することで内部エネルギー、運動エネルギー、磁気エネルギーの時間発展方程式を互いに整合的な形で離散化することに成功した。特に、数値的な安定性のために付加される数値拡散に関する寄与も含めてエネルギー的な整合性を保つように離散化を行ったことを強調したい。この離散化は有限差分法の空間精度や時間積分法、数値拡散の詳細に依存しない形で定式化されている。提案手法の性能を衝撃波などの不連続を含む流体・磁気流体方程式の典型問題で評価したところ、マッハ数が非常に高く、プラズマベータが非常に低い、という多くの数値解法が破綻する極限状況下でも、エネルギー的な正確さを保つことが可能な、頑健な数値解法を構築することが出来ることが分かった。

[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](#)

## M13b 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡偏光分光観測装置搭載の近赤外カメラ精度評価

山崎大輝、一本潔、黄于蔚、Denis P. Cabezas、上野悟、永田伸一 (京都大)、川手朋子 (核融合研)

京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) では、太陽大気中の磁場や電場診断手法の開拓を目的として、可視光から近赤外の広い波長帯にある任意のスペクトル線を偏光分光観測できるシステムの開発が進められてきた (2017 春年会 M05a)。時間変化の激しいプラズマの物理量診断手法の開拓には、短時間で高い偏光精度を実現する観測が必要である。例えば、スペクトル線に現れるハンレ効果やゼーマン効果を用いた彩層磁場診断には、 $\sim 10^{-4}$  の高い偏光測定精度が求められる。本研究では、DST 偏光分光観測装置に新たに導入する近赤外線検出器 (FLIR 社製 A6261) の精度評価を行った。受光面を遮蔽して、異なる露光時間でダーク画像を連続で取得し、露光時間に依らない読み出しノイズと露光時間に依存する熱雑音をそれぞれ導出した。その結果、読み出しノイズは 16.5 DN、熱雑音係数は  $238.3 \text{ DN} \cdot \text{s}^{-1/2}$  と得られた。また、太陽光を導入して露光時間 15 msec で連続撮像を行い、シグナルとノイズの強度比を調査した。その結果、コンバージョンファクターは  $2.99 \text{ e}^-/\text{DN}$  と得られた。さらに、 $3 \times 10^4 \text{ e}^-$  の強度に対して、SN 比 200 を達成することが分かった。これはノイズレベルがポアソン分布に従うフォトンノイズで決まると仮定すると、露光時間 15 msec のもと、画像 100 枚の積算によって、測光精度  $5.0 \times 10^{-4}$  を達成することを意味する。本講演では、先行研究 (Oi et al. 2015) で調査された飛騨天文台が所有する他の赤外線検出器との性能比較、および本研究で用いた検出器による彩層磁場観測の計画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](#)

## M14b 太陽フレアの経験予測と物理予測の比較

近藤芳穂<sup>1</sup>、草野完也<sup>1</sup> (1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽フレアは、突然、電磁波やプラズマ、高エネルギー粒子を惑星間空間に放出し、宇宙天気の流れを引き起こす。そのため、宇宙天気の影響を軽減するためには、太陽フレアを予測することが重要である。太陽フレアを予測するために、これまで様々な種類の経験的手法が開発されてきたが、最近、Kusano et al. (2020) によって、 $\kappa$ -scheme と呼ばれる物理学に基づいた巨大太陽フレアの予測手法が開発された。本研究では、経験的手法と物理的手法を組み合わせた新しい予測手法を開発することを目的として、経験的手法と物理的手法による太陽フレア予測の比較研究を行っている。今回は、予備的な研究として、経験的な手法の代表的なものとして知られる R-parameter (Schrijver 2007) に着目した。R-parameter は磁極反転線 (PIL) 近傍の無符号磁束で与えられ、フレア活動度と正の相関を持つことが知られている。まず R-parameter に対応するものとして、非ポテンシャル磁場が 1000G を超える領域で PIL から 2Mm 以内の領域の無符号磁束  $\Phi$  を計算した。観測データは SDO/HMI-SHARP を利用した。その結果、(1)  $\Phi$  が大きくても必ずしも大きなフレアが発生するとは限らないこと、(2) フレアの前に  $\Phi$  が増加する場合も減少する場合もあることがわかった。次に、PIL 近傍の磁束  $\Phi$  と  $\kappa$ -scheme による局所フレア発生予測を比較するために、PIL 上の各点を中心とした半径 2Mm の円内の領域の無符号磁束  $\phi$  を計算した。その結果、(3)  $\kappa$ -scheme で正確に予測されたフレアの発生点で局所磁束  $\phi$  は大きい値を持つが、(4) フレアが起らない点でも同様に  $\phi$  が大きくなる場合があることがわかった。上記の結果は R-parameter には含まれていないが  $\kappa$ -scheme で使われている磁束捻じれが正確なフレア予測のために役割を果たしていることを示唆している。これらの知見に基づき、新たな予測パラメータを検討する。

[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](#)

## M15b Ar XIV を使ったポストフレア領域の電子密度評価

石神 瞬<sup>1</sup>, 原 弘久<sup>1,2</sup>, 中村 信行<sup>3,4</sup>, 村上 泉<sup>1,4</sup> (<sup>1</sup> 総研大, <sup>2</sup> 国立天文台, <sup>3</sup> 電通大, <sup>4</sup> 核融合研)

電子密度  $n_e$  はプラズマの基本パラメータであり、コロナの加熱領域やフレアの超高温領域の状態を知る上で欠かせないが、通常は視線長  $L$  を仮定してエミッションメジャー  $n_e^2 L$  から求めることが多い。他の方法として原子の遷移特性を利用して、同一イオンの2輝線の強度比から観測領域の電子密度を求める手法がある。ひので衛星搭載のEISが観測する極端紫外線領域では、これまで Fe XII (186.88 Å/195.12 Å), Fe XIII (196.54 Å/202.04 Å) といった輝線強度比から電子密度が評価されてきた (Young+ 2009, Watanabe+ 2009)。しかし、これまで多くの研究で使用されてきた Fe XII, Fe XIII の輝線は、1-2 MK のプラズマに対して電子密度の評価が可能である一方で、活動領域中に観測される  $\geq 4$  MK のような比較的温度の高いプラズマに対しては無効である。本講演では Ar XIV (187.97 Å/194.40 Å) 輝線強度比による電子密度診断手法を冷却中のフレアに適用した例について報告する。この輝線は必ずしも明るくないため、光子数の多いフレアの冷却過程で診断能力を確認した。Ar XIV は 3-6 MK に感度をもつため、活動領域の中央部などの高温コロナプラズマに対しても有効である。一方、フレアの温度が高い段階では、Ar XIV 輝線位置に混入している Fe XXI 輝線が強いため、この輝線強度比の使用には注意が要る。

本研究では EIS 観測波長全域を含むスペクトルを解析した。このデータから、Fe XVI, Ca XVII, Fe XVII, Fe XXIV といった高温輝線の強度を確認し、Ar 輝線強度比が利用可能かといった判断ができると考えている。さらに、このデータ内の輝線強度比を使い、有効面積の波長較正も行うことができる。次に、Ar 輝線強度比を計算した上で、原子データベース CHIANTI の計算結果を利用し、電子密度を求めた。本講演では、較正の妥当性、ブレンドした輝線の影響などを踏まえ、詳細を議論する。

[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](#)

## M16b Data-driven MHD Simulation of Solar Active Region NOAA 11283

Yeongmin Kang, Takafumi Kaneko, Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University)

Solar flares are caused by the release of magnetic energy accumulated in the solar atmosphere. It occurs in the solar active regions (ARs) where the strong magnetic field are present. In terms of the flare events, all of the energy stored in AR is usually not released with a single flare. It is still difficult to predict the exact value of released energy. Moreover, the physical mechanism to determine the ratio between the released energy and the stored energy is unclear because the coronal magnetic field cannot be observed directly. MHD simulation is a powerful method to investigate and understand the evolution of the coronal magnetic field. In this study, we conducted an MHD simulation on AR11283 where multiple M and X flares have occurred. The objectives of this study are to reproduce a flare event and to know about the energy release rate of the flare and the physical mechanism to determine the rate. We applied a newly developed data-driven simulation method in which the time series observational photospheric magnetic field data (SDO/HMI vector magnetic field data of AR11283) are introduced as the bottom boundary condition. We carefully investigated the effects of the numerical filtering and the resistive diffusion to simulate the observed evolution of this active region from the energy build-up phase to the post-flare phase.

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

## M17c ひので磁場データを用いた太陽極域の表面速度の算出

的場健悟, 今田晋亮, 飯島陽久, 三好由純 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽フレアは、地球周辺の環境に大きな影響を与える。フレアは黒点に付随して発生すると考えられていて、黒点数は約 11 年周期で増減を繰り返している。長期的な宇宙天気予報の実現のためには、次の太陽活動周期の予測が重要である。最近の研究では、現在の周期における極小期の極域磁場と、次の周期の黒点数の間に正の相関があることが示されている。この極小期付近の極域磁場は、これまで SFT モデルを用いた予測が行われてきた。SFT モデルには差動回転、子午面循環流、乱流拡散など、いくつかのパラメータが必要であるが、これらのパラメータは十分に理解されておらず、観測が難しい極域については特に理解がされていない。また、時間的変動に関しても十分な理解は得られていない。

本研究では、SFT モデルのパラメータである差動回転と子午面循環流の 2 つの太陽表面極域の流れに注目した。地球周辺から見る極域の磁場は垂直方向ではなく、さらに面積も小さいため極域を観測することは難しい。そこで高い空間・時間分解能をもつ Hinode/SOT の磁場データを用いて極域の表面運動を測定した。ポインティングの誤差を補正するため、SDO/HMI との間で相関値を利用して位置合わせを行った。太陽表面の磁気パッチを検出・追跡することで、極域における子午面循環流・差動回転の緯度分布を測定した。極域表面速度の磁場強度・磁束量依存性を調べた所、低緯度で観測されるような磁場依存性は観測されなかった。

[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](#)

## M18c 機械学習を用いた太陽黒点の出現緯度・経度・傾き角度の予測

道脇健斗, 今田晋亮 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

宇宙天気予報において、将来の太陽活動を推定することは重要な課題である。最近では、太陽活動極小期における極域の磁場が次の太陽活動の指標の一つになると考えられている。そのため、周期予測のために、太陽の極磁場を推定しようとする研究が多く行われている。極磁場の時間変化は、表面磁束輸送計算モデル (SFT モデル) を用いて再現することができる。SFT モデルは、差動回転と子午線循環による移流項、磁気拡散項、磁気フラックスの出現項から構成される。これらの速度や拡散係数は、現代の観測値を用いて推定されている。一方、磁気フラックスの出現項の値の推定は非常に困難である。したがって、黒点がいつどこで出現するかを予測することは、サイクル予測の研究にとって非常に重要である。そこで、本研究では、機械学習の手法の一つである二次元の CNN (Convolutional Neural Network) を用いて黒点の出現予測を行った。観測データから出現緯度の時間変化 (バタフライダイアグラム) を作成し、それらを入力として、日毎の出現緯度の確率分布と黒点数を予測する学習モデルを構築した。その結果、中緯度から低緯度への黒点出現の遷移と周期性を再現することができた。さらに、このモデルを用いてサイクル 25 の予測を行った結果、最大黒点数はサイクル 24 より少し大きくなり、バタフライダイアグラムの構造はサイクル 16 に似た形となった。また、3次元の CNN や LGB (Light Gradient Boosting) という手法を用いて緯度分布だけでなく、経度分布及び出現黒点の傾き角度に関しても予測を行なった。これらの結果について考察した結果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](#)

## M19c 20世紀の写真乾板を用いた太陽 Ca K 線強度長期変動解析

格和純 (国立天文台), 上野悟 (京大)

太陽の可視域の吸収線のうち, Ca K 線の太陽全面像は 1900 年代初頭から写真乾板/フィルムとして残されている. Ca K 線の太陽表面輝度分布は紫外線域と相関があることが古くから知られており (Tousey 1967), 彩層磁気活動指標としてのみならず, 地球高層大気指標の長期変動における太陽紫外線の寄与を知る上でも重要な情報になるとされている. 本講演では, 20 世紀の歴史的データの今後の活用のため, デジタル化された写真データの輝度較正を新しく試みた結果を報告する (Kakuwa & Ueno 2021).

輝度較正は実験的に取得された較正データ (特性曲線) を用いるのが本来だが, 長期データの一様な解析には難がある (Prial+2014). 別の方法としては, 写真濃度の太陽円盤動径分布と周縁減光の参考値を比較する方法が知られている (Tlatov+2009; Chatzistergos+2018). 濃度画像には非太陽起源の大局的な濃淡が残っている場合が少なくなく, 理想的な周縁減光と濃度の空間プロファイルの比較には不整合が生じるが, 濃度と輝度の非線形性を考えると単純には対処できない. 以上を考慮し, 今回静穏領域の輝度揺らぎを参考値として用いる較正方法を試した. 較正後の画像の輝度の最頻値や揺らぎは観測日の太陽活動度に依らず安定した結果が得られている. プラージュ面積などの幾何学的な量の長期解析では従来の方法が実用的と思われるが, 今後歴史的データから紫外線強度を推定する上では有用になると期待しており, 長期データ全体に適用した結果について検討を続けている.

[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](#)

## M20a 惑星形成が太陽内部構造に及ぼす影響について

國友 正信 (久留米大学), Tristan Guillot (コート・ダジュール天文台)

太陽内部構造は, 恒星進化計算を用いた理論モデルと日震学およびニュートリノによる観測の双方から調査されてきた. 現在, 特に対流層下端で理論モデルと日震学観測の音速分布に不整合が残されており, 太陽組成問題と呼ばれさかんに議論されている. これまで太陽組成問題に対して, 主に太陽内部のオパシティの不定性が注目されてきた. 本研究では別の可能性として, 惑星形成の影響を検討する. 原始惑星系円盤では, 難揮発性成分 (ダスト) が選択的に合体成長することで惑星が形成するため, 逆に円盤ガスの組成は時間とともに難揮発性成分に欠乏する. そのため, 円盤降着により太陽内部に組成勾配が生じ, 音速分布に影響している可能性がある. 本研究では, 混合距離, 対流過貫入, 初期組成に加え, オパシティの変化量と降着物質の組成進化もインプットパラメータとして変化させ, 原始星段階から太陽年齢までの進化を追う計算を多数行った. 太陽年齢での計算結果と観測データからカイ二乗値を計算し, Simplex 法によりこれを最小にするインプットパラメータを探索した. まず降着物質の組成を変化させない場合, 対流層下端でのオパシティが OPAL の値より 12-18% 程度大きければ音速分布が大きく改善されることがわかった. これは先行研究で示唆されていた値と同程度である. 一方, オパシティを変えず降着物質の組成進化のみ考慮した場合, 音速分布の不整合は残されたままであった. これは原始太陽は対流層が厚く, 組成勾配が深部にのみ生じ, 対流層下端の組成に与える影響は限定的であることによる. オパシティの変化および降着物質の組成進化を考慮した場合, 日震学の音速分布を再現し, かつ中心部の金属量が高くなることがわかった. 近年のニュートリノ観測結果は中心金属量が高いモデルを支持している. つまり, 惑星形成過程は音速分布への影響は小さいが, ニュートリノフラックスには大きく影響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](#)

## M21a スーパーカミオカンデ実験における太陽フレア由来のニュートリノ探索

岡本幸平, 他 Super-Kamiokande collaboration

スーパーカミオカンデ検出器は地下 1000 m に位置する 50 kton の超純水 (2020 年 7 月より、硫酸ガドリニウム水溶液となった) を使用した水チェレンコフ検出器である。本研究では 1996 年 4 月から 2018 年 5 月までのスーパーカミオカンデ検出器のデータを用いて太陽フレア由来のニュートリノ探索を行った。太陽フレア由来のニュートリノは太陽フレアで加速された陽子が太陽大気中または光球中に存在する陽子と散乱し  $\pi$  中間子が生成され、崩壊することで放出される。太陽フレアにおけるニュートリノ生成とニュートリノの検出可能性の予想では、最大規模の太陽フレアについての検出可能性が示唆されている。また、太陽裏側 (地球から見えない面) で発生した太陽フレアからは太陽表側 (地球から見える面) での太陽フレアからの方が、地球に飛来するニュートリノは多いと考えられている。1970 年代から太陽表側で発生した太陽フレア由来のニュートリノ探索の結果が報告されているが、未だ有意な観測例はない。本研究では、太陽表側の太陽フレアについては GOES 衛星、RHESSI 衛星、GEOTAIL 衛星による X 線、 $\gamma$  線のデータを用いて太陽フレアの選定と太陽フレアにおけるニュートリノ生成時刻を推定した。また太陽裏側の太陽フレアについては、SOHO 衛星の LASCO のデータに基づいた Coronal Mass Ejection (CME) のカタログを元に太陽フレアイベントの選定と太陽フレアの発生時刻の推定を行った。さらに太陽表側と太陽裏側で発生した太陽フレアそれぞれについてスーパーカミオカンデ検出器でニュートリノ探索を行った。本講演では、探索手法、およびスーパーカミオカンデ検出器での探索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](#)

## M22a Super-Kamiokande 実験における太陽ニュートリノ観測の最新結果

中野佑樹, 他 Super-Kamiokande collaboration

Super-Kamiokande (SK) 実験は地下 1000 m に設置された水チェレンコフ検出器である。検出器は 5 万トンの超純水と、約 1 万本の光電子増倍管によって構成されている。SK 実験は 1996 年 4 月から運転を開始し、現在まで 25 年に渡って太陽を代表する天体現象起源のニュートリノ観測 (探索) を実施している。

太陽ニュートリノは太陽核領域の核融合により生成される電子ニュートリノであり、そのエネルギースペクトルからニュートリノ振動の混合角や質量 2 乗差などのパラメータを決定することができる。とくに、数 MeV を超えるエネルギーを持つ  $^8\text{B}$  太陽ニュートリノでは、太陽内部の高密度物質による追加のポテンシャルの影響により、真空中のニュートリノ振動とは異なる振動パターンに変化すると予想されている。このように、ニュートリノが物質内部を透過する際にニュートリノ振動が変化することを物質効果と呼ぶ。物質効果により、太陽ニュートリノのエネルギースペクトルが変化する現象や、昼夜でのフラックスの非対称性が期待される。

本講演では、SK 実験の太陽ニュートリノ観測の最新結果に関して報告する。具体的には、とくに Solar cycle 23 と 24 での  $^8\text{B}$  太陽ニュートリノのフラックス観測、フラックスの昼夜非対称性の観測、エネルギースペクトル測定、ニュートリノ振動パラメータの解析結果に関して報告する。また、太陽内部を伝搬する g-mode 振動への探索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](#)

## M23a スーパーカミオカンデによる太陽反電子ニュートリノ探索研究

伊藤博士, 他 Super-Kamiokande collaboration

太陽起源の反電子ニュートリノは、 $^{40}\text{K}$  などの  $\beta^-$  崩壊及び  $^{238}\text{U}$  や  $^{232}\text{Th}$  などの重金属による光核分裂であると予想されているが、現在の観測レベルに対して生成頻度が非常に小さい。一方、太陽からの電子ニュートリノが、反電子ニュートリノに遷移するような事象があれば、現在の検出器でも観測が可能になる。真空中ではこのような遷移は強く制限されているが、太陽内部のような高温・高磁場環境では、ニュートリノ磁気モーメントが強磁場によってスピン歳差振動することで遷移を許すという機構模型も予言されている。

スーパーカミオカンデは地下 1000 m に位置する 50 kton 水チェレンコフ検出器である。1996 年からニュートリノ観測を始め、2008 年には反電子ニュートリノも直接検出できるように検出器の電子回路を改良した。本研究は、2008 年から 2018 年の 10 年分の観測データを用いて、太陽由来の反電子ニュートリノ探索を行った。反電子ニュートリノの相互作用によって生成された中性子をタグ付けする「中性子タグ」によって選択された候補事象の中に入り込む背景事象を見積もり、観測結果と比較して太陽由来の反電子ニュートリノの信号を見つける。

2020 年から反電子ニュートリノの検出感度を向上するために、スーパーカミオカンデの超純水に硫酸ガドリニウムを添加した SK-Gd が開始された。SK-Gd は、ガドリニウムの中性子捕獲断面積が大きい性質を基に、純水の時では最大 25% だった検出効率を最大 90% まで改善する計画である。

本講演では最新結果を報告し、現在感度改善中の SK-Gd における展望を示す。

[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](#)

## M24a KamLAND による太陽フレアニュートリノの探索

川田七海, 小原脩平, 石徹白晃治, 他 KamLAND コラボレーション

太陽フレアは、太陽表面で磁気エネルギーが荷電粒子の運動エネルギーや熱エネルギーに転換して起こる太陽系最大のエネルギー解放事象である。フレアにより加速されたプロトンは太陽大気中でパイオンを生成し、荷電パイオンの崩壊過程でニュートリノが発生する。しかしながらいまだに太陽フレアニュートリノの観測例は存在しない。太陽フレアからのニュートリノのスペクトルを観測すれば、フレアにより加速されたプロトンのスペクトルを見積もることができ、フレア中での粒子加速機構解明に向けた手がかりとなる。

そこで、MeV スケールのニュートリノを観測できる KamLAND 検出器を用いて、太陽フレアからのニュートリノを探索した。GOES 衛星によるフレア X 線観測データと KamLAND によるニュートリノ観測データの相関を統計的に評価することで、太陽フレア由来のニュートリノの流束量を調べた。

2002 年から 2019 年の 614 個の太陽フレアについて探索した結果、統計的に優位な太陽フレアニュートリノ信号は得られず、その流束量に対して世界で最も厳しい制限を得た。

[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](#)

## M25a 巨大フレア同時観測で得た軟 X 線と H $\alpha$ 線のフレア減衰時間の相関

河合広樹, 坪井陽子, 岩切渉, 佐々木亮 (中央大学), 前田良知, 菅原泰晴 (JAXA/ISAS), 勝田哲 (埼玉大学), 他 MAXI チーム

りょうけん座 RS 型星は、近接連星系であり、巨大フレアを起こす天体として 1970 年代から知られる。フレア時に発生するプラズマの体積は星自身の体積と同等までになり、太陽フレアにおけるループの形を仮定すると星の半径より 1 桁程度まで大きくなりえる (Tsuboi et al. 2016)。連星間距離は星の半径の数倍程度のため、フレアループは連星間をつなぐというアイデアも提唱されてきた (Uchida & Sakurai 1983)。しかし巨大ループの形成過程、幾何、の観測的理解は未だ不十分である。

画像分解できない突発現象の詳細、もしくは空間構造を明らかにするためには、あらゆる波長、手段を用いて多角的に研究することが有効である。我々は、全天 X 線監視装置 MAXI における検出をトリガーとし、中央大学の可視分光望遠鏡 SCAT および ISS に搭載された X 線観測器 NICER を用いて、発生頻度の少ない巨大フレアの追観測を H $\alpha$  線、2-10 keV 帯域それぞれで行った。その結果、2016 年から 2021 年現在までで、りょうけん座 RS 型星 UX Ari, HR1099, AR Psc から、計 5 発の同時観測に成功した。これら 5 発のフレアと、太陽フレア、dMe 型星、りょうけん座 RS 型星 1 天体のサンプル (Butler 1993, Johns-Krull 1997) とを合わせて、二帯域の減衰時間の間の相関について調べた。その結果、3 桁以上の範囲にわたって、両タイムスケールがほぼ一致した。これは軟 X 線と H $\alpha$  線が近いところ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](#)

## M26a K 型主系列星 LQ Hya におけるスーパーフレアの測光分光同時観測

前原裕之, 行方宏介 (NAOJ), 岡本壮師 (気象庁), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大)

太陽/恒星フレアは共に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解放されることで、電波から X 線までの広い波長範囲での増光を引き起こす現象であると考えられている。こうしたフレアによる可視連続光の増光 (白色光フレア) はフレアによって加速された非熱的電子によって生じると考えられている。太陽以外の恒星では最大級の太陽フレアの 10-10<sup>4</sup> 倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」が観測されているが、こうしたスーパーフレアにおける可視連続光の放射機構が太陽で観測されるような白色光フレアのそれと比べてどのような違いがあるのかは、恒星スーパーフレアの詳しい分光観測がまだ少なくよく分かっていない。

我々は若い K 型主系列星 LQ Hya の TESS による観測期間に合わせて、3.8m せいめい望遠鏡と 188cm 望遠鏡による LQ Hya の連続分光観測を行い、可視連続光の放射エネルギーが  $1 \times 10^{35}$  erg、H $\alpha$  線での放射エネルギーが  $8 \times 10^{32}$  erg にも達するスーパーフレアを観測することに成功したのでその結果を報告する。このスーパーフレアによる H $\alpha$  線の強度は、可視連続光の強度よりもゆっくりと増加し、可視連続光のピークに対して 35 分ほど遅れて最大になった。一方、H $\alpha$  線の線幅 (FWHM) は可視連続光のピーク付近で最も大きくなり ( $\sim 10$  Å)、可視連続光の強度の減光とともに  $\sim 4$  Å まで減少する様子が観測された。同様の現象は M 型星 AD Leo の 10<sup>33</sup> erg 程度のエネルギーのスーパーフレアでも観測されたことが報告されており (Namekata et al. 2020, PASJ 72, 68)、加速された非熱的電子が彩層下部/光球上層まで突入することで H $\alpha$  線幅を増大させると同時に可視連続光放射にも寄与するという描像が、K 型星の 2 桁程度大きいスーパーフレアにも適用でき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](#)

## M27a TESS で観測したけんびきょう座 AT 星のフレア検出方法およびフレア発生頻度分布について

岡本豊, 坪井陽子, 岩切渉, 佐々木亮, 河合広樹 (中央大学), 行方宏介 (国立天文台), 野津湧太 (コロラド大学/東京工業大学), 河合誠之 (東京工業大学), 河原創 (東京大学), 他 MAXI チーム

磁気エネルギーの解放現象であるフレアは太陽だけでなく、近傍の恒星からも観測されており、フレア発生頻度分布はべき関数型分布を示すことが知られている。磁氣的に活発なことで知られる dMe 型星は、太陽に比べフレアの頻度は高く、また大きなエネルギーのフレアまで発生されることが考えられるが、エネルギー的に十分広い範囲での頻度分布はまだ得られていないと言いがたい。そこで我々は、6,000–10,000 Å の帯域で測光観測をしている系外惑星探索衛星 TESS に着目し、最も活発な dMe 型星の一つであるけんびきょう座 AT 星のライトカーブからのフレア検出、およびフレア発生頻度分布作成を試みた。TESS に着目したのは、2 分という高時間分解能をもち、約 27 日間連続で同一天体を観測しているため、突発的な現象であるフレアの検出に適していると考えたからである。我々は、移動平均を利用したフレア検出アルゴリズムを開発して、27 日間の観測データから 43 個のフレアを検出し、 $10^{32}$ – $10^{35}$  erg のエネルギー範囲での頻度分布の作成に成功した。さらに、2020 年秋季年会において発表した白色光フレアエネルギーと X 線での最大光度の相関関係を用い、2–20 keV において全天を走査観測している MAXI の 11 年間の観測によって得られた 19 発のフレアの結果から、フレアの発生頻度分布を  $10^{36}$  erg まで拡張することに成功した。作成したフレア発生頻度分布は、 $N \propto E^{-0.6}$  のべき型分布を示す結果となった。本発表ではこれら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](#)

## M28a M 型星フレアの H $\alpha$ 線分光・可視光測光観測で迫る恒星の噴出現象

行方宏介 (NAOJ), 岡本壮師 (気象庁), 前原裕之 (NAOJ), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳, 浪崎桂一, 野上大作, 柴田一成 (京大), 他 OISTER team collaborations

恒星フレアは星表面での磁気エネルギーの解放現象で、様々な波長域で増光が観測される。太陽フレアを H $\alpha$  線で観測すると、多くの場合、彩層下降流に伴う赤方偏移が見られる。近年、低温度 M 型星の連続分光観測 (時間分解能 ~5 分程度) から、フレア中のバルマー線の輝線輪郭が青方偏移している例が多数報告されている (Honda et al. 2018, Maehara et al. 2021 他)。これらは、恒星フレアに伴うプロミネンス/フィラメント噴出を反映している可能性もあり、近年盛り上がる M 型星周辺の惑星ハビタビリティへの影響を推定する上でも重要である。しかし、その青方偏移輝線成分が本当に質量噴出を反映する現象なのかは十分に理解されていない。M 型星フレアが多波長同時観測・高時間分解能観測を極め、青方偏移成分の発生原因を明らかにすることが重要である。

我々は、京大せいめい望遠鏡の高時間分解能 (~1 分) での H $\alpha$  線連続分光観測を軸に、TESS 衛星と 11.5cm 地上望遠鏡 (可視測光観測) による、M 型星 YZ CMi, EV Lac の連続分光・測光観測を行った。その結果、30 件以上の M 型星フレアを検出し、その内少なくとも 4 件では、フレアに伴って -150 ~ -400 km/s 程度で青方偏移する H $\alpha$  輝線成分が検出された。検出された速度は先行研究と矛盾はなく (Vida et al. 2019 他)、比較的高速だが脱出速度 (~600 km/s) より小さい。更に内 2 件以上では、青方偏移成分の出現に伴って白色光フレア増光もあることが初めて検出された。例として、白色光増光と青方偏移成分の出現時刻・継続時間 (~10 分) が同じ場合もあれば、白色光増光が終わってから青方偏移成分が出現する場合もあった。本講演では、飛騨天文台で観測された太陽プロミネンス噴出の Sun-as-a-star 観測とも比較し、M 型星フレアの青方偏移成分の原因・性質を議論する。

[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](#)

## M29a 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 (2021 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), 川手朋子 (核融合科学研究所), 下条圭美 (国立天文台), 高梶真介 (大阪大学), 金子岳史 (名古屋大学), 田辺博士 (東京大学), 上野宗孝 (宇宙航空研究開発機構), 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), PhoENiX WG

磁気再結合は、磁場中に蓄えられて磁気エネルギーを解放し、そのエネルギーを運動エネルギー、熱エネルギーに短時間で変換することが出来るプラズマプロセスである。そしてこの磁気再結合は、効率的な粒子加速のための環境を形成する機構として注目されている。例えば、太陽フレアはこの磁気再結合によって駆動されており、解放された多くの (時に半分以上もの) エネルギーが粒子の加速に使われていることが知られている大変優秀な加速器である。しかし、その加速機構については未だ未解明である。その理由は、太陽フレアのシステムとしての複雑さにある。太陽コロナ中で生じる磁気再結合は、様々なプラズマ構造 (電流シート、プラズモイド、衝撃波、乱流、磁気ループ構造など) を形成するが、これらの各構造はエネルギーの変換器 (加速器) として作用することができる。つまり、加速器としての太陽フレアを理解するためには、これらの構造を取りまとめシステムとして理解する必要があるのである。しかし、これまでの研究は、観測も理論も各構造を切り出した研究しか行われておらず、このため太陽フレアにおける粒子加速は謎のままとして残っている。そこで我々は、観測・理論の両面で、太陽フレアをシステムとして研究する取り組みを行っている。本講演では、これら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](#)

## M30a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の新偏光分光観測システム

一本潔、黄于蔚、山崎大輝、デニス・カベザス、木村剛一、上野悟 (京都大)、川手朋子 (核融合研)

京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) においては、これまで、垂直分光器と水平分光器それぞれに回転式波長板を変調器とする偏光分光装置を開発し、様々な光球、彩層ラインによる太陽活動現象の磁場・電場観測をおこなってきた (ex. Anan et al. 2018, PASJ, 2014, ApJ)。今回我々はその観測性能を向上させるため、いくつかの改修をおこなった。主な変更点は、(1) 口径 70mm の水晶+サファイア波長板を使うことで波面精度を向上させ、(将来の) 広視野化を可能とした (回転機構を新規作成)、(2) DST 第 4 鏡 (クーデ鏡) の傾きをデータ取得と連動して制御することにより、光学系の偏光特性をほぼ変化させることなく 2次元スキャン観測を可能とした、(3) 新しい赤外カメラ (FLIR 社製 A6261) を導入することで近赤外域における測光精度を向上させた、(4) 垂直・水平両分光器で使用可能にしたことである。

観測可能波長は 500nm~1100nm であり、スリット方向の視野は現在のところ 128 秒角である。垂直分光器は高分散・高精度偏光観測に、水平分光器は多波長同時観測に適しているが、今回の報告では、望遠鏡の偏光キャリブレーションがより確実におこなえる垂直分光器による観測例を紹介する。そして、垂直分光器による複数ライン同時観測の可能性および、本装置の特徴を生かして今後優先的に取り組むべき科学課題について議論する。

本装置がドームレス太陽望遠鏡の共同利用において、様々なアイデアによる偏光分光診断に活用されることを期待している。

[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](#)

## M31a 国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 : 近赤外線偏光分光装置 SCIP の偏光試験

川畑佑典, 勝川行雄, 久保雅仁 (国立天文台), 一本潔 (京都大学), 阿南徹 (National Solar Observatory), 日本-スペイン SCIP チーム

2022 年飛行予定の国際大気球実験 SUNRISE-3 に搭載される近赤外線偏光分光装置 SCIP の偏光試験の結果を報告する。SCIP は光球・彩層の 3 次元磁場を高空間分解能で観測し、恒星大気のプラズマ加熱・加速機構の理解を目指す。彩層での微弱な偏光信号をとらえるため、 $3 \times 10^{-4}$  の偏光測定精度を実現する。SCIP の偏光観測の特徴として回転波長板による偏光変調、機上での偏光復調がある。またローリングシャッター式の CMOS カメラ起源の偏光信号のクロストーク除去のためにストークス IQUV に加え R を取得する。本試験では  $\mathbf{S}' = \mathbf{X}\mathbf{S}$  (S:SCIP に入射した偏光信号,  $\mathbf{S}'$ :偏光復調された偏光信号) で定義されるレスポンス行列  $\mathbf{X}$  の決定を目的とする。

本試験を行う上で SCIP への入射光を模擬した入射光学系を構築した。SCIP の直前に設置したワイヤーグリッド偏光板と波長板 (遅延量  $127^\circ @760\text{nm}$ ,  $125^\circ @850\text{nm}$ ) をモーターで回転角度制御を行い、偏光を入射した。偏光板の偏光軸が SCIP のスリットに平行になるように角度原点を設定し、偏光板の角度 4 位置 (0、45、90、135 $^\circ$ )、波長板の角度 17 位置 (22.5 $^\circ$  刻みで 1 回転) の計 68 位置で測定を行なった。入射光学系から入射される理想的な偏光に対して、SCIP のレスポンス行列の 15 要素と入射光学系の波長板の遅延量、軸の角度も含めフィッティングを行なった。光球・彩層における典型的な偏光度を仮定し、Ichimoto et al. 2008 の手法を用いて偏光較正の許容値を設定した。得られたレスポンス行列は直線偏光のクロストーク成分に波長方向のパターンが見られたが、許容値の範囲内であった。再現性や温度依存性についても問題ないことを確認しており、それらの結果についても報告する。今回は SCIP 単体での偏光試験を行なったが、最終的に望遠鏡と結合後に偏光測定を行う。

[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](#)

## M32a A Fast-filament Eruption Observed in the $H\alpha$ Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling

Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto, Ayumi Asai (Kyoto University), Tomoko Kawate (National Institute for Fusion Science), Satoshi Morita (National Astronomical Observatory of Japan), Satoru UeNo, and Kazunari Shibata (Kyoto University)

On 2017 April 23, a fast filament eruption was observed by the Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) onboard the SMART telescope at Hida Observatory. The eruption was captured in a wide spectral window around the  $H\alpha$  line spanning from  $-9$  to  $+9 \text{ \AA}$ , which enabled us to perform an imaging spectroscopy diagnostic. The spectral analysis reveals characteristics of highly blue-shifted plasma up to  $9 \text{ \AA}$ , indicating that the filament was ejected towards the Earth with a velocity of  $\sim 400 \text{ km s}^{-1}$ . The apparent velocity and acceleration are about  $800 \text{ km s}^{-1}$  and  $3.5 \text{ km s}^{-2}$ , respectively, both exhibiting a slow rise and exponential-to-linear evolution. We investigate the dynamics of the filament eruption taking advantage of the unprecedented SDDI data. Based on the toroidal-current model, we also apply a numerical approach to get insight into the action of the governing forces during the eruption, such as the hoop force, tension force, and the effect of the gravitational force. Our preliminary result shows that the observed fast acceleration cannot be fully explained by the existing standard models, suggesting that more elaborated modeling are necessary to interpret with higher accuracy the observational results. This is an important aspect for understanding the physical properties of solar eruptions, especially of those that may generate Earth affecting coronal mass ejections.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M33a SMART/SDDI による太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の観測的研究

白戸春日 (京都大学)、一本潔 (京都大学)、松田有輝 (京都大学)、橋本祐希 (京都大学)

太陽大気は、目で見える表面である光球から、彩層・コロナにかけて温度が急上昇している。そのメカニズムは未だ解明されておらず、彩層・コロナ加熱問題と呼ばれている。これまでの研究で、光球で励起された音波は、磁場の強い領域であれば cutoff 周波数 ( $\sim 4$  mHz) よりも低い周波数の波も、上へ伝播出来ると理論的に考えられている。したがって、波の伝播と磁場の関係を知ることが非常に重要である。このことを踏まえ、本研究では、静穏領域における波の振る舞いを磁場との関係という観点で調査した。

使用したのは、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI で得られた太陽全面撮像データである。用いた波長は  $H\alpha$  線で、コンティニウムの強度や、line center および wing での速度などのパラメータを抽出した。また、 $H\alpha$  center  $\pm 0.5 \text{ \AA}$  の平均強度マップを用いてネットワーク領域 (NR) とインターネットワーク領域 (INR) を定義した。そしてフーリエ解析および位相差解析を行った。

その結果、パワーマップでは、 $H\alpha$  center でも wing でも、3分周期でも5分周期でも、NR で強かった。コンティニウムの強度と  $H\alpha$  center での速度の位相差では、波が cutoff 周波数を境にエバネッセントから上への伝播波に変化すると同時に、INR の方が位相差が大きくなっている様子が確認された。また、2.3 mHz で位相差が 180 度ジャンプしていた。center の速度と wing の速度の位相差では、周波数全体にわたって  $\pm 10$  度以内の非常に小さな値しか検出されなかった。さらに  $H\alpha$  center での強度と速度の位相差では、NR と INR で大きな差が出た。2.3-4 mHz では領域の違いはなかったが、他の周波数ではいずれも INR の方が位相差が大きかった。

[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](#)

## M34a Lyman 線のダブルピーク強度に非対称性を作る彩層速度構造

長谷川隆祥 (東京大学, ISAS/JAXA), Carlos Quintero Noda (カナリア天体物理研究所), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

Lyman 線はコアで強い吸収を受けたダブルピーク形状をとることがある。ダブルピークの強度非対称性に関して  $Ly\alpha$  は短波長側の、これより高準位のもの ( $Ly\beta$  など) は長波長側のピークの強度が強いという傾向が過去の分光観測から確認されている (Tian et al. 2009 など)。ライン形状の非対称性は主に視線上の速度成層に由来するため、この異なる非対称性は彩層速度場のより正確な診断に役立つことが期待される。本研究では BIFROST コードで計算された 3D 大気から発せられる  $Ly\alpha$ ,  $\beta$  を数値的に合成・再現し、両ラインの非対称性と視線速度構造の関係を調べた。さらに、上記の検討で得られた速度成層をもとに次元大気モデル (FAL-C モデル) を修正した上で  $Ly\alpha$ ,  $\beta$  線を合成し、両ラインで異なる非対称性が形成されるメカニズムを検討した。ダブルピーク構造において強度の弱いコアの Red Shift は短波長側の、負の彩層速度勾配 (高度が高くなるにつれて下降流が遅くなる構造) は長波長側のピークを強める働きをするが、観測されている非対称性の違いはこれらの組み合わせによって再現された。 $Ly\alpha$  は高準位のものとはコア反転が深く、コアのドップラーシフトが非対称性に強く影響する一方で、 $Ly\beta$  以上のラインに対しては速度勾配の働きが強い。この違いが異なる非対称性の原因であると考えられる。また  $Ly\alpha$ ,  $\beta$  の非対称性の組み合わせは彩層において下降流が最大値を持つ高度と関係していた。これらの非対称性に着目することは彩層速度成層のより正確な診断に、ひいてはその速度成層を作る大気加熱プロセスの解明に有効となる。2020 年代後半に打ち上げを目指す Solar-C (EUVST) による  $Ly\alpha$ ,  $\beta$  の分光観測によって上記の検討が進むことが期待される。

[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](#)

## M35a 多波長観測と統計平衡コードによるプロミネンスの物理量診断

橋本裕希, 黄于蔚, 一本潔 (京都大学)

プロミネンスは太陽コロナ中に浮かぶ低温高密のプラズマであり、長いものでは数か月に渡り安定して存在する。このことはプロミネンスのエネルギー収支、つまり加熱と冷却がバランスしていることを示しているが、詳しい加熱メカニズムはわかっていない。1つの仮説として波動による加熱が考えられており、実際にプロミネンス中では波動が観測されている (Okamoto et al. 2015)。加熱メカニズムの理解のためにはプロミネンスの温度や密度の時間変化を調べて、この波動の性質 (圧縮性など) を明らかにすることが必要である。

そこで、我々の研究ではプロミネンスの各時刻における温度、密度の空間分布の推定を試みる。そのために京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用い、プロミネンスから放射される  $H\alpha$  6563 Å,  $H\beta$  4861 Å,  $Ca II$  8542 Å の3本の輝線を同時観測した。それぞれの輝線は波長方向に幅を持っているが、これは原子の熱運動によるドップラー効果に起因する。したがって観測された輝線の幅から温度を推定することができる。次に、推定された温度と統計平衡コードを用いて密度の推定を行う。統計平衡とはすべてのエネルギー準位にある粒子が平衡 (定常) となっている状態であり、このコードではある温度、密度、幾何学的厚み、視線速度をパラメータとして持つプロミネンスから放射される輝線強度を計算する。パラメータのうち、温度は上記の輝線幅で求めたものを仮定し、観測された輝線強度を最もよく再現するパラメータを探すことで密度の推定を行う予定である。

本講演では、まず輝線幅から得られたプロミネンスの温度分布の結果を報告する。そして統計平衡コードにより密度など他のパラメータを決定できるかどうか議論する。

[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](#)

## M36a 数値的に解像できない遷移層への対処法と分光観測量への影響

飯島陽久, 今田晋亮 (名古屋大学)

太陽大気において彩層とコロナに挟まれた遷移層は、コロナからのエネルギー損失を決定付ける重要な領域である。コロナで発生した熱は熱伝導により遷移層に輸送され、放射冷却によって宇宙空間に放出されていく。静的な遷移層の厚みは熱伝導と放射冷却の釣り合いから近似的に見積もることが可能であるが、概して遷移層は非常に薄く、特に太陽大気の動的な多次元モデルにおいて十分な空間解像度で遷移層を取り扱うことはほぼ不可能である。そのため、多くの多次元モデルでは遷移層の解像度が不十分な形で計算を実施しているが、数値的な影響で遷移層やコロナにおける電子密度などが大幅に誤って評価されてしまうという問題がある。

本研究ではこの問題への対処法として、遷移層におけるエネルギー収支を保ったまま遷移層を人工的に膨張させることで数値的な悪影響を軽減する新しい手法を提案する。エネルギー収支を保ちつつ遷移層を膨張させるというアイデアは2000年代の初めに提案されているが、問題に依存する自由パラメータを持つこと、遷移層より下の大気層にも影響を与えうる手法であること、極端紫外線やX線などでの観測量への影響が評価されていないことなどの問題があった。本研究では局所的な温度勾配を利用して問題に依存する自由パラメータを排除した新たな計算手法を設計し、活動領域におけるコロナループを模した1次元流体モデルでその性能を評価し、コロナ近似の範囲で輝度や輝線幅などの分光観測量への影響を検討した。その結果、提案手法を利用すれば50–100 km程度の空間格子幅を用いて、十分に遷移層を解像している計算とほぼ同等の結果を得られることが分かった。検証に利用した問題では通常の計算法で遷移層を完全に分解するために100 m以下の格子幅が要求されるが、提案手法を利用することで500–1000倍の格子幅で同等の計算が可能になったと言える。

[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](#)

## M37a Solar-C (EUVST) に向けた EUV スペクトル線仮想分光観測

鄭祥子 (ISAS/JAXA), 横山央明 (京都大学), 鳥海森 (ISAS/JAXA), 原弘久 (国立天文台), 今田晋亮 (名古屋大学), 大場崇義 (国立天文台)

2020 年代中頃の打上げを目指す太陽極端紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST) は、これまでにない高感度・高分解能を持つ。我々は、EUVST が観測から物理情報を引き出す能力を定量的に検討することを目的とし、EUVST が観測する波長域のスペクトル線を用いた仮想分光観測に取り組んでいる。この仮想観測では、数値計算で得られた 3 次元モデル大気に対して、スペクトル線が光学的に薄いという仮定の下、CHIANTI の IDL パッケージを用いた輻射輸送計算を実施している。3 次元モデル大気に対して仮想観測する視線方向を決めれば、視野に渡って、温度・密度・視線速度から決まるスペクトル線が(実際の観測と比較可能な物理単位で)得られる。さらに、仮想観測された線プロファイルから線強度、ドップラー速度、線幅(非熱速度)などを抽出し、もとのモデル大気と比較することで、非熱速度やダイナミクスについて議論できる。

我々は、上記の方法を MURaM コードで得られた 3 次元モデル大気に適用した。その結果、従来の観測 (e.g. ひので/EIS) の空間分解能では解像できない微小スケールの高速成分 ( $\gtrsim 50 \text{ km s}^{-1}$ ) が、EUVST の分解能では検出可能であることが示された。このことは、ナノフレア・彩層蒸発・プラズモイドなど、高速成分を伴う微細な活動現象について、定量的なエネルギー見積りの精度を向上するのに寄与する。さらに、仮想観測で見られるコロナループやその足元領域のドップラー速度および非熱速度について、過去の観測 (Hara and Ichimoto 1999; Hara et al. 2008) と同様の解析を実施して比較するなど、科学課題検討に向けた取り組みを進めている。

[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](#)

## M38a 高速太陽風流源である極域コロナの輝線非熱速度幅の測定

原 弘久 (国立天文台)

衛星軌道上で発生する日食を利用して、コロナホールなどの暗い対象の測定で問題となる周囲からの散乱光の影響を評価することがある。このような軌道上日食中に、極領域のコロナホール上空領域を Hinode 衛星の極端紫外線撮像分光装置 EIS により複数回観測してきている。今回は、この分光観測より得られたコロナ輝線の形状中に現れる輝線の非熱速度幅(輝線速度幅から高電離イオンの熱運動による広がりを取り除いた後に残る幅)について、観測条件の異なる複数の観測を通して考察する。

磁力線の構造が開いた極領域上空では、太陽縁部から動径方向に遠方に行くほどこの非熱速度幅が増加していくことや、1.2 太陽半径程度の距離でその増加が停止することが、これまでに複数の先行研究から報告されている。この動径方向の非熱速度幅の増加部は、磁力線に沿って Alfvén 波が伝播しているとする自然に理解できること、またこの非熱速度幅を使って評価される波動エネルギーフラックス量は、高速太陽風の加速には十分であることが知られている。講演者は、極領域コロナホール上空で発生した衛星軌道上日食を EIS で観測して、装置起源で発生する散乱光の影響を低減した観測条件で先行研究と同様のことを確認している (Hara 2019)。本講演では、極磁場強度が異なる時期に発生した軌道上日食観測のデータ解析を通して、観測から得られた非熱速度幅や波動エネルギーフラックス量を報告する。これらの日食観測から、月による掩蔽を利用しなくても散乱光の影響を考慮せずに解析可能な高度域を特定し、SDO 衛星 HMI や Hinode 衛星 SP など光球磁場観測から求めるコロナ底部の磁場強度、EIS より測定できるコロナ中の電子密度や非熱速度振幅、またそれらから得られる Alfvén 波の波動エネルギーフラックス量の長期変化を観測データのみから得られるようにすることを目標としている。

[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](#)

## M39a 粒状斑間隙からのエネルギー発生を考慮したコロナループの輻射流体シミュレーション

国吉秀鷹, 横山央明 (東京大学), 飯島陽久 (名古屋大学)

コロナ加熱問題は宇宙物理学において重要な課題の一つであり、そのエネルギー輸送の時間スケールにより準静的な DC 加熱と波動による AC 加熱に分類される。これまで下層大気 (光球・彩層) からコロナまでを解く MHD シミュレーションによってその加熱メカニズムが研究されており、以下の二例では DC 加熱を支持する結果が得られている。Dahlburg ら (2016) の研究では足元から人工的にエネルギーを注入することでコロナループの計算をしているが、MHD 波動の励起源である熱対流が計算に含まれていない。また Rempel (2017) は熱対流まで含めてコロナループの計算をしているが、短周期アルフベン波の発生源と考えられている粒状斑間隙を解像出来ていない可能性が残っている。そこで本研究では、熱対流を含めて光球からコロナまでを一貫して解く輻射 MHD シミュレーションを用いて、粒状斑間隙を解像した上でコロナループ中でのエネルギー輸送がどのようにして行われているかを調査した。なお、今回の計算ではコロナ温度の再現は目標とはせず、遷移層における MHD 波動の反射率を一定にするためループ頂上に人工的な高温層を設定してコロナ温度を一定の値に保ちつつ、エネルギー発生・輸送のメカニズムを調べた。その結果、コロナ中のポインティングフラックスについて高周波成分の寄与が無視できず、解像度が高いほどその寄与が大きくなることがわかった。この結果は粒状斑間隙から注入されたアルフベン波による AC 的な寄与が、コロナ加熱において無視できない影響を及ぼし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](#)

## M40a 軟 X 線マイクロフレアの足元から分かること: ひので-IRIS-ALMA 観測から

清水敏文 (ISAS/JAXA), 下条圭美 (国立天文台)

軟 X 線マイクロフレアは、活動的コロナの形成に重要と考えられる微小フレア加熱に対して多温度構造大気がどのように応答するのか、を理解する上で重要である。さらに、足元の高解像度観測は、1つのマイクロフレアに含まれるエネルギー解放の微細構造を理解することを可能にする。本研究は、2017年3月に行われた「ひので」-IRIS-ALMA の連携観測でとらえることに成功したマイクロフレアの足元に着目し、コロナ中での突発的エネルギー解放に対して、遷移層・彩層が加熱ループの足元でどんな応答するのか? を観測的に調査した結果を報告する。「ひので」X線望遠鏡は、長さが約2万kmあるコロナループ1つが増光し、ピーク時の熱エネルギーが  $3 \times 10^{26}$  erg のマイクロフレアを捉えた。この時、「ひので」スペクトロポラリメータ、IRIS スリットジョー撮像装置、および ALMA (100GHz) の狭い視野に、増光ループの一方の足元を捉えることができた。Si IV ( $10^{4.8}$ K) および 100GHz では足元応答信号が明確に観測される一方で、温度が低い C II ( $10^{4.2}$ K) と Mg II h/k ( $10^{4.0}$ K) ではほぼ信号が確認できなかった。また、Si IV と 100GHz の最高増光のタイミングは、軟 X 線が増光を続けている最中である。これらから、熱伝導でなく加速粒子の降り注ぎで遷移層・彩層プラズマの加熱が起きており、大気深くまでは降り注げず、加熱が浅い場所で起きていることが分かる。ALMA から推定される彩層の加熱量は、 $2 \times 10^{24}$  erg と約 1/100 と小さく、多くの解放エネルギーが熱的に分配されたことを示唆している。また、Si IV で見られる足元の増光は、1秒角以下の核状の輝点が4-5個同時に観測されており、またそれらは磁場が弱い場所に位置する。このことから、上空コロナで複数の磁束のシース間でエネルギー解放 (磁気リコネクション) が起動され、その間に存在する磁場が弱い領域に加熱ループとして認識できる構造が現れる描像を描くことができる。

[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](#)

## M41a 野辺山強度偏波計によるマイクロ波円偏波率でみる太陽周期

下条圭美 (国立天文台), 岩井一正 (名古屋大学), 浅井歩 (京都大学), 渡邊恭子 (防衛大学校)

野辺山強度偏波計 (Nobeyama Radio Polarimeters: NoRP) は、1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35, 80 GHz 各周波数における太陽全体からの電波強度と円偏波率を測定する装置である。このうち 1~9.4 GHz の観測は、1950 年代に名古屋大学空電研究所で始められた太陽モニター観測を引き継いでおり、最も古い 3.75 GHz では 2021 年 11 月に観測期間が満 70 年となる。NoRP の観測データは、これまで主に粒子加速研究に使われてきたが、長期データを使いマイクロ波強度スペクトルの太陽周期変動研究も行われている (Shimojo et al. 2017, ApJ, 848, 62)。太陽全体からのマイクロ波放射の長期変動データは、太陽類似星のプレートデータであり、系外惑星の宇宙天気・気候さらにはハビタビリティを調べる上で基準となるであろう。しかし、電波強度の太陽周期変動は研究されてきたが、NoRP のもう一つの観測量である円偏波率の太陽周期変動は調べられていない。次期大型電波干渉計では偏波率検出精度が 1% 以下になることが想定されており、強度と同様に太陽類似星の偏波率プレートデータが必要とされるだろう。そこで我々は、NoRP のデータ収録システムがデジタル化された 1994 年以降のデータを使い、マイクロ波における円偏波率での太陽周期変動を調べた。

太陽フレアが発生している時間帯を省いて解析をした結果、極大期には 3.75 GHz において最大 ± 3% 程度の円偏波率が観測されることがわかった。また極大期の偏波率は 3.75 GHz での値が最大で、3.75 GHz から周波数が離れると偏波率が小さくなることがわかった。ただし電波強度が強くても偏波率が低い場合があり、これは異なる極性を持つ黒点からの異なる極性の円偏波放射により偏波信号が相殺されるためである。講演では、X 線強度や黒点数と円偏波率の関係性を示し、マイクロ波強度・円偏波率と太陽活動の関係を議論する。

[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](#)

## M42a 2017 年・2019 年の皆既日食における白色光コロナの測光・偏光測定

花岡庸一郎 (国立天文台), 坂井美晃 (千葉県立市原高校), 高橋浩一 (花山星空ネットワーク)

太陽の K コロナの輝度は、コロナプラズマ電子密度の分布を、その温度に関係なく反映する重要な情報である。現在、地上・宇宙のコロナグラフで K コロナの輝度は定常的に測定されているが、地上では内部コロナのみ、宇宙では外部コロナのみの測定となり、全体の情報を得ることは困難である。その点、皆既日食は、太陽のリムのすぐ外側から数太陽半径までの広範囲を低散乱光下で測定できる、稀有の機会である。

我々は、この K コロナ輝度の測定のため、2017 年 8 月 21 日及び 2019 年 7 月 2 日の皆既日食において、プロアマチュアの連携による多点観測を試み、それぞれ 2 か所で、白色光コロナの測光に加え偏光測定を行うことに成功した。生の測定データは K コロナの他、F コロナと背景の空が混ざったものであるため、偏光と輝度の波長特性を利用して、空を取り除いて K+F コロナの輝度と K コロナの偏光成分を求め、さらに K コロナと F コロナの分離を試みた。それぞれの日食において 2 か所のデータはよく一致しており、またともに太陽活動極小期に起こった 2 つの日食の結果は整合するものであった。

我々の結果は、他の日食の観測や地上コロナグラフのマウナロア太陽観測所 K-Cor の結果とは一致したが、SOHO 宇宙機の LASCO C2 の結果との比較では、K+F コロナ輝度は一致したものの、K コロナの偏光成分は、LASCO の方が約 30% 小さい、という結論となった。K コロナの偏光成分はまさにコロナプラズマの量を反映したものであるため、広範囲のコロナをとらえることができる日食の観測によってその高精度な定量化を実現することで、コロナプラズマの生成機序にもとづいてコロナ加熱のシミュレーションで再現すべきコロナの姿を示すことや、真のコロナ長期変動の理解が可能となる。

[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](#)

## M43a 深層学習を用いた太陽フレア予測モデルによる予報運用評価

西塚直人 (情報通信研究機構), 久保勇樹 (情報通信研究機構), 杉浦孔明 (慶應義塾大学), 田光江 (情報通信研究機構), 石井守 (情報通信研究機構)

太陽フレアの発生機構の解明は太陽物理の長年の課題であり、発生機構の理解を高めることでその予測可能性も高められると考えられている。その一方で、近年は統計的手法や機械学習手法を用いてフレアの予測性能を高め、そこからフレア発生機構を解明しようとするアプローチも活発に研究が行われている。我々は太陽衛星観測データと深層学習手法を用いることで、24時間以内に発生する C クラス以上、M クラス以上の太陽フレアを決定論的予報するモデル Deep Flare Net (DeFN) を開発し、人手を超える予測精度 (M クラス以上フレアに対してスキルスコア TSS=0.80) を達成することに成功した (日本天文学会 2018 年秋季年会 M03a 西塚ら)。さらにそれを基に予報運用システムを完成させ、2019 年に予報運用を開始した。

本講演では 2019 年 1 月~2020 年 6 月の間に行った DeFN の予報運用結果について、予測精度の評価と検証を行った。予報運用では 2010~2015 年の過去データをもとに作成した予測モデルを固定して使用し、リアルタイムで取得した SDO 衛星データをもとに 6 時間毎にフレア予測を行った。約 1 年半の期間、予報システムは安定運用を継続し、その間 M クラスフレアが 1 回、C クラスフレアが 24 回発生した。運用前と同様に評価を行ったところ、C クラス以上のフレアに対して確率予報閾値 50% で TSS=0.70 (閾値 40% で TSS=0.84) を達成できていることが確認できた。さらに本講演では、機械学習を用いた予報運用モデル開発にあたり有効な、時系列分割交差検証という手法を提案する。複数の時系列分割データを用いて評価することで、汎化誤差を小さくできる。最後に予報的中した場合としなかった場合の例を示し、フレア発生の予測可能性やフレア発生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](#)

## M44a 数値モデルを用いた太陽フレア放射による電離圏変動の検証

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 陣英克 (情報通信研究機構), 河合敏輝, 今田晋亮 (名古屋大学), 川手朋子 (核融合科学研究所)

太陽フレアに伴う X 線と極端紫外線 (EUV) 放射は、地球電離圏の物理組成を変化させることによって突発的電離圏擾乱などの宇宙天気現象を引き起こす (Dellinger 1937)。電離圏擾乱にはフレア放射の総エネルギーが影響するため、フレア放射が電離圏変動へ与える影響を正確に見積もるためには、フレア放射スペクトルだけでなく、その時間発展を正確に把握することが重要である (Qian et al., 2011)。

そこで我々は、CANS1D のフレアパッケージ (<https://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~yokoyama/etc/cans/>) と CHIANTI 原子データベース (Dere et al., 1997, 2019) を用いて、フレアの X 線・EUV 放射スペクトルを導出する手法を構築した (Kawai et al., 2020)。この提案手法による計算結果と SDO/EVE MEGS-A で観測されたフレア放射スペクトルデータを 21 例のフレアについて比較・検証を行なった。この結果、フレア発生時に支配的な 5.5 - 35.5 nm 帯の Fe ラインのフレア時間積算強度と立ち上がり時間を再現できた (Nishimoto et al., 2021)。

次に、フレア放射が電離圏変動へ与える影響を調べるために、提案手法によって再現されたフレア放射スペクトルを大気圏-電離圏結合モデル GAIA (Jin et al., 2011) に入力し、電離圏の全電子数 (TEC) 変動の計算値と観測値を統計的に比較した。この結果、35 nm より短い波長領域のフレア放射が TEC の変動量を決定していることが明らかになった。

本講演では、数値モデルによって再現した様々なフレア放射スペクトルに対する地球電離圏の応答の変動に関する統計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](#)

## M45a 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いた“星としての太陽活動現象”と $H\alpha$ スペクトルの対応に関する研究

天津天斗, 浅井歩, 今戸智也, 一本潔, 石井貴子 (京都大学), 行方宏介 (国立天文台)

近年では、太陽に比較的似た恒星でも太陽フレアのような突発的な増光現象が数多く観測されており (Maehara et al. 2012, Nature), 最大級の太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーを放出することからスーパーフレアとよばれる。恒星フレアの研究では表面を空間分解して観測することはできない。そのため、空間分解して観測可能な太陽のデータが恒星フレアの研究に役立つと期待される。こうした観点から、行方ら (日本天文学会 2020 年秋季年会 N12a, 2021 年春季年会 N03a) はフレアやプラズマ噴出現象についての恒星と太陽のスペクトルの比較を行っている。その結果、太陽のプラズマ噴出観測例と定性的によく似た現象が恒星でも確認された。このように太陽活動現象について、空間積分スペクトルとの対応を調べることは、恒星観測結果の解釈の鍵となる。

本研究では、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI の  $H\alpha$  太陽全面像 (波長分解能  $0.25\text{\AA}$  で  $H\alpha \pm 3\text{\AA}$  or  $9\text{\AA}$  の範囲のスペクトルも取得可能) のデータを空間積分することで、フレア、ディスク内の静穏/活動領域フィラメント噴出、リム外のプロミネンス噴出など様々な太陽活動現象について、空間積分した  $H\alpha$  スペクトルとの対応を調べた。その結果、空間積分した  $H\alpha$  スペクトル上にフレアは高速成分をもたない増光として、ディスク内の噴出/落下はそれぞれ blue/red 側の吸収として、リム外への噴出は視線速度を持つ場合 shift した増光として現れることなどを確認した。このように、太陽の場合空間積分しても現象ごとの差異を確認可能であるため、空間分解不可能な恒星でも活動現象を識別できる可能性が示唆される。また、空間積分範囲を自由に変更できるという利点を生かし、どの程度のサイズの現象まで積分スペクトル上で検出可能か、という点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](#)

## M46a 太陽フレア、恒星フレアのエネルギー頻度分布

桜井 隆 (国立天文台)、鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構)

2021 年の春季年会では、太陽黒点の大きさ (磁束) の出現頻度 (1874-2017 年) の分布関数について議論し、近似的にはべき乗則だが、大面積の極限では指数関数的に減少すること、従って太陽黒点の面積には実質上は上限 (17000 MSH 程度) が存在することを示した。今回、同じ手法を GOES 衛星の軟 X 線フレアデータに適用した。類似の解析には例えば Veronig et al. (2002) 等があるが、焦点は主にべき指数が 2 以上か以下かにあり、べき乗則の可否は議論されていなかった。

1975 年からある GOES peak flux ( $\text{W m}^{-2}$ ) のデータは時間積分した全放射エネルギーではないので、1997 年から公開されている fluence ( $\text{J m}^{-2}$ ) のデータを用いる。fluence  $F$  の確率分布を  $\text{PDF}(F) = C(F/F_0)^{-\alpha} \times \exp[-\beta(F - F_0)/F_0]$  という形 ( $F_0 = 1.0 \times 10^{-2} \text{ J m}^{-2}$  とする) と仮定すると、 $\alpha = 1.92 \pm 0.04$ 、 $\beta = 0.005 \pm 0.002$  となった。べき指数は Veronig et al. (2002) が求めた 1.88 と近い。fluence の上限値は  $1\sigma$  の誤差を考慮して大きめに見積もっても  $4 \times 10^1 \text{ J m}^{-2}$  くらいになり、粗い対応では X250 くらいが太陽で起こりうる最大フレアである。

同様の解析を、太陽類似星のスーパーフレアについての Shibayama et al. (2013), Maehara et al. (2015) の論文に付随のデジタルデータについても行った。一つの恒星についてのデータではないため単純な比較はすべきでないが、前者で  $\alpha = 1.41$ 、 $\beta = 0.078$ 、後者で  $\alpha = 1.16$ 、 $\beta = 0.025$  という結果を得た。これらのサンプルでは  $10^{36}$  erg に達するフレアが観測されているが、しかし得られた頻度分布関数が正しければ、いくら待っても  $10^{37}$  erg のフレアは起こらない。

[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](#)

## M47a Constrained-Transport 法を用いた磁気流体力学緩和法の開発

三好隆博 (広島大学), 井上諭 (ニュージャージー工科大学), 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構), 草野完也 (名古屋大学)

磁気流体力学 (MHD) 緩和法は、光球面ベクトル磁場から太陽大気磁場を再構成する強力な数値手法である。実際に非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) モデルに基づく実データ解析 [e.g., Inoue, et al., 2018] に実用化されている。また、圧力および重力を含む磁気静水圧平衡を満足する非フォースフリー磁場 (NFFF) モデルへの拡張も検討される [Miyoshi, et al., 2020]。

MHD 緩和法では、摩擦項または粘性項を含む簡略化した MHD 方程式の初期値境界値問題の収束解として、境界条件に適合した平衡場へと緩和する。特に磁場については、通常の MHD 方程式の誘導方程式に従って時間発展するため、各時刻においてソレノイダル条件を数学的には満足する。しかし、境界条件の取り扱いに起因して、従来の数値スキームでは磁場のソレノイダル性が保証されず、追加の処理が必須であった。そこで本研究では、ロバストな数値スキーム [Miyoshi, et al., 2020] と Constrained-Transport (CT) 法 [Gardiner & Stone, 2005] を用いることによって、ソレノイダル条件を自動的に満たす磁気流体力学緩和法を開発した。

NLFFF の半解析解 [Low & Lou, 1990] との比較検証によって、本研究で開発する CT 法が高い性能を発揮することを示した。さらに太陽浮上磁場 MHD シミュレーション [Toriumi & Takasao, 2017] から抽出した光球面ベクトルを用いて NFFF を外挿し、シミュレーションデータとの比較によって、時間変化する光球面ベクトル磁場に対する適用可能性について検討した。

[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](#)

## M48a 次世代太陽風観測装置による太陽圏研究

岩井一正, 徳丸宗利, 藤木謙一 (名古屋大学)

太陽風中の擾乱が電波を散乱することで遠方の電波天体を観測中に検出される惑星間空間シンチレーション (IPS) 現象はグローバルな太陽風分布を調べるうえで有効な手法である。名古屋大学では 327MHz 帯域において、最大約 4000 平方メートルの物理開口面積を持つシリンドリカルパラボラアンテナからなる独自の IPS 観測装置を開発し、国内 3 カ所に設置することで、地上電波観測から太陽風の研究に取り組んできた。本研究では、次世代の太陽圏研究をリードするために大幅に性能を向上させた次世代観測装置の検討を行った。太陽風の加速機構解明のためには、惑星間空間における太陽風と太陽における流源領域の関係を解明する必要がある。IPS 観測ではトモグラフィーの手法を用いて太陽圏における太陽風の分布を導出できるが、既存装置で得られる IPS データを太陽表面に投影すると 2-3 分角の空間分解能に相当する。これは活動領域やコロナホールなどの大きな構造を分解する事は可能だが、活動領域近傍の上昇流など太陽風の速度分布に関与しうる磁場構造の空間スケールを分解するには 1 分角以上の分解能の太陽風分布が必要である。太陽風分布の空間分解能は IPS の観測天体数の平方根に概ね比例する。そこで、次世代装置は現在の 10 倍の IPS 観測数を実現し、空間分解能として約 3 倍を実現することを目標とする。そのために、広視野な平面フェーズドアレイのアンテナ系と、複数の電波天体を同時に観測できるデジタルマルチビームの信号処理系を採用し、IPS 観測数を大幅に増加させる。本計画に向けてデジタルバックエンドの実証実験機を開発し、8ch の入力信号の利得・位相差を校正し、特定の方向に対してビシ網形成できるデジタルフェーズドアレイ装置が完成した。基準信号を用いた実験では想定した性能を達成していることが確認された。今後はアンテナを用いた実験等を実施する予定である。

[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](#)

## M49a ICME 磁場の变形に関するシミュレーション研究

森美南 (名古屋大学), 塩田大幸 (NICT), 草野完也 (名古屋大学)

コロナ質量放出 (CME) は宇宙天気擾乱の主たる原因の一つである。特に CME 磁場の南向き成分は磁気嵐の原因となるため、宇宙天気を予測する上で非常に重要である。しかし、惑星間空間における CME (ICME) の磁場構造がどのようなメカニズムでどれほど変化するのは十分に理解されていない。そこで、本研究では ICME と背景太陽風の相互作用に注目し、ICME 磁場構造を变形させる基本的なメカニズムを解明することを目的として、SUSANOO-CME (Shiota & Kataoka, 2016) を用いた内部太陽圏における CME 伝播 MHD シミュレーションを行った。CME と太陽風の相互作用の基本的なプロセスを探るため、以下の2点を仮定した。まず、太陽風の複雑な非等方性の影響を避け、背景太陽風の速度と磁場を等方と仮定した。また、計算領域の内側境界から入射する CME 内部のスフェロマック磁場の主軸は太陽赤道に沿っていて、西または東向きであるとした。磁場を持たない背景太陽風に磁場の向きを変化させた CME を入射した計算 (シリーズ 1) と、同じ CME を異なる強さの磁場を持つ背景太陽風の中に入射した計算 (シリーズ 2) を行った。シリーズ 1 の結果、CME 入射直後の初期段階において、スフェロマックの前面の磁束が太陽風との相互作用で運動方向に圧縮を受けると共に横方向へ拡大することが見出された。一方、シリーズ 2 の結果、背景磁場が強まるほど CME の磁束は徐々に回転し、スフェロマックの主軸が動径方向に傾く傾向が見られた。この変形はスフェロマックにおける "tilting instability" の結果と考えられる。これらの計算結果は太陽風との流体相互作用のみならず磁気流体相互作用が ICME の磁場変形に大きな影響を与えることを意味している。これらの相互作用が宇宙天気擾乱に与える影響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](#)

## M50a マクスウェル方程式から導出した MHD 方程式

柴崎清登 (太陽物理研)

電磁場中の荷電粒子系である磁化プラズマの運動を記述する MHD 運動方程式は、流体の運動方程式に電磁力を加えて得られる。一方電磁場中の荷電粒子は、電荷・電流・磁気モーメントを介して電磁場と相互作用するので、電磁場の方程式であるマクスウェル方程式から MHD 方程式を導くことができるはずである。本研究では物質中のマクスウェル方程式から始めて、プラズマの磁気モーメント、各種電流 (磁化電流、ドリフト電流等) を求め、最終的に MHD 方程式 (磁場に直交方向) を得る。プラズマに外力が働くとドリフト電流が発生し、このドリフト電流に働くローレンツ力が外力を打ち消す。しかし外力が強いと磁場が運動を始め、電場が時間変動する。時間変動する電場によるドリフトは分極 (慣性) ドリフトと呼ばれ、電荷に依存するので分極ドリフト電流となる。このドリフト電流を加えることにより、MHD 運動方程式が得られる。得られた方程式において、物質の質量密度や圧力を 0 にすると、真空中の電磁場の運動方程式になる。磁場に沿った方向では、流体力学の式に磁気モーメントにかかる力を加えることによって運動方程式が得られる。

[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](#)

## N01a ボルツマン輻射流体計算で探る超新星爆発における原子核組成の影響

原田了 (理研), 住吉光介 (沼津高専), 古澤峻 (関東学院大), 松古栄夫 (KEK)

大質量星の最期の爆発現象である重力崩壊型超新星爆発は、そのメカニズムがまだ解明されていない。最有力仮説はニュートリノ加熱メカニズムであり、中心に形成される原始中性子星からのニュートリノ放射による加熱で爆発が起こるといえる。このシナリオではニュートリノ輸送が重要だが、これまでの数値計算ではこれを近似的にしか取り扱って来なかった。そこで我々はニュートリノ輸送のためにボルツマン方程式を直接解くボルツマン輻射流体コードを開発し、超新星シミュレーションをおこなってきた。特に、Harada et al. (2020) においては高密度物質の状態方程式モデルを変えた2つの超新星シミュレーションを行い、原子核組成の取り扱いも爆発の可否などに影響する可能性を指摘した。

一方で、先行研究では原子核組成のみならず核力のモデルも違うものになっていたため、原子核組成の影響を純粋に調べられたわけではなかった。そこで本研究では、核力モデルを揃えて原子核組成の取り扱いのみ変えた状態方程式に基づく超新星シミュレーションを行い、どのような違いが出るかを調べた。特に、先行研究においてコアバウンス直後の即時対流が爆発に大きな影響を与えていたことを踏まえ、バウンス後 20 ms までの振る舞いに着目した。本講演ではこれらの結果を詳説する。

[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](#)

## N02a 重力崩壊型超新星における核崩壊に伴う核 $\gamma$ 線・電子捕獲 X 線の検出可能性

藤本 信一郎 (熊本高専), 勝田 哲, 寺田 幸功 (埼玉大学)

重力崩壊型超新星 (CCSN) 爆発は大質量星の進化の最終段階である。典型的な爆発エネルギー  $E_{\text{exp}}$  は  $10^{51}$  erg に達し、爆発に伴い様々な元素を生成・放出する。超新星 SN1987A における放射性元素  $^{56}\text{Ni}$  の崩壊に伴う核  $\gamma$  線の検出により、爆発的元素合成により生成される  $^{56}\text{Ni}$  が超新星の主要な熱源であることが観測的に確認された。さらに  $^{57}\text{Ni}$  および  $^{44}\text{Ti}$  崩壊に伴う核  $\gamma$  線が検出され、爆発的元素合成シナリオが大筋正しいことが観測的に証明された。また球対称計算の予想より早期の  $^{56}\text{Ni}$  崩壊  $\gamma$  線検出から放出物内部の物質混合が示唆された。

本研究では、CCSN 爆発放出物内の放射性元素崩壊に伴い直接的に放射される核  $\gamma$  線に加えて、電子捕獲崩壊に伴う (間接的な) X 線 (EC X 線) の Flux を見積り、現在および近い将来の検出可能性を議論し、観測的に重要な放射性元素を特定した。15, 25  $M_{\odot}$  をもつ2つの親星に対して、それぞれ2つの  $E_{\text{exp}}$  ( $\sim 10^{51}$  erg) の計4モデルに対して、球対称 CCSN 爆発計算および元素合成計算を行い、CCSN 放出物内の放射性元素の組成進化および放出質量を見積った。さらに核  $\gamma$  線および EC X 線進化を計算し、以下の核  $\gamma$  線・EC X 線の検出可能性を示した; (1) AMEGO 衛星の将来 survey 観測による SN1987A における核  $\gamma$  線 ( $^{60}\text{Co}$  (1332/1173 keV)・ $^{59}\text{Fe}$  (1099/1292 keV)) および超新星残骸 Cas A における  $^{59}\text{Fe}$  (1099/1292 keV) 核  $\gamma$  線, (2) NuSTAR 衛星による SN1987A における EC X 線 ( $^{55}\text{Fe}$  (5.9 keV)・ $^{44}\text{Ti}$  (4.1 keV)) および系内超新星残骸における EC X 線 ( $^{59}\text{Ni}$  (6.9 keV) および  $^{44}\text{Ti}$  (4.1 keV)), (3) 近傍銀河 ( $\sim 1$  Mpc) における  $^{57}\text{Co}$  (14.4/122 keV) 核  $\gamma$  線および  $^{55}\text{Fe}$  (5.9 keV) EC X 線。ただし、以上の結果は散乱・吸収による減光を無視しており、特に爆発初期の EC X 線については、吸収の影響を考慮する必要がある。

[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](#)

## N03a 多次元対流効果を導入した超新星爆発の球対称 1 次元シミュレーション

佐々木俊輔 (総研大, 国立天文台)

大質量星は進化の最終段階に、超新星爆発を引き起こす。その爆発のエネルギー源は自らの重力で爆縮し解放される莫大な重力エネルギーである。この 10 年で非常に研究が進んでいるが、これらの現象の機構はまだ完全に解明されていない。ニュートリノの輻射輸送や対流などの複雑な流体現象が爆発に本質的な役割を果たしていると考えられ、研究の技術的難易度が非常に高いことが理由である。標準的な重力崩壊型の超新星爆発はニュートリノ加熱により起こると考えられている。この機構の解明を目指して詳細なシミュレーションを行う時、ニュートリノと物質の相互作用を三次元の多くの計算グリッドで計算するため、計算コストは莫大なものとなる。最近の研究では 1 モデルあたりの計算資源を減らすため球対称近似を取り入れ、3 次元対流の効果を取り入れた 1 次元シミュレーションが開発されている。我々の研究目標は超新星爆発の理論研究において最も重要である爆発を起こす親星の質量の決定である。また爆発のシステムティックな理解を深めることも目的とする。本研究では計算コストを抑えた超新星爆発の多次元的対流効果を取り入れた 1 次元シミュレーションを行った。その結果、拡散係数が超新星爆発の重要な物理量 (爆発のエネルギー、ニッケルの生成量、爆発の親星依存性等) に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。拡散係数は超新星爆発のモデル計算においてこれまで重要視されていなかったパラメータである。今後、より正確な第一原理に基づく現象論的モデルの開発と爆発メカニズムのシステムティックな理解を進め、より現実的に爆発可能な親星の質量を決定する。今回は本研究の成果について最終的な研究目標との対応関係を中心に紹介し議論する。

[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](#)

## N04a Ia-CSM 型超新星 SN 2020uem の測光・分光・偏光観測に基づく CSM 構造

宇野 孔起, 前田 啓一, 川端 美穂, 山中 雅之, 磯貝 桂介, 田口 健太 (京都大学), 中岡 竜也, 川端 弘治 (広島大学), 長尾 崇史 (University of Turku), 田中 雅臣 (東北大学), 青木 賢太郎 (国立天文台)

Ia 型超新星は、近接連星系をなす白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達した際に生じる熱核暴走反応により引き起こされる爆発である。近年、従来の Ia 型超新星の親星シナリオでは説明できないほどの大量の星周物質 (CSM) を持つ Ia 型超新星 (以下、Ia-CSM 型超新星) が報告されている。

Ia-CSM 型超新星のスペクトルは、通常の Ia 型超新星に特徴的な Fe や Si、Mg といった輝線・吸収線に加え、狭く強い水素輝線を示す。また、長期間に渡り約  $10^{43}$  erg/s という高い光度を示すという特徴を持つ。こうした特徴は Ia 型超新星と高密度な CSM の相互作用に由来するものであるが、観測例の少なからず Ia-CSM 型超新星の詳細な爆発メカニズムや CSM の構造などはわかっていない。

我々は 2020 年 9 月 22.6 日 (UT) に ATLAS サーベイにより発見された Ia-CSM 型超新星 SN 2020uem について、京都大学せいめい望遠鏡・広島大学かなた望遠鏡・国立天文台すばる望遠鏡を用いた可視・近赤外の測光・分光・偏光観測を行った。かなた望遠鏡による可視光測光観測結果から見積もられる光度は約  $10^{43}$  erg/s であり、典型的な Ia-CSM 型超新星の光度と一致する。また、せいめい望遠鏡による分光観測から、SN 2020uem は Ia-CSM 型超新星の代表例である SN 2005gj とよく似たスペクトルを示すことがわかった。さらに、発見から約 100 日後に行ったすばる望遠鏡 FOCAS による偏光分光観測により、SN 2020uem は最大 2% ほどの強い偏光度を示すことがわかった。また、波長依存性は顕著ではない。以上の結果から、高密度で非球対称な CSM 構造が示唆される。

本公演では他の Ia-CSM 型超新星との比較や、観測結果から導かれる CSM 構造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](#)

## N05a 電子捕獲型超新星 2018zd

平松大地, D. Andrew Howell (UCSB/LCO), Schuyler D. Van Dyk (Caltech/IPAC), Jared A. Goldberg (UCSB), 前田啓一 (京都大), 守屋堯, 富永望 (国立天文台), 野本憲一 (東京大・Kavli IPMU), 他 Global Supernova Project

恒星進化論において、8太陽質量以下の星は白色矮星として、10太陽質量以上の星は重力崩壊型超新星として終焉を迎えることは広く知られている。理論上、その境界である8–10太陽質量の星は超漸近巨星分枝星へと進化した後、酸素・ネオン・マグネシウムで構成される縮退中心核で起こる電子捕獲反応によって重力崩壊を起こし、電子捕獲型超新星として爆発することが約40年前から予測されている (Miyaji et al. 1980)。しかし、それらの恒星進化は複雑な質量放出や核反応に支配され、実際にどのような形で終焉を迎えるのかは未だ謎に包まれている。また、理論予測に対応する天体として超新星 1054(かに星雲) が示唆されているものの、現代において超漸近巨星分枝星又は電子捕獲型超新星として有力視されている候補天体は数少ない。

本研究において、我々は超新星 2018zd の詳細な観測を通して、電子捕獲型に由来する可能性が極めて高いことを発見した (Hiramatsu et al. 2021)。爆発前に撮像された親星、爆発直後の紫外線色指数と可視光スペクトルは高密度かつ重元素豊富な星周物質を持つ超漸近巨星分枝星の特徴と類似し、可視光光度曲線と後期スペクトルは低エネルギーかつ中性子に富んだ元素合成を伴う電子捕獲型超新星によるものだと結論付けた。この発見は超漸近巨星分枝星と電子捕獲型超新星の存在を強く示すものであり、恒星進化論を始め、超新星爆発機構、銀河化学進化、中性子星分布などにも影響を与えるものである。本講演では、超新星 2018zd の観測データや理論モデル、電子捕獲型超新星の発生頻度、また、今後の展望等について議論する。

[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](#)

## N06a 金属欠乏星の Ni/Fe 組成比による低金属量環境での電子捕獲型超新星レートの制限

鈴木昭宏 (国立天文台), 平松大地 (カリフォルニア大学サンタバーバラ校), 守屋堯, 滝脇知也, 富永望 (国立天文台)

電子捕獲型超新星は8–10太陽質量の星がsuper-AGB段階を経て、ONeMg中心核で起こる電子捕獲反応によって重力崩壊し、爆発に至る現象である (Miyaji et al. 1980)。このタイプの超新星は中小質量星と大質量星との中間にある星の最終進化段階として理論的に提案され、かにパルサーを生んだ超新星 (SN 1054) は電子捕獲型超新星だったのではないかという説が議論されている。したがって、8–10太陽質量の星の進化経路を制限する上で重要な天体であるが、対応する超新星としてはこれまでにいくつか候補天体が報告されているに過ぎなかった。しかし最近になって、SN 2018zd が発見され、その光度曲線や可視光スペクトルの特徴が理論的な予想とよく一致していたため、電子捕獲型超新星の極めて有力な候補天体として議論されている (Hiramatsu et al. 2020)。

電子捕獲型超新星での爆発的要素合成によって生成される元素の特徴は高い Ni/Fe 比である ( $[\text{Ni}/\text{Fe}] > 1.0$ )。これは、電子捕獲型超新星の自己無撞着な爆発シミュレーションから示唆されるとともに SN2018zd の可視光スペクトルにおいても確認されている。一方で、銀河系内の金属欠乏星の観測からは、 $[\text{Ni}/\text{Fe}] > 1.0$  となるような高い Ni/Fe 比を示す星は見つかっていない。これは、低金属量環境において電子捕獲型超新星の元素分布の影響のみを受けた次世代の星が多く存在してはいけなことを示唆し、電子捕獲型超新星と通常の重力崩壊型超新星の相対頻度に上限を与える。本研究では、現在までに観測されている系内の金属欠乏星のデータを用いて、約5%という相対頻度の上限を得た。講演では、この制限と恒星進化計算による予想との比較などを議論する。

[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](#)

## N07a 光度曲線の系統的調査に基づく重力崩壊型超新星の爆発機構への制限

齋藤 晟 (東北大学), 田中 雅臣 (東北大学), 澤田 涼 (東京大学), 守屋 堯 (国立天文台)

初期質量が太陽の約 8 倍以上の恒星はその一生の終わりに重力崩壊型超新星と呼ばれる大爆発を起こし、放射性元素である  $^{56}\text{Ni}$  を合成する。これまで重力崩壊型超新星に関する様々な理論的・観測的研究がなされてきたが、その爆発のメカニズムは未だ詳しくは解明されていない。近年の第一原理計算では爆発の再現に成功している例が増えつつあり、それらの結果は爆発のタイムスケールが約 1 秒以上という遅い爆発を示唆している。しかし、このような遅い爆発では超新星爆発時に合成される典型的な  $^{56}\text{Ni}$  の質量 (約  $0.07 M_{\odot}$ ) を説明することができないことを指摘されている (Sawada & Maeda 2019, ApJ, 886)。ただし、この研究では具体的な観測データとの比較はなされておらず、典型値から一般的な傾向を述べるにとどまっていた。

そこで我々は爆発のタイムスケールに制限をつけるために、観測されている超新星の  $^{56}\text{Ni}$  の合成量に着目した。まず、爆発前に外層が剥がれた超新星 (stripped-envelope 超新星) を対象に、今までに取得された全ての撮像観測データを系統的に解析することで、これまでで最大の総放射光度曲線サンプルを構築した。そして求めた総放射光度曲線から、超新星爆発時に放出された物質の質量とその時に合成された  $^{56}\text{Ni}$  の質量を見積もった。さらに流体計算・元素合成計算を行うことで、どのような親星の質量・爆発のタイムスケールが観測結果から得られた放出物質の質量と  $^{56}\text{Ni}$  の質量を再現するかを調べた。この計算結果と観測の結果を比較することによって、観測されている重力崩壊型超新星の  $^{56}\text{Ni}$  の合成量を説明するためには爆発のタイムスケールが約 0.3 秒以内であることが必要だと分かった。

[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](#)

## N08a X 線による超新星残骸 Cassiopeia A における高エントロピー上昇流の発見

佐藤寿紀 (立教大), 前田啓一 (京都大), 長瀧重博 (理研), 吉田敬 (京都大), Brian Grefenstette (JPL), Brian J. Williams (GSFC), 梅田秀之 (東京大), 小野勝臣 (理研), John P. Hughes (Rutgers U.)

約 8 太陽質量を超える大質量星が最期に起こす重力崩壊型超新星の爆発機構は、宇宙物理学における未解決問題であり、その解明に向け理論的にも観測的にも活発に議論されてきている。近年の多次元超新星シミュレーションでは、中心から大量に放出されるニュートリノの一部のエネルギーが物質を加熱し、超新星爆発を引き起こすというシナリオが最も有力になっている (Janka et al. 2016 など)。しかし、その加熱機構を裏付ける観測的証拠はこれまで無かった。今回我々は、ニュートリノ加熱時に作り出されたであろう高エントロピーの上昇流の痕跡を超新星残骸 Cassiopeia A に発見し、その爆発機構の核心をつく結果を得た (Sato et al. 2021, Nature)。

本研究では、Cassiopeia A に存在する外側に剥き出しになった鉄リッチな構造 (Hwang et al. 2003, ApJ など) に着目した。鉄は爆発時の最も内側の領域で合成されるため、爆発中心部での非対称な効果で外側へ押し上げられた可能性が高い (Hammer et al. 2010, ApJ など)。我々は、この構造から高エントロピー環境下で合成量が増える Ti と Cr を初めて X 線で検出した。構造内の元素組成を理論計算と比較したところ、ニュートリノ加熱で生み出される上昇流内に確認されるような高エントロピー、かつ陽子過剰な環境での合成量とよく一致した。現段階で、中性子過剰領域での合成を完全に棄却できないものの、得られた多くの結果がニュートリノ照射の影響を受けた組成を支持している。これらの観測と理論の比較から、この構造はニュートリノ加熱によって生み出されたと結論付けた。今回の研究により、超新星最深部の物理パラメータ (エントロピー、電子分率など) を初めて観測から議論できるようになる。将来の X 線観測が、今後どのように超新星研究に貢献できるかも議論したい。

[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](#)

## N09a 大質量星の爆発間際の大規模な質量放出とその後の超新星の光度曲線の研究

武井 勇樹 (東京大学, 理化学研究所), 栗山 直人, 津名 大地, 黄 天銳, 茂山 俊和 (東京大学)

大質量星の中には、超新星爆発を起こす前に大規模な質量放出を起こし、広く知られている定常風モデルでは説明できないほど高密度の星周物質を形成するものが存在している。その中で超新星爆発が起きると、吹き飛ばされた外層と星周物質とが衝突して相互作用し、一般的な超新星と比べて非常に明るく光り輝く。この種類の超新星の光度曲線には星周物質の密度構造が強く反映されるため、光度曲線モデルは比較的暗い活動である親星の爆発直前の振る舞いを知るための重要なツールになる。ところが、相互作用で光る超新星の光度曲線に関する先行研究では、定常風を仮定した星周物質の密度分布や、半径のべき乗則にしたがった分布を仮定した計算が主である。つまり、親星からの大規模な質量放出を具体的に計算して得られた分布を用いた光度曲線の計算例は現在までにはない。

大規模な質量放出を起こすシナリオについて今現在も議論が続けられているため、星周物質の密度分布には大きな不確定性がある。そこで、本研究においては核燃焼によって解放されたエネルギーが星外層に注入された場合に考えられるシナリオを採用して星周物質の物理量分布を計算し、更に得られた星周物質を用いて超新星光度曲線の計算も行なった。その結果、光度曲線は親星の質量や注入エネルギーの大きさ、爆発までの時間等のパラメータに大きく依存することが分かった。これら一連の計算は、我々が開発したパブリックコード CHIPS (Complete History of Interaction-Powered Supernovae) を用いて行われた。本講演では光度曲線のパラメータ依存性を詳しく示すとともに、CHIPS 使用方法の概要を説明する。

[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](#)N10a Ultra-Stripped Supernovae における  $^{56}\text{Ni}$  生成と fallback 質量降着について

澤田涼, 諏訪雄大, 檜山和己 (東京大)

全天サーベイと即時観測の発達により、エジェクタ質量エジェクタ質量が  $\sim 0.1M_{\odot}$  程度と非常に小さい特異な超新星が複数報告されるようになった (e.g., iPTF14gqr; De et al. 2018)。こういった超低質量エジェクタの超新星は Ultra-Stripped Supernovae (USSNe) と呼ばれており、Advanced LIGO/Virgo によって検出された重力波の発生源と関連が示唆されている (Tauris et al. 2013)。ゆえに USSNe の爆発前後のプロファイルの理解は重力波天文学の文脈からも非常に重要である。しかし、どういったエネルギーを光源としているのか不明点が多い。

USSNe はエジェクタ質量が少ないため、爆発エネルギーが  $\sim 10^{50}\text{ergs}$  と比較的小さく見積もられている。また、光度曲線については標準的な超新星に近い  $^{56}\text{Ni}$  ( $\sim 0.03M_{\odot}$ ) で再現できるとされている。しかし、超新星において爆発エネルギーと  $^{56}\text{Ni}$  生成量には強い相関性が知られており、小さい爆発エネルギーで標準的な  $^{56}\text{Ni}$  生成量を達成するには疑問点が残る。そこで本研究では近年の USSNe 第一原理爆発計算に立脚した 1 次元長時間シミュレーションを行うことで、後期の fallback 降着まで加味した  $^{56}\text{Ni}$  生成量の検証と、代替エネルギー源の存在について検討した。本研究の結果、CO-core の小さい親星であれば USSNe の観測データから推定されている  $^{56}\text{Ni}$  生成量を達成することは可能である。その一方で、十分な  $^{56}\text{Ni}$  を生成できない CO-core の大きい親星であっても、fallback 降着からのフィードバックをエネルギー源として、同等のピーク光度 ( $\sim 10^{42}\text{erg/s}$ ) を達成しうることを確認した。本講演では、この結果をもとに中性子星連星合体と USSNe の関わり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](#)

## N11a 爆発から約1年後に赤外超過を示したII型超新星 SN 2017hcc の SED 解析

濱田大晴、大坪一輝、川端弘治、中岡竜也、高木健吾 (広島大)、山中雅之、川端美穂、前田啓一 (京都大)、秋田谷洋 (千葉工大)

宇宙におけるダストはその供給源が明らかになっておらず議論が続いている。このダスト生成源の有力な候補の1つとして、超新星爆発が挙げられる。超新星の中でも、初期からスペクトルに強い水素の輝線が観測されるII型超新星は、超新星噴出物質と爆発前の星が放出した星周物質の相互作用によって明るく輝くことが知られている。稀に赤外超過が観測され、相互作用領域におけるダストの生成や超新星放射を受けた星周ダストによる再放射など複数のシナリオが議論されている。可視・近赤外線による観測は依然として例が少なく、長期のモニター観測が求められる。

我々は、広島大学かなた望遠鏡などでII型超新星 SN2017hcc を極大光度前から2年余りにわたって可視・近赤外線観測を実施した。まずライトカーブより、爆発から約1年後に赤外超過が起こっていることを発見した。この赤外超過成分をダストからの熱放射によるものと仮定し、Spectral Energy Distribution (SED) から超新星とダストの2成分放射モデルの比較検討を行った。その結果、赤外超過のピーク付近では、 $10^{-5}$  太陽質量程度のダストが 1500K の温度を持つことを明らかにした。本講演においては、過去に赤外超過を示した超新星と比較しつつ、星周ダスト放射と新しいダスト生成の両者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](#)

## N12a 超新星後期ニュートリノ放射の解析解

諏訪雄大 (東京大学/京都大学), 原田了 (理化学研究所), 中里健一郎 (九州大学), 住吉光介 (沼津工業高等専門学校)

Neutrinos are a guaranteed signal from supernova explosions in the Milky Way, and a most valuable messenger that can provide us with information about the deepest parts of supernovae. In particular, neutrinos will provide us with physical quantities, such as the radius and mass of protoneutron stars (PNS), which are the central engine of supernovae. This requires a theoretical model that connects observables such as neutrino luminosity and average energy with physical quantities. Here, we show analytic solutions for the neutrino-light curve derived from the neutrino radiation transport equation by employing the diffusion approximation and the analytic density solution of the hydrostatic equation for a PNS. The neutrino luminosity and the average energy as functions of time are explicitly presented, with dependence on PNS mass, radius, the total energy of neutrinos, surface density, and opacity. The analytic solutions provide good representations of the numerical models from a few seconds after the explosion and allow a rough estimate of these physical quantities to be made from observational 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](#)

## N13a 連星系内での超新星爆発の後期観測から得られる連星進化への制限

小形美沙 (早稲田大学), 平井遼介 (モナッシュ大学), 聖川昴太郎 (東京大学)

重力崩壊型超新星を起こすような大質量星はその半数以上が連星系内に存在すると考えられている。連星は連星相互作用によって単独星とは異なる進化を辿るとされているが、連星間距離や質量比に応じて多様で複雑に変化するため、その全貌を明らかにするのは困難である。連星進化を明らかにするためには、観測からのフィードバックが非常に重要になってくる。例えば、超新星爆発直前の連星系の様子が観測されると、そこに至るまでの進化についての制限をかけることが可能となる。また、爆発後の連星の様子から、その後の進化についての理解を深めることも可能である。特に重力波観測で注目を集めている中性子星連星、ブラックホール連星は、超新星爆発を2度は経験した連星系になっており、連星系内での超新星爆発についての理解は、これらの形成を理解する上でも重要である。

そこで本研究では、大質量星連星で重力崩壊型超新星爆発が起きた際、その噴出物によって伴星がどのような影響を受けるのか、そしてそれが系全体に与える影響を調べた。先行研究の流体力学シミュレーションから、超新星爆発によって加熱された伴星の外層は数年から数十年に渡って大きく膨らむことが知られている。この膨張と続く収縮について、1次元の恒星進化計算コード MESA に、先行研究で得られた爆発による加熱の定式化を組み込むことで進化計算を行った。特に、伴星質量や連星間距離といったパラメータの、膨張の半径や持続時間への依存性を調べた。膨張時の最大光度は伴星質量にのみ依存し、膨張を維持するタイムスケールも爆発時に受けるエネルギーと相関があることが明らかになった。このような関係から、今後の超新星爆発の後期観測で膨らんだ伴星が見付かった際に、そこから与えられる爆発前の連星のパラメータについての制限について報告する。

[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](#)

## N14a 連星中性子星形成に至った超新星の、残骸としての長期間進化

松岡知紀, Herman Lee, 前田啓一 (京都大学), 滝脇知也, 守屋堯 (国立天文台)

重力波放射源や r プロセス元素の合成に重要な役割を果たす連星中性子星の形成理論に ultra-stripped supernova scenario がある。これは2つの大質量星からなる連星において、主星の超新星の後に起こる共通外層過程とロッシュローブオーバーフローによって伴星の水素外層・ヘリウム外層の大半を剥ぎ取り、質量の小さい親星を実現するという考え方であり、連星を壊さずに連星中性子星を形成できるシナリオとして有力視されている。近年の突発天体観測態勢・技術の向上に伴い ultra-stripped supernova の候補天体は報告されている一方で、天の川銀河には連星中性子星を持った超新星残骸 (ultra-stripped supernova remnant, USSNR) は見つかっていない。この食い違いを理解するためには、まず USSNR の進化の様子を理論的に調べなければならない。

我々は ultra-stripped supernova の親星の恒星進化モデルを利用し、USSNR の長時間進化を球対称系での流体シミュレーションによって調べた。実現される星周物質はロッシュローブオーバーフローに伴う時間依存する質量輸送率に特徴付けられるため、冪乗即から大きく逸脱する非一様な密度構造を持つ。そして USSNR の衝撃波は星周物質中の伝搬とともに明るい電波放射をもたらすことを示した。一方エジェクタ質量は通常の超新星より小さいため、超新星残骸としての寿命は短い可能性がある。本講演では計算結果とともに USSNR の特徴や寿命、総数、観測可能性を議論する。

[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](#)

## N15a 球対称降着流における熱核反応の役割

茂山俊和, Narenraju Nagarajan (東京大学)

中性子星などの compact object に炭素・酸素が主成分のガスが降着するとき、降着物質の温度密度によっては核反応が起きることが考えられる。とくに、連星系中の大質量星の炭素・酸素中心核に中性子星が飲み込まれた場合には、 $10^8$  K を超える高温のガスが降着する可能性がある。そのときに、球対称定常降着流である、いわゆる Bondi 降着流 (Bondi 1952) が炭素核燃焼の影響を受ける可能性を調べた。状態方程式には星の進化で使われる Helmholtz 状態方程式 (Timmes & Swesty 2000) を用い、核反応としては  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  と  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  のみを考慮した。Bondi 降着流は中心天体の質量 ( $M$ ) と無限遠での比エンタルピー ( $h_\infty$ )、および質量降着率 ( $\dot{M}$ ) を与えれば解が一意に決まるので、質量を  $M = 1.4 M_\odot$  と固定し、ほかの二つのパラメータについて系統的に計算を行なった。その結果、与えられた  $h_\infty$  に対し、 $\dot{M}$  に臨界値  $\dot{M}_{\text{cr}}(h_\infty)$  (およそ  $0.1 - 1 M_\odot/\text{s}$ ) が存在し、それより小さい降着流では、流体の速度は亜音速で落ち始め、遷音速点を通して超音速で中心天体に向かって落ちていく。流体は断熱的に圧縮され温度は内側にいくほど高くなり、中心から 1000 km くらいのところで C に点火するが、流れへの影響は限定的で、そのまま超音速で中心天体に落ちていく。一方、臨界値より大きい質量降着率では、遷音速点の内側で C に点火すると温度が上がるとともに圧力も増加し再度音速点が現れて微分が発散し、中心天体まで降着流が到達しないことがわかった。講演では、この結果が実際の天体現象にどのように結びつけられるかも議論する。

[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](#)

## N16a 高速回転大質量星の最終進化における酸素殻燃焼 3次元流体シミュレーション

吉田敬 (京都大学), 滝脇知也 (国立天文台), David R. Aguilar-Dena (Univ. of Crete), 固武慶 (福岡大学), 高橋巨 (AEI), 中村航 (福岡大学), 梅田秀之 (東京大学), Nobert Langer (Univ. Bonn)

近年、超新星の爆発機構を解明するため超新星爆発直前の数分間にわたる大質量星進化の多次元シミュレーションが進められている。そして、星内部の広いケイ素/酸素対流層における乱流による非球対称効果が超新星爆発に有利に働くことが明らかにされてきた。一方、低金属高速回転星は水素燃焼時に回転の効果により大きなヘリウムコアを形成し、long ガンマ線バーストや超高輝度超新星の親星の候補として注目されている。これまで回転大質量星の多次元進化シミュレーションは 2次元では行われているが、対流層内の非軸対称効果を見るには 3次元シミュレーションを行う必要がある。そこで本研究では低金属高速回転星の約 100 秒にわたる最終進化の 3次元シミュレーションを行い、乱流や回転による星内部の対流層における非球対称の効果について調べた。

我々は初期質量 38 太陽質量、太陽の約 1/50 の金属量比、初期回転速度 600 km/s、という低金属高速回転星 (Aguilar-Dena et al. 2020) の重力崩壊直前約 100 秒にわたる進化の 3次元シミュレーションを行なった。この星では重力崩壊直前に  $(4.7-17) \times 10^8$  cm という広いケイ素/酸素対流層を持つ。この結果、酸素 shell 燃焼によりこの対流層において角度平均した Mach 数で最大 0.135 とという強い乱流が見られた。そして、赤道面では酸素燃焼により生成されたケイ素過剰の物質が spiral arm を形成しながら外側に広がる様子が見られた。動径乱流速度の power spectrum では広い範囲で  $l \sim 3$  という低モードの卓越が見られるとともに、赤道面での密度分布では  $m \sim 1-3$  という低モードの卓越が見られた。また、ケイ素/酸素対流層における角度平均した比角運動量の動径分布が乱流により一定に近い分布に遷移した。発表ではこれら得られ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](#)

## N17a Rate density of tidal disruption events of white dwarfs in the local universe

谷川衝 (東京大学), Mirek Giersz (Nicolaus Copernicus Astronomical Centre), Manuel Arca Sedda (Heidelberg University)

In a tidal disruption event (TDE) of a white dwarf (WD), a WD is torn apart by tidal force of a black hole (BH). WD TDEs can be a promising target of multi-messenger astronomy. They can be gamma/X-ray transients driven by debris accretion, and ultraviolet/optical transients driven by thermonuclear explosion of WDs. They can emit gravitational waves at a frequency of deci-Hertz. Finally, they may be sources of neutrino and cosmic ray. Moreover, WDs are tidally disrupted only by intermediate mass BHs (IMBHs) with  $10^2 - 10^4 M_{\odot}$ . Thus, WD TDEs can be probes for IMBHs.

No conclusive WD TDE has been reported. It will be helpful to show not only the rate density of WD TDEs in the local universe, but also the distributions of IMBH and WD masses and WD compositions. For this purpose, we utilized MOCCA-Survey Database I, which contains more than 2000 star cluster simulations. Star clusters are a candidate harboring IMBHs. Since many WD TDEs happen in the database, we can derive the rate density of WD TDEs and its derivatives, such the rate density differentiated by WD mass.

We found that WD TDEs in each star cluster occur 1000 times efficiency than predicted previously. Eventually, we got the WD TDE rate density in the local universe as  $\lesssim 5.0 \times 10^2 \text{ yr}^{-1} \text{ Gpc}^{-3}$ . Dynamical effects increase the fraction of  $> 1M_{\odot}$  WDs to 20 % despite of small population of such massive WDs. In this talk, we will also discuss about observability of WD TDEs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N18a 新 SiO メーザー検出が示唆する「宇宙の噴水」天体の進化急速進行

甘田 溪, 今井 裕, 濱江勇希, 中島圭佑, 沈 嘉耀 (鹿児島大学), Daniel Tafoya (オンサラ天文台), Lucero Uscanga (メキシコ自治大学), José Francisco Gómez (スペイン高等技術研究院), Garbor Orosz (タスマニア大学), Ross Burns (国立天文台)

AGB 又は post-AGB 段階において、100 km/s を超す高速な双極ジェットを出している天体が水メーザーによって確認されており、「宇宙の噴水」天体と呼ばれている。このような天体は 15 天体確認されており、その空間的・運動学的構造は天体によって様々であることが水メーザーの観測からわかっている。また、その 15 天体の中で唯一 SiO メーザーが検出されていた W 43A では、双極ジェットの根本部分に見開き角が  $\sim 40^\circ$  の双極アウトフローが形成されていることがわかっている。しかし、W 43A の SiO メーザーは現在消えてしまっており、このような天体の中心星近傍の情報はまだ少ないため、その進化状況についてはあまりわかっていない。

我々は、「宇宙の噴水」天体の一つである IRAS 16552-3050 で新たに SiO  $v = 1, 2 J = 1 \rightarrow 0$  メーザー輝線を検出した。野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて 2018 年 12 月からモニター観測を実施していたが、2021 年の 3 月に初めて SiO メーザーを検出した。W 43A の SiO メーザーが消えてしまったことをふまえると、この新 SiO メーザーは、この天体がかしらの進化段階に入ったことを示唆していると考えられる。また、検出した輝線の視線速度は、CO 輝線の中心速度から  $\sim 25 \text{ km/s}$  だけ青方偏移していた。この視線速度のずれと W 43A の SiO メーザーとの比較から、この新 SiO メーザーは高速ジェットが星周ガス縁を貫通したことによって形成されたノズル構造に関係していると考えられ、高速ジェットが最近噴出したことを示唆している可能性がある。今回の新たな SiO メーザー検出は、高速双極ジェットの起源や中心天体の正体を明らかにする大きな手がかりを与える。

[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](#)

## N19a 古典新星 V1405 Cas の最初期のスペクトル進化

田口健太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 前田啓一, 山中雅之, 野上大作 (京都大学), 田實晃人 (国立天文台), 新井彰 (京都産業大学), 磯貝桂介, 柴田真晃, 反保雄介, 小路口直冬, 加藤太一 (京都大学)

古典新星とは、典型的には 1 日以内のタイムスケールで V バンドで 10 等ほど増光する天体である。その後、典型的には数か月から数年ほどかけて元の等級に戻る。この現象は、白色矮星 (主星) と伴星 (主系列星あるいは進化の進んだ恒星) からなる近接連星系において、伴星から水素を主成分とするガスが白色矮星に降着し、白色矮星表面で熱核暴走反応を起こすことで発生すると考えられている。

古典新星 V1405 Cas は中村裕二氏により 2021 年 3 月 18.4236 日 (UT) に発見された。我々は発見 9.5 時間後 (同 18.820 日) に、京都大学附属岡山天文台 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた分光観測によってスペクトルを取得することに成功した。この観測が行われたのは新星爆発直後の急増光段階が終わる前であった。この急増光段階での分光観測はほとんど前例のないものである。

上記の最初期スペクトルには H I、He I の他、N II、N III、He II といった高階電離の輝線が顕著に検出された。発見から 23.6 時間後 (3 月 19.409 日)、34.2 時間後 (同 19.851 日) の我々の追観測では、これらの高階電離の輝線は強度が弱くなっているか、あるいは完全に消失していた。また、H $\beta$  線の青方偏移した吸収成分の速度にも、発見 9.5 時間後のスペクトルと、それ以降のスペクトルとの間で有意な変化が見られた。

本発表では、上述した V1405 Cas の爆発後間もない非常に初期の段階 (発見後最初の 1.5 日間) のスペクトルの進化を報告し、これらのスペクトルの物理的な解釈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](#)

## N20b 太陽型星 EK Dra の長時間スーパーフレアの H $\alpha$ 線分光・可視測光観測 II

行方宏介, 前原裕之 (NAOJ), 本田敏志 (兵庫県立大), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 岡本壮師 (気象庁), 石井貴子, 一本潔, 野上大作, 柴田一成 (京大), 他 OISTER team collaborations

太陽/恒星フレアとは太陽/恒星表面での爆発・増光現象であり、放射線の照射などが地球惑星環境に大きく影響を与えている。これまでの我々の研究により、太陽型星 (G 型主系列星) において観測史上最大級の太陽フレアの 10 倍以上の規模のスーパーフレアが発生しうると示唆されてきた (e.g. Okamoto et al. 2021)。こうした研究から、太陽でスーパーフレアが発生したら地球はどうなるのか? という問題が、近年社会的にも注目されている。これまで我々は、TESS 衛星と京大せいめい望遠鏡の同時観測により、若い太陽型星 EK Dra (自転周期 2.6 日、表面温度約 5730K) で 2 件のスーパーフレアの可視分光データの取得に世界で初めて成功したと報告してきた (行方ら 2020 年秋季年会 N12a, 2021 年春季年会 N03a)。内 1 件は、 $3 \times 10^{34}$  erg の巨大スーパーフレア (最大級の太陽フレアの約 300 倍) であり、2-3 時間もの間白色光と H $\alpha$  強度が同様の時間変化を示すことがわかった。しかし、太陽フレアの場合、H $\alpha$  線は白色光より数倍継続時間が長く、単純な太陽フレアの描像の拡張では説明が難しい。

本講演では、観測されたスーパーフレアの放射源の物理的解釈を議論する。Heinzel & Shibata (2018) により、スーパーフレアの場合はスケール長やループ内密度が高くなりポストフレアループからの H $\alpha$  線・白色光の放射が卓越することが提案されている。彩層表面のフレア放射が星後方に隠され、ポストフレアループからの放射が卓越するケースを考えれば、単一放射源により白色光と H $\alpha$  線が同じような時間変化を示すことも説明できる可能性がある。さらに、我々はせいめい/なゆた望遠鏡で若い太陽型星のモニタ観測を継続しており、2021 年 4-5 月に 3 件の長時間 (~ 数時間) H $\alpha$  スーパーフレアを新たに検出成功したので、本長期計画の進捗も含めて報告する。

[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](#)

## N21a WR140 の X 線スペクトル解析によるプラズマ診断

宮本 明日香 (都立大), 菅原 泰晴 (宇宙研), 前田 良知 (宇宙研), 濱口 健二 (NASA/UMBC), 石田 学 (宇宙研)

Wolf-Rayet (WR) 140 は WC7 型のウォルフ・ライエ星と O 型星が約 8 年の軌道周期で互いの周りを回る連星系であり、大きな質量損失を伴う高速の星風がそれぞれの恒星から放出されている。この星風同士が衝突して衝撃波を形成し、そこで加熱及び圧縮された高温プラズマからの X 線が観測されている。

本研究では、XMM-Newton が 2008 年 5 月から 2016 年 6 月にかけて軌道の一周周期に亘って 12 回観測した WR140 のデータから、RGS1 および RGS2 の 1 次光、2 次光を用いてスペクトルを取得した。RGS で観測できる 2keV 以下の帯域では、O 型星が手前に来るフェーズでのみ明るく、そこで得られたスペクトルを用いて電離した Ne, O 及び Fe からの輝線を調べたところ、最大で  $1300 \text{ km s}^{-1}$  程度の青方偏移と  $1000 \text{ km s}^{-1}$  程度の速度幅が検出された。また、Ne と O の He-like triplet の強度比からプラズマコードを用いてプラズマの電子密度の推定を行った。本発表では、これらの結果を理論的な星風モデルとも比較し、WR140 の X 線プラズマの物理状態や空間分布について得られた知見を報告する。

[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](#)

## N22a 金属欠乏星における s-process の特性とその起源

山田志真子 (北海道大学), 須田拓馬 (東京工科大学), 藤本正行 (北海道大学)

銀河系ハローにおける炭素過剰超金属欠乏星 (CEMP) は、中性子捕獲元素の組成に大きな変動を示す。とりわけ、代表的な s-過程元素とされる Ba と r-過程元素とされる Eu の組成比は、特異な特異な振舞いをする。太陽系物質では、Eu/Ba の組成比は、s-過程と r-過程元素で 2dex ほど異なるが、CEMP 星では、s-過程とされる Eu/Ba 比が太陽系の値より 1.5 dex 程大きな値まで幅広く分布し、r-過程の組成比の中間値を越えることが観測されている。これは、太陽系組成の s-過程合成が、 $\beta$  安定線近傍を通ると考えられていたのに対し、CEMP 星で観測される s-過程過程の合成元素は、中性子密度の高い環境で形成された結果であることが示されている。

s-過程元素合成は、中性子捕獲と  $\beta$  崩壊の競合で決まることには変わりはないが、中性子密度が高くなると、より中性子過剰な同重核が親核として生成されることになり、中性子捕獲断面積の違いにより、組成の変動を生じる。特に、親核が中性子の魔法数に当たる場合は組成が大きくなる。また、偶数核の場合は、中性子過剰の安定な同重核によって、ベータ安定線上の同位体が、中性子過剰な親核のベータ崩壊から遮断されることになる。それとともに、各親核元素は、時間とともに、生成・消滅するわけで、異なる元素の組成比には、その生成・消滅の時間差も効いてくることになる。とくに、親核が中性子の魔法数を超えて移動する場合は、組成比の変動は大きくなる。

本講演では、高中性子密度のもとでの s-過程元素合成過程を記述する方法を紹介し、その一般的な特性について議論する。その結果を踏まえて、CEMP 星の観測との比較考量を通して、宇宙初期の低金属量時代の中性子捕獲元素合成過程の実態を解明する。

[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](#)

## N23a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 II. リチウム組成

青木和光 (国立天文台), Li Haining (NAOC), 松野允都 ( グローニンゲン大学 ), Xing Q-F.(NAOC)

初代星の質量と元素合成、銀河系ハローの形成過程と初期化学進化の解明を目的として、分光探査望遠鏡LAMOSTで検出された金属欠乏星候補をすばる望遠鏡高分散分光器 HDS で追跡観測し、 $[Fe/H] \lesssim 2$  で約 400 天体の組成を測定した。ほとんどの星について Gaia による視差測定から距離の情報が得られ、表面重力や進化段階がよく決定できているのが特長である。今回はリチウム組成について得られた以下の結果を報告する。(1) 主系列ターンオフ星 (有効温度 5500K 以上) で  $[Fe/H] > -2.5$  の星はほぼ一定値 ( $A(Li) \sim 2.2$ 、いわゆる Spite Plateau の値) をとり、分散は誤差の範囲である。より低金属量ではこの値より低く、低金属側でより低い傾向がみられる。いずれもビッグバン元素合成で期待されるリチウム組成より有意に低く、いわゆるリチウム問題は解決していない。(2) 赤色巨星では  $\log g \gtrsim 2$  の星 (いわゆる RGB バンプより前の進化段階の星) ではほぼ一定値 ( $A(Li) \sim 1.0$ ) をとり、明確な金属量依存性は見られない。これは主系列から赤色巨星に進化する際の混合過程 (first dredge-up) により表面のリチウムが希釈されたためと解釈できる。これより進化が進んだ星ではリチウムはほとんど検出できないほど低い組成となっており、さらなる混合過程が働いているとみられる。(3) それぞれの進化段階で典型的な値にくらべて 1 桁以上高いリチウム組成をもつ星が 13 天体見つかっており (2018 年春季年会で一部を報告済み)、その進化段階が正確に決まったことにより、こういった天体が主系列ターンオフ段階から見られることが確定した。一方、水平分枝星に相当する温度・表面重力を持つ星 (5500K 以上、 $\log g < 3$ ) ではリチウムは検出されていない。金属量の高い星では極端なリチウム過剰天体はクランプ星 (低金属での水平分枝星に対応) に見られるが、低金属量の星では全く様相が異なり、リチウム過剰を作るメカニズムも異なると考えられる。

[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](#)

## N24a Why the star expands

藤本正行, 勝田豊 (北海道大学), 須田拓馬 (東京工科大学), 茂山俊和 (東京大学)

恒星は星間ガスを集積、重力崩壊、重力収縮して形成されるが、主系列星に到達するや否や収縮から膨張に転じる。その後も、主系列の終末期およびヘリウムの中心燃焼段階での短期間を除くと、恒星は、その生涯の殆どにわたって膨張し続け、最後は質量放出、あるいは、超新星爆発によって、外層を放出してその生涯を終えることになる。通常の場合では、膨張はエネルギーの移入に伴うエントロピーの増加によってもたらされる。これに対して、恒星の場合は、開放系としてエネルギーを放出し、エントロピーを失い、中心部は重力収縮を続けることになる。核エネルギーの供給があっても、'負の比熱' のため、重力収縮を一時的に止めることができるだけで、その間もエントロピーは減少し続ける。したがって、膨張は、通常の熱力学系とは異なる、自己重力系としての恒星の構造的、熱力学的な特性を体現していると考えられる。これまでも、恒星の膨張の機構は、特に、赤色巨星への進化について議論されてきた。また、超新星爆発時の恒星の状態、前爆発段階で外層の放出との関連が示唆され、さらには、連星系進化での質量交換、common envelope の形成にも関係する。

恒星の膨張およびそれを伴う構造変動は、重力収縮に伴う核反応の進行とともに、恒星進化の本質的な要素を構成する。本講演では、重力熱力学系としての恒星の静水平衡構造を総括し、それに基づいて、恒星が膨張し続けることを可能とする機構とその様式について議論する。あわせて、進化の過程で、これらの膨張機構に発現に関連する幾つかの現象について紹介する。

[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](#)

## N25a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性 III

浦郷陸 (鹿児島大学), 面高俊宏 (鹿児島大学), 藤本正行 (北海道大学), 須田拓馬 (東京工科大学)

Mira 型変光星は AGB 星進化の最終段階に対応し、数十日から数千日の周期、可視光で 2.5 等以上の振幅をもつ変光星であり、変光周期と光度に関係がある周期光度関係 (Period-Luminosity Relation, PLR) を示す。また、Mira は星表面の化学組成によって Carbon-rich 星 (C-rich) と Oxygen-rich 星 (O-rich) に分類される。この C-rich 星は Third Dredge Up (TDU) 現象と呼ばれる He 層で生成した炭素の汲み上げ機構によって形成されることが知られているが、この形成過程には金属量依存性があることが示唆されていた。我々は、恒星進化に対する銀河の金属量の影響を明らかにするため、天の川銀河の Mira の PLR と周期分布を構築し、大マゼラン雲 (Large Magellanic Cloud, LMC) と小マゼラン雲 (Small Magellanic Cloud, SMC) と比較を行い、AGB 星の TDU と終末進化について議論してきた。

本講演では、これらの結果と空間分布を考慮し、LMC や SMC と比較を通して Mira 段階における AGB 星の進化の特性を議論する。C-rich 星へ進化する星の質量および金属量の範囲と、Mira に到達した段階での進化、特に光度と周期の進化特性について、新しい知見が得られた。さらに Mira の終末進化は銀河や化学組成によらず一致しており、金属量やダストによらず同じメカニズムで駆動されていることを示唆している。さらに距離指標である Mira の距離から、空間分布ごとの C/O 比が明らかになり、質量分布の違いや星形成の違いが示唆されている。これらを踏まえて、AGB 星進化の最終段階及び終末についての全体的な描像について議論する。

[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](#)

## N26a ひまわり衛星を用いたベテルギウスの可視近赤外多色撮像モニタリング

谷口大輔, 山崎一哉, 宇野慎介 (東京大学)

最も近くにある赤色超巨星であるベテルギウスは 2019 年末から 2020 年初頭にかけて可視光で大きく ( $\sim 1.2$  mag) 減光した。この大減光の原因として、(1) 有効温度の低下、(2) 大規模な質量放出による星周減光の増加、の二つの仮説が提案されている。これらの仮説のうち有効温度の低下は可視光分光観測で確認されているものの、有効温度の低下のみでは大減光の半分程度の減光しか引き起こせないという指摘がある (Levesque ら 2020)。そこで、残りの減光を説明するために、星周減光が増加したという説が唱えられてきた (Levesque ら 2020, Dupree ら 2020 等)。しかし、星周減光が増加した直接的な証拠は未だ得られていない他、恒星表面の温度ムラを考慮すれば有効温度の低下のみでも大減光が説明可能だという指摘もある (Harper ら 2020)。

そこで我々は大減光時の星周減光増加の有無を検証するため、気象衛星ひまわり 8 号が 2017 年から 2021 年にかけて撮影した画像を用いた測光を試みた。ひまわり衛星は地球自体とともに地球の縁から約 1 度以下の範囲の宇宙空間を 10 分おきに撮像している。我々はこの撮像データの開口測光により、 $0.45\text{--}13.5\ \mu\text{m}$  にある 16 バンドでベテルギウスの 4.5 年間に渡る光度曲線を得た。これらの光度曲線のうち、まず可視光と近赤外線の光度曲線を光球のモデルスペクトルと比較することで、有効温度の低下と星周減光の増加の両方が大減光に同程度寄与していた可能性を示唆した。続いて、 $10\ \mu\text{m}$  にあるシリケートの輝線バンドの光度曲線を輻射輸送モデルと比較することで、大減光時の星周ダスト形成を確認した。最後に、 $7\ \mu\text{m}$  にある水分子バンドの光度曲線の解析により、大減光の 10 ヶ月前に水分子バンドが吸収から輝線に突如転じていたことを発見した。

[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](#)

## N27a LSP 赤色巨星変光星の周期光度関係と脈動モード

高山正輝 (兵庫県立大学)

赤色巨星変光星には多数の周期光度関係 (sequence) が存在することが知られてきた。これらは変光の原因と星の進化段階の違いによって少なくとも 12 本の sequence が互いに密に重なるようにして分布している。このうち、星の脈動を起源とする周期光度関係について、対応する脈動モードの同定に関する研究が多くなされてきた。

一方、赤色巨星の中には Long Secondary Period (LSP) と呼ばれる、400 日から 1000 日程度の長周期の変光を示すものが見つかっている。同時にこれら LSP 星は脈動変光星であることも知られている。LSP 星の脈動周期は一般に sequence C より短周期の sequence に分布することが知られている。しかし、LSP 星の脈動モードの同定についてはこれまでほとんど研究が行われてこなかった。

そこで本研究でははじめに、OGLE-III のアーカイブデータを使い、大マゼラン星雲の LSP 星と非 LSP 赤色巨星の脈動周期および周期比の分布の比較を行なった。非 LSP 星では RGB 段階の星と若い AGB 星段階の星で周期の分布が異なり、AGB 星の方が周期が短い。一方 RGB 段階の LSP 星の周期分布は、RGB 星の非 LSP 星よりもむしろ若い AGB 星の周期分布に似ていることが明らかになった。

続いて、linear non-adiabatic pulsation の仮定の下、星の進化トラックに沿って脈動周期を数値的に計算した。ここで LSP 星の周期分布が非 LSP 星と異なることについて次の二つの仮説を検証した。一つは RGB 星と思われる LSP 星は AGB 段階の星で、非 LSP 星同様に動径脈動が優勢である。もう一つは RGB 星の LSP 星は RGB 星段階の星だが、非動径脈動が優勢のため周期分布が異なる。この二つの仮説では後者の方が観測をより上手く説明できることが明らかになった。本講演では以上について議論する。

[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](#)

## N28a 太陽型の零歳主系列星における活動性と黒点による光度変化

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

前主系列星や零歳主系列星は強い磁場を持つことが知られている (Folsom et al. 2016)。そして強い磁場により巨大な黒点や明るい彩層輝線が生じると考えられている。零歳主系列星では、ロスビー数  $N_R$  (= 自転周期/対流の周期) が小さいほど明るい近赤外 Ca II 三重輝線 ( $\lambda 8498, 8542, 8662 \text{ \AA}$ ) を示すが、 $N_R < 10^{-0.8}$  では輝線強度は一定である (Marsden et al. 2009)。Yamashita et al. (2020) では、前主系列星の近赤外 Ca II 三重輝線の強度は、零歳主系列星が示した最大値と同程度であり、前主系列星は活発な彩層を持つことが分かった。

本研究では、光度の変動から零歳主系列星のダイナモ活動について考察する。Kepler 衛星の K2 ミッションからプレアデス星団 (年齢  $\sim 130 \text{ Myr}$ ) に属する F, G, K 型の零歳主系列星の光度曲線が得られ、振幅が測定された (Rebull et al. 2016)。本研究ではプレアデス星団に属する零歳主系列星のうち、近赤外 Ca II 三重輝線の強度が調べられていた 88 天体を対象とした。光度曲線の振幅は 0.001 – 0.132 等級、周期は 0.2353 – 9.7733 日である。研究の結果、ロスビー数が小さく近赤外 Ca II 三重輝線が強い零歳主系列星ほど、大きい振幅を示すことが分かった。輝線強度と振幅の正の相関は、Notsu et al. (2015) により調査された太陽、スーパーフレア星 (G 型主系列星) の延長線上に位置する。したがって零歳主系列星の変光は黒点が原因であり、零歳主系列星は主系列星よりも黒点または黒点群の面積が広いことが示唆される。講演では他の散開星団の天体および他の彩層輝線の結果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](#)

N29a  $\gamma$  Dor 型脈動変光星における内核と外層の振動の共鳴についての星震学

徳野鷹人, 高田将郎 (東大理), 斉尾英行 (東北大理)

恒星表面の振動を観測して内部構造を探る学問である星震学は、21 世紀に入り、ケプラー等の宇宙望遠鏡による長期間かつ高精度の測光観測が実現した事により、飛躍的に進展した。代表的成果には、恒星内部の角運動量輸送の推定などが挙げられる。

我々が行った研究は、 $\gamma$  Dor 型変光星という 1.4 – 1.6 太陽質量の主系列星について取り扱った。この星は太陽に比べ速く自転していて、振動は自転の影響を強く受ける事が分かっている為、この星についての星震学は恒星の自転という長年の未解決問題についてアプローチする有効な手段であると考えられている。ここ数年で発見された  $\gamma$  Dor 型星の振動には、周期間隔に今まで知られていなかった特徴が存在することが先行研究で判明している。この周期間隔の特徴は、中心の対流層を伝わる波動（慣性波）とその外側の輻射層を伝播する波動（慣性重力波）の共鳴現象によって生じるという事は先行研究の数値実験で報告されていたが、子の共鳴現象がどのような物理量に支配されるかまでは明らかになっていなかった。

当研究ではまず、物理的に性質の異なる 2 種類の波動の結合についての物理的な描像を定性的な議論で明らかにした。次に、上記の描像を踏まえて 2 種類の波動の近似解をそれぞれ用いて結合を立式して近似的に解くことで、現象を支配する境界付近の状態を表すパラメータを明らかにした。そして、観測の数値実験結果に対して理論曲線をフィッティング出来ることを経て、この固有振動モードの観測データから恒星の内核と外層の境界付近に関する自転や化学組成に関するパラメータを制限する手法を考案した。境界付近の物理状態は既存の恒星理論では未解明の部分が多い為、この研究は恒星理論が大きく発展する可能性を秘めていると言える。

[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](#)N30a  $\mu$  Gem からの磁気駆動風への乱流圧の影響

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)

$\mu$  Gem は近傍 (71pc) の M 型巨星である。未確定ながらガウスレベルの表面磁場 (7.2-9.1G; Borra et al. 1984) を持つと期待され、その星風には磁気駆動機構が働く予想される。一方で星周領域の CO 分子の密度が低く、電波観測から星風特性は定まらない。特に質量放出率  $\dot{M}$  は既存の観測手段から直接決定できない。Rau et al. (2018) は観測された彩層線を SEI コードで導出した線輪郭と比較し  $\dot{M}=7.4 \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  と見積もった。一方経験式 (Schröder and Cuntz 2005) によると質量を 2.3  $M_{\odot}$ 、有効温度を 3643 K、光度を 1644  $L_{\odot}$  (Tsuji 2008) とした場合、 $\dot{M}=8.6 \times 10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  となり、2 桁程高い。MHD モデルを用いた星風特性の探査が望ましい。

また近年赤色超巨星では表面付近で超音速の乱流が発生しており、乱流圧が圧力スケールハイトを増大させ、その結果大気が膨張し星風に影響する可能性が指摘されている (Josselin and Plez 2007; Kee et al. 2021)。 $\mu$  Gem は巨星ではあるが同程度の有効温度を持ち音速程度もしくはそれ以上の乱流があると期待される。そこで今回我々は使用する MHD モデルにおいて磁束管の形状を乱流圧の影響を考慮したガス圧の動径分布から決める。その動径分布は運動方程式の中でガス圧に乱流圧  $p_{\text{turb}}=0.5\rho v_{\text{turb}}^2$  を加えた (動力学) 大気モデルから導出された。ここで  $\rho$  はガス密度、 $v_{\text{turb}}$  は特徴的乱流速度である。 $v_{\text{turb}}$  は場所、時間によらない乱流強度を指定する入力パラメータである。計算の結果、磁束管内の星表面での擾乱速度を  $3 \text{ km s}^{-1}$  とした場合、星風特性は  $v_{\text{turb}}$  に顕著に依存することがわかった。 $v_{\text{turb}}$  の増大 (0 から  $8 \text{ km s}^{-1}$ ) に伴い圧力スケールハイトが増大 ( $5.7 \times 10^{-3}$  から  $1.3 \times 10^{-2}$  星半径) し、MHD 計算の結果  $\dot{M}$  が増大 ( $3.8 \times 10^{-10}$  から  $4.1 \times 10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) した。一方でガス速度  $v_{\text{gas}}$  は減少した (79 から  $13 \text{ km s}^{-1}$ )。本講演では計算結果を示し、磁気駆動風への乱流圧の影響について議論する。

[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](#)

## P101a 宇宙初期における星質量分布とその進化：CMB 温度依存性について

鄭昇明, 小野遥香, 大向一行 (東北大学), Raffaella Schneider (Sapienza Universita di Roma)

宇宙初期の星質量は近傍で見られる星に比べ非常に大きいことがわかってきた。しかしながら、星質量分布の変遷がどのように引き起こされたかはわかっていない。星質量は再電離や金属汚染の進行に大きく影響するため、宇宙における星や銀河の形成史を理解する上で非常に重要である。我々はこれまで金属量が星質量分布に与える大きな要因であることを示した。その一方で、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度の違いも星質量を決める要因の一つであると考えられる。ガス雲の温度は CMB 温度を下回ることができない。このため、CMB 温度の高い高赤方偏移ではガス雲の温度が高く保たれる。高温のガス雲では典型的な圧力が大きく重力的に安定な構造を保ちやすい。結果としてガス雲の分裂が抑制され、星質量も大きくなると考えられている。

我々は CMB 温度が星質量分布に与える影響を見るため、異なる金属量、CMB 温度のもとで実現する星の質量分布を調べた。ここでは乱流的な初期条件から始まり、非平衡化学反応を解くとともにダストや金属輝線による冷却過程を考慮する。また高密度領域には原始星が形成されたと仮定し、sink 粒子を導入する。計算より高赤方偏移になるほど典型的な星質量が大きくなることがわかった。これは CMB によってガスが高温になることで分裂が抑制されるためである。 $z = 0$  と  $5$  では大きな違いは見られないが、 $z = 20$  では星質量が大きく増大する。特に  $0.1 Z_{\odot}$  という比較的現在の金属量に近い環境下でも、 $z = 20$  では非常に top-heavy な質量分布が実現することがわかった。本講演では質量分布の金属量や CMB 温度依存性をより詳細に議論するとともに、この結果が与える星や銀河の形成史に与える影響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](#)

## P102a 輻射輸送の近似法が同一ミニハロー内の初代星形成に与える影響

千秋元 (東北大学), John H. Wise (ジョージア工科大学)

初代星は宇宙で最初に形成される天体である。小質量 ( $\sim 10^5$ – $10^6 M_{\odot}$ ) の暗黒物質ハロー (ミニハロー) で形成され、紫外線を輻射することで周囲の星形成に影響を与える。近年、宇宙論的シミュレーションによって初代星形成過程が精力的に調べられているが、個々の初代星から放射される紫外線の輻射輸送を厳密に解くと数値的にコストがかかる。特に水素分子解離光子に対しては、先行研究の多くは局所的な物理量を用いて柱密度を求めることで光子の脱出確率を近似的に求めている。このとき、柱密度は水素分子数密度と典型的長さの積として与えられる。本研究では、あるミニハローで最初に初代星が形成された後、続いて同一ハロー内で起きる星形成に着目し、その形成効率が輻射輸送の近似法によっては過大評価されうることを明らかにした。宇宙論的シミュレーションを行い、赤方偏移 25.1 で質量  $4.15 \times 10^5 M_{\odot}$  のミニハローについて、最初の星が形成されてから 0.1 Myr 以内の星形成過程を比較した。まず、輻射輸送を厳密に解いた場合、星の周囲に高密度 ( $\gtrsim 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ) の D 型衝撃波が形成されるが、その厚さは  $\sim 0.1 \text{ pc}$  と薄いため、解離光子の浸透により水素分子の存在度が  $10^{-3}$  以下となって星形成が抑制された。次に、典型的長さとして密度勾配を用いた場合、その長さは衝撃波の厚みと同等となり、最終的な星の個数は輻射輸送を解いた場合と同様に 1 個のままであった。最後に、典型的長さとして局所的なゾーン長を用いる場合、その長さ ( $\sim 10 \text{ pc}$ ) は衝撃波の厚さより大きいため柱密度が過大評価された。その結果、水素分子の解離が抑制され、最初の星形成から 0.1 Myr で計 6 個の星が形成された。このことから、大規模な構造形成シミュレーションにおいて輻射輸送計算の近似を行う場合は、典型的長さとして密度勾配を用いる必要があることが分かった。

[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](#)

## P103a 収縮する始原ガスコアで増幅された乱流の飽和と散逸

東 翔 (甲南大学), 須佐 元 (甲南大学), 千秋 元 (東北大学)

ダークマターミニハロー内のガスの乱流は、初代星形成において重要な役割を果たしており、例えば、ガスの分裂を促進する、もしくは磁場の増幅に寄与することで間接的に分裂を抑制することが知られており、結果として形成される星の数を左右する。そのため、その効果の強弱を決める乱流の強度は非常に重要である。これまでの研究で我々は乱流の初期 Mach 数とポリトロップ係数を変えてガス雲の収縮期を追う数値シミュレーションを行い、重力収縮による乱流増幅の解析的な推定と比較することで収縮する始原ガスにおける乱流の増幅メカニズムを明らかにした (Higashi, Susa, & Chiaki 2021)。その中で重力収縮によって増幅された乱流には Mach 数の飽和レベルが存在し、またそれが温度進化を決める有効断熱係数に依存することが示された。本研究ではその飽和レベルを決める物理の詳細を明らかにするため、一様グリッドでの乱流の散逸シミュレーションと収縮シミュレーションの結果を組み合わせることで増幅された乱流の散逸、飽和を調べる。本公演ではそれらによって得られた結果についての発表、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](#)

## P104a 初代星形成における大質量原始星近傍からのフィードバックについて

木村和貴、細川隆史 (京都大学)、杉村和幸 (東北大学)、福島肇 (筑波大学)

初代星の質量は宇宙初期における初代星の役割を考える上で重要な物理量であり、その質量を明らかにするにはガス雲の長時間進化を数値計算で追う必要がある。だが、星形成は星近傍から雲全体までの幅広いスケールが絡み合う現象であり、現在のマシンパワーでは全てのスケールを同時に解きつつ長時間進化を追うことができない。そこでこれまで計算コストを下げるために、星近傍領域をシンク粒子で置き換え、星近傍からの輻射フィードバックの強さは適当な仮定の下与えつつ計算するなどの手法が取られている (Sugimura et al. 2020, etc)。

しかし、フィードバックの強さは星質量を決定する重要なパラメータであり、本来星近傍でガスと輻射の相互作用を解いて決定する必要がある。したがって本研究では初代星形成において  $10M_{\odot}$  を超える原始星周り 10AU 以内での現象を 3 次元数値計算を用いて調べた。また本研究は初代星形成に注目しているが、銀河系の大質量星形成においてもダスト破壊面の内側を考えればほぼ同様の状況であり、本研究の議論を適用できると考えられる。

本講演ではまずテスト計算として原始星からの輻射を無視した場合の計算結果を紹介する。この時先行研究の 1 次元円盤モデル (Takahashi & Omukai 2017; Kimura et al. 2021) で示唆されていたように円盤内のガスは内側へいくにつれて急激に光学的厚みが上昇し高温 ( $> 10^4\text{K}$ ) になることで電離される。また、極方向から落下してきたガスは円盤面でショックを形成し非常に高温の層を形成することや、中心星は円盤面だけでなく極方向まで電離ガスに覆われることがわかった。このような星近傍におけるガスの熱進化は one-zone モデル (Omukai 2001) のものとは大きく異なる。さらに本講演ではテスト計算の結果を紹介した後、原始星からの輻射を含めた場合の効果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](#)

## P105a 磁場環境下での初代星形成における両極性拡散の効果

定成健児エリック (東北大学), 富田賢吾 (東北大学), 杉村和幸 (東北大学), 松本倫明 (法政大学), 大向一行 (東北大学)

一般に、磁場に貫かれた星形成雲では、磁気制動による角運動量の引き抜きやアウトフローによるガスの流出などの現象が見られ、星周円盤や連星の形成、星形成効率などに影響する。このとき、両極性拡散 (ambipolar diffusion) やオーム散逸などの磁気散逸過程が、磁場による角運動量輸送を非効率にさせる。現在の星形成の場合、磁気散逸の効果が円盤の大きさや不安定性に大きく影響することが知られている。一方で、初代星形成の場合は、磁場が十分に増幅されれば、両極性拡散が効く可能性が指摘されている (e.g., Nakauchi et al. 2019; Schreicher et al. 2009)。しかしながら、両極性拡散が考慮された初代星形成についての 3次元 MHD シミュレーションは行われておらず、その効果の重要性はまだ明らかになっていない。そこで、本研究では、非平衡化学反応と冷却過程を考慮しつつエネルギー方程式を統合的に解いて 3次元 MHD シミュレーションを行い、始原ガス雲の高密度コアから原始星が形成されるまでの収縮期について調べた。本講演では両極性拡散を考慮した場合と理想磁気流体を仮定した場合を比較しながら、今回のシミュレーション結果を報告する。特に、両極性拡散が始原ガス雲の分裂および原始星形成後の円盤成長に及ぼす影響を調べ、それらの影響が初代星の性質にどのような影響を与えるかを議論する。

[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](#)

## P106a Multiplicity of the first stars confirmed by supervised classification of extremely metal-poor stars

Tilman Hartwig (UTokyo), Miho Ishigaki (NAOJ), Chiaki Kobayashi (University of Hertfordshire), Nozomu Tominaga (NAOJ), Ken'ichi Nomoto (IPMU)

Background: feedback from the first stars is crucial to set the initial conditions for galaxy formation. However, little is known about the mass range and multiplicity of these first stars. While recent numerical simulations predict that the first stars form in clusters, an observational confirmation is still lacking.

Methods: Based on theoretical models of the chemical yields of the first supernovae, we train Support Vector Machines (SVMs) to classify EMP stars. This AI-based approach predicts if a specific abundance pattern is consistent with supernova enrichment by one or by several progenitor stars. We use Ensemble Learning to combine the predictions from several SVMs to avoid overfitting and to increase the reliability.

Results: By applying the trained classifier to actual observations, we find that 288 out of 410 classified EMP stars are multi-enriched and only 122 are mono-enriched. We also find that the probability of mono-enrichment decreases with metallicity, which is an expected trend that our model can recover independently.

Discussion: We find that most EMP stars are multi-enriched. This indicates that multiple Pop III SNe must have exploded in the same minihalo. Our study is therefore the first observational confirmation for the multiplicity of the first stars. In addition, we can identify the most informative abundance ratios and elements to discriminate mono- and multi-enriched EMP stars, which can be used to optimise future surveys.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P107c Simulations of Inhomogeneous Metal Mixing after the first Supernovae

Narenraju Nagarajan (UTokyo), Naoto Kuriyama (UTokyo), Tilman Hartwig (UTokyo)

Background: To model the chemical origin of old, metal-poor stars, one usually assumes that all elements that are ejected by a Pop III supernova (SN) mix homogeneously with each other. However, we see in local SN remnants that different elements are distributed inhomogeneously and simulations of the first SNe indicate that explosions can be aspherical.

Methods: We initialise our simulations with the explosion of a  $40 M_{\odot}$  Pop III collapsar in a minihalo at  $z = 15$ . Due to jet of the collapsar, the initial progenitor model starts with significant deviations from spherical symmetry in its polar regions. Using Arepo and Monte-Carlo tracer particles placed in the ejecta, we trace the expansion and mixing of carbon and iron as two representative elements. The simulation is followed until the gas recollapses and second-generation stars form. The distribution of the tracer particles and their respective carbon to iron ratios are then analysed down to sub-AU scales using a new statistical model.

Results: The initial inhomogeneous distribution of carbon and iron persists during the SN expansion, which results in spatially varying [C/Fe] ratios. Depending on the time and location of second-generation star formation, the chemical composition of the resulting EMP stars can differ from the original collapsar yields.

Discussion: These results are crucial for the Stellar Archaeology community. If we can confirm incomplete mixing with further simulations, we need to adapt our interpretation of metal-poor stars. If we find that in most cases elements mix homogeneously, this would support one of the main assumptions of Stellar Archaeology.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P108a Massive Core Formation in Magnetized, Turbulent, High-speed Colliding Clouds

Nirmit Sakre, Asao Habe, Alex R. Pettitt, Takashi Okamoto (Hokkaido University)

We perform magnetohydrodynamic simulations of magnetized, turbulent, colliding clouds with typical density of molecular clouds to study the effect of high collision speed on massive core formation. We assume two combinations of colliding clouds, Small (3.5 pc) and Medium (7 pc) clouds, and Small and Large (10 pc) clouds, and assume collision speeds in the range of 10 to 40 km s<sup>-1</sup>. The clouds are initially immersed in a uniform magnetic field of 4 μG, and turbulence is generated in them.

For the Small and Medium clouds, less number of massive bound cores form in 20 km s<sup>-1</sup> than that in 10 km s<sup>-1</sup>. Mass increase of dense cores is small due to short collision duration time in 20 km s<sup>-1</sup>. Mass of highly unbound massive cores highly decreases in the expansion phase of the shocked region of which the leading part has already gone through the Medium cloud. This expansion is caused by a large difference between high magnetic pressure in the shocked region and the low pressure of the ambient medium. For the Small and Large clouds, a greater number of massive bound cores form than that of the Small and Medium clouds in 20 km s<sup>-1</sup>. In the Small and Large clouds, longer collision duration time favors gas accretion to dense cores to increase their mass, and this may be the reason for the formation of a greater number of massive bound cores than that of the Small and Medium clouds. For the Small and Large clouds, the number of massive bound cores decreases with higher collision speed. We will discuss a possible relation between massive bound core formation and important parameters like the magnetic field, collision speed, and column density of colliding clouds.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P109a フィラメント状分子雲内において擬似観測される分子雲コア角運動量の性質

三杉佳明, 犬塚修一郎 (名古屋大学), Doris Arzoumanian (Aix Marseille Univ)

星の進化はその質量により決められており、星の形成と進化を繰り返すことで、銀河は進化する。星の生まれる場所である分子雲コア (以下、コア) は分裂し多重星を作りうるということが知られており (e.g., Machida et al. 2008)、一つのコアからどれくらいの質量の星が何個できるかによって、生まれる星の質量は異なる。したがって、多重星形成過程の解明は星の進化を決定することであり、銀河進化を理解する上でも重要である。上記の分裂過程において、分裂の有無を決める重要な物理量がコアの初期角運動量である。これに加えて、コアの角運動量はアウトフローおよびジェット駆動、最終的には原始惑星系円盤形成に影響を及ぼす。そのため、コアの角運動量の起源および時間発展の解明は極めて重要であるが、コアが角運動量を獲得する機構については詳しく研究されていない。一方で近年の Herschel 宇宙望遠鏡による観測は、分子雲内のフィラメント構造が普遍的であること、コアはこのフィラメント構造に沿って分布していることを明らかにした (e.g., André et al. 2010)。したがって、フィラメントからのコア形成理論は観測されているコアの角運動量の性質を説明する必要がある。

本研究ではフィラメントから形成されるコアの角運動量の時間発展について三次元の Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いて調べてきた (2021 年春季年会)。これらの結果を観測と比較する際、観測から得られる視線速度図から計算されるコア角運動量が実際の角運動量を正しく表しているかを調べる必要がある。シミュレーション結果を解析した結果、フィラメント長軸が天球面に対して傾いている場合、フィラメント長軸に沿ったコアへの降着の影響でコア角運動量を約 2 倍程度過大評価することがわかった。本講演ではこれらの結果に加え、視線速度図から測られるコア角運動量の向きなど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](#)

## P110a 分子雲形成初期の乱流構造と乱流星形成

小林将人 (東北大学), 井上剛志 (名古屋大学)

等温乱流星形成理論の枠組みでは、分子雲内部での星形成効率は分子雲の乱流強度とそのスペクトルだけでなく、乱流の圧縮/非圧縮モード配分にも依存して桁で変わる可能性が指摘されている (Federrath 2012 など)。一方で分子雲の形成機構はその多くで超新星爆発や銀河渦状腕に伴う衝撃波圧縮が重要である可能性が指摘されており、このような衝撃波駆動の状況下で生成される乱流構造の解明が、星形成効率の理解に重要と考えられる。

そこで本研究では、星間媒質中の warm neutral medium の衝突流から cold neutral medium が形成され、乱流状態の多相星間媒質 (分子雲の形成初期状態) が誕生する過程を 3 次元シミュレーションにて計算した。密度頻度分布と圧縮/非圧縮乱流モード比との関係を調べた結果、等温乱流星形成の描像は、数 100K の熱不安定成分まで含めた分子雲の大極的な密度頻度分布をよく説明する一方、 $<100\text{K}$  の低温ガス (主に cold neutral medium) の頻度分布は等温乱流からの予想よりも狭いことがわかった。これは等温乱流の枠組みで議論されている分子雲の乱流強度・モードが低温ガスクランプ間の相対速度には重要であるが、密度頻度分布はクランプ内の弱い乱流により支配されているためと考えられる。また二次速度構造関数を調べた結果、熱不安定ガスは Kolmogorov 則に従う一方で低温ガスは Larson 則に従っており、本研究のような分子雲形成初期段階での乱流構造も、星間乱流・分子雲超音速乱流などの観測と整合的とわかったため、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](#)

## P111a 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 (6): 分子雲コア速度構造の進化とその起源

徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 三杉佳明, 立原研悟, 犬塚修一郎 (名古屋大), 大橋永芳 (ASIAA), 島尻芳人 (国立天文台), 大西利和 (大阪府大)

星形成プロセスにおいては、様々なスケールで存在する角運動量が原動力になり、分子流/ジェットの駆動、および原始惑星系円盤、連星/多重星形成を促す上で極めて重要な役割を果たしている。原始星形成の直接母体となるのは分子雲コアであるため、このスケールで存在している角運動量がどのように分配されるかを明らかにすることが重要となる。おうし座分子雲はフィラメント状分子雲を複数有しており、距離 $\sim 140$  pc という最近傍星形成領域という利点も加味すると、近年指摘されているフィラメント状分子雲の遷音速程度の速度揺らぎが分子雲コアの回転の起源であるという理論 (Misugi et al. 2019) を検証する観点でも最適な領域である。我々は ALMA-ACA (7m array および TP array, 空間分解能 1000–5000 au 程度) を用いた星なし分子雲コア 30 天体のサーベイ観測を行っており (Tokuda et al. 2020)、特に  $10^5 \text{ cm}^{-3}$  以上の分子雲コアの芯に近い部分を選択的に捉える  $\text{N}_2\text{D}^+(3-2)$  輝線の速度構造の解析を新たに行った。TP array のみを用いた解析では  $\text{N}_2\text{D}^+$  が検出された 20 天体の多くは中心速度場のマップ等から判断できる速度構造は複雑であったが、約 5 天体では  $\sim 5 \text{ km s}^{-1} \text{ pc}^{-1}$  の速度勾配が見られた。これらの中にはミリ波連続波の強度が比較的強いソースも含まれており、中心密度もその他に比べて高い傾向にあると思われる。さらに 7m array も含めた高い解像度の解析ではファーストコア候補天体である MC35-mm のみが系統的な速度勾配がミリ波連続波ソースの中心を横断するように分布していることがわかった。このことより、分子雲コアの進化が進むに従って大局的な速度構造がよりコヒーレントになる傾向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](#)

## P112a BISTRO Project Status (10)

Tetsuo Hasegawa<sup>1</sup>, Ray Furuya<sup>2</sup>, Doris Arzoumanian<sup>3,16</sup>, Yasuo Doi<sup>4</sup>, Saeko Hayashi<sup>1</sup>, Charles Hull<sup>1</sup>, Tsuyoshi Inoue<sup>3</sup>, Shu-ichiro Inutsuka<sup>3</sup>, Kazunari Iwasaki<sup>1</sup>, Akimasa Kataoka<sup>1</sup>, Koji Kawabata<sup>6</sup>, Gwanjeong Kim<sup>1</sup>, Masato Kobayashi<sup>3</sup>, Takayoshi Kusune<sup>1</sup>, Jungmi Kwon<sup>8</sup>, Masafumi Matsumura<sup>9</sup>, Xing Lu<sup>1</sup>, Tetsuya Nagata<sup>10</sup>, Fumitaka Nakamura<sup>1</sup>, Hiroyuki Nakanishi<sup>11</sup>, Takashi Onaka<sup>4</sup>, Tae-Soo Pyo<sup>1</sup>, Hiro Saito<sup>12</sup>, Masumichi Seta<sup>13</sup>, Yoshito Shimajiri<sup>1</sup>, Hiroko Shinnaga<sup>11</sup>, Motohide Tamura<sup>4,14</sup>, Kohji Tomisaka<sup>1</sup>, Yusuke Tsukamoto<sup>11</sup>, Tetsuya Zenko<sup>10</sup>, Derek Ward-Thompson<sup>15</sup> and the BISTRO Consortium (<sup>1</sup>NAOJ, <sup>2</sup>Tokushima U., <sup>3</sup>Nagoya U., <sup>4</sup>U. Tokyo, <sup>5</sup>Osaka U., <sup>6</sup>Hiroshima U., <sup>8</sup>ISAS, <sup>9</sup>Kagawa U., <sup>10</sup>Kyoto U., <sup>11</sup>Kagoshima U., <sup>12</sup>U. Tsukuba, <sup>13</sup>Kwansai Gakuin U., <sup>14</sup>Astrobiology Center, <sup>15</sup>U. of Central Lancashire, <sup>16</sup>IACE, U. of Porto)

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 a series of 3 consecutive EAO/JCMT Large Programs, and it involves 147 researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Ireland, Vietnam and the East Asian Observatory, plus 9 members from other regions. This paper reports an update of the research program including; a) progress of the data taking (BISTRO-1/2 complete, BISTRO-3 ongoing), b) progress of publication (17 papers including 14 1st-generation, 3 2nd-generation, and 3 review papers), and c) an emerging picture of the evolution of magnetized ISM towards star formation, with an emphasis on new findings from regions of 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](#)

## P113b ダークマターとバリオン間の相対速度による超音速駆動ガス天体形成

仲里佑利奈 (東京大学), 千秋元 (東北大学), 吉田直紀 (東京大学)

宇宙の再結合時には、バリオンとダークマター (DM) の間に超音速の相対運動 (Streaming Velocity; SV) が一般的に存在する。これは初期宇宙におけるバリオンの音響振動に由来するもので、この運動が宇宙初期の構造形成に大きな影響を与えていることが近年明らかとなった (Tselikhovich & Hirata 2010)。SV の存在下で形成される天体 (超音速駆動ガス天体; 以下ガス流天体) のような、DM よりもガスの自己重力が支配的と考えられる天体の形成も示唆されており、球状星団の起源であると考えられている (Naoz & Narayan 2014)。SV を考慮したシミュレーションは近年実行され、ガス流天体の存在が確認されたが (Chiou et al 2018)、初代星形成において重要な冷却剤である水素分子 ( $H_2$ ) 冷却が考慮されていなかった。

そこで本研究では初期条件で SV による相対運動を考慮し、 $H_2$  生成の化学反応を解く 3次元流体シミュレーションを実行し、相対速度の標準偏差  $0, 2\sigma$ ,  $H_2$  冷却のあり/無しの計 4 パターンの条件下で  $z = 200$  から  $z = 25$  までのハローの進化を追った。結果として SV あり/ $H_2$  冷却ありの条件でもガス流天体の形成が確認され、 $z = 25 - 30$  ではその数が  $H_2$  冷却なしの場合よりも多いことを明らかにした。さらに、それぞれの条件でガス流天体の密度-温度進化をみると、SV あり/ $H_2$  冷却ありの場合には、同一ハロー内で異なる温度進化を示す領域があり、それぞれガスの収縮時間が異なることを発見した。低温領域 ( $\sim 300$  K) では  $H_2$  が生成され、その冷却が支配的となる一方、高温領域 ( $\sim 8000$  K) では相対速度がガス流天体近傍の DM ハローにせき止められラム圧が生じ、 $H_2$  が解離したため、 $H_2$  冷却が非効率的になったと考えられる。本講演では、各条件でのガス流天体生成率や形状、およびその形成メカニズムを考察する。

[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](#)

## P114b ALMA を用いた大マゼラン雲 N159 領域の観測: 分子雲の全体像

南大晴, 小西亜侑, 小西諒太郎, 鈴木大誠, 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), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 南谷哲宏, 河村晶子 (国立天文台)

大マゼラン雲の  $H II$  領域 N159 に付随する分子雲は  $10^7 M_\odot$  に迫る質量を持ち、同銀河の中でも最も巨大な分子雲の一つである。これまでの観測から N159E/W 領域には大質量星を形成しているフィラメント状の分子雲を確認した。一方、N159S 領域は星形成が不活発であるが、北東部に一部フィラメント状構造が存在している (南他 2021 年春季年会)。さらに広範囲な空間分布を探るため、ALMA 12m+7m+TP array を用いて観測された  $^{12}CO(1-0)$  輝線のアーカイブデータ (2019.1.00915.S) の解析を行った。これまでの CO 観測よりも 4 倍程度広範囲な領域 ( $\sim 43 \text{ pc} \times 46 \text{ pc}$ ) を N159E/W/S の 3 領域それぞれでカバーしており、空間分解能は  $\sim 0.5 \text{ pc}$  ( $2.''1 \times 1.''7$ ) である。観測範囲が広がったことで、特に原始星や  $H II$  領域が見られない部分、N159W の西側や N159S の周辺部における分子雲の詳細分布が明らかになった。N159W の東側ではフィラメント構造が卓越しているが、大質量星形成が見られる分子雲と比較して、平均的な柱密度が 4 倍程度低い ( $\sim 4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ )。N159S ではさらに柱密度が低く薄く広がる構造が大部分を占めていた。一方、N159E 領域の分子雲は周りに存在する  $H II$  領域と概ね相補的な構造をしており、広がった構造を持つ分子ガスが捕らえられなかったため、周囲の大質量星の影響により概ね解離・電離されていることが示唆される。これらより大質量星形成の観点で進化段階は若い方から、N159S, N159W, N159E であると推定される。フィラメント状構造は広がった分子ガスの中で比較的早期に形成されるが、星形成が活発になった後は、N159E の様に発達したフィラメント状構造が取り残され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](#)

## P115b 数値流体シミュレーションで探る、フィラメント状分子雲同士の衝突進化過程

柏木 頼我 (国立天文台/総合研究大学院大学), 岩崎 一成 (国立天文台/総合研究大学院大学)

Herschel 宇宙望遠鏡の Gould Belt Survey により、分子雲中の高密度領域が細長いフィラメント状に普遍的に存在していることが明らかになった (André et al. 2010)。加えて、将来原始星になるような分子雲コアのほとんどが、重力的に不安定なフィラメントに沿って発見された (Könyves et al. 2010)。これらの観測事実から、フィラメントを介した星形成モードが注目を浴びている。近年、その星形成モードのなかでも、フィラメント同士の衝突に起因する星形成の観測例が報告されている (Duarte-Cabral et al. 2010; Nakamura et al. 2014; Kumar et al. 2020)。シミュレーション研究では、Duarte-Cabral et al. 2010, Hoeman et al. 2021 らによって調査されているが、衝突後の進化までも調査した包括的なシミュレーション研究の例はこれまでになく、フィラメント衝突によって誘発される星形成過程の理論的な理解が課題となっている。本研究ではフィラメント衝突による進化過程を数値流体シミュレーションを用いて明らかにする。計算モデルとして、非磁場の無限に長い等温フィラメントを二本用意し、線質量、初期速度、フィラメント長軸同士のなす角度を変更したときの衝突進化過程の違いを調べた。本発表では各パラメータの違いが衝突進化過程に及ぼす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](#)

## P116a 星団形成における EUV/FUV 輻射フィードバック

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

巨大分子雲 (GMC) での星団形成について、大質量星からの輻射や星風といったフィードバックにより星形成が制御される。特に近年は、極紫外線 (EUV) 光による電離加熱過程を考慮した輻射流体シミュレーションを用いた研究が主に行われ、銀河系内の典型的な GMC での星形成効率 10% 以下等の、観測と整合する結果が得られている (e.g., Kim et al. 2018, Fukushima et al. 2020)。一方、遠紫外線 (FUV) 光は  $H_2$ , CO 分子の光解離やダスト光電効果による加熱を起こすため重要であるが、EUV 光との複合的な効果については、完全には明らかとなっていない。EUV 光フィードバックは電離領域内部に限定されるが、FUV 光フィードバックは広範囲に及ぶことから、その影響は大きいと考えられている (e.g., Inutsuka et al. 2015)。

本研究では、EUV/FUV 光によるフィードバックを考慮した輻射流体シミュレーションを行い、星団形成への影響について調べた。ここでは、適合格子細分化法を用いた流体シミュレーションコードである SFUMATO (Matsumoto 2007) に輻射輸送計算を実装したコードを用いる (Fukushima & Yajima 2021)。また、確立論的に星質量を星粒子に振り分けるより現実的な星形成のモデルを実装した。いくつかの雲質量・面密度について計算した結果として、雲質量が  $\geq 10^5 M_\odot$  の場合、星形成の抑制について EUV 光フィードバックの方が FUV 光フィードバックより効果的であることがわかった。これは、低密度領域は FUV 光による加熱により影響を受けるが、高密度領域には浸透できず、EUV 光により破壊されるまで星形成が継続するためである。他にも確立論的な星形成モデルを考慮すると、雲質量が  $10^4 M_\odot$  の場合には大質量星が十分形成されないことから、光度質量比を一定とした従来モデルと比べて星形成効率が上昇し、重力的に束縛された星団を形成しやすいことも明らかとなった。

[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](#)

## P117a Formation of the Orion Nebula Cluster

藤井通子, Long Wang (東京大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 服部公平 (統数研), 平居悠 (東北大学)

Orion Nebula Cluster (ONC) は比較的大質量の散開星団の中で、最も近く ( $\sim 400$  pc) にあり、よく観測されている星団である。年齢が約 1 Myr と非常に若く、巨大分子雲に付随している。そのため、星団形成過程を調べる上で、非常に良いサンプルである。我々は、新規開発の N 体/流体コード「ASURA+BRIDGE」を用いて、ONC をモデル化した星団形成シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、乱流速度を与えられた分子雲が収縮し、星を形成し、大質量星からのフィードバックによって星団からガスがなくなるまでを計算している (2021 年春季年会 Z309a, 2020 年秋季年会 P108a)。また、ASURA+BRIDGE では、星粒子は星一つ一つの質量を持つよう仮定しており、さらに星同士の重力相互作用をソフトニングを仮定することなく計算することができるため、連星形成や近接遭遇や星団の力学的進化を正確に計算することができる。

シミュレーションの結果、Beccari et al. (2017) で指摘されていたような複数回の星形成に対応する星の年齢分布が得られた。これは、サブクランプの形成、合体による階層的な星団形成に起因していた。また、観測で得られていた、若い星ほど星団中心に集中している様子もシミュレーションによって再現された。これは、星団内部に残されたガスが最後まで星形成を続けるためであった。一方、早くに形成された星は、星同士の近接遭遇によって、星団の外へと弾き出されることによって、空間的に広がった分布を持っていた。さらに、このシミュレーションによって形成した runaway star の割合は、観測から得られているフィールドの OB 型星の runaway star の割合と一致していた。

[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 大マゼラン雲 N159W-North 領域の大質量クランプの性質と形成過程

南大晴, 近藤滉, 小西亜侑, 小西諒太郎, 鈴木大誠, 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), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 南谷哲宏, 河村晶子 (国立天文台)

大マゼラン雲 (LMC) では大規模な Populous Cluster が形成されているなど我々の銀河と比較しても異なる星形成活動が見られる。N159W 領域の北部する分子雲のピーク (以下、N159W-North 領域) は単一鏡の観測では LMC 中で最も CO 輝線強度が強く、極めてガスの集中度が高い領域であるため、大規模星団形成の初期段階を探る上で最適な天体の一つである。ALMA による 0.3 pc 程度の観測により、 $10^4 M_{\odot}$  程度のガスが  $\sim 1$  pc 四方の領域に詰め込まれている (以下、North クランプ) ことが明らかになった (徳田他 2016 年春季年会) が、形成要因は深く理解されていない。我々はこの N159W-North 領域の性質を調べるため、さらに広範囲の Band 3 CO 輝線広域観測アーカイブデータ (南他 本年会参照) と Band 6 CO 輝線高解像データ (P.I., Y. Fukui, 2016.1.01173.S) の解析を行った。空間分解能はそれぞれ、 $\sim 0.5$  pc、 $\sim 0.06$  pc である。 $^{12}\text{CO}(1-0)$  のデータを元に、North クランプ方向に着眼した解析を行うとより赤方偏移 ( $\sim 240$  km/s) および青方偏移 ( $\sim 235$  km/s $^{-1}$ ) した 20–30 pc 程度の長さを持つフィラメント状のガス成分が大局的に V 型の構造を形成していることがわかった。Spitzer や Gemini 望遠鏡により検出された赤外線源や、Band 6 高解像度連続波および  $^{12}\text{CO}$  輝線によって同定される分子流が付随したミリ波源はこのフィラメント構造の結節点に集中している。これは衝突流で形成されたと考えられている N159W-South 領域の分子ガスの速度および空間構造と (Fukui et al. 2015; Tokuda et al. 2019) 定性的に酷似しており、North 領域の大質量高密度クランプは同様のメカニズムでより大規模に形成されたと考えられる。

[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](#)

## P119a ALMA を用いた巨大星団 RCW38 に対する高密度ガスの観測

鈴木大誠, 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), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台), 泉奈都子 (ASIAA)

巨大星団 (Super Star Cluster) は、サイズ 1 pc 以下の狭い範囲に O 型星で  $\sim 1000$  個、星の総数で 1 万個以上が集中する特異な星団である。銀河系内の若い巨大星団は 4 例ほどしか知られておらず、中でもっとも若い (0.1 Myr) 巨大星団が RCW38 である。我々は同領域における星団形成過程の理解を目的として観測的研究を推進しており、2つの分子雲の超音速衝突によって星団形成が誘発された可能性があること (Fukui et al. 2016)、この2つの分子雲が重なる領域 (以下、衝突領域) で、形成途上にある大質量原始星の存在を確認してきた (Torii et al. 2021)。単一鏡の観測より衝突領域は  $\sim 1$  pc 程度の局所的に限定されていると思われるため、その他の領域と比較するとガスの物理的な性質が異なっていることが予想される。我々は新たに、この衝突領域とそこから 1 pc 程度北東の領域に存在する、衝突の影響が少ないと思われる領域 (以下、リファレンス領域) との比較研究を行うため、ALMA-ACA により得られた  $C^{18}O(J=2-1, 3-2)$ ,  $CS(J=7-6)$  輝線等のデータ解析を行った。空間分解能は  $\sim 0.06$  pc 程度である。両領域は、柱密度をトレースする  $C^{18}O$  強度は同程度であることから、ガスの総量も同程度であると考えられる。しかしながら、さらに高い密度 ( $\sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ) をトレースする CS は、リファレンス領域の方が強度が弱く広がりも局所的である。CS の分布に対して、Dendrogram アルゴリズム (Rosolowsky et al. 2008) を用いて同定した最も小さな階層構造であるリーフを分子雲コアとみなすと、衝突領域で  $\sim 20$  個、リファレンス領域で  $\sim 15$  個程度確認できた。典型的なビリアル質量はそれぞれ  $\sim 20 M_{\odot}$ 、 $\sim 7 M_{\odot}$  である。以上から衝突領域では星形成に直結すると思われる高密度ガスが効率よく形成された可能性がある。

[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](#)

## P120a Methanol detection toward young stellar objects in the Small Magellanic Cloud

Sarolta Zahorecz, (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Toshikazu Onishi (Osaka Pref. Univ.), Kazuki Tokuda (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Akiko Kawamura (NAOJ), Takashi Shimonishi (Niigata University)

Studying the chemistry of the interstellar medium in different metallicity environments is important to understand the chemical evolution of the Universe. Dust grains play an important role in driving molecular cloud chemistry. The low metallicity of the Small Magellanic Cloud (SMC) is typical of galaxies during the early phases of their assembly, and studies of star formation in the SMC provide a stepping stone to understand star formation at high redshift where these processes cannot be directly observed. Thanks to recent high-resolution and high-sensitivity observations with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), it's feasible to detect complex organic molecules in the star-forming regions of the SMC. The first detection of methanol in the SMC was reported toward an infrared dark core in the vicinity of the high-mass young stellar object (YSO) IRAS 01042-7205. Our ALMA survey of six high-mass YSOs in the Small Magellanic Cloud at a spatial resolution of 0.1 pc revealed the second, tentative detection of methanol, toward a spectroscopically confirmed high-mass YSO. We will report the details of this second methanol detection. These successful detections of methanol provide important evidence that complex organic molecules can form in low metallicity environments, such as the SMC.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P121a 巨大分子雲における星形成と銀河進化：大マゼラン雲の Type 分類の再吟味

福井康雄<sup>1</sup>, 出町史夏<sup>1</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 柘植紀節<sup>5</sup>, 山田麟<sup>1</sup>, 小西亜侑<sup>2</sup>, 村岡和幸<sup>2</sup>, 藤田真司<sup>2</sup>, 大西利和<sup>2</sup>, 徳田一起<sup>2,3</sup>, 河村晶子<sup>3</sup>, 小林将人<sup>4</sup> (名古屋大学<sup>1</sup>, 大阪府立大学<sup>2</sup>, 国立天文台<sup>3</sup>, 東北大学<sup>4</sup>, フリードリッヒ=アレクサンダー大学<sup>5</sup>)

巨大分子雲 GMC は星形成の主要な舞台であり, GMC の進化が銀河進化を司る. 従来, 銀河規模の星形成研究は空間的に平均した量を用いて行われ, kpc 規模での星形成率が星間ガス量に支配されることが指摘されてきた (Schmidt 1959, Kennicutt 1998). しかし, それを支配する物理過程自体は深く追究されておらず, 未解明の点が少なくない. 一方, NANTEN による大マゼラン雲 LMC の全面観測は空間的に分解された GMC の完全なサンプルをもたらした, GMC の Type 分類が提案された (Fukui+ 1999, Fukui Kawamura 2010). 特に, 数 10 pc 規模では星形成率は単純に星間ガス量のみで決まらないことが示された. LMC における GMC の 3 つの Type は, 星形成の起きていない段階に始まって [Type I], H $\alpha$  星雲の付随する段階 [Type II], 星団の付随する段階 [Type III] へと進化すると解釈される. 今後, この描像を検証して銀河一般に広く適用することができれば統一的な理解につながる. 実際, ALMA によって空間分解された GMC サンプルが 10 Mpc 以遠の銀河にも広げられており (e.g., PHANGS Chevance+ 2020), 数万個以上の GMC について進化を定量することが具体的な課題となってきた. そこで今回, H $\alpha$  のみによる新たな GMC Type 分類を以下のとおり提案する. [Type I : H $\alpha$  星雲の付随しない GMC 進化の最初期段階]. [Type II : H $\alpha$  星雲 ( $L_{H\alpha} = 10^{36.0} - 10^{37.5}$  erg/s) の付随する第 2 段階]. [Type III : H $\alpha$  星雲 ( $L_{H\alpha} = 10^{37.5} - 10^{39.0}$  erg/s) の付随する第 3 段階]. 講演では NGC 4321, M33 等を適用例として, 新たな GMC Type 分類の物理的意味を論じる.

[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](#)

## P122a 巨大分子雲における星形成と銀河進化：M33

小西亜侑, 村岡和幸, 藤田真司, 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), 小林将人 (東北大学), 河村晶子 (国立天文台), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学)

銀河進化および星形成を紐解く上では, 主要な星形成の場である巨大分子雲 (GMC) の形成とその進化過程を明らかにすることが重要である. 特に, GMC の進化段階とそのタイムスケールを統計的に推定するためには, 銀河全体の観測が必須である. M33 は最近傍の渦巻銀河 ( $D \sim 840$  kpc) でかつ程よい傾斜角 ( $i \sim 50^\circ$ ) を持つため, 均一な GMC のサンプルを得る上で貴重なターゲットである. 我々は M33 における CO 分子雲の性質を統計的に解析し他の銀河と比較を行うため, ALMA の Atacama Compact Array (ACA) による CO( $J=2-1$ ) 輝線データ (空間分解能  $\sim 30$  pc) の解析を行っている (村岡他本年会). ACA 7 m array と IRAM 30 m のデータ (Druard et al. 2014) を合成したのち, 大マゼラン雲の CO 観測による GMC の分類 (Kawamura et al. 2009; 福井他本年会) と比較するため, 空間分解能を  $\sim 40$  pc に揃えて解析を行った. Dendrogram アルゴリズム (Rosolowsky et al. 2008) を用いて同定した CO の階層構造のうち, 典型的なサイズが分解能程度である  $\sim 300$  個の最小構造 “リーフ” を GMC とした (検出限界は  $\sim 10^{4.5} M_\odot$ ). また, H $\alpha$  データ (KPNO 2.1 m) にも同様の階層構造同定を行い, 各 GMC における H II 領域の付随状態を調査した. その結果, H II 領域が付随していない GMC が  $\sim 20$  個 (Type I), H $\alpha$  光度が  $10^{37.5}$  erg s $^{-1}$  以下の H II 領域が付随する GMC が  $\sim 170$  個 (Type II), それ以上の明るい H II 領域が付随する GMC が  $\sim 130$  個 (Type III) となった. 時間尺度として GMC の寿命を大マゼラン雲同様に 30 Myr と仮定すると, 定常状態において各 Type の滞在時間はそれぞれ 2 Myr, 16 Myr, 12 Myr と概算される.

[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](#)

## P123a 巨大分子雲における星形成と銀河進化 : NGC 4321 (M100)

出町史夏<sup>1</sup>, 福井康雄<sup>1</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 山田麟<sup>1</sup>, 柘植紀節<sup>5</sup>, 小西亜侑<sup>2</sup>, 村岡和幸<sup>2</sup>, 藤田真司<sup>2</sup>, 大西利和<sup>2</sup>, 徳田一起<sup>2,3</sup>, 河村晶子<sup>3</sup>, 小林将人<sup>4</sup>, 柘植紀節<sup>5</sup>, (名古屋大学<sup>1</sup>, 大阪府立大学<sup>2</sup>, 国立天文台<sup>3</sup>, 東北大学<sup>4</sup>, フリードリッヒ=アレクサンダー大学<sup>5</sup>)

銀河の星形成は主に巨大分子雲 GMC 中で起こり, 10 億年規模の銀河進化を制御する. この進化を解明するためには, 1 個の銀河において空間的に分解した GMC をもれなく検出することが必要である. このような観測は大マゼラン雲において初めて実施され, 若い星団等との比較から GMC の進化の描像が提案された (Fukui+ 1999, Kawamura+ 2009). 近年 ALMA によって 10 Mpc 以遠の銀河においても GMC を 100 pc 程度で分解して捉えることが可能となり, サンプルが大幅に拡大された (e.g., PHANGS Chevance+ 2020). 我々は, ALMA による渦状銀河 NGC 4321 (距離 15 Mpc) の観測結果 ( $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ) を用いて 100 pc の分解能で GMC を同定し, H $\alpha$  星雲 (SINGS) と比較した.

この結果に基づいて GMC の Type 分類 (Kawamura+ 2009) を試み, 以下の GMC 進化の描像 [Type I  $\rightarrow$  Type II  $\rightarrow$  Type III] を得た. Type I [19 個] : H $\alpha$  の付随しない GMC 進化の最初期段階 (典型的な GMC 質量  $M_{\text{GMC}} = 10^{5.8} M_{\odot}$ ). Type II [154 個] : H $\alpha$  [星雲の光度  $L_{\text{H}\alpha} = 10^{36.0} - 10^{37.5}$  erg/s] の付随する進化の第 2 段階 ( $M_{\text{GMC}} = 10^{6.1} M_{\odot}$ ). Type III [271 個] : H $\alpha$  [ $L_{\text{H}\alpha} = 10^{37.5} - 10^{39.0}$  erg/s] の付随する進化の第 3 段階 ( $M_{\text{GMC}} = 10^{6.6} M_{\odot}$ ). GMC の寿命を大マゼラン雲同様に 30 Myr と仮定すると, 定常状態において各 Type の滞在時間は, それぞれ 1 Myr, 10 Myr, 18 Myr と概算される.

[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](#)

## P124a Discovery of two infrared objects with strong ice absorption in the AKARI slit-less spectroscopic survey

Takashi Onaka (Meisei University, University of Tokyo), Tomoyuki Kimura (University of Tokyo, East JR Co.), Itsuki Sakon (University of Tokyo), Takashi Shimonishi (Niigata University)

We discover two intriguing infrared objects that show deep absorption features of H $_2$ O, CO $_2$ , and CO ices in the AKARI/Infrared Camera (IRC) slit-less spectroscopic survey of the Galactic plane. Both objects are located neither in known star-forming regions nor in known dense clouds. For one of the objects, Object 1, we successfully extract a spectrum from 2.5 to 13  $\mu\text{m}$ , which also shows several absorption features in 5–13  $\mu\text{m}$ , including deep silicate absorption at 10  $\mu\text{m}$ . For the other object, Object 2, only a spectrum from 3.1 to 5  $\mu\text{m}$  is reliably extracted due to the presence of nearby overlapping objects and faint nebulosity. Both objects show warm ( $> 100$  K) CO gas absorption in addition to the ice absorption features, suggesting that they are embedded young stellar objects (YSOs). On the other hand, both objects have spectral energy distributions (SEDs) that peak at around 5  $\mu\text{m}$  and decrease towards longer wavelengths. These characteristics of the SEDs and the presence of deep absorption features can be better explained in terms of background stars behind dense clouds. While the observed SEDs may be explained if the absorbing ice species are located only in clumpy concentrations on the line-of-sight in the edge-on disk surrounding a YSO, their true nature remains uncertain based on the currently available data. In either case, it will make significant implications on our understanding of the distribution of star-formation activities or of low-temperature dense materials in our Galaxy.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P125a Investigation of roles of the UV radiation on the chemistry around protostars in the Ophiuchus region

Kotomi Taniguchi, Fumitaka Nakamura, Masao Saito (NAOJ), Liton Majumdar (National Institute of Science Education and Research), Adele Plunkett (NRAO), Shigehisa Takakuwa (Kagoshima Univ.), Dariusz C. Lis, Paul F. Goldsmith (NASA/JPL), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

We have investigated chemical compositions around two young stellar objects (YSOs), EES2009 and GY92, in the Ophiuchus star-forming region, using Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) Cycle 4 in Band 6 data. Molecular lines from *cyclic*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> (*c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>), H<sub>2</sub>CO, CH<sub>3</sub>OH, <sup>13</sup>CO, C<sup>18</sup>O, and DCO<sup>+</sup> have been detected from both sources, while DCN is only detected in GY92. We derive the  $N(c\text{-C}_3\text{H}_2)/N(\text{CH}_3\text{OH})$  column density ratios around two YSOs and find that *c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> is significantly enhanced in a GY92 region irradiated by a nearby Herbig Be star. On the other hand, H<sub>2</sub>CO and CH<sub>3</sub>OH are abundant in a more shielded region. These spatial differences between *c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>CO/CH<sub>3</sub>OH imply that *c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> is efficiently formed by bottom-up and/or top-down mechanisms. We will also discuss the deuterium fractionation mechanisms around each YSO, using the DCO<sup>+</sup> and DCN data. The DCO<sup>+</sup> ion around GY92 is likely formed by a reaction of “HCO<sup>+</sup> + D → DCO<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>” in relatively warm regions (30 < *T* < 100 K), while this ion around EES2009 seems to be formed by a reaction of “H<sub>2</sub>D<sup>+</sup> + CO → DCO<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>” in cold regions (< 30 K).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P126b ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成 (3)

西岡丈翔<sup>1</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 山崎康正<sup>2</sup>, 徳田一起<sup>2,3</sup>, 大西利和<sup>2</sup>, 金井昂大<sup>4</sup>, 大朝由美子<sup>4</sup>, 松下祐子<sup>3</sup>, 西合一矢<sup>3</sup>, 深川美里<sup>3</sup>, 原田直人<sup>5</sup>, 佐伯優<sup>5</sup>, 柳玉華<sup>5</sup>, 山崎駿<sup>5</sup>, 町田正博<sup>5</sup>, 深谷紗希子<sup>6</sup> (1: 名古屋大, 2: 大阪府立大, 3: 国立天文台, 4: 埼玉大, 5: 九州大, 6: 鹿児島大)

小質量星形成には孤立した星形成と星団形成の2つのモードが存在し、それぞれ多くの星形成領域で初期質量関数が導出され、コア質量関数との類似性が提唱されてきた。しかし初期質量関数の特に 0.1 M<sub>☉</sub> 以下の小質量星側については未解明な部分が多く、その一般的な理解は星形成過程を探る上で非常に重要な課題である。我々は小質量星形成や惑星形成における質量分布の理解を目指して、近傍 (*d* = 149 pc) の活発な星団形成領域である Corona Australis 分子雲中心部の高密度部分を観測対象とし、230 GHz 帯 (Band 6) で ALMA ACA による大規模なモザイクサーベイ観測を行った (立原他 2020 年秋季年会、山崎他 2021 年春季年会)。本観測では <sup>12</sup>CO, <sup>13</sup>CO, C<sup>18</sup>O (*J*=2-1), SO (<sup>3</sup>Σ *v*=0, *J*=6(5)-5(4)), N<sub>2</sub>D<sup>+</sup> (*J*=3-2) の輝線が観測された。

データが全て配布された 7m array のみの結果と比較すると、見かけ上これらの輝線の強度分布は大きく異なっていた。N<sub>2</sub>D<sup>+</sup> はクランプ状の分布を、<sup>13</sup>CO, C<sup>18</sup>O, SO はいずれも幅 0.1 pc 以下の多数のフィラメント状の分布を示したが、それらの多くは異なる場所に存在していた。これらは分子雲内部の異なる密度や温度、柱密度の状態を反映し、小さな空間スケールの構造に現れていると考えられる。また TP array のデータが配布された領域について combine された画像を解析したところ、フィラメント状に見えた分布のうち、少なくともいくつかは広がった放射に対し、十分なコントラストを示すリッジ部をトレースしており、柱密度の高まった構造であることを確認した。このような密度の上昇は、雲が分裂し高密度コアを形成する素となっ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](#)

## P127a The relation of accretion to protostellar multiplicity and chemistry with Nobeyama

Nadia M. Murillo (RIKEN), Nami Sakai (RIKEN)

Mass accretion is a key process in star formation. It is currently understood that accretion is linked to protostellar luminosity, final stellar mass, and planet formation. However, several aspects of mass accretion are not yet understood. For example, how protostellar multiplicity or chemical complexity are related to mass accretion. Recent studies have begun to show the presence of elongated infalling gas structures, so-called accretion flows or streamers, around young stellar objects at scales of a few 1000 AU. This enables an initial glimpse into the relation between mass accretion and star formation at all mass ranges and evolutionary stages. We observed Perseus ( $d \sim 300$  pc) using the FOREST frontend on the Nobeyama 45m Telescope. On-the-fly maps with a  $6''$  grid at 90 GHz were observed toward six subregions. Our spectral setup covered low-J transitions of HCN,  $\text{HCO}^+$ , HNC,  $\text{HC}_3\text{N}$ ,  $\text{N}_2\text{H}^+$ ,  $^{13}\text{CO}$  and  $\text{C}^{18}\text{O}$  with a beamsize of  $\sim 18''$  ( $\sim 4000$  AU) and spectral resolution of  $\sim 0.1 \text{ km s}^{-1}$ . We derive gas distribution, temperature, and kinematic maps from the Nobeyama data. Additional physical and chemical parameters are derived by combining the Nobeyama data with our previously obtained APEX observations at 218 and 360 GHz. Our maps reveal that multiplicity is determined by mass, either from an initial massive clump or a continuously fed cloud core. By comparing the chemical complexity at scales  $\lesssim 100$  AU, previously obtained with ALMA, we find a possible connection between chemical complexity and mass accretion. We will discuss in detail this connection, and show the importance of observing various molecular species at different spatial scales.

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

## P128a ガス雲の降着による連星の種の成長

森井健翔 (茨城大学), 釣部通 (茨城大学)

連星の形成シナリオの一つとして、連星の種へのガスエンベロープの降着によるものがある。分子雲コアの重力収縮の結果、高密度領域において断熱コアが連星の種として形成され、残されたガスエンベロープが降着し、連星の種が質量を増やしていく。周囲のガスの質量は、形成時の連星の種の質量よりも非常に大きい。そのため、連星の種に降着するガスが、最終的に形成される連星の質量比や連星間距離などを決めていると考えられる。連星の形成過程を理解するためには、連星の種にガスが降着する段階を物理的に理解する必要がある。本研究では、ガス雲の降着段階における連星の種の成長を調べるためにガスの自己重力を考慮に入れた 3 次元流体計算を行った。ガスの自己重力を考慮することで連星の種の質量成長や軌道進化、ガス円盤の分裂を扱えるようにした。

計算の結果、連星の種はガス降着によって質量と角運動量を獲得し、それに伴って連星間距離が増加することがわかった。連星間距離の成長は、ガス降着によって連星に輸送される質量と角運動量によって決まると考えられるが、更に本研究では、降着するガスの角運動量は一部が連星の軌道角運動量となり一部が円盤のスピン角運動量に分化することに着目し、連星間距離の成長は、降着する角運動量のうち軌道角運動量によって決まることを明らかにした。降着ガスの角運動量が、軌道角運動量とスピン角運動量に 2:1 で一定に分配されることもわかった。また、連星の種の質量が 20 倍程度まで成長した後、星周円盤内で分裂が起きた。星周円盤の Toomre の  $Q$  値は、分裂が起きた瞬間には  $Q \sim 0.35$  と非常に小さい値となっていた。発表では、モデルの説明、計算結果の報告と共に、連星における星周円盤の分裂条件についての考察も行う予定である。

[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](#)

## P129a 磁場の向きと回転軸が非平行な場合の連星形成環境の解明

佐伯 優, 町田 正博 (九州大学)

宇宙に存在する星のほとんどが連星/多重星として誕生すると考えられており、その形成過程を理解することは星形成分野において重要な課題である。原始連星の形成過程については、その誕生現場である分子雲コアが高密度でどの波長でも光学的に厚いため、その内部を“直接”観測することは極めて困難である。一方で、アルマ望遠鏡を筆頭とする近年の観測機器の発達により、原始連星系から駆動すると考えられているジェットやアウトフローを捉えることで、原始連星が形成される様子を“間接的に”観測できるようになった (e.g., Tobin et al. 2018)。最近の観測では、回転軸が不揃いの連星からジェットやアウトフローが駆動する様子が報告されており (e.g., Tanaka et al. 2020, Hara et al. 2020)、その形成には分子雲コアが持つ連星形成初期の乱流が重要な役割を果たすと考えられていた (e.g., Offner et al. 2010)。我々は前回の発表 (日本天文学会 2020 年秋季年会 (P133a)) で、初期に乱流の効果を無視したにも関わらず、時間経過とともに原始連星からのジェットやアウトフローの伝搬方向が変化する様子を再現できたことを報告した。

本研究では、シミュレーションより得られた結果から、連星間距離や個々の星の質量などの連星形成過程における様々な物理量を解析した。本講演ではその結果を報告するとともに、連星が形成される環境について議論する。

[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](#)

## P130a OMC-2/FIR 6b からの高速回転ジェットの駆動

松下祐子, 高橋智子, 石井俊, 富阪幸治 (国立天文台), Paul Ho (ASIAA), John Carpenner (JAO), 町田正博 (九州大学)

オリオン分子雲 2 の領域にある Class 0 天体 FIR 6b を ALMA CO  $J=2-1$  で観測したところ、以前から確認されていた低速度のアウトフローの他に高速ジェットの存在が明らかになった。高速度のジェットの詳しい解析を行ったところ、ジェットの短軸方向に沿って、赤方偏移と青方偏移の両方の速度勾配が検出された。特にジェットの短軸方向の PV 図からは、典型的な回転を示す構造が見られた。この回転成分から FIR 6b のジェットの回転速度と比角運動量をそれぞれ求めたところ、 $\sim 20 \text{ km s}^{-1}$  以上と  $\sim 10^{22} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  であった。この値は、これまでに回転が観測されたジェットの中では最大である。観測から見積もった比角運動量から単純に遠心力半径を見積ると  $5 \times 10^4 \text{ au}$  という非常に大きな値となるが、そのような大きなスケールを持つ円盤は観測でも理論研究でも確認されていない。また、円盤風の理論モデルと、今回の観測結果を組み合わせると、ジェットの駆動領域半径は 2–3 au 付近であると推定された。このように急速な回転と、大きな比角運動量、ジェットの駆動領域は、磁気流体力学的な円盤風モデルによってのみ説明が可能である。今回の観測から、高速ジェットが質量降着の後期段階において、角運動量の伝達に寄与していることを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](#)

## P131a ALMA View of Molecular Outflow in Elias 29

Eri Saiga, Yoko Oya (U. Tokyo), Anna Miotello (ESO), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claudio Codella (Arcetri), Claire Chandler (NRAO), Nami Sakai (RIKEN), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), and FAUST Team Members

Elias 29 is a low-mass Class I protostar in the  $\rho$ -Ophiuchi molecular cloud complex. With molecular line observations with ALMA, Oya et al. (2018) revealed a compact component ( $\sim 50$  au) associated to the protostar and a southern ridge component apart from the protostar by 500 au. In the ALMA FAUST program, we tentatively identified an outflow cavity feature in the  $C^{18}O$  and SO emission in the southeastern part and suggested an interaction between the outflow and the southern ridge. In addition, we found a bow shock at the eastern side of the protostar in the SO emission, which would be caused by a protostellar jet.

To further characterize the complex physical structures of this source, we here investigate the outflow structure in detail by using the  $C^{18}O$  and SO data observed in the FAUST program. We carefully CLEAN the images to recover the extended emission as much as possible. As the result, we successfully find the north-western counterpart of the outflow cavity in the  $C^{18}O$  emission. The position-velocity diagrams along the line perpendicular to the outflow axis reveal an expanding structure specific to the outflow. From these results, we definitively identify the outflow in the vicinity of this protostar. Since significant velocity gradient is not seen along the outflow axis, the outflow likely blows almost on the plane of the sky. Detailed comparison of the observed structure with the parabolic outflow model is in progress.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P132a Misaligned rotations of the envelope, outflow, and disks in the triplet protostellar system of VLA 1623–2417

Satoshi Ohashi (RIKEN), Claudio Codella (INAF-OAA), Nami Sakai (RIKEN), Felipe Alves (MPE), Davide Fedele (INAF-OAA), Tomoyuki Hanawa (U. Chiba), Aurora Durán (UNAM), Cécile Favre (IPAG), Ana López-Sepulcre (IPAG), Laurent Loinard (UNAM), Seyma Mercimek (INAF-OAA), Nadia Murillo (RIKEN), Linda Podio (INAF-OAA), Yichen Zhang (RIKEN), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claire Chandler (NRAO), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), and FAUST Team Members

The rotation of a star-forming dense core is one of the most important parameters for star formation that has to be considered to study several components such as the jet-disk system as well as the molecular outflow.

We report a study of the low-mass Class-0 triplet System VLA 1623AB, in the Ophiuchus molecular cloud, by using  $H^{13}CO^+(J=3-2)$ ,  $CS(J=5-4)$ , and  $CCH(N=3-2)$  lines as a part of the ALMA Large Program FAUST. By focusing on velocity fields of these lines, we revealed the rotation motions in wide range scales from the envelope and the outflows to image the rotation of the circum-binary VLA 1623A disk as well as the VLA 1623B disk. We have found that the minor axis of the circumbinary disk of VLA 1623A is misaligned by about 12 degrees with respect to the large scale outflows and envelope rotation. The minor axis, i.e., the disk rotation axis, is parallel to the large scale magnetic field. The misalignment suggests that gas rotation and magnetic field are inclined with each other. We have also found the velocity gradient along the major axis of VLA 1623B, which indicates that its rotation axis is opposite to the other rotation axes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P133a Class 0 原始星 CB68 周囲のインフォールエンベロープ

城戸未宇, 高桑繁久, 高石大輔, 塚本裕介 (鹿児島大学), 島尻芳人 (国立天文台), 市川貴教 (エレクトクス工業)

惑星形成の初期条件を調べるためには、若い原始星段階で周囲の分子ガスがどのように降り積り、原始惑星系円盤が形成するかを明らかにする必要がある。今回、我々は、孤立した分子雲 Bok globule 中に存在する Class 0 原始星 CB68 ( $d=120$  pc) の ALMA アーカイブデータ (空間分解能  $\sim 0.25$  arcsec) の解析を行い、若い原始星周囲での円盤形成の様子を調べた。CB 68 は孤立した領域に存在するため、分子流や紫外線といった周囲の星からの影響を受けにくく、原始星周囲での分子ガスの構造、運動を調べるテンプレートとなると考えられる。解析の結果、1.3mm ダスト連続波により、半径 20 au 程度の北東から南西に伸びたダスト円盤を同定した。また、 $^{12}\text{CO}(2-1)$  輝線では、円盤の垂直方向に吹き出す分子流を検出し、 $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$  輝線からは、回転しつつインフォールしている、半径 1000 au 程度の原始星エンベロープを同定した。エンベロープのインフォール速度から、中心星の質量は  $0.03 M_{\text{sun}}$  と見積もられ、非常に低質量であることが分かった。これは CB 68 が Class 0 の中でも生まれたばかりの非常に若い天体であることを示唆している。現在、輻射輸送コード RADMC3d を用いて、Ulrich 1976 のインフォールエンベロープのモデルと観測の  $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$  の結果との比較を行っている。講演では上記の ALMA の結果を紹介するとともに、観測とモデルの比較から、エンベロープから円盤が形成される物理を議論していきたい。

[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](#)

## P134a Chemical and Physical Characterization of the Isolated Source CB68

Yoko Oya, Muneaki Imai (U. Tokyo), Brian Svoboda (NRAO), Haiyu Baobab Liu (Academia Sinica), Cecilia Ceccarelli (U. Grenoble), Claire Chandler (NRAO), Claudio Codella (Observatorio Astrofisico di Arcetri), Nami Sakai (RIKEN), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), and FAUST team members

We report chemical and physical structures of the low-mass Class 0 protostellar source IRAS 16544–1604 in the Bok globule CB68 (L146). The result is based on the ALMA observation in the 1.2 and 1.3 mm bands at a linear spatial resolution of 70–80 au conducted as the large program FAUST.

Three interstellar saturated complex organic molecules (iCOMs)  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{HCOOCH}_3$ , and  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  are detected. They are concentrated around the protostar and not spatially resolved. The rotation temperature of  $\text{CH}_3\text{OH}$  is derived to be  $131 \pm 11$  K with the beam filling factor of  $0.022 \pm 0.003$ . The small beam filling factor means that the emitting region is as small as 10 au. The detection of iCOMs in such a hot region in the vicinity of the protostar indicates that CB68 harbors a hot corino. The abundance ratios between iCOMs are similar to those found in hot corinos. In addition, extended emission lines of carbon-chain molecules associated with the protostar are detected, revealing warm carbon chain chemistry on a scale of  $10^3$  au. These features indicate the hybrid chemical character, as reported for L483 and B335. The kinematic structure of the  $\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , and  $\text{OCS}$  lines is explained by the infalling-rotating envelope model, and the protostellar mass and the radius of the centrifugal barrier are estimated to be  $0.15_{-0.07}^{+0.15} M_{\odot}$  and  $<30$  au, respectively. The small radius of the centrifugal barrier seems consistent with the small emitting region of iCOMs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P135a B335 における原始星近傍 10 au スケールの化学組成分布と速度構造

大小田結貴, 大屋瑠子, 今井宗明 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), Ana López-Sepulcre (IPAG), 山本智 (東京大学)

B335 は、Class 0 低質量原始星 IRAS 19347+0727 を付随する Bok globule である ( $d=100$  pc)。他の天体から孤立した環境にあることから、星形成研究の絶好の研究対象として多くの研究が行われている。また、原始星周り 100 au のスケールで不飽和炭素鎖分子 (WCCC)、10 au のスケールで飽和有機分子 (COMs) が豊富であるハイブリッドな化学組成の特徴を持つ。 $^{12}\text{CO}$ 、CS、CCH などの観測から東西に伸びるアウトフローが検出され、原始星近傍に分布する  $\text{CH}_3\text{OH}$  の運動から原始星質量が  $0.02\text{--}0.06 M_{\odot}$  と見積もられている (e.g., Imai et al. 2019)。

本研究では、ALMA データを用いて原始星近傍の数 au スケールの分子輝線分布と速度構造を調べた。 $\text{CH}_3\text{OH}$ 、 $\text{SO}$ 、 $\text{SO}_2$  はダスト連続波の分布 (直径  $\sim 25$  au) よりも広がって観測され、連続波ピーク位置で強度が弱くなる。これは、それらのスペクトル線とダスト連続波が光学的に厚いことによると考えられる。対照的に、 $\text{HCOOH}$ 、 $\text{NH}_2\text{CHO}$ 、 $\text{HNCO}$  は、原始星から半径 10 au 以内に集中した分布を持ち、回転構造を示す。これらのスペクトル線の中心速度は  $7\text{--}8 \text{ km s}^{-1}$  であり、先行研究で報告されるエンベロープの系統速度  $8.34 \text{ km s}^{-1}$  より青方偏移していることがわかった。この結果は、原始星周りのガスと原始星の中心速度がずれている可能性を示す。また、B335 の円盤・エンベロープ構造の傾き角はほとんど edge-on ( $i = 80\text{--}87; 90^\circ$  for edge-on) であるにもかかわらず、そのダスト連続波の分布はほぼ円形である。中心速度のずれと円形のダスト連続波分布は、別の低質量原始星 IRAS 15398–3359 でも見られ、非常に若い原始星の特徴となり得る。他の天体との比較も交え、B335 の原始星近傍における化学組成の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](#)

## P136a 分子雲コア収縮時における原始惑星系円盤の形成とダストの合体成長

今枝 佑輔 (法政大学), 松本 倫明 (法政大学)

惑星形成過程はガスとダスト (固体成分) の混合体から、固体成分が分離・濃集していく過程である。一方ガス-ダスト間には摩擦が働くため、ダスト運動は stopping time の程度でガス運動に対して止められる。その dynamical time に対する比はストークス数 (St) とよばれ、ガスとダストがどれだけ独立に運動できるかの重要なパラメータとなり、ダストの合体成長速度に影響を与えると共に、ガスとダストの空間分布に違いを作る原因となる。

今回我々は、弱い磁場入りの乱流分子雲コアが自己重力により収縮していく過程で、ダストがどの程度成長し、ガス分布とダスト分布にどのような差異が生じるのかを明らかにするため、その進化をダストサイズの成長を含め調べた。今回、ダスト運動は無圧力のダスト流体で近似し、ダストの合体成長は局所的なサイズ分布が単一サイズであると近似して取り扱う。そこで AMR を用いた 3次元自己重力磁気流体計算コードである SFUMATO (Matsumoto 2007) を 2 流体が取り扱えるようにし、更にダストサイズの合体成長も取り扱えるよう拡張した。

計算は分子雲コアの収縮からはじめ、その後原始星が生まれ、その周りに 8AU 程度の原始惑星系円盤が形成される時点までを追った。これは原始星が生まれた時点から数えると 1300 年程度の進化を追ったことに相当する。その結果、初期に  $0.1\mu\text{m}$  のダストは円盤に落下する直前までに  $0.3\mu\text{m}$  程度しか成長しないのに対し、円盤内へのダストは  $4\mu\text{m}$  程度まで成長していた。一方でガスとダストの円盤サイズはほぼ同じで、St は円盤内部では  $10^{-6}\text{--}10^{-5}$  程度、円盤のすぐ外側では  $10^{-3}\text{--}10^{-1}$  と円盤外側のほうがガス密度が低い分、ガスに対しダストが移動しやすいという結果が得られた。特に円盤上空に形成されつつある磁気圧優勢領域ではガス密度が低く St が 1 を大きく超える結果となり、この領域でダスト密度の大幅な減少が見られた。

[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](#)

## P137a 超大規模並列計算に向けた、テレグラフ方程式を用いた重力ソルバーの開発

前田龍之介、井上剛志、犬塚修一郎 (名古屋大学)

主に大規模並列系計算機からなるスーパーコンピュータの性能進化によって、高分解能計算や複雑な物理過程を考慮した数値シミュレーションが実行可能になり、天文学の研究は大きく発展してきている。ここで、現代の最高性能のスーパーコンピュータは富岳であり、最大で約 2,500,000 コアの並列計算が実行可能である。将来的には、さらなるスーパーコンピュータの発展によって、より大規模な並列シミュレーションが可能になると期待されるため、天文学で用いられているシミュレーションコードも富岳やそれ以上の大規模並列計算に適応していく必要がある。

宇宙において自己重力は、星形成・星間現象など様々な場面で重要であるため、現在までに多くの自己重力入りのシミュレーションがなされてきた。ここで、一般的なシミュレーションコードで用いられている自己重力ソルバーはマルチグリッド法と呼ばれる緩和法の一つであり、重力場を複数の分解能で緩和させることにより、素早くポアソン方程式を解く手法である。しかしながら、高度な並列化が難しいマルチグリッド法は 10,000 コア以上の計算機で効率的に利用することが難しく、富岳クラスの計算機の全性能を用いた超大規模並列計算を行うためには、並列化効率の良い新たな重力ソルバーを開発する必要がある。そこで本研究では、波動方程式に拡散の項を加えたテレグラフ方程式を用いた、並列化効率の良い重力ソルバーを開発した。本研究で考えているテレグラフ方程式による重力ソルバーは、拡散による波の減衰の効果により、波動方程式を用いた重力ソルバー (Hirai et al. 2016) と比べて、よりはやく収束可能であることがわかった。また、本研究ではテレグラフ方程式の拡散係数をパラメータとして計算を行い、重力場の計算にとって最も効率の良い拡散係数を導出した。

[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](#)

## P138a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (1)

山崎駿, 佐伯優, 原田直人, 柳玉華, 町田正博 (九州大), 山崎康正, 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 西岡丈翔, 立原研悟 (名古屋大), 松下祐子 (国立天文台), 深谷紗希子 (鹿児島大), 大西利和 (大阪府大), 平野信吾 (東京大)

近年の分子雲コア収縮を追跡した数値計算では、初期に貫く大局的な磁場の向きとコアの回転軸のなす角度等が形成されるアウトフローや原始星円盤の性質に大きく影響を与えることが明らかになってきた (e.g., Hirano et al. 2020)。したがって原始星に付随するガスの特徴を明らかにすることは星形成の初期条件を観測的に知るための重要な手がかりとなり得る。我々は星形成初期段階にある天体の理解を深めるため、ALMA アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を推進している。このデータは太陽系近傍  $\sim 140\text{--}400\text{ pc}$  に存在する 4 つの星形成領域の原始星候補天体 125 個を Band 6 帯  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{D}^+$  輝線及び 1.3 mm 連続波で観測 (角度分解能  $\sim 0.7''$ ) したものである。本発表では現在までに利用可能な Class 0/I 候補天体 55 個の初期解析結果について紹介する。 $^{12}\text{CO}(J=2-1)$  のスペクトルからアウトフローと思われる高速度成分 (最大相対速度  $\geq 5\text{ km s}^{-1}$ ) の同定を試みた。アウトフローの空間的特徴として判別しやすいコーン状 (双極型+単極型) に近い特徴を持つものが過半数を占めた (26+3 個) 一方、極めて複雑なエンベロープ構造を持つ不規則型 (19 個) も少なからず存在した。高速度成分が未検出の 7 天体のうち、1 天体は分子雲コアの中心を避けるように分布していることから Class 0/I 天体以外であることも考えられるが、その他の天体については少なくとも現在はアウトフローが付随していない例外的な原始星である可能性がある。講演では天体毎の考えられる進化段階やエンベロープの形成要因について議論する。

[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](#)

## P139a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (2) : 中間質量原始星 DK Cha のケーススタディ

原田直人, 山崎駿, 佐伯優, 柳玉華, 町田正博 (九州大), 徳田一起, 山崎康正 (大阪府大/国立天文台), 立原研悟, 西岡丈翔 (名古屋大), 松下祐子 (国立天文台), 深谷紗希子 (鹿児島大), 大西利和 (大阪府大), 平野信吾 (東京大)

中間質量星は小質量星と同様のプロセスで形成されると考えられているが、それを明らかにするためにも中間質量原始星およびその周辺構造の観測が極めて重要である。Chamaeleon II 領域に存在する DK Cha (距離  $\sim 240$  pc) は Class I から Class II に遷移する段階の SED を示し (Spezzi+2008; van Kempen+2010)、質量  $2\text{--}3 M_{\odot}$  程度、光度  $\sim 30 L_{\odot}$  を持つ中間質量の原始星である。また、Knee (1992) の単一鏡観測によって相対速度  $\sim 60 \text{ km s}^{-1}$  の高速な青方偏移 CO アウトフローの存在が示唆されていた。我々は太陽系近傍星形成領域の原始星に付随するアウトフローと円盤の性質の統計的理解を目的とした ALMA アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を推進しており (山崎 他本年会)、本講演では DK Cha の解析結果について報告する。今回の ALMA による  $\sim 0.7''$  解像度の CO 観測においても最大相対速度  $\sim 60 \text{ km s}^{-1}$  の青方偏移成分が検出され、その詳細な構造が明らかとなった。これは、現在利用可能な 84 天体のうちスペクトルのウイング成分が確認されたものの中で最も高速度である。この青方偏移成分は大きさ  $\sim 4000$  au ほどの特異な円弧状の構造を持つことがわかった。また、より高い  $\sim 0.3''$  ( $\sim 70$  au) の解像度の観測 (2013.1.00708.S) では  $1.3 \text{ mm}$  連続波がほぼ点源として捉えられており、円盤サイズは比較的にコンパクトであることがわかった。コンパクトな円盤は効率的な角運動量輸送の存在を示唆するため、検出された特異な構造が極めて高速なアウトフローであると考えると整合的である。

[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](#)

## P140a 大マゼラン雲 N113 領域における大質量星形成 : 潮汐相互作用によるトリガー

西岡丈翔<sup>1</sup>, 徳田一起<sup>2,3</sup>, 柘植紀節<sup>4</sup>, 福井康雄<sup>1</sup>, 小西亜侑<sup>2</sup>, 南大晴<sup>2</sup>, 大西利和<sup>2</sup>, 河村晶子<sup>3</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, Marta Sewilo<sup>5</sup>, Rosie Chen<sup>6</sup>, Remy Indebetouw<sup>7,8</sup> (1: 名古屋大, 2: 大阪府立大, 3: 国立天文台, 4: Friedrich-Alexander Univ., 5: NASA, 6: MPIA, 7: Univ. of Virginia, 8: NRAO)

大マゼラン雲は、最も巨大で明るい H II 領域である 30Dor 以外にも、広範囲に活発な大質量星形成を示すことで注目される。30Dor については、銀河間相互作用に起因するガス流衝突が星形成をトリガーした可能性が指摘されているが、それがどの程度一般性を持つかは明らかになっていない。大マゼラン雲のほぼ中央に位置する H II 領域 N113 に付随する分子雲の総質量は  $4 \times 10^5 M_{\odot}$  であり (Fukui+2008)、後期の進化段階 (Type III; Kawamura+2009) に分類される。我々は同領域の ALMA Cycle 3 の  $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=3-2)$  輝線等のアーカイブデータを調べ、空間分解能  $\sim 0.1$  pc の観測により、分子雲の大局的な構造から分子雲コアまでの詳細な分布を明らかにした。H I および H $\alpha$  データとも比較することより、主に以下のような結果が得られた。(1) 分子雲は長さ約 20 pc の 2 本のフィラメント状成分からなり、H $\alpha$  の分布に沿って V 字型を形成する。(2) フィラメントの一部で  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  によりトレースされる高密度部分が 7 か所程度存在する。(3) H I ガスが付随しており、青方偏移 (L) 成分と銀河円盤 (D) 成分が相補的に重なっている。両成分の相対変位をガス雲衝突の解析によって求めると、L 成分が 50 pc ほど東方に移動していたと推定される。以上の結果から、この領域では H I ガスが銀河円盤と衝突相互作用し、ガスを圧縮した可能性が考えられる。ガス速度から衝突時間スケールは 1 Myr と見積もられ星団の年齢 (Bica+1996) と矛盾がないことから、潮汐相互作用に起因する大質量星形成は銀河の南東にかぎらず、中央部でも働いていると推測され、潮汐相互作用の数値シミュレーションとも合致する。

[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](#)

## P141a ALMA による小マゼラン雲 N66 領域の大質量原始星に付随する分子ガス観測

大川将勢, 小西亜侑, 南大晴, 小西諒太郎, 村岡和幸, 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)

小マゼラン雲は銀河系と比べて重元素量が 1/5 程度であり、比較的近傍 ( $\sim 62$  kpc) に位置していることから、低金属量環境下の星形成過程や分子雲の性質を高分解能で観測できる重要な銀河である。北部には同銀河内で最も明るい H II 領域である N66 領域が存在し、大きさ  $\gtrsim 10$  pc、質量  $\sim 10^4 M_{\odot}$  の分子雲が確認されていることから大規模な星団形成領域における星形成の初期段階を研究する上で適している。最近では N66 北部で  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  の観測により分子雲衝突による中質量星程度の星形成がトリガーされたことが示唆された (Neelamkodan et al. 2021)。また、N66 南部では分光観測により確認された大質量原始星 Source C, E, I が存在しており、それぞれ中心星の質量は  $26 M_{\odot}$ ,  $16 M_{\odot}$ ,  $20 M_{\odot}$  と見積もられている (Rubio et al. 2018)。本発表では新たに ALMA Band 6 のアーカイブ (2015.1.01296.S) より  $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ,  $^{13}\text{CO}(J=2-1)$  及び 1.3mm 連続波等のデータ (空間分解能  $\sim 0.5$  pc) を取得し、特に N66 領域南側に存在する上記 3 つの大質量原始星 Source 方向で分子ガスの特徴を調べた。その結果、これらすべての方向で  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ , 1.3mm のエミッションが付随していたことから、いずれの原始星も母体分子雲を散逸させていない大質量星形成の初期段階であると思われる。1.3mm 連続波源のフラックスは  $\sim 1-2$  mJy 程度であったことから、大質量星周辺に  $\sim 10^3 M_{\odot}$  程度の大質量クラumpが付随していると考えられる。このうち最も重い原始星である Source C に関しては複数の異なった速度を持つ CO フィラメントの交点に存在していたが、Source E, I に付随する分子雲は CO 輝線で見られるガスについてもビームサイズ程度の広がりを持つのみであった。講演では大質量原始星に付随する分子雲の特徴とその多様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](#)

## P142a ALMA による重力不安定な円盤を伴う大質量原始星からの分子ガスアウトフロー観測

○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大質量原始星 ( $\sim 10 M_{\odot}$ ) であり、ほぼ Face-on の質量放出/降着系として観測される。ALMA Cycle 4 Long Baseline ( $\sim 12$  km) による 2mm 帯でのダスト/メタノール輝線の撮像観測によって、半径 700 au 程度の回転降着エンベロープと半径 250 au 程度の降着円盤が空間分解された (2019 年春季年会 P123a, 秋季年会 P103a, Motogi et al. 2019)。

今回は ALMA Cycle 6 において検出された CO ( $J=2-1$ ) 輝線のアウトフローについて報告する。青方偏移成分については視線速度  $-120 \text{ km s}^{-1} - -80 \text{ km s}^{-1}$  で原始星 (システム速度  $-5 \text{ km s}^{-1}$ ) から東へ伸びる高速のジェット成分が検出された。また  $-80 - -20 \text{ km s}^{-1}$  の低速成分においては高速成分と相補的なシェル状の構造が見られ、分子ガスジェットと周辺物質との相互作用が示唆される。これらの構造は過去に行った SMA 観測の結果とよく一致しているが (2014 年春季年会, P112a)、一方で SMA では検出できなかったジェットの先端から降着円盤近傍へ伸びる微弱な成分 ( $\sim -100 \text{ km s}^{-1}$ ) が検出された。同成分の根元には水メーザーの VLBI 観測で検出されたコンパクトジェット (Motogi et al. 2016) が接続しており、原始星近傍 100 au から噴き出したガスが東側 5000 au まで直線的に伸びていることがわかった。また SMA では殆ど検出されなかった高速の赤方偏移成分 ( $+120 - +140 \text{ km s}^{-1}$ ) が円盤の位置から南西方向へ伸びていることが明らかになった。ジェットの力学時間は  $1000 - 3000 \text{ yr}$  であり、Motogi et al. (2019) で推定された原始星の年齢 ( $\sim 3000 \text{ yr}$ ) とよく一致している。

[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](#)

## P143a 低金属度環境における大質量星周円盤の分裂

松木場亮喜 (京都大学), 大向一行 (東北大学), 細川隆史 (京都大学), 田中圭 (コロラド大学), E. I. Vorobyov (ウィーン大学)

近傍の形成段階にある大質量星の観測により、その周囲に降着円盤が形成されることが報告されている。さらにそれらの円盤は自己重力的に不安定化するのに十分な質量を持ち、円盤分裂によって多重星系が形成される可能性が示唆されている。また、太陽質量程度の星形成において円盤分裂の激しさは金属度に依存すると考えられている。低金属度環境のほうが円盤分裂が起きやすく、多重星系が形成されやすい傾向にある。だがしかし、このような金属量に対する円盤分裂の依存性が大質量星形成において、どのようになっているのかはいまだ理解が乏しい。円盤分裂によって個々の星に対するガスの供給量が変化し、最終的にできる星の質量に影響を与えるため、そのような過程を理解することは重要である。

そこで本研究では、大質量星形成過程を2次元の数値流体計算によって再現し、星周円盤の進化を追っていく。このときに金属量を  $10^{-3} Z_{\odot} \leq Z \leq 1 Z_{\odot}$  の範囲で変化させ、円盤進化に対する金属量の影響を確かめる。本研究によって大質量星形成においても低金属度環境のほうが円盤分裂が激しくなり、より多重星系ができやすいという結果が得られた。

本講演では計算結果を示し、大質量星形成に対する金属量の影響を議論する。

[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](#)

## P144a 有限金属量のもと急速降着で成長する原始星の進化

櫻井祐也 (Kavli IPMU)

赤方偏移  $z \gtrsim 6$  で  $\sim 10^9 M_{\odot}$  の超巨大ブラックホール (SMBH) が存在することが遠方クェーサー観測で知られている。このような SMBH の存在を  $\sim 10^4 - 10^5 M_{\odot}$  の大質量種 BH からの成長により説明する際、急速降着で成長・形成する超大質量星が考えられる。従来の研究では、超大質量星は金属のない始原環境で形成されると考えられていたが、近年金属量がある環境でも超大質量星が形成される可能性が示された。しかし有限金属量の場合の急速降着する原始星の進化についての理解は乏しい。金属量のある場合での、急速降着する原始星への輻射フィードバックの影響も知られていない。この研究では、我々は金属量  $Z = 0 - Z_{\odot}$ 、一定降着率  $\dot{M} = 10^{-3} - 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  の場合に、原始星の成長進化を計算し、ダストコクーンへの輻射圧と電離領域膨張によるフィードバックの影響を調査した。降着率  $10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  では、金属量が大きいほど、CNO サイクルによる水素燃焼が KH 収縮の早い段階で起きるため、星の半径が大きく、有効温度・中心温度が低い。降着率  $1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  では、星の半径、有効温度は金属量によらないが、中心温度は金属量が大きいほど低い。原始星が収縮するか supergiant protostar になるかの境となる臨界降着率  $\dot{M}_{\text{cr}}$  は、金属量が大きいほど小さい。  $Z \lesssim 10^{-5} Z_{\odot}$  では  $\dot{M} = 0.04 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、  $10^{-4} Z_{\odot} \lesssim Z \lesssim 10^{-2} Z_{\odot}$  では  $\dot{M} = 0.02 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、  $Z \gtrsim 0.1 Z_{\odot}$  では  $\dot{M} < 0.01 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  である。  $Z \gtrsim 0.1 Z_{\odot}$  ではダストコクーン中で再放射される赤外線輻射圧によるフィードバックで星の質量が  $< 100 M_{\odot}$  に制限される。  $Z \sim 10^{-2} Z_{\odot}$  では、ダスト破壊面への輻射圧によるフィードバックで  $\dot{M} \lesssim 0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  で質量が  $\sim 100 - 10^4 M_{\odot}$  に制限される。  $Z \lesssim 10^{-3} Z_{\odot}$  では、降着率が  $\dot{M} \lesssim 0.02 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  の場合、電離領域膨張によって星の質量が  $\sim 350 - 6 \times 10^3 M_{\odot}$  に制限される。降着率が  $\dot{M} \gtrsim 0.02$  では電離領域は膨張せず星は継続的に supergiant protostar として成長する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P145a 3次元磁気流体計算に基づくダスト粒子の軌道計算と統計的性質の解明

古賀駿大, 町田正博 (九州大学)

現在の惑星形成論では、まず原始惑星系円盤においてダスト同士が衝突し、付着成長していくと考えられている。円盤におけるダスト成長の議論は、従来主に Class II を想定して行われてきた。一方、近年の観測 (e.g., Tychoniec et al. 2020) は class 0 段階での惑星形成の開始を示唆しており、より早い段階、つまり円盤形成過程におけるダスト成長モデルの構築の重要性が増してきている。円盤形成過程のガスの進化については、3次元磁気流体シミュレーションを始めとした理論研究と ALMA などによる観測によって、アウトフローによる質量放出などを伴った複雑な進化過程が明らかになりつつある。ダストの成長過程の解明の前段階として、まずは複雑なガス進化過程に伴うダストのダイナミクスを明らかにすることは必要不可欠である。

本研究では、3次元非理想磁気流体数値シミュレーションコードに新たにダスト粒子を導入した。今回はダスト粒子からガスへの back reaction は考慮していないが、流体計算から局所的なガスの物理量を抽出することで、ガス進化と同時に軌道計算を行った。その際、ガスは分子雲コアを初期条件とし、ダストをサイズをパラメータとしてコア全域にばら撒いて軌道を追跡することで、円盤形成に伴うダストの統計的な性質を明らかにした。計算した結果、 $10\mu\text{m}$  以下のダストは、ガスと couple して運動することがわかった。また、円盤に侵入して回転運動するダストとアウトフローによって巻き上がるダストの初期位置も明らかにした。

本講演では、以上の結果とともに、ダストのラグランジュ的な情報からダスト成長の定量的な議論も行う。

[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](#)

## P146b 衝撃波圧縮の継続時間を考慮した分子雲における誘発的星形成シミュレーション

安部大晟, 井上剛志 (名古屋大学)

星は分子雲中の高密度領域で形成されるが、その高密度領域がフィラメント状であることや (e.g., André et al. 2010)、分子雲を通過する衝撃波がそのフィラメントの形成を誘発することがわかった (e.g., Inoue & Fukui 2013; Abe et al. 2021)。Abe et al. (2021) でのシミュレーションでは、衝撃波-分子雲相互作用が長時間継続する問題設定となっていたが、現実はある大きさの分子雲へ衝撃波が通過するため、衝撃波圧縮の継続時間に限りがある。よって、現実的な分子雲の進化と星形成過程を解明するには、衝撃波の継続時間をパラメータとしたシミュレーションをすることで、どのくらいの衝撃波継続時間でフィラメントや星の形成が開始するのか調べる必要がある。さらに、多くの観測事実が、分子雲衝突によって大質量星形成が誘発されることを示唆しているが (Fukui et al. 2021)、大質量星形成の初期条件についてはまだよくわかっていない。Enokiya et al. (2019) では、分子雲衝突が観測されている領域の柱密度と OB 型星の数の間に冪乗則の相関があることを発見した (以下、この相関を示した図を榎谷ダイアグラムと呼ぶ)。大質量星形成の初期条件を知るためには、この結果を理論的に解釈する必要がある。本研究では SFUMATO コード (Matsumoto 2007) を用いた三次元磁気流体シミュレーションにおいて、計算領域の端からのガス流入を途中で止めることによって、衝撃波継続時間については柱密度を制御する。星形成が起こり得る領域に対しては、周りのガスを降着させる仮想粒子である sink particle を導入し、そこから星形成開始条件や榎谷ダイアグラムとの比較を行う。結果として、衝撃波圧縮層の自由落下時間だけ衝突が継続することが星形成開始条件であることがわかった。また、大質量星形成の初期条件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](#)

## P147b 山口干渉計による赤外線暗黒星雲に埋もれた原始星アウトフロー天体の探査観測

北口慶太、元木業人、藤澤健太、新沼浩太郎 (山口大学)

赤外線暗黒星雲 (IRDC) 中の低温高密度な大質量クランプは大質量星を含む星団形成の前駆体と考えられている (e.g., Rathborne et al. 2006, Peretto & Fuller 2010)。こうした天体のうち  $70 \mu\text{m}$  の遠赤外線暗いものは、星団形成前の星無しクランプと考えられる。しかし近年の ALMA 観測により、そうした  $70 \mu\text{m}$ -dark クランプ中にすでに原始星アウトフローが存在している例が発見され始めた (e.g., Feng et al. 2016; Pillai et al. 2019)。これらは大質量星形成の最初期段階の有力な候補であり、その形成環境を調査する上で非常に重要である。そこで我々は山口干渉計 (YI) を用いて、原始星アウトフロー活動に伴う微弱な制動放射の大規模な探査観測を行い、そのような  $70 \mu\text{m}$ -dark な IRDC に埋もれた進化初期天体のカタログを作成するプロジェクトを開始した。

本講演では、計画の概要と 2020 年の 12 月までに実施した初期探査観測の結果について報告する。ターゲット天体は Traficante et al. (2015) の IRDC カタログから、内部に原始星と思われる  $70 \mu\text{m}$  の遠赤外線源を含まず、YI の視野範囲に既知の近傍 HII 領域が存在しない天体とした。現時点で合計 98 天体に対して観測を行ない、32 天体を検出した。このうち 4 割程度は  $20 \text{ mJy}$  以上 (信号雑音比  $\sim 30 \sigma$  程度) の明るい電波源であり、未報告の近傍 HII 領域や背景の活動銀河核を捉えている可能性が高い。一方、それ以外の微弱電波源について、母体 IRDC の温度と密度を調べたところ、より低温高密度な星形成に適した環境に付随している傾向が見られた。このことから検出された微弱電波源は IRDC 中の星形成活動を捉えている可能性が高いと考えられる。今後はさらに探査を継続し、2023 年までに 500 天体程度に対して観測を行う予定である。

[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](#)

## P201a Structure of Molecular Cloud Circumstellar Disks

Bo Zhang, Saga University

A theory about the structure of molecular cloud circumstellar disks which is the same in appearance as Schrödinger's equation is proposed. It is found that (1) the Hayashi density distribution is an inherent result of the theory, (2) the theory predicts very well the mass distribution in the solar system, (3) molecular cloud circumstellar disks may have gaps, (4) the planet formation in the solar system is expected to occur in three different periods according to the deviation of the masses of planets from the theoretical prediction: Jupiter, Neptune and Eris, which are more massive than the theoretical prediction, come to the first period, followed by Venus, the earth, Mars, Saturn, Uranus and Pluto, which has the exact mass as the theory expected, and Mercury which is lighter than theoretical prediction is the last, (5) Jupiter is located at the molecular densest position, (6) Jupiter formation started in the earliest period because where the particle number density was the highest in the solar system, (7) Mars has a small mass because it is located near the gap where the particle density is much lower than the other areas.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P202a 非軸対称降着が原始惑星系円盤の回転速度分布に及ぼす磁気張力加速

海野真輝(大阪大学), 花輪知幸(千葉大学), 高棹真介(大阪大学)

原始惑星系円盤は周囲からの質量降着により軸対称性を保ちながら成長すると考えられている。しかし近年、ガス降着がかなり非対称であることを示唆する例が見つかってきており注目を集めている。例えば、TMC1-A の CS・SO 分子輝線の観測からは円盤への間欠的な非対称ガス降着が示唆されている (Sakai et al. 2016)。また遷移円盤の段階でも分子雲の名残がもたらす非対称ガス降着が考えられており、これによる星周円盤ガスの再補充や遷移円盤周りで見られる arc 状星雲形成の関連性について検討されている (Dullemond et al. 2019; Kuffmeier et al. 2020)。原始惑星系円盤の進化の理解にはこのような非対称性がもたらす数 100 au スケールでの円盤・降着ガスの相互作用について調べる必要があるが、研究例は少なく磁場を考慮した研究もまだ行われていない。

そこで我々は 3次元理想 MHD シミュレーションを行い、磁化したガス塊が円盤に降着する過程を調べた。簡単のため、ここでは磁場はガス塊に付随しているものだけを考えた。楕円体のガス塊が放物線軌道で円盤側面に衝突する状況を想定し、円盤の厚みに対するガス塊の厚みの影響について調査した。その結果、ガス塊の厚みが円盤の厚みと同程度の場合は磁気制動により減速して円盤へ降着するが、円盤の厚みより大きい場合はガス塊の一部はむしろ加速されることがわかった。ガス塊の赤道面部分は円盤との衝突により減速するが、円盤より広がった部分は円盤表面上を流れるように進むため、赤道面との間に速度差が生じる。これがガス塊の 2つの部分を繋ぐ磁力線を U-hook 状に曲げ、磁気張力によりガス塊の赤道面部分を回転方向へ加速させる。この結果は円盤への降着過程を 1次元で考えるのは不十分であり、多次的に高さ方向の速度構造を考慮する必要性を示している。この加速機構が働く磁場の強さについては講演で述べる。

[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](#)

## P203a 原始星アウトフローによって引き起こされる原始惑星系円盤への「降灰」

塚本裕介 (鹿児島大学), 町田正博 (九州大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始星の形成進化過程におけるダストの成長とそのダイナミクスは近年大きな注目を集めている。一方でこれまでの円盤内でのダストダイナミクスの理論研究はワンゾーン近似や1Dシミュレーションによって主に研究されてきた。しかしながらこれらの手法ではアウトフローといった原始星形成期の多様なガスダイナミクスのダストダイナミクスへの影響を取り扱うことが困難であった。そこで我々はダスト成長を取り込んだ3D非理想MHDダスト-ガス2流体シミュレーションコードを開発してきた(2021年天文学会春季年会)。

本講演では、このコードを用いて行ったシミュレーションで発見された新しい現象、「原始惑星系円盤への降灰現象」について発表する。円盤内縁で成長した1cm程度のダストがアウトフローで巻きあげられると、アウトフロー内でガスとすみやかにdecoupleする。その結果、成長ダストはアウトフロー内から遠心力によって弾きだされ、エンベロープを経由して、円盤外縁に再降着することを発見した。この現象は例えば桜島などにおいて頻繁に起こる、火山噴火によるガスと灰の大気中への放出と大気中での火山ガスと灰のdecoupling、そして、鹿児島市街地への降灰に類似している。このことから我々はこの現象を原始星における降灰現象と名付けた。

我々はこの原始星における降灰現象によってradial drift barrierが回避され、円盤外縁での(微)惑星形成が促進されうると考えている。例えば円盤内縁で $St \lesssim 0.1$ 程度に成長したダストが面密度の低い円盤外縁に降着すると、ダストのストークス数(面密度に反比例)は自動的に増大し、 $St > 1$ になりうる。これによって $St=1$ で起こる効率的なradial driftを回避し、円盤外縁で微惑星形成や惑星形成が可能になると考えられる。本講演ではシミュレーション結果について説明するとともに、降灰現象が惑星形成理論に与える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](#)

## P204a Spitzer/IRACによるSh 2-208の中間赤外線観測: 低金属量環境下における原始惑星系円盤の進化

安井千香子 (国立天文台)

本研究では、Spitzer/IRACを用いて、われわれの銀河系内で最も金属量の低いH II領域の一つであるSh 2-208(S208; [O/H] = -0.8 dex)にある若い星生成クラスターの高感度中間赤外線測光を行った。これまでに、我々は近赤外線撮像観測によりこのクラスターの年齢を約0.5 Myr、距離を $D = 4$  kpcと導出したが、この距離は最近のGaia EDR3による年周視差から導出されるものと一致することが確認された。S208を覆う約 $3.5 \times 4$  arcminの領域に96個の天体が少なくとも1つのIRACバンドで $10\sigma$ 以上で検出され、質量検出限界が約 $1.0 M_{\odot}$ と見積もられた。近赤外線 $K_S$ バンドとIRACバンドから得られたスペクトルエネルギー分布(SED)の傾きの空間分布と天体の減光量から、クラスターメンバーとして合計41個の候補天体が同定された。クラスターメンバーのSED分布の傾きの累積分布は、IRACバンドでは検出されなかったものの近赤外線観測からメンバーと同定された天体も考慮すると、年齢が同程度の太陽金属量環境下にある他のクラスターの分布と有意な差は見られなかった。このことから、円盤内のダストの成長・沈降の度合いは、金属量が $\sim 1$ dex程度の違いでは大きく変わらないことが示唆された。また、 $1 M_{\odot}$ 以上のクラスターメンバーの中で円盤からの中間赤外線超過を示す星の割合は64%-93%と求められたが、これは太陽金属量環境下での結果と同程度のものだった。この結果は、中質量星の主な円盤消失メカニズムが金属量に依存しない、もしくは非常に弱いことを示唆すると考えることもできるが、このように若い段階においてはまだ円盤消失プロセスが十分に働いていないことを示唆すると考えることもできる。

[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](#)

## P205a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算：円盤ダスト-ガス質量比依存性

駒木彩乃 (東京大学), 仲谷峻平 (理化学研究所), 吉田直紀 (東京大学)

太陽系近傍星形成領域の観測から原始惑星系円盤の寿命は約 3-6 百万年で消失すると見積もられている (Haisch et al.:2001)。円盤消失機構の一つとして光蒸発が挙げられている。光蒸発とは中心星または近傍にある星から放出された Extreme Ultraviolet(EUV;  $13.6 \text{ eV} < h\nu < 100 \text{ eV}$ ), Far Ultraviolet(FUV;  $6 \text{ eV} < h\nu < 13.6 \text{ eV}$ ), X-ray( $0.1 \text{ keV} < h\nu < 10 \text{ keV}$ ) によって円盤物質が加熱され、円盤から流れ出ていく現象である。惑星系は円盤を構成するガス・ダストを材料として形成されるため、円盤寿命は惑星形成の直接的な時間制限となる。星形成領域でのミリ波観測から、年齢と共に円盤中のダスト質量が変化することが示唆されている (Mathews et al.: 2012)。そのため、より詳細な円盤進化を明らかにするためには各進化段階のダスト量における光蒸発過程の違いを考慮する必要がある。観測によって多様な惑星が発見されていることから、様々な性質を持つ円盤の円盤進化を理論的に明らかにするという点においても重要である。

二次元輻射流体計算をダスト-ガス質量比が  $10^{-8}$ - $10^{-1}$  の円盤に対して遂行し、ダスト量の光蒸発への影響を明らかにした。中心星輻射の輸送、非平衡化学反応、流体 (連続の式、オイラー方程式、エネルギー方程式) を同時に解いた。本研究では EUV による水素原子の光電離に伴う加熱、FUV による光電加熱、 $\text{H}_2$  pumping による加熱、X 線による各種元素の電離に伴う加熱を考慮して熱化学分布を自己整合的に計算した。その結果、ダスト-ガス質量比が  $10^{-2}$  以上の円盤表面では FUV 光電加熱が主な加熱源となった一方、ダスト-ガス質量比が  $10^{-3}$  以下の円盤表面では  $\text{H}_2$  pumping が主な加熱源となっていた。また、加熱過程の違いにより円盤面密度損失率の分布が異なっていた。これらから円盤進化によってダスト量が変わることで質量損失も変化す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](#)

## P206a 原始惑星系円盤光蒸発の再考

仲谷峻平 (理化学研究所), 高棹真介 (大阪大学)

様々な天体物理学の問題において、ガス塊が近傍輻射源からの紫外線や X 線によって加熱され散逸する現象が起こる。この現象は光蒸発と呼ばれ、高赤方偏移ミニハロー、大質量星形成領域の分子雲、原始惑星系円盤、惑星大気など様々な時代・スケールにおける天体の進化に重大な影響を与える。これらの天体は星や惑星の誕生現場であるため、光蒸発は星形成・惑星形成タイムスケールを制限する重要プロセスである。これまで、多くの研究が行われてきたものの、その基礎過程に関して理論的理解が未だ十分になされていない。そこで我々は、解析モデルを用いて、光蒸発流の打ち上げ点近傍の物理を詳らかにする。

我々の解析モデルでは、質量保存則、運動量保存則、エネルギー保存則を用いた第一原理的な計算から、蒸発流の打ち上げ速度を入射光子フラックスの関数として導いた。同時に、運動量保存の要請から蒸発流が起きるための必要条件を物理的に厳密な形で導いた。蒸発のための必要条件が明らかになったのは初めてのことである。解析モデルを原始惑星系円盤光蒸発の自己無撞着シミュレーションの結果と比較し、蒸発流の打ち上げ点近傍の物理量分布を良く説明できることも確認した。今回のシミュレーションでは、加熱光として極超紫外線 (Extreme ultraviolet;  $13.6 \lesssim h\nu \lesssim 100 \text{ eV}$ )、照射対象として原始惑星系円盤を考慮したが、我々の解析モデルは一般の天体に対して遠紫外線や X 線が駆動する光蒸発にも適用できる。将来の自己無撞着数値シミュレーションとの比較が期待される。

[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](#)

P207a 原始惑星系円盤における  $\text{HC}^{18}\text{O}^+$  輝線の検出

古家健次 (国立天文台)、塚越崇 (国立天文台)、野村英子 (国立天文台)、吉田有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台)、Lee Seokho (国立天文台)

酸素には  $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  の3つの安定同位体が存在する。コンドリュールや CAI などの太陽系始原物質の研究から、太陽系形成時には太陽組成と比較して  $^{16}\text{O}$  に富んだりザーバ (CO) と  $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  に富んだりザーバ ( $\text{H}_2\text{O}$  氷) の2種類が存在し、両者が量比を変えて混合することで、現在みられる太陽系物質の酸素同位体組成不均一性が作られたと考えられている。一方、このような物質進化が惑星形成領域で普遍的に起こりうるのか否かはよく分かっていない。一般に原始惑星系円盤において、電波領域の  $\text{C}^{16}\text{O}$  輝線は光学的に厚く、赤外線による  $\text{H}_2\text{O}$  同位体の氷の観測は感度の点から困難なためである。

本講演では TW Hya まわりの原始惑星系円盤における  $\text{HC}^{18}\text{O}^+$  輝線の検出について報告する。ALMA アーカイブデータを解析し、円盤全体で積分することで  $\text{HC}^{18}\text{O}^+$  (4-3) 輝線が検出できた。我々の知る限り、これは原始惑星系円盤における  $\text{HC}^{18}\text{O}^+$  輝線の初検出である。また、SMA で取得された  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  (4-3) 輝線と比較することで円盤全体における  $\text{H}^{13}\text{C}^{16}\text{O}^+/\text{H}^{12}\text{C}^{18}\text{O}^+$  比を導出した。その結果、 $\text{H}^{13}\text{C}^{16}\text{O}^+/\text{H}^{12}\text{C}^{18}\text{O}^+$  比は星間空間の元素組成比 ( $[\text{C}^{16}]/[\text{C}^{18}]$ ) よりも小さいことが分かった。円盤モデル計算を参照すると、 $\text{H}^{13}\text{C}^{16}\text{O}^+/\text{H}^{12}\text{C}^{18}\text{O}^+$  比は  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比よりも大きいはずである。すなわち、円盤全体の  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比は星間空間の元素組成比よりも小さいことが分かった。このことは、(1) 円盤の CO は  $^{13}\text{C}$  に乏しい、(2) 円盤の CO は  $^{18}\text{O}$  に富んでいる (i.e., 太陽系の物質進化モデルと逆センス)、(3) X 線フレアの影響、のいずれかを意味する。講演ではこれらの可能性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](#)

## P208a 原始惑星系円盤における一酸化炭素同位体組成の測定可能性

吉田 有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台)、野村 英子、古家 健次、塚越 崇、Seokho Lee (国立天文台)

同位体組成は惑星系物質の形成・進化を探るための鍵を握る。例えば、ある隕石には2つの酸素同位体  $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  の存在度が太陽組成よりも20%程度多い物質が含まれていることが知られており、太陽系形成時の水の同位体組成を反映していると考えられている。この同位体分別の機構として、原始惑星系円盤での一酸化炭素分子 (CO) の同位体選択的光解離が提案されているが、観測的には検証されていない。

また、化学反応モデル計算によると、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  の炭素-酸素比 (C/O) に対する強い依存性が示唆されている。C/O は太陽組成では0.6程度であるが、いくつかの原始惑星系円盤では1よりも大きいことが観測から示唆されている。円盤ガスの組成 (C/O) は、円盤内で形成される惑星の組成に反映されることが考えられることから、一酸化炭素分子の同位体比の測定から C/O の具体的な値を制限できれば、惑星形成の観点からも重要な示唆が得られる。

本研究では、原始惑星系円盤における一酸化炭素同位体組成を、電波干渉計を用いてモデル非依存に測定する手法を考案した。原始惑星系円盤の  $^{12}\text{CO}$  輝線の中心は光学的に厚いことから、分子の絶対量を見積もることは難しい。しかし、輝線のすそには光学的に薄い部分が存在し、同位体の柱密度比であれば測定することができる。

我々はうみへび座 TW 星を取り巻く原始惑星系円盤を想定し、一酸化炭素同位体比の測定可能性を具体的に調べた。まず原始惑星系円盤の物理・化学構造を計算し、次に1次元の輻射輸送計算を実行した。その結果、ALMA を用いて0.3秒角以下の角分解能かつ0.03km/s以下の速度分解能で観測することで、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  の半径プロファイルを5%の精度で決定でき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](#)

## P209a へびつかい座円盤天体の超解像イメージング: II 円盤サブストラクチャー

川邊良平 (国立天文台), 山口正行 (東京大学, 国立天文台), 塚越崇, 野村英子, 中里剛 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 池田思朗 (統計数理研), 松本倫明 (法政大)

前回の発表に続き、へびつかい座アルマ円盤サーベイデータ (Cieza et al. 2019; band-6) に対して、スパースモデリング (SpM) 超解像イメージングを適用した結果、特に今回は円盤のギャップやホールなどのサブストラクチャーについて報告する。天体として、従来の”CLEAN”手法では十分分解できていないコンパクトな円盤 ( $r < 40$  au) で比較的波長 1.3 mm で強い (15 mJy 以上)、Class-I から Class-II までの 39 の天体を選び、スパースモデリングにより空間分解能 0.1” 以下 (約 10 au 相当) のイメージを取得した。サブストラクチャーは、特に Class-I, フラットスペクトラム (FS) で顕著にみられ、17 天体の内 16 天体で確認された。Class-II 円盤は、10 au 分解能でも十分に分解できないコンパクトなものが多いため、サブストラクチャーの検出率は低いが、数天体で検出した。それらの内、Class-I 円盤のリング構造、ギャップ的構造を示す FS エッジオン円盤、そして Class-II 三重連星のリング構造について、ALMA アーカイブデータなどを利用して SpM イメージの信頼性を個別に検証すると共に、円盤構造の詳細を調べた。その結果、1) Class-I リング構造 (半径約 17 au) は、先行研究 (band-3) とほぼ一致する、2) FS エッジオン円盤は、若干傾いており、2 重リング (半径約 50, 100 au) と inner disk (半径 10 au 以下) の構造を持つ、3) Class-II 三重連星では、近接連星の周りのリング構造 (半径約 20 au) が、周囲を回る伴星の軌道面 (軌道半径およそ 80-100 au) とほぼ垂直であること、伴星にも円盤 (半径 10 au 以下) が付随すること、が分かった。エッジオン円盤でのリング構造の検出例は稀であり、リングの鉛直方向構造を調べる上でも貴重な例である。3 重連星での極リング構造も報告例は少なく、円盤軌道傾斜角の起源を調べる上でも貴重である。

[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](#)

## P210a Multiple Rings and Asymmetric Structures in SR 21 Disk

Yi YANG (National Astronomical Observatory of Japan/The University of Tokyo), Haiyu Baobab LIU (ASIAA), Takayuki MUTO (Kogakuin University), Jun HASHIMOTO (The Astrobiology Center), Ruobing DONG (The University of Victoria), Munetake MOMOSE (Ibaraki University), Motohide TAMURA (The Astrobiology Center/National Astronomical Observatory of Japan/The University of Tokyo)

In recent years, high-resolution sub-millimeter observations using ALMA telescope have revealed that some protoplanetary disks hold crescent-like asymmetric structures. These asymmetric structures indicate dust aggregation process in protoplanetary disks, therefore, the research towards them is crucial to learn planet formation process in protoplanetary disks.

In this talk, I will introduce the observation result of the protoplanetary disks around the young star SR 21. Our observation using ALMA Band 6 (about 1.1-1.4 mm) successfully resolved its disk at a spatial resolution of about 0.03". We report that two rings, as well as 3 asymmetric structures are found around the star. After comparing with the Band 3 (about 2.6-3.6 mm) data of SR 21, we suggest that the two asymmetric structures in the outer ring indicate the observed asymmetric structures are breaking into small clumps, and the asymmetric structure in the inner ring could be related to the spiral arms detected in the near-infrared band. This discovery will be quite helpful for us to understand the evolution of such asymmetric structures, and improve our understanding of planet 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](#)

## P211a 冷却効果による原始惑星系円盤上のガス渦散逸

小野智弘 (東京工業大学), Jeffrey Fung (Clemson University)

原始惑星系円盤は惑星形成の現場である。ガス構造の影響を受けながら円盤内でダストが合体成長し、微惑星を経て最終的に惑星まで至る。しかし、微惑星形成は理論的な困難が知られており、依然として惑星形成における未解決問題だ。そこにおいて、原始惑星系円盤上のガス渦は微惑星形成を手助けすることが期待されている。ガス渦は周囲のダストを渦中に集積する性質があり、ダストの合体成長を促進する。特に、ガス渦のサイズが大きければ渦によって集積されたダストが三日月構造としてサブミリ連続光で観測される。ALMA 望遠鏡による原始惑星系円盤のサーベイ観測から、リング・ギャップ構造は普遍的である一方で三日月構造は希少であることが明らかになった。また、円盤中心に穴を持った遷移円盤の方が穴のないフル円盤に比べて三日月構造を持つ割合が高いことも知られている。円盤のリング・ギャップ構造からガス渦が生成され得ることを考えると、三日月構造の希少性は不思議に思える。この疑問を解決することは、円盤進化や惑星形成の解明に繋がると確信している。

問題解決の鍵だと考えられるのは、ガス渦の散逸機構だ。円盤上のガス渦散逸機構として、力学的不安定性・粘性・ダストにかかるガス抵抗の反作用などが挙げられてきた。我々は、新たに冷却効果がガス渦を散逸させることを新たに発見した。冷却が速く等温的である場合や反対に冷却が遅く断熱的である時は、この機構によるガス渦の散逸は起こらない。しかし、冷却と渦運動のタイムスケールが同程度である時、渦内における温度分布の影響によってガス渦が散逸する。本公演では冷却効果によるガス渦散逸のメカニズムを説明し、経験則から得られた散逸のタイムスケールを示す。また、他のガス渦散逸機構と比較を行うことで、三日月構造の希少性をガス渦の散逸機構で説明できるかどうかを議論する。

[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](#)

## P212a Improved mass predictions of the potential planets in gaps of ALMA disks

Shijie Wang (Univ. of Tokyo), Kazuhiro Kanagawa (Ibaraki Univ.), Yasushi Suto (Univ. of Tokyo)

ALMA has recently identified a wealth of gap substructures from the dust continuum data of nearby protoplanetary disks, which is important in understanding how the planets form in the protoplanetary disks. According to the modern core accretion scenario, the protoplanet starts with a rocky core and then grows via pebble accretion. When the protoplanet is small, it can only carve a gap in the dust component, while the gas component is largely unperturbed. As it grows and reaches the so-called pebble isolation mass, it starts to open a gas gap and creates a pressure bump that terminates the pebble accretion by trapping the pebbles. The planet continues growing via gas accretion in due course and carves deeper gaps in both the gas and dust components. The gap width-planetary mass relation revealed by simulations depends on whether the observed gap exists only in the dust component or in both the gas and dust components. Previous works only estimate the mass of the gap-embedded planet by assuming either of the situations. We improve the prediction by proposing two criteria to distinguish these two cases based on the assumption that the gas gap will only open if the planetary mass exceeds the pebble isolation mass.

We classified 55 gaps from 35 disks into four groups using our criteria, and found that the outer gaps are more likely to be dust-only gaps, while the inner ones are mostly gas gaps. Our predicted population has little overlapping with the observed exoplanets, implying that significant migration and mass accretion may happen before the disk dispersal.

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

## P213a 熱波不安定性による原始惑星系円盤のミリ波リング・ギャップ形成

植田 高啓 (国立天文台), Mario Flock (Max Planck Institute for Astronomy), Tilman Birnstiel (Ludwig-Maximilians-Universität München)

近年の ALMA 観測によって、原始惑星系円盤のダスト熱放射分布には、リングやギャップといった構造が普遍的に存在することが明らかになった。従来、これらの構造は、ダストの局在化によって引き起こされていると解釈されてきた。しかし近年、ミリ波多波長観測によって、これらの構造が、円盤が光学的に厚くても存在していることが明らかになりつつある。円盤が光学的に厚い場合、ダスト面密度の変化は熱放射分布に反映されないため、これらのミリ波構造の起源はダスト面密度由来でないと考えられる。本研究では、円盤の熱波不安定性が円盤ミリ波構造に与える影響を調べた。熱波不安定性は、中心星輻射によって駆動される不安定性である。円盤温度は、中心星からの光と円盤吸光面の成す角によって決まる。吸光面に摂動が加わり小さな山ができると、山の前面はより効率的に輻射を受け、温度が上昇する。温度が上昇するとスケールハイトが上昇し、更に吸光面が上昇する。山の後面ではこの真逆のことが起こる。本研究では、Watanabe & Lin 2008 のモデルに基づいて、円盤動径方向 1 次元に鉛直方向の熱分布を考慮した 1+1 次元の円盤エネルギー方程式を解き、円盤赤道面温度の時間発展を調べた。その結果、円盤が中心星輻射に対して光学的に厚い時、幅広い領域で熱波不安定性が駆動されることを確認した。熱波不安定性によって、円盤温度分布に構造ができるため、ダスト熱放射の光学的厚みに関係なく、ダスト熱放射のリング・ギャップ構造が形成されることがわかった。熱波不安定によって形成されたリングとギャップの間隔は、ALMA によって観測されている構造とよく一致する。この波は動径方向に最大 0.6 au/yr 程度で移動するため、数年の間隔で観測を行うことで、他のリング・ギャップ起源と切り分けられる可能性がある。

[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](#)

## P214a 移動する惑星が作るダストリング構造について

金川和弘 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 田中秀和 (東北大学)

比較サイズの大きな固体微粒子 (ダスト) は惑星が周囲のガスとの重力相互作用によって作る密度ギャップの外縁部でせき止められ、ダストが高濃度に集積したリング構造を作る。近年の ALMA での観測によってリングをもつ原始惑星系円盤が多数観測されており、リングの位置や数は円盤内で形成途中にある惑星と密接に関連していると考えられている。従来研究では、リングは惑星に付随し惑星移動とともに円盤内側に移動すると考えられてきた。しかし、最近の観測から示唆される低ガス粘性円盤ではギャップの中心と惑星位置にずれが生じる (2020 年秋季年会発表) ため、ダストリングと惑星位置にも変化が生じる可能性がある。

本研究では比較的ガス粘性が弱い円盤を想定したガス-ダスト 2 流体の数値流体シミュレーションを行い、ダストリングと惑星位置との関係を調べた。その結果、比較的ガス粘性が小さい場合、惑星は円盤内側に移動する一方、ダストリングはその初期形成位置からほとんど移動せず惑星に追従しないことが分かった。この初期ダストリングはガスの粘性進化によって徐々に破壊される。初期ダストリングが破壊されるにつれ、そこに捕獲されていたダストが内側に漏れ出し、それらは惑星が「現在の位置」につくるギャップの外縁部に捕獲され新たなリング (後期リング) を作る。最終的に初期ダストリングは消失し後期リングのみが残る。比較的粘性が小さく惑星が中心星から 100au 程度離れた場所で形成したとすると、初期リングのみが存在する期間と初期リングと後期リングが両方存在する期間は共に 100 万年程度であり、両期間とも十分に観測可能である。後期リングは惑星の現在の位置と関連している一方、初期リングは惑星の形成位置に関連していると考えられる。本発表では上記のシミュレーション結果を示し、リング位置と惑星形成・進化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](#)

## P215a ダスト成長が駆動する原始惑星系円盤の不安定性の数値シミュレーション

富永遼佑 (理化学研究所), 小林浩 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤内で起こる惑星形成過程の中で、マイクロサイズのダストからキロメートルサイズの微惑星までの成長過程が困難であることがわかっている。特に円盤の外側ではダストの合体成長率が低く、直接合体成長だけでは微惑星まで成長できないことが示唆されている (e.g., Brauer et al. 2008)。ストリーミング不安定性などによるトップダウン的な微惑星形成シナリオも考えられてきたが (e.g., Youdin & Goodman 2005), ミリメートルからセンチメートルサイズまで成長したダストを再集積する段階が必要なことや (e.g., Yang et al. 2017), 乱流拡散で安定化するという問題がある (e.g., Umurhan et al. 2021; McNally et al. 2021)。これを受けて我々は、微惑星形成に重要な役割を果たし得る機構としてダスト成長自体が駆動する新しい不安定性 (coagulation instability) を提唱した (Tominaga et al. 2021 submitted; 2021 春季年会)。coagulation instability は、ストリーミング不安定性が安定化される環境であっても成長し、ダストの再集積を引き起こすことが線形解析からわかっている。そこで本研究では数値シミュレーションを行い、coagulation instability の非線形発展に伴うサイズ進化とダスト濃集過程を調べた。その結果、初期擾乱の振幅に依存するものの、乱流強度  $\alpha$  が  $5 \times 10^{-4}$  程度以下であればゆらぎが計算領域外に流れ出る前に非線形成長段階に達し、10au 以遠でもドリフト速度が最大になるサイズまでダストが成長するとわかった。その時刻までのダスト-ガス比の時間発展を調べたところ、coagulation instability によって  $10^{-3}$  程度から  $10^{-2} - 10^{-1}$  程度まで上がることもわかった。さらに濃集によるドリフトの減速を考慮すると、単純な渋滞による濃集モードへと遷移することがわかった。十分な濃集が起これば従来の不安定性による微惑星形成モードへも遷移し得る。したがって coagulation instability はダスト成長と微惑星形成において重要である。

[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](#)

## P216a 磁気流体力学的に降着する原始惑星系円盤のスノーラインの進化：ダスト成長の影響

近藤克, 奥住聡 (東京工業大学), 森昇志 (東北大学)

原始惑星系円盤の中で水の昇華が起こる軌道をスノーラインと呼ぶ。スノーラインが中心星や円盤の進化とともにどのように移動するかを理解することは、地球をはじめとする岩石惑星の形成を理解するために必要不可欠である。近年の磁気流体力学 (MHD) シミュレーションによると、磁気的に降着する円盤では降着加熱が非効率であることが示されている。Mori et al.(2021) は MHD シミュレーションに基づいた円盤温度進化モデルを構築し、スノーラインが円盤進化の早い段階で 1 au に到達することを示した。しかし、この研究では円盤の温度を決める冷却効率と電離度構造の計算で  $0.1 \mu\text{m}$  の均一サイズのダストを仮定していた。

そこで本研究は、ダストの成長が円盤温度構造に与える影響を明らかにするため、冷却効率と電離度分布の両方を任意のダストサイズ分布に対して計算できるように Mori et al.(2021) の磁気降着円盤モデルを拡張した。さらにダストの成長を具体的に調べるため、ダストのサイズ分布は冪乗則に従うとし、最大ダストサイズをパラメータとする円盤温度計算を行った。その結果、最大ダストサイズが  $100 \mu\text{m}$  程度になるまでダストが成長すると MHD 円盤でも降着加熱が効率的になり、 $0.1 \mu\text{m}$  の均一サイズの場合よりもスノーラインの 1 au 到達時間が遅くなることを示した。しかし、乱流拡散が弱く、 $100 \mu\text{m}$  サイズのダストが沈殿してしまう場合では、スノーラインが早期に 1 au を通過し、降着加熱が非効率になることも分かった。このことは、1 au で誕生した原始惑星が地球のような岩石惑星に成長するためには、最大ダストサイズがおよそ  $100 \mu\text{m}$  であり、このようなサイズのダストが沈殿しないほどの鉛直拡散が必要であることを示唆する。

[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](#)

## P217a 磁場が降着を駆動する周惑星円盤のモデル化

森昇志 (東北大学), 芝池諭人 (ベルン大学)

周惑星円盤はガス惑星周囲に形成される降着円盤であり、ガリレオ衛星などの巨大衛星が形成する現場であると考えられている。周惑星円盤の物理構造を明らかにすることで、衛星形成過程の解明に繋がる。本研究では、層流磁場の磁気応力によって周惑星円盤の降着が駆動される可能性を検討する。これまで周惑星円盤は、熱電離が起きない限り、磁場が降着を駆動する要因にはならないと思われていた。しかし、近年の原始惑星系円盤の研究から明らかになったように、たとえ磁気回転不安定由来の乱流が発生しなかったとしても、円盤を貫く磁場の応力によって角運動量が引き抜かれうる。周惑星円盤においてこの機構が働く可能性は十分に検討されてこなかった。

本研究では、周木星円盤の衛星形成領域を模擬した、局所・非理想磁気流体シミュレーションを行った。その結果、30 木星半径より内側では、原始惑星系円盤から流入するガスのラム圧より、円盤内部で生成される磁気圧の方が強いため、磁気円盤風が発生しうることが分かった。また円盤表面で磁場が生成されることにより、円盤降着を支配するのに十分な角運動量輸送効率になりうることも分かった。さらに、周惑星円盤が従来の乱流粘性円盤モデルより低温になることも分かった。本発表ではさらに円盤パラメーターを変えた場合の計算例も示す予定である。

[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](#)

## P218b 分子雲コア初期質量の原始惑星系円盤サイズへの影響

高石大輔、塚本裕介 (鹿児島大学)、須藤靖 (東京大学)

近年の ALMA 望遠鏡による高解像度の観測により、Class 0/I の進化段階にある Young Stellar Objects (YSOs) は 10 au から 1,000 au に渡る様々な大きさの原始惑星系円盤を持つことが明らかになっている (e.g., Yen et al. 2017)。しかし、観測されている原始惑星系円盤の大きさの違いの起源はまだよく分かっていない。

これまでの理論研究では、分子雲コアの乱流や磁場の影響で大きさの異なる原始惑星系円盤が形成可能であることが示されている (e.g., Goodwin et al. 2004; Machida et al. 2014; Tsukamoto et al. 2015, 2020)。一方で、それぞれの理論研究では分子雲コアの初期質量は統一されておらず、その依存性は明らかではない。

そこで、本研究では初期質量の異なる乱流分子雲コア ( $M_{\text{core}} = 0.1M_{\odot} - 3M_{\odot}$ ) を用いて原始惑星系円盤の形成進化 3 次元シミュレーションを行い、分子雲コアの初期質量の違いによって形成される原始惑星系円盤の大きさがどのように変化するか調べた。

その結果、分子雲コアの重力エネルギー ( $E_{\text{grav}}$ ) に対する分子雲コアの熱エネルギー ( $E_{\text{thm}}$ ) の値  $\alpha = E_{\text{thm}}/|E_{\text{grav}}|$  と乱流速度場の平均マッハ数  $\hat{M}$  がどちらも一定の場合 (たとえば  $\alpha = 0.5$ ,  $\hat{M} = 0.77$ )、分子雲コアの質量が増加すると形成される原始惑星系円盤の大きさも増加することが分かった。また、 $\alpha$  と  $\hat{M}$  の値が一定であっても、コア質量が大きくなると連星が形成しやすいことも分かった。

この結果は、原始惑星系円盤の大きさを決める要因として、分子雲コアの乱流や磁場以外にも、分子雲コアの質量の影響も無視できないことを示している。また、観測により明らかになってきた大きさの異なる原始惑星系円盤の多様性を分子雲コア質量の違いから説明する可能性がある。発表では、連星の形成条件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](#)

P219b H<sub>2</sub>O スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造

野津翔太 (理化学研究所), 大野和正 (University of California, Santa Cruz), 植田高啓, 野村英子 (国立天文台), Catherine Walsh (University of Leeds), Christian Eistrup (MPIA)

原始惑星系円盤の化学構造の理解は、円盤観測及び惑星大気観測を解釈する上でも重要である。近年の円盤輻射輸送計算 (e.g., Ueda et al. 2019) によると、ダストが動径方向に濃集する領域が存在する場合、中心星からの放射が遮られる事で影構造が形成され、円盤内側領域においても低温な領域が形成されうる可能性が示唆されている。Ohno & Ueda (2021) は、T Tauri 円盤において H<sub>2</sub>O スノーライン (= 1.3 au) 前後で 30 倍程度以上のダスト面密度差があれば、その外側では影になる事で温度が 30K を下回り、N<sub>2</sub> や希ガスなどがダスト上に凍結可能である事を示した。この事は惑星大気組成の解釈、特に木星形成領域の制約に大きく影響を与える。しかし上記論文では主要分子の組成を固定した上で、それぞれの凍結・昇華のみを考慮した単純な化学モデルを採用しており、円盤影領域の詳細な化学構造は未だ明らかではない。そこで発表者らはガス・ダスト化学反応ネットワーク (e.g., Notsu et al. 2021) を用いた上で、影構造を持つ T Tauri 円盤の赤道面の詳細な化学構造計算を行い、主要分子の組成や炭素-酸素元素組成比 (C/O 比) の変化などを調べた。その結果先行研究では考慮されていない HCN や CH<sub>4</sub> などの分子も豊富に存在する事、影構造を持つ円盤では CH<sub>4</sub> などがダスト上に凍結する事で H<sub>2</sub>O スノーライン外側でガス中の C/O 比が低下する事、CO や N<sub>2</sub> なども 3-7 au の影領域でダスト表面に凍結する事などが分かった。発表者らは引き続き、化学進化にとって重要なパラメータである初期化学組成や電離度など (e.g., Notsu et al. 2020) を変えた円盤での計算も進めている。本発表ではこれらの計算結果を紹介した上で、ALMA などを用いた円盤分子輝線観測との関係や、惑星大気組成に与える影響なども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](#)

## P220b ダスト層重力不安定による微惑星形成時の雷発生

中本泰史, 南敦貴, 森崇志, 菅原幸輝 (東京工業大学)

小惑星の破片である隕石中には、岩石が溶融してできたコンドリュールが含まれている。それらは微惑星形成前後の原始太陽系星雲ガス中で加熱を受けたと考えられているが、その加熱機構はまだ不明である。コンドリュールの形成環境はいろいろと推定されているが、ダスト濃度が非常に高いところで加熱されたとする研究がある。一方、微惑星の形成過程も未解明問題だが、考えられている過程の一つはダスト層の重力不安定である。

私たちは、コンドリュール加熱源として雷の可能性を検討している。コンドリュールの分析で推定されているダスト濃度が高い環境ではダスト粒子同士が頻繁に衝突し、帯電や電荷分離が起こり、雷が発生する可能性がある。そうした予想に基づきつつ雷の発生可能性を具体的に検討するため、ダスト層が重力不安定によって分裂して微惑星が形成される場合に対し、分裂の際に雷が発生し得るかどうかを調べた。

ダスト層はガスを含むが非圧縮性流体として振る舞い、分裂しても内部ガス密度が上昇することはない。一方、分裂片内のダスト粒子は重力でその中心に向かって沈降していく。ダスト粒子の大きさに応じたガス抵抗が作用するため、大きさの異なるダスト粒子同士は衝突する。その際、シリケートと金属鉄など物質が異なる粒子間で摩擦帯電が生じる。その後、沈降が進行すると電荷分離が起こり電場が形成される。

円盤モデルとして最小質量原始太陽系星雲を用い、ダスト層重力不安定で誕生する分裂片の半径や質量などを初期条件とする。そして、分裂片内部のダスト粒子の沈降速度、衝突頻度、帯電量、電荷分離で作られる電場の強さなどを求めた。その結果、ガスの絶縁破壊が起こるほどの強さの電場が分裂片内に作られること、すなわち雷が発生することがわかった。今後は、他のダスト集積機構に対しても雷発生の可能性を調べる。

[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](#)

## P221c 雷放電後の高温領域がコンドリユールを形成可能であるための条件

金子寛明, 佐藤拳斗, 池田千尋, 中本泰史 (東京工業大学)

コンドリユールは未分化隕石の主要な構成物であり、原始太陽系星雲の時代の情報を保持している。コンドリユールはその前駆体となるケイ酸塩ダストの集合体が、急激な加熱による溶融を経験することで形成されたと考えられている。未分化隕石におけるコンドリユールの存在の普遍性は、急激な加熱現象が原始太陽系星雲に頻繁に起きていたことを示唆する。しかし、加熱のメカニズムについては諸説あり、今も議論が続いている。加熱メカニズムの候補の中で、私たちは雷による加熱に注目し、コンドリユール形成の前後の描像を含めた統括的なモデルの構築を目指している。本講演ではその一部として特に、原始惑星系円盤内での雷の発生は可能と仮定した上で、前駆体を融点まで加熱可能な雷の条件 (初期温度や放電領域の長さスケール) を調査した結果を報告する。

初期条件として、放電によって高温となった円盤ガスとそれと力学的にも熱的にもカップリングした微小なケイ酸塩ダスト (コンドリユールの前駆体とは区別する) を考えた。この高温のガス・ダストが膨張と輻射輸送によって冷却しながら、同時に前駆体を加熱する。放電領域は無限に長い円柱であると仮定して、高温ガス・ダストの進化を軸対称 1 次元の輻射流体力学計算で求め、この領域内に置かれた前駆体テスト粒子の加熱を調べた。

前駆体が融点まで加熱されるかどうかは、前駆体の単位表面積あたりに流入するエネルギーフラックスの総量で決まる。ダストが完全に昇華して領域が光学的に薄い間と、ダストが再凝縮して領域が光学的に厚くなってからとに受け取るエネルギーフラックスの総量は、放電領域の半径や初期のエネルギー密度でスケールアップすることができる。これに数値計算の結果から得た数係数を組み合わせることで、コンドリユール形成が可能な雷の条件を得た。十分ダストが濃集し、かつ、半径が大きい雷であれば、コンドリユールの形成は可能である。

[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](#)

## P222c 磁場強度と原始惑星系円盤、アウトフローとの関係

小林雄大, 塚本裕介 (鹿児島大学)

近年、ダスト偏波やゼーマン効果の観測により原始星や原始惑星系円盤の母体である分子雲コア ( $10^3$ - $10^4$  AU) の磁場強度が見積もられている (Kandori 2018, Troland 2008 等)。一方で、それよりも小さいスケール (例えば原始星エンベロープや円盤、 $10$ - $10^2$  AU) での磁場強度の見積もりは難しい。

一方で、アウトフローの観測や原始星形成初期における比較的小さい円盤の観測は磁場がこのような小さいスケールで役割を果たしていることを強く示唆する。我々はこれらの観測から得られた円盤のサイズやアウトフローの特徴を説明するために必要な磁場強度をシミュレーションから見積もることを目的に研究を進めた。

そこで本研究では、初期の分子雲コアの磁場強度をパラメータとして、3次元磁気流体シミュレーションを行い、原始惑星系円盤やアウトフローと磁場強度の関係について調べた。本研究では、磁場強度を表す指標として、磁場の観測でよく用いられる分子雲コアの質量磁束比を使用し、値は磁場が強い方から 4.0、6.0、8.0、10.0、16.0 とした。

現在の解析結果では、磁場が最も強い 4.0 では、アウトフローのようなガス流が確認され、原始惑星系円盤のサイズはほかのパラメータの円盤のサイズよりも小さいことがわかっている。また各パラメータの円盤で重力不安定から生じる腕が見られている。今後さらに原始惑星系円盤やアウトフローについて詳細な解析を行い、本ポスターで発表する。

[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](#)

## P223c ダストアグリゲイト間衝突破壊に関する破片と質量比の関係性

長谷川幸彦 (東京大学), 鈴木建 (東京大学), 田中秀和 (東北大学), 小林浩 (名古屋大学), 和田浩二 (千葉工業大学)

惑星が形成される原始惑星系円盤はガスとダストから成る。ダストは主に衝突付着によって成長すると考えられているが、ダスト間の衝突速度は極小のダストの成長と共に増加していき、衝突速度が速くなりすぎるとダストは成長できずに破壊される。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階を理解するために非常に重要であるが、その詳細は、しかしながら、まだそれほど解明されてはいない。我々は大量のダストモノマーから成るダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を N 体コードを用いた第一原理的な数値計算を実行して調べた。特に、先行研究では詳細には調査されていなかった 10 よりも低い比に関して、我々はダストアグリゲイトの衝突破壊に対する臨界衝突速度を求めて、その内容を以前の年会にて発表した。サブミクロンサイズの氷製のダストモノマーに関して、衝突前のダストアグリゲイトの質量比が 1 よりも高いが 20 よりも低い場合、標的から衝突体への質量輸送のせいで衝突臨界破壊速度は等サイズ衝突に関する値よりも低い事が分かった。その臨界速度は衝突するダストアグリゲイトの質量比が約 3 で最小になり、その最小値は等サイズ衝突に関する値の約半分であることが分かった。しかしながら、ダスト成長過程を理解するためには臨界衝突破壊速度だけでなく、衝突後の破片に関する詳細な情報も必要である。本発表では、このダスト衝突によって形成される破片の質量分布に関して、さらなる計算結果の解析を行った内容について発表を行う。

[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](#)

## P301a 磁極から探る惑星磁場の動力学

中道 晶香 (京産大共通教育), 森川 雅博 (お茶大理)

地磁気は外核流体鉄のダイナモ作用で生まれる。これを実直に長時間の数値計算を実施するのは難しい。我々は、対流要素が作る双極素子 (マクロスピン) の協同現象として、地磁気の動力学を解明する手法を確立し、間欠的な磁場活動を、主に  $10^{6-9}$  年の長時間レンジで解明してきた。 (Nakamichi, et. al. Mon. Not. of RAS, (2012), Mori, et. al., Phys. Rev. E (2013), Kunitomo, et. al., PTEP (2021)). その間欠性が  $10^{2-3}$  年の短時間レンジの動力学にどのように繋がるか、を今回探究した。

まずマクロスピンモデルで、地球表面の磁場を特徴づける 3 つの磁極を定義し、その軌跡の時間発展を追った。 a) NMP 全てのマクロスピンの作る双極子磁場の和  $B$  を地表面で極大にする地点。 b) GMP  $B$  を双極子で近似したもの。最大にするのが GNP。 c) PGNP (pseudo GNP) (全てのマクロ・スピンの単純なベクトル和。平穏時は GMP は常に大きく動き頻繁に回転する。PGNP もいつも動いているが、NMP は磁極反転時近傍以外ではあまり動かない。反転時には GMP と PGNP が大きく動く。

一方、地磁気の観測では、「地磁気極」と「磁極」を定義し、それらの  $10^{2-3}$  年レンジのデータが多く蓄積されている。まず、我々の磁極と観測の磁極の対応を見出し、計算から予測される上記 3 種の磁極と観測を詳細に比較する。結果として、スピンモデルの長時間レンジの時の間欠性はそのまま短時間レンジでも引き継がれ、その動きの特徴は観測とよく一致することが示された。

[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](#)

## P302a ベスタ様小惑星への巨大衝突の数値計算と金属コア・表面地殻の混合によるメソシデライトの形成

杉浦圭祐, 羽場麻希子, 玄田英典 (東京工業大学)

メソシデライトはシリケートと鉄-ニッケル合金の混合物からなる石鉄隕石の一種である。メソシデライトのシリケートと金属は、それぞれ分化した小惑星の地殻と金属コア由来であると考えられている。一方でメソシデライトは主にマントルに含まれているカンラン石をほとんど含んでおらず、そのためメソシデライトにはマントル由来の物質はほとんど混ざっていない。分化した小惑星への巨大衝突が地殻と金属コアを混合してメソシデライトを形成する有力な機構であると考えられているものの、マントル物質を混合せずにメソシデライト的な物質を形成することができるかどうかは明らかではない。我々は Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いて分化した小惑星への巨大衝突の 3 次元数値計算を実行し、形成される天体上の物質の分布について詳しく調べた。ターゲット小惑星の内部構造モデルとしては、まず小惑星ベスタのマグマオーシャンモデルに基づいた薄い地殻のモデルを考えた。また別の内部構造の可能性として、マグマオーシャン後期の火山活動によって形成される分厚い地殻と低い密度で大きな金属コアのモデルも考えた。前者の場合では、金属コアを掘削するためにターゲットの大規模破壊に近いような衝突が必要であり、表面の半分近くでマントルが露出した。そのためマントルを含まない石鉄物質の形成は難しい。一方後者ではより非破壊的で衝突点付近しかマントルが露出しないような衝突でも金属コアを掘削でき、表面でメソシデライト的な物質の形成が確認された。従って、メソシデライトの形成を説明するためにはその母天体が分厚い地殻を持っていた可能性が高い。

[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](#)

## P303a 自転する天体への巨大衝突に伴う角運動量輸送と自転軸傾斜角変動

黒崎健二, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の観測技術の向上により多種多様な系外惑星が発見されてきた。現在では大気をまとった惑星も多く発見されてきている。これら大気をまとった天体への衝突は、斜めからの衝突が発生すると、大気流出に加えて角運動量も輸送されることにより、その自転軸傾斜角度も変動することが考えられる。実際にそのような現象が予想される天体として、太陽系の巨大氷惑星である天王星があげられる。天王星は自転軸傾斜角が公転面に対して $98^\circ$ と大きく傾いており、巨大衝突に伴う角運動量輸送と傾斜角を理解するうえで重要な天体となる。特に、この天体は近年では天体衝突に伴って形成される円盤から衛星形成も示唆されており、天体衝突の条件を制約することは非常に重要となる。

本研究では、水素大気を20%持たせた自転する天体に対して、氷成分でできた固体天体を衝突させる計算をSmoothed Particle Hydrodynamics法によって行った。自転軸が垂直な場合について、自転軸と同じ方向および垂直な方向の二種類の方向の角運動量輸送効率を数値計算によって求めた。

計算の結果、衝突に伴う角運動量の輸送量は、ターゲット天体とインパクト天体の衝突パラメータに依存することがわかった。また、衝突に伴う大気流出量を用いて、衝突に伴う角運動量流出量を調べると、衝突前後の角運動量を半解析的に予測することもできることがわかった。本研究の成果は、斜め衝突によって引き起こされる大気流出や角運動量輸送を理解する上で重要な結果を与え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](#)

## P304a 木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測

紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 小林尚人 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 白井文彦 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 吉田二美 (産業医科大学, 千葉工業大学惑星探査研究センター), Tomo-e Gozen コラボレーション

近日点距離が1.3au未満で定義され地球に接近する軌道を持つ小惑星を地球接近小惑星 (Near Earth Objects, NEO) という。NEOの多くは火星-木星間のメインベルト小惑星が軌道進化した天体であり、その軌道進化過程においては太陽の輻射に起因して小惑星の軌道や自転状態が変化する非重力効果が重要となる。非重力効果の一つで自転周期を変化させるYORP効果は直径の2乗に反比例する強いサイズ依存性を持ち、軌道進化に比べて短いタイムスケールで微小天体の自転周期を変化させる。太陽系内の物質輸送を担うNEOの力学史の解明には非重力効果の理解が不可欠であるが、YORP効果の観測的検出は数例しかなく未解明な点が多い。

YORP効果による自転加速を受け構造を維持できなくなった天体は変形や自転破壊を経験するため、YORP効果が強く働く微小NEOの自転周期分布は力学史や強度を反映した物理量である。近年、微小NEOでは1分以下の高速自転が検出されており正確な自転周期の推定には高速撮像観測が必要となる。そこで我々は東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡に搭載されたTomo-e Gozenカメラを用いた2fps観測により、推定直径3-86mの51天体の微小NEOの高時間分解光度曲線を取得した。計32天体の微小NEOの自転周期と軸比(形状)を推定し、周期20秒以下の高速自転小惑星を7天体発見した。本発表では系統的な高速観測で得た微小NEOの自転周期分布の解釈を行う。YORP効果による自転加速を考慮し、i) 微小NEOの強度は典型的な隕石に比べ小さい、ii) 微小NEOは最近地球近傍で生成した天体で十分な自転加速を経験していない、という二つ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](#)

## P305a $^{13}\text{C}$ isotopic ratios of $\text{HC}_3\text{N}$ on Titan measured with ALMA

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

星間空間においては、シアノアセチレン ( $\text{HC}_3\text{N}$ ) 分子の 3 種の  $^{13}\text{C}$  置換体, すなわち  $\text{H}^{13}\text{CCC}\text{N}$ ,  $\text{HC}^{13}\text{CC}\text{N}$ ,  $\text{HCC}^{13}\text{CN}$  の 1 ないし 2 種に卓越が生じることが示されてきた (e.g. Taniguchi et al. ApJ, 846(2017)). その同位体分別過程として,  $\text{HC}_3\text{N}$  の前駆体である  $\text{CN}$  や  $\text{C}_2\text{H}$  への  $^{13}\text{C}$  の濃集が挙げられており, その化学過程の理解が進んでいる. 星間空間だけではなく, 土星最大の衛星タイタンの大気においても,  $\text{HC}_3\text{N}$  を含む多様な炭化水素・窒素化合物が検出されており, その大気化学過程の解明は惑星大気化学の重要なトピックである. 我々はアルマ干渉計のアーカイブデータを解析し, 星間空間で観測されているような  $\text{HC}_3\text{N}$  の  $^{13}\text{C}$  置換体群における偏在がタイタンにおいても存在するかどうかを調査した.  $\text{HC}^{13}\text{CC}\text{N} - \text{HCC}^{13}\text{CN}$  と  $\text{H}^{13}\text{CCC}\text{N} - \text{HCC}^{13}\text{CN}$  のペアについて, 日時および観測設定を共有する観測データを抽出し, それぞれ 12 及び 1 のデータセットを得た. 輝線強度比より導出された同位体比は  $[\text{H}^{13}\text{CCC}\text{N}]:[\text{HC}^{13}\text{CC}\text{N}]:[\text{HCC}^{13}\text{CN}] = 1.17 (\pm 0.20) : 1.09 (\pm 0.25) : 1 (1\sigma)$  であり, 星間空間で検出されている 140 – 200% に及ぶ濃集は検出されなかった. タイタンの成層圏は 170K 前後という相対的な高温環境であり, 星間空間における同位体分別を引き起こした同位体交換反応は抑制されると考えられる. なお, 本成果は PSJ に投稿済み (改訂中) 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](#)

## P306a サブミリ波帯大気放射モデルを利用した ALMA 火星 $\text{CO}$ データの解析

山田崇貴 (情報通信研究機構), 飯野孝浩 (東京大学), 佐川英夫 (京都産業大学), 笠井康子 (情報通信研究機構)

アルマ望遠鏡 (ALMA) による高い空間分解能・高感度観測は, 微量成分の検出や大気組成の時空間分布, 鉛直分布の導出を可能とする. 火星大気の主成分である二酸化炭素分子 ( $\text{CO}_2$ ) から光解離によって生成される一酸化炭素分子 ( $\text{CO}$ ) は, 火星大気的光化学の理解に重要であると共に, サブミリ波観測ではその輝線強度の大きさから気温や風速の推定に使われる. 特に, 火星周回衛星による近赤外線での柱密度の観測では, 高緯度での  $\text{CO}$  存在量の大きい季節変動や地形依存性が明らかになっており (Smith et al., 2018; 2021), 鉛直分布を含めた 3 次元的な観測による詳細な光化学過程の理解が期待されている.

現在, 情報通信研究機構では小型衛星に搭載可能な火星大気観測用テラヘルツ波受信機の開発を進めており, 観測で得られる火星大気スペクトルから気温や酸素分子存在量などの物理量を適切に導出するためのデータ解析アルゴリズムの構築も喫緊の研究課題となっている. 本研究では, データ解析アルゴリズム開発の一貫として, ALMA による実観測データを用いた火星大気物理量の導出を行った. 火星大気中のサブミリ波放射放射伝達は, 回転遷移非局所熱平衡モデルと統合可能なモデル (Yamada et al., 2018) により計算し, 反転解析の先験情報として, 火星大気大循環モデルによる気候値を Mars Climate Database (Forget et al., 1999; Millour et al., 2018) から引用した. 本講演では, データ解析アルゴリズムの開発状況と ALMA による  $\text{CO}$  分子観測スペクトルの解析結果を報告する.

[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](#)

## P307b 火星の偏光観測

川上碧, 伊藤洋一, 戸塚都, 高橋隼 (兵庫県立大学)

火星の大気は希薄だが、白雲やダストストーム(砂嵐)などの大気の活動が見られる。このような大気現象に対しては、いくつかの偏光観測が行われてきた。白雲とは氷の結晶からなる雲であり、白雲の見られる地域の偏光度は極端に小さい(Santer et al., 1985)。また、ダストストームが発生すると、火星全体の偏光度が減少するという結果が地上観測から得られた(Dollfus et al., 1984)。一方で、探査機MARS-5の観測からは、ダストの雲で覆われた地域では偏光度が大きいのことが言われている(Santer et al., 1985)。しかし、これらの研究観測では、一度の撮像で惑星全体を写すことができなかった。

そこで、火星の偏光観測を行うため、広視野グリズム分光撮像装置WFGS2の偏光撮像モードを開発した。4方向の偏光成分の明るさを得るために、半波長板を回転させるユニットを組み立て、装置に取り付けた。その後、無偏光標準星・強偏光標準星を観測し、偏光撮像モードの性能を評価した。その結果、器械偏光はVバンドで $0.62 \pm 0.04\%$ 、Bバンドで $1.35 \pm 0.08\%$ であることがわかった。

次に、西はりま天文台2mなゆた望遠鏡とWFGS2を用いて、火星の偏光観測を行った。2020年10月から2021年5月までの17晩、Bバンドで観測した。観測ではダストストーム発生時の火星を3晩観測することができた。本講演では、通常時とダストストーム発生時の火星の偏光を比較し議論する。

[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](#)

## P308b すばる望遠鏡HSCの観測画像・カタログデータベースを活用した既知太陽系小天体探査

大坪貴文, 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛(国立天文台), 吉田二美(産業医科大/千葉工大PERC), 浦川聖太郎(日本スペースガード協会), HSC超高速DBグループ

原始太陽系円盤中の微惑星の生き残りである小惑星や彗星などの太陽系小天体のサイズ頻度分布は、太陽系での天体の衝突進化の歴史を知る大きなヒントである。中でも直径が小さい微小天体は個数も多く重要な手掛かりであるが、暗いためにこれまで十分に制限がつけられていなかった。こうした微小天体の性質を直径kmサイズ以下までとらえるために、我々はすばる望遠鏡Hyper Suprime-Cam(HSC)の大口径と広視野撮像という太陽系天体観測にも適した特長に着目し、HSC観測データアーカイブからの太陽系小天体探査を進めている。

本研究では、まず軌道が決定され位置推定が可能な既知の太陽系小天体をHSCの観測データから抽出しカタログ化することを目指し、昨年度からHSC戦略枠サーベイ(HSC-SSP PDR2)の観測データと検出光源リストに基づく既知小天体の検出・同定作業を開始した(2021年春季年会 P312b 参照)。手順としては、(1) Minor Planet Centerに登録されている軌道要素情報とJPL/HORIZONSを活用し、各観測時にHSCの視野内に入る小天体の予測座標を求め、(2) HSC-SSP PDR2で公開されている各露出での光源リストの座標とマッチングをおこない、(3) 座標・像の形状・明るさを判定基準とした上で同定した天体の情報を得る、という段階を踏んでいる。今回は特に(2)で、1観測夜あたり~3000万個を超える光源リストをPostgreSQLでデータベース化することで、1観測夜あたり1万件を超える候補小天体の検索・同定の効率向上と、同定結果の広い共有を目指している。本講演では、データベース活用の成果とPDR2での太陽系小天体カタログ作りの今後の見通しについて紹介する。

[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](#)

## P309b 太陽系外惑星系からの X 線放射に関する Chandra 衛星を用いた研究

梅谷 翼, 大橋 隆哉, 石崎 欣尚, 江副 祐一郎 (都立大理)

太陽系外惑星の居住可能性を研究するためには、惑星の大気の特徴を明らかにすることが重要である。X 線で太陽系外惑星のトランジットによる減光を観測することは、惑星大気を調べる上でユニークな手段である (Perryman 2018)。私たちは、Chandra 衛星のデータを用いて太陽系外惑星を X 線によるトランジット法で発見できるかどうかを系統的に探索した。合計 53 個の星を調査した結果、Poppenhaeger et al. (2013, ApJ, 773, 62) によって既に報告されている HD18733b から有意なトランジットの特徴を発見したが、他の星のデータでは有意なトランジットの特徴は発見できなかった。今回の解析より、X 線でトランジットが起こる時間を観測できたとしても惑星による変動とフレアによる変動を区別することは困難であることがわかった。続いて、恒星の X 線放射に着目してハードネス比の変動やエネルギースペクトルの解析を行った。いくつかの例で硬 X 線の方が変動が大きく、フレア時にハードネス比が大きくなるという関係が見られた。24 天体についてエネルギースペクトルの解析を行い、モデルは 1 ~ 3 温度の熱放射 (APEC) を仮定した。フレアと静穏時を比べると、フレア中に温度と X 線光度の両方が増加することがわかった。温度は大部分の天体について 0.5 - 1.4 keV の範囲に収まるが、X 線光度は  $10^{25} - 10^{30} \text{ erg s}^{-1}$  (0.5 - 7 keV) と約 5 桁の範囲に分布することがわかった。晩期型星のフレアでは、磁気リコネクションで加熱されるプラズマの温度は一定値に近いのに対し、プラズマの emission measure、特に体積は天体ごとに大きく異なると考えられる。今回はその系統的な研究について報告する。

[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](#)

## P310a 階層的三体系の不安定性時間スケールの軌道要素依存

林 利憲 (東京大学), Alessandro Trani (東京大学, 沖繩科学技術大学院大学), 須藤 靖 (東京大学)

連星ブラックホール合体に伴う重力波の検出は、同時にその起源となる未合体の連星ブラックホールの存在を示唆する。我々はこれまで、連星ブラックホールを含む三体系を考え、三体目の天体への摂動変動を視線速度法・パルサータイミング法を通じて検出することで、連星ブラックホールを探索する方法を提案した。今回は、対象となる三体系の軌道安定性を詳細に調べ、探索の適用が可能な系のパラメータ領域を検討した。

軌道安定性の条件については、Mardling & Aarseth (1999) などの先行研究によって詳しく調べられている一方で、本研究の目的においては、軌道不安定性時間スケールを詳細に調べる必要がある。高い離心率をもつ三体系の軌道不安定性時間スケールについては、Mushkin & Katz (2020) によって、ランダムウォークモデルによる見積もりが有効であることが示されている。本研究では、その結果を拡張し、不安定性時間スケールの軌道要素依存についてより詳しく調べた。

具体的には、様々な初期軌道要素をもつ三体系に対して、N 体数値シミュレーションを用いて軌道安定性を系統的に調べ、軌道不安定性時間スケールの軌道要素依存の分布、特に古在機構の下での時間スケールの変化について調べた。

本発表では、軌道不安定性時間スケールの軌道長半径比・離心率依存が初期軌道傾斜角や質量比によってどう変化するかについて調べた結果を、先行研究の Mardling & Aarseth (1999) 及び Mushkin & Katz (2020) で得られた結果と比較し、その物理的意味についての考察を行う予定である。

[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](#)

## P311a OGLE-2014-BLG-0221(0284)/MOA-2014-BLG-069:晩期型星またはコンパクト天体周りの巨大ガス惑星

桐川凜太郎 (大阪大学), 他 MOA コラボレーション

我々 Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは、ニュージーランドに設置した口径 1.8m の広視野望遠鏡を用いて、重力マイクロレンズ法による系外惑星探査を行なっている。系外惑星探査法の一つである重力マイクロレンズ法は、二つの天体が視線上で重なる時に背景星 (ソース) の像が分離または増光する重力レンズ効果から前景天体 (レンズ) を発見する手法であり、背景星光を観測するため発見天体が暗くても良いという特徴がある。

本講演では 2014 年に発見された重力マイクロレンズイベント OGLE-2014-BLG-0221(0284)/MOA-2014-BLG-069 の詳細解析の結果を報告する。本イベントでは光度曲線のピークを過ぎてすぐに、単星レンズによる光度曲線からのずれ (アノマリー) が観測され、発見天体が連星系であることがわかっている。光度曲線のモデルフィッティングを行った結果、発見天体が巨大ガス惑星を有する惑星系であることを示唆する 2 つの候補モデルが発見された。さらに解析を進めると候補モデルの 1 つにおいて、主星が主系列星だと仮定すると明るすぎて辻褃が合わないことがわかり、このモデルが成り立つには主星がコンパクト天体となる必要があるという結論に至った。イベントから 7 年が経過した現在、発見された惑星系とその背景星は相対固有運動により 35mas 以上離れていると予想され、地上の大型望遠鏡や宇宙望遠鏡の高分解能観測により候補モデルの切り分けおよび発見惑星系のキャラクター化が可能であると期待される。

[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](#)

## P312a 重力マイクロレンズイベント MOA-2019-BLG-273/OGLE-2019-BLG-0825/KMT-2019-BLG-1389 の解析

佐藤佑樹 (大阪大学), MOA collaboration

重力マイクロレンズ現象とは、光源星の前をレンズ天体が通過した際にレンズ天体の重力によって光源星の光が曲げられ増光する現象である。今回我々が解析した MOA-2019-BLG-273/OGLE-2019-BLG-0825/KMT-2019-BLG-1389 は、重力マイクロレンズ法を用いて発見された銀河系バルジ方向のイベントで増光期間は 70 日程度である。メトロポリスアルゴリズムを用いて光度曲線を最も再現するモデルのパラメータの組み合わせを探した。

まず多くのマイクロレンズイベントの解析と同様に光源天体を単星と仮定し、光度曲線のベストモデルを探したが、データとモデルに有意な残差が残っていた。そこで光源天体が連星だと仮定し光源連星の公転による効果をモデル化した結果、効果を入れる前に比べ  $\Delta\chi^2$  が  $\sim 900$  向上することが分かった。またこの効果を入れる前のレンズ系の主星と伴星の質量比  $q$  のベスト値は  $q \sim 10^{-3}$  と惑星程度の質量比だったが、効果を入れたことでこれまでに見つけられていなかった  $q \sim 10^{-1}$  の連星質量比のモデルが光度曲線を最もよく説明することが分かった。光源星系の公転周期は約 6 日だった。これまでのマイクロレンズのイベント解析では光源星系の公転効果を入れても、レンズ星系のパラメータである  $q$  のベスト値にオーダーが異なるほどの差異は生じないと考えられていた。しかし本解析によって光源星系の公転効果を入れる前後で、レンズ星系のパラメータ  $\chi^2$  平面が大きく異なる場合があることが初めて示された。この原因の一つとして、本イベントで発見された光源星系の公転周期が増光期間に比べ短いことなどが考えられる。さらに光源星系までの距離を 8kpc と仮定して、光源星系の主星と伴星の質量などの物理量の推定も行った。本講演ではこのイベントの解析結果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](#)

## P313a PRIME 望遠鏡での近赤外線マイクロレンズサーベイ観測による惑星の検出

近藤依央葉 (大阪大学)、住貴宏 (大阪大学)、PRIME 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感度がある唯一の手法である。重力マイクロレンズ現象とは、一つの恒星 (光源星) の前を別の天体 (レンズ天体) が横切るとき、その重力によって光源星の光が曲げられて一時的な増光が観測される現象である。特にレンズ天体が系外惑星を持つ場合には、光度曲線からのずれ (アノマリー) が生じる。この現象は銀河系中心領域でも 100 万個に一個の割合でしか起こらない非常に珍しい現象であり、さらにアノマリーの期間は、伴星が地球型惑星程度だと数時間、木星型惑星程度だと数日程度と短いため、広視野・高頻度での観測が求められる。

現在南アフリカに建設中の PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) 望遠鏡は、世界最大級の視野を持つ近赤外線望遠鏡であり、世界で初めて近赤外線による銀河系中心方向の高頻度マイクロレンズサーベイ観測を行う予定である。近赤外線で観測することで、強い星間減光のために従来可視光観測では不可能であった銀河系中心領域を観測することが可能になり、より多くの惑星の発見が期待されている。

本研究では、PRIME 望遠鏡の観測のシミュレーションを行い、期待される惑星の検出数を見積もった。まず、銀河モデルを用いて銀河系中心方向のマイクロレンズイベントを作成し、それに対して PRIME 望遠鏡のサーベイ観測をシミュレーションして人工光度曲線を作成し、単独星イベントと惑星イベントの検出効率を見積もった。さらに、観測領域・頻度などの観測戦略の違いによる、単独星イベントと惑星イベントの発見数の期待値を見積もり、検出できる惑星の特徴の違いについて調べた。本講演では、上述の研究によって得られた結果を提示し、PRIME 望遠鏡による惑星の発見数を最大化するための具体的な観測戦略について考察を行う。

[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](#)

## P314a 離心率の大きなホットジュピターを持つ若い星の高コントラスト撮像

清水 利憲 (東京大学)、鶴山 太智 (Caltech)、堀 安範 (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/国立天文台)

近年、年齢が 1000 万年以下の若い星まわりでも短周期巨大ガス惑星 (ホットジュピター) 候補がトランジット測光観測や視線速度法により示されてきた。一般にホットジュピターの形成シナリオは外側の軌道で形成され内側に移動したとされているが、そのプロセスには様々なモデルがある。ガス円盤と惑星の相互作用によるタイプ II 移動や外側の伴星からの重力摂動による古在機構、他の惑星による重力散乱などである。このうちタイプ II 移動では離心率の大きな惑星を説明することができない。古在機構や重力散乱による移動を考える場合、とりわけ若い惑星系においては年齢よりも短いタイムスケールで摂動が作用するはずであり、ホットジュピターが形成された近傍に伴星が存在した可能性がある。よってホットジュピターの外側に別の伴星が存在するかどうかを観測的に確認することが鍵となる。

T タウリ型星 CI Tauri は視線速度法の観測により離心率の大きなホットジュピターを持つことが示されている (Johns-Krull et al. 2016)。また ALMA によるミリ波の観測で 3 つのギャップ構造を持つことも示されており、これは惑星形成を示唆するものである (Clarke et al. 2018)。補償光学とコロナグラフを用いて主星よりも数桁光度の小さいターゲットを撮像する高コントラスト撮像がこの天体に Keck/NIRC2 で行われた。得られた撮像データを角度差分法を用いて解析し外側の伴星の有無を調べた。伴星の存在は確認できなかったものの、解析結果から伴星の検出限界を決めることができホットジュピターの軌道進化について重要な制約を与えた。本講演では解析手法、および解析結果とそれに基づく議論を紹介する。

[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](#)

## P315a 軌道歳差観測による WASP-33b の惑星軌道傾斜角測定

渡辺紀治, 成田憲保, 福井暁彦, 川内紀代恵, John Livingston, Jerome de Leon, 森万由子 (東京大学), Marshall C. Johnson (LCO), 日下部展彦 (ABC), 西海拓 (総研大), Enric Pallé (IAC)

主星自転軸と惑星公転軸のなす角度である惑星軌道傾斜角は、短周期で公転する巨大ガス惑星(ホットジュピター、以下 HJ と表記)の惑星軌道進化を調査する上で重要なパラメーターである。太陽型星の場合、内部の厚い対流層が潮汐効果の影響を受けて主星自転軸が再び揃うため、軌道進化の判別が困難になる。一方、表面温度が 7000K より高い恒星の場合、内部に対流層がないため、潮汐効果を受けずに軌道進化直後の惑星軌道傾斜角を維持できる (Albrecht et al. 2012)。よって、高温星周りの HJ 観測は、HJ の軌道進化を解明できる利点がある。

高温星周辺の HJ の惑星軌道傾斜角は、主にトランジット分光観測からドップラー・トモグラフィ法 (DT 法) で測定されるが、1 度の観測では見かけの惑星軌道傾斜角しか測定できない問題があった。しかし、軌道が傾いていれば、惑星公転軸が主星自転軸を中心に歳差運動する現象 (軌道歳差) が起こるため、複数回の観測で  $\lambda$  とインパクトパラメーター  $b$  の時間変化から真の惑星軌道傾斜角  $\phi$  を算出できる。本研究では、高温星周辺の HJ である WASP-33b の 10 年間の軌道歳差を、先行研究 (Johnson et al. 2015, Borsa et al. 2021) のデータも含めたトランジット観測データで調査した。まず、高分散分光器 HDS(すばる望遠鏡) や HIDES(岡山 188cm 望遠鏡) など取得した分光データから、DT 法で各観測日の  $\lambda$  と  $b$  を測定した。そして、多色撮像カメラ MuSCAT(岡山 188cm 望遠鏡) と MuSCAT2(TCS152cm 望遠鏡) の測光データから、各観測日の  $b$  の値を求めた。軌道歳差による  $\lambda$  と  $b$  の時間変化の理論式を新たに作成し、MCMC の解析で WASP-33b の  $\phi$  を算出したところ、実際にほぼ極軌道で公転することを確かめた。本講演では、この結果に対する軌道進化の考察を含めて議論する。

[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 木星型惑星の成長と惑星散乱

長沢真樹子 (久留米大), 田中秀和 (東北大)

複数の木星型惑星が近接して存在すると、惑星-惑星散乱が生じることが知られている。この惑星-惑星散乱はホットジュピターやエキセントリックプラネットと呼ばれる系外惑星を生み出す要因の一つと考えられている。円軌道を回っている惑星の軌道が不安定となって惑星-散乱が起きるまでの時間は、惑星同士の軌道間隔に依存する。木星質量の惑星の場合、1 億年以内に散乱が起きるには、惑星軌道の間隔が 5 ヒル半径以内であることが求められる。木星型惑星が完成した時点でこのような狭い軌道間隔が実現されている必要がある。

本研究では、ガスエンベロープを持つ以前の固体コアが 10 ヒル半径の軌道間隔で並んでいる状況を考え、この状態から、1 つの固体コアがガスを捕獲し木星型惑星へと成長した場合に、自身のヒル半径が増大することでどのように惑星同士の軌道が不安定になり散乱が生じるかを数値計算から調べた。5 つの木星型惑星のコアを 10 ヒル間隔に並べて 1 千万年分の軌道を追ったところ、惑星がガス捕獲をしない場合は惑星系は安定であった。一方、1 つの惑星が木星型惑星へと成長するときは、成長させた惑星以外の惑星コアは衝突や散乱で遠方へと失われてしまい、基本的には木星型惑星が数ヒル間隔以内に並んだ描像にはならないことが判明した。惑星-惑星散乱を起こすような条件に木星型惑星が形成されるためには、原始惑星系円盤からの抵抗力などがはたらく必要があると考えられる。

[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](#)

## P317a ダストから惑星まで統一シミュレーション：巨大ガス惑星形成と軌道の分布

小林浩(名古屋大学), 田中秀和(東北大学)

木星や土星、重い系外惑星のような巨大ガス惑星は原始惑星系円盤の中で 10 地球質量程の重い固体核の急速なガス集積により形成された。しかし、円盤寿命や惑星移動よりも早く、微惑星集積によりこのような重い固体核を形成することは難しい。近年、小石集積により惑星移動と同程度のタイムスケールで固体核形成が可能であると提唱されたが、多くの小石が固体核に集積されずに中心星に落下するため、非常に重い原始惑星系円盤でしか巨大ガス惑星は形成できない。これまでの惑星形成モデルでは、小石や微惑星の形成、惑星移動、ガス惑星固体核形成が一貫して調べられていなかった。本研究では、原始惑星系円盤でのダストから固体核への衝突成長を一貫して取り扱い、ガス抵抗による動径移動や惑星移動も考慮する。ダストアグリゲイトの成長に伴う空隙率の進化を現実的なモデルを適用することで、10 天文単位以内の内側円盤では氷微惑星が形成される。一方、外側の円盤では小石が形成され、ガス抵抗による動径移動で内側円盤に落下し、そこで微惑星へと成長する。小石から微惑星と成長することで動径移動が遅くなり、固体面密度が上昇する。落下した小石の成長により形成される km サイズの微惑星は長時間維持され、この微惑星を集積することで固体核は急速に成長する。一般的な質量の原始惑星系円盤において、巨大ガス惑星になれる重い固体核形成は惑星移動の影響をほとんど受けず、20-40 万年程度の短い時間で重い固体核になる。最初のガス惑星が形成される場所は初期金属量に敏感に依存する。金属量が 0.01 では 2-3 天文単位にガス惑星は形成されるが、金属量 0.017 のときは 6-7 天文単位に形成される。形成される巨大ガス惑星の軌道長半径は、平均的な系外惑星や太陽系と整合的である。

[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](#)

## P318a 原始惑星 PDS70b, c の H $\beta$ 測光：減光強度への示唆

青山雄彦(清華大学), 橋本淳(国立天文台), 小西美穂子(大分大学), 鶴山太智(Caltech), 高棹真介(大阪大学), 生駒大洋(国立天文台), 谷川享行(一関工業高等専門学校)

近年の観測技術の向上により、多くの系外惑星が発見されている。中には非常に若く、現在でも形成途中にある惑星系もあり、惑星形成過程の解明につながることを期待されている。原始惑星系円盤を伴う若い恒星系 PDS70 は、2つの惑星を持つことが直接撮像により確認された。これらの2惑星は水素の H $\alpha$  輝線で観測されており、1 万 K 以上の高温ガスを伴うこと、加熱源としてガスの集積が起こっていることが示唆されている。Aoyama et al. (2018) は集積衝撃波に伴う水素輝線放射をモデル化した。その推定によると、PDS70b, c の H $\beta$  強度は H $\alpha$  のそれと同等である。MUSE/VLT は 2 惑星からの H $\alpha$  放射を分光撮像することに成功したが (Haffert et al. 2019)、装置の観測波長と検出限界を考慮すると、H $\alpha$  と同時に H $\beta$  も検出されている可能性がある。

本研究では MUSE/VLT のアーカイブデータを再解析し、PDS70b, c の 2 惑星からの H $\beta$  放射の検出を目指した。結果は未検出であったが、その強度の上限をそれぞれ  $2.3 \times 10^{-16}$  と  $1.6 \times 10^{-16} \text{ ergs}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  であると制約することができた。この値を用いて与えられる H $\beta$ /H $\alpha$  比は、Aoyama et al. (2018) の推定値よりも数倍小さかった。この強度比を説明する可能性として、降着ガスによる、波長依存性のある強い減光が考えられる。H $\beta$  の未検出を説明するためには、H $\alpha$  波長(可視波長)での減光率が、PDS70b と c でそれぞれ  $A_V > 2.0$  と  $A_V > 1.1 \text{ mag}$  である必要があるとわかった。

[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](#)

## P319a 太陽系外惑星・褐色矮星の高分散キャラクタリゼーションのための自動微分可能なスペクトルモデル

河原創 (東大), 川島由依 (理研), 増田賢人 (大阪大), Ian J.M. Crossfield (U. Kansas)

我々は、太陽系外惑星と褐色矮星の自動微分可能なスペクトルモデルを発表する。このモデルとハミルトニアンモンテカルロ法と組み合わせることで、ライン・バイ・ラインのスペクトル放射伝達計算を観測スペクトルにフィットすることができる。本研究で開発したオープンソースコード exojax は、自動微分と加速線形代数のための GPU/TPU 互換パッケージ JAX を用いて Python で記述している。また既存のオパシティ計算コードや放射伝達コードと比較してモデルを検証している。デモンストレーションとして、近傍の褐色矮星 Luhman 16 A の高分散スペクトルを解析したところ、水・一酸化炭素・H<sub>2</sub>/He の衝突誘起吸収からなるモデルで観測スペクトル (R=100,000, 2.28~2.30 μm) をよくフィットできることがわかった。結果、一気圧での温度が T<sub>0</sub>=1295 ± 14K との推定を得、また、C/O=0.62 ± 0.01 となり太陽の値よりもわずかに高い C/O を示すことがわかった。このように本研究は、高分散分光器で観測された褐色矮星や太陽系外惑星、さらに高分散コロナグラフで観測された太陽系外惑星スペクトルの完全ベイズ解析への可能性を示すものである。

[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](#)

## P320a Starspot mapping with parallel tempering for TESS data of M-type flare stars. II. The variation of light curves in two years

幾田 佳 (京都大学), 前原 裕之 (国立天文台), 野津 湧太 (東京工業大学/コロラド大学), 行方 宏介 (国立天文台), 岡本 壮師 (京都大学), 本田 敏志 (兵庫県立大学), 野上 大作, 柴田 一成 (京都大学)

恒星黒点は太陽黒点と同様に星表面の局所的に磁場の強い領域であり、M, K, G 型星などにおいて普遍的に存在している。黒点による系外惑星検出への影響や黒点が引き起こすフレアによる惑星のハビタビリティへの影響の観点から、星の磁気活動の一つの指標となる黒点の理解は不可欠である。黒点は視線方向に対して見え隠れすることで光度曲線を変動させるため、その光度曲線の周期性や振幅の変化から黒点の位置や大きさ、生成消滅率、星の差動回転の情報が得られる。そこで、星の光度曲線からパラレルテンパリングによってそれらのパラメータを同時に推定し、黒点の数の比較を可能にするコードを実装した (Ikuta et al. 2020, ApJ, 902, 73)。また、明るい M 型フレア星 AU Mic (2つの海王星型惑星とデブリ円盤を持つ)、EV Lac, YZ CMi の TESS Cycle 1, 2 の観測データにコードを適用し、黒点の位置とフレアの関係性を調べた結果を報告した (2021 年春季年会 N01a)。AU Mic と YZ CMi は TESS Cycle 3 で再度観測され、2年間で光度曲線の構造が大きく変化している。そのため、これらの観測データにもコードを適用し、黒点の位置や大きさの変化およびフレアとの関係を調べた。その結果、AU Mic と YZ CMi の光度曲線の構造の変化は、差動回転による黒点の位置の変化と黒点の大きさの変化、もしくは新たな黒点の生成消滅でおおよそ説明でき、黒点の位置とフレアはほぼ無相関であることが分かった (Ikuta et al. 2021, to be submitted)。これらの結果と合わせて、黒点の多波長観測 (cf. Toriumi et al. 2020) やトランジット惑星による spot-crossing event (Namekata et al. 2020) によって詳細に黒点の位置や大きさの変化を調べる必要がある。

[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](#)

## P321a 閃光の惑星系: デブリ円盤からのスーパーフレア中間赤外エコーの観測可能性

有松亘 (京都大学), 上塚貴史 (東京大学)

M 型フレア星周囲のスーパーフレアによって一時的に加熱された、デブリ円盤からの中間赤外超過輻射の観測可能性について報告する。M 型矮星は銀河系内で最もありふれた主系列星の簇であり、その惑星系の観測的解明は系外惑星系を包括的に理解するうえで不可欠である。主系列星周囲のデブリ円盤の観測は惑星系の特徴を知るうえで重要な鍵となるが、低光度かつ輻射活動が不安定な M 型矮星周囲のデブリ円盤の観測は難しく、特に薄いデブリ円盤の検出は困難であった。ところで一部の M 型矮星は活発な表面活動を示すことで知られ、近年では可視域での強い白色光フレアを伴う極めて大規模 (エネルギーにして  $\sim 10^{33.5}$  erg) なスーパーフレアも観測されている。継続時間が短く、かつ大規模なスーパーフレアが発生した場合、白色光フレアの輻射に晒されたデブリ円盤からはどのような熱輻射が観測されるのか? 本研究では非常に単純なデブリ円盤モデルの存在を仮定したうえで、観測される熱輻射超過の特性を検討した。その結果、中心星から 0.5 au 以内に存在するダストは一時的に 300 K 以上に加熱され、波長 10 – 30  $\mu\text{m}$  の中間赤外域で観測可能なレベルのエコー輻射が発生する可能性があることが判明した。特に最近傍の M 型矮星 (Proxima Centauri) で非常に大規模なスーパーフレアが発生した場合、条件によっては太陽系の黄道光ダスト質量程度 ( $10^{-8} M_{\oplus}$ ) の極めて薄いデブリ円盤からのエコー輻射が地上の中間赤外観測装置で検出できることが期待される。本発表では M 型星でスーパーフレアが発生する瞬間を可視広視野動画観測システム OASES によって即時検知したのち、東京大学アタカマ天文台 6.5 m 望遠鏡に搭載予定の中間赤外撮像分光装置 MIMIZUKU による即時追観測によってこのような短時間スケールの中間赤外エコーが検出され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](#)

## P322a 太陽・太陽型星の XUV 放射モデリング: 光蒸発理論の発展に向けて

庄田宗人 (国立天文台), 高棹真介 (大阪大学)

惑星大気は恒星からの X 線放射および EUV 放射 (XUV 放射) による光蒸発を通じその一部が惑星重力を振り切って宇宙空間へと流出する。惑星大気の散逸、およびそれが引き起こす惑星軌道、居住可能性の進化を記述する上でこの効果は非常に重要である。従って惑星の長期進化のモデル化には恒星の XUV 放射やそのスペクトルが質量、年齢、回転等の基本量にどのように依存するか定式化する必要があるが、これは一般に難しい。その主な理由として XUV 領域の電磁波は星間吸収を強く受け、恒星からの放射を観測的に制限することが難しいことが挙げられる。その解決案として他の観測可能量と XUV 放射を経験的に結びつけることで XUV 放射量を推定する方法がいくつか提案されているが、どれも不定性が大きくまた手法間の整合性も良くない。

そこで私たちは XUV 放射源となる恒星高温大気を数値計算で再現することで、XUV 放射スペクトルの理論的な予測を試みた。恒星高温大気の再現には恒星彩層・コロナ加熱問題を解く必要がある。私たちは表面でのエネルギー生成、大気中の乱流散逸、熱伝導、放射冷却を全て自己無撞着に解くようなシミュレーションコードを開発し、コロナ加熱の第一原理計算に成功した。太陽を想定した計算結果から得られた XUV スペクトルと実際に観測された XUV スペクトルはよく一致し、モデルの妥当性が示された。幅広いパラメータサーベイを行った結果以下のスケール側が得られ、さらにこれまでの恒星観測の結果をよく説明することを発見した。

$$\log L_{\text{EUV}} = 10.16 + 0.66 \log L_X. \quad (1)$$

ただし光度の単位は  $\text{erg s}^{-1}$  である。この式を用いれば X 線光度 (観測可能量) から EUV 光度 (観測困難な量) を見積もることが可能となり、光蒸発理論における恒星放射不定性を大きく改善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](#)

## P323a ホットジュピターの大気散逸における水素分子励起を通じた加熱の影響

三谷啓人 (東京大学), 仲谷峻平 (理研), 吉田直紀 (東京大学)

ホットジュピターは公転周期が短いガス惑星であり、太陽系の木星とは大きく異なる系外惑星である。ホットジュピターは主星からの強い輻射によって大気が加熱され散逸することが理論的・観測的に知られている。13.6eV 以上の Extrem-Ultraviolet 及び X-Ray(XUV) による水素原子の光電離加熱が大気散逸を駆動すると考えられており、輻射流体シミュレーションが行われてきた。近年の観測では高温の A 型星の周りにもホットジュピターが確認されている。高温の主星周りの惑星は太陽よりも強い輻射を受けることで大気散逸率が大きくなり通常と異なる進化をする可能性がある。高温の A 型星は XUV 強度は太陽とあまり変わらない一方でより長波長の Far-Ultraviolet(FUV, <13.6eV) 強度は 4-5 桁大きい。そのため FUV による加熱過程を考慮する必要があるが、どのような物理過程が重要であるかは明らかにされていない。特に Lyman-Werner photons (LW 光, 11.2eV<13.6eV) によって励起された水素分子が衝突によって脱励起する際にガスを加熱する。この過程はダスト光電加熱と異なり上層大気にダストが存在しなくても起こり得るが大気散逸に与える影響は不明であった。

本研究では LW 光による水素分子の励起及び衝突による脱励起加熱を取り入れた輻射流体シミュレーションを行い、高温の主星周りのホットジュピターの大気散逸過程を明らかにした。計算には非平衡化学反応を取り入れることで水素分子の形成も考慮した。10000K 程度の高温の主星周りでは水素分子の衝突による脱励起加熱が大気散逸を駆動する一方で太陽型星のような場合は従来の XUV による大気散逸が主要であることがわかった。

本講演では水素分子励起加熱がホットジュピターの大気散逸にどのような影響を与えるのか、それが惑星及び恒星の質量や年齢のような性質にどのように依存し得るのかを議論する。

[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](#)

## P324a M 型星周りの惑星サーベイ：すばる戦略枠観測 IRD-SSP におけるサンプルの特性調査

三井康裕 (東大), 大宮正士 (ABC/NAOJ), 葛原昌幸 (ABC/NAOJ), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), IRD-SSP チーム

系外惑星観測において、地球近傍の恒星周りのハビタブルゾーンに存在する地球質量程度の惑星を発見することは、重要なマイルストーンである。M 型星は太陽型星よりも数多く存在し、このような惑星サーベイにとって重要なターゲットであるが、低温度星であるため可視光よりも赤外線を用いた観測が有利となる。そこで、「すばる望遠鏡用赤外ドップラー装置戦略枠観測」(IRD-SSP) では、近赤外線のドップラー観測によって M 型星周りにおいて地球型惑星を含む惑星探査を行い、M 型星周りの惑星形成に制限を付けることを目指している。

IRD-SSP の第一段階として最重要であることは、観測する恒星ターゲットの選定である。惑星を発見するために長期間でモニター観測を行うため、赤外線でのドップラー観測に適した恒星ターゲットを選定する必要がある。本研究ではその選定に焦点を当て、選定条件の一部分である「恒星の射影自転速度」と「恒星が分光連星か否か」を制限した。なお、この選定条件において IRD-SSP の観測に適している天体は「射影自転速度が小さい」と「分光連星でない」である。この制限のために、IRD で取得した高分散分光スペクトルの相互相関関数を用い、定量的な指標によって評価した。結果として、ターゲット候補 116 天体中、射影自転速度が  $2.5 \text{ km s}^{-1}$  よりも有意に大きい天体は 4 個、分光連星であると考えられる天体は 3 個であることが判明した。この結果から、該当する 7 天体は IRD-SSP の観測ターゲットとしては不適と判断できたほか、残りの IRD-SSP のサンプルは、少なくとも恒星自転や連星系の観点からは、低質量の惑星の検出できる可能性があることが確認できた。

[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](#)

## P325a M3 型星まわりのサブネプチューン TOI1696.01 の発見確認

森 万由子 (東京大学), John Livingston (東京大学), MuSCATs' collaboration, IRD intensive team, TFOP contributors, TESS architects and contributors

既知の系外惑星の分布から、中心星との距離が近く強い放射にさらされている領域にはサブネプチューンよりも大きい惑星の存在頻度が少ないことが知られている。これは中心星からの放射により惑星大気が失われる「光蒸発」のプロセスによるものと考えられており、このパラメータ領域はネプチューン砂漠 (光蒸発砂漠) と呼ばれる。この領域に存在する数少ない惑星を調べることは、惑星系や惑星大気の形成進化の理解に重要である。

私たちは、トランジット系外惑星探索衛星 TESS による観測と、地上望遠鏡を用いたフォローアップ観測により、M3 型星まわりのサブネプチューン TOI1696.01 を発見した。特に、多色カメラ MuSCAT3 によるトランジット多色測光観測によって減光に波長依存性がないことを確認した。また、すばる望遠鏡/IRD による高空間分解能の撮像と高分散分光から、ターゲット周囲に伴星や背景星が見られないことを確認した。

TOI1696 は公転周期  $\sim 2.5$  日、平衡温度  $\sim 500\text{K}$  と比較的高温で、惑星半径  $2.9 \pm 0.2R_{\oplus}$  のサブネプチューンであり、ネプチューン砂漠の付近に存在する。このターゲットは  $J = 12.2\text{mag}$  と比較的明るいこともあり、今後、JWST 時代の惑星大気観測の主要なターゲットになるだろう。また、推測される惑星質量は  $8 - 14M_{\oplus}$ 、対応する視線速度は  $9 - 16\text{m/s}$  であり、今後、すばる望遠鏡/IRD などの近赤外分光器を用いた視線速度観測によって惑星質量にも制限をつけられると期待される。

[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](#)

## P326a 2:1 周期比ペアを含む 3 つの惑星がトランジットする M 型星の発見

福井暁彦、John Livingston、森万由子、成田憲保、川内紀代恵、栗田誠矢、小玉貴則、Jerome de Leon、渡辺紀治 (東京大学)、西海拓 (総研大/東京大学)、荻原正博 (東工大 ELSI)、磯貝桂介 (京都大学/東京大学)、日下部展彦 (ABC)、寺田由佳 (Academia Sinica/NTU)、田村元秀 (ABC/東京大学)、MuSCAT2 collaboration、LCO/MuSCAT3 commissioning team, TFOP contributors, TESS architects and contributors

軌道共鳴に近い惑星ペアは力学的に穏やかな過程を経て形成された可能性が高く、惑星の形成進化を知る上で貴重なサンプルである。特に、トランジット軌道を持つ惑星ペアの場合、トランジット周期変動 (TTVs) の観測からそれらの惑星の質量を決定することが可能である。一方、Kepler 衛星によって主に FGK 型星周りでそのような惑星ペアが多数発見されたが、M 型星周りではまだ数が限られている。我々は、TESS 衛星によるトランジット探索および多色カメラ MuSCATs などを用いた地上のフォローアップ観測により、1 つのスーパーアース (TOI-1749b) と 2 つのミニ海王星 (TOI-1749c,d) がトランジットする M 型星 TOI-1749 を発見した。このうち、外側の軌道を周る 2 つのミニ海王星は周期比が極めて 2 に近い。そのような惑星ペアは FGK 型星では稀であり、M 型星周りでより豊富に存在する可能性があることが分かった。また、地上の TTV 観測から惑星の質量に制限が得られ、一番内側の惑星 (TOI-1749b) は岩石質、外側の 2 つの惑星 (TOI-1749c,d) は水素大気を保持する可能性が高いことが分かった。

[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](#)

P327a *Spitzer* and *CHEOPS* follow-up of the nearby multi-planet system GJ 9827

John Livingston (University of Tokyo), Seth Redfield (Wesleyan University), Ilaria Carleo (Wesleyan University), Kento Masuda (Osaka University), Motohide Tamura (University of Tokyo, NAOJ, ABC)

At a distance of 30 pc, the three super-Earths orbiting GJ 9827 are some of the most promising targets for follow-up studies of small planets in a near-resonant chain. In particular, with radii spanning the “radius valley”, measuring the densities of these planets provides unique constraints on their co-evolution via possible convergent inward migration and subsequent photoevaporation. Previously, ground-based radial velocity (RV) measurements have yielded dynamical constraints on the planet masses, and hence also their densities, but the outer two planets remain poorly characterized. We present new *Spitzer* and *CHEOPS* transit observations of all three planets in the system, with which we refine the orbital ephemerides and radii. These observations enhance existing estimates of the planet densities and help to ensure the feasibility of future atmospheric characterization with *JWST*. Furthermore, we study the dynamical interactions between the planets via transit timing variations (TTVs), yielding independent dynamical mass measurements of the planets in the system that further improve our understanding of their density and composition. We also present evidence of a fourth planet that has so far eluded detection, but may have played an important role in the formation and evolution of the system.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P328a 原始大気中の水生成を考慮した種族合成モデルによる惑星の獲得水量の予測

木村 真博 (東京大学), 生駒 大洋 (国立天文台)

小型の系外惑星の発見数が増加している中で、地球と同程度の海水量をもつ系外惑星の存在頻度に関心が集まっている。従来の理論予測は、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が水の供給源であるという仮定に基づいている。そして、系外惑星探査が最近盛んに行われている M 型星まわりのハビタブルゾーンの惑星はほとんど水を獲得しない、と予測されている。一方で、惑星は一般に原始惑星系円盤の中で形成されるので、必然的にその円盤ガスを獲得して原始大気を形成する。そこで本研究では、水獲得の別の過程として、原始大気の水素とマグマオーシャンに含まれる酸化物との反応による水生成に着目した。この反応が効率的に起こる場合には、地球質量以下の惑星であっても地球海水量以上の水を獲得できることが分かっている (Kimura & Ikoma 2020)。しかし、惑星の成長や移動、巨大衝突、原始惑星系円盤ガスの散逸等が同時に起きる場合に、この水生成過程が最終的な惑星の水量頻度分布にどの程度影響を与えるかはわかっていない。そこで我々は、原始大気中の水生成の効果を取り入れた惑星種族合成モデルを開発し、系外惑星の獲得水量頻度分布を理論的に予測した。その結果、原始大気に含まれる水量が獲得水量分布に大きな影響を与えることがわかった。特に、M 型星のハビタブルゾーンにおいて地球海水量程度の水量をもつ惑星の形成頻度が、従来の予測に比べて大きく増加するという予測を得た。M 型星のまわりでは太陽型星に比べて巨大ガス惑星の形成頻度が小さくなることが観測的にも理論的にも示唆されている。その場合、巨大ガス惑星によって含水微惑星が散乱され地球型惑星に衝突するという、太陽系で考えられている水獲得プロセスは起こりにくい。したがって本研究の結果は、特に M 型星まわりにおいて、原始大気中の水生成プロセスが水惑星形成に重要な役割を果たす可能性を示している。

[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](#)

## P329a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮したハビタブルゾーンの再評価

山敷庸亮, (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC), 佐藤達彦 (JAEA), 野津湧太 (University of Colorado/東工大), 前原裕之, 行方宏介 (国立天文台), 野津翔太 (理化学研究所), 佐々木貴教, 佐藤啓明, 木村なみ, 清水里香, 高木風香, 坂東日菜, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 他 ExoKyoto 開発チーム

M 型星周りのハビタブルゾーン (CHZ) の再定義について、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 N23a)、それぞれの惑星表面での推定被曝量の評価 (2018 年秋季年会 P313a)、大気散逸の影響評価 (2019 年秋季年会 P325a)、さらに他の系外惑星の例 (2020 年秋季年会 P310a) を行ってきた。

本研究では、これらの系外惑星系に対して、想定されるフレアの最大エネルギーから当てはまる恒星高エネルギー粒子のフルエンスを適用した再評価を行った。新たなフルエンスは、GeV オーダー以上のエネルギー帯の割合が高く、惑星大気の透過率が従来のものに比べて著しく高いのが特徴である。具体的には昨年度報告 (P310a) した手法により大気散逸レートの顕著な系外惑星に焦点を当て、フレア発生頻度 1 ヶ月、1 年に一度のフレアと、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から適用可能と判定される恒星高エネルギー粒子の想定フルエンスを入力として過去研究 (Yamashiki et al. 2019 ApJ) による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<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) 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。結果過去の評価において安全とされた K 型星や G 型星周りのハビタブル惑星においても薄大気圧 (1/10 気圧) において地球型高等生命にとって致命的な放射線量が予測され、さらに活動性の高い M 型星周りのハビタブル惑星のいくつかにおいては、地球大気圧においても致命的な被ばく量が推定された。

[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](#)

## Q01a X線衛星 *Chandra* による SN1006 北西部衝撃波の空間分解スペクトルの解析

市橋正裕, 春日知明, 小高裕和, 馬場彩, 加藤佑一 (東京大学), 勝田哲 (埼玉大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 中澤知洋 (名古屋大学)

無衝突衝撃波による電子の加熱プロセスはプラズマ物理の大きな未解決問題の一つである。超新星残骸の衝撃波は無衝突衝撃波の研究に最適な環境の一つで、マッハ数が数百~数千という特徴を持つ (Vink et al. 2012)。その中でも超新星残骸 SN1006 は距離 2.2 kpc と近傍にある若い系で、衝撃波の詳細な構造の研究が可能である。

X線衛星 *Chandra* は空間分解能が 0.5 秒角と非常に優れており、衝撃波周辺の構造を詳しくみるためには最適である。我々は *Chandra* が観測した超新星残骸 SN1006 のデータを用い、熱的成分の放射が卓越している北西部領域の一部領域を、波面に平行に 15 秒角 (0.16 pc) の厚みを持った短尺状に分けて解析することで加熱機構の解明に取り組んでいる。2017 年春の学会で報告した結果としては、プラズマの電子温度は波面から離れるほど上昇するという傾向が確認された。

本研究では上述の研究を進展させ、SN1006 の北西部領域全体に対し、新しい観測データを追加して同様の解析をし、電子温度を導出した。その結果、全ての領域で衝撃波直後で  $\sim 0.5$  keV 程度・45 秒角 (0.48 pc) 内側の領域では  $\sim 0.8$  keV 程度と、衝撃波後方への温度増加が SN1006 北西領域の全体で見られることを新たに示した。本講演では、明らかになった温度の空間変化をもとに電子加熱を担う物理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](#)

## Q02a X線天文衛星「すざく」を用いた超新星残骸 G352.7-0.1 におけるプラズマの空間構造の調査

藤重朝妃, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大)

銀河系内の超新星残骸 (SNR) である G352.7-0.1 は、年齢が 2,200-8,500 年と推定され (Ferrand & Safi-Harb 2012)、1998 年に初めて X 線で観測された (Kinugasa et al. 1998)。Giacani et al. (2009) による先行研究では、爆発のタイプは重力崩壊型であると結論付けられたが、その後、Yamaguchi et al. (2014) および Sezer and Gök (2014) は白色矮星による爆発である Ia 型と主張した。

本研究ではバックグラウンドの寄与を慎重に見積もり、G352.7-0.1 のプラズマの空間構造と物理状態を調査した。SNR 領域全体のスペクトル解析では  $\sim 6.4$  keV 付近の Fe 輝線のみが広がりを持つ可能性や、これまで検出されていなかった Cr, Mn の K 輝線の微候が見られた。また、Si, S などの元素と Fe の電離状態は異なっており、少なくとも 2 つの電離進行プラズマが存在することを確認した。さらにプラズマの空間構造を調査するために解析領域を内側と外側に分解した結果、Fe の電離状態は内側の方が低く、Fe は内側により多く分布していることが示された。したがって、全体のスペクトルで見られた Fe 輝線の広がりには Fe の電離状態が内側と外側で異なることが原因であり、これは中心部での電離がまだ十分に進んでいないことを示唆する。また、Ia 型にはプラズマに含まれる Fe の組成量 (太陽比) が Si, S などと比べて多いという特徴があり、G352.7-0.1 にも同様の特徴が見られたことから爆発のタイプが Ia 型である可能性が強く示唆される。本講演では、スペクトル解析の方法と詳細な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](#)

### Q03a 高密度な白色矮星を起源とする Ia 型超新星残骸 3C 397 の重元素分布

大城勇憲 (東京大学, ISAS/JAXA), 山口弘悦 (ISAS/JAXA, 東京大学), Shing-Chi Leung (Caltech), 野本憲一 (Kavli IPMU), 佐藤寿紀 (立教大学), 田中孝明 (甲南大学), 尾近洗行 (CfA)

Ia 型超新星は白色矮星の熱核融合暴走によって起こる現象であるとされているが、その白色矮星の物理的性質 (e.g., 質量、中心密度、金属量) や爆発メカニズムについては未だ議論が続いている。超新星残骸に存在する元素の組成や分布は、親星の性質を直接反映するので、これらの測定は親星解明への鍵となる。

銀河系内の Ia 型超新星残骸である 3C 397 は、豊富な鉄族元素 (Cr, Mn, Fe, Ni) の存在が報告されており、親星の質量がチャンドラセカール限界質量に近かったことを強く支持している。我々は X 線天文衛星 *XMM-Newton* を用いて ~130 ks の観測を行い、元素の空間分布を調べた。2020 年度秋季年会発表 (Q15a) においては、残骸の南部領域の X 線スペクトルから、鉄族元素に加えて Ti の K 殻輝線を検出したこと、質量比 Ti/Fe, Cr/Fe が親星の中心部のみで起こる電子捕獲反応 ( $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ ) の寄与なしでは説明できないことを報告した。

さらに我々は、様々な密度を持つ Ia 型超新星の元素合成計算を行い、3C 397 の親星の中心密度が従来考えられていたものよりも数倍高かった ( $\rho_c \approx 5 \times 10^9 \text{ g cm}^{-3}$ ) ことを明らかにした (Ohshiro et al. 2021, ApJL, 913, L34)。本講演では、その詳細について報告する。特筆すべきは、南部領域のイジェクタは親星の中心部を起源としているにも関わらず、超新星残骸の一番外側に位置していることである。このようなイジェクタの非対称性は、爆発メカニズムや爆発自体の非対称から生じることがモデル計算で示唆されている (Seitenzahl et al. 2013)。またこの南部領域以外にも、鉄が豊富なイジェクタや中間質量元素 (e.g., Si, Ar, Ca) が豊富なイジェクタの兆候を確認しており、その X 線スペクトル解析やそこから期待される親星への制限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](#)

### Q04a マグネターの親星推定のための RCW103 の X 線精密分光解析

成田拓仁、内田裕之、鶴剛、天野雄輝、佳山一帆、松田真宗、小柴鷹介、田中優貴子、山田龍 (京都大)、田中孝明 (甲南大)

RCW 103 は ~2000 歳の若い重力崩壊型超新星残骸 (SNR) であり (Carter et al. 1997)、6.67 時間の長い変動周期を持つマグネター (1E 161348-5055) が中心に存在する (De Luca et al. 2006)。一般的なマグネターの変動周期は ~ $10^0$  s であり (Enoto et al. 2019)、1E 161348-5055 は、これらと比べて長い変動周期を持っている。マグネターを持つ SNR は少なく、どのような親星がマグネターになるのかは分かっていない。RCW 103 の親星の起源を探るために、我々は SNR 中の ejecta 及び星周物質に着目した。親星の起源を推定するには、SNR に含まれる元素組成比を正確に測定することが重要であり、測定の精度を上げるためには高いエネルギー分解能による輝線の分離が必要になる。CCD を用いたこれまでの研究では、親星の推定質量は 18–20  $M_{\odot}$  (Frank et al. 2015) や 15  $M_{\odot}$  (Braun et al. 2019) などと定まっていなかった。この原因として、CCD のエネルギー分解能では  $\lesssim 1$  keV の Ne や Fe などの輝線が分離できていないことが挙げられる。本研究では  $\lesssim 1$  keV の輝線の解析に対して、現在のところ最も適した検出器である *XMM-Newton* 衛星搭載の反射型回折分光器 (RGS) を用いた。RCW 103 の、RGS による X 線精密分光観測の結果から、今までの観測では分光できていなかった Fe-L や Ne-K, Mg-K, O-K などの多数の輝線を検出した。本講演では解析結果を報告し、RCW 103 の親星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](#)

## Q05a XMM-Newton 衛星による超新星残骸 1E 0102.2–7219 の高統計 X 線スペクトル解析

天野雄輝, 内田裕之, 佳山一帆, 松田真宗, 田中優貴子, 成田拓仁, 山田龍, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学), 尾近洸行 (Harvard-Smithsonian CfA)

1E 0102.2–7219(E0102) は小マゼラン雲に位置する年齢約 2000 年の重力崩壊型超新星残骸である。爆発噴出物に酸素を多く含む O-rich SNR であり (Dopita et al. 1981)、中心に中性子星候補であるコンパクトな構造が存在するなど (e.g., Vogt et al. 2018)、IIb 型超新星残骸 Cassiopeia A と共通の特徴を持つ。これは、E0102 の親星が星風によって水素層をほとんど失った単独星、もしくは伴星に水素層をほとんど剥ぎ取られた連星である可能性を示唆する。ただし、親星の質量は 25–40  $M_{\odot}$  と定まっておらず (e.g., Blair et al. 2000)、単独星か連星かも明らかではない。鉄族元素 (Fe, Cr, Mn など) の組成比や分布が測定できれば、親星の質量を制限できるのみならず、コア付近の中性子過剰度を介して親星の金属量の制限、爆発機構の検証も行える。しかし、これまで E0102 から鉄族元素の K 殻遷移輝線が検出されておらず、精確に組成比を制限することはできていない。XMM-Newton 衛星は機上較正を目的とし、50 回以上に渡って E0102 の観測を行っている。我々はこれらのデータを足し合わせ、2 台の回折格子では合計約 4.7 Ms、CCD 検出器では合計約 2.0 Ms に及ぶ観測時間の高統計 X 線スペクトルを作成した。その結果、C, O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca, Fe の K 殻遷移輝線に加え、S, Ar, Ca, Fe の L 殻遷移輝線を複数検出した。特に CCD スペクトルから、中心エネルギー  $\sim 6.6$  keV の Fe  $K\alpha$  輝線を初めて検出し、Mn や Cr の  $K\alpha$  輝線の兆候も得た。本講演では、CCD の解析結果を中心に報告し、これらの元素の組成比や分布から E0102 の親星や爆発機構に関して議論する。

[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](#)

## Q06a 超新星残骸 G296.1–0.5 からの OVII He $\alpha$ の高い禁制/共鳴線強度比の発見

田中優貴子, 内田裕之, 天野雄輝, 小柴鷹介, 鶴剛 (京都大), 田中孝明 (甲南大), 佐野栄俊 (国立天文台)

G296.1–0.5 は Carina Spiral arm に位置する 1973 年に発見された重力崩壊型の超新星残骸 (SNR) であり (Clark et al. 1973, Castro et al. 2011)、X 線で北西部に一つ、南部に二つ重なったシェル構造が特徴である (Markert & Lamb 1981)。本研究では XMM-Newton 搭載の CCD 検出器 (EPIC) 及び反射型回折分光器 (RGS) のデータから 0.4–1.5 keV で G296.1–0.5 の北西シェルと南内側シェルのスペクトル解析を行った。先行研究から北西シェルの OVII He $\alpha$  の高い禁制/共鳴線強度比 (f/r 比) の兆候はあったが (Castro et al. 2011)、南内側シェルでは本研究で初めて分光でき、共鳴線より禁制線の方が強いスペクトルが得られた。これらは先行研究 (Castro et al. 2011) で示されていた衝突電離非平衡 (NEI) プラズマモデルでは再現できない。f/r 比が高い He-like イオンの輝線は近年複数の SNR で報告されているが (e.g., Katsuda et al. 2011; Uchida et al. 2019; Amano et al. 2020; Suzuki et al. 2020)、単一の SNR で複数のシェルから発見されたのはこの天体が初めてである。我々はミリ波による CO ( $J = 1-0$ ) 輝線観測から G296.1–0.5 の北部および南内側シェル方向に付随している可能性のある分子雲を発見し、分子雲中の中性物質と衝撃波加熱された高温プラズマの相互作用として電荷交換反応 (CX) が起こっていると考えた。そこで CX モデルを組み込んだところ、f/r 比を説明できることがわかった。本講演では CX モデルの結果とともに共鳴散乱の妥当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](#)

## Q07a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B の空間構造の調査

鈴木那梨, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川久実子 (近畿大), 信川正順, 火物瑠偉 (奈良教育大)

W49B は、電波シェルとその内側の熱的な X 線放射を持つ複合形態型超新星残骸 (MM-SNR) である。近年、多くの MM-SNR で、通常の進化過程には現れない、電離よりも再結合が起りやすい再結合優勢プラズマ (RP) を持つことが確認され、その起源が様々に議論されている。W49B においても、RP の特徴である顕著な放射性再結合連続放射 (RRC) が確認されており (Ozawa et al. 2009)、この天体は現在発見されている中でも最も若い RP-SNR である。

従来の RP 進化の研究で用いられるスペクトル解析モデルは、電離平衡状態から RP への遷移を仮定する。しかし、希薄な SNR プラズマは電離平衡には至っていないはずであり、従来のモデルの妥当性には問題が残る。そこで Hirayama et al. (2019) は、RP-SNR IC443 について元素毎に初期電離温度を調べ、それらが異なっていることを明らかにした。すなわち、RP の初期状態として電離平衡ではないモデルを用いる必要性を示した。これまでに私たちは、W49B にこのモデルを用いて、元素毎に初期電離温度が異なっていることを発見した (2021 春季年会 Q13a)。RP の形成過程をより詳細に議論するには、空間構造の情報が必要である。NuSTAR が取得した高エネルギーバンド ( $> 4$  keV) のスペクトルにより、W49B の RP は東西で様子が異なり、西側の方で鉄の RRC が突出し、過電離の度合いが大きいことが確認されている (Yamaguchi et al. 2018)。そこで私たちは、鉄の RRC 付近で高感度かつ良い分光力を持つすざく衛星を用いて、W49B を東西の 2 領域に分け、全体のスペクトルと同様のモデルでそれぞれの 0.8–12.0 keV の広範囲スペクトルの解析を行った。講演では、解析結果の詳細を報告し、東西の違いを基に RP-SNR の成因について議論する。

[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](#)

## Q08a ALMA による超新星残骸 W49B の観測: 宇宙線加速と過電離プラズマの起源

佐野栄俊 (NAOJ), 吉池智史, 山根悠望子, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 林克洋 (JAXA), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), G. Rowell (Adelaide Univ.), M. Filipović (WSU)

超新星残骸 (SNR) の衝撃波と星間物質の相互作用は、高エネルギー物理過程を理解するうえで本質的である。例えば星間雲の精密定量は、ガンマ線光度との比較により被加速宇宙線陽子のエネルギー推定を可能にし、また、衝撃波と低温星間雲との接触による熱伝導は、X 線再結合優勢プラズマの発生機構のひとつと考えられている。一方で、電波・X 線・ガンマ線域に渡る解析は、高い空間分解能を達成できる太陽系近傍天体 ( $< 3$  kpc) に限定されておりバイアスがかかっている。銀河全面におけるこれら高エネルギー現象の普遍性を探るには、遠方天体への拡張が不可欠である。W49B は距離 11 kpc に位置する陽子起源ガンマ線で明るい SNR であり、再結合優勢プラズマが検出されている。比較的若い年齢 5–6 kyr は、星間雲との相互作用の初期段階を探る上で適している。今回我々は、W49B について ALMA 電波干渉計を用いた CO ( $J = 2-1$ ) 輝線観測 (分解能  $\sim 7''$  または  $\sim 0.4$  pc) を行なったので報告する (Sano et al. 2021c, submitted)。過去の研究で、視線速度 10, 40, 60  $\text{km s}^{-1}$  の 3 つの分子雲の付随がそれぞれ独立に提唱されてきたが、本観測で得られた分子雲の空間・速度分布ならびに物理状態 (運動温度・水素分子個数密度) を精査することで、10  $\text{km s}^{-1}$  成分のみ W49B に付随していることを突き止めた。当該分子雲の多くは SNR の西側に分布し、その CO 強度は再結合優勢プラズマの電子温度と負の相関を示す。また、付随星間雲の密度  $\sim 650 \pm 200 \text{ cm}^{-3}$  から、被加速陽子の全エネルギー  $W_p$  を  $\sim 2 \times 10^{49}$  erg と見積もった。他の天体の値と比較すると、W49B よりも若いガンマ線 SNR では、年齢と  $W_p$  の間に正の相関関係が見られた。本講演では、W49B における再結合優勢プラズマの起源と、被加速陽子エネルギーの時間発展について議論する。

[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](#)

## Q09a 低エネルギー宇宙線陽子は超新星残骸プラズマの過電離状態を説明するか？

澤田真理 (理化学研究所)

近年の X 線分光観測は、超新星残骸プラズマがしばしば過電離という特異な状態にあることを明らかにした。電子加熱からの非平衡電離過程では、重元素イオンの電離度は中性に近い低電離状態から電子温度で決まる平衡値へと徐々に近づく。過電離プラズマでは、観測した電離度がこの平衡値よりも高く、電離度が示唆する温度 (電離温度) は電子温度の倍程度もある。この状態を引き起こすには、標準的な超新星残骸の熱的進化モデルを超えて (1) 急速に電子を冷やす機構、(2) 熱的電子とは別の隠れた電離源により電離を進める機構のいずれかが必要となる。これまで主に (1) の電子冷却過程が検討され、高密度星周物質との相互作用による断熱冷却や、分子雲との接触による伝導冷却などが提案された。最近、(2) の隠れた電離源候補として、低エネルギー宇宙線陽子が挙げられた。しかし「低エネルギー宇宙線陽子が重元素イオンの電離度をそこまで変えうるか？」という基本的な疑問が検討されていない。そこで我々はこの課題に取り組む。

陽子によるイオンの衝突電離断面積は理論的に計算できるが、その絶対値を校正する実験データは電子の場合と比べてやや限定的である。そこで、十分速い衝突では同速の電子と陽子の断面積が同等となることを利用し、原子番号 30 までの全イオンの各サブシェルで電子の断面積をもちいて陽子の断面積を校正した。これをもちいて、べき型スペクトルを仮定した低エネルギー宇宙線陽子による電離レートを評価し、電離度の時間発展を計算した。今回はまず粗い検証を目的としたため、熱的電子温度や宇宙線スペクトルの時間発展はひとまず無視した。宇宙線陽子のべきや熱的電子・陽子に対する相対密度をパラメータとし、各ケースで到達可能な電離度を求めた結果、今回の条件のもとでは、~1%というかなり大きな相対密度でも、観測された電離度は説明されなかった。

[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](#)

## Q10b プラズマ粒子シミュレーションにおける運動方程式の厳密解に基づく粒子積分法：I. 非相対論的な場合

加藤恒彦 (国立天文台), 銭谷誠司 (神戸大学)

プラズマ粒子 (PIC) シミュレーション法は、荷電粒子の運動方程式と電磁場の時間発展方程式を組み合わせることでプラズマのダイナミクスを解くシミュレーション法であり、運動論的な現象をはじめ、様々なプラズマ現象の研究に用いられている。

電磁場中の粒子の運動方程式を解く粒子積分法には様々なものが考えられているが、最も標準的な手法としては Boris 法 (Boris 1970) が知られている。これは「volume-preserving」条件を満たし長期的な計算の安定性を持つ 2 次精度の手法である。近年では、ジャイロ運動部分を厳密に解く Exact gyration integrator (He et al. (2015)、Zenitani and Umeda (2018)) や、高精度に解く方法 (Zenitani and Kato (2020) など) が考案されている。

本研究では、粒子が非相対論的な場合を対象に、磁場だけでなく一定の電場もある場合の運動方程式の厳密解に基づいて高精度な粒子の積分法を導出した。この「Exact velocity integrator」は、Boris 法と同様に volume-preserving 条件を満たし、長時間の計算でも安定に運動を解くことができる。また、2 次精度の積分法としてはこれまでの方法よりも遙かに高精度で、 $E \times B$  ドリフトの数値テストの結果では、Boris 法に比べて 3 桁、Exact gyration integrator に比べても 2 桁程度精度が良い。なお、Exact velocity integrator では  $\sin$  や  $\cos$  を計算する必要があるが、そのテイラー展開を用いることで容易により計算コストの低い近似解法を作ることにもできる。また、composition 法を用いれば 4 次精度から 10 次精度に至るまでの高次精度の解法も容易に得ることができる。

本講演では、この粒子積分法について発表する。

[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](#)

## Q11b マイクロクエーサー SS433 のジェットと分子雲 N4 との相互作用の詳細解析

山本宏昭 (名古屋大学)

Yamamoto et al. (2008) において、なんてん望遠鏡の観測によりマイクロクエーサー SS433 の西側に 4 個、東側に 6 個の分子雲が X 線ジェットに対しほぼ直線的に分布していることを発見し、これらがジェットと相互作用している可能性を指摘した。この付随関係をより明らかにするため、野辺山 45m 鏡による  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線の観測を実施してきたが、今回さらに JCMT15m 鏡のアーカイブデータも活用して西側の分子雲について、詳細な解析を実施した。本講演では特に SS433 に最も近い分子雲 N4 の解析結果について報告する。解析に使用したデータは  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=3-2)$  の 3 輝線である。3 輝線のビームサイズを 20 秒角に、速度分解能を  $0.1 \text{ km s}^{-1}$  にスムージングして、7.2 秒角グリッドで解析を実施した。

$^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線で検出された分子雲は 1 辺が 10 pc ほどの三角形の構造をしており、2 つのローカルピークをもつ。 $^{12}\text{CO}(J=1-0, 3-2)$  共に分子雲のほぼ全域で CO 輝線は非対称の形をしている。 $^{12}\text{CO}(J=1-0, 3-2)$  輝線の強度  $T_{\text{MB}}$  は北西部で最も強く、それぞれ最大で約 33 K、約 31 K であった。母体の分子雲の速度は  $48-50 \text{ km s}^{-1}$  であるが、北西部にのみ約  $2.5 \text{ km s}^{-1}$  ほどシフトした成分が存在していた。さらに RADEX を用いた解析により、分子雲の密度は全体的に数  $1000 \text{ cm}^{-3}$ 、温度は  $20-30 \text{ K}$  程度であったが、北西部では  $50 \text{ K}$  以上に達することがわかった。北西部にのみ WISE  $12 \mu\text{m}$ 、 $22 \mu\text{m}$ 、AKARI WIDE-S ( $90 \mu\text{m}$ )、AKARI-WIDE-L ( $140 \mu\text{m}$ ) において強い放射が見られ、さらに N4 は X 線ジェットと同一視線方向上に位置している。これらの結果から N4 の北西部は現在 X 線ジェットと衝突していると結論づけた。

講演では shock cloud interaction による陽子起源ガンマ線放射の検出の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](#)

## Q12a 重力崩壊型超新星残骸 G350.1-0.3 の X 線観測で迫る爆発の非対称効果

土岡智也, 内山泰伸, 日暮凌太, 岩崎啓克, 大塚駿平, 山田真也, 佐藤寿紀 (立教大学)

太陽の約 8 倍以上の質量をもつ星は、進化の最終段階で重力崩壊型超新星爆発を起こす。しかし、その爆発メカニズムは未だに解明されておらず、現代の天体物理学における未解決問題の 1 つである。現在では、爆発の中心部での非対称性的効果が爆発の駆動に重要な役割を果たすと考えられている (Janka et al. 2016)。そのため、超新星の非対称性を観測的に明らかにすることが爆発機構の理解に繋がる (Maeda et al. 2008, Katsuda et al. 2018)。

我々は、超新星の非対称な構造を保ったまま膨張進化を遂げた可能性がある超新星残骸に着目している。特に本研究の対象天体である超新星残骸 G350.1-0.3 は、銀河系内の若くかつ極度に歪んだ構造を持つ数少ないサンプルであり、中性子星の速いキック速度が予測されているため (Lovchinsky et al. 2011)、超新星の非対称性を議論する上でとても重要な天体である。本研究 (Tsuchioka et al. 2021, ApJ) では、X 線によるこの天体の観測から爆発によって生じた噴出物の速度を測定し、「極度に非対称な超新星の運動学に迫る」ことを目的とした。視線垂直方向に対しては Chandra X 線衛星による 2009 年と 2018 年の観測画像の比較解析から、視線方向に対しては大きく X 線衛星のデータも加え、輝線のドップラーシフトを捉えることによって速度を推定した。結果、本天体の噴出物は  $3000-5000 \text{ km/s}$  で運動しており、年齢は 655 歳未満と若いことがわかった。また、爆発時に中性子星が噴出物と逆方向にキックされる “hydrodynamical kick” のシナリオを支持していることを初めて示した。今回の解析では超新星残骸の分布だけでなく運動学にも迫れる事が分かったので、今後、爆発のメカニズムを解明する上で、重要なサンプルとして活用されることが期待される。本発表では、これらの解析結果の詳細と共に、この超新星残骸の歪んだ構造の起源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](#)

## Q13a 超新星残骸 RX J0852.0–4622 におけるガンマ線発生機構：陽子起源・電子起源ガンマ線の観測的分離と定量

有賀麻貴, 福井康雄, 早川貴敬, 立原研悟 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台)

宇宙線発見以来、宇宙線の起源は重要な課題の一つである。超新星残骸 (SNR) は銀河宇宙線を生成する場所として有力であり、特に若い SNR ではガンマ線発生機構として宇宙線陽子、宇宙線電子起源が議論されてきた。Fukui et al. (2003) はガンマ線と星間物質の空間的な相関について示し、Zirakashvili & Aharonian et al. (2010) によるモデル計算では、ガンマ線発生機構として陽子起源、電子起源の両者が考えられるという結果が得られた。最近まで両者の割合を観測的に分離し定量する手法はなかったが、RX J1713.7–3946 (以後 RXJ1713) で Fukui et al. (2021) によって提案され、陽子起源：電子起源の割合はおおむね 3 : 1 であることが示された。この手法では、ガンマ線カウント  $N_g$  を、星間陽子の柱密度  $N_p$  と非熱的 X 線カウント  $N_x$  の線形モデル  $N_g = aN_p + bN_x$  でフィットすることで両者の分離を可能にした。他の SNR にもこの手法を適用することで、ガンマ線発生機構の更なる理解が望まれる。そこで我々は、2 つ目の天体として RX J0852.0–4622 (Vela Jr.) の解析を行った。この天体は約 750 pc と近い距離にあり、ガンマ線で明るいため、SNR と星間物質の空間的相関を探るのに適している。SNR に付随する分子雲と原子雲を特定するために、NANTEN  $^{12}\text{CO}(J = 1-0)$  と ATCA & Parkes HI を使用した。X 線は Suzaku、ガンマ線は H.E.S.S. (2018 年) のデータを使用した。RXJ1713 同様にフィットした結果、重相関係数は約 0.96 であり上手く観測点を表現できた。これにより、各観測点で両者起源のガンマ線カウントをそれぞれ計算し、陽子起源：電子起源の割合は約 2 : 3 であることを示した。本講演では、陽子・電子起源ガンマ線を決定づける要素について議論するとともに、RXJ1713 と Vela Jr. の星間環境の違いについて考察する。

[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](#)

## Q14a すざくによる PeVatron 候補天体 G106.3+2.7 の観測

藤田裕 (東京都立大学), 馬場彩 (東京大学), 信川久実子 (近畿大学), 松本浩典 (大阪大学)

G106.3+2.7 は高エネルギーガンマ線を放射する超新星残骸 (SNR) であるが、近年 HAWC や Tibet の観測により、ガンマ線のスペクトルが  $\sim 100$  TeV まで伸びていることが確認された。もしこのガンマ線が陽子起源なら、その陽子は  $\sim$  PeV まで加速されていることになり、G106.3+2.7 は PeV 陽子宇宙線加速天体 (PeVatron) ということになる。一方、ガンマ線が電子起源である可能性もある。そのため本研究では G106.3+2.7 の X 線放射を調べることで、陽子起源、電子起源を判別することを目指した。

我々は G106.3+2.7 をカバーするすざくの 3 視野 (East, Middle, West とする) のアーカイブデータを解析した。その結果、全領域から淡く広がった X 線放射を検出することができた。しかしその表面輝度が最大となるのはガンマ線が放射されている Middle, West 領域ではなく、SNR の外で、パルサー PSR J2229+6114 が存在している East 領域であった。これは電波放射と同様である。

解析結果を用い、電波からガンマ線にわたる SED を検討したところ、SED だけでは陽子起源、電子起源を区別することはできなかった。しかし X 線 (+ 電波) 放射の空間分布が明らかにガンマ線分布と異なることは、X 線 (+ 電波) とガンマ線の起源が異なることを示している。もっともらしい解釈は、X 線 (+ 電波) はパルサーが加速した電子が起源、ガンマ線は分子雲と相互作用をする陽子が起源というものである。実際 Middle, West 領域には分子雲が存在する。ただし謎として残るのは、G106.3+2.7 は年齢が 1 万年ほどの古い SNR であり、現在 PeV 宇宙線を加速しているとは考えにくいということである。SNR が若いころに加速された PeV 宇宙線が何らかのメカニズムで分子雲に閉じ込められているのかもしれない (Fujita et al. 2021, ApJ, 912, 133)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q15a HESS J1848–018/W43 領域の多波長観測

辻直美 (理研), 田中孝明 (甲南大), Felix Aharonian, Giada Peron (MPIK), Sabrina Casanova (IFJ-PAN), Emma de Oña Wilhelmi (DESY), Davit Zargaryan(DIAS)

数 PeV 以下のエネルギーを持つ銀河系内の宇宙線は主に超新星残骸で生成されると考えられてきたが、多くの超新星残骸のガンマ線スペクトルは高くても TeV 帯域でカットオフを示すことから、PeV までの粒子が実際に加速されるかどうかは疑問視されてきた。最近では、LHAASO によりいくつかの星形成領域から sub-PeV のガンマ線が検出され、PeV にまで加速された粒子の存在が示唆されたことで、星形成領域や大質量星団もまた銀河系内宇宙線の起源として注目を浴びるようになってきている (Cao et al. 2021, Nature 594, 33-36)。W43 は、明るく、星形成率の高い、若い星団の一つである。周辺には Fermi-LAT や HESS により、ガンマ線放射 HESS J1848–018 が確認されている (Yang & Wang 2020, A&A 640, A60; HESS Collab. 2018, A&A 612, A1)。本研究では、HESS J1848–018/W43 領域について HESS と Fermi-LAT を用いてガンマ線の再解析を行った。HESS の解析ではより詳細な空間構造やスペクトルを調査し、Fermi-LAT の解析では先行研究 Yang & Wang 2020 の結果を再現することができた。さらに、FUGIN を用いた周辺ガスの解析と、Chandra 衛星による X 線データの解析も行った。ガンマ線とガスの空間分布を比較したところ、ピークの位置がずれていることが明確になった。X 線では、ガンマ線に対応する放射は確認されず、フラックスの上限値を得た。以上の多波長観測の結果に基づいて、本講演ではガンマ線の放射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](#)

## Q16a Observations of the unidentified source HESS J1809-193 at TeV energies with the MAGIC telescopes using the Very Large Zenith Angle technique

M. Strzys, Ie. Vovk (ICRR, U. Tokyo), D. Green (MPP, Munich), D. Zarić (U. of Split), K. Asano, S. Fukami, D. Hadasch, T. Inada, Y. Kobayashi, D. Mazin, K. Noda, Y. Ohtani, T. Saito, S. Sakurai, M. Takahashi, R. Takeishi, M. Teshima (ICRR, U. Tokyo), H. Kubo, S. Nozaki, T. Oka (Kyoto U.), J. Kushida, K. Nishijima (Tokai U.), Y. Suda (Hiroshima U.), for the MAGIC Collaboration

The origin of Galactic Cosmic rays up to PeV energies is one of the longest-standing problems in astroparticle physics. One of the main sources are regarded to be Supernova remnants (SNRs). While SNRs are known to accelerate protons, so far there is no evidence that SNRs can accelerate CRs to PeV energies. A gamma-ray spectrum extending up to  $\sim 100$  TeV would be a signature of a so-called Galactic PeVatron, an object accelerating protons up to the knee of the Cosmic ray spectrum. The current multi-wavelength data indicate that HESS J1809-193 is one of the most promising Galactic PeVatron candidates. So far, no firm identification on the source nature has been established as there are several possible counterparts at lower energies; one of them being SNR G11.0-0.0. We report on an observational campaign with the MAGIC telescopes on HESS J1809-193 since 2019 in the very-high-energy gamma-ray domain. The data were obtained with the Very Large Zenith Angle technique, which increased the collection area significantly to  $\sim 1\text{km}^2$ . We used  $\sim 60$  hours of data to explore the spectrum and the morphology of the source at energies above several TeV.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q17a 超新星残骸が加速する粒子の最高エネルギーとその環境依存性の観測的研究

鈴木寛大 (甲南大理工)、馬場彩 (東大理)、山崎了 (青学大)、大平豊 (東大理)

$10^{15.5}$  eV ( $\sim 3$  PeV) 以下の銀河宇宙線の起源は主に超新星残骸 (SNR) の衝撃波面だと考えられており、実際に SNR 周辺には TeV 以上の陽子が存在することがガンマ線観測から分かっている (e.g., Ackermann et al. 2013)。しかし、SNR で加速された粒子が宇宙空間に解放されているか、最高加速エネルギーが PeV に達するか、という 2 つの未解決問題が残されている。前者について我々は、衝撃波に閉じ込められた加速粒子が平均 10–100 kyr のタイムスケールで解放されていくことをガンマ線観測データをもとに示した (Suzuki et al., PASJ, 2020)。本研究では後者、すなわち最高加速エネルギーとその天体ごとの違いを調査した。

本研究 (Suzuki, Ph.D. thesis, 2021) は、年齢がおおよそ 0.4–100 kyr にわたる 38 個の SNR のガンマ線・熱的 X 線の観測量をもとに、粒子加速の物理量を推定した。本講演では特に最高加速エネルギーを議論する。サンプルのうち先行研究が古い 15 天体については Fermi 衛星の最新観測データを用いたスペクトル抽出を行い、その他 23 天体には先行研究で示されたスペクトルを用いた。各天体の年齢は主に熱的 X 線プラズマの情報から算出した (Suzuki et al., ApJ, 2021)。全サンプルのガンマ線スペクトルを cutoff/broken power-law でモデリングし、その結果と年齢、周辺密度などから粒子加速の物理量を推定した。結果、単純なシナリオのもとでは、生涯に加速する最高エネルギーが PeV に達しうる天体はわずかであると判明した。ただし、最高エネルギーの推定値が理論計算 (Ptuskin & Zirakashvili 2003; Brose et al. 2020) よりも系統的に 1–2 桁小さいため、ガンマ線で明るい領域の最高エネルギーが天体全体よりも 1–2 桁低いバイアスがある可能性もある。また、最高エネルギーには 3 桁もの天体間の差異があり、加速効率や周辺密度にそれぞれ 1 桁程度のばらつきがあ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](#)

## Q18a すざくを用いた銀河系高温ガスハローの観測

上田将暉, 杉山剣人, 小林翔悟, 松下恭子 (東京理科大学)

冷たい暗黒物質モデルに基づく、銀河間空間から降着したガスは衝撃波でビリアル温度まで加熱され、X 線を放射すると考えられる。また、銀河内で起きた超新星爆発による加熱で、星間ガスが銀河面から吹き出すことも起こり得る。銀河系ハローに存在すると考えられる 0.2 keV 前後の高温ガスからの放射が XMM やすざくで観測されたが、その強度は天球上で一桁以上ばらついていた (Henley+13, 中島+18)。さらに、吉野+(09), 関谷+(14) では、すざくで観測した一部の領域に 0.8–1.0 keV の放射成分 (以下 0.8 keV 成分) が存在する可能性を指摘している。しかし、これらの X 線放射の起源や分布に関しては未だに議論が続いている。また、CCD 検出器による観測では太陽風電荷交換反応による放射と銀河面や銀河系ハローの高温ガスとの分離は困難である。

本研究では、銀経  $75^\circ$ – $285^\circ$  かつ銀河面から  $15^\circ$  以上離れた 130 領域にわたるすざくの観測データの解析結果を報告する。杉山らは、これらのデータの解析結果から、0.2 keV 成分に太陽活動と関連する放射成分が混ざっている可能性が高いことを 2020 年春期年会で報告した。今回、このうち太陽活動による影響が少ない時期のデータから、温度が 0.2–0.25 keV の放射が天球上にほぼ輝度一定で一様に分布することがわかった。この分布は銀河中心からの距離  $r$  に対して球対称な  $\beta$  モデル  $\propto (1 + (r/r_c)^2)^{-3\beta/2}$  と矛盾がなかった。さらに、静水圧平衡を仮定して求めた重力質量は 20 kpc 程度までの範囲で銀河系の質量測定の結果と矛盾がなかった。これらの結果はビリアル温度にあるガスが銀河系ハローを静水圧平衡で満たしていることを示唆する。一方、0.8 keV 成分も数割の観測で見つかったものの、その放射強度は場所により一桁以上のばらつきが見られた。また、太陽活動との相関は見られなかったため、最近起こった超新星爆発により加熱されたガス由来かもしれない。

[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](#)

## Q19a Milky Way Hot Gaseous Halo Revealed by Oxygen Absorption Lines of the Galactic X-ray Sources

Yu Zhou, Noriko Y. Yamasaki, Kazuhisa Mitsuda (JAXA/ISAS)

The observed mass in stars and cold gas of the Milky Way seems to fall below the anticipated baryonic mass according to the total virial mass and the cosmic mean baryon fraction. The local missing baryons are possibly embedded in a hot gaseous halo at a temperature of  $\sim 10^6$  Kelvin, whose heating mechanism is still under debate. While the dense disk-like distribution is expected to originate from the stellar feedback in the Galactic disk, a rarefied spherical component may form via accretion shock when pristine intergalactic medium falling onto the dark matter halo. To resolve the spatial distribution of the hot gas inside the Milky Way, which is a key to constrain the origin of the hot gas and the baryonic mass, we analysed high resolution spectra of the galactic X-ray sources using the archival data from the Reflection Grating Spectrometer (RGS) on board the *XMM-Newton* X-ray Telescope. From the stacked spectra of the target background sources, OVII and OVIII absorption lines are clearly detected and the fitted OVII column densities have shown significant dependence on distance and the Galactic latitude. The effect of the intrinsic absorption from the binary systems are removed so that the result represents for the interstellar medium along the line of sights. Blue shifts in absorption lines corresponding to a velocity faster than 200 km/s are observed for several line of sights, suggesting the capability of the hot gas to escape from the dark matter halo potential well. We also compared the observed OVII and OVIII column densities and their ratio OVII/OVIII distribution with theoretical 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](#)

## Q20a フェルミバブル周辺における電離非平衡プラズマの発見

山本真理乃, 片岡淳 (早大理工), 祖父江義明 (東大理・天文)

近年フェルミガンマ宇宙望遠鏡によって銀河中心から上下対称に吹き出すガンマ線の巨大構造フェルミバブルが発見された。このような大規模構造は他波長でも発見されており、X線ではeROSITA衛星、電波ではWMAP衛星などにより確認されている。これらの大規模構造を統一的に理解することにより、銀河中心の過去の活動性についての知見を得ることができ、銀河の進化の過程を知る手がかりとなる。先行研究より、バブル境界部では銀河ハローが0.3 keV程度であり、標準的な温度である0.2 keVより高温である。また北部バブルの境界部で境界内部のEMが外部の50%程度であることも併せて、境界部のX線構造は銀河ハローがバブルの膨張の際に圧縮、加熱された構造であることを示唆する(Kataoka, et al.2013等)。これらは、銀河ハローのプラズマ成分が電離平衡状態である仮定の下だが、実際には銀河ハローは低密度であることや、衝撃波通過後に十分な時間が経過していない可能性より、必ずしも電離平衡にあるとは言えない。そこで、本研究では北側のバブルの高温プラズマについて、初めて電離非平衡状態を仮定した解析を行った。その結果、NPSでは電子温度は0.3keV程度で平衡状態に近いのに対し、バブルに接する内側に行くほど電子温度は0.5~0.6keV程度と2倍弱高温であり非平衡状態にあることが分かった。また銀河中心での爆発を仮定しセドフ解を適用すると、内側の温度は1.5倍程度となり、観測結果と概ね一致する。これらの結果は内側ほど衝撃波の通過する速度が速くまた密度も薄く、未だに平衡状態に達していないというバブルの成長のダイナミクスを示唆すると考えられる。本講演では、すぎく衛星によるバブル周辺の観測データを銀河ハローの高温プラズマを電離非平衡モデルを仮定し解析した結果より、フェルミバブルの成長過程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](#)

## Q21a PeV ガンマ線で探る天の川銀河ハロー内の宇宙線とその役割

井上進 (文教大 / 理研), 辻直美 (理研 iTHEMS), 川田和正 (東大宇宙線研)

直接観測されている宇宙線陽子・原子核でエネルギーが PeV ( $=10^{15}$  eV) 以下のものは、主に天の川銀河のディスク内で生成され、しばらくディスク内を伝搬した後、銀河ハロー領域へと逃げ出してゆくと考えられている。また、Fermi bubble に伴う衝撃波などによって、ハロー内に直接宇宙線が供給される可能性もある。ハロー内を伝搬している宇宙線は必ず存在するはずだが、場合によっては、周囲のガスへ熱や圧力を及ぼし、ハローからディスクへのガス降着過程に影響を与え、銀河全体の進化に重要な役割を担っている可能性すらある。しかし、その観測的証拠は乏しく、詳細はほとんどわかっていない。このような宇宙線の一部はハロー内ガス粒子との  $pp$  相互作用を通じて、空間的に広がった高エネルギーガンマ線とニュートリノの放射を引き起こすはずである。近年、いくつかの intermediate velocity cloud (IVC; 銀河面からの高度  $z \sim 1-2$  kpc に存在する HI ガス雲) に付随した GeV ガンマ線が Fermi-LAT によって検出され、銀河ディスクから逃げ出しつつある宇宙線陽子の様子が初めて捕らえられた。が、銀河ディスクからより離れたハロー領域での宇宙線の様子は、依然として不明である。

本講演では、まず、空間的に大きく広がったガンマ線放射は、GeV-TeV 帯に比べ、Tibet AS $\gamma$  や LHAASO などの空気シャワーアレイによる PeV 帯での観測の方が有効である可能性を示す。そして、Fermi による IVC 観測結果を元に、IVC や high velocity cloud (HVC; IVC に比べ、有意に  $z$  が大きいと推定される HI ガス雲) の PeV 帯での観測可能性を検討する。さらに、そのような観測から期待される、ハロー内宇宙線の伝搬過程の物理、その銀河周囲ガスに対する力学的役割、それに伴うニュートリノの IceCube 観測への寄与、などに対する制限を議論する。最後に、Tibet AS $\gamma$  で検出された高銀偉ガンマ線候補イベントと、IVC や HVC との関係について触れる。

[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](#)

## Q22a 急冷室素含有炭素質物質の宇宙環境曝露実験 - 帰還試料の初期分析報告

遠藤いずみ, 左近樹 (東京大学), 尾中敬 (明星大学), 癸生川陽子, 小林憲正 (横浜国立大学), 三田肇 (福岡工業大学), 矢野創 (ISAS/JAXA)

様々な天体環境で観測される未同定赤外バンドの担い手である星間有機物は宇宙に普遍的に存在すると考えられるが、その形成・進化過程やそれが太陽系の始原的有機物とどのような進化上の関係を持つかは未だ詳細がわかっていない。我々はこれまで、2.45GHz マイクロ波電源プラズマ生成装置を用いて、炭化水素ダストと窒素ガスから発生させたプラズマを急冷凝縮することにより、急冷室素含有炭素質物質 (QNCC) の合成実験を行い、その赤外線の特徴が古典新星周囲で観測される未同定赤外バンドの特徴を極めてよく再現することを見出した (2018 年春季年会 Q31a)。一方、QNCC の赤外/X 線分光特性や N/C 比などの物性は、酸素に関連する特徴を除き、炭素質隕石中に含まれる不溶性有機物 (IOM) と極めてよく類似する。我々は、新星を起源に持つ星間有機物と、太陽系の始原的有機物の進化上の関連を調べる目的で、国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」日本実験棟汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取付機構 ExHAM を利用した、QNCC の宇宙環境曝露実験を実施した (2019 年春季年会 Q15a)。実験試料は 2019 年 8 月から 431 日間、ISS 軌道上の宇宙環境に曝露されたのち、2021 年 1 月に地上に帰還し、2 月に東京大学に到着した。まず、曝露パネル前面で直接曝露を行なった QNCC に対し、赤外分光分析を開始した。その結果、曝露前の赤外吸光度スペクトルには見られなかった、 $2.9\mu\text{m}$  の O-H と  $5.95\mu\text{m}$  の共役ケトン (C=O) に対応するバンドの出現、及び、 $8\mu\text{m}$  バンドの形状変化を確認した。本講演では、赤外/X 線分光などの初期分析結果を報告し、IOM の特徴との比較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](#)

**Q23a 放射型分光計 SUMIRE を用いたメタノール分子同位体種のマイクロ波分光**

小山貴裕 (理研), 玉内朱美 (理研), ZENG Shaoshan (理研), 大野有紀 (理研), 渡邊祥正 (芝浦工大), 酒井剛 (電通大), 坂井南美 (理研)

電波天文学において分子の回転遷移の正確な静止周波数の情報は、分子種の確実な同定およびドップラーシフトを利用した天体の運動の正確な解析に不可欠である。しかし、微量な同位体種や振動励起状態などに由来する強度の弱い遷移について、その正確な静止周波数の情報は不足しており、観測により得られたデータの解釈を困難にさせている。そのような現状を打破するため、我々は最先端の電波天文技術を活用した放射型ミリ波分光器 (SUMIRE) を開発し、室内実験によるメタノール分子の様々な希少同位体種の回転遷移の測定を行っている。この分光器は、直径 10 cm、長さ 200 cm のガラス製円筒型ガスセル、216-264 GHz 帯 (ALMA band 6) のサイドバンド分離型の ALMA タイプカートリッジ受信機 (2SB)、相関型分光計 (XFFTS) で構成されている。帯域 2.5 GHz のボード 4 枚を XFFTS に組み入れることにより、バンド幅 8 GHz を一度に周波数分解能 88.5 kHz で分光測定することを可能にした。さらに室温 (300 K) と液体窒素温度 (77 K) の黒体を用いた強度補正をすることで、非常に信頼性の高いラインの相対強度測定を実現化させた。加えて、十分な S/N 比で測定されたライン周波数の測定精度は 1 kHz 以下である。この分光器を活用し、メタノール分子の D,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  などを含む希少同位体種の回転遷移の測定を行っている。これらはホットコアやホットコリノなどアルマ望遠鏡で検出されている多くの未同定線の有望な候補である。講演では、開発した分光器の詳細および重水素化メタノール  $\text{CD}_3\text{OD}$  の分光学的解析やその天体検出の可能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](#)

**Q24a 放射型分光装置 SUMIRE を用いたメタノール重水素置換体  $\text{CH}_2\text{DOH}$  の測定と観測データ解釈への影響**

大野有紀 (東理大/理研), 渡邊祥一 (芝浦工大), 酒井剛 (電通大), 小山貴裕, 玉内朱美, Shaoshan Zeng, 坂井南美 (理研)

星間空間に存在するメタノール  $\text{CH}_3\text{OH}$  は、様々な大型有機分子生成の鍵となる分子であり、重水素濃縮を示すことが知られている。重水素濃縮は低温 ( $\sim 10$  K) 環境下で特に進行し、低質量原始星まわりのエンベロープではメタノールに対する重水素置換体  $\text{CH}_2\text{DOH}$  の存在比率は数十%と報告されている。星間空間における分子の存在量や温度状態の決定には、分子スペクトル線の基準周波数や強度など分子の遷移に関する情報が必要であり、通常は公開されている分光データベースを利用する。しかし、 $\text{CH}_2\text{DOH}$  分子のスペクトル線は、ミリ波領域においてデータベースの精度や量が十分でなかった。そこで、本研究では、実験室での測定による精密な基準周波数の決定を行った。放射型分光計 SUMIRE を用いて  $\text{CH}_2\text{DOH}$  (98% の濃縮サンプル) に対して 216-264 GHz 帯の測定を行ったところ、500 本以上のピークを検出し、そのうち 200 本は新しく発見された。また、既存のデータベースとはピーク強度が大幅に異なることも判明した。講演では、これらの結果が分子定数の決定や観測における分子存在量の導出に与える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](#)

## Q25a Tracing the methanol deuteration towards Perseus low-mass protostars

Shaoshan Zeng (RIKEN), Akemi Tamanai (RIKEN), Takahiro Oyama (RIKEN), Yuki Ohno (RIKEN), Yoshimasa Watanabe (Shibaura kodai), Takeshi Sakai (UEC), Nami Sakai (RIKEN), Yao-lun Yang (UVA) and PEACHES members

The hydrogen-to-deuterium (D/H) ratio has been extensively employed as a diagnostic tool for studying the physical and chemical evolution of interstellar sources. Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) is one of the molecules that exhibits the highest deuterium fractionation, especially towards the low-mass star-forming regions. Its deuteration can occur in the methyl ( $-\text{CH}_3$ ) group such as  $\text{CH}_2\text{DOH}$  and the hydroxyl ( $-\text{OH}$ ) group such as  $\text{CH}_3\text{OD}$ . Literature studies have shown that deuteration process seems to occur more efficiently on the methyl group than the hydroxyl group, which may reflect the different formation route(s) of these two deuterated methanols. In this talk, we will present our preliminary study of methanol fractionation towards a number of Perseus low-mass protostars. This study carried out the ALMA chemical surveys (PEACHES project: Yang et al. 2021, ApJ, 910, 20) in combination with laboratory-based spectroscopic measurements of  $\text{CH}_2\text{DOH}$  and  $\text{CH}_3\text{OD}$  by means of our emission type Spectrometer Using superconductor MIXer Receiver (SUMIRE). We will discuss how our result may help to improve our understanding of the difference in deuteration between the methyl and hydroxyl group as well as the possible applications of highly accurate and reliable spectroscopic results by SUMIRE.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q26a The NANTEN Galactic Plane Survey I : (Overview)

立原研悟、山本宏昭、早川貴敬、堤大陸、西川薫、福井康雄 (名古屋大)、佐野栄俊 (国立天文台)、榎谷玲依 (慶應義塾大)、西村淳 (東京大)、藤田真司、大西利和 (大阪府立大)、FUGIN AI チーム

NANTEN2 望遠鏡は名古屋大学のグループを中心に、チリ・アタカマ高地で維持・運用されている。1996年から2004年までの「なんてん」望遠鏡時代も含め、これまで銀河系内の広範囲、及び大小マゼラン雲の全面をカバーする分子雲探査が行われ、数々の成果を上げてきた。そのうち銀河系内では主要な星形成領域や超新星残骸、銀河中心やスーパーシェルのなど、興味深い天体についての観測結果が報告された。また銀河面に対しては、CO  $J=1-0$  輝線で無バイアスかつ均一なサーベイ観測も行われており、データ公開も視野に入れ、整理を進めている。ビームサイズは2.6分角である。

NANTEN 銀河面サーベイ (NGPS) は、複数の異なる世代の観測からなる。銀経  $l = 280^\circ - 50^\circ$ 、銀緯  $|b| \leq 1^\circ$  の範囲は、On-The-Fly 法でフルサンプリングされている。 $l = 205^\circ - 60^\circ$ 、 $|b| < 5^\circ$  の領域はポジションスイッチング法で4分角グリッドで観測され、 $|b| < 10^\circ$  までのより高銀緯領域は8分角グリッドで観測されている。またへびつかい座・おおかみ座領域 ( $l = 320^\circ - 20^\circ$ )、カメレオン座領域 ( $l = 290^\circ - 320^\circ$ ) などでは、さらに高銀緯 ( $|b| \geq 20^\circ$ ) までカバーしており、この分解能ではこれまでにない広範囲なサーベイとなっている。スペクトルは、 $|b| < 5^\circ$  までの銀河面は wide-band (分解能 1 km/s, 幅  $\pm 200$  km/s) で、より高銀緯では high-resolution (分解能 0.1 km/s, 幅  $\pm 50$  km/s 程度) の分光計で取得された。現在、より高分解能観測の公開データである Mopra GPS などと比較し、ベースラインやキャリブレーションを再評価し、その精度を定量的に見積る作業を行なっている。このデータから分子雲を同定し、距離を求めることで銀河の3次元構造の解明などを進めている (藤田他、本年会参照)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q27a NANTEN 銀河面サーベイデータを利用した星間水素の精密定量

堤大陸, 早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 林克洋 (JAXA), 佐野栄俊 (国立天文台), 榎谷玲依 (慶應義塾大), 西村淳 (東京大), 藤田真司, 大西利和 (大阪府立大)

星間物質の基本的な要素である水素ガス ( $\text{H I}$  や  $\text{H}_2$ ) について、その分布や存在量を明らかにすることは、銀河構造や天体の進化を理解する上で非常に重要である。これまで星間物質の  $\text{H I}$  ガスの量はいわゆる 21 cm 線の速度積分強度により推定されてきたが、Fukui et al. (2014, 2015) では、*Planck* 天文衛星による星間ダストの放射パラメータ (353 GHz でのダストの光学的厚さ  $\tau_{353}$  など) を用いた新たな定量方法が示された。この手法により、 $\tau_{353}$  を全水素原子の柱密度 ( $N_{\text{H}}$ ) の線形のトレーサとして用いることで、従来の  $\text{H I}$  輝線を用いた定量方法では、 $\text{H I}$  ガス自身の光学的厚さ ( $\tau_{\text{HI}}$ ) の効果によって量を 1/2 程度に過小評価してしまう可能性が示された。Okamoto et al. (2017) および Hayashi et al. (2019) ではより正確な推定のために、Roy et al. (2013) でオリオン分子雲において提起されたダストの成長を考慮した  $\tau_{\text{dust}} \propto (N_{\text{H}})^{\alpha}$  モデルを導入し、ペルセウス座分子雲やカメレオン座分子雲などの太陽系近傍の領域でのこの新たな推定方法を用いた研究が行われた。これらの先行研究では、 $\tau_{353}$  に対して  $N_{\text{H}}$  が  $\alpha \sim 1.1-1.4$  であること、 $\text{H}_2$  ガスの柱密度のトレーサとして使われる  $\text{CO}$  分子輝線強度と比較することにより、これまで一定とされてきた変換係数  $X_{\text{CO}}$  の空間分布などが明らかになった。本研究では、これまでに NANTEN 銀河面サーベイ (NGPS) で取得された銀経  $205^\circ$  から  $60^\circ$  の広範囲の  $\text{CO}$  輝線データ (立原ほか、本年会) や *Planck* 天文衛星の  $\tau_{353}$  などのデータに対して Okamoto et al. (2017) の手法を適用する。銀河中心付近を除く全領域に対して  $X_{\text{CO}}$  の導出を実施し、 $X_{\text{CO}} \sim 1.0 - 2.0 \times 10^{20} [\text{cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}]$  と変化する描像を明らかにした。大局的な構造や環境依存性について、先行研究と比較しつつ議論する。

[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](#)

## Q28a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法 (2)

藤田真司, 上田翔汰, 西本晋平, 米田龍生, 大西利和 (大阪府立大学), 鳥居和史, 宮本祐介, 鳥尻芳人 (国立天文台), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 川西康友 (理化学研究所), 西村淳 (東京大学), 西川薫, 吉田大輔, 松尾太郎, 井上剛志 (名古屋大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 金子紘之 (上越教育大学/国立天文台), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)

銀河系において分子ガスの距離情報は、その質量やサイズだけではなく銀河構造を議論する上でも非常に重要なパラメータである。ガスの視線速度と銀河の回転速度より計算される運動学的距離を用いるのが一般的であるが、太陽系軌道より内側の領域のガスに関しては Near 解と Far 解という異なる 2 つの解が同時に導出される問題がある (=Near-Far 問題)。我々はこれまで、分子ガスの特徴を学習し Near-Far を推論する Random Forest のモデルを構築してきた。テストデータに対する本モデルの正答率は  $\sim 70\%$  を達成した (藤田他 2021 年春季年会)。

今回新たに、空間的な特徴を捉えやすい Convolutional Neural Network (CNN) を用いた Near-Far 推論モデルの構築を試みた。本モデルでは  $^{12}\text{CO} (J = 1 - 0)$  の 3 次元輝度分布 (位置-位置-視線速度, 数十 pixel  $\times$  数十 pixel  $\times$  数速度 channel) を入力とし、教師データには前回と同様に赤外天文衛星 WISE の  $\text{H II}$  region カタログを用いた。結果として、テストデータに対する正答率が  $\sim 75\%$  のモデルを構築することができた。現在、精度のさらなる向上のため、CNN のアーキテクチャの改善、教師データの洗練、SPH シミュレーションとの比較などに取り組んでいる。本モデルを野辺山 45m 電波望遠鏡による  $\text{CO}$  銀河面サーベイデータ (銀経  $62-10$  度, 銀緯  $\pm 1$  度) の全 voxel に適用することによって得られた銀河系を上から見た詳細な分子ガス分布や、データ内から同定された数千個の分子雲の物理的性質等について議論する。

[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](#)

## Q29a 大マゼラン雲における大質量星形成領域に対する機械学習を用いた観測的研究

上田翔汰, 西本晋平, 米田龍生, 藤田真司, 大西利和 (大阪府立大), 島尻芳人, 宮本祐介, 鳥居和史 (国立天文台), 西村淳 (東京大学), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 竹川俊也 (神奈川大), 金子紘之 (上越教育大/国立天文台), 川西康友 (理化学研究所), 西川薫, 吉田大輔, 松尾太郎, 井上剛志 (名古屋大), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台)

大質量星形成メカニズムを探る上で、HII 領域が付随する天体をバイアス無く収集し、その性質を統計的に調査することは非常に重要である。我々は、多量の HII 領域を効率的かつ客観的に検出するため、Spitzer Bubble (Churchwell et al. 2006, 2007) を教師とした Convolutional Neural Network (CNN) モデルを作成してきた。本モデルを銀河面の  $l = 18 \pm 1.5^\circ$ ,  $b = \pm 1^\circ$  の範囲に対し適用し、HII 領域の検出を行ったところ、検出された天体と星形成領域カタログが概ね一致することが確認された (上田他 2021 春季年会)。

今回、大マゼラン雲 (LMC) に対して本モデルを適用し、HII 領域の検出を行った。データは CTIO/MCELS H $\alpha$  輝線と Spitzer 8 $\mu$ m, 24 $\mu$ m を使用した (空間分解能: 約 1.5 pc)。その結果、約 600 天体が検出され、最小半径は 3 pc、最大半径は 185 pc、典型的な半径は 20 pc であった。そのうち約 3 割は先行研究の HII 領域カタログ (Davies et al. 1976) と一致し、残りの数百天体は新たに発見された HII 領域候補である。検出された天体の H $\alpha$ /24 $\mu$ m 比などは大きな多様性を有しており、これは大質量星形成領域の周囲の環境や年齢、初期条件などを反映していると考えられる。また、検出天体の約 8 割が、Herschel によって得られた H $_2$  柱密度 (Jameson et al. 2016) と対応が良いことがわかった。本講演では、新しく作成したカタログを用いて、LMC における HII 領域とそれに付随する分子ガスやダストとの関連等を議論する。

[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](#)

## Q30a Sub-kpc scale gas density histogram of the Galactic molecular gas : a new statistical method to characterise the galactic-scale gas density structure

松坂怜, 半田利弘, 村瀬建, 平田優志, 西潤弥, 佐々木恵, 溝口智貴 (鹿児島大学), 伊東拓実 (熊本大学), 藤本裕輔 (カーネギー研究所)

銀河内の物質進化や星形成を理解するためには、星間ガスの分布や物理的状態を調べるのが重要である。これまでの研究から星形成を支配する特徴は、銀河構造のスケール (~kpc) から、分子雲コア (~0.1pc) までの幅広い空間スケールに渡って階層的になっていることが観測と理論の両方から示唆されている。したがって、両者をつなぐスケールでの系統的な研究が急務である。近傍銀河の観測的研究により、銀河構造による分子雲の形成と進化が明らかになりつつある一方、天の川銀河の研究では分子雲コアから星形成に至るまでの観測的研究が盛んに行われてきた。しかし天の川銀河で十分な分解能での超広領域の観測が必要であるため sub-kpc スケール程度の研究が乏しいというのが現状である。我々は、銀河面の広い領域について、sub-kpc スケールかつ偏りのない解析手法としてガス密度頻度分布 (Gas Density Histogram : GDH) の利用を提案してきた。これは従来の研究とは異なり、個々の分子雲に分割することなく銀河面を機械的に区切ることで分子雲同定の偏りのないことが特徴である。今回は、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた FUGIN プロジェクトのデータを用いた解析結果を報告する。GDH は観測的な確率密度関数 (PDF) であり、sub-kpc スケールの空間的性質を表す。本研究では、天の川銀河円盤部の領域ごとに GDH の形状は異なっており、大きく 4 つに分類できることを明らかにした。また、この分類は分子ガスの空間的な分布に関係し、星形成領域との間には相関があることを発見した。特に、GDH の形状を表すパラメーターと渦状腕構造の間には関係があることを示唆する結果を得た。

[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 銀河系中心領域における磁気活動の数値解析

柿内健佑 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学), 井上剛志 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

銀河全体の中で銀河進化の核となり、最も複雑で活発な活動性を示すのは銀河の中心部領域である。観測事実に基づくと、天の川銀河の中心部数百パーセクの領域での磁場強度は円盤部に比べて強く、その磁気エネルギーは、星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵あるいは凌駕する。故に、銀河系中心領域の星間ガスの振る舞いを理解する上で、磁場の役割を解明することは必要不可欠である。本講演では、銀河系中心領域における星間ガスを磁気流体として取り扱い、星間ガスの輻射加熱冷却効果を含む熱進化の影響を考慮した数値シミュレーション結果を紹介する。結果として、輻射加熱冷却効果の有無によって星間ガスの温度や密度分布が大きく変化し、磁場の成長率や星間ガスの振る舞いに違いが生じることが明らかになった。さらに、輻射加熱冷却効果を考慮しない場合では見られなかった中緯度帯における磁気圧優勢な領域の形成とそれに伴って高密度ガスの浮上現象が発生することが分かった。

[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](#)

### Q32a すざく衛星による銀河面拡散 X 線放射のスペクトル解析

山本久美子, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大)

天の川銀河には銀河系全体に拡がった X 線放射 (GDXE) が存在する。GDXE は高階電離した鉄輝線を持つことが特徴であり、その分布から銀河中心 (GCXE)、バルジ (GBXE)、銀河面 (GRXE) に分解された。

放射の起源は、真に拡がったプラズマであるとする説と未分解の点光源の重ね合わせであるとする説がある。スペクトルは光学的に薄い数千万度のプラズマからの放射として強い鉄輝線を問題なく説明できることがわかっている (Uchiyama et al. 2013)。しかし、数千万度にもなるプラズマは銀河面の重力で束縛できない。プラズマ説では恒常的なプラズマ生成か磁場による閉じ込め機構などが必要となる。また、点光源の重ね合わせでは 3 本の鉄輝線を同時に説明できないこともわかっている。 (Nobukawa et al. 2016, Yamauchi et al. 2016)。

私たちは、銀河面上で観測時間が十分長いすざく衛星のデータを用いて、GRXE のスペクトルについて Uchiyama et al. (2013) の 2 温度プラズマモデルと点光源の重ね合わせモデルの両方で解析を行った。そして、各モデルの 2-10keV 帯域のフラックスから、真に拡がった熱的プラズマであった場合の全放射エネルギーと点光源の重ね合わせであった場合の候補天体の空間数密度を見積もった。点光源の重ね合わせモデルでは、元素組成比を候補天体の典型値 (e.g., Nobukawa et al. 2016) で固定したところ、S, Ar, Fe の輝線をうまく再現できなかった。また、全てが点光源であるとする、従来の見積もりよりも大きい空間数密度を要求する。講演では、解析結果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](#)

### Q33a 銀河系中心領域に発見された特異分子雲 “Tadpole” の空間速度構造

金子美由起, 岡 朋治, 横塚弘樹, 辻本志保, 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 岩田悠平 (茨城大学)

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト ( $\leq 5$  pc) かつ極端に広い速度幅 ( $\Delta V \geq 50$  km s<sup>-1</sup>) を有する「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が 100 個以上発見されている。そのうち幾つかについては、「見えない」点状重力源による重力散乱によって加速されたとする説が提唱され、中心核超巨大ブラックホールの形成・成長に寄与すると考えられている中質量ブラックホールとの関連から、近年益々注目を集めている。特異分子雲 Tadpole は、JCMT による CO  $J=3-2$  輝線サーベイデータ内で発見された、銀河系中心核 Sgr A\* から約 5 pc 離れた位置に孤立して存在する HVCC である (金子他、日本天文学会 2020 年秋季年会 Q02a)。この Tadpole は、位置-速度空間内において明瞭な速度勾配を呈し、各速度における輝線強度ピーク位置は天球面上で一つの円弧状に配列する。この円弧に沿って強度ピークの視線速度は単調に変化し、この挙動は点状重力源周りの Kepler 軌道によって説明できる可能性が示された (金子他、日本天文学会 2021 年春季年会 Q03a)。

今回我々は、Tadpole を構成する分子ガスの軌道要素を正確に求めるため、CO  $J=3-2$  輝線データキューブのリグリッド処理および重心計算に基づく輝線強度ピーク位置決定の精密化を行った。その結果、強度ピーク位置は著しく明瞭な楕円状に配列し、楕円に沿って視線速度が極めて連続的に変化する事が分かった。この強度ピークの 3 次元 (位置 2+速度 1) 空間内の軌跡に対して、点状重力源周りの Kepler 軌道をフィットした結果、中心質量および 8 つの軌道要素を精度良く決定することができた。中心質量は  $(1.00 \pm 0.04) \times 10^5 M_{\odot}$  であり、当該位置に対応天体が見られない事から、中心天体は中質量ブラックホールである可能性が強く示唆される。

[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](#)

### Q34a 爆発的星形成銀河 NGC253 中心部で発見された高速度コンパクト雲

西山苑実, 岡 朋治, 榎谷玲依, 横塚弘樹 (慶應義塾大学)

我々のグループでは、銀河系の中心領域に発見された空間的にコンパクト ( $d \lesssim 10$  pc) かつ極めて広い速度幅 ( $\Delta V \gtrsim 50$  km s<sup>-1</sup>) を有する特異分子雲—高速度コンパクト雲 (HVCC)—の研究を続けている。これまでに約 100 個の HVCC が銀河系中心領域において同定されているが、その殆どには明確な駆動源が検出されておらず、多くについては起源は未解明である。しかしながら、一部の HVCC については、多重超新星爆発および中質量ブラックホール等の局所的な爆発的星形成活動に関係する天体によって駆動された可能性が指摘されている。これらの HVCC は、極めて限定された数例を除けば、銀河系中心領域以外では発見されておらず、その存在普遍性が長らく問題とされていた。

今回我々は、近傍の爆発的星形成銀河 NGC253 について、ALMA アーカイブデータを用いた HVCC の系統的探査を行った。使用したデータは ALMA cycle3 で取得された NGC253 中心部の 350 GHz 帯データであり、空間分解能は約 2 pc であった。これは、現存の大型単一鏡による銀河系中心領域の観測に匹敵する分解能である。目視により、空間サイズ 10 pc 以下、速度幅 50 km s<sup>-1</sup> 以上、強度閾値 1 K 以上の条件で探査した結果、CO  $J=3-2$  輝線データ内に 96 個の HVCC を同定した。そのうち 38 個は、HCN  $J=4-3$  輝線でも検出された。NGC253 HVCC の分子ガス質量は  $10^{4-7} M_{\odot}$ 、ピリアル質量は  $10^{6-7} M_{\odot}$  の範囲に渡り、いずれも銀河系中心 HVCC に比べて約 2 桁高い値をとる。また、同定された HVCC のうちいくつかは、既知のスーパーバブルや proto-SSC 候補天体と同じ位置にあり、局所的な星形成活動との関連が示唆される。本講演では、NGC253 中心部で発見された HVCC の物理量・形態・対応天体の有無を報告し、銀河系中心 HVCC と対比しつつそれら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](#)

## Q35a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布 (2)

早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大学)

中間速度雲 (intermediate velocity cloud; 以下 IVC) は、銀河回転に従わない  $|V_{LSR}| \sim 30 - 100 \text{ km/s}$  のガス雲で、その多くは銀河面から  $\sim 1 \text{ kpc}$  離れたディスク-ハロー境界に存在し、視線速度が負=落下するガスという特徴を持っている。ディスクに由来する (吹き上げられたガスが冷えて落下する、いわゆる「噴水」モデル) か、あるいは低重元素環境からディスクへのガス供給か、IVC の起源を考える上で重元素量は重要な手がかりとなる。

我々のグループは、*Planck/IRAS* による 353GHz のダスト光学的厚み ( $\tau_{353}$ ) と 21cm 線積分強度 ( $W_{\text{HI}}$ ) を使ってダスト-ガス ( $\tau_{353}/W_{\text{HI}}$ ) 比=重元素量を推定する手法を確立してきた (例えば Fukui, Hayakawa et al. 2021, PASJ 73, S117)。その発展として、低銀緯領域などを除いた全天に対して、Geographically Weighted Regression (GWR, Brunson et al. 1996, doi:10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x; Fotheringham et al. 2002) (多重線形回帰に距離で減衰する移動加重関数を適用して局所的な回帰係数を得る手法) を適用し、中間速度ガス (と併せて低速度/高速度ガス) のダスト-ガス比の空間分布を明らかにした。プロトタイプを以前に報告しているが (早川、福井 2020 年秋季年会)、本講演ではその完成版を報告する。

見かけの大きさが全天の約 1 割を占める最も顕著な巨大 IVC 複合体 IV Arch/LLIVArch/IV Spur (距離 1 kpc を仮定すると  $8 \times 10^5 M_{\odot}$ ) に注目すると、その多くは近傍 (低速度) ガスと同程度のダスト-ガス比を示し、「噴水」モデル的なディスク由来のガスと考えられる。しかし、質量で 10% 弱はダスト-ガス比が近傍ガスの半分以下であり、外部からディスクへ供給されるガス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](#)

## Q36a 星形成史の解明に向けた磁場・宇宙線が駆動する銀河風についての理論研究 2

霜田治朗, 犬塚秀一郎 (名古屋大学)

銀河系における星形成率 (数  $M_{\text{sun}}/\text{yr}$ ) が単純に 1 Gyr 継続すると銀河系円盤内のガス ( $\sim 10^9 M_{\text{sun}}$ ) は枯渇してしまう。従って、銀河系の星形成史 ( $> 10 \text{ Gyr}$ ) を紐解くには、星の原料たるガスの銀河円盤への流入・流出量を解明しなければならない。特に太陽系の形成から現在までの銀河系の進化を理解するには、過去 4 Gyr に渡った進化を考えなければならない。この長い時間スケールでのガス流出の主要機構として、高温ガス・磁場・宇宙線が駆動する銀河風が候補に挙がる。一方で、OVI や OVII の吸収線の観測から、銀河の周囲  $\sim 100 \text{ kpc}$  (Virial 半径程度) の領域に  $> 10^{10} M_{\text{sun}}$  ものガスが、高温 ( $> 10^5 \text{ K}$ ) で存在していることが指摘されている (e.g. Tumlinson et al. 2011)。このガスは金属汚染された銀河間物質であり、 $\sim 0.1 \text{ Gyr}$  程度の冷却時間をもつと推定されている (e.g. Faerman et al. 2017)。磁場・宇宙線はこの莫大な質量のガスを、銀河が準定常的に存在できるように支えると期待されている。また銀河風が実際に駆動されれば、銀河から  $\sim 100 \text{ kpc}$  もの遠方まで効率的に金属を輸送できることも期待される。前回の年会で実際に銀河風が駆動されることを報告し、金属汚染されたガスの観測が説明されうことを示した。しかしながら、銀河風によって流出する質量は  $\sim 1 M_{\text{sun}}/\text{yr}$  となり、銀河円盤の星形成史を説明するには、汚染されたガスを再び銀河円盤に降着させなければならない。本講演では、100 kpc という遠方まで金属を輸送しながらも、再び銀河円盤に降着する銀河風の解について報告する。

[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](#)

## R01a ALMA [CII] 輝線・遠赤外線連続波観測と NRO 45m CO(5-4) 輝線観測で探る $z \approx 5$ の超臨界降着クエーサー J0131-0321 の母銀河の性質

山下祐依, 河野孝太郎, 江草美実, 廿日出文洋, 西村優里, 吉村勇紀 (東京大学), 宮本祐介 (国立天文台), 金子紘之 (国立天文台/上越教育大学), 谷口暁星 (名古屋大学)

近年のミリ波/サブミリ波干渉計を用いた観測によって、高赤方偏移クエーサーの多くがダストに覆われた激しい星生成活動を伴っていることがわかってきた。また、高赤方偏移クエーサーは近傍のクエーサーに比べて理論限界に近いような高い質量降着率をもつ傾向にある。これらの事実は、高赤方偏移クエーサーが大質量ブラックホール (SMBH) とその母銀河が共に急速に成長している、両者にとって極めて重要な進化段階にあることを示唆している。一方で、これまでの高赤方偏移クエーサーの観測は、radio-quiet なものにほとんど限られており、radio-mode feedback のクエーサー母銀河における役割の観測的理解はまだほとんど進んでいない。そこで本研究は、超臨界降着を示す SMBH (エディントン比  $\lambda_{\text{Edd}} = 3.1$ ) をもち、MgII 輝線の分光スペクトルから  $z = 5.18$  と推定されている radio-loud なクエーサー J0131-0321 に着目した。母銀河の性質を調査するため、我々は ALMA 望遠鏡 Band7 受信機を用いて取得された [CII] 158 $\mu\text{m}$  輝線・遠赤外線連続波 ( $\lambda_{\text{obs}} \sim 1\text{mm}$ ) 観測データの解析を行い、また野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて CO(5-4) 輝線の観測を行った。その結果、[CII] 輝線および CO(5-4) 輝線を S/N 比  $\sim 5-6\sigma$  で検出し母銀河の赤方偏移が  $z = 5.193$  であること、MgII 輝線は母銀河に対して約 500 km/s 青方偏移していたことがわかった。波長 1mm 帯の連続波放射から推測される赤外線光度 ( $L_{\text{IR}} \approx 2.0 \times 10^{12} L_{\odot}$ ) は、活発な星形成活動 ( $\text{SFR} \sim 240 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ ) を示唆しており、本クエーサーは強い電波活動を示しているが依然として母銀河も急成長中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](#)

## R02a スターバースト銀河 NGC 253 におけるラジカル分子の ALMA 観測

原田ななせ (国立天文台), Sergio Martín (Joint ALMA Observatory, European Southern Observatory), Jeff Mangum (National Radio Astronomy Observatory), ALCHEMI Collaboration

スターバースト銀河の中では特異的な分子の化学組成があることが期待される。例えば、大質量星からの紫外線や超新星爆発からの宇宙線は分子の解離やイオン化に寄与する。逆に言えば分子組成によりこうした星形成活動が星形成の材料である分子ガスの性質に与える影響を調べることができる。紫外線や宇宙線などの効果は特に不安定な分子、ラジカルに特に影響する。我々は最も典型的で近傍のスターバースト銀河の一つである NGC 253 で分子輝線の超広域ラインサーベイを Cycle 5 ALMA Large Program の一つとして行った。このサーベイの中でもここでは HCO<sup>+</sup> の異性体であるイオンラジカル HOC<sup>+</sup> に注目し、複数の遷移 ( $J = 1-0, 3-2, 4-3$ ) の解析を行った。結果として HOC<sup>+</sup>(1-0) の輝線強度の分布とスーパーバブルと呼ばれる超新星爆発か HII 領域でできたと考えられる分子の空洞になんらかの関連があることが示唆された。また、HCO<sup>+</sup>/HOC<sup>+</sup> 比の観測値 (10-100) は銀河系内の暗黒星雲よりも 1 桁以上低く、HOC<sup>+</sup> が紫外線か宇宙線によって増えていることがわかった。化学モデルとの比較によると、もし HOC<sup>+</sup> が光解離領域で作られている場合は  $1000 G_0$  以上の紫外線輻射強度を必要とすることがわかった。また、宇宙線の影響により HOC<sup>+</sup> が作られている場合は宇宙線イオン化率が  $\zeta \sim 10^{-14} \text{s}^{-1}$  程度と、銀河系内の渦状腕の分子雲より 3 桁程度高い値が示唆された。

[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](#)

## R03a NGC 253 中心部における回転/非回転ガスの分離

榎谷玲依 (慶應義塾大学), 小西諒太郎 (大阪府立大学), 福井康雄 (名古屋大学)

銀河のガスはおおむね銀河回転に沿った運動をするが、特に銀河中心には非回転ガスが多く存在することが知られている (e.g., Nakanishi & Sofue 2006)。この非回転ガスの起源としてこれまでに、バーポテンシャル、星団からのフィードバック、磁気不安定性などが提案されてきたが (e.g., Binney+91)、空間分解能の制限から銀河系以外では研究が行われていなかった。本研究では、最近傍のスターバースト銀河 NGC 253 に着目し、空間分解能約 3 pc の ALMA アーカイブの  $^{12}\text{CO}(J=3-2)$  データを用いることで個々の分子雲を分解し、その起源を解明することを目的としている。本講演では、上記データを用いて NGC 253 中心部における回転/非回転ガスの分離を行った結果を報告する。まず、銀河系の研究と比較するために、銀河中心を原点にポジションアングルを補正し、銀河のシステム速度を差し引いたキューブを作成した。このキューブ (Offset X, Offset Y,  $V_{\text{sub}}$  軸を持つ) に対して、Offset Y 最小値から 3 チャンネルずつ積分した Offset X- $V_{\text{sub}}$  マップを、Offset Y が最大になるまで順次作成していき、すべての位置速度図においてガスが密集するメインストリームを回転ガスと定義してフィッティングを行った。上記手法で分離された回転ガスは円盤状の広がった分布を、非回転ガスは銀河中心により集中したコンパクトな分布を示し、中心部の全分子ガスに対する非回転ガスの占める質量の割合は約 35% であった。回転ガスのモーメント 1 は、 $V_{\text{sub}} = -180$  から  $+180 \text{ km s}^{-1}$  にかけてきれいな円盤の回転運動を示す。モーメント 2 の頻度分布は、回転ガスが約  $25 \text{ km s}^{-1}$  にピークを持つのにたいして、非回転ガスは  $10 \text{ km s}^{-1}$  以下と  $65 \text{ km s}^{-1}$  に二つのピークを持ち速度分散が小さい領域と非常に大きい領域が混在することがわかった。さらに、非回転成分に見つかった二つのフィラメント構造と一つのシェル構造に着目し、その起源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](#)

## R04a NGC 253 中心部の特異構造 "western-superbubble" の観測的研究

小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (国立天文台/大阪府立大学), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 福井康雄 (名古屋大学), 町田真美 (国立天文台)

NGC 253 中心部には銀河回転に沿わない非回転ガスが質量にして全体の 15% 存在している (Krieger+19) が、そのほとんどが起源不明である。本講演では、榎谷他本年会にて得られた ALMA アーカイブの  $^{12}\text{CO}(3-2)$  データから回転ガスを差し引いたデータを用いて、western-superbubble と呼ばれるバブル構造 (Krieger+19, 以降 WSb) の空間・速度分布を調査した結果を報告する。このデータの  $300 - 450 \text{ km s}^{-1}$  の積分強度図から、WSb は銀河中心から約 200 pc 西に位置し、長さ 200 pc、幅 50 pc のループ状の構造であり、その両根元でガスが最も集中していることがわかった。WSb の南西側の根元は磁気浮上ループ候補天体 (N253-loop1; Konishi+21, submitted) の西側の根元と一致する。また、WSb の位置-速度図は両根元の速度幅が  $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$  以上と広いこと、それらの間を幅  $30 \text{ km s}^{-1}$  を繋ぐ直線的なブリッジガスが存在していることがわかった。一方で上述の速度分布は超新星爆発の膨張構造の楕円空洞と合わないため、WSb を超新星爆発で説明するのは難しい。WSb は直線的な速度勾配のブリッジと両根元での大速度分散を持つ磁気浮上ループ (e.g., loop 1; Fukui+06) の特徴とよく対応しているため、WSb は N253-loop1 と西側の根元を共有した磁気浮上ループの可能性がある。WSb の幅は 50 pc と loop 1 の幅  $\sim 30 \text{ pc}$  より約 2 倍広いが、これは磁気浮上ループが重なったためである (e.g., Machida+09)。また、WSb の形成に必要な磁場は  $0.4 \text{ mG}$  であるため、天の川銀河中心部の磁場 ( $\sim 1 \text{ mG}$ ) が NGC 253 中心部にもあれば WSb は磁気浮上説で説明可能である。

[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](#)

## R05a Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の $^{12}\text{CO}$ , $^{13}\text{CO}$ $J = 2 - 1$ 広域観測 (3) : 分子雲のサイズ-線幅関係

村岡和幸, 小西亜侑, 藤田真司, 北野尚弥, 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, 佐野栄俊, 河村晶子 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 西村淳 (東京大学), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学)

銀河進化の素過程である星形成を理解するためには、その母体である分子雲の基本的な情報 (サイズや線幅をはじめとする物理量や、ガス温度・密度などの物理状態) を詳しく知ることが欠かせない。特に、多様な性質を持つ分子雲を均質にサンプルする (すなわち、測定した物理量に高いダイナミックレンジを確保する) には、一つの銀河の全域にわたって高空間分解能かつ高感度の分子ガス観測を実施することが本質的に重要である。

我々は、最近傍の渦巻銀河である M33 ( $D \sim 840$  kpc) に対し、ALMA の Atacama Compact Array を用いた CO(2-1) 輝線の広域撮像観測を進めている。分子ガス円盤のほぼ全域をカバーした CO マップは、角度分解能が  $7''.3 \times 6''.5$  ( $29$  pc  $\times$   $26$  pc) で、速度分解能  $1$  km s $^{-1}$  での感度は  $\sim 40$  mK を達成した。この高品質な CO マップに対し、Dendrogram アルゴリズム (Rosolowsky et al. 2008, ApJ, 679, 1338) に基づいて CO 分布の階層構造を同定し、その最小構造を単一の分子雲として抽出した。このようにして定義された M33 の分子雲の総数は約 900 個にのぼる。スケージング則の一つである分子雲の半径  $R$  と速度分散  $\sigma_v$  の関係を調べると、ほとんどすべての分子雲について、天の川銀河で知られている関係式である  $\sigma_v = 0.72R^{0.5}$  よりも速度分散が小さい領域に分布することがわかった。これは大マゼラン雲など、他の局所銀河群銀河の分子雲で見られる傾向と合致する。

[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](#)

## R06a 棒渦巻銀河 Maffei 2 における $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ , $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ を用いた分子ガスの 2 成分解析

矢島義之 (北海道大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学)

単位分子ガス質量あたりの星形成率として定義される星形成効率は銀河の場所ごとに異なることが知られており、その要因は分子ガスの物理状態が異なるためであると報告されている。我々は棒渦巻銀河 Maffei 2 (距離 3.5 Mpc) において分子ガスの物理状態の指標となる  $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$  積分強度比 ( $I_{12}/I_{13}$ ) は銀河の領域間で有意な差があると報告した (2020 年秋季年会 R05a)。そこで我々はより詳細な分子ガスの状態を調べるため、検出された  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  のボクセルを同じ位置、速度で  $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  が検出されているかどうかに基づき 2 成分に分け、解析を行った。 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  は光学的に薄く分子ガス内部まで見通せるため、より分子雲に近い、構造を持った分子ガスをトレースしている。そのため、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  と併存する  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  は分子雲相のような状態である一方、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  のみが検出される分子ガスは希薄で広がった成分と考えられる。 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  と併存する  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  の積分強度 [ $I_{12(13\text{det})}$ ] の分布は  $I_{13}$  と非常に類似する一方、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  が検出されない  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  の積分強度 [ $I_{12(13\text{nondet})}$ ] は渦状腕等の銀河構造の外層部やバー、渦状腕間の領域に主に分布し、渦状腕の稜線に沿った範囲や銀河中心部では弱かった。分子雲相のガスの割合を示す  $I_{12(13\text{det})}/I_{12}$  は銀河全体で 58% であり、各銀河構造間の差異は  $I_{12}/I_{13}$  よりも顕著であった。対して、分子雲相である分子ガスの物理状態を表す  $I_{12(13\text{det})}/I_{13}$  は銀河内の差異が  $I_{12}/I_{13}$  より小さかった。以上より分子ガスの状態を決める重要な要素は  $I_{12(13\text{det})}/I_{12}$  が反映する、分子雲相のような分子ガスの割合 (希薄で広がった分子ガスの割合と同義) であり、星形成により寄与しやすい分子雲相のような分子ガスの物理状態の違いによる影響は小さいと示唆される。

[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](#)

## R07a NRO レガシープロジェクト COMING (30): 近傍銀河における分子ガスの速度分散と星形成効率の関係

清水一揮 (1), 徂徠和夫 (1, 2), 矢島義之 (1), Suphakorn Suphapolthaworn(1), 村岡和幸 (3), Dragan Salak(2), 他 COMING メンバー (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: 大阪府立大学)

近傍銀河における星形成効率はその領域ごとに異なることが知られており、その原因として分子ガスの密度などの物理状態の違いが関係している可能性が報告されている。Yajima et al. (2019) は、棒渦巻銀河 NGC 4303 の構造ごとの分子ガスの速度分散と星生成の関係性を調べることで、星生成効率と分子ガスの密度が、ガスの速度分散が  $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$  以下の範囲では正の相関を、 $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$  以上の範囲では負の相関を持つことを報告しており、棒状構造においては大域的なガスの運動が分子ガスの物理状態に影響を及ぼしていることを示した。

本研究では国立天文台野辺山宇宙電波観測所レガシープロジェクト COMING で観測された棒状構造を持たない渦巻銀河のうち、見かけの大きさが十分に大きく ( $R_{25} > 4'$ )、構造の同定が比較的容易な 8 つの渦巻銀河を対象とし  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線の速度分散と星生成効率の関係について Yajima et al. (2019) と同様の解析を行った。WISE  $3.4 \mu\text{m}$  のデータを参考に、COMING  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線の積分強度図の各画素を中心領域、渦状腕、渦状腕間 (また内側の円盤領域) に分類し、構造ごとにスペクトルをスタックした。これらのデータを星生成効率-分子ガスの速度分散の散布図上にプロットすると、速度分散が  $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$  以下の範囲では星生成効率は速度分散に対して正の相関を、それ以上の範囲では負の相関を示した。これは Yajima et al. (2019) と同様の結果であり、分子ガスの速度分散の上昇による星生成効率の低下は棒状構造に特有のものでなく、銀河内部の分子ガスに普遍的なものである可能性を示している。

[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](#)

## R08a 棒渦巻銀河 NGC1300 における巨大分子雲の $\text{CO}(2-1)/\text{CO}(1-0)$ 比

前田郁弥, 江草英実 (東京大学), 太田耕司, 浅田喜久 (京都大学), 藤本裕輔 (カーネギー研究所), 羽部朝男 (北海道大学)

輝線強度比  $R_{21} = \text{CO}(2-1)/\text{CO}(1-0)$  はガスの密度/温度によって変化するため、銀河内の分子ガスの物理状態を知る指標の一つである (e.g. Koda+12)。また、近年その観測効率の良さから、ALMA 望遠鏡では  $\text{CO}(2-1)$  による近傍銀河の巨大分子雲 (GMC) 観測が精力的に行われているが、GMC 質量の推定のためには  $\text{CO}(1-0)$  輝線強度、すなわち正確な  $R_{21}$  が必要である。しかし、現状では  $R_{21}$  は環境に寄らず一定と仮定とすることが多い。一定ではないという報告もある (e.g. Yajima+20, Brok+21) が、それらは kpc の分解能の観測に基づいたものであり、GMC スケールでの  $R_{21}$  はもちろん、その環境依存性は近傍銀河ではまだよく調べられていない。

そこで、我々は近傍の棒渦巻銀河 NGC1300 を対象に約 100 pc の分解能で  $R_{21}$  を測定した。この銀河は環境 (Bar, Arm, Bar-end) によって星形成活動が大きく異なる銀河である (Maeda+20)。ここで、 $\text{CO}(1-0)$  は過去に我々が ALMA (12-m+7-m) と野辺山 45-m で行った観測結果、 $\text{CO}(2-1)$  は ALMA のアーカイブデータ (TP+12-m+7-m) を利用した。測定の結果、Bar, Arm, Bar-end の  $R_{21}$  は温度ベースで  $0.57^{+0.11}_{-0.05}$ ,  $0.66^{+0.12}_{-0.08}$ ,  $0.73^{+0.07}_{-0.09}$  と環境によって有意な差が見られた。次に、 $\text{H}\alpha$  の有無で領域を区別したところ、 $\text{H}\alpha$  が見られる領域では  $0.70^{+0.08}_{-0.08}$ 、見られない領域では  $0.58^{+0.13}_{-0.07}$  と有意な差が見られた。これは、HII 領域によって分子ガスが加熱され励起されているためと考えられる。また、この結果から Bar の  $R_{21}$  が低いのは Arm や Bar-end と比べて  $\text{H}\alpha$  が見られない領域が多い (星形成活動が不活発である) ためと考えられる。講演では、さらに角分解能による違いや、 $\text{CO}(2-1)$  観測において  $R_{21}$  一定という仮定と実際の値とのずれが GMC の性質測定に及ぼす系統的な影響について議論する。

[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](#)

## R09a Molecular gas conditions in the central region of NGC 1365

Fumi Egusa (IoA, UT), Yulong Gao (USTC/Nanjing U.)

NGC 1365 is the nearby ( $D = 18.1$  Mpc) barred spiral galaxy with a Seyfert 1.8 nucleus in the southern hemisphere. We use CO(1–0) and CO(2–1) data from ALMA and VLT/MUSE data to explore the central region of this galaxy at a spatial resolution of  $\simeq 200$  pc.

In order to explore dynamical conditions, we apply the fitting tool 3DBarolo to the CO(1–0) data cube and model the galactic rotation. After subtracting the circular rotation component, we find two non-circular components: (1) an inflow due to the bar, and (2) an outflow motion almost parallel to the disk. The latter component is also found in the  $H\alpha$  data, and our interpretation is that molecular and ionized gas in the disk surface is swept out by the nuclear outflow that was already found in MUSE [O III] data. We estimate the velocity of the new outflow to be 50–100 km/s and the mass outflow rate to be 30–50  $M_{\odot}/\text{yr}$ , which is about an order of magnitude larger than SFR in the central region. These results are published in Gao et al. 2021, ApJ, 913, 139.

Meanwhile, we explore physical conditions based on the CO(2–1)/CO(1–0) ratio (R21). As we have already reported in 2019 Autumn Annual Meeting (R10b), the ratio shows a significant variation within this galaxy. With several modifications to the analysis since then, the median ratio is now 0.74. Using an extinction-corrected  $H\alpha$  as an indicator of SFR instead of GALEX NUV, we confirm the trends that we found: (1) where SFR is low the R21 scatter is large, and (2) where SFR is not low R21 positively correlates with SFR.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R10a GMCにおける星形成と銀河進化 : M51

山田麟<sup>1</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 佐野栄俊<sup>2</sup>, Alex Pettitt<sup>3</sup>, 柘植紀節<sup>4</sup>, 出町史夏<sup>1</sup>, 小西亜侑<sup>5</sup>, 藤田真司<sup>5</sup>, 村岡和幸<sup>5</sup>, 大西利和<sup>5</sup>, 徳田一起<sup>2,5</sup>, 小林将人<sup>6</sup>, 河村晶子<sup>2</sup>, 江草英実<sup>7</sup>, 幸田仁<sup>8</sup>, 福井康雄<sup>1</sup> (1: 名古屋大学, 2: 国立天文台, 3: 北海道大学, 4: Friedrich-Alexander University, 5: 大阪府立大学, 6: 東北大学, 7: 東京大学, 8: Stonybrook University)

銀河間相互作用は活発な星形成を誘発し、星間物質の進化を加速するため、その物理過程の解明が重要である。

M51 はりょうけん座に位置する近傍銀河である。南側にはグランドデザイン渦巻銀河 M51a が位置し、北側の棒状レンズ状銀河 M51b に潮汐腕を介して接続する。潮汐腕上には  $H\alpha$  Luminosity が  $10^{39}$  erg s<sup>-1</sup> を超える Giant HII 領域が付随する (Lee et al. 2011) ことから、銀河間相互作用による星形成の活発化が示唆される。

我々は M51 全域の HI (VLA THINGS; 分解能 7" ; Walter et al. 2008) および CO( $J = 1-0$ ) (CARMA-NRO; 分解能 3" ; Koda et al. 2011) のデータを用いて、銀河全面の空間・速度構造を詳細に解析した。HI のデータは、潮汐腕が銀河回転成分から典型的に 100 km s<sup>-1</sup>、エッジ部分では 200 km s<sup>-1</sup> ほど赤方偏移していることを示した。また、CO を用いた対数螺旋フィッティングは、潮汐腕のピッチ角が渦状腕から 32° ずれていることを示した。

次に、M51a を SPH 粒子、M51b を質点として相互作用と軌道運動を数値計算した。この数値計算は、相互作用は 240 Myr 前に始まり、現在 M51b が M51a の後方から接近中であることを示し、観測結果をよく再現した。以上から、「M51b が M51a の奥側から近接遭遇し、潮汐腕が形成、潮汐腕ではガスが激しく擾乱され、Giant HII 領域が形成された」というモデルを提案する。なお、本講演では M51 内の GMC と HII 領域及び若い星団 (Grasha et al. 2019) との付随関係から、GMC の Type 分類 (Fukui et al. 1999) の結果についても紹介する。

[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](#)

## R11a 銀河スケールの構造と分子雲スケールの物理的・化学的性質の関係(1): NGC 613 銀河中心領域

金子紘之(上越教育大学/国立天文台), 濤崎智佳(上越教育大学), 田中邦彦(慶應大学), 宮本祐介(国立天文台), 江草美美(東京大学)

近年の分子ガス研究から、kpc 以上のスケールの銀河環境・構造が、100pc を切るスケールの分子雲の物理的、化学的性質に影響を及ぼすことがわかってきた。この現象がどのようにして生じるのかを理解することは、銀河の進化を議論するうえでも重要である。しかし、その基礎物理情報である分子ガスの温度・密度は、速度方向に積分して導出したものが多く、3次元(空間2次元+速度1次元) 取り扱いはほとんどなされていない。

これを踏まえ、我々は、階層ベイズ推定を用いて non-local thermodynamic equilibrium の元で3次元の分子ガスの面密度・数密度・ガス温度などの物理状態の導出を試みた。この手法は、銀河系中心部で既に機能することが示されている(Tanaka et al. 2018) が、系外銀河においては初の試みである。テストケースとして、入力には、ALMA によって得られた AGN を持つ NGC 613 中心付近の9本の分子輝線データセットを用いた。データは最も分解能の悪いデータである角度分解能  $0.725''$  ( $\sim 61.5$  pc), 速度分解能  $10 \text{ km s}^{-1}$  に合わせた。この結果、平均的な温度・数密度は、star-forming ring で  $\sim 150 \text{ K}$ ,  $\sim 10^{3.7} \text{ cm}^{-3}$ , circumnuclear disc で  $\sim 200 \text{ K}$ ,  $\sim 10^{4.0} \text{ cm}^{-3}$  となり、過去の研究によって得られていた値と比べ若干低めではあるが同様の傾向を得た。これは先行研究では使われていない、比較的低温低密度トレーサーである CO 輝線を推定に用いた影響によると考えられる。本講演では、得られた物理量を用いて、star-forming ring での星形成活動との関係性などを議論する。

[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](#)

## R12b Galactic Center IRS21, Falling Hyper Compact HII Regions?

Masato Tsuboi (ISAS), Ryosuke Miyawaki (J. F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki(JSF), Takahiro Tsutsumi(NRAO), and Makoto Miyoshi (NAOJ)

Galactic Center IRS21 is a famous IR object located in the root of the Northern Arm of the Galactic Center Mini-spiral. IRS21 had been difficult to be spatially resolved in the pre-ALMA era in millimeter and sub-millimeter wavelengths because of the shortages of the sensitivity and angular resolution. In this presentation, we will present the first spatially resolved sub-millimeter images of the IRS21 at 230 and 340 GHz using ALMA (ALMA #2015.1.01080.S and ALMA #2017.1.00503.S). In the 340 GHz map with  $0.1''$  resolution, IRS21 is resolved clearly into three disk-like objects. On the other hand, these objects are resolved into several components along the limb of the disk in the 230 GHz with  $0.03''$  resolution. The  $\text{H}30\alpha$  recombination line of IRS21 is detected with the ALMA DDT observation (ALMA #2015.A.00021.S). This line has the velocity of  $V_{\text{LSR}} \sim -100 \text{ km s}^{-1}$  and the width of  $V_{\text{FWHM}} \sim 36 \text{ km}^{-1}$ . The radius and mean brightness temperature of IRS21 are derived to be  $r = 0.008 \text{ pc}$  and  $\sim 1 \text{ K}$ , respectively. The radius is much smaller than even for typical values of Galactic center hyper compact HII regions. The mean electron density is estimated to be  $\bar{n}_e \sim 6 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ . This is much denser than even for typical values of hyper compact HII regions ( $\bar{n}_e \sim 1 - 3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ). In addition, the  $\text{CH}_3\text{OH}$  emission line is also detected around IRS21. This shows that IRS21 is still embedded in the molecular gas. These peculiar properties suggest that IRS21 is a single or a group of very young hyper compact HII region(s), which is probably falling into the vicinity of Sgr A\*.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R13a 大マゼラン雲における銀河間潮汐相互作用による大質量星形成

栢植紀節<sup>1</sup>, 戸次賢治<sup>2</sup>, 佐野栄俊<sup>3</sup>, 立原研悟<sup>4</sup>, 徳田一起<sup>3,5</sup>, 井上剛志<sup>4</sup>, 河村晶子<sup>3</sup>, 大西利和<sup>5</sup>, 福井康雄<sup>3</sup>(1: Friedrich-Alexander Univ., 2:ICRAR/Western Australia Univ., 3:NAOJ, 4: 名古屋大学, 5: 大阪府立大学)

大質量星形成過程の理解は、銀河進化や宇宙の構造形成を紐解くうえで不可欠である。これまで我々は大マゼラン雲 (LMC) に着目し水素原子ガス (H I) の詳細解析を行ってきた。その結果, LMC の円盤 (D 成分) に、相対速度約  $-50 \text{ km s}^{-1}$  で小マゼラン雲から流入してきた低速度の H I ガス (L 成分) が衝突し、衝突圧縮領域で大質量星形成が引き起こされている様子が明らかになってきた (Fukui+17; Tsuge+19)。衝突圧縮領域は L 成分と D 成分の衝突時の運動量保存則によって  $20 \text{ km s}^{-1}$  程度減速された中間速度成分 (I 成分) として検出されると考えられる。しかし, I 成分は “超新星爆発によるガスの加速 (feedback)” でも形成可能である。そこで今回, 我々は新たに, i) 銀河間相互作用+feedback, ii) 銀河間相互作用なし (feedback のみ) の 2 種類の数値計算を行い, I 成分の形成起源を検証した。計算によるガスの分布と H I ガスの分布を速度  $10 \text{ km s}^{-1}$  毎に詳細に比較したところ, i) は非対称なガスの空間分布を示し, 各速度で H I の分布と非常に良い一致が見られた。一方, ii) はどの速度でも対称なガス分布を示した。また i) では, ii) と比較して, 約 2 倍の I 成分が形成されていた。また i) の I 成分, L 成分の質量は D 成分の 43%, 12% 程度であり, 観測値 45%, 20% と概ね一致している。これは, I 成分の少なくとも 50% 以上が銀河間相互作用起源の衝突によって形成されていることを示唆する。本講演ではこれらの結果をもとに LMC 全面の大質量星形成シナリオについて議論する。

[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](#)

## R14a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 用挟帯域フィルター NB515 で探るアンドロメダ銀河恒星ハローの構造

小上 樹 (法政大学), 田中幹人 (法政大学), 小宮山裕 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学)

銀河ハローには、銀河形成初期からの古い天体や矮小銀河の降着痕など銀河形成史に関する重要な天体が存在している。銀河系近傍にあるアンドロメダ銀河 (M31) のハローは、全体を恒星に分離して俯瞰的に観測できるため、銀河形成を理解するための格好のターゲットである。しかし M31 は低銀緯に位置するため、M31 の星を観測する際には前景にある銀河系の星が最大で 70% も紛れ込んでしまい、M31 ハローの詳細な構造を明らかにすることは困難であった。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam 用の挟帯域フィルター (NB515) を用いて観測されたデータより、M31 の恒星ストリームの空間分布を調べた。NB515 を用いることで前景にある銀河系主系列星を除去することができ、M31 ハローのストリームやシェル・クランプ構造が確認できる。本講演では、M31 で見つかっている 7 個の恒星ストリームの距離推定の結果を報告する。主要な結果は下記ようになる。

- (1) 東側に位置する 2 つのストリーム (Stream C & Stream D) ・東側にあるシェル構造 (Eastern Shelf) ・南側にあるクランプ構造 (G1 Clump) は M31 が位置する 785kpc よりも後方 ( $\sim 800\text{kpc}$ ) に分布していた。
- (2) Giant Stellar Stream (GSS) では、中心付近は M31 の手前 ( $\sim 770\text{kpc}$ ) にあり、中心から遠ざかるにつれて M31 の後方 ( $\sim 800\text{kpc}$ ) に分布をしていた。
- (3) 北西に位置する恒星ストリーム (NW Stream) ・西側にあるシェル構造 (Western Shelf) に関しては、M31 の手前 ( $\sim 770\text{kpc}$ ) に分布し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](#)

## R15a 超高速度星を用いた銀河系ダークマターハローの形状推定

服部公平 (統計数理研究所、国立天文台)

我々の住む銀河系の重力場を推定することは、銀河系の暗黒物質の密度分布を推定する上で重要である。本講演では、銀河系中心の超巨大ブラックホール (Sgr A\*) が Hills mechanism (3 体相互作用) によってハロー空間に弾き出す超高速度星に着目し、その軌道を解析することで銀河系の重力場を推定した結果を紹介する。この手法は Gnedin et al. (2005) が提唱した手法であり、超高速度星の軌道が radial orbit からどれくらい異なるのかを用いて銀河系の重力場の非球対称性を測定する。例えば、もし銀河系の重力場が完全に球対称であれば、超高速度星の軌道は銀河系の中心から伸びる直線状の軌道 (radial orbit) となる。一方、もし銀河系の重力場が oblate または prolate であれば、超高速度星の軌道は radial orbit からずれ、ゼロでない曲率をもつ。また、銀河系の重力場が 3 軸不等の回転楕円体として表現されるような場合も、回転楕円体の主軸の向きおよび速度ベクトルの向きに応じて、超高速度星は non-radial な軌道をもつ。現実的な銀河系の重力場においては、このずれは  $1^\circ$  程度であると予想されている (Gnedin et al. 2005)。したがってこのような解析は、Gaia 衛星のもたらす精密な位置天文データによって初めて可能となる。本講演では、Gaia Data Release 2 および Gaia Early Data Release 3 のデータを用いて実際にいくつかの超高速度星の運動を解析し、銀河系の重力場を推定した結果を紹介する。また、模擬データの解析によって評価された、本手法の信頼性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](#)

## R16a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (7)

安福千貴, 作田皓基, 三石郁之 (名古屋大学), Philip Kaaret (University of Iowa), Daniel LaRocca (Penn State University), Lorella Angelini (NASA/GSFC)

軟 X 線 ( $\lesssim 1$  keV) 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、銀河面特有の放射成分の存在が示唆された (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、銀河面 14 領域にてその全てから温度 1 keV 程度の未知の熱的超過成分が検出された (三石他 日本天文学会 2013 年秋季年会)。また超過成分に対する点源の寄与を調べるため、XMM-Newton 衛星による観測時間 60 ks 以上の 34 領域で、視野内の点源を足し合わせた分光解析が行われた。結果、全領域で温度  $0.9 \pm 0.1$  keV ( $1\sigma$ ) とほぼ一様な熱的超過成分が確認され、点源の寄与が明らかになった。さらに近赤外・可視光対応 X 線点源のみを抽出し、分光特性を調べたところ、点源足し合わせスペクトルに見られた超過成分の大半は恒星、そのほとんどが晩期型星であることが分かった (三石他 日本天文学会 2019 年秋季年会)。

今回我々は、軟 X 線全天観測超小型衛星 HaloSat (Kaaret et al., 2020) の銀河面観測データに着目し、これまでの点源解析とあわせ、超過成分の起源解明を目指した。HaloSat は望遠鏡や撮像検出器は搭載されていないものの、直径約  $10^\circ$  の広視野で 0.4–7.0 keV 帯域をカバーし、エネルギー分解能  $\sim 85$  eV@677 eV, grasp  $\sim 18$  cm<sup>2</sup> deg<sup>2</sup>@600 eV を有し、広がった軟 X 線源の観測に適している。まず我々は、シンプルなモデルとして近傍 LHB・CXB 成分に加え、吸収のない熱的プラズマモデルでフィッティングを行った。結果、温度 / flux@0.44–1.1 keV は 0.7–0.9 keV /  $0.8\text{--}2.5 \times 10^{-10}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 程度となり、温度については先行研究と一致した。本講演では視野内の銀河団・超新星残骸・連星等の明るい X 線源による影響を考慮した詳細な分光解析結果を報告する。

[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](#)

## R17a Instability analysis for spiral arms of local galaxies

井上 茂樹 (筑波大学 / 国立天文台), 高木 俊暢, 宮崎 敦 (日本宇宙フォーラム), Erin Mentuch Cooper (テキサス大学オースティン校), 江草 芙実 (東京大学), 矢島 秀伸 (筑波大学)

We investigate dynamical states of grand-design spiral arms in three local galaxies: M51, NGC3627 and NGC628. Based on linear perturbation analysis considering multiple components in the galaxies, we compute instability parameters of the spiral arms using their observational data and argue whether the arms will fragment by their self-gravity. Our analysis utilises observations of carbon monoxide (CO), 21-centimetre line emission and multi-band photometric images for molecular gas, atomic gas and stellar components in the arms, respectively. We find that the grand-design arms of these galaxies indicate marginally stable states, and hence they are not on the way to fragment. We consider this to be consistent with the commonness of spiral galaxies and the relative rarity of fragmented discs at low redshifts. In the analysis, molecular gas is the dominant component to determine the (in)stability of the arms, whereas atomic gas and stars are far less important. Therefore, the results of our analysis are sensitive to an assumed CO-to-H<sub>2</sub> conversion factor. If we assume a typical scatter of the measurements and admit nearly twice as large a conversion factor as our fiducial value, our analysis results in predicting the instability for the spiral arms. More sophisticated determination of the conversion factor is required for more accurate analysis for the (in)stability of spiral arms.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R18a 銀河渦状腕中の星のエピサイクル位相同期 IV

吉田雄城 (東京大学/国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台/東京大学)

銀河の渦状腕構造は、実体であるとするモデルと密度波であるとするモデルが長く議論されてきたが、近年の研究により、渦状腕は形成と破壊を繰り返す実体的な構造であることが示唆されてきた (Baba et al. 2013)。渦状腕の形成過程として、差動回転がコリオリ力を相殺することで、効率よく自己重力が働き、渦状腕が形成されるというスウィング増幅機構が考えられている (Toomre 1981)。スウィング増幅機構では、円盤中の密度揺らぎが非軸対称な構造を生むと考えられている (Julian & Toomre 1966)。この時、密度揺らぎによる重力散乱によって、星のエピサイクル運動の位相が同期することが示されている (Michikoshi & Kokubo 2016;2018)。この位相同期と渦状腕形成との関係に注目して、我々はまず質点の密度揺らぎによる重力散乱を受ける星の運動をシミュレーションすることで、恒星の軌道要素に対する位相同期の依存性を明らかにした (Yoshida & Kokubo 2021)。

上記の結果に基づいて、我々は密度揺らぎの大きさを考慮する必要があると考えた。そして、密度揺らぎを長楕円体とみなして、上記と同様に密度揺らぎの重力散乱を受ける星の運動のシミュレーションを行い、長楕円体の軸長やピッチ角などのパラメータに対する位相同期の依存性を調べた。前回の年会発表では、その依存性の結果を述べたが、長楕円体の体積に対して何の制限も課していなかったために、長楕円体の密度が変化してしまい、議論が複雑化してしまった。そこで我々は、長楕円体の密度を固定させ、長楕円体のパラメータに対する位相同期の依存性を調べた。また、重力散乱された星の分布について調べると、密度揺らぎ周辺には密度揺らぎと重なる、もしくは密度揺らぎを拡張するような直線状のトレーリング構造が見られた。本発表ではこれらの結果について述べる。

[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](#)

## R19a 介在銀河による偏波解消の数値シミュレーションII

大前陸人, 赤堀卓也, 町田真美 (国立天文台)

電波銀河やクェーサーの多くの視線上には暗い銀河が重なっていることが可視光の吸収線観測で知られており、これを介在銀河と呼ぶ。背景の天体が放つ偏波は、介在銀河のファラデー回転量度 (RM) によってファラデー回転し、またビーム内の RM 構造によって一部が解消されていることが報告されている (e.g., Bernet et al. 2008)。介在銀河の効果は、無バイアスに高赤方偏移の銀河まで調べることが原理的に可能であることから、電波シンクロトロン放射の観測では難しい銀河磁場の宇宙論的進化を探る将来の有力な方法として期待される。2021 年春季年会では介在銀河の大局磁場の効果を理解するために、簡単なリング磁場だけを持つ銀河のモデルを用いて、介在銀河の赤方偏移ごとに見込み角や通過領域などをパラメータとしたモンテカルロシミュレーションを行い、統計的性質を探った。

本研究では大局磁場として簡単なリング磁場だけでなく、Axi-Symmetric Spiral (ASS) 磁場や Bi-Symmetric Spiral (BSS) 磁場、トロイダル磁場を新たに導入した。ファラデートモグラフィーを用いるとリング磁場モデルと同様にファラデースペクトルがビーム内構造を示し、ピークを複数検出しうることを明らかにした。一般的に複数のピークがある場合は偏波源の数として考える場合がある。そこで介在銀河により偏波解消された偏波スペクトルと偏波源が複数ある場合の偏波スペクトルを比較し区別することができるか議論する。さらに、介在銀河越しに背景偏波源を観測した際に得られる偏波特性の統計的性質を調査するために、磁場モデルもパラメータとしたモンテカルロシミュレーションを行った。その結果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](#)

## R20a 3次元磁気流体数値実験に基づく渦状銀河電波放射領域の同定

田嶋裕太 (総研大), 大村匠 (東京大), 町田真美 (国立天文台)

天の川銀河を含む渦状銀河の磁場は、平均で数〜数十  $\mu$  ガウスの強さを持つと考えられている。これは銀河に付随するガスの熱エネルギーに匹敵するため、銀河進化や星形成などに影響する重要な物理量である。銀河磁場は電波連続波の偏波観測によって測定されるが、観測値は視線方向の積分値となっていることから、3次元的な空間分布を得るのは非常に難しい。そこで、我々は、渦状銀河の3次元磁気流体数値実験である町田ら (2013) の結果から、放射や偏波を直接計算し、実際の物理量分布と積分された観測値との比較を進めてきた。特に、銀河磁場観測で利用されるセンチ波帯の擬似観測で重要となる偏波解消の効果に着目し、その影響を調べる研究を進めている (田嶋ら 2020 年春季年会 R06b, 2020 年秋季年会 R13a, 2021 年春季年会 R12b)。

本研究では観測値がどのような磁場構造に起因するかを調べるために、銀河円盤の赤道面から  $\pm 100$  pc の範囲からの放射と  $\pm 10$  kpc の範囲の放射の比較を行った。その結果、センチ波の偏波観測では大きく異なる構造が見られた。これは、偏波観測で得られる磁場構造は円盤内部の磁場だけでなく、円盤表面付近の磁場構造まで観測結果に大きく寄与していることを示している。また、 $\pm 10$  kpc の範囲を積分した場合は渦状腕に沿った揃った偏波角が見られたが、 $\pm 100$  pc の範囲からの放射では偏波角に、ばらつきが見られ、赤外線での偏波観測に類似するような結果になった。

[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](#)

## R21a 空間解像度差のあるデータセットを用いた深層学習による銀河形状分類精度

本間裕也 (新潟大学), 飯田佑輔 (新潟大学), 大井渚 (東京理科大学)

深層学習での銀河形状分類にて、入力データと学習データの空間解像度の差が分類精度に与える影響を調べた。

近年、深層学習を用いた銀河形状分類は盛んに行われている。分類モデル学習の際、入力データと学習データ間で空間解像度を揃えるのが通例である。一方で、異なる空間解像度を持つデータを用いた際の分類精度への影響については、あまり研究が行われてきていない。したがって、本研究にて調査を行った。

本研究では、SDSS で観測され Galaxy Zoo により楕円か渦巻としてラベル付された各銀河 300 天体ずつを 64pix 四辺に切り出した画像と、それを平均画素法を用いて擬似的に解像度を 1/2, 1/4, 1/8 に落とした低解像度画像を作成し、その低解像度銀河データの分類モデル学習に、同低解像度データを用いた場合 (実験 1) と、相対的に高解像度である元画像データを用いた場合 (実験 2) で、分類精度の比較を行った。低解像度データをモデルに入力する場合は、最近傍補間を用いて拡大を行った。おおよそ validation loss がピークを迎えた 100epoch 目から、30epoch 分の平均を導出し正解率を見積もった。

実験 1 において縮小倍率 [1/2 : 1/4 : 1/8] = 正解率 [0.911±0.012 : 0.903±0.010 : 0.898±0.012]、実験 2 では [1/2 : 1/4 : 1/8] = [0.903±0.011 : 0.841±0.054 : 0.500±0.000] となった。実験 1 と実験 2 との間で、1/2 と 1/4 の縮小倍率では正解率に有意な差は見られなかった。対して 1/8 の縮小倍率において、実験 2 では正解率が大きく下がった。これはデータセット内の解像度の差により、学習した特徴量を分類時に活用できていないからだと考えられる。これら実験結果から、入力データと学習データにおける解像度の差が 1/4 までなら、拡大処理を行えば分類精度の確保が可能であると判明した。

[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](#)

## R22a Astrometry of the Nuclear Star Cluster using ALMA

Masato Tsuboi (ISAS), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Atsushi Miyazaki (JSF), Makoto Miyoshi (NAOJ) and Ryosuke Miyawaki (J. F. Oberlin Univ.)

Sgr A\* is the nucleus of the Milky Way or the nearest (barred) spiral galaxy. It harbors a supermassive black hole with  $4 \times 10^6 M_{\odot}$ , which is called the Galactic Center Black Hole (GCBH). The IR observations in the recent three decades have revealed that there are many massive stars (almost WR and O stars) around the GCBH. They are categorized into the Nuclear Star Cluster (NSC). Their positions and proper motions probably relate to their origins. These astrometric information have been measured mainly by IR observations including IR interferometers. However, ALMA may become a “game changer” in the field of such study. ALMA has a capability of determining the relative positions even for the member stars of the NSC with the accuracy fairly better than milli-arcsecond, while the field of view of ALMA is as wide as 26" (230GHz) and 60" (100GHz). In addition, ALMA can use Sgr A\* itself as the positional reference while the IR observations must rely on IRS7, which is the brightest IR star in the region, because Sgr A\* is too faint during quiescent phases. In this presentation, we will present the first result of the astrometry of the NSC using ALMA (ALMA #2017.1.00503.S). Moreover, we will compare it with the latest similar observation (ALMA #2018.1.01124.S) to derive the proper motions of the member stars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R23c 衝突系における制限付き 1PN 方程式の導出とその評価

立川崇之 (高知高専, 早大理工研)

2017 年の春季年会, 秋季年会において, ブラックホール (BH) のような強い重力を及ぼす天体の周囲への影響を考察するため, 一般相対性理論の効果を取り入れた  $N$  体シミュレーションのコード開発とその評価について報告を行った. 中心に中間質量ブラックホール (IMBH) のような質量の大きい天体を配置し, その周囲を恒星が取り囲むモデルを想定した. 中心の天体と周囲の恒星との相互作用は Post-Newtonian の最低次の効果 (1PN) で計算し, 恒星同士の相互作用は Newton 重力で取り扱った (cf. Will, Phys. Rev. D **89**, 044043). 以下, この系の運動方程式を「制限付き 1PN 方程式」ということにする.

以前のモデルは無衝突系を想定し, 加速度のみを計算していた (Tatekawa, Commun. Comput. Phys. **25** (2019) 68-83). 中心天体の強い重力により周囲の天体が密集することを考えると, 系の真価を考えるには衝突系として取り扱わなければならないと考えられる. そこで本研究では, 「制限付き 1PN 方程式」について加速度の時間微分の項を導出した. 以前に発表した論文 (Tatekawa 2019) の Appendix に掲載した式には誤りがあることが判明したため, 修正した式を報告する. また, この項を含めた系の進化を評価する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## S01a EHTC 公開データ再解析によって見えてきた M87 中心核

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(RIKEN), &amp; Junichiro Makino(Kobe Univ.)

2021 年春年会では the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC) による報告である「約  $40 \mu\text{as}$  サイズのリング」がブラックホール像ではなく、データ較正不足と EHT のデータサンプリングバイアスによる artifact であることを示した。今回、EHTC 公開データから我々が得た M87 中心核、およびジェットに関する構造について講演する。我々は既に 2020 年春・秋季年会で 230GHz における M87 の構造について報告している。現在、論文投稿改訂中だが、査読者の指摘によって、AIPS の task、DBCON の仕様に起因して、データ取り扱いに誤りがあったことが判明した。再度データ較正・撮像を行った結果、

(1) 中心核構造はリングではなく、コアとノット、さらに西側に第三成分がある。

(2) 有名な M87 ジェット構造は、230GHz 観測においても、存在する。ただし、その強度は中心核の強度に比べて桁違いに弱い、ことがわかった。

ただし、我々の像のクロージャ位相残差では EHTC が得たリング像の分散分布と区別がつかない。つまり我々の撮像結果も、EHTC のそれと同じく、誤りであることを意味する可能性はある。コア・ノット構造にはわずか 1 週間の内に時間変動が見られ、間隔が広がる。この点から中心部のコアと、そこから出現した初期ノットが捉えられていると考えるのが自然だろう。EHTC はその論文の中でクロージャ位相の時間変化の存在を述べているが、我々の検出したコア・ノット構造の時間変動によるものと思われる。(なお、「約  $40 \mu\text{as}$  サイズのリング」がデータ較正不足と EHT のデータサンプリングバイアスによる artifact であることも再度確認している。)

[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](#)

## S02a 厳密な時間依存型の多波長・一般相対論的輻射輸送計算で探るブラックホールシャドウおよびスペクトルの時間変動

川島 朋尚 (東大宇宙線研), 大須賀 健 (筑波大学), 高橋 博之 (駒澤大学)

Event Horizon Telescope (EHT) により、ブラックホール時空構造や地平面極近傍のプラズマ・ダイナミクスを直接探ることが可能な新時代が到来した。今後の観測では、ブラックホールシャドウの空間高分解能・時間変動データや電波からガンマ線までの同時観測スペクトルの時間変動データが得られていくことが期待される。ブラックホール時空構造やジェットの噴出機構、そしてこれらに関連づける降着流のダイナミクスの解明といった重要課題にアプローチするためには、将来観測に向けた新たな理論的・解析的手法の開発が喫緊の課題である。

そこで我々は、これまでに開発してきた多波長の一般相対論的輻射輸送コード RAIKOU(来光)を拡張し、因果律を考慮した時間依存型・多波長輻射輸送計算を実施した。降着流・ジェットの時間変動データは一般相対論的(輻射)磁気流体コード UWABAMI (Takahashi et al. 2016) による 3 次元シミュレーションの結果を用いた。ブラックホール・スピンパラメータは  $a_* = 0.9375$ 、すなわち高速自転ブラックホールを仮定した。

計算の結果、EHT で観測される 230 GHz ではおよそ数  $10\text{-}200r_g/c$  ( $r_g = GM/c^2$ : 重力半径、 $c$ : 光速、 $G$ : 重力定数、 $M$ : ブラックホール質量) の時間変動が、より低周波の 43GHz では  $200r_g/c$  程度の時間変動が現れることがわかった。これは高周波の方がシンクロトロン吸収係数が低く、ブラックホール近傍での速い時間変動が輻射に反映されるためである。本発表では、シンクロトロン放射で発生する電波放射からその逆コンプトン散乱で発生する X 線・ガンマ線放射までの多波長スペクトル形状の時間変動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](#)

### S03a Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign

D. Mazin, T. Kawashima (ICRR), K. Hada, Y. Cui (NAOJ), M. Kino (Kogakuin U.), M. Sasada (Hiroshima U.), on behalf of EHT MWL Science WG, K. Asano, S. Fukami, D. Hadasch, T. Inada, Y. Kobayashi, K. Noda, Y. Ohtani, T. Saito, S. Sakurai, M. Strzys, M. Takahashi, R. Takeishi, M. Teshima, I. Vovk (ICRR, U. Tokyo), H. Kubo, S. Nozaki, T. Oka (Kyoto U.), J. Kushida, K. Nishijima (Tokai U.), Y. Suda (Hiroshima U.) on behalf of the MAGIC Collaboration, EHT Collaboration, Fermi-LAT Collaboration, HESS Collaboration, VERITAS Collaboration, and EAVN Collaboration

In 2017, the Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration succeeded in capturing the first direct image of the center of the M87 galaxy. The EHTC also partnered with several international facilities in space and on the ground, to arrange an extensive, quasi-simultaneous multi-wavelength (MWL) campaign. In this presentation we will discuss the results and analysis of this campaign, as well as the MWL data. We captured M87 in a historically low state, and the core flux dominates over HST-1 at high energies, making it possible to combine core flux constraints with the more spatially precise very long baseline interferometry data. Through the modeling of the MWL data we can exclude that the simultaneous  $\gamma$ -ray emission is produced via inverse Compton emission in the same region producing the EHT mm-band emission, and further conclude that the  $\gamma$ -rays can only be produced in the inner jets (inward of HST-1) if there are strongly particle-dominated 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](#)

### S04a 巨大ブラックホール降着流の輻射磁気流体シミュレーション：熱不安定性による軟X線放射領域の振動

五十嵐太一 (千葉大学)、松元亮治 (千葉大学)、加藤成晃 (理化学研究所)、高橋博之 (駒澤大学)、松本洋介 (千葉大学)、大須賀健 (筑波大学)

マイクロクエーサー GRS 1915+105 は、エディントン光度に近いときに X 線光度が準周期的な振動を示すことが観測されている。理論的にこの振動は、超臨界降着流と標準円盤の間を遷移することにより起こるリミットサイクル振動に起因すると考えられている (e.g., Honnma et al. 1991, Watarai & Mineshige 2003)。このリミットサイクルは Ohsuga (2006) による軸対称 2 次元輻射流体シミュレーションによって再現されたが、 $\alpha$  粘性を仮定しない大局的な 3 次元輻射磁気流体計算によっては再現できていなかった。磁場を考慮した場合、冷却不安定性によって円盤が鉛直方向に収縮すると方位角方向の磁場が強まり、円盤の厚さや安定性に影響を及ぼす。このため、輻射圧優勢な状態とガス圧優勢な状態間のリミットサイクル以外に、輻射圧優勢な状態と磁気圧優勢な状態間で振動する可能性がある。

本研究では、巨大ブラックホール周囲の降着流に逆コンプトン散乱の効果を検討した輻射磁気流体シミュレーションを実施した。その結果、降着率がエディントン降着率程度の時、冷却不安定性によって鉛直収縮した円盤で振動が励起されることがわかった。またブラックホール近傍の光学的に薄い円盤と、遠方からの降着流によって密度が増加し、輻射圧優勢で幾何学的に厚くなったトーラスが共存することが示された。このトーラスで冷却不安定性が成長するとリミットサイクル振動が続く可能性がある。本講演では、熱不安定性によって駆動される円盤振動によって、AGN で観測される準周期的な光度変動を説明できるかどうか等について議論する。

[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](#)

## S05a モンテカルロX線放射輸送コード MONACO の光電離モデル

小高裕和, 谷本敦 (東京大), 都丸亮太 (Durham University), 水本岬希 (京都大)

最近の X 線観測装置の高性能化は、データ解析に用いる天体物理モデル自体の高精度化を同時に要求している。これまでの解析手法ではデータが持つ情報量を十分に活かすことが難しく、我々は理論と観測を結ぶ精密な放射モデルを構築する手法の開発に取り組んできた。特にブラックホールや中性子星などの降着天体において、放射輸送の正確な扱いが不可欠であり、光子追跡モンテカルロシミュレーションによる天体 X 線放射計算コード MONACO を開発した (Odaka et al. 2011)。これは数多くの応用を見据え、構成を一般化し、様々な天体の形状と物理過程に対応できるように設計されている。MONACO は、現状、降着系で特に重要となる 3 つの物理プロセスを扱うことができる: (1) 冷たい物質からの X 線反射、(2) 光電離プラズマ、(3) 逆コンプトン散乱。

MONACO の光電離モデルは活動銀河核や系内 X 線連星の降着円盤から吹くアウトフローの X 線スペクトルの解析に用いられてきた (e.g., Hagino et al. 2015; Tomaru et al. 2020; Mizumoto et al. 2021)。これまでは、観測的に重要な高い電離度の水素様・ヘリウム様イオンの吸収線や再結合輝線をモンテカルロ計算により再現することに重点を置き、天体の構造を反映した精度の良いスペクトルモデルを構築してきた。今回、我々は回折格子分光器や 2022 年度軌道投入予定の XRISM マイクロカロリメータによる高分解能分光観測に向けて、MONACO 光電離モデルのリチウム様イオン以降の L 殻イオンへの拡張を行った。これにより、リチウム様からネオン様イオンまでの吸収線と蛍光輝線が計算可能になる。本講演では、従来の光電離モデルの設計を概観し、L 殻イオンへの拡張方法とそ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](#)

## S06a モンテカルロX線放射輸送コード MONACO による AGN Warm Absorber のスペクトル解析

谷本敦, 小高裕和 (東京大学)

X 線天文衛星 Chandra, XMM-Newton, Suzaku 等の観測により、約 50% の AGN から電離物質による吸収線 (warm absorber) が検出されている (Laha et al. 2020)。しかしながら、warm absorber はこれほど普遍的に観測される現象にも関わらず、その正体は明らかになっていない。この正体を調べるには、warm absorber の密度構造や速度構造を理解する必要がある。

Warm absorber の密度や速度を調べるには、吸収線構造の観測が最適である。何故なら、吸収線の場合、その等価幅から密度、そのエネルギーのずれから速度を知ることが可能なためである。今回私達は、モンテカルロ X 線放射輸送コード MONACO (Odaka et al. 2011) を利用し、warm absorber を考慮した X 線スペクトル計算に取り組んだ。warm absorber の場合、H-like や He-like イオンのような K 殻イオンによる吸収線ではなく、Li-like や Be-like イオンのような L 殻イオンによる吸収線が主要である。しかしながら、従来の MONACO のデータベースでは、He-like イオンによる吸収線までしか計算が出来なかった。そこで私達は、Flexible Atomic Code (Gu 2008) を利用し、MONACO のデータベースを拡張した。その結果、Ne-like イオンによる吸収線まで計算が可能になった。まず私達は、光電離計算ソフト XSTAR と MONACO による X 線スペクトル計算結果を比較した。

次に私達は、NGC 3783 の X 線スペクトルを解析した。NGC 3783 は、最も明るいセイファート 1 型銀河の 1 つであり、その warm absorber が多く調べられている (e.g., Mao et al. 2019)。XMM-Newton/RGS により観測された、0.4–2.5 keV の X 線スペクトルを解析し、そのスペクトルを再現出来るのかを検証した。

[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](#)

## S07a Circinus 銀河中心核の空間的に広がった鉄輝線放射領域の詳細解析 (2)

澤上孝明、林田清、野田博文、朝倉一統、松本浩典 (大阪大)

活動銀河核 (AGN) の空間構造解明を目的としたサブミリ波、赤外線観測の結果、近傍 AGN の中心部数十 pc スケールの構造が明らかになりつつある。一方、X 線観測は、超巨大ブラックホール最近傍まで見通せる点で重要だが、AGN 中心部からの連続 X 線や、それが周囲で光電吸収されることで生じる蛍光 X 線放射は、空間分解できない点源からの放射とされてきた。しかし、 $0.5''$  の角度分解能をもつ *Chandra* 衛星により、Fe-K 輝線が数百 pc にわたって広がった領域から放射されていることが複数の近傍 AGN の観測でわかってきた。最近傍の 2 型 AGN である Circinus 銀河では、数十 pc に広がった Fe-K 等価幅が強い領域が報告されている (Kawamuro+2019)。

*Chandra* 衛星による Circinus 銀河の 20 ks 以上の観測は 2000 年、2004 年、2010 年に 2 回ずつ計 6 回行われている。2000 年+2004 年の 4 観測と、2010 年の 2 観測をそれぞれ解析すると、中心から  $\sim 80$  pc の領域で AGN 中心部からの漏れこみでは説明できない Fe-K 輝線が観測された。中心核周辺 20–80 pc の距離にある 9 つの半径  $1''$  の円領域から抽出したスペクトルを解析すると、北西、北東、南西  $\sim 50$  pc、南東  $\sim 80$  pc の距離にある 4 領域で Fe-K 強度が 2 倍以上の変動を示した。このうち南東の領域に関しては、Fe-K 強度が弱く、連続成分強度が 0.1 倍に減少しているため超光度 X 線源と考えられるが、その他の領域の Fe-K 強度と変動は説明できない。これらの領域からの放射を AGN 中心部からの X 線をソースとする蛍光 X 線だとすると、過去の AGN 活動の 10 年以下のスケールでの変動と、蛍光 X 線発生領域の分子雲の不均一な分布が必要である (2020 年春季年会 S04a)。本講演では、この研究をさらに発展させ、より短い時間スケールでの Fe-K $\alpha$  輝線強度の変動を探ることを目的とし、6 回の観測を個別に解析した結果を報告すると共に、Fe-K 輝線発生領域の不均一な分子雲密度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](#)

## S08a Fe-K $\alpha$ 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究 (2)

峯田大靖、野田博文 (阪大)、峰崎岳夫、鮫島寛明 (東大天文センター)、小久保充 (Princeton University/東北大)、深沢泰司 (廣大)、林田清、松本浩典 (阪大)

活動銀河核 (AGN) の X 線スペクトルに見られる細い中性 Fe-K $\alpha$  輝線は、中心核周辺から放射される連続 X 線を周辺物質が光電吸収することによって放射されると考えられており、広輝線領域 (BLR) やダストトラスなどの構造や物質分布を探る重要なプローブである。我々はこの輝線の放射源を探る手法として AGN の時間変動を利用した反響マッピング法に着目している。これまで NGC 3516 の「すぎく」と日本の地上望遠鏡による 2013 年 4 月–2014 年 4 月の観測 (Noda+2016) から Fe-K $\alpha$  強度変動が連続 X 線に対して  $13_{-6}^{+5}$  日遅延することを発見し、Fe-K $\alpha$  の主要な放射源がダスト昇華半径よりも内側に存在する可能性を見出した (2021 年春季年会 S05a)。

前回の結果は連続光と Fe-K $\alpha$  輝線の強度の相互相関解析 (e.g., Peterson+1998) から得たものであり、Fe-K $\alpha$  強度と連続 X 線強度間の遅延は輝線放射源の平均半径を表す。本研究ではこれをさらに発展させ、輝線放射源の分布について探るために、連続光強度から BH 周辺の物質分布を反映して Fe-K $\alpha$  強度を計算するための伝達関数 (TF) を考慮に含めた。最初のステップとして、最も単純化した top-hat 型の TF を仮定し、その幅などのパラメータを推定する JAVELIN 解析 (Zu+2011) を先述した NGC 3516 のデータに適用した。その結果、 $12_{-7}^{+10}$  日の遅延が得られ、この結果は相関解析で得られた遅延と誤差の範囲で無矛盾であることを確認した。さらに、BLR 内のクラウドの半径方向の分布 (e.g., Pancoast+2014) と各クラウドからの Fe-K $\alpha$  放射を考慮したより物理的なモデルを構築し、BLR の構造や分布に制限を加えられるか調査をしている。本発表ではこれらの解析の結果に加え、*XRISM* の精密 X 線分光でどの程度 TF が制限でき、BLR などの物質分布に迫れるかを議論する。

[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](#)

## S09a 銀河中心核領域での大質量ブラックホールの動き回りと、ブラックホール質量とバルジ質量の相関

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

銀河中心領域で大質量ブラックホールが動き回る機構を考察した。「ブラックホールは、中心核バルジ内の最近傍の分子雲から重力的牽引を受けて動くが、その動きに対して周辺の多数の星からの動的摩擦を受ける。」との仮説をたて、最近傍分子雲からの重力的牽引によって受けるエネルギー増加率と、周辺星からの動的摩擦によるエネルギー減少率のバランスを近似的に計算した。中心核バルジとしては、われわれの銀河で観測されているように、中心の nuclear stellar cluster を nuclear stellar disk が取り巻いている状況を仮定した。その結果、ブラックホール質量が比較的小さい時は、ブラックホールの動き回る距離は中心から数 10 pc にも達することがわかった。しかし、その到達距離は、ブラックホール質量の増加とともに減少し、その質量がある限界を越えると、エネルギーバランスの平衡解がなくなる。限界質量を越えると、動的摩擦が優勢となって、ブラックホールは加速度的に中心に落ち込むこととなる。このことから、次のようなブラックホール質量の進化が予想される。「ブラックホール質量が限界質量より小さい時は、ブラックホールは nuclear stellar disk 内を動き回り、そこの星間物質を降着して AGN 活動を起こし、その質量は次第に増加する。そして、その質量が限界質量を越えると、ブラックホールは nuclear stellar cluster 中心に落ち込み、その環境では星間物質降着は起こらなくなって、AGN 活動は終了し質量増加も終わる。」このシナリオによれば、銀河中心の大質量ブラックホール質量は、AGN 活動を経て、限界質量に収束することとなる。近似的に求めた限界質量は、銀河バルジ質量に比例することが示され、その比例定数も含め、観測されるブラックホール質量とバルジ質量の比例関係を説明する。

[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](#)

## S10b 一般相対論的重力場における 3次元粒子加速・ニュートリノ輻射輸送コード「 $\nu$ -RAIKOU」の開発

川島 朋尚, 浅野 勝晃 (東大宇宙線研)

高エネルギー・ニュートリノは粒子加速の現場を探る上で重要なメッセンジャーであり、IceCube による観測を中心に精力的な研究が行われている。ニュートリノ放射源には活動銀河中心核や銀河団、スターバースト銀河、低光度ガンマ線バースト等が挙げられるが特定に至っておらず、各放射源候補天体からのニュートリノの放射特性を従来の 1-zone 近似の枠を超えて定量的に明らかにすることが重要といえる。例えば活動銀河中心核はニュートリノ放射源の有力候補の一つであるが、降着流やジェットの状態、そこに励起される乱流、ブラックホール・スピンの大きさ、これらが粒子加速と付随するニュートリノ放射光度に与える影響はわかっていない。

我々はこの問題に取り組むために、一般相対論的輻射輸送コード RAIKOU を拡張し、一般相対論的重力場における 3次元の粒子加速・ニュートリノ輻射輸送コード「 $\nu$ -RAIKOU (ニュー・来光)」を開発している。このコードではまず一般相対論的磁気流体場中に非熱的陽子を注入し、その運動をラグランジュ粒子として追跡しながら、乱流加速や圧縮加熱、断熱冷却等を解く。そしてこの非熱的陽子と背景磁気流体場の熱的陽子との  $pp$  衝突や背景輻射場との  $p\gamma$  衝突を計算し、 $\pi^0$  崩壊による TeV ガンマ線や  $\pi^\pm$  崩壊によるニュートリノ放射を求める。磁気流体場については、一般相対論的(輻射)磁気流体シミュレーションコード UWABAMI (Takahashi et al. 2016) を用いて得たスナップショット・データを、因果律を考慮して非熱的陽子の伝搬に伴い更新・時間発展させていく。

本発表では、降着流における非熱的粒子の伝搬と  $pp$  衝突、そしてこれに伴うニュートリノ光度の計算について、コード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](#)

## S11b 狭輝線セイファート 1 型銀河の X 線スペクトルの理論的解釈

川中宣太, 嶺重慎 (京都大学)

狭輝線セイファート 1 型銀河は一般的なセイファート銀河に比べ、中心の超大質量ブラックホールの質量が小さく、質量降着率がエディントン降着率に近いくらい大きいとされている。セイファート銀河やその他の活動銀河核の X 線スペクトルは、降着円盤からの熱的光子とその降着円盤を取り囲む高温プラズマ (コロナ) 中の電子によって逆コンプトン散乱された光子との 2 成分で説明されることが多いが、狭輝線セイファート 1 型銀河に関しては、このコロナが比較的低温 ( $\sim 10 - 20$  keV) になることが知られており、その理由は明らかになっていない。我々はエディントンを超えるような質量降着率をもつ降着円盤では、輻射圧に駆動された円盤風がコロナの役割を果たすというアイデアに基づき、超高光度 X 線源などのスペクトルを再現できるようなコロナモデルを構築した (Kawanaka & Mineshige 2021)。本講演ではこのモデルを狭輝線セイファート I 型銀河に適用した結果を紹介する。モデルに基づいて計算した X 線スペクトルは、観測とよく一致しており、また X 線光度とスペクトルのべきの間などに成り立っている相関関係は我々のモデルでも再現される。このことから狭輝線セイファート 1 型銀河のスペクトルおよびその多様性は我々のモデルで説明可能であることが分かる。

[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](#)

## S12b Growing supermassive black holes through secular processes: a machine learning approach to identifying substructures in quasar host galaxies with HSC

Chris Nagele (UTokyo), Tilman Hartwig (UTokyo), John Silverman (UTokyo)

Background: How do quasars form and which galaxies are most nurturing for quasars? It has been demonstrated that galaxy mergers play a role but these can not explain the full observed population of quasars. Data-driven techniques and machine learning are a promising avenue towards understanding the morphological differences between galaxies with and without quasars.

Methods: We use Hyper Suprime-Cam data to produce residual images showing the substructure of the galaxies. We use a variational auto-encoder (VAE) with these residual images as our training data. The VAE performs dimensionality reduction by encoding the 40 by 40 pixel images in a 5 dimensional latent space. This lower dimensional latent space can be analyzed to see if the galaxies with quasars are distributed differently from the galaxies without quasars.

Results: We find that the VAE can distinguish between galaxies with quasars and galaxies without quasars. It finds that galaxies with quasars tend to be located in a region of the latent space associated with extended structure, spiral arms, and bars. Galaxies without quasars tend to be located in regions of the latent space that show more compact and symmetrical structure.

Discussion: Our results show that the difference between galaxies with quasars and without occurs on an observable scale and that spiral arms and bars may be correlated with the existence of quasars.

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

### S13c せいめい望遠鏡 KOOLS-IFU 可視面分光観測で探る NGC 7674 の AGN 活動

鳥羽儀樹 (京都大学/奈良女子大学)、守屋碧 (奈良女子大学)、太田直美 (奈良女子大学)、山田智史 (京都大学)、城知磨 (愛媛大学)、松林和也 (京都大学)、橋口葵 (奈良女子大学)、柴田実桜 (奈良女子大学)、美里らな (奈良女子大学)、上田佳宏 (京都大学)

太陽の  $10^{11-12}$  倍以上の赤外線光度を持つ超/高光度赤外線銀河 (U/LIRGs) は宇宙における最も明るい銀河種族の 1 つである。銀河合体に起因する銀河および超巨大ブラックホールの成長シナリオによれば、U/LIRGs は両者の成長率が銀河合体の過程で徐々に最大を迎えるような興味深いフェーズに対応していると考えられ、「銀河と超巨大ブラックホールの共進化」の解明における最重要サンプルと言える。しかし、従来の観測では活動銀河核 (AGN) 活動や母銀河の星生成 (SF) 活動の指標となる各種物理量の評価は多くの場合系全体のみ留まっておき、特に銀河合体ステージごとの U/LIRGs の AGN/SF 活動の空間分解情報は系統的には調べられていないのが現状である。そこで我々は、2019-2020 年にかけて The Great Observatories All-sky LIRG Survey (GOALS) プロジェクトで観測された赤外線選択 complete sample に対し、京都大学「せいめい」望遠鏡に搭載された KOOLS-IFU を用いた系統的な可視面分光追観測を実施した。本講演では、観測天体の中でも特に激しい AGN 活動が期待される近傍セイファート 2 型銀河 NGC 7674 ( $z \sim 0.028$ ) の観測・解析結果を報告する。可視輝線比診断からは NGC 7674 は AGN 活動が支配的であることが空間的に確認できたと共に、AGN 活動の良い指標と考えられている [O III] $\lambda 5007$  輝線放射を半径 1 kpc にわたる範囲で検出できた。また、AGN 電離ガスアウトフローの指標として、[O III] の広輝線成分の blue shift 量および速度分散を採用しその空間相関を調べた結果、銀河中心部ほど激しい電離ガスアウトフローの兆候が見られた。本講演では、その解釈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](#)

### S14b すばる HSC サーベイで探る遠方電波銀河の性質

山本 優太, 長尾 透, 久保 真理子, 内山 久和 (愛媛大学), 山下 拓時 (国立天文台), 登口 暁 (東北大学), 鳥羽 儀樹 (京都大学), 播金 優一, 小野 宜昭 (東京大学)

銀河中心部の超巨大ブラックホールの質量と母銀河のバルジ質量との間に正の相関が見られることから、銀河と超巨大ブラックホールは共に進化した (共進化) と考えられている。特に、活動銀河核の中で電波を強く放射している電波銀河は共進化の最終段階であると考えられており、遠方電波銀河探査によって宇宙初期の共進化シナリオの理解が深まると期待されている。しかし、これまでの研究では赤方偏移  $z = 4$  を超す遠方電波銀河は十数天体しか見つかっていない。そこで我々は、大規模遠方電波銀河サンプルの構築と性質の解明を目的とした探査を行った。

本研究では、すばる望遠鏡の可視光広視野カメラ HSC による超広域深撮像観測プログラムである HSC-SSP サーベイのデータから得られた  $g$ -dropout ライマンブレイク銀河サンプルを使用した。この遠方銀河サンプルと VLA の FIRST 電波広域サーベイのデータとをマッチングさせることで、赤方偏移 4 程度の遠方電波銀河を探査した。その結果、遠方電波銀河の候補が 145 天体得られた。ここで、電波銀河について成り立つことが知られている  $K-z$  関係に注目し、これを近赤外線広域サーベイ VIKING のデータを用いて調査した。VIKING- $K_s$  バンドの  $5\sigma$  限界等級は 21.2 AB Mag であるため、 $z = 4$  の電波銀河全てを個々に検出することは難しい。そこで、VIKING 画像のスタッキング解析を行い、我々の遠方電波銀河サンプルの典型的な  $K$  バンド等級を算出することで  $K-z$  関係を調査した。その結果、典型的な  $K$  バンド等級は 21.6 AB Mag と求めることができ、過去の研究で得られている  $K-z$  関係に合致する結果となり、より信頼のできる遠方電波銀河候補であることが分かった。

[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](#)

## S15a Study on the outflow impact of SMBH seed at high-z through radiation hydrodynamic (RHD) simulations

Ignacio Botella Lasaga (Kyoto University), Takaaki Kitaki, Shin Mineshige (Kyoto University), Ken Ohsuga (University of Tsukuba), Tomohisa Kawashima (University of Tokyo)

We study the structure and impact of the outflow generated by supermassive black holes (SMBH) seeds. Our objective is to simulate the evolution of the gas outflow ejected from the vicinity of a SMBH seed (with mass of  $10^3 M_\odot$ ) to the edge of cosmological simulations ( $r \sim 0.1\text{pc}$ ) with a new method. In this new method, we perform consecutive RHD simulations that allow us to cover a larger range. These computational boxes are set to be  $2r_{\text{Sch}} - 3 \times 10^3 r_{\text{Sch}}$  and  $2.5 \times 10^3 r_{\text{Sch}} - 10^6 r_{\text{Sch}}$  (where  $r_{\text{Sch}}$  is the Schwarzschild radius). Each simulation is consistently connected through boundary conditions. Thus, our simulations reveal the global outflow structure with  $< 10^{-4}\text{pc}$ . The outflows that we find as a result of our simulations, are characterized by a high temperature ( $\sim 10^{6-8}\text{K}$ ), moderately high speed ( $\sim 0.1 - 0.7c$ , with  $c$  being the light speed), low density ( $\sim 10^{-16} - 10^{-18}\text{g/cm}^3$ ) gas, with a total escape ( $v_r \geq v_{\text{esc}}$ ) mass outflow rate is  $\sim 200 L_{\text{Edd}}/c^2$  where  $L_{\text{Edd}}$  is the Eddington luminosity. This outflow rate is about 20% of the total mass inflow rate. By extrapolating the outflow structure ( $1 \times 10^{-4}\text{pc}$ ) up to the scales of  $0.1\text{pc}$ , we find that, the impact of our AGN model would have is, momentum (energy) flux  $\sim 1 - 10 L_{\text{Edd}}/c$  ( $\sim 0.1 - 1 L_{\text{Edd}}$ ).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## S16a ダスト昇華半径周辺における輻射駆動アウトフロー

工藤祐己, 和田桂一 (鹿児島大), 川勝望, 野村真理子 (呉高専)

活動銀河中心核 (AGN) の活動性を理解するためには、幾何学的・光学的に厚いトーラス ( $\sim 1\text{pc}$ ) から超巨大質量ブラックホール (SMBH) 周りの降着円盤 (AD;  $< 10^{-4}\text{pc}$ ) へのガス供給とそのフィードバックを明らかにすることが重要である。近年、反響マッピング法によって広輝線領域 (BLR) である電離ガス塊とトーラス間にあるダスト (Koshida et al. 2014) や赤外干渉計によって極域に広がる subpc-scale のダストアウトフロー (e.g., GRAVITY Collaboration 2021) の存在が明らかになっている。しかし、これまでの輻射駆動アウトフローの数値シミュレーションでは、(SMBH からの距離として) ダストが破壊される領域 (ダスト昇華半径;  $> 10^{-2}\text{pc}$ ) より外側のガスダイナミクスに注目した計算が行われてきた (e.g., Wada 2012, 2015; Namekata et al. 2016)。sub-pc のダストアウトフローや BLR は、AD の光源による輻射フィードバックの影響を強く受けると考えられることから、ダスト昇華半径周辺のダスト・ガスのダイナミクスを調べることは必要不可欠である。

そこで本研究では、軸対称 2 次元シミュレーションによってダスト昇華半径を空間分解した輻射駆動アウトフローの Eddington 光度比依存性を調べた。その結果、ダストを伴って形成されるアウトフローは  $0.1\text{pc}$  以下から噴出する非定常な構造を持ち、赤道面からのなす角として噴出角度の範囲内でダスト昇華半径は急激に小さくなる。Eddington 光度比が大きいほどアウトフローの噴出角度は小さくなり噴出速度は大きくなる。また、ダストアウトフローの最大視線速度が  $10^3\text{km/s}$  程度であることから BLR により中心に近い構造であることが示唆される。アウトフローは降着円盤から sub-pc スケールまで一連して噴出するガスであり、BLR と極域ダストを説明できる。本講演では X 線による AGN 遮蔽率との関係も議論する。

[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](#)

## S17a NGC1068 の ALMA 高空間分解能観測: 逆回転する高密度分子トーラスの発見

今西昌俊、Dieu D. Nguyen、井口聖、泉拓磨、中西康一郎 (国立天文台)、和田桂一 (鹿児島大学)、萩原喜昭 (東洋大学)、川勝望 (呉高専)、大西響子 (Chalmers 工科大学)

銀河の中心部が非常に明るく輝く活動銀河中心核 (AGN) は、エネルギー源である質量降着する超巨大ブラックホールの周囲に、ドーナツ状に軸対称に分布する塵や高密度分子ガス、いわゆるトーラスが存在すれば、多くの観測事実を自然に説明できるとされている (AGN の統一モデル)。しかし、トーラスはサイズの小さいため (約 10pc 以下; 15Mpc の距離で 0.15 秒角以下)、観測的理解は容易ではない。我々は、上記の統一モデルが提唱される基になった近傍の AGN NGC 1068 ( $z=0.0037$ 、距離 14 Mpc) を、ALMA を用いて HCN  $J=3-2$ 、 $\text{HCO}^+$   $J=3-2$  輝線で、0.04 秒角  $\times$  0.07 秒角という高空間分解能で観測し、トーラスに期待されるほぼ東西方向に分布/回転する高密度分子ガス放射を見つけた (2018 年秋季年会 S21a)。しかしながら、回転速度は理論的に予想されているケプラー運動よりもはるかに遅く、また、以前のセンチ波の VLBI 観測で見つかった、より内側の  $\text{H}_2\text{O}$  メーザー放射と逆回転しているという、非常に奇妙で複雑な観測結果が得られていた。

今回、0.02 秒角というより高い空間分解能で新たな観測を行い、2pc より内側の高密度分子ガスは  $\text{H}_2\text{O}$  メーザーと同じ回転方向であり、外側の分子ガスはそれらと逆回転していることを見出した。我々は、トーラスの西側にかつて向こう側からコンパクトなガス雲が落ち込み、トーラス外側の分子ガスを逆回転させたと考えている。このような逆回転トーラスでは角運動量が大きく抜き取られ、より内側の超巨大ブラックホールに物質が効率的に落ち込み、NGC 1068 が明るい AGN として観測されている事実を自然に説明できる。従来の古典的なトーラスの描像とは大きく異なり、非常に過渡的な状態を見ているのかも知れない (Imanishi et al. 2020 ApJ 902 99)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## S18a 電波銀河 NGC 1052 における SO 吸収線による分子ガストーラスの温度計測

亀野 誠二 (国立天文台 / Joint ALMA Observatory), 澤田-佐藤 聡子 (山口大学)

NGC 1052 は 17.5 Mpc の距離にある双極ジェットを持つ電波銀河で、中心核 (AGN) の連続波を背景とした自由-自由吸収や分子ガス吸収線が見られることから、AGN を取巻くトーラスの構造や、トーラス構成物質であるプラズマ・分子ガス・ダストの物理状態を調べるのに適した天体である。ALMA Band 6 (230 GHz 帯), 7 (350 GHz 帯) の観測により、CND (Circum-Nuclear Disk) からの CO 輝線とトーラスから HCN,  $\text{HCO}^+$  に加えて硫黄化合物  $\text{H}_2\text{S}$ , CS, SO,  $\text{SO}_2$  を含む多種の分子吸収線が検出された。CO 輝線と HCN,  $\text{HCO}^+$  吸収線の強度および速度分布を用いて、半径 153 pc, 質量  $5.3 \times 10^5 M_\odot$  の CND の内側に、半径 2.4 pc, 質量  $1.3 \times 10^7 M_\odot$  のトーラスが存在することが分かった (Kameno+2020)。さらに ALMA で Band 3 (90 GHz 帯), 4 (130 GHz 帯) の追観測を行い、SO 吸収線を  $J_N = 2_2 - 1_1$  から  $16_{16} - 16_{15}$  まで計 14 種の遷移で計測した。これらが Boltzmann 分布に従うと仮定すると、温度は 200 – 800 K (最尤値 522 K) と示される。ダスト表面で生成した硫黄化合物が蒸発できる温度であり、 $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}_2$  吸収線の検出 (ダストからの蒸発温度 130 K 以上), 振動励起状態  $v_2 = 1$  の HCN および  $\text{HCO}^+$  吸収線の検出 (230 K 以上のダストからの 14  $\mu\text{m}$  赤外線放射による励起), および  $\text{H}_2\text{O}$  メーザーの検出 (励起温度 400 K 以上) と合致する。AGN からの放射加熱で維持できる温度は 110 K 程度なので、この温度は放射以外の熱源を示唆する。

[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](#)

## S19a WISE データの変動カラーによる AGN ダスト減光量の新推定法の提案

水越翔一郎, 峰崎岳夫, 恒次翔一, 吉田篤洋, 鮫島寛明 (東京大学), 小久保充 (プリンストン大学, 東北大学), 野田博文 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) のダストトラスは、中心ブラックホールへの降着物質の供給源と考えられる。また、この降着物質の大半が降着円盤からの輻射圧により母銀河へフィードバックされるため、ダストトラスが AGN と銀河の共進化を解明する鍵になると期待される。特にダストはガスよりはるかに強い輻射圧を受けるため、ダストトラスを直接観測可能な obscured AGN におけるダスト調査がとりわけ重要となる。ダスト分布調査では減光量  $A_V$  の測定が有用であるが、可視光観測による  $A_V$  測定は遮蔽効果が大きい obscured AGN では困難であった。

我々はより透過力の高い近赤外 flux 変動を利用した、変動放射成分のカラー (変動カラー) の赤化量測定による、obscured AGN にも適用可能な新しい  $A_V$  推定手法を着想した。変動カラー利用ではデータ中の AGN 成分分離が不要なため、精度向上と容易な大規模サンプル展開が見込める。我々は *Swift*/BAT 観測による  $z < 0.05$  の AGN サンプル約 370 天体に対し、赤外線衛星 WISE の W1/W2 バンドにおける各天体の変動カラーを測定し、X 線観測による中性水素ガス柱密度 ( $N_H$ ) と比較した。結果、サンプルの約 70% で変動カラーが精度良く求まり、また  $N_H$  の増加に伴って、特に obscured AGN でダスト減光に起因するであろう変動カラーの赤化が見られた。また、unobscured AGN の変動カラーは黒体放射温度約 1070K を示すほぼ一定値となった。これはダストトラス内縁部の高温ダストが起源と考えられる。一方、X 線観測による  $N_H$  は  $A_V$  とガス-ダスト比の銀河系標準値から推定した  $N_H$  より大きく、各天体で 2 桁程度バラついた。この結果は先行研究 (e.g. Maiolino et al. 2001, Burtscher et al. 2016) と無矛盾である。以上より、本手法は obscured AGN における大規模なダスト量調査に有用である。

[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](#)

## S20a NGC 1275 核周円盤における超新星爆発起源の電波放射の発見

永井 洋 (国立天文台)、川勝 望 (呉高専)

ペルセウス銀河団の中心銀河 NGC 1275 で、半径 100 pc 程度の分子ガス核周円盤をアルマの観測により発見したことを報告した (2019 年秋季年会、Nagai et al. 2019)。今回、330 MHz 帯の VLBI 観測によって、この核周円盤に付随する、超新星爆発起源の電波放射を発見したことを報告する。

AGN で生み出される莫大なエネルギーは、巨大質量ブラックホール (SMBH) に物質が落ちる際に解放される重力エネルギーが起源だ。しかし、SMBH 周辺にある物質は角運動量を持つため、何らかの方法で角運動量を弱めないと、物質を降着させることができない。最近のアルマの観測から、多くの天体で、AGN 周辺の 10-100 pc 程度の領域に、分子ガス核周円盤 (CND) が発見されている。しかし、この領域の分子ガスの角運動量を弱める働きについては、これまで、観測的にはよくわかっていなかった。我々は、米国電波天文台の VLBA のデータを用いて、アルマが発見した NGC 1275 の核周円盤領域を調べたところ、超新星爆発の痕跡であるシンクロトロン放射を発見した。電波放射強度から期待される星形成率は  $3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  と見積もられる。

超新星爆発は、CND 中に乱流を引き起こし、角運動量を弱める働きが理論的に期待される (超新星爆発乱流モデル: e.g., Kawakatu & Wada 2008; Kawakatu et al. 2020)。アルマで観測された分子ガスの運動の乱れ (速度分散) は、モデルから期待される乱流速度 ( $\sim 25 \text{ km s}^{-1}$ ) と矛盾しないことがわかった。また、X 線で観測されている FeK $\alpha$  輝線の特徴から、CND は幾何学的に薄いことが期待されていたが、こちらもモデルの予測と一致する。本講演では、以上の観測結果と、理論モデルとの比較、そこから期待される核周領域の多相ガス構造について紹介する。本講演の内容は、ApJ letter にて出版準備中である (Nagai & Kawakatu 2021, ApJL 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](#)

## S21a 将来計画におけるX線超高速アウトフローのモニター観測の必要性と可能性

水本岬希 (京都大学)

いくつかの活動銀河核では、光速の10%から30%程度の速度で青方偏移した鉄イオンの吸収線がおおよそ7-10 keVの範囲に見られることがある。これは「超高速アウトフロー (UltraFast Outflow; UFO)」と呼ばれる。UFOは莫大な運動エネルギーを有しており、母銀河の物理的・化学的進化に影響を与えると考えられている。

さて、UFOが母銀河スケールに到達するには1 kpc/0.3c ~ 10<sup>4</sup>年以上の時間が必要となる。一方であるUFOガス雲がX線で観測される領域を抜けるのにかかる時間は1年程度であり、実際にUFOの構造は数ヶ月から数年で大きく変動することが観測的に知られている。そのため、ある瞬間のX線観測の結果だけを見て運動エネルギーを求めてしまうと、それが偶然UFOが強い/弱い時だった場合に母銀河に与える影響の評価に大きく影響してしまう。加えて、現在UFOを検出可能な装置は10 keVまでしか感度が無いものが大半であり、連続成分の決定に不定性が生じ吸収線の深さが正確に求まらない可能性がある。これらの問題を解決するための方法として、~5-20 keVに感度を持つ小型あるいは中型衛星を用いてUFOを有する天体をサーベイする、あるいは一つの天体を数ヶ月おきにモニター観測することが考えられる。本講演では現在のUFO観測が抱える問題点を洗い出し、将来計画におけるUFO観測の戦略について議論する。

[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](#)

## S22a AGN アウトフローに対するMCMC法を用いた吸収線モデルフィットの適用

石田大<sup>1,2</sup>、三澤透<sup>1</sup>、伊東大輔<sup>1,3</sup>、Jane Charlton<sup>4</sup>、Michael Eracleous<sup>4</sup> (1. 信州大学、2. セイコーエプソン、3. 盛岡市こども科学館、4. ペンシルベニア州立大学)

クェーサー視線上に存在するあらゆるガスは、そのスペクトル上に吸収線として検出される。1990年代以降、8-10m級望遠鏡による高分散分光観測が可能になると、吸収線モデルフィットに基づく物理パラメータの評価が行われるようになった。銀河、銀河間物質による吸収線の場合は3つのパラメータ (赤方偏移 $z$ 、柱密度 $N$ 、ドップラーパラメータ $b$ )が必要だが、クェーサー近傍のアウトフローガスによる吸収線の場合は、さらに4つ目のパラメータ (視線方向に対する光源の掩蔽率 $C_f$ )が必要となる。このうち $C_f$ については、その定義から $0 \leq C_f \leq 1$ の範囲に限定されるべきであるが、従来の $\chi^2$ フィットでは許容範囲を限定することができず、推定値が非物理的な値 ( $C_f < 0$  または  $1 < C_f$ ) を示す場合があった。また複数個の吸収線がスペクトル上でブレンドしている場合には、考慮すべき掩蔽率の重複が正しく扱われてこなかった。そこで我々は上記の問題を解決すべく、ベイズ推定とMCMC法に基づく吸収線フィットコードを開発した。疑似スペクトルによる再現性確認テストを行ったところ、スペクトルのS/N比が十分であればブレンドしている吸収線であっても全てのパラメータを誤差の範囲で正確に推定できることを確認した。また、実際の観測データへの適用可能性を検証すべく、過去に4回、高分散分光観測が行われているクェーサーUM675 ( $z_{\text{em}} \sim 2.147$ )のスペクトルに対するフィッティングを試みた。その結果、吸収線をもたらすアウトフローは3成分で構成され、その一部は視線方向に対して明らかな重複を示すことを初めて確認した。また、吸収線の時間変動傾向から変動メカニズムを探るとともに、アウトフローの幾何構造に対する制限を置くことに成功した。今後は背景光源の非一様性についても検討する予定である。

[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](#)

## S23a 遠赤外線で明るい活動銀河核における狭輝線ガスの運動速度

繁澤政樹, 松浦周二, 齋藤駿也 (関西学院大学), 鳥羽儀樹 (京都大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei ; AGN) における可視光狭輝線スペクトルは、スターバースト銀河と比べて速度幅が大きく、blue shift 成分が顕著であることが多い。そのような輝線輪郭は AGN からのアウトフローのうち、red shift 成分がダストにより遮蔽されることで説明される。ガスが豊富で星形成が活発な銀河の AGN では強いアウトフローと大きなダスト遮蔽が期待されることや、星形成率とアウトフローの関係が明確になっていないことから、星形成率指標である遠赤外線光度が大きい AGN について狭輝線の速度構造を調べた。

本研究では、Herschel ATLAS サーベイで観測された遠赤外線銀河サンプルに対する GAMA サーベイによる可視光分光データを解析した。特に、AGN の狭輝線領域を特徴づける  $[\text{OIII}]\lambda 5007\text{\AA}$  線が強く、広い線幅を持つ銀河を選定し、輝線スペクトルを銀河の赤方偏移に対応する狭輝線成分とそれに対し blue shift した広輝線成分の 2 つの速度成分に分解した。狭輝線成分の速度分散は比較サンプルとしてのスターバースト銀河のそれと同様に  $200\text{ km s}^{-1}$  程度であり、星質量、星形成率と比較したところスターバースト銀河と同様に正の相関を示した。また、広輝線成分の速度分散は  $500\text{-}2000\text{ km s}^{-1}$  の範囲にあり青方偏移と正の相関を示したが、星質量、星形成率と比較したところ、スターバースト銀河や狭輝線成分とは異なり、有意な相関は見られなかった。本講演では、これらの結果を示すとともに、速度成分の成因について議論する。

[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](#)

## S24a Kiloparsec-scale Neutral Atomic Carbon Outflow in the Nearby Type-2 Seyfert Galaxy NGC 1068: An Evidence for the Negative AGN Feedback

Toshiki Saito (Nihon U./NAOJ), Shuro Takano (Nihon U.), Nanase Harada (NAOJ), Taku Nakajima (Nagoya U.), and the NGC 1068 [CI] team

Active galactic nucleus (AGN) feedback is a key mechanism that possibly regulates star formation within galaxies. Studying the physical properties of the outflowing gas is thus crucial for understanding the co-evolution of galaxies and supermassive black holes. Here we report 55 pc resolution ALMA [CI]  $^3P_1\text{-}^3P_0$  observations toward the circumnuclear disk and the starburst ring of the nearby type 2 Seyfert galaxy NGC 1068, supplemented with 55 pc resolution CO(1-0) observations. We find that [CI] within the central kpc is as comparably bright as CO. This is unusual given the typical extragalactic [CI]/CO intensity ratio of 0.15 (e.g., Jiao et al. 2019, ApJ, 880, 133). Highest ratio gas ( $>1$ ) exhibits a kpc-scale elongated structure crossing the AGN position, which well coincides with the known biconical ionized gas outflow. An excellent agreement between the kinematics of the highest ratio gas and a truncated, decelerating bicone model yields that the [CI] enhancement is predominantly driven by the interplay between the gas disk and the highly inclined ionized gas outflow. This well fits to the “CO dissociation” scenario rather than the “in-situ [CI] formation” one, which prefers a perfect [CI] bicone geometry. We suggest that the high [CI]/CO ratio gas in NGC 1068 directly traces ISM in the disk that are currently dissociated by ionized gas outflow, i.e., the “negative” effect of the AGN feedback.

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

## S25a M87 宇宙ジェット加速領域：GRMHD アウトフローにおける角運動量輸送

高橋真聡 (愛知教育大学)、紀基樹 (工学院大学/国立天文台)、Pu, Hung-Yi (NTNU)

ブラックホール磁気圏からの遷磁気音速アウトフローについて考察する。ブラックホール磁気圏は、プラズマに比して磁場が卓越した領域であり、ブラックホール周りの降着ガス円盤の回転軸付近に形成されると考えられる。この領域にはブラックホールから遠方につながる大局的磁力線が分布すると考えられる。ブラックホールや降着ガス円盤の自転に伴い、磁気圏のプラズマと磁力線も回転することになり、プラズマには強力な遠心力が作用する。ブラックホールの重力が卓越する内側領域ではインフローが生じるが、その外側には遠心力が卓越したアウトフロー領域が発生する。インフローとアウトフローの境目には何らかのプラズマ供給が必要となる。

本講演では、定常軸対称の一般相対論的理想磁気流体 (GRMHD) 流を適用することで、磁気圏アウトフロー領域におけるプラズマ加速について議論する。初期に低速であったプラズマ流は、アルフェン面、速い磁気音速面を通過して加速されるが、その加速効率について物理パラメーター (磁力線角速度、磁気流体流の角運動量・エネルギー、ブラックホール スピン) 依存性を調べた。2019 年秋季年会 (紀, 高橋他) では、特殊相対論に基づく磁気圏アウトフローモデルを M87 ジェットの観測データ (Park et al. 2019) に適用し光円柱の位置を推定したが、一般相対論に基づく扱いに拡張することで、アウトフロー領域とプラズマ供給源さらにはインフロー領域との接続も検討可能となった。自転するブラックホールからは Blandford-Znajek (BZ) 過程によるエネルギー供給 (BZ パワー) が期待できるが、M87 宇宙ジェットのパワーとして、BZ パワーで説明可能であることも確認できた。M87 宇宙ジェットの物理パラメーターが推定できたことで、(アウトフローの内側境界条件である) プラズマ源に課せられる制限、さらにブラックホール・インフローのパラメータ値についての制限について考察する。

[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](#)S26a *NuSTAR* による Centaurus A の硬 X 線時間変動の調査

岩田季也, 谷本敦, 小高裕和, 馬場彩 (東京大学), 井上芳幸 (大阪大学)

活動銀河核の一種である電波銀河は、ジェットと降着円盤の両方を有し、X 線帯域の放射にはこれらが寄与していると考えられている。そのため、電波銀河の X 線放射の起源特定は、降着円盤とジェットの関係に迫る上で重要な課題となっているが、どちらの放射が主要な成分なのか明らかになっていない。

Centaurus A (Cen A) は、我々から最も近い電波銀河 (3.8 Mpc : Harris et al. 2010) であるため、X 線の放射起源を調べるのに適した天体である。Cen A は、H.E.S.S. や *Fermi* 衛星によってジェット起源と考えられるガンマ線が観測されている (Aharonian et al. 2009; Abdo et al. 2010)。Cen A からの X 線の主要な成分として、ガンマ線につながるジェット起源と、降着流起源が検討されているが (e.g., Markowitz et al. 2007, Beckmann et al. 2011) 決着はついていない。また、Fürst et al. (2016) は *XMM-Newton* と硬 X 線帯域で高い感度を持つ *NuSTAR* の同時観測のデータを解析し、硬 X 線の起源として、移流優勢降着流かジェットであると議論している。

本研究では、*NuSTAR* による 3 期間 (2013, 15, 18 年) の 3–78 keV の観測データ (観測時間はそれぞれ 51 ks, 23 ks, 17 ks) を解析した。ガンマ線観測から、ジェット成分の変動タイムスケールは降着流成分より長く、両者の分離には多期間の観測データの解析が有効だと考えられる (Fukazawa et al. 2011)。解析の結果、Cen A の硬 X 線 (10–50 keV) フラックスは、 $1.1 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (2013),  $2.4 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (2015),  $5.2 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (2018) であった。明るい期間 (2013) と暗い期間 (2015) で明るさが 4 倍程度変化しているにも関わらず、どの期間のスペクトルも、吸収のかかった光子指数  $\sim 1.8$  の単一の冪乗則 (水素柱密度  $\sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ ) と鉄輝線 (6.4 keV) で説明できた。本講演では、パラメータの変動を含む解析結果の詳細を報告し、硬 X 線の放射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](#)

## S27a 電波銀河 M87 の X 線短時間変動

今澤遼, 深澤泰司, 高橋弘充 (広島大学)

M87 は、近傍 ( $z = 0.0043$ ) に存在する電波銀河で、電波、可視光と X 線で中心核 (core) の他に、ノット (HST-1) といった細かい構造が明らかとなっている。この天体は TeV ガンマ線で検出された 6 つの電波銀河の 1 つで、AGN の粒子加速位置と加速された粒子のエネルギーを推定するために最適な天体である。我々はすざく衛星、Chandra 衛星、NuSTAR 衛星により取得された X 線データの中から長時間観測されたもの ( $>10$  ksec) を選び、1 日以内の光度変動を調査した。

その結果、2006 年のすざくと 2017 年の Chandra の観測から、それぞれ約 0.3 日と 0.5 日のタイムスケールの短時間変動が確認された。これらの変動時間からは、中心ブラックホールの Schwartzchild 半径と同程度のコンパクトな放射領域サイズが算出される。2006 年は HST-1 が X 線で大フレア期を起こしていることがわかっており、本研究で示した短時間変動は HST-1 によるものと推測される。また、その時の photon index は  $2.38^{+0.07}_{-0.04}$  と Soft なものであったことから、シンクロトロン放射が見えているものと考えた。変動時間が冷却時間によるものと仮定すると、その磁場は  $1.94\delta^{1/3}$  mG ( $\delta$  は doppler 因子) と算出された。また、この磁場からは電子のエネルギー  $1.1 \times 10^8 \gamma^{-1} \delta^{-1/3}$  TeV ( $\gamma$  は電子の Lorentz 因子) と、TeV 以上の粒子加速が起こっていることが示唆された。以上の結果から、HST-1 で TeV 以上の粒子加速が生じていたことがわかり、これは先行研究で示された HST-1 での TeV ガンマ線放射を支持するものである。一方で 2017 年は core が明るく、photon index は  $1.96^{+0.05}_{-0.04}$  であったことから、逆コンプトン散乱による Hard な成分が見えていた可能性があると考えられる。

[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](#)

## S28a GeV-loud 電波銀河の高エネルギー放射の系統的性質と種族研究

深澤泰司, 眞武寛人 (広島大学)

電波銀河は、ブレイザーについてガンマ線 AGN として確立している。フェルミ衛星は、4FGL-DR2 カタログにおいて 61 個の電波銀河 (misaligned AGN) の検出を報告している。これらについて、我々は 2020 年度の秋季年会においてガンマ線光度関数およびガンマ線背景放射への寄与について報告した。その際に、X 線のデータとともに、個々の電波銀河の X 線から GeV ガンマ線の SED を 4 次関数で表現して寄与を計算した。そこで今回は、この 4 次関数で表した SED について系統的な調査でわかったことを報告する。SED の関数形からピーク周波数とピーク光度が計算できるため、初めて電波銀河について、ジェットの高エネルギー放射成分の系統的調査が可能となった。その中で、ブレイザーシーケンスと同じ傾向、つまり、光度が高いものほどピーク周波数が低い、という傾向が得られた。次に、電波や X 線で検出されている電波銀河のうち、フェルミで検出された電波銀河の割合を調べたところ、10% しかフェルミで検出されていないことがわかった。本講演では、GeV-loud 電波銀河の高エネルギー放射の SED について、および、全体の電波銀河の中での GeV-loud 電波銀河の位置づけについて、FR-I/II も含めたいろいろな観点から議論する。

[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](#)

## S29a 電波銀河のガンマ線 loudness と X 線スペクトルの関係

梶木大修, 深澤泰司 (広島大学)

電波銀河は活動銀河核の 1 つであり、電波観測で中心コアとジェットが観測される天体である。Fermi 衛星では約 60 天体の電波銀河が検出されているが、それらは電波銀河の 10% 程度である。なぜガンマ線で明るいものと暗いものがあるのかを知るために X 線での性質に違いがないかを調べた。

本研究では、B.Mingo et al. (2014) で示されたサンプルについて *XMM-Newton* 衛星と *Chandra* 衛星のデータを用いて、X 線スペクトル解析を行った。このサンプルは、南半球で観測された、2.7 GHz で 2Jy 以上のフラックスを持ち、急なスペクトルを持つ電波銀河で、45 天体示されている。加えて、Fermi で検出された電波銀河についても、X 線データのある 43 個を解析した。

スペクトル解析の結果から、スペクトルのべき指数の分布を調べたが、Fermi で検出された天体 (以下、Fermi 天体) とされていない天体の間で違いはなかった。一方、吸収の水素柱密度  $N_H$  の分布を調べた結果、Fermi 天体でないものの約半数は、 $N_H$  が  $10^{22} \text{cm}^{-2}$  を超えたが、Fermi 天体のほとんどが超えなかったため、Fermi 天体には吸収がほとんどないことがわかった。そのことから、Fermi 天体はジェットを小さめの角度から見ていると考えられ、放射はトーラスに遮られないため吸収がないと理解できる。一方、一般の電波銀河はジェットを大きめの角度から見ているため、ジェットのビーミング効果が弱く、ガンマ線の放射が弱くて見えにくいと考えられ、また、放射がトーラスの影響を受けやすく多くが吸収を示すと理解できる。

本講演ではこれらの結果と議論について報告する。

[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](#)

## S30a 低光度 AGN の TeV ガンマ線光度とその時間変動

木坂将大 (広島大学), Amir Levinson (Tel Aviv Univ.), 当真賢二 (東北大学)

ブラックホールからの相対論的ジェットの形成機構を明らかにする上で、ジェット領域への粒子の供給機構の特定が必須である。有力な供給機構として、特に低光度 AGN に対してはブラックホールが周囲に形成する磁気圏で加速されたプラズマから放射される高エネルギー光子を起点とした粒子生成による供給が挙げられる。

電波銀河の光度変動の激しい TeV ガンマ線は、磁気圏での粒子加速に伴うガンマ線が起源の可能性がある。観測データからより多くの情報を得るためには、フレアの特徴とカスケードの物理条件の関係を理論的に理解しておく必要がある。そこで、プラズマ粒子シミュレーションを用いてプラズマのダイナミクスと光度変動の関係の調査を行った。

これまでの研究で、パラメータを固定すると粒子加速や粒子生成の振る舞いは準周期的になることがわかっている。そこで、フレアを擬似的に再現するため、ある準周期的な状態からモデルパラメータを変化させてその振る舞いを調べた。その結果、ほとんどの場合はすぐに新しいパラメータに対する準周期的状態に移ることがわかった。ただし、磁気圏を流れる電流密度の絶対値が増加する場合、一時的に急激な増光を示すことを発見した。これは電流を満たすだけのプラズマが一時的に不足することから、すぐには電場が遮蔽できなくなることが要因と考えられる。得られた上記の結果は、観測データから磁気圏近傍においてどのような変化が起きたかを探る上で重要な手がかりとなりうる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### S31a かなた望遠鏡によるブレーザー BL Lacertae の増光期における可視・近赤外線同時連続偏光撮像観測

間夏子, 今澤遼, 笹田真人, 深沢泰司 (広島大学)

宇宙には多数の銀河が存在しており、その中でも銀河の中心部の狭い領域から母銀河に匹敵するエネルギー放射をしているものを AGN と呼ぶ。AGN には相対論的速度で噴出するプラズマ流 (ジェット) を持つ天体がある。ブレーザーは AGN の中でも光度変動が激しく、シンクロトン放射によって偏光した電磁波が観測される。ジェットは未だその発生機構や加速機構は明らかになっていない。シンクロトン放射は磁場に垂直な方向に偏光するため、偏光観測することでジェット内部の磁場構造を理解することができる。ブレーザーの偏光方位角の回転の有無や偏光とライトカーブの相関を調べることで、ジェットの内部構造や放射機構についての情報が得られる。2020 年 8 月にブレーザー天体である BL Lacertae の可視光とガンマ線領域の歴史的増光 (ATel #13930, #13933)、MAGIC による超高エネルギーガンマ線検出 (ATel #13963) が報告された。本研究では、BL Lacertae の可視光及びガンマ線での増光を受けて広島大学かなた望遠鏡による可視近赤外線のモニター観測を行った。その中で、短時間の偏光度の増減、回転の有無とライトカーブとの相関の有無を調べるため 3 時間程度の連続偏光撮像観測も行った。連続偏光撮像観測より可視光バンド、近赤外バンドともに偏光度の増減と等級の変化が確認された。1 日 1 点の観測からは、可視光バンド、近赤外バンドで静穏期と比べ明るくなっていることが確認された。また、V バンドと K<sub>s</sub> バンドのスペクトルの差がハードになるほど V バンドのフラックスが明るくなる bluer-when-brighter を示唆する結果も得られた。さらに偏光度、偏光方位角の変動も確認された。本講演では BL Lacertae の増光期における可視光近赤外帯域での挙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](#)

### S32a ジェット・ガス雲衝突で誘発された 3C84 電波ローブの FR II/FR I 遷移

紀基樹 (工学院大学/国立天文台), 新沼浩太郎 (山口大学), 川勝望 (呉高専), 永井洋 (国立天文台), G. Giovannini, M. Orienti (INAF), 輪島清昭 (KASI), F. D'Ammando (INAF), 秦和弘 (国立天文台), M. Giroletti (INAF), M. Gurwell (CfA)

活動銀河中心核から噴出するジェットがせき止められて形成される電波ローブは、2 つのタイプに分類される。ファナロフ・ライリー I (FR I) 型は電波ローブの外側の縁が暗くなるのに対し、ファナロフ・ライリー II (FR II) 型は電波ローブの外側の縁が明るく、その縁に明るいホットスポットがあることが知られている。この 2 つのタイプに分類される理由として、これまで 2 つのシナリオが提案されてきた。ひとつはジェットを駆動する中心エンジンの特性に起因するというもので、もうひとつは銀河スケールの外周物質による減速の特性に起因するというものだ。

本講演では、7mm 帯における東アジア VLBI 観測網による観測と VLBA アーカイブデータに基づく 3C84 のコンパクト (およそ 1 パーセクサイズ) 電波ローブのモニター観測結果について報告する。驚くべきことに、2016 年後半から 2017 年末にかけてのおよそ 1 年間、ホットスポットの伝播が止まるフラストレーション現象を発見した。2018 年以降は再びホットスポットと電波ローブは南へ伝播し始めた。この一連の現象は、ガス雲とジェットとの強い衝突として自然に解釈できる。さらに興味深いことに、再伝播後のローブ形状は大きく崩れ、その特徴は FR II 型から FR I 型へと遷移していることが分かった。今回のジェット・ガス雲衝突で誘発された 3C84 電波ローブ形状の FR II 型から FR I 型への遷移現象は、ジェット・ガス雲衝突という今まで知られていなかったモードが FR I/FR II 分類に影響を及ぼし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](#)

### S33a 最近傍の radio loud QSO, 3C273 の高ダイナミックレンジイメージング

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), 斉藤俊樹, 尾上匡房 (MPIA)

2019 年秋季年会では、我々に最も近い radio loud QSO である 3C273 からの広がった 3mm 連続波について報告した。この連続波の起源を探るため、我々は ALMA Cycle 7 において band 6, 7 の連続波観測を行った。3C273 のような天体は中心の点源が極めて明るく、そのまわりの広がった弱い放射の検出は一般には難しい。ALMA のような高感度の装置においても、中心点源のサイドローブなどの影響が画像全体のノイズレベルを決定してしまうため、ピークのノイズレベルに対する比 (ダイナミックレンジ; DR) が通常の数値解析では band 6 では DR が 100 程度、band 7 では DR が 50 程度までが達成される。

本報告では、3C273 に対して self calibration を行った上でフーリエドメインでチャンネル毎に点源を差し引くなどの工夫を行い、band 6 (12m array) において DR が 69000、band 7 (ACA) において DR が 2500 程度を達成した。これらは観測時間から期待される熱雑音には達していないが、QSO の母銀河からの輻射などを検出する際に有効な手段となりうる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### S34a *Swift*/BAT X 線サーベイの最高光度活動銀河 H1821+643 で見られる爆発的星生成とブラックホールへの質量降着の起源

福地輝, 市川幸平, 秋山正幸, 登口暁, Janek Pflugradt (東北大学)

銀河団中心銀河 H1821+643 ( $z = 0.297$ ) は *Swift*/BAT 硬 X 線サーベイ (14–195 keV) で検出された天体のうち、ビーミングの影響を受けた天体を除いて最も光度が大きい活動銀河核 (AGN) である。その光度は  $L_{14-150\text{keV}} = 5.2 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$  に達し、さらに赤外線光度が  $L_{\text{IR}} > 10^{13} L_{\odot}$  と Hyper-luminous Infrared galaxy に分類されるほど明るい。これらは超巨大ブラックホール (SMBH) と母銀河の双方が激しく成長している過程に在ることを示唆しており、近傍宇宙における銀河団中心銀河で一般的に見られる性質とはまったく異なる。よって、現在も質量獲得フェイズに在る H1821+643 は銀河団内における銀河成長を調査できる稀有な天体である。この天体では効率的に銀河団高温ガスの消費を行っていることが示唆されるため McDonald et al. (2018) では中間赤外線スペクトルを利用して星生成率を求めている。我々はより定量的に銀河内におけるガスの消費量と銀河団からのガスの供給量を比較するため、H1821+643 のより多波長な観測データ (X 線–遠赤外線) を用い、spectral energy distribution (SED) フィットを行った。それにより、AGN 成分と母銀河成分を分離し SMBH 降着率と星生成率を見積もることで、銀河内におけるガスの消費量を求めた。銀河団ガスの冷却によるガス供給量を求めた結果、比率は  $\dot{M}_{\text{con}}/\dot{M}_{\text{inflow}} \sim 1$  となり、これは他の近傍銀河団中心銀河で推定されている  $\dot{M}_{\text{con}}/\dot{M}_{\text{inflow}} \sim 0.01-0.1$  と比較しても非常に高く、McDonald et al. (2018) の結果と consistent であることを確認した。このように効率的に銀河団からの流入ガスを冷却し消費するためにはガスを 100K 以下にまで冷やす必要があるが、この天体は [O III] 88  $\mu\text{m}$  の微細構造線光度が大きく cooling path の一つとして主要な役割を果たすかもしれない。

[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](#)

S35a Systematic search of fading AGN in the local universe at  $z < 0.4$ 

Janek Pflugradt, Kohei Ichikawa, Masayuki Akiyama, Akatoki Noboriguchi, Hikaru Fukuchi (Tohoku University)

Active galactic nuclei (AGN) are key populations for understanding the growth of supermassive black holes (SMBHs). Recent observations have revealed an interesting AGN population that shows strong AGN activity at large scales with  $\sim 1$  kpc but a much weaker one at small scales ( $< 10$  pc), suggesting a fading activity of the central engine, and they are called “fading” AGN. We systematically search such fading AGN by cross-matching the SDSS type-1 AGN catalog at  $z < 0.4$ , covering the [OIII] $\lambda$ 5007 emission lines, with the *WISE* mid-infrared (MIR) catalog covering emissions from the  $\sim 10$  pc scale dusty tori. Out of the  $\sim 9000$  sources, we find 50 fading AGN candidates whose bolometric luminosities estimated from the *WISE* MIR band ( $L \sim 10^{44-46}$  ergs/s) are at least one order of magnitude fainter than those estimated from the [OIII] luminosities ( $L \sim 10^{45-47}$  ergs/s). Those fading AGN candidates show two important properties that 1) past AGN activity estimated from the [OIII] band reaches around the Eddington-limit, suggesting an experience of the past burst phase and such burst phase might be unstable and it does not last longer than  $\sim 10^4$  yr. 2) More than 30% of the fading AGN candidate population show a large absolute variability of  $\Delta W1 > 0.45$  in the *NEOWISE* 3.4  $\mu$ m band for the last  $\sim 10$  yr. Some of such population also show the changing-look phenomena disappearing of the blue continuum and broad line region in the multi-epoch optical spectra. This suggests that some fading AGN candidates are still continuously in the fading phase even in the last  $\sim 10$  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](#)

## S36a How does the polar dust affect the correlation between dust covering factor and Eddington ratio in type 1 quasars selected from the SDSS DR16?

Yoshiki Toba, Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.), Poshak Gandhi (Univ. of Southampton), Claudio Ricci (Diego Portales Univ.), Denis Burgarella, Veronique Buat (LAM), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Shinki Oyabu (Tokushima Univ.), Hideo Matsuhara (JAXA), Bau-Ching Hsieh (ASIAA)

We revisit the dependence of the covering factor (CF) of dust torus on physical properties of active galactic nuclei (AGNs) by taking into account an AGN polar dust emission. The CF is converted from a ratio of infrared (IR) luminosity contributed from AGN dust torus ( $L_{\text{IR}}^{\text{torus}}$ ) and AGN bolometric luminosity ( $L_{\text{bol}}$ ), by assuming a nonlinear relation between luminosity ratio and intrinsic CF. We select 37,181 type 1 quasars at  $z_{\text{spec}} < 0.7$  from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Data Release (DR) 16 quasar catalog. Their  $L_{\text{bol}}$ , black hole mass ( $M_{\text{BH}}$ ), and Eddington ratio ( $\lambda_{\text{Edd}}$ ) are derived by spectral fitting with *QSFit*. We conduct spectral energy distribution decomposition by using *X-CIGALE* with a clumpy torus and polar dust model to estimate  $L_{\text{IR}}^{\text{torus}}$  without being affected by the contribution of stellar and AGN polar dust to IR emission. For 5752 quasars whose physical quantities are securely determined, we perform a correlation analysis on CF and (i)  $L_{\text{bol}}$ , (ii)  $M_{\text{BH}}$ , and (iii)  $\lambda_{\text{Edd}}$ . As a result, anticorrelations for CF- $L_{\text{bol}}$ , CF- $M_{\text{BH}}$ , and CF- $\lambda_{\text{Edd}}$  are confirmed. We find that incorporating the AGN polar dust emission makes those anticorrelations stronger compared to those without considering it. This indicates that polar dust wind probably driven by AGN radiative pressure is one of the key components to regulate obscuring material of AGNs (Toba et al. 2021a, ApJ, 912, 91).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## S37a Subaru HSC COSMOS+SXDS 時間軸データを用いた光度変動 AGN の探査

小久保充, Jenny Greene, Andy Goulding (プリンストン大学), 田中雅臣 (東北大学), 安田直樹, 諸隈智貴 (東京大学), HSC Transient Working Group

1 型活動銀河核 (AGN) で観測される紫外可視降着円盤連続光の一般的性質として、数 100 日タイムスケールの光度変動を示すことが知られている。この性質を用いれば、可視光時間軸サーベイデータから光度変動を示す天体として 1 型 AGN を選択することができ、従来の可視/赤外測光カラーに基づく AGN 選択法では検出できないような、母銀河の星の光に埋もれた低光度 1 型 AGN の無バイアスサンプルを構築することができる。

我々は、すばる HSC-SSP、及びすばる共同利用観測時間を用いて 2020 年までに得られた COSMOS 領域と SXDS 領域の時間軸データ (各  $\sim 8 \text{ deg}^2$ 、*grizy* 5 バンド光度曲線データ、限界等級  $i \sim 26 \text{ mag/epoch}$ ) を用いて、光度変動 1 型 AGN を探査した (2017 年までの COSMOS 領域のデータを用いた探査については Kimura et al. 2020 参照)。光度曲線の目視による超新星/AGN 分類に加えて、光度曲線を特徴づける変動振幅、自己相関・相互相関係数等の特徴量を用いた機械学習分類器による分類を併用することで、COSMOS, SXDS 領域においてそれぞれ約 3000 天体の光度変動 1 型 AGN サンプルを構築した。Spitzer/IRAC 赤外線 4 バンドのカラーを用いた AGN 選択法による AGN サンプルと比較した結果、光度変動 AGN サンプルのうち約 30% は赤外線カラー選択法では選択できないような低光度 AGN であることがわかった。また、COSMOS, SXDS 領域における X 線 AGN サンプルと光度変動 AGN サンプルを比較することで、X 線 AGN サンプルにおける 1 型/2 型 AGN 存在比をモデル依存しない形で観測的に制限した。本講演では、X-CIGALE を用いた多波長 SED フィッティングによって推定される光度変動 AGN およびその母銀河の性質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](#)

## S38a Searching for obscured AGNs in deep and wide multi-wavelength imaging datasets

Bovornpratch Vijarnwannaluk, Masayuki Akiyama (Tohoku Univ.), Malte Schramm (Saitama Univ.), Yoshiki Matsuoka (Ehime Univ.), Yoshiki Toba, Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.)

It is generally accepted that supermassive black holes are ubiquitous in galaxies however it is unclear how they are born and grown over cosmic time. Tracing the statistical growth of massive black holes can be done using a complete sample of Active Galactic Nuclei (AGNs) including both unobscured and obscured AGNs. Previous results show hints of an increased fraction of obscured accretion growth hidden behind large amounts of gas and dust at high redshift which will otherwise be missed by typical deep optical imaging surveys. We search for obscured AGNs at high redshift ( $z > 2$ ) using the XMM-SERVS point source catalog (Chen et al. 2018) which is a large X-ray dataset between 0.5-10 keV. X-ray emission is a ubiquitous signature of AGN activity and is strong against obscuration. In this work, Photometric measurements of the optical/IR counterpart was obtained from deep optical/IR imaging datasets including Hyper-Suprime Cam (HSC) Deep-layer which is unrivaled in depth, survey area, and image quality. Prior-based convolved photometry was performed in order to mitigate the effects of blending due to the large PSF-size in the mid-infrared datasets. Redshift information was obtained from public spectroscopic surveys and photometric redshift was derived for AGNs without spectroscopic redshift measurements. Here, we present the preliminary results comparing the fraction of obscured AGNs at high redshift with previous population synthesis 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](#)

## S39a MAGIC 望遠鏡による高エネルギーニュートリノ対応天体観測

Seokhyun Yoo, 寺内健太, 窪秀利, 野崎誠也, 岡知彦 (京大理), Alessio Bertl (MPI), Konstancja Satalecka, Elisa Bernardini (DESY), Lara Nava (INAF), Manuel Artero (IFAE), Salvatore Mangano (CIEMAT), 浅野勝晃, 深見哲志, Daniela Hadasch, 稲田知大, 小林 志風, Daniel Mazin, 野田浩司, 大谷恵生, 齋藤隆之, 櫻井駿介, Marcel Strzys, 高橋光成, 武石隆治, 手嶋政廣, Ievgen Vovk (東大宇宙線研), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大理), 須田祐介 (廣大先理工), The MAGIC Collaboration

宇宙からの高エネルギーニュートリノは IceCube 実験により発見され、現在も同実験による観測が続けられているが、その起源天体はまだ明らかになっていない。活動銀河核は系外高エネルギーニュートリノ起源の有力な候補と考えられており、実際にニュートリノ事象 IC170922A が発生した時、その到来方向誤差内にあるブレーザ TXS 0506+056 のガンマ線フレアを MAGIC 望遠鏡で観測した例がある。ニュートリノとガンマ線の連携観測はガンマ線のスペクトルや時間変動から、ニュートリノやガンマ線の放射機構、かつ、粒子加速エネルギーに強い制限をかけることができるため、ニュートリノ放射起源の解明に至る有用な手段である。しかし、IC170922A と TXS 0506+056 フレア の同時観測以降のニュートリノとガンマ線フレアの同時観測例はなく、宇宙高エネルギーニュートリノの起源や放射機構を系統的に議論するに至っていない。ニュートリノ観測事象に対する新たなガンマ線対応天体を見つけるため、我々は MAGIC 望遠鏡 (エネルギー閾値 50 GeV) を用いて、IceCube からのニュートリノ事象のアラートを受けてから 1 日以内に開始するフォローアップ観測を長期に渡り行っている。本講演では、MAGIC 望遠鏡による IceCube 観測事象 IC190730A、IC200926A、IC201007A のフォローアップ観測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](#)

## T01a 銀河系前景放射と銀河団外縁部の観測への影響

松下恭子, 佐々木享, 杉山剣人, 上田将暉, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学), 岡部信広 (広島大学), 田村隆幸 (ISAS/JAXA)

すざく衛星により銀河団外縁部の銀河団ガスの温度や密度の測定が可能になった結果、銀河団外縁部のエントロピーなどが理論予測と矛盾することが報告されてきた。XMM 衛星による X 線放射の観測やプランク衛星による逆コンプトン効果による銀河団ガスの圧力測定の結果からも、様々な議論が続いている。ここで問題になるのが、我々の銀河系の高温ガスや太陽活動に関連する放射など、銀河団以外の前景放射である。すざく衛星の観測により天球上の領域によっては 0.6–1 keV 程度の放射 (0.8 keV 成分) が報告されている (Yoshino+19, Sekiya+14)。この成分の温度は銀河団外縁部や銀河群と近いので、銀河団外縁部の放射と区別することが難しい。

今回、我々はすざく衛星によりビリアル半径まで観測された近傍 ( $z < 0.06$ ) の 13 の銀河団、銀河群の観測結果を報告する。これらの天体の規模によらずビリアル半径近くの銀河団ガス成分の温度はほぼ 1 keV となり、その輝度は銀河団以外の領域に見られる 0.8 keV 成分と同程度であることがわかった。ビリアル半径より外側では、銀河団ガスの輝度はほぼ一定となることから、前景放射の混入が強く疑われる。鉄の L 輝線の特徴的なスペクトル構造のため、銀河団外縁部の放射に前景放射である 0.8 keV 成分が混入していると、銀河団ガスの温度は鉄輝線に引きずられ、1 keV 程度に過小評価されてしまうことになる。また、銀河団ガスの重元素組成比や密度の測定にも大きな系統誤差が生じる。本講演では、前景放射の混入がエントロピーや圧力、バリオンフラクションの測定に与える影響をも議論する。

[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](#)

## T02a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 II

福一誠、北本俊二 (立教大)

XMM-Newton 衛星によるペルセウス銀河団の観測から、3.5keV 付近に未知の輝線が見つかった (Bulbul et al. 2014)。これはダークマターの候補であるステライルニュートリノが崩壊した時に出る X 線の可能性がある。しかし「すざく」と「ひとみ」でペルセウス銀河団の解析からは、3.5keV 輝線は検出されず、上限として等価幅でおよそ 1.5eV と 1.6eV が与えられた (Tamura et al. 2015, Hitomi collaboration 2017, Tamura et al. 2019)。大きな有効面積と長い観測時間のため統計精度の良い「すざく」XIS のデータと、エネルギー分解能の高い「ひとみ」SXS のデータを同時解析することで、ペルセウス銀河団の 3.5keV 付近の未知の輝線の強度により厳しい制限が与えられる (福一他、日本天文学会 2021 年春 (T01a))。今回は、まず、同時フィッティングの有効性をシミュレーションにより定量的に考察した。そして、探索範囲を  $\sim 2\text{keV}$  から  $\sim 6\text{keV}$  に広げ、輝線がなく統計精度が良いかに星雲のフィッティングによる検出器の系統誤差の見積もりと、目的とするペルセウス銀河団からの未知の輝線の上限値の見積もりを行った。未知の輝線はガウス関数で幅が狭い場合 (2.4eV) と広い場合 (15eV) を仮定し等価幅の  $3\sigma$  の上限を計算した。その結果、 $\sim 2\text{keV}$  から  $\sim 6\text{keV}$  の範囲で先行研究のおよそ半分の上限を与えることができた。

[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](#)

## T03a 初期の衝突銀河団 CIZA J1358.9 -4750 における衝撃波の X 線および SZ 信号の比較

大宮悠希, 中澤知洋 (名古屋大学), 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 岡部信広 (広島大学), 佐藤浩介 (埼玉大学), 田村隆幸 (JAXA/ISAS), 藤田裕 (東京都立大学), Liyi Gu (理研), 山口友洋 (名古屋大学)

宇宙は誕生以降、物体の衝突と合体を繰り返し成長しており、特に宇宙最大の自己重力系を持つ銀河団同士の衝突では巨大なエネルギーが解放される。その初期段階では、衝突によって2つの銀河団の間に高温・高圧の領域が形成され、これが銀河団全体を覆う衝撃波へと時間発展してゆくと考えられているが、まさにその瞬間を見ていると考えられる天体は少ない。z=0.07 と近傍に位置する銀河団 CIZA J1358.9 -4750 は、北西と南東に存在する質量比がほぼ 1 の銀河団同士が衝突して間もない初期の衝突銀河団であることがわかっており、「すぎく」の観測データにより 2 つの銀河団の中央に高温・高圧領域が見られマッハ 1.3 前後の衝撃波の存在が示唆されている (Kato et. al. 2015)。我々は銀河団ガスがマイクロ波背景放射を叩き上げる SZ 効果が nT に比例するのに対し、熱的制動放射 X 線が  $n^2T^{1/2}$  に比例する特徴を用いて CIZA J1358.9 -4750 の 3 次元構造を探ろうとしている。

本研究では XMM 衛星から得られた CIZA J1358.9 -4750 の観測データを用い、北西と南東に存在する 2 つの銀河団に対し衝突影響を受けていない領域における圧力分布を作成した。これを衝撃波領域に外挿して、X 線のデータに加え Planck 衛星から得られた SZ 信号と比較した。結果、SZ 信号でも中央の高温・高圧領域で明らかに超過が見られ、さらに北東と南西に向かって伸びる形を持つことがわかった。X 線でも同様に中央の高温・高圧の領域やそこから equatorial 方向へ広がる成分の空間広がりを捉えており (Kato et al. in prep)、SZ の圧力超過成分の強度と空間広がりと比較して、衝撃波領域の構造を探った。

[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](#)

## T04a 大小様々な銀河団の冷却コア内のガス揺らぎの系統解析

上田周太朗 (ASIAA), 梅津敬一 (ASIAA), Ng, Fan Lam (ASIAA, 北京大学), 一戸悠人 (立教大学), Molnar, Sandor M. (ASIAA), 北山哲 (東邦大学)

力学的に緩和していると考えられる銀河団の中心には、周囲より 30 ~ 50 % 程度低温で高密度の銀河団ガスで形成された冷却コアが存在する。X 線放射によってある程度冷えた結果だと考えられているが、完全には冷え切らず下げ止まっていることから、冷却コア内の銀河団ガスは加熱されていると考えられている。近年、多数の冷却コアで銀河団衝突によって引き起こされるスロッシングの痕跡が見つかっており、銀河団衝突が有力な加熱源である可能性が示唆され始めた。我々は大質量銀河団で構成された Cluster Lensing And Supernova survey with Hubble (CLASH) サンプルの冷却コアに着目し、系統解析によって、スロッシングによって誘発される冷却コア内のガスの運動が加熱源の有力な候補となりうることを 2021 年春季年会で報告した。

今回我々は、CLASH サンプルと相補的である HIFLUGCS サンプルに着目した。このサンプルは ROSAT 観測による X 線輝度によって選定されており、近傍の明るい銀河団、銀河群で構成されている。そのため幅広い質量の冷却コアを系統解析できる。我々は、X 線放射冷却が卓越している冷却コアを持つ 28 個の銀河団、銀河群を系統解析し、その全てでガスの揺らぎを検出した。揺らぎの領域から抽出した X 線スペクトルを解析した結果、揺らぎの密度超過/不足領域での温度は対一の線形関係にあり比は  $1.20_{-0.03}^{+0.04}$  である一方、揺らぎ間では圧力平衡になっていることがわかった。我々はさらに、公開されている衝突銀河団のシミュレーションデータを系統解析し、揺らぎ間の温度比が ~ 1.3 であることを明らかにした。これらの関係はガスの揺らぎがスロッシングによって作られたことを示唆する。本講演ではこれらの結果を詳述する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T05a 銀河団磁場との相互作用によって折れ曲がるジェット

大村匠 (東京大学), James O. Chibueze (North-West 大学/Nigeria 大学), 酒見はる香, 町田真美 (国立天文台), 赤松弘規 (オランダ宇宙研究所), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 中西裕之 (鹿児島大学), Viral Parekh(南アフリカ天文台/Rhodes 大学), Ruby van Rooyen (南アフリカ天文台), 竹内努 (名古屋大学、統計数理研究所)

銀河団磁場は、宇宙線加速や銀河団乱流に影響する重要な物理量である。一部の銀河団では、低温高密度プラズマとその周囲の高温低密度プラズマとの接触不連続面 (コールドフロント) が見られる。この接触不連続面が長期間維持されることや磁気流体数値実験を用いた理論研究から、コールドフロントに沿う比較的強い磁場 ( $\sim 10 \mu\text{G}$ ) の存在が示唆されている (e.g., Asai et al. 2007, Vikhlinin et al. 2001)。

我々は衝突銀河団 Abell 3376 のサブクラスター中心部に位置する電波銀河 MRC 0600-399 から噴出するジェットを電波干渉計 MeerKAT を用いて観測した。その結果、ジェットは T 字状の放射構造 (Double-scythe 構造) を持つことを初めて明らかにした。加えて、ジェットは折れ曲がった後も、100 kpc を超えて細く絞られた形状を保っていることがわかった。このような構造は、銀河自身の運動や銀河団乱流によって生じる動圧では説明が困難である。また、電波と X 線放射の画像を比較した結果、ジェットがコールドフロントに沿って折れ曲がっていることを確認した。そこで、コールドフロントに沿う銀河団磁場とジェットの相互作用に関する磁気流体数値実験を行ったところ、確かに、銀河団磁場と衝突したジェットが磁気張力による減速を受けることで、コールドフロントに沿ったプラズマの流れが生じることが分かった。また、数値モデルを基に電波放射分布を求め、Double-scythe 構造を再現することを確認した。

[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](#)

## T06a 銀河団電波ハローの数値モデルに基づいた Faraday Spectrum の解析

菅原充祥, 滝沢元和 (山形大学), 出口真輔 (ラドバウド大), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台)

いくつかの銀河団には電波ハローと呼ばれる広がった非熱的放射が確認されている。これは銀河団全体にわたって分布する磁場や宇宙線電子の直接的証拠であるが、その詳細な性質はまだわかっていない。一方、近年注目されている宇宙磁場の解析手法であるファラデーモグラフィでは広帯域の偏波観測データから視線方向の情報 (ファラデースペクトル) を得ることができ、シンクロトロン放射源の三次元構造の解析に適している。しかし、ファラデースペクトルからは直接的に磁場や電子密度の情報を得ることができず、現実の天体の物理状態とどのように対応づけるかの問題がある。そこで、本研究では銀河団電波ハローについて、ファラデースペクトルに磁場や宇宙線電子の情報がどのように反映されるかを調べた。具体的にはべき型のパワースペクトルに基づく乱流磁場をもった銀河団を考えて、電波ハローの数値モデルを構築した。そのうえで理想的な観測ができた場合のファラデースペクトルを構成し、その強度分布や相関、偏波角の分布が磁場や宇宙線電子の分布にどのように依存するかを調べた。本公演では、電波ハローのファラデースペクトルの詳細を述べるとともに、そこから磁場や宇宙線電子の情報を抽出する解析手法について述べる予定である。

[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](#)

## T07a 銀河団の構造形成史から示唆される巨大電波ハローの駆動条件

西脇 公祐 (東京大学), 浅野 勝晃 (東京大学)

銀河団は巨大な宇宙線の貯蔵庫と考えられており、IceCube で観測されている高エネルギーニュートリノ背景放射の起源になりうる天体として注目されている。しかし、銀河団中の宇宙線陽子に関して、ガンマ線観測から得られている情報は極めて限定的であり、宇宙線分布やその赤方偏移進化はほとんど明らかになっていない。

一部の衝突銀河団には電波ハローと呼ばれる巨大な電波構造が見つかっており、これは銀河団内物質における相対論的電子の存在を示唆している。この電波ハローの駆動を説明するモデルとして、乱流による宇宙線再加速や宇宙線陽子の非弾性衝突過程からの二次電子生成を考慮したもの(乱流再加速モデル)が有力視されている。そのため電波ハローの観測から、構造形成に伴う宇宙線密度の進化の歴史に迫ることができると期待される。

本研究では、宇宙論 N 体シミュレーションから示唆される衝突率をもとにダークマターハローの Merger Tree を構成し、銀河団の構造形成をシミュレーションする。その上で、電波観測で調べられた電波ハローの出現率や電波強度と質量の関係などから、電波ハローの寿命や駆動に必要な衝突の質量比などを議論する。さらに、乱流再加速を考慮した Fokker-Planck 方程式を解くことで放射の時間発展を計算し、上記の方法で見積もられた電波ハローの寿命と比較することで、宇宙線密度の赤方偏移進化や粒子加速効率、一次電子宇宙線の寄与などを議論する。

[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](#)

## U01a Grid-based calculation for perturbation theory of large-scale structure in redshift space

樽家篤史, 西道啓博 (基礎物理学研究所), Donghui Jeong (The Pennsylvania State University)

赤方偏移銀河サーベイにもとづく宇宙論研究において、宇宙の大規模構造の精密な理論的記述は、観測データから宇宙論パラメータなどの情報を引き出す上で本質的である。とりわけ、宇宙論の情報を最大限に引き出す上で、線形理論の適用範囲を超える小スケールの理論的記述は不可欠であり、同時に小スケールの観測情報を用いる方法論の構築も強く望まれている。

最近になり、我々は、摂動論的計算手法をもとに、非線形進化したランダムな密度場を生成するコード (GridSPT) を開発した (2018 年の春季年会, Phys.Rev.D 98 (2018) 103532)。この手法では、高速フーリエ変換を用いることで、グリッド上に生成された密度場に対する非線形進化の摂動補正を高速かつ系統的に計算できる。観測領域のマスク・ウィンドウ関数の影響なども簡単に取り入れることができ、パワースペクトルなどの統計量を介さずに、フォワードモデリングとして、直接観測される銀河密度場と比較することも原理的に可能である。

本講演では、この GridSPT の手法を拡張し、赤方偏移空間における密度場の生成が可能になったことを報告する。これにより、赤方偏移空間歪みと呼ばれる、特異速度場の影響を受けた非等方な統計量を理論予言できるようになった。本講演では、得られた結果をもとに、観測への応用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](#)

## U02a Dark Quest II : パワースペクトル、ハロー質量関数エミュレータの構築

田中 賢, 西道 啓博 (京大基研), 小林 洋祐 (東大 Kavli IPMU)

近い将来の精密観測に向けて理論の立場から高精度の宇宙論モデルを予言しておくことは重要であるが、従来のような特定のパラメータ空間を指定して N 体シミュレーションを実行には、自由度の高い多次元パラメータ空間を網羅することは不可能である。そこでわれわれのグループでは、近年さまざまな分野で盛んに研究がなされているニューラルネットワークによる機械学習を応用した宇宙大規模エミュレータの開発に着手している。宇宙論パラメータ推定に向けたエミュレータ構築を試みる研究は最近数多くなされているが、われわれは初期の密度ゆらぎを固定し、9 次元宇宙論パラメータを変更した 1000 シミュレーションとコスミックバリエーションにも対応させるため前述のシミュレーションと宇宙論パラメータは同じであるが初期の密度ゆらぎをそれぞれ乱数的に変更した 1000 シミュレーションの合計 2000 シミュレーションという他には類を見ない大規模な学習データセットを元にニューラルネットワークによる学習を行う環境を整えた。

本講演では先行プロジェクトである Nishimichi et al. 2019 の Dark Quest I からの更新点を示し、ニューラルネットワークによる学習の説明を行い、パワースペクトルやハロー質量関数をエミュレートした結果の妥当性を報告する。また、データ構築が間に合えば異なった解像度でのシミュレーションを組み合わせたスーパーレゾリューションエミュレータの結果の紹介も行う。

[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](#)

## U03a Dark Quest II: 距離依存した成長率を持つ宇宙モデルにおける銀河バイアス

西道啓博, 田中賢 (京都大学基礎物理学研究所)

Dark Quest 計画は、多次元宇宙論パラメータ空間を網羅的に  $N$  体シミュレーションデータで埋め尽くし、宇宙の大規模構造に関する様々な統計量の宇宙論パラメータ依存性を洗い出そうとするものである。この計画は、ダークマター、ダークエネルギーと言った宇宙論の根源的な問題にアプローチすべく、様々な大規模将来観測との比較に耐える汎用・高精度理論テンプレートの構築を目指している。初期の計画では 6 次元 flat- $w$ CDM 模型に限定して、効率化されたサンプリング法により選ばれた 101 のパラメータセットに対して行われたシミュレーションデータに対して、機械学習の手法を適用することで、すばる望遠鏡 Hyper Suprime Cam による銀河・銀河レンズ効果の解析に耐える理論テンプレートとして実用化され、Nishimichi et al. 2019 (Dark Quest I: DQ-I) としてまとめられた。

我々は、より広範なモデル群を押さえつつ、予言精度を向上すべく、Dark Quest II として以前の研究の大幅なアップデートを図っている。その初期結果として、DQ-I では扱わなかった有質量ニュートリノに代表される、距離に依存した線形成長率を示す宇宙模型について、ハロー、銀河バイアス (以下単にバイアス) の振る舞いを調査した。この種のモデルでは、構造が線形から非線形段階に進むことで、距離依存成長の特徴が、距離に応じて増幅ないし減衰することが指摘されてきた。しかしながら、バイアスも一般に距離依存性を持つため、有質量ニュートリノなどのネットの効果は、どのような銀河サンプルを見るかに応じて変更を受ける。ニュートリノ以外にも、空間的に揺らぎを持つダークエネルギーなどもこの範疇にある。本講演では、 $3,000^3$  粒子を用いた、様々な解像度の大規模な数値実験を元に、これらの効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](#)

## U04a すばる HSC と SDSS データの銀河弱重力レンズとクラスタリングの小スケール信号を用いた宇宙論統合解析

宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所), 高田昌広 (Kavli IPMU), 杉山素直 (東京大学, Kavli IPMU), 西道啓博 (京都大学), 小林洋祐 (Kavli IPMU), HSC collaboration

宇宙の加速膨張の性質を探るのに有効な手段の一つが宇宙の大規模構造の測定である。銀河の自己相関関数 (銀河クラスタリング) は宇宙論パラメータに敏感であるが、銀河分布は暗黒物質分布をそのまま反映しているわけではないので、銀河クラスタリング信号だけでは宇宙論パラメータに正しく制限をつけることはできない。ところが、銀河弱重力レンズ効果を用いて、銀河サンプルの周りの暗黒物質分布を測定することで、銀河クラスタリングを暗黒物質分布と結びつけることが可能となり、宇宙論パラメータに制限をつけることができる。

この手法に基づいた宇宙論解析は現在まで複数報告されているが、ほとんどは銀河分布と暗黒物質分布が線形バイアスで関係付けられる大スケール信号のみを用いたものである。本研究では、小スケールまでの信号を用いることで、銀河サーベイから得られる信号を最大限に活かすことを目指す。そのために、非線形領域の相関関数を正確に計算することを可能にする Dark Emulator (Nishimichi et al., 2019) と銀河の解析的ハロー占有分布モデルを組み合わることで観測量を正確に予言するモデルを構築した。疑似信号を用いて注意深くこのモデルの精度をテストし、大スケールのみを用いた手法に比べて宇宙論パラメータの制限が 2 倍程度良くなることを確認した。

さらに、この手法をすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイ 1 年目までに取得したデータに基づいた銀河形状カタログと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) で得られた分光銀河サンプルから測定した銀河弱重力レンズ信号とクラスタリング信号に適用することで得られた宇宙論パラメータの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](#)

## U05a すばる HSC と SDSS データの銀河弱重力レンズとクラスタリングの大スケール信号を用いた宇宙論統合解析

杉山素直 (東京大学, KavliIPMU)、高田昌広 (KavliIPMU)、宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所)、西道啓博 (京都大学)、小林洋祐 (Kavli IPMU), HSC collaboration

宇宙大規模構造の重力レンズ効果によって遠方銀河の形状が歪められる効果を弱い重力レンズという。レンズ銀河の自己相関関数 (クラスタリング) のみを用いた解析では銀河バイアスと物質密度揺らぎの振幅パラメータが縮退してしまうが、弱い重力レンズ効果と銀河分布の相互相関関数 (銀河弱重力レンズ) を組み合わせると縮退が解け、宇宙論パラメータに強い制限を与えることができる。クラスタリングと銀河弱重力レンズの統合解析は弱い重力レンズの自己相関関数であるコズミックシアとは独立な宇宙論パラメータの制限を与える。近年、すばる HSC のコズミックシア解析結果が CMB 観測の結果と  $2\sigma$  程度ずれていることが報告されており、より強く独立な制限によって宇宙の標準模型である  $\Lambda$ CDM を検証していくことは宇宙論分野の主要な課題の一つとなっている。

本講演では、すばる Hyper Suprime-Cam (HSC) の撮像サーベイで得られた弱い重力レンズデータと、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の分光サーベイで得られた銀河分布データを用いた、銀河弱重力レンズとクラスタリングの大スケール信号を用いた宇宙論統合解析について発表する。まずは、模擬データを用いて理論モデルと解析パイプラインの検証を行う。宇宙論解析が銀河バイアス不定性に対してロバストな結果を与えることを示す。続いて、これらの結果を実データに適用する。解析者の確認バイアスを避けるためにブラインド解析を採用し、ブラインドの間に様々な系統誤差に対するテストを行うことで、宇宙論の制限が系統誤差に影響されないことを示す。これらのテストをクリアしたのち、宇宙論パラメータ  $S_8 \equiv \sigma_8(\Omega_m/0.3)^{0.5}$  を 10% 程度の精度で測定する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## U06a すばる PFS と HSC による大規模構造探査：分光ファイバー割り当てに伴う系統誤差の検討

真喜屋龍 (ASIAA)、砂山朋美 (名古屋大学)

この宇宙が何で出来ているのか、どのような時空構造を持つのかを調べるための有用な手段の一つとして大規模銀河サーベイがあり、世界中で様々な計画が進められている。日本においても、すばる Hyper Sprime Cam (HSC) による弱重力レンズ効果を用いた物質密度分布のサーベイがすでに行われており、また近い将来にはすばる Prime Focus Spectrograph (PFS) を用いた大規模分光サーベイも計画されている。特に、HSC の物質密度マップと PFS による銀河密度マップの相互相関を解析することで、宇宙論パラメータに強い制限を与えることが期待されている。

すばる PFS は約 2400 本の分光ファイバーから構成される多天体分光器である。PFS による宇宙論サーベイでは、この一つ一つのファイバーを銀河に当てて分光観測を行い銀河の三次元地図を作る予定であるが、ファイバー位置の機械的制約によって、得られる銀河分布は真の分布から歪められることが知られている (Sunayama et al. 2021)。本講演ではまず、この効果が銀河のパワースペクトルおよび銀河-弱重力レンズの相互相関パワースペクトルにどのような影響を与えるかを議論する。さらに、Sunayama et al. (2021) で提案された方法を用いて観測された銀河分布に適切な重み付けをすることにより、真の銀河パワースペクトル・相互相関スペクトルを高い精度で回復できることを示す。また、この分光ファイバー割り当てによる系統誤差が宇宙論パラメータの推定に与える影響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](#)

## U07a HSC と BOSS のデータを用いた銀河分布と弱重力レンズ効果の二点相関による現象論的な修正重力の制限

大河内雄志 (名古屋大学大学院), 宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所), 浜名崇 (国立天文台), HSC collaboration

一般相対性理論は太陽系スケールでの観測とは高い精度で一致しているが、宇宙の加速膨張が観測されている現状を考えると、宇宙論的スケールでの重力が一般相対論で正しく記述できているかは確かではない。

宇宙論的スケールでの重力理論を検証するために、非相対論的物質と相対論的物質に対する重力の強さを一般相対性理論から変更する二つの現象論的なパラメータ  $\mu$  と  $\Sigma$  を導入し、これらのパラメータの値に制限をつけることを目指す。そのために、様々な  $\mu$  と  $\Sigma$  の値に対して数値計算された宇宙論的弱重力レンズ効果 (弱重力レンズ効果による銀河像の歪みの自己相関) と、銀河クラスタリング (天球面上の銀河の分布の自己相関)、銀河-銀河レンズ (銀河像の歪みと銀河の分布の相互相関) と、観測から推定されたこれらの量を比較することで、データによって許容される  $\mu$  と  $\Sigma$  の値の範囲を求める。本研究では、弱重力レンズ効果のデータとしてすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC) による銀河の形状カタログ (Aihara et al. 2018) から推定されたものを、銀河の分布は Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) で得られた分光銀河の分布を用いる予定である。

現時点では、一般相対性理論からの変更がない場合 ( $\mu = \Sigma = 1$ ) を仮定して計算したものを疑似的なデータとして用いて、マルコフ連鎖モンテカルロ法により  $\mu$  と  $\Sigma$  の値の範囲に制限をつけた。今後は、実際の観測データを用いた解析や、 $\mu$  や  $\Sigma$  と観測における系統誤差との間の相関を調べる予定である。

[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](#)

## U08a 21-cm 線観測による BAO 解析のための理論的枠組みの構築

安藤梨花, 西澤淳 (名古屋大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

現在、我々の宇宙が加速膨張期にあることが観測から確認されており、その起源としてダークエネルギーや修正重力理論などの様々な理論モデルが提唱されている。本研究では 21-cm 線パワースペクトルに現れるバリオン音響振動 (BAO) を用いた宇宙論解析に着目した。21-cm 線の赤方偏移はその周波数から測定することができるため、従来の観測よりも過去からの時間発展を議論することが可能となる。観測される 21-cm 線のパワースペクトルにおける BAO スケールは、重力による非線形成長、スケール依存する中性水素バイアスや、赤方偏移空間歪みなどの効果によって、理論予言からずれることが予想される。

そこで、本研究ではシミュレーションを用いてこの BAO スケールのずれを定量的に測定し、モデル化を行う。本発表ではまず比較的低い計算コストで計算を行うことができる N 体シミュレーションから中性水素の分布を得る方法について紹介する。この方法では、ダークマターハローの周囲のダークマターの密度場のみを用い、定数倍することによって中性水素の密度場とする。その結果、ハローの周囲をハロー中心からどの距離まで切り取るかを表すパラメータのみをフリーパラメータとして、中性水素のパワースペクトルの傾きを再現することが確認できた。さらに赤方偏移 3 において、スピン温度ゆらぎが観測量である 21-cm 線パワースペクトルに最大で 8% の影響を与えることを示した。続いて、宇宙論的シミュレーションの初期条件において、ゆらぎを固定することで大スケール側のゆらぎの分散を抑える手法 (Angulo & Pontzen 2016) を用いた結果を報告する。

[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](#)

## U09a 21cm 線強度マップの直接画像解析による暗黒物質探査

村上広椰 (名古屋大学), 西澤淳 (名古屋大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

本講演では機械学習を用いた再電離後の宇宙における 21cm 線強度マップの画像解析による、暗黒物質質量の探査を行う。暗黒物質の粒子質量が軽くなると、小スケールの構造が形成されにくくなる。この効果はパワースペクトルの小スケール側のダンピングとして観測される。

暗黒物質は電磁波観測では直接観測することはできないので、通常は暗黒物質をトレースする通常の物質分布から暗黒物質分布を推定する。空間分布のクラスタリング解析に通常用いられるパワースペクトルなどの二点統計量は、揺らぎの確率変数が正規分布であれば全ての統計情報を有していることになるが、実際の密度揺らぎデータは重力による非線形成長により極めて高い非正規性を持つ。従って二点統計量を凌駕するような解析手法により潜在的に含まれる情報を無駄なく抽出することが可能である。

本研究ではダークマターのトレーサーとして、次世代電波干渉計 SKA (Square Kilometer Array) による観測で得ることのできる、21cm 線強度マップの画像データを想定する。解析手法として、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いるが、これが統計的に二点統計量よりも有効な手法であることを示す。また、数値流体シミュレーションを行うことで、超新星や AGN フィードバックといった複雑な物理過程の影響を網羅的に探査し、暗黒物質パラメータ (存在量や粒子質量) への影響を議論する。

[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](#)

## U10b 銀河形成シミュレーションを用いた銀河の特異速度の推定法の開発

阿部祐大 (弘前大), 高橋龍一 (弘前大)

宇宙の膨張を示すものとして  $v = H_0 d$  (ハッブルの法則) が挙げられる。 $v$  は銀河の後退速度、 $d$  が銀河までの距離、 $H_0$  がハッブル定数である。この式より、銀河の後退速度  $v$  と銀河までの距離  $d$  の 2 つを正確に測定することでハッブル定数  $H_0$  の精度向上が期待される。

2017 年の連星中性子星合体からの重力波検出により、銀河までの距離が精度良く測定された事でハッブル定数が約 15% の精度で決定された (LIGO Scientific Collaboration+ 2017)。しかし、銀河の後退速度については銀河の特異速度の効果により大きな不定性が残っている。そのため、より精度よくハッブル定数を求めるには、銀河の特異速度の正確な推定が必要になる。本研究では最新の銀河形成シミュレーション (IllustrisTNG) を用いて、銀河の空間分布から特異速度による不定性を除去する手法の開発を行なっている。

TNG シミュレーションの銀河カタログ (質量、位置、速度等のデータ) と粒子分布 (質量、位置、速度のデータ) は公開されており、一辺が  $205h^{-1}\text{Mpc}$  の立方体内に約二百万個の銀河が分布している。銀河の特異速度の推定法としては以下の手法を用いている。まずシミュレーションボックスを等間隔に格子点で区切る。次に粒子分布から、格子点毎に平均化した質量分布を推定する。この質量分布に平滑化フィルターをかけて密度場を求め、流体力学の連続の式を解くことにより、格子点毎の特異速度を求める事ができる。

上記の手法で推定した特異速度で補正を行う事により、ここで用いた銀河カタログでの速度の標準偏差を実空間では約 47%、赤方偏移空間では約 24% 減らすことができた。

[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](#)

## U11c Constraints on primordial magnetic fields with energy density

山崎大 (茨城大学)

これまでの原初磁場の研究は、原初磁場由来の初期揺らぎの追加のみを行い、既存の初期揺らぎの時間進化に対する原初磁場のエネルギー密度による直接的な影響は考慮しないものが大半であった。また、それらの旧来研究は、比較的小さいスケール (銀河半径の数百倍、銀河団スケール) での影響が主であり、比較的精度の高い観測結果が得られている大スケールでの影響は小さいため、旧来の方法では原初磁場の制限に高精度の観測結果が直接寄与していなかった。原初磁場のエネルギー密度を考慮すると、比較的小さいスケールでは物質密度揺らぎを増加させるが、そのスケールより大きいところでは、流体の音速と圧力の増加に寄与し、重力により集まろうとする物質の運動を阻害する効果もある。これらの影響は、比較的精度の高い観測量が得られるスケールであられるため、より原初磁場の制限の精度を向上させることができる。また、磁場の影響のピークが銀河団スケール以下になるパラメータ範囲では、パラメータが異なってもアウトプットが全く同じになる『パラメータの縮退』が生じることも解明され、制限するパラメータ範囲を合理的に限定することでパラメータ制限の効率化が可能となってきた。今回は上記の原初磁場のエネルギー密度由来の宇宙論的な影響を考慮して、原初磁場の制限を行った研究について発表する。

[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](#)

## U12a 銀河スピンカタログの作成と銀河分布による双極子異方性の補正

福本英也 (放送大学)、家正則 (国立天文台)、八木雅文 (国立天文台)

銀河スピンの分布がランダムであるかどうかは銀河やその大規模構造の形成を考えるうえで大変興味深いことである。銀河スピンカタログには Galaxy Zoo や Shamir のカタログなどがあるが、銀河数が少ない、重複が多いなど問題がある。今回、私たちは PanSTARRS、SDSS 及び HyperLeda のアーカイブデータをもとに銀河のスピンカタログを作成した。カタログの作成では、PanSTARRS の約 4 億 4 千万件の銀河データと SDSS と HyperLeda の約 1 千 6 百万件の赤方偏移データをクロスマッチして抽出した赤方偏移  $z \leq 0.05$  の 279,258 件について、PanSTARRS の画像を目視して、スピンの向きが S 型の spiral (24,405 件)、Z 型の spiral (24,109 件) 及び no spiral (230,744 件) に分類した。データの抽出では、銀河の大きさや明るさの条件を設定せず、小さく暗い銀河も対象にした。

作成したカタログで実際に観測される銀河 S/Z 分布の双極子異方性の有意度を、S/Z をランダムに割り当てるシミュレーション全体から期待される双極子異方性と比較する単純な統計手法で調査したところ、平均値からの差が標準偏差の 3.6 倍となった。しかしながら、銀河の観測領域に欠けがあるなどの理由でカタログされた銀河の分布自体に大局的な非等方性がある場合には、ランダム配置の S/Z 分布のシミュレーションの結果から統計的に期待される双極子異方性にも方向依存性が残ることが判明した。測定できる銀河の分布が等方的でない場合、S/Z 分布双極子の期待値分布が方向依存することをランダムフライト理論により理論的にも裏付け、1 千万回のシミュレーション計算により理論の結果を確認した。今回は、カタログの説明と銀河分布が不均等な場合の補正の必要性とその補正方法を述べる。

[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](#)

## U13a 超低輝度矮小銀河を用いた Fuzzy Dark Matter 理論への制限

Kohei Hayashi (一関高専), Elisa G. M. Ferreira (Max Planck Institute for Astrophysics), Hei Yin Jowett Chan (東北大学)

Fuzzy dark matter (FDM) 理論は、冷たいダークマター理論におけるいわゆる「小スケール問題」を解決するモデルの 1 つとして注目されている。本研究では、銀河系にある超低輝度矮小銀河の動力学解析を通して、FDM 理論、特にこの理論において最も重要な物理量である FDM 粒子質量に新たな制限をかけた。

超低輝度矮小銀河は、ダークマターが支配的な系であり、さらにバリオンフィードバック効果が非常に小さいため、ダークマターの基本的性質を調べるのに最適な天体とされている。本研究では、銀河系に付随する 18 個の超低輝度矮小銀河の星の視線速度データに対して、FDM 理論を考慮した動力学解析を行った。その結果、ほとんどの銀河において  $10^{-21}$  eV よりも重い FDM 粒子質量であれば観測データを再現できることがわかった。特に Segue 1 という銀河では  $1.1^{+8.3}_{-0.7} \times 10^{-19}$  eV と最も強い制限を与えることができた。本研究で得られたこの制限値は、他の独立した手法から得られた制限、特に Lyman- $\alpha$  forest を用いた最新の結果とよく一致している。さらにこの制限値は、小スケール問題を解決できるとされる粒子質量よりも 2 桁以上重く、したがって FDM 理論のみではこの問題を解決できないことが明らかになった。

本講演では、FDM 理論の概要とこの理論を用いた動力学解析手法について述べるとともに、この解析で得られた結果とそれに基づいた FDM 理論の現状について議論する。

[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](#)

## U14a 宇宙マイクロ波背景放射による WIMP-PBH 混合暗黒物質モデルへの制限

田代寛之 (名古屋大学), 門田健司 (Institute for Basic Science)

近年の宇宙論的観測により、暗黒物質は宇宙に存在する物質の 85 パーセントを占め、宇宙の構造形成に様々な影響を与えてきたことが明らかにされている。しかしながら、その正体は明らかにされておらず、様々な候補となる理論モデルが挙げられている。その中で、Weakly Interacting Massive Particle (WIMP) と原始ブラックホール (PBH) は有力な候補として見なされている。現在、様々な宇宙論的観測を用いて、これらのモデルの暗黒物質としての検証がなされている。そこで我々は、この WIMP と PBH の混合モデルが暗黒物質の候補として妥当であるかを、様々な宇宙論的観測結果と比較し精査した。この混合モデルでは、PBH まわりに WIMP の超コンパクトミニハローが形成され、そこでは WIMP の対消滅が盛んに起こることが期待される。そこで、この対消滅の宇宙の熱史への影響を調べ、宇宙マイクロ波背景放射の観測との比較した結果、WIMP-PBH 混合モデルの暗黒物質の妥当性に対して強い制限を得ることができた。

[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](#)

## U15a 熱的制動放射による宇宙初期でのダークマターハロー形成への制限

箕田鉄兵、阿部克哉、田代寛之(名大理)

ダークマターが重力的に束縛された天体である、ダークマターハローの物理的性質を調べることで、宇宙の階層的な構造形成の歴史や、その起源と考えられている原始曲率ゆらぎの性質を理解することができる。ダークマターハローは、現在の銀河や銀河団の形成現場となる普遍的な天体であり、その物理的性質を表す質量関数については、これまで理論的、観測的に詳細に調べられている。しかしながら、特に高赤方偏移、小質量のダークマターハローの存在量については、観測が難しいためよくわかっていない。我々は、ダークマターハロー内部の高温電離ガスに由来する熱的制動放射に着目して、高赤方偏移のダークマターの観測的制限を行った。ダークマターハローの内部に降着したバリオンガスは、その重力エネルギーを開放して高温電離状態となっており、こうした電離ガスは制動放射によって強い電波を放射していると考えられる。宇宙初期に形成されたダークマターハローについて、個別の電波放射を同定することは将来観測においても困難であるが、数多くのダークマターハローが形成された場合は、背景の電波放射として観測される可能性がある。このような背景放射の代表例として、本発表では宇宙マイクロ波背景放射(CMB)のスペクトルの歪みとしてダークマターハローからの熱的制動放射が観測され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](#)

## U16a 初代星が再電離に与える影響と将来 CMB 実験での観測可能性

坂本陽菜, Kyungjin Ahn, 市来浄興, Hyunjin Moon, 長谷川賢二

銀河間物質(IGM)は、宇宙の密度ゆらぎの成長の結果誕生した天体からの電離光子により、 $z \sim 6$ より前までに電離がされたことが観測的に示唆されている。この IGM が電離される過程を宇宙再電離という。宇宙再電離の時間進化(電離史)は宇宙で星や銀河がどのように生まれ、成長して今の宇宙になったのかと関わりがあり、私たちにとって興味深いトピックスの一つになっている。

宇宙全体の電離に主に寄与したのは銀河であると考えられているが、理論モデルによれば、再電離期初期には初代星を持つミニハローと呼ばれる天体が存在し、これらが再電離に影響したと考えられている。しかし、観測的には全く分かっておらず、初代星の誕生の時期や再電離への寄与の大きさなどは不明である。そこで、本研究では将来の CMB 観測を想定した精密な E-mode 偏光のパワースペクトルの観測から、初代星の電離史への寄与がどのくらいあれば、初代星の影響がない場合の電離史と区別がつくのかについて考察することを目的とした。具体的には、ミニハローの寄与を含めた再電離の数値計算による様々な再電離史に対し、主成分分析(PCA)および Flexknot と呼ばれる手法とマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いることで調べた。

その結果、電離光子が MH の外に出る割合である光子脱出確率が大きく( $f_e = 1.0$ )、初代星形成がフィードバックによって抑制されにくい( $J_{LW}^{sr} = 10^{-22} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ )ような場合、 $\ell = 15$ のスケールで、寄与がない場合に対して揺らぎが 35 パーセント増幅し、初代星が寄与した電離史とそうでない場合の電離史との区別がつけられるだろうことがわかった。

[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](#)

## U17a Cosmology with clusters from component separation to cosmological tension

Hideki Tanimura, Nabila Aghanim, marian.douspis (Institut d'Astrophysique spatiale, France)

熱的スニヤエフ・ゼルドビッチ効果(熱的SZ効果)とは、CMB光子が、観測者に到達する途中で銀河団内などの高温ガスによる逆コンプトン散乱を受けて、CMB光子の分布関数に変化する現象のことである。SZ効果は、 $\Lambda$ CDM宇宙論パラメータの決定に用いられており、特に、 $\sigma_8$ (物質の密度ゆらぎ)、 $\Omega_m$ (物質密度)を組み合わせた、 $S_8 \equiv \sigma_8(\Omega_m)^\alpha$ ( $\alpha \sim 0.4$ )の決定に大きく寄与する。この $S_8$ パラメータの観測値は、高赤方偏移側ではCMB、低赤方偏移側では弱レンズ効果や銀河団の個数分布の観測により制限を受けているが、現在この2つの観測値に微妙な差異が見られている。

この差異についてより詳しく調べるため、我々は、プランク衛星の最新観測データ(Planck release 4)から前景放射除去を行い、全天SZマップを作成した。このプランク最新データは、以前のバージョンに比べてSN比が向上しており、その向上が我々が作成したSZマップにも反映されている。前景放射には、現在最新のプランク全天SZマップ(Planck release 2を元に作成)の作成に使われた、MILCA(Modified Internal Linear Combination)を採用した。我々は、この新しいSZマップを用いて宇宙論解析を行い、 $S_8$ パラメータの観測値を導出したので、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](#)

## U18a 宇宙マイクロ波背景放射の銀河団散乱による宇宙初期揺らぎの推定

角谷 健斗, 市来浄興(名古屋大学), 国欽 劉(淡江大学)

我々の宇宙を記述する宇宙論モデルを決定するためには、宇宙の大規模構造の進化つまり密度揺らぎの時間発展を知ることが重要である。通常天文観測では、観測点が遠く離れるほど過去の姿を観測することになる事実を用いて遠くの宇宙と近くの宇宙それぞれで観測された姿を比較することから時間発展を推定しているが、これには統計的な一様性を仮定する必要がある。しかし、もし同じ場所を2つ以上の異なる時刻で観測することができれば、この不定性を除いた密度揺らぎの時間発展が行えるはずである。

そこで我々は観測対象地点の直接観測により得られる時刻以外での情報を得る手法の構築に取り組んでいる。宇宙マイクロ波背景放射(CMB)光子が銀河団内の自由電子に散乱されることで、散乱光には各銀河団周りの最終散乱面上の四重極温度揺らぎに由来する偏光が生じる。この散乱光の偏光を多数の銀河団に対して観測することで、我々の光円錐の内側領域にあたる宇宙の晴れ上がり時での温度揺らぎを再構築することを期待できる。本研究ではこの手法によりどのくらいの精度で再構築が可能かどうかを示すためのシミュレーションを行った。銀河団による散乱光により得たストークスパラメータ $Q, U$ の3次元擬似観測Mapから数理最適化を用いて宇宙初期揺らぎを推定し、この推定した宇宙初期揺らぎの再現精度により手法を評価した。本講演では散乱光の偏光を用いた手法の詳細や、様々な条件に対する宇宙初期揺らぎの再現精度、宇宙論モデルの精査としてダークエネルギーの制限への応用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](#)

U19a インフレーション起源  $B$ モード検出に向けた  $E/B$ モード分離手法の開発

茅根裕司, 日下暁人 (東京大学, Lawrence Berkeley National Laboratory), Reijo Kesitalo (Lawrence Berkeley National Laboratory), Yuyang Zhou (University of California, Berkeley)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の  $B$ モードを数度角及び数十度角スケールで観測することにより、インフレーション起源重力波を検出することが可能である。近年の  $B$ モード測定 of 急速な進展により、原始重力波の大きさを表すテンソル・スカラー比:  $r$  の上限は  $\mathcal{O}(0.01)$  まで狭められてきた。この制限をさらに一桁改善することを目指し、現在、多くの実験が開発・観測を進めている。

測定感度が向上していく中、解析起源の誤差の影響が無視できなくなっている。特に取得された膨大な一次元の時系列データに適切なフィルター操作を施し、二次元のマップを作成する際に生じる  $E$ モードと  $B$ モードの混合が、大きな問題となっている。 $E$ モードと  $B$ モードの混合としては空の一部分であること・重みの非一様性に起因するものがよく知られており、Kendrick Smith (2016) 等による解決手法が広く知られているが、この手法では時系列データへのフィルター操作起源の混合を解決することは出来ない。

本発表では、“Observation Matrix” を用いた  $E/B$ モード分離手法の開発状況について報告する。また、南米チリから前景放射を避けて観測を行なった場合のパフォーマンスと、既にこの手法を南極からの観測に適用している BICEP2/Keck Array との比較を報告する。

[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](#)

## U20a GW170817 のスカラーモード再構成によって行うスカラーテンソル理論のモデルに依存しない検証

具島侑也, 端山和大 (福岡大学)

現在では多くの重力波が直接観測されており、電磁波では観測できないようなブラックホール、ダークマター、重力波の高い透過性から宇宙初期の観測が期待されている。アインシュタインの一般相対性理論によると、重力波はテンソルモードと呼ばれるプラスモードとクロスモードの2つの偏極を持つことが許されている。一方、一般の計量重力理論では2つのスカラーモードと2つのベクトルモードを加えた最大6つの偏極を持つことができる。ビックバン宇宙モデルでは説明ができない宇宙の一様性や平坦性問題を解決するため、インフレーション理論が導入されたが、インフレーションが起きるためにはスカラー場が必要とされており、重力場とカップリングすることで、重力波のスカラーモードを生み出す。偏極の数以上の重力波望遠鏡があると、観測データからテンソルモード以外の偏極を分離することが可能となり、重力波の持つ偏極は重力理論に依存するため、重力波の偏極を調べことは、重力理論の検証に重要である。本講演では、スカラーテンソル理論の検証として、重力理論を仮定することなく、LIGO 2台、Virgo の計3台によって観測された GW170817 からスカラーモードを探索した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](#)

## U21a 電子のラブの寿命と陽子のラブの寿命と宇宙の大きさ

小堀しづ

-273 度における電子のラブの公転軌道は  $1.749 \times 10^{-9} \text{m}$  であり、これ以上大きく成らない。これが電子のラブの寿命である。この時、宇宙の大きさはいくらに成っているか特願 2019-181787 において、現代、地表の電子のラブの公転軌道は  $1.058 \times 10^{-10} \text{m}$  であり、現代の宇宙の半径は 150 億光年だとすると、電子のラブの公転軌道が  $1.749 \times 10^{-9} \text{m}$  に成る時、宇宙の半径を  $x$  光年とすると、次式が成立する。 $1.058 \times 10^{-10} \text{m} : 150 \text{億光年} = 1.749 \times 10^{-9} \text{m} : x \text{光年}$   $x \text{光年} = 150 \text{億光年} \times 1.749 \times 10^{-9} \text{m} \div (1.058 \times 10^{-10} \text{m}) = 150 \text{億光年} \times 16.522 = 2478.3 \text{億光年}$ 。と解いた。これは地表の場合である。例えば、現代、宇宙の電子のラブの公転軌道を  $10^{-14} \text{m}$  の時代であるとする。この時代の宇宙の半径を 150 億光年とする。この場合、電子のラブの公転軌道が  $1.748 \times 10^{-9} \text{m}$  に成る時の宇宙の半径を  $x$  年とすると、次式が成立する。 $10^{-14} \text{m} : 150 \text{億光年} = 1.748 \times 10^{-9} \text{m} : x$ 。  $x = 150 \text{億光年} \times 1.748 \times 10^{-9} \text{m} \div 10^{-14} \text{m} = 150 \text{億光年} \times 1.748 \times 10^5 = 262.2 \times 10^5 \text{億光年} = 2.622 \times 10^7 \text{億光年} = 2622 \text{兆光年}$ 。電子のラブの公転軌道が  $1.748 \times 10^{-9} \text{m}$  に成る時の宇宙の半径は 2622 兆光年です。宇宙全体が -273 度に成る時、宇宙の半径は 2622 兆光年です。電子のラブと陽子のラブの寿命は  $2.622 \times 10^{15}$  条年です。

[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](#)

## V101a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2021

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, S. Sakamoto, G. Kosugi, T. Kojima, K. Kikuchi, M. Hiramatsu (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: Cycle 7 observations, which originally started in October 2019, were resumed in March 2021 after the recovery of most of the array. In addition, the Observatory has prepared for the next cycle of scientific observations, Cycle 8 2021, with a deadline for observation proposals in April 2021. All these activities progress at the same time that the COVID-19 pandemic continues posing challenges in Chile and worldwide. This presentation will provide an update on the latest situation with respect to the status of Cycle 7 operations and the planning towards Cycle 8 2021, which is planned to start in October 2021.

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) in addition to initial studies in hardware and software. In this presentation, we will provide an update on the status of the different projects and studies. In particular, we will report on the status of work towards the implementation of Band 1 and the ACA spectrometer in ALMA, and the demonstration of different technologies towards ALMA2. Moreover, several working groups have been established to consider the update of technical requirements to address the top-level science goals and related development priorities highlighted in the ALMA Development Roadmap and to be implemented during the ALMA2 phase of the Project. An update on this process will be offered.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V102a Progress in Device Fabrication at Microfabrication Cleanroom in NAOJ

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Akihira Miyachi, Tomonori Tamura, Kazumasa Makise, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa (NAOJ)

The microfabrication cleanroom in Advanced Technology Center of NAOJ is a dedicated facility for superconducting devices that support ALMA-J project and other radio telescopes operated by NAOJ and universities. In the recent one year we have been making progress in the following technological aspects. (1) The fabrication of high-current density SIS junctions based on AlN-barrier technology has improved in term of reproducibility. High-Jc junctions are being used in various ongoing projects in the astronomical society, aiming to achieve broadband frequency response; (2) MMICs for sideband separation (2SB) dual-polarization SIS mixer were fabricated for the first time. These MMICs will be used in the development of multibeam SIS receiver technology. (3) Silicon micro-machining was successfully applied in the fabrication of anti-reflection layers for terahertz applications. This work marks the second outcome of our silicon micro-machining technology after the planar OMTs that are integrated in MMICs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V103a RF 211-373 GHz 広帯域 IF SIS ミキサの試作

小嶋 崇文, 上水 和典, 田村 友範, 金子 慶子, 宮地 晃平, Wenlei Shan, Alvaro Gonzalez, 鶴澤 佳徳 (国立天文台), Matthias Kroug (University of British Columbia), 増井 翔, 山崎 康正, 大川 将勢, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府立大学)

国立天文台では ALMA の将来開発を見据えた広帯域受信機の技術開発を進めている。今回、RF 帯域 211-373 GHz (ALMA Band 6+7 に相当) において IF 帯域 4-20 GHz をカバーする導波管型 SIS ミキサ-アンプモジュールを試作したので報告する。SIS ミキサは、別途開発してきた 275-500 GHz 帯広帯域 IF ミキサ (Kojima et al. 2020) に基づいて回路設計した。ミキサブロックにはドロップイン型広帯域 IF アンプを集積可能で、ミキサチップと IF アンプのインピーダンス整合をとることで広帯域な IF 特性を得ることができる。SIS ミキサには  $30 \text{ kA/cm}^2$  の高臨界電流密度接合を使用し、RF および IF 帯双方で広帯域整合するように並列 2 接合型同調回路を採用した。

評価系については大阪府立大学と共同で開発を進め、すでに有する 275-500 GHz 帯の光学系や局部発信機 (LO) 系を更新することで構築した。275-500 GHz 帯では、2つの帯域をカバーするために Band 7 と Band 8 帯の LO 源と周波数ダイプレクサ (Gonzalez et al. 2017) を使うことで LO 導入系を構築した (上水他, 2017 年秋季年会)。しかしながら、今回使用した Band 6 と Band 7 帯の LO 源については 2つのバンドで出力電力差が大きいことから、周波数ダイプレクサではなく 14-17 dB の方向性結合器を使用することで対応した。

試作した SIS ミキサ-アンプモジュールを構築した評価系に組み込み、DSB 雑音温度特性を評価した。その結果、Band 6 帯では典型的に 35K、Band 7 帯では 330 GHz 以下の LO 周波数で 50 K 以下、それ以上の LO 周波数では雑音温度が上昇した。講演では、試作した SIS ミキサ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](#)

## V104a 超伝導体を用いた 4-8GHz 帯 90 度ハイブリッドカプラの試作

有馬 海里 (電気通信大学), 小嶋 崇文, 田村 友範 (国立天文台), 小野 哲, 酒井 剛 (電気通信大学)

現在 ALMA 望遠鏡の 500 GHz 以下の周波数帯では、RF 信号の 2つのサイドバンドを分離して同時に受信する 2SB 方式のヘテロダイン受信機が用いられている。2SB ミキサは、RF ハイブリッドカプラ、RF/LO カプラ、2つのミキサ、IF ハイブリッドカプラから構成される。ALMA 望遠鏡のアップグレードの 1つとして、受信機の間周波数広帯域化が求められており、IF ハイブリッドは 2SB ミキサの広帯域化においてキーコンポーネントの一つである。現行の ALMA Band 4 や Band 8 では、IF ハイブリッドカプラは伝送線路に常伝導体を用いた市販品を利用しているが、広帯域化を実現するにあたって、信号の損失が課題となる。そこで、本研究では、導体損失の低減が期待できる超伝導体を用いた 90 度ハイブリッドカプラを検討した。今回は広帯域 IF ハイブリッドの試作機として、4-8GHz 帯において製作し、回路のモデリングおよび広帯域化に向けた課題抽出等を実施することを目的として試作検証を行った。回路は 4-8 GHz にわたって平坦な特性を得るため 3 段構造とし、1、3 段目には結合の弱いエッジカプラを、2 段目には結合の強いランゲカプラを採用した。本ハイブリッドカプラを国立天文台のクリーンルームにて製作し、ネットワークアナライザを用いて 4 K 環境下で S パラメータ測定を実施した。その結果、シミュレーションと実測値の Amplitude Imbalance、および反射係数に差異が生じるということがわかった。このシミュレーションと実測値の差異について、それぞれ個別回路をシミュレーションし、1,3 段目に採用したエッジカプラ、および 2 段目に採用したランゲカプラについて追加検証をしたところ、ランゲカプラの実測結果とシミュレーションは大部分で一致したが、エッジカプラには差異が生じていることがわかった。本講演ではこれまでにを行ったシミュレーション、実証実験の概要および現在まで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](#)

## V105a アップ/ダウンコンバート Mixer を用いた Isolator のための原理確認実験

増井翔 (大阪府大/国立天文台), 小嶋崇文, 鶴澤佳徳 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和 (大阪府大)

国立天文台では、SIS mixer のアップ/ダウンコンバート時の変換利得を用いたアンプの開発を進めている。我々は、本構成を応用した Isolator (Circulator) の研究に着手している。本 Circulator は、2つの 90 度ハイブリッドとその間の経路の片側に Gyrator を 1 つ用いる。Gyrator とは、順方向には  $\pi$  (または 0)、逆方向には 0 (または  $\pi$ ) 位相を変化させる非可逆回路の一つであり、2つの Mixer それぞれに入力する local oscillator (LO) の位相差を 90° にし、Mixer 間で 90° の位相遅延させることによって構成できる。フェライトを用いた従来型 Circulator と比較すると、本構成では平面回路のみで回路が実現でき、格段にコンパクト化できる可能性がある。上記の Gyrator と、2つの Mixer への LO を同位相、Mixer 間での遅延が 0° とした Mixer  $\times 2$  を 90 度ハイブリッドと接続し、不必要なポートを終端することで Isolator として動作させることができる。本研究では、SIS mixer を用いた Isolator を設計する準備実験として、市販の常温 Mixer などを用いた Isolator の周波数特性や設計時の課題を調査した。

本実験では、200-500 MHz 帯を Base band とし、LO を 2 GHz、アップコンバートされた帯域 LSB: 1.5-1.8 GHz と USB: 2.2-2.5 GHz を Up band とした。Up band での位相を遅延させるための回路には、市販のものでは広帯域な特性を得ることが出来なかったため、SMA のケーブルやコネクタを使用して、2 GHz 付近で 90° になるようにした。代用している位相遅延器では、周波数特性がややあるものの、Main band で Isolation が 10 dB の結果が得られた。最も Isolation が良い周波数では、25 dB の結果が得られ、Isolator として動作していることが確認できた。上記の実験から設計時の注意点や課題が整理でき、特に Isolator として動作させる場合は、Up band 内での位相が非常に重要であることがわかった。本講演では、上記の測定結果や課題点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](#)

## V106a ファブリペロー開放型共振器法を用いたミリ波帯誘電損失の評価

坂井了, 金子慶子, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳 (国立天文台), 広瀬信光, 松井敏明 (情報通信研究機構)

ミリ波帯における光学系材料の正確な誘電特性の把握は、高精度な光学系設計において必要不可欠である。光学系は受信機システムにおける初段のサブシステムであり、システム雑音温度への影響が大きい。欧州南天文台が主導で開発中の ALMA Band2 (67-116 GHz) 受信機では、常温光学系に誘電体レンズを採用予定である。システム雑音温度への寄与を低減するため、極めて低損失な材料な材料を選定する必要がある。しかしながら、ミリ波帯で誘電損失を評価した例は少なく、また、同じ材質でも製造元、成型手法や切り出し部位等により特性に違いが見られる。したがって、高精度な光学系設計には材料の正確な誘電特性を実測により得る必要がある。

2020 年秋季年会では、フリースペース法を用いた誘電率評価システムを報告した。フリースペース法では反射透過特性を用いた測定原理上、低損失材料の誘電損失の評価には適さない。そこで今回、我々は情報通信研究機構にて開発されたファブリペロー開放型共振器を用いて、高精度な測定・解析手法を構築した。構築した手法で得られた誘電率はフリースペース法の結果と良好に一致しており、得られた結果の妥当性を実証した。また、誘電正接においては  $10^{-4}$  オーダーで評価が可能であることが示された。

[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](#)

## V107a The Next Generation Very Large Array - Fall 2021

伊王野大介 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大学), Alvaro Gonzalez (国立天文台), 立原研悟 (名古屋大学), 新沼浩太郎 (山口大学), 永井洋 (国立天文台), 深川美里 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 長谷川哲夫 (国立天文台)

We present an overview and the current status of the Next Generation Very Large Array (ngVLA), including the recent scientific and technical activities of the ngVLA study group, which is managed by the NAOJ along with the members of the science community. A series of successful science workshops were held in the year 2020, leading to ~ 30 science articles (ngVLA-J memo series) in various science fields from local objects to distant galaxies. The study group will host the first ngVLA-J technical workshop on July 15-16, and a Japanese project book will be published in Summer/Fall of 2021.

The ngVLA will be composed of the Main Array with 214 18-m antennas placed around the current JVLA site. This will provide large collecting surface with baselines up to 1000 km, which will translate into unprecedented sensitivity and milli-arcsecond angular resolution at frequencies from 1.2 to 116 GHz, covering the atomic hydrogen line to the lowest rotational transition of carbon monoxide. The Main Array will be complemented with the Short Baseline Array, which will comprise 19 antennas of 6-meter diameter, and 4 antennas of 18-meter diameter operating as single dish telescopes. The highest angular resolution will be achieved by the Long Baseline Array, which will consist 30 18-meter antennas with a longest baseline of 8860 km. The construction led by NRAO is planned to begin in the mid 2020's, and the full operation is expected in the mid 2030's.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V108a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 V : 受信機開発の進捗 II

長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 知念翼, 小川英夫, 大西利和 (大阪府大), 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 金子慶子 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

野辺山宇宙電波観測所にて申請/採択された科研費基盤 S 「重水素分子で探る星形成の極初期」を達成するために、重水素分子帯: EL-band (72-77 GHz), 軽水素分子帯: EU-band (86-93 GHz), および CO 分子帯: CO-band (109-116 GHz) の 3 帯域を同時に観測可能な新たな 7 ビーム 3 帯域・両直交偏波分離 = 42 IF 出力受信機システムを、国立天文台と大阪府立大学の共同で開発している。本受信機は 2021 年冬季の野辺山 45m 鏡搭載→試験観測開始を目標として開発計画されており、予稿現在のところ遅延・予算超過等は無く順調に進捗している。本講演では、本受信機開発の進捗状況について報告する。現時点での主な進捗は次の通りである。

主な進捗 1: 7 ビーム全帯域で高い開口能率を得るべく採用した誘電体レンズ光学系の試験評価が完了し、設計と概ね一致する結果が得られた。これにより本開発計画における最大のリスク要因が解消され、今冬の搭載可能性が非常に高まった。進捗 2: OMT や 3 帯域分離フィルタといった導波管デバイス類の試作評価が完了し、非常に良好な結果が得られた。また、進捗 3: 初段常温導波管 Mixer に入力する 1st LO 信号は、3 種の通倍器 (20 dBm 出力) からの 14 分配で入力とし、その分配・伝送経路は損失の観点から導波管配管のみとし、これが物理的に配置可能であることが確かめられた。これらの進捗により常温ヘテロダイン増幅部の開発リスクが解消され、42 IF 出力の実現性が確定的となった。進捗 4: 分光計入力 ch 数の制限から初動では 14 IF のみが観測可能な状況であるが、これを改善すべく分光計 14 ch の増設検討を進めている。この場合、観測 IF 数は 28 となり、EL-band は常時観測、残る EU, CO-band は IF 周波数を同一に調整し同軸スイッチで選択する予定である。

[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](#)

## V109a 野辺山 45 m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VI : 誘電体レンズを用いたビーム伝送系の設計及び評価

山崎康正, 長谷川豊, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 小嶋崇文, 今田大皓, 金子慶子, 坂井了 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

重水素分子の高感度マッピング観測によって星形成の極初期を探るべく、野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡に搭載する新 7 ビーム受信機 (72–116 GHz) の開発を進めている (長谷川ほか 本年会)。本目的を達成するためには、比帯域 50 % に渡って受信機へ給電可能な光学系が必要である。我々は 67–116 GHz をカバーする ALMA Band2 用のコルゲートホーン (A. Gonzalez et al. 2017, P. Yagoubov et al. 2020) を主軸とし、45 m 鏡 光学系と十分にマッチングの取れた誘電体レンズの基本構造を設計した (山崎ほか 2021 春季年会)。しかし、誘電体で生じる反射損失は 10 dB 程度であり、受信機システムの無視できない。したがって、ビームパターンに影響を与えず、かつ、反射を十分に抑圧可能な構造の構築が重要となる。

上記周波数帯においては様々な構造が検討されている (Tapia et al. 2018, Speirs et al. 2020)。我々は特に鋭角二等辺三角形の溝構造に注目した。電磁界解析により反射について最適化したところ、深さを半波長から一波長程度にすることで  $-25$  dB 以下に抑えられることが分かった。これらがビームパターンに与える影響を調査するため、①溝を直線状に施したレンズ、②溝を円周状に施したレンズの 2 種類を用意し、実測によって比較検討した。その結果、後者ではコルゲートホーンによって生成されたビームの対称性が大きく崩れることが明らかとなった。一方、直線状構造ではビームの乱れは見られず、本年の搭載試験に使用出来る見込みである。

[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 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VII : 広帯域直交偏波分離器の設計と評価

米山翔, 増井翔, 川下紗奈, 山崎康正, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, 小嶋崇文 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

現在、野辺山宇宙電波観測所では 45m 鏡を用いて重水素化合物をターゲットに星形成の極初期段階を探る新たな観測プロジェクトが進められており、軽・重水素化合物および CO 同位体輝線をカバーできる 72–116 GHz を観測する。観測効率向上のために、7 ビーム 3 帯域両偏波広帯域受信機の開発が進められており、この新受信機搭載用の直交偏波分離器を新たに開発している。この直交偏波分離器に求められる特性として、広帯域性 (72–116 GHz) があり、なおかつ、直交偏波分離器の後段に取り付けられる冷却 LNA の反射が観測帯域にて  $-5 \sim -10$  dB と大きいと、定在波の問題を避けるべく直交偏波分離器の反射を小さくする必要がある。本直交偏波分離器は Double-Ridge Boifot Junction 型を採用しており、計 7 つを製造するため寸法誤差の影響が小さくなるように設計されており、製造時の個体差を抑制している。前年会 (増井他 2021 年春季年会) では、冷却収縮も考慮して 70–116 GHz で反射損失  $-25$  dB を下回る低反射で広帯域な直交偏波分離器の設計について報告した。それに基づいて試作を行い、国立天文台 先端技術センターの VNA を用いて周波数特性を測定した。

本測定結果では、反射損失について大部分の帯域では目標値  $-25$  dB を達成したが、一部 100 GHz 付近では反射損失  $-23$  dB とわずかな劣化が見られた。挿入損失及び交差偏波分離度については、それぞれ  $-0.15$ ,  $-40$  dB を下回っており、設計通りの特性が得られた。今後は、シミュレーション結果と比較しながら、上記の反射特性不一致の原因を追求していく。本講演では、この測定の詳細な結果と考察について報告する。

[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](#)

## V111b 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 VIII : 導波管型 Triplexer の設計および評価

川下紗奈, 増井翔, 米山翔, 山崎康正, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, 小嶋崇文 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

我々は重水素分子および CO 分子の高感度マッピング観測を実現するため、野辺山 45 m 望遠鏡に新たに搭載する 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機を開発している。本受信機では、重水素分子帯の 72–77 GHz, 軽水素分子帯の 86–93 GHz, CO 分子帯の 109–116 GHz を観測対象とし、LO 信号を 69, 84, 107 GHz に設定することにより、全ての観測輝線を Upper Side Band で受信した。また、分光計 (SAM45) 入力帯域が 2–4 GHz であるため、急峻な周波数フィルタが必要となる。本研究では、これらを高い Image Rejection Ratio (IRR) で同時観測するための導波管型 Triplexer を開発した。この Triplexer は、Branch Line Coupler と通過帯域 72–82, 109–116 GHz の Band Pass Filter (BPF) を組み合わせた 2 種類の導波管 Diplexer からなる。1 つ目の Diplexer は最も高周波の CO 分子帯のみ取り出し、残りを 2 つ目の Diplexer に伝送する。2 つ目の Diplexer は重水素分子帯を取り出し、残りの軽水素分子帯を反射波として取り出す。この構成により Diplexer 2 つで IRR 20 dB 以上の 3 帯域分離が可能となる。

試作した Triplexer を実測評価した結果、IRR や反射損失等の周波数特性は設計値と概ね一致し、挿入損失は  $-0.6$  dB 以下 (設計値との誤差 4.5 % 以内) であることを確認した。2 種類の BPF の通過帯域では、観測に影響のない範囲でわずかに低周波側へのズレが見られたが、これは再現解析の結果から BPF のひだ部分の切削寸法誤差 (10  $\mu$ m 程度) によるものと考えられ、本製作・量産には問題がないと判断した。今後は実験室での 1 ビーム冷却試験において、スプリアス等の問題がないかを確認し、新受信機への搭載を目指す。

[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](#)

## V112a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進展

堂谷忠靖, 関本裕太郎, 辻本匡弘, 小栗秀悟, 松田フレドリック, 永田 竜, 篠崎慶亮, 小田切 公秀, 綿貫一也 (JAXA), 高倉隼人, 富永愛侑, 中野 遼 (東大), 増村 亮 (東工大), 羽澄昌史, Tjmen de Haan, 長谷川 雅也, 長崎岳人 (KEK), 加藤晶大 (総研大), 片山伸彦, 松村知岳, 桜井雄基, 長谷部 孝, Tommaso Ghigna (東大 Kavli IPMU), 杉山真也 (埼玉大), 高久諒太 (東大), 星野 百合香 (埼玉大), 石野宏和, Samantha Stever, 小松国幹, 高瀬祐介, 長野佑哉 (岡山大), 鹿島伸悟 (NAOJ), 小松 英一郎 (MPA), 他 LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD は、インフレーション起源の原始重力波を検出することを目指した JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA の戦略的中型ミッションの 2 号機で、2020 年代末の打ち上げを目指している。H3 ロケットによって、太陽-地球系のラグランジュ点の一つである L2 に投入され、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光を 3 年間に渡って全天サーベイ観測し、原始重力波の痕跡である 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。この目的を達成するため、およそ 1 度角の分解能で視野  $18^\circ \times 9^\circ$  を持つ反射型低周波望遠鏡 (34–161 GHz), および 透過型の中・高周波望遠鏡 (89–448 GHz) を搭載する。100 mK のベース温度で運用する多色超伝導転移端検出器アレイにより、34–448 GHz の周波数帯域で 15 バンドの多周波観測を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。

LiteBIRD は、JAXA 宇宙研のミッション定義フェーズにあり、概念検討をヨーロッパ、カナダ、米国の国際グループで進めている。国内では、KEK, 東大 IPMU, 岡山大学等の研究機関と協力している。講演では、ミッション部の概念設計、海外機器とのインタフェース調整、国際協力を始めとする計画全体の進展について報告する。

[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](#)

## V113a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 低周波望遠鏡の熱構造歪みによる光学性能への影響

松田フレドリック (JAXA/ISAS), 一色雅仁 (SHI), 小川博之 (JAXA/ISAS), 奥平俊暁 (JAXA/ISAS), 小栗秀悟 (JAXA/ISAS), 小田切公秀 (JAXA/ISAS), 加賀亨 (JAXA/ISAS), 鹿島伸悟 (NAOJ), 佐藤泰貴 (JAXA/ISAS), 関本裕太郎 (JAXA/ISAS), 堂谷忠靖 (JAXA/ISAS), 宮崎康行 (JAXA/ISAS), 吉田誠至 (SHI), 綿貫一也 (JAXA/ISAS), LiteBIRD 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スケール「B モード」シグナルの元となっている。LiteBIRD は原始重力波の精密測定を CMB の偏光観測で行う JAXA 主導の国際プロジェクトである。ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間の大角度スケール観測を 34-448 GHz の幅広い周波数帯域で行い、テンソル・スカラー比を  $\delta r < 0.001$  の精度で測定する計画である。JAXA の戦略的中型ミッション 2 号機として選定されており、2020 年代後半の打ち上げを目指している。

LiteBIRD は 34-161 GHz 観測を行う低周波望遠鏡 (LFT) と 89-448 GHz 観測を行う二台の中高周波望遠鏡 (MHFT) を搭載する。LFT は日本グループが、そして MHFT は EU グループが担当し、精力的に開発が進められている。LFT は二つの反射鏡を用いた crossed Dragone 型望遠鏡であり、広い視野と広域な観測周波数帯で高い光学性能を維持できる光学設計である。LFT 全体を 5 K まで冷却する。そして LFT と衛星とのインターフェースは 30 K に設け、支持構造としては断熱性の高いトラス構造を採用する。本講演では LFT の熱構造設計により想定される反射鏡の歪みを検討し、望遠鏡の光学性能への影響を報告する。

[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](#)

## V114a LiteBIRD 低周波望遠鏡の広視野アンテナパターン測定の高精度化

高倉隼人, 関本裕太郎, 中野遼 (東京大学・ISAS), 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 杉本正宏 (NAOJ)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光の精密観測は、インフレーション仮説を検証する有力な手段として期待されている。LiteBIRD は、CMB の全天観測によりインフレーション由来の B モード偏光の検出を目指す衛星計画であり、2020 年代中の打ち上げを目標に開発が進められている。LiteBIRD に搭載される観測機器のうち、日本が開発を担当する低周波望遠鏡 (Low Frequency Telescope; LFT) は開口径 400 mm のクロスドラゴン型望遠鏡であり、34-161 GHz の周波数帯域を  $18^\circ \times 9^\circ$  の視野で観測する。開発にあたり、銀河面の偏光放射源との混信を生じる広角サイドローブや、疑似偏光を生じる偏光角誤差の広視野での較正が課題となっている。

我々は、実機サイズでの試験の前段階として LFT の 1/4 スケールモデルを製作し、電磁氣的に等価となるように同じくスケールした波長のミリ波を用いて、LFT アンテナの光学特性評価を行っている。これまでに、開口近傍での電場の振幅と位相からアンテナパターンを求める近傍界測定により、視野の中央および端での広角サイドローブを 7 桁以上のダイナミックレンジで評価した (Takakura et al., IEEE TST 2019) ほか、LFT スケールモデルと同程度の大きさのクロスドラゴン型光学系で参照波面を作り、視野内の偏光角の分布を 0.1 分角の分解能で測定した (Takakura et al., Proc SPIE 2020)。

一方で、これまでの測定では、CMB 光の代替として用いた参照波面や焦点面検出器の代替として用いたフィードホーンと、LFT アンテナの偏波特性との分離精度に課題が残った。そこで、今回の発表では、フィードホーンを新たに開発したコルゲートホーンに置き換えるとともに、観測方向にあわせて傾けた測定面上で電場を測定する近傍界測定により、偏波特性を含めたアンテナパターンをより高精度に評価する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](#)

## V115a LiteBIRD 低周波望遠鏡のホログラフィー近傍界アンテナパターン測定法の開発

中野遼, 高倉隼人, 関本裕太郎 (東京大学・ISAS), 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 杉本正宏 (NAOJ)

LiteBIRD はインフレーション期に生成されたとされる原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射に残す痕跡である B モード偏光を全天精密観測を通じて検出することを目的とした衛星である。LiteBIRD に搭載される低周波望遠鏡 (Low Frequency Telescope; LFT) の開発は JAXA が主導する。

これまでに、LFT の光学特性を評価するためにいくつかの測定手法が試みられてきた。その一つは開口面で電場の振幅・位相測定からアンテナパターンを導出する近傍界測定である (Takakura et al. 2019 IEEE TST)。しかし LiteBIRD で利用予定の超伝導転移端検出器 (TES) は位相の情報は読み取れないため、検出器と LFT 光学系を組み合わせた実機評価試験等においては古典的近傍界測定は利用できない。これに対応する一つの方法として、LFT とは別の評価用光学系が作る参照平面波を用いて LFT 遠方界パターンを導出する方法 (コンパクトレンジ) が開発されてきた (Takakura et al. 2020 Proc SPIE)。ただし、評価用光学系のサイズは LFT の開口を十分にカバーする必要があるためコンパクト化するには限界がある。

本講演では近傍界測定系をベースにした新たな LiteBIRD 光学測定法 (ホログラフィー近傍界測定) の開発状況を報告する。これは、LFT 開口面から入力された近傍界測定用信号と主鏡・副鏡間の隙間から入射された参照信号を焦点面において干渉させ、その振幅情報のみから開口面の位相情報を復元取得するものである。参照光学系を用いないことからコンパクトな測定系が実現できる。発表では LFT スケールモデルでの実証と得られた位相精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](#)

## V116a 200 GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発：伝送線路構造と雑音特性の関係

中島 拓, 溝口 玄真, 山口 倫史, 加藤 智隼, 藤森 隆彰, 藤井 由美, 水野 亮 (名古屋大学), 江崎 翔平, 宮地 晃平, 藤井 泰範, 小嶋 崇文, Shan Wenlei, 鶴澤 佳徳 (国立天文台), 野口 卓 (電気通信大学)

我々は、200 GHz 帯 (WR-4 導波管規格帯域: 172–261 GHz) で使用可能な広帯域超伝導 SIS 素子を開発している (加藤他 2014 秋季; 2015 春季; 2016 春季年会参照)。ヘテロダイン受信機の雑音性能は、ミクサの自己雑音とミクサが有する変換利得に依るが、一方で利得の高いミクサになると大きな入力電力に対して出力が飽和してしまうことが問題となる (e.g., Feldman et al. 1987)。飽和度は変換利得に比例して大きくなる一方、SIS 接合の直列接合数 ( $N$ ) の二乗に反比例することが実験から示されている (Crete et al. 1987)。そこで我々は、ミリ波・サブミリ波帯ミクサの飽和特性の理解と線形性の改善を目指し、100 および 200 GHz 帯で  $N=3-5$  の新たな直列接合型素子を設計・製作し、性能評価を行ってきた (中島他 2018 春季年会; Nakajima et al. 2018 参照)。

本発表では、特に 200 GHz 帯 ( $N=4$ ) の SIS 素子の開発成果を示す。インピーダンス整合回路の長さをパラメータとした 2 種類の素子について、それぞれ複数本を評価した結果、最も良い性能を示した素子の受信機雑音温度は、局部発振周波数 220 GHz 付近において約 25 K (量子雑音限界の約 2.5 倍) であり、200–239 GHz の範囲で 50 K 以下、165–250 GHz の範囲で 75 K 以下という良好な性能を示すことが確認された。これは、国内の複数のミリ波観測装置で現在使用されている素子と比べて、約 2.5 倍の広帯域化が達成されたことを示している。

講演では、(1) SIS 接合を直列に接続する線路構造、(2) 給電点と SIS 接合間のインピーダンス整合回路、(3) 整合回路の線路 (マイクロストリップライン及びコプレーナーウェーブガイド) 端で発生すると思われる寄生成分が、それぞれどのように雑音温度の周波数特性に関係しているかを評価・解析した結果を報告する。

[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](#)

## V117a 次期国際火星探査 Mars Ice Mapper 計画のサブペイロードを見据えたテラヘルツヘテロダイン分光装置 THSS の検討

前澤裕之, 濱口優輝, 米津鉄平 (大阪府立大学), 佐川英夫 (京都産業大学), 黒田剛史 (東北大学), 西堀俊幸, 山崎敦 (JAXA), 落合啓 (NICT), 他 THSS チーム

現在、火星探査が世界各国で加熱し、大気化学/輸送や散逸過程を紐解くオービターや、表層物質のローバー探査、飛行体による実証実験など様々な調査・研究が展開されている。こうした中、米国 NASA/カナダ宇宙庁 CSA では、将来の有人探査に向けて Synthetic Aperture Radar (SAR) により水資源を探る次期国際火星探査計画 Mars Ice Mapper の概念検討が進んでいる。この衛星バスは JAXA が検討しており、サブペイロードの候補の 1 つとして、GaAs ショットキーバリアダイオードのサブハーモニックミキサ検出素子を実装した低消費・小型の 3 バンド 0.4/0.8/0.9THz 帯ヘテロダイン分光装置 (THSS) の議論が進んでいる (消費電力  $\lesssim 90$  W、重量  $\lesssim 30$  kg)。これは SAR の水資源探査とのシナジーを見据えたもので、大気微量分子や同位体を調べることで火星の水を含めた物質循環や大気科学に迫るのが狙いである。特に THSS は、太陽背景光源を必要とせず、緯度・経度、高度、Local-time を広範囲に渡ってリムサウンディング/ナディア観測できる強みをもつ。また、ダストやエアロゾルの吸収・散乱の影響を受けにくい特色も有す。このため、火星がダストストームで覆われる時期でも、火星の気象や物質輸送を支配して地表面と相互作用する境界層近傍まで見通すことが出来る。もともと THSS は日本学術会議の大型研究計画マスタープラン 2020、戦略的火星探査：周回・探査技術実証機による火星宇宙天気・気候・水環境探査 (MACO) 計画において検討がなされていたもので、本ミッションでは新たに、乾熱滅菌など火星特有の惑星保護カテゴリ IV の対応が必要となる。本講演では THSS の科学目標や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](#)

## V118a FPGA のみで実現する完全デジタルな電波分光計 (ARDS) : 傾斜型 ADC シミュレータの開発

松英裕大<sup>1</sup>, 西村淳<sup>2</sup>, 松本健<sup>3</sup>, 米津鉄平<sup>3</sup>, 中尾優花<sup>3</sup>, 藤田真司<sup>3</sup>, 前澤裕之<sup>3</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 大西利和<sup>3</sup>, 小川英夫<sup>3</sup> (1:名古屋大学, 2:東京大学, 3:大阪府立大学)

我々は傾斜型 ADC と FFT 演算器を同じ FPGA 上に実装し、1 チップで構成できる電波分光計 (ARDS) の開発に取り組んでいる。この方式を利用することで部品点数を少量化でき、低コストで広帯域な分光計を製作できる。現時点では FPGA 評価ボードの PYNQ-Z1 (Digilent 社) に 600 MSPS, 6.6 bit の ADC と 1024 点の FFT を搭載した試作機 (Nishimura et al, PASJ 2021) が完成し、Orion KL に対して行った実証試験で観測に成功している。一方で傾斜型 ADC は時間・電圧の量子化間隔が不均一なため、ENOB や SFDR の低下が起こる。現時点での試作機はまだこれらの指標が低い (それぞれ 1.4 bit, -19.9 dBc @63 MHz)、観測に影響する可能性がある。本講演では Python を用いて作成した傾斜型 ADC の動作シミュレータについて報告する。このシミュレータは傾斜型 ADC の振る舞いへの理解を深めることで上記の課題の解決策を模索し、今後の広帯域化に備えるために製作した。仮想的な入力信号と参照信号の時系列電圧値を与えることで傾斜型 ADC の演算を再現し、得られる分光スペクトルを導出するものである。試作機に信号発生器からの信号を与えた際に発生するスプリアスの発生周波数・強度と SFDR について、シミュレータを用いて導出した結果と良く一致することが確認できている。今後はこのシミュレータを利用して 1. 最適な参照波の形状や 2. タイムインターリーブを実装した際にどの程度性能が向上するか の 2 点について検討を行いたいと考えている。また、S/H 回路を実装した場合の挙動や ENOB, SFDR が悪い場合、サイエンス観測での観測効率にどう影響を与えるかについても検証を行う予定である。

[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](#)

## V119a ROS 2 を用いた電波望遠鏡制御のための分散コンピューティングシステムの負荷試験

西川薫, 山田麟, 西岡丈翔, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 松本健, 近藤滉, 上田翔汰, 小西亜侑, 西本晋平, 中尾優花, 藤田真司, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 西村淳 (東京大学)

電波望遠鏡の制御システムは同時に多数の機器と通信し、大量のデータを適切に扱う必要がある。我々はロボット制御のためのオープンソースのフレームワークである Robot Operating System (ROS) を用いることで、望遠鏡全体を統一的に扱える制御システム NECST (NEw Control System for Telescope) を開発し、大阪府立大学 1.85-m 望遠鏡および NANTEN2 望遠鏡の柔軟なシステムを実現している (Nishimura+2020)。

ROS は node と呼ばれる小さなプログラムを組み合わせてシステムを構成する。node 同士は多対多通信で情報をやりとりするため、機能の追加や変更が容易にできる。しかし従来の ROS (ROS 1) の多対多通信は TCP で実装されており、NECST の開発においても通信量の過多が表面化してきた。ROS 2 では通信方式が UDP をベースに QoS を実装した DDS に変更されたことで通信量が減少し、特にシステムの拡張に伴って多対多通信が増加した場合にも対応できる。さらに個々の通信の質もユーザーが設定できるようになり、NECST を通信の状態に左右されにくく、冗長性の高いシステムへと更新することが可能となる。

そこで我々は ROS 2 を用いた新しい NECST の設計を行った。新 NECST はシミュレータモードを含めることでさらに開発のしやすいシステムとする。これまでに行った性能試験で ROS 2 の 1 対 1 通信における遅延は ROS 1 と同等であることが確認された。今後は多数の PC を使い、実際の望遠鏡システムに近い環境での負荷試験を行った上で、通信の信頼性等についても確認を進める予定である。

[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](#)

## V120c 山口 32m 電波望遠鏡の駆動系に生じたガタと対策

藤沢健太 (山口大学)

山口 32m 電波望遠鏡の駆動系に生じた故障とその原因の解明、および対策について報告する。

2021 年 1 月、山口 32m 電波望遠鏡の天体追尾精度が急激に悪化した。仰角方向の追尾に変化はなく、方位角方向の追尾に 10 分角を超える誤差が重畳するようになった。南天の天体では誤差は負 (天体に対して遅れる) である一方、天体追尾時に方位角が減少する北天の天体では誤差は正の値となった。これはバックラッシュ (ガタ) を想起させる現象である。

この問題を生じさせる可能性がある角度のエンコーダ、角度検出機構のギヤ、軸接手などを調査した結果、これらの部分に全く異常はなく、ガタは生じていなかった。異常があったのは、角度検出機構のギヤと噛合う大型ギヤを載せる台の位置である。大型ギヤはアンテナ下部の建物に固定され、回転するアンテナに固定された角度検出機構との相対位置でアンテナの方位角を検出する仕組みである。この大型ギヤ+台がアンテナの回転に引きずられて 5mm ほど位置が前後にずれるのが、ガタの原因であった。

本来、大型ギヤ+台はアンテナとともに回転する部分とは物理的に離れているべきであるが、何らかの理由により両者が接近、接触し、摩擦を生じて引きずり現象を起こしている。したがって対策は両者を物理的に離すことになる。これは 2mm 厚のスペーサーを大型ギヤ+台の底面に挿入することによって実施した。この方法は成功し、天体追尾は従来の精度に復旧した。

今後、他の大型アンテナでも同様の現象が生じる可能性があると考えられるので、日本天文学会で報告し、情報共有することとした。

[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](#)

## V121a 超伝導検出器焦点面に適した低熱収縮シリコンアルミ合金の極低温特性評価

竹腰達哉 (北見工大), 李建鋒, 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平 (東京大), 長沼桐葉 (電通大), 丹羽佑果 (東工大), 藤田和之, 香内晃 (北海道大), 中坪俊一 (宇宙科学研究所), 美馬寛 (NICT), 大島泰 (国立天文台)

ミリ波・サブミリ波帯の広視野カメラは、初期宇宙の星形成銀河やスニヤエフ-ゼルドビッチ効果を用いた銀河団の超高温ガスの広域探査観測を実現するうえで重要である。マイクロ波力学インダクタンス検出器などの超伝導光子直接検出器の大規模アレイ化は、その中核となる技術的課題である。検出器群を実装したシリコン基板は、アルミニウム製のホーンアンテナアレイやバックショート構造と組み合わせたうえで、極低温焦点面に設置される。しかし、焦点面の大型化に伴って、冷却時にシリコンとアルミニウムの熱膨張率の違いにより発生するアライメント誤差やデバイス破損が問題となる。そこで近年、低い熱膨張率 (アルミニウムの約 1/3)、かつ超伝導検出器の性能に悪影響を与えない非磁性材のシリコン-アルミニウム (SiAl) 合金 Sandvik Osprey CE7 が、CLASS や AdvACT などの観測プロジェクトでホーンアレイ材などとして利用されている。

我々は、CE7 と同等の組成比 (72wt%Si) と室温での材料特性を示す、SiAl 合金 Japan Fine Ceramics SA001 の極低温での特性評価を実施したので報告する。まず、SA001 の室温 (273 K) から液体窒素中 (77 K) にかけての熱収縮量は  $\Delta L/L = 1.2 \times 10^{-4}$  であり、CE7 と同等であった。また、SA001 の超伝導転移温度は 1.18 K であり、アルミニウムや CE7 とよく一致した。さらに、残留抵抗 (1.5K) は  $0.06 \mu\Omega\text{m}$  が得られ、CE7 ( $0.5 \mu\Omega\text{m}$ ) の 1/8 であった。これにより、大型焦点面の冷却に重要な高い熱伝導率 ( $0.24 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) が期待でき、SA001 は大型の極低温焦点面での使用に最適と考えられる。また、難削材でもある SA001 で微細加工が可能を確認するため、導波管やコンカルホーンの試作を行ったので、その評価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](#)

## V122a 多色サブミリ波カメラ用超広帯域反射防止技術の開発

長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛 (電気通信大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学)

我々は宇宙構造形成史・星形成史の解明を目標に、広視野かつ超広帯域 (120-720GHz) の多色同時撮像型ミリ波サブミリ波カメラの開発を進めている。本カメラでは超伝導検出器を 0.25K に冷却することで高感度を実現するが、その冷却系の真空断熱に必要な真空容器には、光学能率を最大化するために、大口径かつ超広帯域で反射損の低い真空窓が不可欠となる。真空窓には、強度が高く、サブミリ波帯での吸収係数の小さな超高分子量ポリエチレン (屈折率  $n=1.52$ ) が広く用いられるが、窓と真空の界面での屈折率の違いに起因する反射は片面で 4% にもなる。そこで、真空と窓材の間に、中間の屈折率を持つ膜を入れることで、反射防止を実現する。しかし、本カメラで要求される超広帯域を実現するためには、屈折率で等比的に複数層積層する必要があるものの、特に  $n=1.3$  程度で様々な厚みを持つ膜材に乏しいため、本カメラで目指すような超広帯域の真空窓が実現した例はない。

そこで我々は、この材料不足を克服する技術として、薄い膜材を組み合わせることで任意の屈折率を得る方法を検討した。膜材の接着には、融点が低い低密度ポリエチレンの熱融着が用いられる。その屈折率は窓材の超高分子量ポリエチレンと同程度の  $n=1.52$  であるが、この接着層と低屈折率の膜材を組み合わせることで、必要な屈折率を得られる。我々はこの考えに基づき、様々な厚さの接着層と低屈折率材料を組み合わせることでシミュレーションを行い、観測帯域内で反射損失が最小になるものを探したところ、接着層を含む 7 層で 120-720GHz の平均反射損失が < 2% となる設計解を得た。これによって従来の屈折率の自由度の低さによる材料不足を克服し、窓の超広帯域な反射防止の実現が可能となる。本講演では、この反射防止膜の試作状況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](#)

## V123b 多色サブミリ波カメラ用超広帯域準光学バンドパスフィルターの開発

宇野慎介, 陳家偉, 井上修平, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学)

銀河団におけるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の測定やサブミリ波銀河サーベイの実現に向けて、我々は広視野かつ広帯域のミリ波サブミリ波帯多色カメラの開発を進めている。本カメラの検出素子では、オンチップのバンドパスフィルターを用いて天体信号を3色の観測帯域へと弁別して検出する。一方、観測帯域外からの放射が検出素子に流入した場合、オンチップフィルターを介さずに3次元的な放射漏れとして光子検出器と結合することで、測定誤差の要因となりうる。そこで観測帯域外の不要な放射の流入を抑制するために、焦点面検出器アレイの前面に準光学的周波数選択フィルターを設置する。この準光学フィルターには、多色カメラの低周波3色に対して130–295 GHz (比帯域0.78) のバンドパス特性が要求されるが、天文用途でのこのような超広帯域バンドパスフィルターは過去に例がなく、また設計手法も確立されていなかった。

本研究では、金属膜にサブ波長の周期的パターンを設けたメタルメッシュフィルターと呼ばれる準光学フィルターの開発を行った。フィルターの製造には近年の微細化が著しい商用のフレキシブルプリント基板 (FPC) 製造技術を利用した (宇野他、2019年春季年会 V108a)。また、多段フィルターの透過特性モデリングに関して3次元電磁界シミュレーションと回路シミュレーターを併用した高速な設計最適化手法を開発し、現実的な計算時間内に最適な設計を抽出できるようになった。そして低周波3色用の最適設計に基づきFPCを製造、積層することで3段のメタルメッシュフィルターを得た。光学測定を実施したところ、3色の各帯域内で平均90%以上の高い透過率が確認できた。本講演では上記準光学フィルターの設計・製造手法および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](#)

## V124b An Iterative Reconstruction Algorithm for Faraday Tomography

Suchetha Cooray, Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya U.), Takuya Akahori (NAOJ), Yoshimitsu Miyashita (Kumamoto U.), Shinsuke Ideguchi (Radboud U.), Keitaro Takahashi (Kumamoto U.), Kiyotomo Ichiki (Nagoya U.)

Faraday tomography offers crucial information on the magnetized astronomical objects, such as quasars, galaxies, or galaxy clusters, by observing its magnetoionic media. The observed linear polarization spectrum is inverse Fourier transformed to obtain the Faraday dispersion function (FDF), providing us a tomographic distribution of the magnetoionic media along the line of sight. However, this transform gives a poor reconstruction of the FDF because of the instrument's limited wavelength coverage. The current Faraday tomography techniques' inability to reliably solve the above inverse problem has noticeably plagued cosmic magnetism studies. We propose a new algorithm inspired by the well-studied area of signal restoration, called the Constraining and Restoring iterative Algorithm for Faraday Tomography (CRAFT). This iterative model-independent algorithm is computationally inexpensive and only requires weak physically motivated assumptions to produce high-fidelity FDF reconstructions. We demonstrate an application for a realistic synthetic model FDF of the Milky Way. CRAFT show more significant potential over other popular model-dependent and model-independent techniques by accurately capturing complex multi-scale features. The proposed approach will be of utmost importance for future cosmic magnetism studies, especially with broadband polarization data from the Square Kilometre Array and its precursors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V125a Simons Observatory, Large Aperture Telescope のための較正光源の開発

金子大輔 (KEK 素核研), 鈴木惇也 (京都大)

Simons Observatory (SO) は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測を通して宇宙論と素粒子物理における問題を探索する国際共同実験である。SO は大小計 4 台の望遠鏡を用いて 2022 年から観測を行う予定である。大きい方の Large Aperture Telescope (LAT) は有効径 6.0m の大型の主鏡を有し、高い空間分解能での観測を担当とする。

LAT では反射鏡の裏側に較正光源を設置し、較正信号を照射することで検出素子である Transition Edge Sensor の較正をする計画が提案されている。短時間の較正運転で焦点面の全検出器にわたり較正をおこない、検出器の応答特性に起因する不定性の削減に貢献することが期待されている。較正光源「スティミュレーター」は高温になるヒーターからの熱放射を内部の光学系で指向させ、回転するチョッパーを用いて変調することで較正信号を作る。

本講演では、装置への要求と概念設計。各主要部分の機械設計、実験室で実施された評価試験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](#)

## V126a Simons Array 実験における惑星観測による検出器評価

山田恭平 (東京大), 金子大輔 (KEK 素核研), 日下暁人 (東京大), 高取沙悠理 (総研大), 高倉理 (気象研), 茅根裕司 (東京大), 西野玄記 (JASRI), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 濱田崇徳 (東北大), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 廣瀬開陽 (横浜国大), 松田フレドリック (ISAS), 南雄人 (大阪大) 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験 (SA) は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 地上観測実験である。特に奇パリティ偏光パターン (B モード) の測定による、初期宇宙の指数的膨張であるインフレーションの検証及び、ニュートリノ質量和の精密測定を目的とする。SA は南米チリのアタカマ砂漠において観測を行い、1 台目の望遠鏡については受信機の改良作業を完了、2021 年より観測を再開している。2 台目の望遠鏡の観測開始も 2021 年を予定している。CMB 観測において、惑星の観測は望遠鏡 1 台当たり約 7500 個の検出器を評価する上で重要な役割を果たす。点光源としての惑星は各検出器のビーム特性や光学的方向、時定数の評価に用いられる。また、良く知られた惑星の輝度は各検出器ノイズレベルの絶対値の評価に用いられる。本講演では惑星観測によるこれらの検出器評価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](#)

## V127a Simons Array 実験における較正光源を用いた検出器性能評価試験

高取沙悠理 (総研大), 金子大輔 (KEK 素核研), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大), 鈴木有春 (LBNL), 高倉理 (気象研), 茅根裕司 (東京大), 西野玄記 (JASRI), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 廣瀬開陽 (横浜国大), 松田フレドリック (ISAS), 山田恭平 (東京大), 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験 (SA 実験) は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) に生成される B モードと呼ばれる特殊な偏光パターンの精密観測を行うことで、インフレーションモデルやニュートリノ質量和に強い制限を与える事を目的とする。SA 実験では 3 台の望遠鏡を使用し、南米チリのアタカマ観測所において CMB 偏光の精密観測を行う。3 台のうち最初の望遠鏡のレーザーのインストールは完了し、運用試験が現在進行中である。望遠鏡内部には検出器較正用の参照光源として黒体放射光源装置が設置される。光源装置の信号に対する検出器の出力を評価することで検出器の光学的な性能評価を行うことが出来る。本発表では、較正光源を用いた光学試験についての報告を行う。

[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](#)

## V128a 狭帯域 RF 発振器を用いた Simons Array 望遠鏡の検出器の特性評価手法の研究

廣瀬開陽 (横浜国大), 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験は、チリのアタカマ高地に設置した 3 台のミリ波望遠鏡によって宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光 B モードを合計 4 帯域で精密に観測するプロジェクトであり、インフレーション理論の実証、およびニュートリノ質量和の制限を目標としている。Simons Array 実験で用いる受信機はそれぞれ 7588 個の TES ボロメータを搭載した大型検出器アレイを擁しており、一つの受信機で 2 帯域の CMB 偏光を同時に測定する。この検出器の観測周波数スペクトルや観測偏光角度といった特性はあらかじめ人工光源を用いて正確に評価しておくことで、CMB 偏光 B モード観測へ与える系統誤差を抑制することが可能である。

本研究では、狭帯域 RF 発振器を光源として用いた測定装置を開発し、実験サイトにて大型検出器アレイ上の検出器の特性を評価することを目指している。この装置での測定では、光源の制御にフィードバック制御を導入することにより発振器の強度変動や TES ボロメータの限られたダイナミックレンジに対処することを考えている。本講演ではサイトでの特性評価試験の具体的な計画や、その準備状況、および実験室での予備実験の状況を報告する。

[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](#)

## V129a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発 (I)

氏原秀樹 (京大/情報通信研究機構), 市川隆一, 関戸衛 (情報通信研究機構), 宗包浩志, 宮原伐折羅, 小林知勝 (国土地理院), 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台), 竹内央 (JAXA), 今井裕 (鹿児島大)

JSPS 科研費 JP18H03828 の助成を受けて次世代高感度マイクロ波放射計を開発中である。これは 15-60GHz 程度の広帯域フィードと OMT により 22GHz 帯の大気中の水蒸気だけでなく、その計測の誤差要因となる 30GHz 帯の雲中の水滴、50GHz 帯の酸素の放射も 1 台の受信機で同時に計測するものである。2019 年 10 月に VSOP-2/ASTRO-G 衛星用 22GHz 帯の多モードホーンの試作品を NICT 沖縄センターの 3.7m アンテナに搭載し、常温受信機ながら 30GHz までの試験を行なった。2021 年 3 月に NICT 鹿島にてフィード部分のみで 50GHz 帯の受信試験を行い、雑音温度は高いものの広帯域フィードと OMT の動作は確認できた。しかし新型コロナによる出勤・出張制限が厳しいままであるため、最終年度となる 2021 年度は三好真 (国立天文台) の協力によりへう絞り 90cm パラボラ鏡での可搬局を製作し、高い空間分解能での試験を予定している。

この設計を踏まえ、JSPS 科研費 21H04524 の助成を受けて 15-60GHz 程度の帯域内で様々な VLBI 観測に利用可能な広帯域フィードと OMT の開発に着手した。大気放射計を兼ねた広帯域受信機により VLBI 観測と同時に同一視線の水蒸気量を測定して水蒸気遅延量の精密補正を目指すものだが、現状では VGOS や Gala-V と同様に直線 2 偏波受信となる。NICT 鹿島で VLBI による大陸間での光格子時計の精密周波数比較実験 (Gala-V) のために開発した広帯域フィードの帯域は 3.2-16GHz (最大最小周波数比 5) なので OMT にはクワッドリッジ導波管と市販の SMA 端子を使用しているが、これをそのまま縮小しても製作困難である。今回はプリント基板アンテナを利用したが透過損失の低減と平坦性の向上が課題であり、今後のシミュレーションで性能を改善していきたい。

[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](#)

## V130a 水沢 10m 電波望遠鏡の低周波観測に向けたシステム向上

亀谷收, 本間希樹, 小山友明, 河野裕介, 平野賢, 上野祐治, 浅利一善, 山内彩, 朝倉佑, 佐藤元, 松川夕紀, 蜂須賀一也, 高橋賢, 鈴木駿策 (国立天文台), 寺澤敏夫, Eie Sujin, 池邊蒼太 (東京大学), 福迫武, 春口将太郎 (熊本大学), 馬渡健太郎 (岩手大学)

国立天文台水沢 VLBI 観測所口径 10m 電波望遠鏡を使った多周波観測に向けたシステム開発を行っているので報告する。1992 年に完成して運用を開始したこの望遠鏡は、来年で運用開始 30 周年を迎える。これまで、S/X 帯の測地観測 (IRIS-P) や K 帯で主に行われた国内 VLBI 網 (J-Net) をはじめとする 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、Nano-JASMINE 衛星の S 帯のダウンリンク局としても使用する予定である。

一方、ここ数年 SKA などの低周波数帯で行われる大型装置を使った観測研究意欲が国内でも非常に高まりつつある。パルサー観測や transient 天体観測を低周波数に向けた観測装置を整備する必要性が出ている。

今回、既存の S 帯のシステムを改良して、RF 信号のまま観測棟で記録できるシステムを構築した。これにより、パルサー等の観測に向けた準備が進んでいる。更に、より低い周波数での受信システムの開発も並行して進めている。本講演では、それらのシステム改良の詳細と結果、将来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](#)

## V131a SKA プロジェクトへの参加計画4

小林秀行, 赤堀卓也, 河野裕介, 廣田朋也, 小山友明, 寺家孝明, 砂田知良, 亀谷收, 本間希樹 (国立天文台 SKA1 検討グループ) 高橋慶太郎 (熊本大学)

本講演では、SKA 計画の進捗と日本の参加計画の検討の進捗状況について報告する。SKA1 計画は、2021 年 5 月から国際機関としての SKA Observatory が国際条約に基づいて発足した。併せて建設計画と 10 年間の運用計画が承認され、建設が開始されている。建設費、10 年間の運用費を合わせた総額は、1,986M ユーロである。各国の分担についてもほぼ決定し、SKA 本部と各参加国間での建設仕様書の策定と予算貢献額の調整が進められており、今年度内にほとんどの契約を完了させる予定で進んでいる。日本では、2008 年に組織された SKA Japan コンソーシアムを中心に科学検討が進められてきており、Key Science Project の検討のために Science Working Group にも参加している。2019 年からは国立天文台の SKA1 検討グループが組織され、参加の検討、交渉が進められており、発足した国際機関 (SKAO) の理事会にオブザーバとして参加している。日本は AIV (Assembling, Integration, and Verification) に参加する意図を示しており、2020 年からは SKA1 LOW/MID への AIV 活動に in-kind に参加が始まっている。MID は主担当国が南アフリカで、その他に日本とポルトガルが参加している。LOW は、主担当国はオーストラリアで、その他に日本とオランダが参加している。SKA Regional Center の検討 WG にも参加し、システムの検討を進めている。これらを踏まえて、また 2022 年からのプロジェクト化を目指して、プロジェクト提案を準備しており、日本の参加案の検討状況を報告する。

[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](#)

## V132b SKA1 LOW に向けた VLBI 観測計画

小林秀行, 赤堀卓也, 河野裕介, 小山友明 (国立天文台 SKA1 検討グループ) 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大学 PPARC), 岳藤一宏 (JAXA), 高橋慶太郎 (熊本大学)

SKA1 LOW は、西オーストラリアに建設が開始され、2027 年の完成を目標している。この観測周波数帯は 50 - 350MHz である。この周波数帯を用いた VLBI 観測計画とそれに向けた準備研究計画を提案する。従来の VLBI 観測は定常的には 320MHz がもっとも低い周波数であった。しかし SKA1 LOW1 が建設されることにより、さらに 6 倍以上の低い周波数での VLBI 観測が現実的になる。低周波数 VLBI 観測の特徴は、シンクロトロン放射でも超新星残骸やガンマ線バースタなどの放射強度が強くなり、系外天体などの観測可能性が広がる点や太陽系外惑星からのオーロラ電波放射や木星電波放射など観測可能性が考えられることである。それ以外にもパルサー、トランジェント天体、高赤方偏移メーザー天体などのサイエンスケースが考えられている。SKA1 LOW を用いた VLBI 観測研究に向けての準備研究として、従来は試験的に 1 基線での観測が行われたものに対し、飯館局 (東北大) ,GMRT (インド) ,MWA (オーストラリア) による 3 基線による 100MHz-300MHz の VLBI 観測を計画している。これらについて、システム、観測感度、空間分解能などを示し、研究可能性について発表する。

[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](#)

## V133b 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発

知念翼, 米山翔, 川下紗奈, 増井翔, 山崎康正, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学) 米倉覚則 (茨城大学) 清水裕亮, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学)

現在、茨城大学が整備・運用を行なっている 2 台の 32 m 電波望遠鏡 (高萩、日立) は 6.7 GHz メタノールメーザーおよび連続波 (6.6–7.1 GHz および 8.2–8.7 GHz) の VLBI 観測・単一鏡観測に使用されている。大質量星形成時の突発的な質量降着率の増大に伴い、6.2, 7.6, 7.8, 12.2 GHz の各メタノールメーザーが天体からの信号として 2019 年に初めて検出された (Breen et al. 2019, MacLeod et al. 2019)。これらのメーザーを観測する事により、大質量星形成の新たな知見を得る事ができると期待される。しかしながら上記望遠鏡の受信機では、給電部に使用されている円偏波分離器により一部の周波数 (7.6, 7.8 GHz) は観測することができない。それは円偏波分離器がセプタム型であり、その構造からくる共振を避けることができないからである。また比帯域が狭い (40%) ため、6.2 GHz および 12.2 GHz のメーザーも観測できない。今回、従来の倍以上の周波数帯 (6–12 GHz) で観測可能な円偏波分離器の開発を行う。その構造は位相遅延器と直交偏波分離器 (OMT) を組み合わせたものである。

OMT の比帯域を 60% 以上を目指すには turnstile 型が適しており採用した。その他の component は combiner, H-Bend, E-Bend を用いる。つまり turnstile 部分で直交偏波を分離し、H-Bend, E-Bend を通過させ combine する。現在は、この OMT の各パーツの最適化設計を行なっている。turnstile 部分では比帯域 63% で反射が -25 dB 程度の結果が得られている。その他の component についても、-25 dB 以下の低い反射が得られている。さらに位相遅延器としては広帯域に適したダブルリッジ+コルゲート型の採用を検討している。講演では、設計等の進行状況について述べる。本研究は JSPS 科研費 JP21H01120 の助成を受けたものである。

[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](#)

## V134b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 2021B

米倉覚則, 田辺義浩, 岩田悠平, 伊藤美穂, 高木奏人, 永野稜大, 百瀬宗武 (茨城大), 知念翼, 増井翔, 山崎康正, 小川英夫 (大阪府大), 元木業人, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大), 須藤広志 (岐阜大), 久野成夫 (筑波大), 中川亜紀治 (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 (国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局: 日立 32-m アンテナ、高萩 32-m アンテナ) では、VLBI 観測を 6.7, 8.4, 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 (以下、モニター観測と表記)、日立-高萩電波干渉計による連続波高感度観測等を実施している。日立 32-m アンテナは 1 年を通して 6–9 GHz 帯受信機を搭載し、モニター観測を毎日実施している。高萩 32-m アンテナは、9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載し、東アジア VLBI 観測網 (East-Asian VLBI Network [EAVN]) の共同利用観測や気球 VLBI 実験に対応するとともに、それ以外の時期には 6–9 GHz 帯受信機を搭載する。EAVN 共同利用観測には、22 GHz 帯において年間 100 時間、6.7 GHz 帯において年間 100 時間を提供している。

現在使用している 6–9 GHz 受信機は、7.5 GHz 付近の性能を犠牲にする事により、比帯域 40% を確保した。6.2, 7.6, 7.8, 12.2 GHz において新たなメタノールメーザーが検出された事に伴い、これに代わる新たな広帯域受信機 (6–12 GHz) の開発に着手した (知念ほか本年会)。また、日立、高萩、山口 32-m、山口 34-m の 4 台を用い両偏波同時受信する事により、モニター観測の天体数および頻度を、現在の「過去に強度変動が見られた約 150 天体に対して 5 日に 1 回、その他約 300 天体は 50 日に 1 回」から「ターゲット約 450 天体全てに対して 2 日に 1 回」に上げるためのシステム検討に着手した (本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」、JSPS 科研費 JP21H01120、JP21H00032 の助成を受けたものである)。

[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](#)

## V201a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 偏光分光装置 SCIP 光学ユニット熱真空試験

勝川 行雄, 原弘久, 川畑佑典, 久保雅仁, 大場崇義, 篠田一也, 田村友範, 浦口史寛, 都築俊宏, 納富良文 (国立天文台), Javier Piqueras Carreno (マドリード工科大)

2022年にフライト観測を計画する国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3では、偏光分光装置 SCIP (スキップ、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) を搭載することで太陽大気の高解像度・高精度偏光分光観測を行う。口径1mの光学望遠鏡に SCIP を搭載し35km以上の高度から観測することで、シーイングと大気吸収の影響を受けない高高度気球観測を活かし、0.2秒角の解像度(波長850nmの回折限界)・高分散( $2 \times 10^5$ )・高偏光精度0.03% ( $1\sigma$ )を実現する。気球フライト環境において上記分解能と偏光精度を達成するため、光学ユニット全体を $20 \pm 10^\circ\text{C}$ に保つ必要がある。そのため、SCIP光学ユニットをSingle Layer Insulator (SLI)で覆うことで周囲と断熱するとともに、CFRP製光学ベンチに取り付けられた運用ヒーターで光学ユニット全体の温度を維持する。3台のカメラから1台あたり約4Wの発熱があるため、カメラと直結したラジエータで放射冷却させる設計としている。気球フライト時の熱制御性能と光学性能を検証するため、完成したSCIP光学ユニットを大型真空チャンバーに収容し、温度サイクルを負荷するとともに運用温度環境を模擬する熱真空試験を行った。光学ユニット側シュラウドを約 $0 \sim 10^\circ\text{C}$ 、ラジエータ対向側のシュラウドを約 $-35^\circ\text{C}$ に設定して温度勾配をつけることでフライトに近い熱環境を構築した。ヒーター制御性能とSCIP光学ユニット内の温度分布を検証し、熱数学モデルとも比較することでフライト時に所定の温度範囲を達成できることを確認した。さらに、真空チャンバー窓からレーザーと白色光を入射し、真空大気差による波長変化や、検出器上のスペクトル位置と空間・波長分解能を測定し、運用温度範囲で要求する光学性能を達成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](#)

## V202a Solar-C (EUVST) における地上支援システムに関する検討

飯田佑輔 (新潟大学), 鳥海森, 清水敏文 (宇宙科学研究所), 原弘久 (国立天文台), 今田晋亮 (名古屋大学), 松崎恵一 (宇宙科学研究所), 下条圭美 (国立天文台), 岡本丈典 (宇宙科学研究所), 大場崇義 (国立天文台)

次期太陽観測衛星 Solar-C (EUVST) は、日本が中心となり推進する2020年代の実現を目指したミッションである。Solar-C (EUVST) は、広い温度範囲 ( $10^4 - 10^7\text{K}$ ) を高時間・空間分解能で観測する極端紫外線域の分光撮像装置によって、(1) 彩層・コロナなどの太陽大気や太陽風の形成メカニズムの理解と、(2) 太陽フレアを駆動する物理過程の解明を科学目標としている。

科学衛星がその科学目標を最大限に達成するには、運用計画立案から衛星へのコマンド送信・データ受信、さらにデータセンターまでの取得データ転送までをカバーする地上支援システムが、ミッション要求を満たせるように考案・準備して運用することが必要となる。Solar-C (EUVST) では、太陽観測衛星「ひので (Solar-B)」や既存科学衛星で利用する地上系資産の活用を原則としながら、新しい機能を要求する。例えば、太陽フレアの捕獲は科学目標達成のため重要な観測であり、観測テレメトリ消費が多い観測も計画される。そのような重点プログラムをタイミングよく走らせることは難しいが、Solar-C (EUVST) ではサーキュラバッファの確保とそれに対応するデータダウンリンクシステムの実装により実現する。また、Solar-C (EUVST) では狭視野・高空間分解能の地上望遠鏡との協調観測も念頭に置かれた科学観測を計画しているが、科学衛星において小さな空間構造を持つ大気活動現象に対して高精度で位置合わせを行うことは難しい。そのため、Solar-C (EUVST) ではリアルタイム運用時に望遠鏡の視野中心を指定できるような、リアルタイム位置調整の機能を検討中である。

[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](#)

## V203a JASMINE 計画の概要と全体状況

郷田直輝, 鹿野良平, 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, 小宮山 裕, 末松芳法 (国立天文台), 片坐宏一, 白井文彦, 磯部直樹, 内山瑞穂 (宇宙研/JAXA), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 西 亮一 (新潟大), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, Exo-JASMINE チーム, データ解析ワーキンググループ一同

JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画 3 号機の唯一の候補として選ばれている「小型 JASMINE ミッション」(以降、JASMINE と記載する)は、JAXA での開発フェーズの段階的アップを目指してプロジェクトを推進している。JASMINE は、赤外線による超高精度位置天文観測による天の川銀河の中心核バルジに位置する星の距離と運動の測定を行い、銀河中心考古学を遂行すること、及びその遂行を通じて天の川銀河全体の形成史の探求を行うことを科学目標としている。さらに主な科学目標として、高精度な測光能力を活かし、トランジット観測による晩期型星の周りの生命居住可能領域にある地球に似た惑星の探査も行う。これらの科学目標のために、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。JASMINE の実現を目指して、科学検討、ミッション要求の再精査、観測装置とデータ解析ソフトウェアの開発を進めている。特に観測装置に関しては、国産赤外線検出器の宇宙用化開発、それに伴う衛星システムの要求仕様変更やリスク低減の検討を進めている。さらに、JASMINE コンソーシアム内のデータ解析ワーキンググループによる end-to-end simulator の開発も進めている。以上に関して、JASMINE の概要と全体的な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](#)

## V204a JASMINE における検出器変更可能性に基づく仕様、観測データの再検討

矢野太平, 郷田直輝, 鹿野良平, 三好真, 上田暁俊, 辰巳大輔, 鹿島伸悟 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 片坐宏一, 白井文彦 (宇宙研), 他 JASMINE チーム

これまで赤外線位置天文観測衛星 JASMINE は、Teledyne の HgCdTe 検出器 (H4RG) を候補として検討を進めてきたが、最近、国立天文台において開発が行われてきた国産の InGaAs 近赤外検出器の搭載も視野に入れた開発を進めている。検出器の変更が行われる場合、新たな観測波長における等級と観測天体見込み数をバルジ星、ディスク星に分類し、VVV、2MASS など既存のカタログから定量的に見積もったり、またミラ型変光星についても等級別、周期別にどの程度観測されるかの見込みについて定量化作業を進めている。その際、これまでのカタログでの天体の色情報から JASMINE での観測帯域での等級に変換をする必要がある。そして、厳密にはカタログ毎に JASMINE で用いる観測帯域での等級への変換式は異なる。今回はそうした変換式を詳細化する事により観測天体数などの仕様に影響があるのか確認した。また、これまでカタログの色情報を用いてバルジ星とディスク星との識別を行っていたが、GaiaEDR3 のデータも併せて使用することで識別方法の妥当性を確認するとともに、不定性がどの程度なのかの検討をおこなった。それに応じて必要天体個数にどのように影響をおよぼすのか、見積もった観測天体個数の妥当性を調べ必要な観測個数を精査した。更に JASMINE においてバルジの天体を選択する際、バルジ前方、あるいは後方にあるディスク星の混入がありバルジの観測の妨げとなる。その影響がどの程度であるのかを VVV や 2MASS といったカタログの天体観測数をもとに調査し、また GALACTICNUCLEUS survey などの観測からダストの影響を見積もり、ディスク星からの影響がどの程度になるのかを調べ、必要観測天体個数への影響を見積もった。本講演は仕様変更にもなう観測データへの影響を整理して報告する。

[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](#)

## V205a JASMINE アストロメトリ解析ソフトウェアの開発

大宮正士 (ABC/国立天文台), 山田良透 (京大), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創, 大澤亮 (東大), 片坐宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 平野照幸 (ABC/国立天文台), 福井暁彦 (東大), 吉岡諭 (海洋大), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 辰巳大輔, 郷田直輝 (国立天文台), JASMINE データ解析ワーキンググループ

JASMINE が目指す 25 マイクロ秒角の精度での天体位置測定には、これまでの位置天文衛星と同様に、目的に最適な観測装置だけでなく、非常に精密な解析を実現するソフトウェアが必要不可欠である。そのため、2020 年に JASMINE コンソーシアム内にデータ解析ワーキンググループを立ち上げ、JASMINE での高精度アストロメトリを目的としたデータ解析ソフトウェアの開発を進めている (2021 年春季年会 V242a 講演参照)。

このワーキンググループでは、これまでの衛星観測で用いられてきた解析手法を取り入れ、JASMINE 独自の仕様に落とし込んだ上で、コーディングとパイプライン構築をメーカーに委託することによって、高精度で可読性が高い解析ソフトウェアを効率的に開発することを目指している。また、その開発過程では、github でのコードの共有、研究者によるレビューとフィードバック、現実的なシミュレーションデータ作成などで、ソフトウェア制作に研究者がきちんと関わることによって、より良い開発体制の構築にも勤めている。

これまでの活動によって、解析パイプラインの構築、データ解析シミュレーションの実施、コードのデバッグが進んできており、単純なモデルを用いた場合では目標の位置検出精度を達成できるところまで確認できている。今後は、コードの改良、アルゴリズムの検討、観測から解析までを含めた包括的なシミュレーションの実現を目指していく。本講演では、本ワーキンググループでの取り組みと解析ソフトウェア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](#)

## V206a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2 の打上げ報告

松浦周二, 橋本遼, 児島智哉, 瀧本幸司, 太田諒, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希, 木田有咲, 河野有哉, 野田千馬 (関学大), 佐野圭 (九工大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦, 白旗麻衣, 新井俊明, 大西陽介 (JAXA/ISAS), Micheal Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), 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国際共同実験 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、より精度の高い観測を行う CIBER-2 を計画した。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×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を装備することで、波長 0.5–2.0  $\mu\text{m}$  での宇宙背景放射の撮像 (視野  $2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$ ) と分光 ( $\lambda/\delta\lambda \sim 15$ ) を行なう。

これまで各国で開発した観測装置や地上機器のコンポーネントを Caltech および RIT に持ち寄りシステムを組み上げ、地上試験により光学系や検出器の性能を評価してきた。NASA Wallops 飛行施設における振動試験やロケット IF 試験を経て打上げ可能と判断され、2020 年 2 月の打上げに向けて観測装置を射場であるホワイトサンズ実験場へ輸送したが、COVID-19 の影響により打上げが延期された。射場活動の休止中は観測装置の感度校正システムの改良と評価を進め (本年会講演 野田ほか)、2021 年の射場活動再開後は最終校正 (本年会講演 橋本ほか) や打上げ前のロケットの確認作業を実施した。そして、2021 年 6 月 7 日 0 時 25 分 (米国山岳部標準時) に打上げ、実験は成功した。本講演では打上げ実験の概要と観測装置の動作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](#)

## V207a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2:打ち上げ前最終感度較正

橋本遼, 松浦周二, 瀧本幸司, 木田有咲, 河野有哉, 野田千馬 (関学大), 佐野圭 (九工大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦, (JAXA/ISAS), Micheal Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), Daehye Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), ほか CIBER-2 チーム

これまでの衛星観測やロケット実験 Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) によると、近赤外線 ( $1.0 - 5.0 \mu\text{m}$ ) の宇宙背景放射 (CIB) は既知の銀河積分光に加えて未知の放射成分を含むことが明らかとなった。CIBER-2 はこの超過成分を解明するため、CIBER から感度を 10 倍向上させ観測波長を  $0.5 - 2.0 \mu\text{m}$  に拡大することで、CIB の空間的ゆらぎと放射スペクトルを空前の高い精度で観測する実験である。地上試験における感度較正精度が観測精度を決定づけるため、CIBER-2 では CIBER での系統誤差 5% から大きな改善を目指して較正光源システムを開発してきた (本年会講演 野田ほか)。本講演では、2021 年 6 月 7 日の打上げ (本年会講演 松浦ほか) の直前に較正光源システムを用いて米国ホワイトサンズ実験場で実施した最終較正の結果を報告する。可視域 ( $0.5 - 0.9 \mu\text{m}$ ) の較正は、ハロゲン光源の白色光を導入した積分球からの拡散光を用いる。まず拡散光の絶対放射強度を測定し、その後 ND フィルタで減光してから CIBER-2 に照射して検出器の信号を取得し、減光を加味して絶対感度較正値を算出する。近赤外域 ( $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ ) は同じ積分球に黒体炉を結合して相対的な感度較正を行い、可視域での測定と重複する波長の較正値にスケールリングすることで絶対値較正を行う。加えて、較正精度は残像、光応答非線形性、ノイズ、戻り光、大気吸収などに影響を受けるため、それらを切り分け評価できるように測定方法を考案した。講演では、測定結果および期待される較正精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](#)

## V208a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 将来に向けた成果の継承

山村一誠 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田亨, 鈴木仁研, 和田武彦, 石原大助 (ISAS/JAXA), 大藪進喜 (徳島大) 他 SPICA チームメンバー

SPICA は、宇宙が誕生以来、現在の多様な物質に富む姿に至る過程を、またその中で生命を育む惑星が形成される過程を明らかにすることを目的として計画された、スペース赤外線ミッションである。口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、波長  $10 - 350 \mu\text{m}$  において超高感度な赤外線観測を行うことをめざして日欧協力を軸に推進され、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) を搭載する計画だった。

SPICA は、欧州では ESA Cosmic Vision 中型クラス 5 号機の枠組みで、日本では JAXA 戦略的中型宇宙科学ミッションの枠組みの中で概念検討・設計が行われてきたが、2020 年 7 月に ESA 側コストの大幅なコスト超過が判明したことが契機となり、2020 年 10 月にミッション検討を中止する判断が両機関から下された (山村他、天文学会 2021 年春季年会 V223a)。

これまで SPICA は、天文コミュニティの強い支持を受けてミッション検討をすすめ、その中でキー技術の基礎開発を行ってきた。その成果は、宇宙空間において寒剤を使わず、放射冷却と冷凍機により極低温を実現する新しい冷却コンセプトの確立、低雑音・低発熱の赤外線検出器、Immersion Grating 高分散分光器、自由曲面を用いた光学設計を含む赤外線観測装置技術の進展など、幅広い範囲にわたる。我々は SPICA の計画中止決定以降、これらのキー技術を将来ミッションに向けて継承するために、これまでの成果をとりまとめるとともに、今後に向けた開発を続けている。本講演では、この活動で得られた成果を紹介し、将来へ向けた展望を述べる。

[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](#)

## V209b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 感度較正における誤差の評価

野田千馬, 松浦周二, 橋本遼, 瀧本幸司, 木田有咲, 河野有哉 (関学大), 佐野圭 (九工大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦 (JAXA/ISAS), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), Daehye Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), ほか CIBER-2 チーム

これまでの Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) などの観測で、波長 1-5  $\mu\text{m}$  の近赤外域での宇宙背景放射には既知の銀河積算光を超過する成分が含まれていることが明らかとなった。CIBER-2 はこの超過成分を解き明かすため、CIBER から感度を 10 倍向上し、観測波長範囲を可視域の 0.5  $\mu\text{m}$  まで延長している。観測の確度は感度較正試験の精度によって制限されるため、較正精度を改善することが重要である。CIBER-2 は 2021 年 6 月 7 日に打上げが成功したが (本年会講演 松浦ほか)、それまでアメリカの打上げ基地に保管されていたので、日本にあるスペクトロメータや積分球などを用いて、打上げ直前の感度較正試験 (本年会講演 橋本ほか) に向けて模擬測定を行った。本講演は、これより解明した較正試験時に生じうる系統誤差の要因や改善策に焦点を当てる。

宇宙背景放射は一様な明るさを持つ面光源と見なすことができるので、感度較正は CIBER-2 に基準となる面光源を入射させることを行う。そこで、ハロゲンランプの光を積分球に入れることで面光源を構築し、較正済みのスペクトロメータで面光源の絶対輝度を調べる。この測定を行う際の系統誤差の要因として、積分球からの光が検出器で反射し積分球に戻り、再放射されることで照度が強くなる loading、検出器の視野を制限するために使用するバッフルの内部で光が反射することによって生じる迷光などがある。これらの影響の対処として、loading はその効果を調べて較正データを補正し、迷光はバッフル内部を加工することによって限りなく減らした。

[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](#)

## V210b 可視近赤外宇宙背景放射観測装置 EXZIT: 金属鏡表面粗さの評価

橋本遼, 松浦周二, 猪裕太, 松見知香, 石田魁, 林宏憲 (関西学院大学), 佐野圭 (九州工業大学), 津村耕司 (東京都市大学)

可視・近赤外域の宇宙背景放射は、初代天体や原始ブラックホールなど個別に検出することが困難な暗い天体からの放射を含むため、宇宙初期の天体形成メカニズムを知るための重要な観測量である。地球近傍における宇宙背景放射の観測では、その 10 倍以上明るい黄道光が前景光として存在するため、将来的に黄道光が微弱になる深宇宙からの観測が望まれる。我々は深宇宙での宇宙背景放射観測にむけて、可視・近赤外域 0.4–1.7  $\mu\text{m}$  の波長を対象とする観測装置 EXo-Zodiacal Infrared Telescope (EXZIT) の開発を進めている。拡散放射である宇宙背景放射を検出するために、有効口径 90 mm  $\times$  50 mm かつ広視野 (16 deg  $\times$  8 deg) の自由曲面ミラー 3 枚から成る反射光学系を設計し、アルミニウム合金の切削加工によってこれを試作した。これまでの常温光学試験により、視野の一部において焦点での像サイズが、光学シミュレーションによる予想の 2 倍以上に広がっていることが分かった。その原因として、干渉計による鏡面精度では評価しづらいミラー表面の線状の切削痕や大きなスケールの面粗さが考えられたためミラー面に研磨追加加工を行うことで改善を図る。ただし過剰な研磨によって面形状変化や面粗さの悪化が懸念されるため、自由曲面ミラーを研磨する前に同材質の平面ミラーを用いた予備試験を行う。その試験では研磨量の異なる数種類の平面ミラーを製作し、その研磨前後で、干渉計による表面形状、顕微鏡による粗さ、光学測定による反射率のむらを測定することで、最適な研磨量を決定する。本講演では、平面ミラーを用いた試験結果を中心に述べる。

[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](#)

## V211b Solar-C (EUVST) に搭載する超高精度太陽センサ「UFSS」：バイアス誤差の低減とバイアス誤差決定精度向上に向けた検討状況

鄭祥子 (ISAS/JAXA), 清水敏文, 長谷川隆祥 (東京大学, ISAS/JAXA), 久保雅仁, 岡田則夫 (国立天文台), 津野克彦 (理化学研究所), 伊藤琢博, 中坪俊一 (ISAS/JAXA)

2020 年代中頃の打上げを目指す太陽観測衛星 Solar-C(EUVST) では、高解像度の分光観測を実現するため、衛星姿勢制御の高精度指向安定 (サブ秒角) が必須となり、これに十分な精度で太陽指向角度を検出する太陽センサ UFSS(Ultra Fine Sun Sensor) がキー技術である。UFSS は直交する 2 つの 1 次元センサから成り、開口に設置した 16 個の窓から成るレティクルが 1 次元 CCD 上に作る太陽光の明暗模様を計測し、(信号処理回路による) 基準信号波形との積分が最小になるように基準信号の位相を調整して太陽角度を決める。センサが角度に応じてバイアスを持つと指向誤差となるため、予め地上試験で測定したバイアス誤差マップを用いて UFSS 角度を補正して衛星姿勢系が使用する。我々は UFSS の目標精度「出力角のバイアス誤差 (補正後) が  $\pm 0.5^\circ$  の角度範囲において peak-to-peak で  $2''$ 」を実現するため、二軸ジンバルと太陽シミュレータから成る測定系において、UFSS 試作品を用いた評価を行ってきた。その結果、マップ内でバイアス誤差が急激に変化する事象が見られ、CCD カバーガラス上の塵/傷に起因することが示唆されており、コンタミネーション管理の重要性が明らかとなった。また、バイアス誤差を精度よく決定するには測定に用いる測定系の精度も重要である。そこで我々は、アライメントキューブを通して太陽シミュレータ光源と UFSS の関係を担保する手法を考案した。さらに、バイアス誤差の決定精度に影響すると考えられる、(a) 光源に対するジンバルの設置精度、(b) ジンバルの角度制御の精度、(c) 太陽シミュレータ光源とアライメント光源の平行度、等の影響を評価し、バイアス誤差測定精度の向上を図っている。

[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](#)

## V212b 将来衛星搭載に向けた高感度赤外線検出システムの低雑音・低発熱化

海老原大路 (東京工業大学), 松原英雄, 和田和彦, 鈴木仁研, 石原大助, 長勢晃一 (JAXA), 金田英宏, 土川拓朗 (名古屋大学)

衛星搭載を目標とする高感度赤外線検出器は極低温下での低雑音動作が求められる。さらに、冷凍能力の制限から低発熱でなければならない。中間赤外線 ( $10 \sim 37 \mu\text{m}$ ) をターゲットとする Si:As, Si:Sb アレイ検出素子 ( $1024 \times 1024 \text{pixel}$ ) では上記の要求を満たす読み出し集積回路 (ROIC:ReadOut IC) の開発が求められる。検出素子で生じた電荷信号はキャパシタで電圧信号に変換される。ROIC ではこの電圧をソースフォロア回路によって電荷を放出させることなく非破壊に読み出す。ROIC は約 4 K 駆動を想定しており、SOI-MOSFET (Silicon On Insulator Metal-Oxide-Semiconductor FET) を用いた集積回路によって信号増幅及びマルチプレクスが行われる。

我々は次世代赤外線天文衛星 SPICA 搭載中間赤外線検出器開発の流れで米国企業と開発したプロトタイプ ROIC と、国産常温部電気系 (搭載用プロトタイプ) を、プリアンプボードを介して接続するシステムを構築した。ROIC を構成する 4 象限にてそれぞれ異なる読み出し方式を採用しており、それらを比較することにより、最適な消費電力・雑音性能を示す回路構成の探索が可能である。

本発表では、システム全体の駆動と画像取得状況、及び極低温での ROIC の最適な回路構成についての検討結果を報告する。また ROIC 制御系の雑音低減についても併せて報告する。

[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](#)

## V213b 極低温下における自由曲面鏡の表面形状測定に向けた CGH 干渉計の開発

近藤翼、國生拓摩、金田英宏（名古屋大学）、石原大助（ISAS/JAXA）、木野勝（京都大学）

宇宙望遠鏡の観測装置には、限られたスペースで高い結像性能を実現するために自由曲面鏡が有用だが、とくに赤外線観測の運用環境下である極低温（10 K）にて自由曲面鏡を評価することは容易ではない。本研究では、せいめい望遠鏡の分割主鏡を測定した実績のある干渉計をベースに、Computer Generated Hologram (CGH) を用いて、極低温下で自由曲面鏡の表面形状を測定できる新しい干渉計を開発する。本手法の特徴として、冷媒の蒸発や冷凍機の駆動に伴う振動の影響を抑えるため、振動耐性の高いデータ取得・処理方法を考案した。さらに極低温部の入射窓の口径を絞って、常温および 77 K シールドからの熱流入を抑えるために、被検光として収束光である CGH のマイナス 1 次光を用いた。

これまで、常温下で球面鏡を CGH マイナス 1 次光で測定し、1 次光を用いた従来の測定方法と同等の結果が得られることを確認した。さらに冷却チャンバーを用いて球面鏡を温度 11 K まで冷却して、CGH 干渉計による測定を実現した。フィゾー干渉計による測定との比較から、本干渉計の絶対精度は 19 nm RMS と求められ、赤外線観測装置の要求に対して十分に高いことが分かった。次のステップとして、非球面である軸外し放物面鏡を常温下で測定した。接触式測定器による結果と比べたところ、同等の表面形状誤差パターンが得られるものの、干渉計のアラインメント誤差による光学取差が測定精度を悪化させていることが分かった。本発表では、上記の測定結果と、極低温下における非球面鏡の測定に向けた開発の現状について発表する。

[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](#)

## V214a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 岩田生, 青木和光, 齋藤正雄, 山下卓也, 早野裕, 藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 井口聖, 常田 佐久 他 (国立天文台), H. Yang, L. Simard, E. Reddy, T. Soifer, S. Xue, E. Stone, F. Liu 他 (TIO)

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。TMT 国際天文台 (TIO) は、2019 年以後マウナケア山頂域での現地建設工事に着手できていないが、状況の改善に向け、TIO 評議員会は TIO 本部をハワイへ段階的に移転することを承認し、その第一段階としてプロジェクトマネージャが 6 月にハワイへ赴任する。国立天文台としても TIO の地元との信頼関係構築を支援している。ハワイ大学では 2033 年に期限を迎えるマスターリース更新に向けた手続きを進めると共に、既存観測所 2 台の撤去準備を進めている。今秋実施予定の NSF MREFC 予算の基本設計審査 (PDR) では、TMT 全体の技術的成熟度だけでなく、スケジュール・予算・リスクを総合的に審査されるため、TIO は国立天文台や関係機関と協力し着々と準備を進めている。

TIO および参加機関における活動は抑制している状況ではあるが、TMT の全体計画の工程上必須の作業は各国で進めている。国立天文台でも、日本の担当部分が TMT 全体計画の遅延を引き起こさないために、製造再開後の円滑のために必須の準備作業や設計・開発作業を進めている。主鏡は量産再開に備えて、技術難易度の高い外形加工や支持機構搭載等の開発や試験を進めている。望遠鏡本体も製造に向けた準備として製造図面の作成を進めると共に、試作試験を実施して完成度を高め、技術的リスクの低減に成功している。第一期観測装置 (IRIS, WFOS, MODHIS) は、日本の分担箇所の設計・開発を先端技術センターを中心に進めている他、人的貢献も進めている。ハワイ観測所と協力し、すばる望遠鏡と連携した科学研究を一体運用として進めるため検討も進めている。本講演では、TMT 計画の国内外を含む現状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](#)

## V215a TMT 広視野可視撮像分光器 WFOS 用面分光ユニットの概念検討 2

尾崎忍夫, 都築俊宏, 浦口史寛, 清水莉沙, 宮崎聡 (国立天文台)

面分光とは広がった天体の各場所のスペクトルを一度の露出で得ることができる観測手法のことであり、天候変動の影響を受けない均質なデータセットが得られるため、銀河や星雲の詳細研究に最適な手法である。また望遠鏡の大型化に伴い、貴重な望遠鏡時間を有効に利用できる時間効率の良さも注目されている。これらの利点から面分光は光赤外波長域の主要な観測手法の一つになってきた。次世代超巨大望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) の第一期観測装置である広視野可視撮像分光器 Wide Field Optical Spectrometer (WFOS) においても面分光機能の必要性が認められているものの、開発コストの面から必須機能には入っていない。そこで我々は WFOS のアップグレードとして、WFOS に面分光機能を追加する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を目指している。概念検討は既に開始しており、IFU を望遠鏡焦点面とコリメーターミラーの間に組み込む方針である。IFU はイメージスライサータイプで、異なるスライス幅のスライサー 2 つと、異なる拡大率を持つ 2 つのリレー光学系を切り替えることで、異なる角分解能を持つ 4 つの視野モードで観測することができる。最大の視野は  $20'' \times 27''$  であり、計画中の超巨大望遠鏡に搭載される面分光装置の中では群を抜く広い視野となる。去年 5 月に行われた WFOS の設計審査会において、これらの概念検討結果を報告し、WFOS IFU の実現可能性を示すことに成功した。これらの概念検討について 2020 年春季年会で報告した。本講演ではその後の IFU レイアウト修正・スライサーで生じる迷光の解析・スライサーの試作状況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](#)

## V216a 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 (V)

寺尾航暉, 秋山正幸, 大金原, 赤澤拓海 (東北大学), 美濃和陽典, 大野良人, 大屋真 (国立天文台), 山室智康 (オプトクラフト)

レーザーガイド星を用いた補償光学の性能向上を阻む 1 つの要因として、無限遠に存在する天体からの円筒状の光路全体を有限の高度に打ち上げるガイド星の円錐状の光路ではカバーできないという問題がある (円錐効果)。測定できない領域に存在する大気揺らぎの影響によって波面測定が不完全となり、レーザーガイド星補償光学の補償性能を制限している。また、大口径望遠鏡ほど円錐効果が大きくなるため、すばる望遠鏡や TMT などで高精度な波面測定を困難とする大きな要因となっている。

円錐効果を低減する手法として、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測定される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。我々は 4 個のレーザーガイド星を 4 台のシャックハルトマン型波面センサーで波面測定を行うレーザートモグラフィー補償光学系 (ULTIMATE-START: Subaru Tomography Adaptive optics Research experiment) の開発を進めている。4 個のガイド星を最大 40 秒角の間隔で配置することで円筒状の領域をカバーする。光学設計、機械設計および製作が完了し、東北大学実験室にて組み上げ試験を進めている。また、波面センサー 1 台で構成したプロトタイプ光学系をすばる望遠鏡の既存の補償光学装置 AO188 に接続して、現在インストールが進んでいる TOPTICA 20 W レーザーを用いたレーザーガイド星の試験観測、波面センサー光学系の性能評価を行う準備を進めている。本講演では、現在の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](#)

## V217a 広視野サーベイ観測 WISHES：サーベイの概要

大栗真宗 (東京大), 古澤久徳, 宮崎聡 (国立天文台), ほか WISHES チーム

Wide Imaging with Subaru HSC of the Euclid Sky (WISHES) は北天の 4500 平方度の天域をすばる望遠鏡 HSC カメラで  $z$  バンド撮像観測するサーベイ計画である。インテンシブ共同利用観測として採択され 2020B 期から三年かけて観測が遂行される予定である。サーベイの主目的は、欧州を中心に推進されている、2022 年打ち上げ予定のサーベイ衛星計画 Euclid の観測データと組み合わせて重力レンズ宇宙論や高赤方偏移天体などの研究を行うことである。WISHES 計画で得られる観測データの貢献により、Euclid に正式メンバーとして参加しそのデータを優先的に使うことができることとなった。また、同じ天域で Canada France Hawaii Telescope (CFHT)、Pan-STARRS による可視サーベイ観測も進んでおり、これらの地上サーベイ観測を組み合わせることで (UNIONS)  $ugriz$  バンドの様なサーベイデータが得られ、これら UNIONS データのみ、また UNIONS と Euclid データの組み合わせで多様な研究成果が得られると期待される。WISHES と UNIONS についてはすばる戦略枠プログラム HSC-SSP と同様に日本のすばるコミュニティに広く門戸を開き参加を歓迎している。本講演では、WISHES の概要とサーベイの現状を報告する。

[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](#)

## V218a 広視野サーベイ観測 WISHES：データ解析

古澤久徳 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), Stephen Gwyn (CADC), Eugene Magnier (ハワイ大), 宮崎聡 (国立天文台), ほか WISHES チーム

私たちは、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) による広視野サーベイ WISHES を行い、フランス・カナダ・米国などの国際チームからなる UNIONS 共同研究に参加している。WISHES は北銀極を含む 4500 平方度に渡る深い  $z$  バンド撮像データ (23.4 等  $10\sigma$ ) を提供し、この貢献により日本の研究者が Euclid の近赤外線データを優先的に用いた研究を行う機会を得る。UNIONS では、CFHT (CFIS)、Pan-STARRS (PS-NEO)、すばる/HSC (WISHES) などの各望遠鏡で進むサーベイ観測を組み合わせ、 $ugriz$  バンドの多色測光データを構築する。WISHES のデータは各ポイントごとに平均 3 回の 80 秒積分により取得される。データ解析には、HSC のすばる戦略枠観測 (HSC-SSP) で開発され利用実績のある解析ソフトウェアを用いる。CFIS、PS-NEO 観測と合成解析を行う予定のため、HSC-SSP とは異なり CFIS の天域タイルに合わせて画像のワープ・合成・天体検出などの解析を行う試験を進めている。初期解析の結果から、測光・座標較正ともに概ね HSC-SSP と同等の品質を達成できることが分かった。本年は、観測が先行している CFIS、PS-NEO が共同研究者向け 3 回目のデータリリースを行う予定であり、WISHES もその活動に合わせてデータ解析を進め、座標同定によるカタログレベルでの 3 サーベイを合成した多色カタログ生成を目指している。

WISHES から得られるデータセットは、UNIONS-Euclid 共同研究の枠組みに留まらず、国内外で計画される今後の可視赤外線の大規模なサーベイ計画において、重要な研究基盤の一部を担うことが期待される。本講演では初期データ解析の詳細や将来の発展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](#)

## V219a SuMIRe-PFS[22]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2021 年秋季

田村直之, 森谷友由希, 矢部清人, 村山斉, 高田昌広 (東京大学カブリ IPMU), 高遠徳尚, 田中賢幸, 越田進太郎, 石塚由紀, 鎌田有紀子 (国立天文台), 他, PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph: 超広視野多天体分光器) はすばる望遠鏡次期観測装置の 1 つで、主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバー各々から 380nm から 1260nm までのスペクトルを一度に取得する。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 2021 年の試験観測開始と 2023 年の科学運用開始に向け進行中であるが、開発要素の多さとその複雑さからもっとも困難が予想された主焦点装置 (PFI) がこのほど遂に完成した。台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) を中心としたチームによる総合試験が完了し、2021 年 5 月に台湾からハワイ観測所への輸送前レビューを通過した。6/15 にハワイに到着後、山頂でのソフトウェア開発・統合を含めた次段階作業が順調に進めば、既に納入済のメトロロジカメラ、ファイバーケーブル 1 本目、分光器 1 台目と合わせ 10 月から本格的な夜間試験観測を開始する予定である。並行して、2 月以来小望遠鏡 SuNSS と PFS による先行試験観測で得られた夜空のスペクトルによりデータ解析パイプラインの開発が加速しており、波長較正精度の安定性等装置やデータの特徴理解も進んでいる。ブラジル国立天文台 (LNA) では 2 本目の望遠鏡上ファイバーケーブルが完成し最終試験が進行中である。マルセイユ天文物理研究所 (LAM) では分光器 2、3 台目、ジョンズホプキンス大学では近赤外カメラ 1 台目の組上試験が進んでいる。特に、近赤外カメラ開発では熱輻射抑制コーティングの調達に遅延があったが、試験が完了し成膜本工程に入る見込みである。本発表では、こうした装置開発の現状と今後の展望を紹介する。

[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](#)

## V220a SuMIRe-PFS[26]: PFS による共同利用観測の枠組み

田中賢幸, 小野寺仁人, 石垣美歩, Wanqiu He, 小池美知太郎, Eric Jeschke (国立天文台), 矢部清人, 田村直之 (東京大学), 他 obsproc working group メンバー

PFS は 2394 本のファイバーを持つ多天体分光器で、サーベイ効率の極めて高い観測装置である。現時点では S23B からの一般共同利用観測を予定していて、そのサーベイ能力を最大限活かせる観測の枠組みを準備する必要がある。一つの観測プログラムが全てのファイバーを有効活用できるという仮定は、必ずしも成り立たないと我々は考えていて、各露出で複数のプログラムにファイバーを割り当てる 'fiber sharing' を基本とした枠組みを、現在までに検討してきた。これは今までのすばるの観測モードにはないやり方で、多くの新しい技術的・ポリシーの問題を解決する必要がある。本講演では、この PFS 観測の枠組みの現状を紹介し、様々な問題についての検討状況を報告したい。また、PFS ではリアルタイムにデータの品質評価を行う必要があると考えていて、品質評価の手法、シーイングや大気透過率といった評価すべき項目、さらにそれらを観測時に表示する観測ログシステムについても紹介したい。

[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](#)

## V221b SuMIRe-PFS[23]: 赤外線検出器 HAWAII-4RG の persistence 特性評価

濱野哲史, 田中賢幸 (国立天文台), Craig Loomis, Robert Lupton, Jim Gunn (Princeton), PFS コラボレーション

国立天文台と Johns Hopkins University を中心とするチームは、すばる望遠鏡 Prime Focus Spectrograph (PFS) の NIR アーム (波長カバレッジ: 940-1260nm, 波長分解能:  $R = 4300$ ) において使用する Teledyne Imaging Sensors 社の HAWAII-4RG の性能評価を行っており、特に赤外スペクトルの大きな系統誤差の要因となる persistence の特性評価、及びその補正手法の検討を現在進めている。persistence はピクセル内でトラップされリセット後も残存してしまう電荷であり、その後取得される画像に残光として現れる。その強度や減衰のタイムスケールは各ピクセルに当たった光の強度や露光時間に依存する。そうした persistence の特性調査を目的として、PFS で用いる 4 台の検出器のうち N1、N2 の 2 台について実験を行った。検出器全面にフラット光源を照射しフラット画像を取得、その後数時間ダーク画像を取得することで persistence の時間変化を測定しその特性をピクセル単位で評価した。その結果、N1 では非常に強い persistence が検出器上の広い領域で生じ、数時間にわたって残光が出続けることがわかった。N2 はほとんどの領域で persistence は比較的弱く 1 時間程度のタイムスケールで残光はほとんど現れなくなる。本講演では、実験の概要、解析結果に加え、最終的な目標である残光補正に向けた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](#)

## V222c SuMIRe-PFS[24]: PFS-HSC 試験観測 (投影画像・姿勢検出について)

川野元 聡 (国立天文台)

PFS は視野周辺部に 6 個の撮像カメラを持ち、そのデータを使って天体導入・オートガイド・フォーカス検出等を行う。このためには光学系による天球面上の天体位置⇔焦点面上の結像位置の写像が精度良く決まっている必要がある。PFS と共通の補正光学系を使う HSC を用いて実施された試験観測データと、観測時の望遠鏡状態を取り込んだ光線追跡計算とを比較することで望遠鏡高度角等をパラメータとした写像関数を求める事が出来る。

GAIA-DR2 の恒星位置・固有運動データを使い試験観測時の天体の高度方位を計算する。これを望遠鏡視軸方向に対する離角・天頂方向角に変換し、光学計算によって焦点面での結像位置を望遠鏡座標系で求める。実データの方は CCD 画像から星を検出して CCD 座標→焦点面座標に変換する。計算位置と実データ位置を比較して光学計算の精度を評価し、必要なパラメータを決定していく。なお、HSC の CCD 位置にはコールドプレートの製造誤差や位置決めピンのクリアランスといった誤差要因があるため、上記の処理は CCD 間での誤差のジャンプが減るように CCD 位置を最適化しつつ再帰的に実施する。この際に望遠鏡指向誤差も併せて除去する。結果、望遠鏡座標系に固定された (=InR で回転しない) 結像位置ずれの存在が明らかになったが、誤差マップとして写像に取り込むことができ、写像の最終的な結像位置決定精度は約 0.04 秒角となった。また、同じ光学計算を使ってオフフォーカス画像の生成が可能であるが、この画像は補正光学系の平行移動と傾きによる収差の影響を強く受ける。これを使って実データとシミュレーション像を比較することで補正光学系の姿勢を検出できる。多くとも 2-3 回の再帰計算で PFS に必要な姿勢精度 (並進 0.5mm/回転 1 分角) を達成できることを試験観測で確認した。

本講演ではこれらについて概説する。

[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](#)

## V223b SuMIRe-PFS[25]: PFS Cable B における Focal Ratio Degradation の測定

越田進太郎 (国立天文台), Graham J. Murray (Durham University), 森谷友由希, 田村直之, 矢部清人, 村山斉, 高田昌広 (東京大学カブリ IPMU), 高遠徳尚, 田中賢幸, 石塚由紀, 鎌田有紀子 (国立天文台), PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph: 超広視野多天体分光器) は、すばる望遠鏡主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーで 380nm から 1260nm までの観測対象のスペクトルを一度に取得する装置である。主焦点にて各々のファイバーを配置する主焦点装置と、クリーンルームに設置された分光器を結ぶファイバーケーブルユニットは Cable B と名付けられ、観測対象からの信号を損なうことなく分光器に入力する重要な機能を担っている。

PFS プロジェクトでは、2018 年に試験用の Prototype Cable B をすばる望遠鏡に設置し、その透過特性を表す指標として Focal Ratio Degradation (FRD) の観測を 2020 年 1 月から継続してきた。約 1 年間にわたるモニターデータから、望遠鏡姿勢、望遠鏡温度、および観測ドーム内気温に対する FRD の応答を調査した結果、計画されている実際の Cable B の設置経路および設置手法下において、Prototype Cable B の透過特性が望遠鏡姿勢や気温の影響を受けず、科学観測に耐えうる安定性を示していることを確認することができた。

本発表では、Cable B 設置経路や FRD 測定システム概要のほか、2021 年 2 月にすばる望遠鏡に敷設された、実際の科学観測に用いられる 4 本のファイバーケーブルのひとつ、Cable B1 に対する FRD の測定結果を合わせて紹介する。

[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](#)

## V224b SuMIRe-PFS[27]: Optimal tiling algorithm for the PFS open-use programs

Wanqiu He, Masayuki Takana, Miho N. Ishigaki, Masato Onodera (NAOJ)

Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS) is a fiber-fed multiplex system, which enables acquisition of around 2400 spectra of objects simultaneously over a wide hexagonal field of 1.38 deg on the sky. Its innovative features are expected to help make great improvements in various science fields. In order to efficiently utilize all the fibers, we would like to share fibers among multiple open-use programs in each single exposure. However, targets from different programs can vary significantly in size, required exposures, science priority, etc, making it hard to optimize tiling of pointings.

In this work, we are going to develop an “optimal” tiling algorithm for PFS open-use programs: 1) to achieve high sampling rate in high-priority samples in each semester, and 2) to maximize fiber allocation efficiency in each exposure. To determine the pointing centers, we firstly pick up peaks from kernel density estimation (KDE) of entire samples with a weighting scheme designed to balance targets by accounting for their science ranking, spatial density and required exposures. We then put pointings over those peaks, and apply network flow to assign fibers to targets. We slightly perturb all pointings to find the local minimal cost in network flow by Powell direction method. From our simulation, the preliminary results suggest 1) a sampling rate greater than 80% in rank A (highest science ranking) samples, and 2) an average fiber allocation efficiency of 59%.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V225b SuMIRe-PFS[28]: 夜間試験観測へ向けたデータ解析環境の準備状況

矢部清人, 森谷友由希, 田村直之(東京大学 Kavli IPMU), 古澤久徳, 吉田裕茂, 田中賢幸(国立天文台), PFS DRP2D チーム, PFS DRP1D チーム, 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、直径 1.3 度の視野内の約 2400 本のファイバーを用い 380nm から 1260nm の波長領域が一度に分光できるユニークな装置である。現在、2023 年の科学運用開始を目指し開発および統合試験が進んでおり、2021 年秋より夜間試験観測を開始する予定である。

ハードウェアの開発・統合試験と並行し、データ解析パイプラインの開発も進んでいる。得られた 2 次元画像データを処理し 1 次元スペクトルを抽出するパイプライン (DRP2D) の開発をプリンストン大学が、1 次元スペクトルから赤方偏移などの情報を抽出するパイプライン (DRP1D) の開発をマルセイユ天文物理研究所 (LAM) が中心となって進めている。これらのデータ解析は、観測状況や装置の状態などの情報が保存された運用データベース (opDB) を介して行われる。

現在、国立天文台ハワイ観測所および東京大学 Kavli IPMU において、これらのデータ処理環境の整備を夜間試験観測へ向けて進めている。ハワイ観測所では得られたデータの簡易解析を短時間でいい品質の評価を行うことを当面の目標とし、計算機環境の準備と試験を行っている。IPMU ではより詳細な解析と科学的なデータ品質の評価を目標とし、山頂データの転送および opDB を用いた自動プロセッシングの試験を行っている。また、シミュレーションデータを用い、DRP2D によるスペクトル抽出、DRP1D による赤方偏移の導出という一連のプロセッシングを定期的に行い、各パイプライン開発へのフィードバックを行っている。本公演では、各パイプライン処理およびデータベース管理についても簡単に触れ、データ処理の準備状況について紹介する。

[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](#)

## V226b TMT 科学運用の検討

青木和光, 岩田生, 白田知史, 小山佑世, 富永望, 古澤久徳, 安井千香子(国立天文台), 秋山正幸(東北大学), 田村陽一(名古屋大学), 成田憲保, 藤井通子(東京大学)

TMT の建設・運用は 5 カ国による共同事業で、建設期の貢献割合に応じて観測時間が割り振られる。日本ではこの時間で国立天文台による共同利用運用を行う。各国で観測提案を集め審査し、採択された観測課題をまとめて TMT 国際天文台 (TIO) がスケジュールを組み、観測を実行する。実際の観測ではリモート観測による PI タイプ観測 (クラシカルモード) とサービス観測 (キュー観測を含む) の組み合わせを想定している。取得されたデータは TIO が恒久的に保管する一方、データ解析サポートや処理済みデータのアーカイブは各国で行う。

以上が TMT 運用の原則であるが、US-ELT プログラムとして米国国立科学財団 (NSF) の参加を得る取り組みが進むなか、観測提案の審査や観測準備、データ解析、データアーカイブなどの開発・運用を米国が行って国内ユーザに提供するとともに、ツールやソフトウェアは日本を含む他のパートナーに提供する計画が準備されている。これは各国でのユーザサポートにも深く関係するとともに、TIO による運用部分にも影響する可能性があることから、日本としても検討状況をリアルタイムに把握し、意見を反映する必要がある。

国立天文台 TMT 科学諮問委員会では 2020 年にこの件での具体的な検討を開始し、ワーキンググループを設置して継続的に取り組んでいる。全米天文学大学連合 (AURA) や NSF 国立光赤外線天文学研究所 (NOIRLab) の関係者、および TIO の運用検討チームと会合をもちながら、国内での検討を進めている。日本としてはすばる望遠鏡と TMT の連携で成果をあげられるよう、両望遠鏡の一体的な運用を行うことを方針としており、これの具体化と米国での検討への意見の反映を課題として取り組んでいる。本年会でも広く意見を求めたい。

[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](#)

## V227b JVO portal 開発状況：すばる望遠鏡 Suprime-Cam 処理済みデータの配信と Gaia EDR3 可視化システムの開発

白崎裕治, Christopher Zapart, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台)

我々 JVO 開発グループでは、国立天文台が保有するすばる望遠鏡や ALMA, 野辺山望遠鏡の処理済みデータや、世界標準のアクセスインターフェイスを実装する Virtual Observatory (VO) サービスへの一元的なアクセスを提供する JVO portal (<http://jvo.nao.ac.jp/portal>) の開発を行っている。本講演では 2020 年度から 2021 年度前半にかけての JVO portal の開発状況について報告する。

まず、昨年度の前半には、すばる望遠鏡 Suprime-Cam の全データを再解析しクイックルック用途として公開した。本データは、これまでと同様に JVO portal のすばる望遠鏡データ専用検索ページ等から配信されている他、VO インターフェイスの一つである HiPS による公開も開始されている。これにより、フランスのデータセンター CDS が開発している Aladin から簡単にデータを閲覧することが可能になった。昨年度の後半には Gaia 衛星による EDR3 のデータが欧州宇宙機関 (ESA) の Gaia Data Archive から公開され、Gaia の提携データセンターの一つである国立天文台天文データセンタにおいても、JVO portal 上でカタログデータの検索や全データのダウンロードなどを行えるようにした。また、今回新たに Gaia WebQL という Gaia カタログ可視化システムの公開を開始した。本可視化システムを使うことにより、大量のデータをダウンロードしなくても Gaia データを簡単に Web ブラウザ上で短時間でプロットすることが可能である。その他、2021 年度前半には ALMA で観測されたスペクトルライン情報のデータベース化へ向けた開発に取り組む予定であり、その進捗状況についても報告を行う。

[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](#)

## V228a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告

宮田隆志 (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, 田中培生, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 江草実実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山 舜平 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 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、宇宙論から星惑星形成までの幅広いサイエンスを行う計画である。

TAO 計画の最大の特長はそのサイトにある。6.5m 望遠鏡建設に向けたサイト工事は 2018 年にスタート、2019 年からはチリにおける超高高度での作業許可を得たうえで山頂工事が進められている。2019 年後半はチリ国内の暴動、2020 年からは新型コロナウイルス感染症蔓延の影響などいくつかの困難に見舞われたが、安全衛生体制を強化しながら工事を進めた。結果、山頂アクセス道路は 2021 年 3 月に完成させることができた。山頂工事も 2021 年 5 月末の時点で現地レベリング、望遠鏡及び山頂建物基礎設置を終了している。

山頂作業と並行して貨物の輸送作業も進めており、これまでに望遠鏡光学系を除くすべての部品がチリに到着済みである。チリの新型コロナウイルス蔓延状況にもよるが、2021 年度後半で日本人作業員によるエンクロージャーや山頂運用棟建設工事、望遠鏡などの組立工事を行う計画である。また冬季の積雪期間を利用して、サンペドロでアタカマ市内の TAO 山麓施設に観測装置調整用の大型実験棟を建設する。まだ新型コロナウイルスの状況は予断を許さないが、2022 年度内の科学運用開始に向けて作業を進めていく。

[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](#)

## V229a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡用蒸着装置の性能評価

高橋英則 (東京大学), 吉井譲 (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, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 江草実実, 上塚貴史, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学); 田村陽一 (名古屋大学)

TAO 6.5m 蒸着装置は、望遠鏡が建設されるチャナントール山頂観測運用棟内に設置され、オンサイトで成膜を行う設備である。蒸着チャンバー及び付帯機器製作が完了、これらの配置、配管・配線接続の設計案を基に蒸着システムとしての組み立て・総合試験を行った。試験内容は、(1) 真空槽としての到達真空度、到達時間の測定、(2) 鏡洗浄後蒸着直前に行われるイオンボンバードの封入ガスの選定、電流・電圧の最適パラメータ出し、(3) 蒸着時の印加電流・電圧値、印加のタイミング、継続時間などの最適値出し、(4) フィラメントのアルミプレウェット量の最適化などである。真空度は、複数種ポンプをハイブリッドに使用することで、ボンバード可能な真空度に1時間以内、蒸着可能な真空までは半日程度で達することが確認された。蒸着試験は、主鏡の曲率を模したサンプル台に設置されたサンプルガラス上108箇所成膜モニタリングを行った。酸素ガスを利用したイオンボンバードでは、全ての箇所テープテストをクリアするパラメータを得ることができた。TAOの蒸着装置では147本のフィラメントを4系統の電源で制御する。またフィラメントに含浸されたアルミニウムを効率よく均一に蒸発させるために、プレヒータリング、第一発火、第二発火の3回に分けて電流(電圧)を印加して蒸着を実行する。複数回の蒸着試験の結果、膜厚はやや厚めの箇所があるが最低でも100nm以上あり、光学仕様を満たす値となった。また、内周と外周でアルミ含量が異なるフィラメントを配置することで、膜厚の一様性もほぼ達成した。

[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](#)

## V230a TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発：常温制御試験

近藤智也, 軸屋一郎, 内田大智, 加藤宏太朗, 近藤真吾 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 上塚貴史, 道藤翼, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学)

地上から中間赤外線観測を行う場合、時間変動する膨大な大気の熱放射を除去するために、チョッピングを用いる。これは観測する視野を交互に切り替え、それぞれの視野で撮像した画像を差し引きすることで熱放射を取り除き、天体の画像を得るものである。東京大学アタカマ天文台(TAO)6.5m望遠鏡用の中間赤外線観測装置MIMIZUKUでは、MIMIZUKU内部の冷却光学系に取り付ける冷却チョッパーという装置を用いてこれを行う。

MIMIZUKU用冷却チョッパーは可動部と固定部からなり、これらがねじりばねで接続されている。可動部には永久磁石を、固定部にはコイルを取り付け、このコイルに電流を流し磁界を発生させ、永久磁石との相互作用で発生する力により回転運動が駆動できる。この機構を二つ組み込むことで二軸回転機構を形成する。

制御では、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)から制御入力となる電圧を出力し、アンプを介してコイルに電流を流すことで冷却チョッパーを駆動した。その冷却チョッパーの変位を静電容量式ギャップセンサで計測してDSPに取り込み、制御則により制御入力を計算するという処理を繰り返すことで冷却チョッパーを制御した。

制御則の開発のため、制御対象である冷却チョッパーのステップ応答を計測した。その結果、二次系でよく記述できることを確認し、得られた特性をもとに制御則を開発した。チョッピングには冷却チョッパーの素早い動作と高い静定精度が必要である。そのため、応答速度が早いフィードフォワード制御と静定精度が高いフィードバック制御の両方の特性を持つ二自由度制御を行い、常温試験において仕様要求を満たすことが確認できた。

本講演では、TAO/MIMIZUKU用チョッパーの仕組み、制御系の設計、常温試験の結果を発表する。

[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](#)

## V231a TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 冷却動作試験

道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学), 軸屋一郎, 近藤智也 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学)

地上から中間赤外線波長帯で天体観測を行う場合、大気の熱放射の成分を取り除く必要があり、現在その方法としてチョッピングと呼ばれる技術が使われている。これは観測視野を交互に切り替えるというもので、それぞれの視野で取得した画像を差し引きすることで大気の熱放射の成分を取り除き、天体の画像を得る手法である。チョッピングには望遠鏡の副鏡を傾ける副鏡チョッピングと、冷却された観測装置内に光路を切り替える装置を設けてそれにより視野を切り替える冷却チョッピングと呼ばれるものがある。東京大学アタカマ天文台 (TAO) の 6.5m 望遠鏡用の中間赤外線観測装置 MIMIZUKU では、後者を用いて観測を行う予定である。特にこの装置は反射系であるため、可動反射鏡を光路内に置き、それを傾けることでチョッピングを行うことを目標としている。

今回我々は TAO/MIMIZUKU 用の冷却チョッパーの開発を行い、その動作試験を行った。冷却チョッパーの構造や制御則、および常温での動作試験の結果の詳細は、本年会近藤他の講演を参照とするが、概ね理想的に動くことが確認された。これを受けてチョッパーを約 20 K まで冷却し同様の動作試験を行ったところ、TAO/MIMIZUKU で観測する際の要求 (天球上で 30 秒角以上の振り幅、0.02 秒角以内の鏡の安定性、50 ミリ秒以内の静定時間、2 Hz 以上の周波数での運用) を満たすことが確認された。さらに 1 時間に及ぶ耐久試験で動作が安定していたことや、熱サイクルをかけた前後での冷却チョッパーの動作の再現性も確認でき、MIMIZUKU への実装に向けて大きな一歩となった。本講演では、この冷却時動作試験の結果を今後の展望とともに発表する。

[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](#)

## V232a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS : すばる望遠鏡での初期観測運用報告

本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洸佑, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星冴 (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, 上塚貴史, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 沖田博文, 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 赤外線望遠鏡はチリ・アタカマ高地のチャナントール山頂 (標高 5640m) に建設が進められており、その乾燥した気候と高い標高により非常に優れた赤外線大気透過特性を実現する。この利点を活かすため、我々は第一期観測装置の一つとして近赤外線多天体分光カメラ SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発と運用を行っている。

SWIMS は (1) 近赤外 2 波長同時撮像と (2) 多天体スリットにより最大 20 天体の波長 0.9–2.5 $\mu\text{m}$  のスペクトルを一気に取得することができる。TAO 望遠鏡の完成に先立って運用ノウハウの蓄積及び初期科学成果をあげることを目的に、我々は SWIMS を国立天文台ハワイ観測所に 2017 年に持ち込み、2018 年から 2020 年にわたって複数回の試験観測を行った。さらに、S21A セメスターより 2 年間にわたってすばる望遠鏡での共同利用観測に PI 観測装置として供している。

本講演では共同利用運用フェーズの多量のデータを基にした装置の性能評価の結果、及び長期運用で明らかになってきた装置の特性や問題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](#)

## V233a 近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU 開発状況：スライスミラーアレイ+PO0 の超精密切削加工と X 線 CT による評価

梶引洸佑 (東京大学), 細島拓也, 竹田真宏 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 大竹豊 (東京大学), 尾崎忍夫, 都築俊宏 (国立天文台), 本原颯太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小西真広, 小山舜平, 加藤夏子, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星冴 (東京大学)

SWIMS-IFU は東京大学がチリのアタカマ高地チャナントール山頂に建設中の TAO 6.5m 望遠鏡に搭載される近赤外線撮像分光装置 SWIMS に面分光機能を追加するイメージライサー方式の光学モジュールである。スリット幅をシーイング $\sim 0''.5$ に最適化することで近赤外線面分光装置では最大となる  $16''.6 \times 12''.8$  の視野を実現し、 $0.9\text{-}2.5\mu\text{m}$  を一度に  $R \sim 1000$  で分光できる SWIMS の特徴と合わせて、空間的に広がった天体を効率よく観測できる。SWIMS-IFU は装置内に冷却下で保管され、ロボットアームで焦点面に設置するため、コンパクト ( $<170 \times 220 \times 60\text{mm}^3$ ) かつ軽量 ( $<900\text{g}$ ) に設計される。そのため数 mm サイズのミラーを狭い範囲に複雑に並べる必要があり、我々は超精密加工を用いて一つの金属母材に複数鏡面を加工する一体加工で開発を進めてきた。

スライスミラーアレイは  $0.52\text{mm} \times 18\text{mm}$  の短冊状の平面鏡が互いに異なる方向を向いて 26 個積み重なった光学素子で、天体像を分割する重要な役割をもつ。この 26 個のスライスミラーとともに望遠鏡からの光を SWIMS-IFU 光学系内に導く平面鏡 PO0 ( $14\text{mm} \times 16\text{mm}$ ) も同じ金属母材に加工する必要がある。そのため、形状が複雑になり、超精密加工と完成品の測定がともに非常に困難になる。その一方でスライスミラーの角度は  $0.01^\circ$  の公差を持つため、正確な加工と測定が必要となる。本講演ではスライスミラーアレイ+PO0 の超精密切削加工での加工手法と X 線 CT を使用した測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](#)

## V234a 広視野近赤外マイクロレンズサーベイ望遠鏡 PRIME の進捗報告

宮崎翔太 (大阪大学), 山脇翼 (大阪大学), 住貴宏 (大阪大学), 鈴木大介 (大阪大学), 近藤依央菜 (大阪大学), 桐川凜太郎 (大阪大学), 他 PRIME コラボレーション

PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) コラボレーションは、南アフリカ天文台サザーランド観測所に口径 1.8m の主焦点望遠鏡 PRIME を建設する (2021 年度内完成・観測開始予定)。PRIME 望遠鏡は近赤外線では世界最大級である約 1.3 平方度の広視野を持ち、銀河系中心方向の低銀緯領域をマイクロレンズサーベイ観測する (H-band)。星密度の高い低銀緯領域の観測から、従来の可視光観測に比べて数倍のマイクロレンズイベントの発見数と惑星発見数が見積もられており、より詳細な雪線以遠のマイクロレンズ惑星分布の解明が期待される。

本講演では、PRIME 計画の概要と進捗状況を報告し、2020 年度に行われた日本国内での光学系試験の内容と結果を紹介する。光学系調整において PRIME の広い視野全体で収差補正を行うために、合計 3 つの検出器を搭載した光学調整用テストカメラを開発した。さらに、テストカメラで観測した視野端のデフォーカス画像の形状から光学系の収差パターンを解析的に導き、光学系の位置関係のずれを瞬時に推定するアルゴリズムを開発した。これらを実際の光学系調整試験に適用した所、目標とする PRIME の光学性能まで調整する事ができた。南アフリカ現地での光学系調整試験においても、本アルゴリズムを適用し実施する予定である。

[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](#)

## V235a PRIME 望遠鏡 H-band テストカメラの開発と展望

山響 (大阪大学), PRIME コラボレーション

我々は世界初の広視野で近赤外線を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズサーベイを行うために、PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) 望遠鏡を南アフリカ共和国に建設中である。PRIME 望遠鏡は近赤外線重力マイクロレンズサーベイを行うため、星間減光が強い低銀緯領域を観測することが可能である。星の数密度が高い領域を観測することで、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いる。地球質量以下の惑星検出数も増え、より正確に惑星分布を求めることができる。また、銀河系中心付近の星の数密度が高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。PRIME 望遠鏡は NASA が打ち上げを予定している Roman space telescope の観測領域の最適化や、Roman との同時観測も行う予定である。

本研究では、H-band テストカメラの開発を行なった。テストカメラの目的は、H-band (近赤外線、1500~1700 nm) の光を用いた PRIME 望遠鏡の光学調整、本番カメラの製作が遅延、故障した場合に科学的な解析に使用可能なデータをとることである。テストカメラの検出器には業界最小のピクセルサイズ  $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 、低ノイズを実現した InGaAs センサーを使用する。テストカメラ筐体は本番カメラの光学系を可能な限り再現できるように、また本番カメラの検出器はテストカメラの検出器よりも大きいため、本番カメラの視野端における画像取得が可能ないように設計をした。本講演では開発の状況と展望を発表する。

[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](#)

## V236a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

押野翔一 on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県飛騨市神岡の池の山の地下に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計である。トンネル掘削が 2014 年 5 月に完了して以来、配電、排水、換気などインフラストラクチャーの整備や、望遠鏡本体の建設を行い、2019 年 4 月に第 3 期国際共同観測運転 (Observation-3; O3) に必要な装置のインストールが完了した。その後、性能出し、各種の試験運転を通じて感度を向上させ、2020 年春に初めて国際的な同時観測運転を行った。観測中の感度は、中性子星連星合体の可観測距離換算で平均 0.5 Mpc 程度であった。コロナ禍で米国 LIGO と欧州 Virgo が観測運転を早期停止していく中、LVK 共同観測の一環として独逸 GEO600 と同時観測を実施した。

現在 KAGRA では、更なる感度向上のためアップグレードを進めている。2022 年の 6 月以降には、LIGO、Virgo、KAGRA による第 4 期国際共同観測運転 (Observation-4; O4) が予定されている。望遠鏡に届く重力波は非常に微弱なため、信号を捉えるためには種々の雑音を低減する必要がある。KAGRA では地面振動が小さい地下環境に重力波望遠鏡を設置しており、さらに多段振り子で鏡の揺れを抑えている。また、鏡の熱雑音による揺らぎを抑えるための冷却装置や迷光雑音を低減するための baffle の準備を進めている。本講演では、O4 観測に向けた改修作業の進捗状況と今後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](#)

## V237a 光・赤外大学間連携観測による STARLINK Visorsat の多波長の等級測定

堀内 貴史, 花山 秀和, 大石 雅寿, 小野里 宏樹 (国立天文台), 中岡 竜也 (広島大学), 高橋 隼 (兵庫県立大学), 山中 雅之, 反保 雄介 (京都大学), 村田 勝寛, 細川 稜平 (東京工業大学), Schramm Malte, 大出 康平, 金井 昂大, 竹内 媛香, 大朝 由美子 (埼玉大学), 高木 聖子, 大野 辰遼 (北海道大学), 他 OISTER team collaborations

アメリカ合衆国の SpaceX 社は、巨大衛星通信網 (衛星メガコンステレーション) によるインターネットサービスの充実に Starlink (スターリンク) 衛星 60 機の打ち上げを 2019 年 5 月に開始した。さらに同社は、2020 年代中頃までに総数 42,000 機の運用を予定している。これらの衛星は高度 550 km などの比較的低い軌道で周回し、衛星の太陽光反射により観測または景観に影響が及ぶことが懸念されている。国際天文学連合 (IAU) や国立天文台をはじめとする世界の天文台はこの懸念に対し声明を発表した。SpaceX 社はこの声明を受けて、太陽光反射を軽減すべく 2021 年 6 月に機体本体に庇を取り付けた Visorsat (バイザーサット) を打ち上げた。

バイザーサットの見かけの等級 ( $V$ ) については 6 等級前後となることなどが先行研究から分かっている。しかしながら、バイザーサットの庇の効果について多波長観測による詳細な報告はなされていない。そこで本研究では光・赤外大学間連携 (OISTER) 観測により、バイザーサットの庇による太陽光反射抑制の効果を多色 (紫外/可視・近赤外) かつ同時に評価することを目的とした。観測については、2021 年 2 月から OISTER を通じて進めている。予備解析の結果、バイザーサットの見かけの等級は  $g' = 6.46 \pm 0.05$ ,  $R_c = 6.12 \pm 0.04$ ,  $I_c = 5.71 \pm 0.05$  となり、従来のスターリンク衛星 ( $g' = 5.88 \pm 0.17$ ,  $R_c = 5.16 \pm 0.07$ ,  $I_c = 4.80 \pm 0.11$ ) より 1 等程度暗いこと、長波長ほど明るい傾向にあることなどが分かった。また、 $U$  バンドでは航跡が写らないことも確認できた。本講演ではバイザーサットの等級の位相角 (太陽-衛星-観測者) 依存性、各波長での反射率なども併せて報告する。

[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](#)

## V238a 岡山 188cm 反射望遠鏡 / HIDES-F の全自動データリダクションツールの開発・運用状況について

原川 紘季 (国立天文台ハワイ観測所), 泉浦 秀行 (国立天文台ハワイ観測所 岡山分室), 佐藤 文衛 (東京工業大), 大宮 正士 (アストロバイオロジーセンター / 国立天文台), ほか HIDES-F 運用チーム

国内のドップラー法による系外惑星探索の主力を担う岡山天体物理観測所 188cm 反射望遠鏡および可視高分散分光器 HIDES-F は、2017 年度をもって共同利用を終了したのち、東工大を始めとするユーザーコミュニティが主体となって運用を継続している。望遠鏡およびドーム施設のオペレーションについてはキューコマンドによるリモート制御が可能となり、観測遂行に関する部分は自動制御が実現しているが、本施設を利用して 10 年以上を念頭に置いた長期にわたる継続的な研究活動を引き続き行うため、限られた人的・物的リソースをさらに効率的に活用する必要がある。特にドップラー法による系外惑星サーベイにおいては膨大な数の視線速度データや、その取得日時を取りまとめた上で進行してゆく性質である都合上、サーベイの各種情報を手作業で集約していると一定の規模以上のサーベイ展開は難しい。数百ものターゲットについてそれぞれ数十程度の視線速度データが存在するため、生データの一時処理から始まり、視線速度の導出、それぞれの視線速度変動について特徴づけを行った上で今後のデータ取得のタイミングや頻度にフィードバックをかける、という作業量は膨大であるため、今後のサーベイ継続・展開を容易にするためにも可能な限りの自動化 (省力化) が必要である。我々は現在までに、HIDES-F の高分散分光データの一次元化について完全自動化し、科学用途に十分に耐える品質の一次元化スペクトルを出力するシステムを開発しその運用を行なっている。本講演では自動化実装後の運用状況、省力化以外のメリットおよびドップラーサーベイに必要な更なるデータ解析の自動化について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](#)

## V239a ハーフトーン手法を用いた高コントラスト観測のためのダークホール制御技術の開発

米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 須藤星路 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/アストロバイオロジーセンター)

地球型系外惑星にバイオマーカーを探索するためには、惑星の直接観測が有効であると期待される。太陽型星のハビタブルゾーンを公転する地球型惑星の直接観測には、 $10^{-10}$  のコントラストを達成する観測装置が必要となる。このような観測装置は主に、コロナグラフとダークホール制御系から構成される。コロナグラフは、望遠鏡による恒星回折光を除去する技術である。ダークホール制御は、光学素子の面粗さが原因の恒星散乱光を、波面制御によって除去する技術である。恒星光が除去された領域において、惑星探査が可能となる。

$10^{-10}$  のコントラストを達成するためには、ダークホール制御に  $2\pi/10000$  の高い位相分解能をもつ可変形鏡 (DM) や空間光変調器 (SLM) などの波面制御デバイスが必要とされている。従来のダークホール制御では、制御デバイスの位相分解能が低い場合、達成可能なコントラストが制限されてしまう。我々は、低い位相分解能でも高コントラストを達成できる技術として、印刷で用いられるハーフトーン手法をダークホール制御に応用することを提案している (米田他, 2020 年秋季年会 V220a; 2021 年春季年会 V214a)。我々は今回、数値シミュレーションおよび室内実験により、この提案技術の原理実証を行った。室内実験では、位相分解能を  $2\pi/256$  と低く設定した SLM を用いた結果、提案技術を用いない場合のコントラストは  $2.1 \times 10^{-7}$  に制限されたが、提案技術を用いることで  $6.6 \times 10^{-8}$  に改善することを確認した。本講演では、提案技術の数値シミュレーションおよび室内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](#)

## V240a 国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤外偏光分光観測装置の SQL-DB と連携した pipeline 処理と校正精度向上

森田 諭, 花岡庸一郎, 桜井 隆, 勝川行雄, 末松芳法 (国立天文台)

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡の口径 15cm 第 2 望遠鏡は、高速偏光変調が可能なポラリメーター、分光器、高速読み出しが可能な近赤外カメラ (Xenics 社製 Xeva InGaAs 640 CL TE1: 最大 90 fps,  $512 \times 640$  ピクセル) 2 台からなる偏光分光観測装置 (IrMag) を搭載し、He I  $1.0830 \mu\text{m}$ 、Fe I  $1.5648 \mu\text{m}$ 、及び、Si I  $1.0827 \mu\text{m}$  吸収線付近での太陽全面フルストークススペクトルのモニター観測を、2010 年度より定期的に行っている。fits 形式の偏光マップを現在公開しているが、並行して 3 次元ベクトル磁場データを公開する準備を進めている。

Stokes Inversion モジュールにかけるための機器校正済 Stokes スペクトルデータの作成を意図して、使用の近赤外カメラの非線形感度応答を pixel 毎に補正する look up table (LUT)、blink pixel (0.5-0.9%) のマッピング、室内実験で作成した非線形感度応答補正 LUT と機上でのフラットの違いを補正するフラットフィールドモジュール、偏光 demodulation モジュールが、それぞれ存在する。一方でこの装置は改修履歴も多く、また、各種情報がデータと共に分散保持されているため、これらモジュールを連携させ統一的にかける際の弊害となっていた。観測ログ/改修履歴/観測データの統計処理情報を吸い上げ、時期毎に欠損している情報を補完したりレイショナルデータベースを作成し、pipeline として連携させたのでこれを報告する。データベースは、取得データの品質や校正レベルの管理にも使用する。正確な Stokes Inversion をかける為には、Stokes I スペクトルの精密な校正が必要となる。代表観測データを用いた校正精度の向上試験の結果も併せて紹介する。

[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](#)

## V241a 気象衛星ひまわり 8号の可視赤外多色撮像データを用いた天体測光とその応用

宇野慎介, 谷口大輔, 山崎一哉, 西山学 (東京大学)

静止気象衛星ひまわり 8号は 2015 年 7 月 7 日に運用が開始され、2021 年現在まで継続的に地球大気および地表を観測している。ひまわり 8号には 0.45–13.5  $\mu\text{m}$  にわたる 16 バンドを同時に撮像できる可視赤外放射計 Advanced Himawari Imager (AHI) が搭載されており、衛星から見える地球の全範囲を 10 分間に 1 回の頻度でスキャンする。このスキャンの際、地球の縁から約 1 度以内の宇宙空間も観測される。地球の後方に位置する天体が宇宙空間に写り込んだ場合には、その時刻におけるその天体の多色同時測光画像が得られることになる。特に 6–7  $\mu\text{m}$  の水蒸気バンドは気象衛星の主要な観測バンドの一つであるが、地上からはむしろ天文観測が困難な波長帯となっている。我々は、前身であるひまわり 7号と比べて大幅に向上したひまわり 8号の観測頻度とバンド数に着目し、天体の高頻度多色モニタリング観測に活用できると考えた。

そこで本研究では、ひまわり 8号の多色撮像データから天体画像の抽出と測光を試みた。撮像データには位置合わせと放射量校正がなされた「ひまわり標準データ」として気象庁から配布されているものを使用した。宇宙空間におけるバックグラウンドを測定したところ、東西方向の走査および地球の縁からの動径距離に依存してバックグラウンド強度が変化していることが確認された。また赤緯  $\pm 8.8$  度以内にある明るい恒星に対して開口測光により 6 年間に及ぶ光度曲線を描くことに成功したが、2016 年前半以前では系統的にフラックスの値が大きくなってしまったことが分かった。1 回のスキャンでの限界等級 (AB 等級) は可視近赤外バンドでおよそ 0.5–2.5 mag、熱赤外バンドでおよそ  $-2.5$ – $+0.5$  mag であった。本講演では解析手法と得られた測光結果について報告し、気象衛星を用いた天文学・惑星科学研究の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](#)

## V242b 可視偏光サーベイ計画 SGMAP: 北天銀河面の可視近赤外サーベイと南天観測の海外協力

川端 弘治, 植村 誠 (広島大), 秋田谷 洋 (千葉工大), ほか SGMAP 協力グループ

SGMAP (Search for Galactic Magnetic-field by All-sky Polarimetric survey) 計画は、広島大学宇宙科学センターが次期プロジェクトとして推進している可視偏光サーベイ計画である。当初は、専用の望遠鏡を用いて世界初となる北天の偏光サーベイを可視域の複数のバンドにて行うことを目指していたが、競合する PASIPHAE/WALOP が北天の高銀緯領域の観測で先行したことや、Gaia の恒星距離カタログの完成が迫っていることなどから、広島大学の口径 1.5m かなた望遠鏡と既存装置 HONIR を用いて北天の銀河面の可視・近赤外多バンド偏光サーベイを実施すると共に、ブラジル・オランダを中心として進められている南天の偏光サーベイプロジェクト SOUTH POL に日本から参画して、南北両半球それぞれの偏光サーベイの特徴を活かした研究を先駆けて進めるべく、計画を修正しつつある。北天では、HONIR に視野を 10 分角四方から 25 分角四方へ広げ、また開発済みの国産 1.3k InGaAs アレイを導入し、可視 1 チャンネル+近赤外 2 チャンネルの同時偏光観測を実現し、観測期間 2 年で銀河面 ( $|b| \leq 3^\circ$ ) の観測可能領域を掃く予定である。これにより、距離分解した銀河円盤の磁場構造を解き明かす。特に、透過力の高い近赤外域の観測を活かした、銀河円盤を見通すことができる領域の観測に期待する。南天では、先行する SOUTH POL プロジェクトに参画して、南天球全域の可視バンド偏光サーベイを実施し、分子雲コアから広域にわたる様々なスケールの銀河磁場構造を解き明かす。さらに、観測時間の一部を反復観測へ割り当て、興味深い時間変動天体や新たな突発天体に対して偏光モニターを実施する。講演では、予算化を含めた本プロジェクト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](#)

## V243b かなた望遠鏡/HONIR で得られる偏光撮像データの自動解析システムの構築及び性能評価

森文樹, 笹田真人 (広島大学)

天体からの電磁波は偏光を持つことが知られており、その偏光を調べることでその放射領域の幾何構造や磁場形状など物理的状态を推定できる。広島大学の東広島天文台が所有するかなた望遠鏡では、カセグレン焦点に取り付けられた観測装置 HONIR を用いた可視光・近赤外域の偏光観測を行う。偏光観測の一例として、ある一つの天体を日夜観測することで、その天体からの偏光の時間変化を調べる研究などが行われている。偏光観測データは日夜増えていくため、得られた膨大なデータを効率的に解析し、人為的エラーを低減するためのシステムが求められた。そこで私たちは得られた撮像および偏光撮像データの自動解析システムを構築・導入した。

私たちが導入した自動解析システムでは、はじめに通常の画像処理 (バイアス・ダーク差し引き、フラット割り、宇宙線除去) が行われる。撮像データに関しては、画像の天体位置座標の解析が行われ、開口測光および測光値のゼロ点補正が行われ、スカイバックグラウンドのぼらつきをノイズとした限界等級の計算までが自動で行われる。偏光撮像データの場合には、検出された天体の座標をもとに偏光情報が異なる 8 つのデータのマッチングが行われ、それぞれの測光値から偏光パラメータが計算される。

私たちは取得した無偏光標準星観測データを用いて自動解析システムの性能評価を行った。その結果、可視光バンドでのストークスパラメータ  $Q, U$  の平均はそれぞれ 0.02%, -0.02%、標準偏差は 0.24%, 0.20% となり、統計誤差が無視できるほど十分明るい天体の場合、解析による誤差は 0.2% 程度となることがわかった。本講演では自動解析システムの概要およびシステムの性能評価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](#)

## V244b かなた望遠鏡による情報理論・機械学習を用いた自動意思決定システムの実用性の検証

古賀柚希, 植村誠 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 加藤太一, 野上大作, 磯貝桂介, 小路口直冬, 田口健太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台)

新星爆発や矮新星アウトバーストなどの突発的に起こる現象は、発生してから発見されるまで、そして発見されてから詳細な観測が行われるまでの間に物理状態が変わってしまうため、研究が難しく、理解されていないことが多い。そこで、突発現象に対して迅速に適切な追跡観測を行い、天体の正体を同定する必要があるが、これには情報理論の枠組みが有用である。我々はこの枠組みを用いて、特に激変星などの銀河系内の突発現象を対象に、適切な追跡観測を自動で判断し、実行するシステムを開発している。本研究の目的は、このシステムを用いて、激変星の一種である新星や矮新星の爆発現象や、降着円盤の構造などの物理を探ることである。

前回の年会では、相互情報量を用いた意思決定の枠組みを発表した。今回はその枠組みを広島大学かなた望遠鏡で試験運用した結果について発表する。2020 年 10 月以降に、このシステムを元実際にいくつかの突発現象に対して追跡観測を行った。発見時は型が不明だった現象に対して、数日間の光度曲線から SU UMa 型矮新星であることが示唆された成果などが得られた一方で、小惑星や、突発現象検出の際の画像差し引きで生じる偽現象などを突発現象として捉えたものもあった。そのような現象は追跡観測候補から除外するように、今後システムを改良する必要がある。さらに、機械判別の際に用いる物理量や参照する天体カタログなどに修正を加えながら、意思決定をより精度の高いものにしていき、自動観測システムを構築する予定である。

[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](#)

## V245b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発

津久井遼, 木野勝, 山本広大, 栗田光樹夫 (京都大学), 松谷晃宏 (東京工業大学)

我々は太陽系外惑星の直接撮像観測を目的とした高コントラスト撮像装置 SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics) の開発を進めており、せいめい望遠鏡への搭載を目指している。撮像を目指す惑星は主星との離角が 0.2 秒角、惑星/主星の光度比が  $10^{-5}$  程度である。これを地上から観測する場合、地球大気の乱流によって主星の像が乱れ、近傍の惑星像が埋もれてしまうことが問題となる。そこで、大気乱流によって乱された光の波面を、補償光学装置で測定・補正することが必要である。具体的な補正の目標はシュトレール比 0.9 であり、これを達成するためには、高精度 (観測波長  $1.65 \mu\text{m}$  の  $1/20$ ) かつ高頻度 (毎秒 6000 回) で波面形状を測定する波面センサが必要である。しかし、天体からの微弱な光を利用する波面センサにおいては、測定精度と測定頻度を両立することは難しい。例えば従来のシャックハルトマン波面センサでは、測定した波面傾斜を積分して波面形状を推定する際の誤差伝播が障害となる。そこで我々は、光学面検査などで用いられる点回折干渉計 (PDI) と位相シフト干渉法を応用した波面センサを開発している。本方式は波面形状を直接測定するため測定点間の誤差伝播がなく、要求される精度と頻度を両立できる見通しである。本方式の核となる光学素子 (point diffractor) は、複屈折結晶である  $\text{TiO}_2$  と複屈折性のない  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  から成る。 $\text{TiO}_2$  基板に直径  $30 \mu\text{m}$ 、深さ  $1 \mu\text{m}$  程度の穴を設け、その内部に  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  を充填することで製作する。現在、半導体プロセス技術を利用してこのような加工を進めており、設計に近い形状の素子が製作できている。本講演では、素子の製作状況の詳細と、実験室内での性能評価試験の状況について述べる。

[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](#)

## V246b 偏光 2 チャンネル型位相マスクコロナグラフのための焦点面波面センサーの開発

大平泰広, 村上尚史, 須藤星路 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

系外惑星を直接検出しその特徴を捉えるため、分光偏光観測が可能な高コントラスト観測装置が求められる。フォトニック結晶位相マスクを用いたコロナグラフは、マスクを偏光子で挟んだ偏光フィルタリングにより、広帯域での分光観測が可能になると期待される。しかしこの手法では、片偏光成分しか観測できないという問題がある。この問題を解決するため我々は、2チャンネル型位相マスクコロナグラフの検討を行った。2チャンネル型位相マスクコロナグラフは、偏光子ではなく偏光ビームスプリッタによるフィルタリングを行うことで、両偏光を同時に観測することができる設計となっている。これにより、系外惑星の分光偏光観測が効率的に行えると期待される。しかしながらコロナグラフは、装置内の光学素子の取差などにより、恒星光が完全に除去できずスペckルが残ってしまう問題がある。したがって、光波面補正によりスペckルを低減するため、スペckルの電場を測定する波面センサーが必要である。我々は、スペckル電場を測定する波面センサーとして、Self-Coherent Camera (SCC) 法 (Baudoz et al. 2006, Proc. IAU., 200, 553) を偏光 2 チャンネル型位相マスクコロナグラフに応用することを新たに提案した。SCC 法は、コロナグラフの Lyot stop において、除去された恒星光から参照光を取り出す。これを焦点面でスペckルと干渉させることで、干渉縞の解析からスペckル電場を測定する技術である。我々は、SCC 法を偏光 2 チャンネル型位相マスクコロナグラフに適用するための Lyot stop を設計・製作した。さらに、2 波長レーザーを用いた室内実証実験を行い、干渉縞の解析によりスペckルの強度 (振幅) 分布を測定した。本講演では、実証実験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](#)

## V247b フォトニック結晶にもとづく広帯域離散型 6 次ベクトル渦マスクの設計

林寛昭, 村上尚史, 土生圭一郎 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

ハビタブルゾーンに存在する地球型系外惑星の分光観測を行い、酸素やメタンの吸収線といった生命存在指標を検出するため、広帯域にわたって恒星光を  $10^{-10}$  レベルで除去できるコロナグラフが求められている。先行研究において、多層化したフォトニック結晶により広帯域性能を高めた 8 分割位相マスク (8OPM) の開発が行われている (土生他, 2019 年秋季年会 V226a)。今回は、8OPM と比較してより低次波面収差に強い 6 次ベクトル渦マスクについて、広帯域設計を行った。6 次ベクトル渦マスクとは、半波長板の速軸方位を空間的に変化させることで、方位角  $\theta$  の位置において光波に  $6\theta$  の位相変調を加えるマスクのことである。フォトニック結晶技術により微細な軸方位パターンの波長板が実現できるが、空間的に滑らかな軸方位をもつ 6 次ベクトル渦マスクの作製は困難であると考えている。

そこで我々は、マスクを放射状に 48 分割し、各領域内で一様な波長板となるような離散型のデザインを検討した。広帯域化のため、5 層構造の離散型ベクトル渦マスクの設計を行った。各層の速軸方位と中心波長を設計パラメータとして、その最適解を粒子群最適化というアルゴリズムを利用して算出した。その結果、636–814 nm の波長域において恒星の PSF ピークを  $10^{-8}$  (惑星探査領域で  $10^{-10}$ ) 以下に除去できることを確認した。一方で、波長板のわずかな製造誤差により性能が著しく劣化することが、数値計算から示唆された。製造誤差への対策については、マスクを円偏光子で挟み、誤差による漏れ光を除去することを検討している。本講演では、提案する広帯域離散型 6 次ベクトル渦マスクの設計と期待される性能、および製造誤差に関する検討について報告する。

[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](#)

## V248b 飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡の観測とデータ処理の自動化

永田伸一 (京都大学), 大辻賢一 (情報通信研究機構), 石井貴子, 西田圭佑, 上野悟, 一本潔 (京都大学), 森田諭 (国立天文台)

京都大学飛騨天文台に 2003 年度に設置された太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope: SMART) では、適宜観測装置更新を行い、現在は、口径 20cm 鏡筒 (T1) での Lyot フィルターを用いた  $H\alpha$  全面速度場観測、2 本の口径 25cm 鏡筒 (T3, T4) での部分像  $H\alpha$ ・連続光高速撮像観測 (T3)、Fabry-Perot フィルターによる部分像高精度光球磁場観測 (T4) を行っている。安定した運用を継続するためには、効率的なシステム全体の動作確認と  $\sim 15\text{TB/day}$  にも及ぶデータの高速処理が必要とされる。しかしながら、装置の複雑化にともない、従来の大学院生を含めた当番の手動操作を基調とした運用の負担増が深刻化してきていた。さらに、2020 年の Covid-19 による活動制限により、合計 6 名の飛騨天文台職員のみで運用を担当する状況になった。そこで、2020 年度に、自動観測機能の強化、データ処理の高速化に取り組んだ。老朽化していた Windows, Linux が混在した観測装置制御コンピュータを、Windows システム (合計 6 台) で統合、Quick Look データのウェブサーバでのリアルタイム監視、不具合発生時の警告メール送信を実装することで、従来当番が目視で対応していた処理の自動化を実現した。また、不定期に発生する装置停止不具合の原因がネットワークによるものであることを突き止め、自動復旧機能を持たせることで、データロスをも最小化した。さらに、観測終了後に必要な、ダーク・フラット補正、偏光変調復元処理などは、ライブラリのマルチスレッド化や、Windows タスクスケジューラ、Linux の cron を利用することで、高速に自動処理するように改修した。講演では、改修後のシステムでの、観測とデータ処理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](#)

## V249b 解析手法改善によるなゆた望遠鏡近赤外カメラ NIC の高精度化と、遠方 QSO モニタリングへの展望

斎藤智樹, 高橋隼 (兵庫県立大学), 関根章太, 井上昭雄 (早稲田大学)

我々はなゆた望遠鏡/NIC を用いて  $z \sim 6$  を越える遠方クェーサー (QSO) の系統的測光モニタリングを続けている。一連の観測により、多くが 20 等 (AB) 台前半以上の明るさを持つ遠方 QSO は、NIC で十分検出が可能なが示された。明るい QSO は超広視野のサーベイで同定されるため、均質な近赤外データがあるとは限らない。そのため、物質降着を反映する静止系紫外を捉えられる近赤外のデータを取得することは、巨大ブラックホール形成史の解明に手がかりを与える意味で重要である。

こうした観測では、測光精度の向上が重要な課題となる。NIC では、従来のフラット補正では取り切れない感度のばらつきがあることが知られている。これに対して、検出器上の位置による補正をかけることで、高精度の測光を実現した先例がある (多葉田 2017, 兵庫県立大修士論文)。この補正を星団の観測によって拡張し、多項式フィットで視野内の感度を一定に揃える解析 (“ubercalibration”) を行った。これにより、セルフ・キャリブレーションができない微光天体の測光にも補正を適用することができる。

球状星団を用いた解析では、フラットレベルが視野内で  $\pm 4 - 5\%$  (rms) 程度変動していることが分かった。これを用いてフラット補正済みデータを更に補正したところ、検出器上のクリーンな位置で約  $\pm 4\%$ 、視野端などの位置で約  $\pm 10\%$  まで、フレーム間の測光値のばらつきを抑えることに成功した ( $\sim 12 - 15$  等、20 秒積分、5 点ディザーの場合)。更に条件を変えて星団を観測し、測光精度の向上を目指している。その現状とともに、実際の QSO データへの適用についての展望を紹介する。

[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](#)

## V250c Shack-Hartmann センサーを用いた波面位相・振幅ゆらぎの総合的計測

三浦則明, 松岡広樹, 蘆田悠輔, 澁谷隆俊, 桑村進 (北見工大), 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用の補償光学装置 (AO) の開発を進めている。AO は大気揺らぎによって発生した波面位相誤差をリアルタイムで補正するもので地上望遠鏡では必須の装置となっている。しかしながら AO は原理的に位相誤差だけを補正するため、波面に振幅揺らぎ (シンチレーション) がある場合、それは補正されず直接結像性能に効いてくる。その影響について実際に望遠鏡サイトで評価された例は非常に少ない。そこで我々は、シンチレーションが結像性能に与える影響を見積もる目的で、同望遠鏡を用いて 2021 年 5 月にデータ取得を行った。

観測では、2 種類の Shack-Hartmann (SH) センサーを用いて同時に、同じ太陽黒点を参照して画像を記録した。一方の SH センサーは、飛騨天文台の 2 階の常設 AO 装置で波面計測用に使用しているものであり、そのサブ開口の視野は 23 秒角である (狭視野 SH センサーと呼ぶ)。もう一方は、1 F 観測室のテーブル上に観測にあたって設置したものであり、視野は 48 秒角である (広視野 SH センサーと呼ぶ)。狭視野 SH センサーからフリードパラメータと瞳面シンチレーションの強さを求め、広視野 SH センサーのデータには SLODAR 解析を適用して揺らぎ層の高さを求める計画である。瞳面のシンチレーションは上空揺らぎ層の高さとそこでの揺らぎの強さによって決まるため、二つの波面センサーからの情報を合わせて解釈することによって、地表層から上空層に渡る大気揺らぎの状態を総合的に理解することが可能となる。

現在は狭視野 SH センサーのデータ解析に着手したところであり、学会ではその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](#)

## V251c 低融点金属を用いた反射望遠鏡の開発に関する基礎的研究

村上勝也, 今泉瑛介, 近藤正聡 (東工大), 早野裕, 松田有一 (国立天文台)

反射望遠鏡の主鏡に用いられる固体の放物面鏡は、研磨による鏡面を有する放物面形状の形成、メンテナンスや輸送方法の制約などから、大型化が困難であった。これらの課題を克服するために考案されたものが、液体金属を回転させる事で放物面を形成する液体金属鏡である。しかし液体金属鏡は光軸と重力方向が平行でなければならず、全天を観測することはできない。そこで本研究では低融点金属を用いて、液体を回転させながら固化させることで全天を観測可能な放物面鏡（「低融点金属鏡」と呼ぶ）の開発を行う。本研究の目的は、回転中の固化プロセスによる低融点金属の形状制御性及び適した液体金属を明らかにすることである。形状制御性を評価するため、液体 Ga (融点:29.75°C) を 50~200 rpm の回転速度の条件で固化させ、その表面形状を測距センサにより測定した。その結果いかなる回転速度でも理論値に近い放物面を得られることがわかった。固化後の表面には、酸化被膜の形成や固化時の体積膨張の影響と思われる局所的な凹凸が生じることが明らかになった。次に、加熱による液化後に、静止場における放冷により固化させた Ga と Wood's metal (50Bi-24Pb-14Sn-12Cd, 融点:70°C) の表面粗さを 3D レーザー顕微鏡により測定した。その結果 Ga の表面粗さは Wood's metal よりも小さく鏡面性も良好であった。Wood's metal は固化時の金属間化合物の析出が、乏しい鏡面性に影響したと考えられ、純金属の方が低融点金属鏡に適していることが示唆された。更に固化時の表面粗さが鏡面性に与える影響を明らかにするため、研磨により表面粗さを変えた低融点金属のサンプルを数種類用意し、表面粗さと鏡面性の相関を調査した。その結果、いずれのサンプルも表面粗さが小さいほど高い鏡面性が得られたことから、固化時の表面粗さが小さい金属ほど低融点金属鏡に適してい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](#)

## V252c 連星スペckル差測光における確度向上のためのデータ解析手法の検討

桑村進, 西田來樹, 三浦則明 (北見工大), 馬場直志 (北大)

多数の連星に対して分離角、位置角、強度比(等級差)を長期にわたって測定し蓄積されたデータは、恒星の質量光度関係および進化に関する知見を深める上で重要である。可視域における連星の測定では、分離角が地球大気揺らぎによる空間分解能限界(シーイング限界)より小さい場合、スペckル干渉法が使われる。同方法では、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多数枚の狭帯域像(スペckル像)の平均パワースペckトルを求める。連星の場合、これは1枚のフリッジ画像となる。フリッジ画像から、分離角と位置角が回折限界で観測した時とほぼ同程度の確度で求められる。一方、等級差の測定(差測光)は、検出器雑音によるバイアスと伝達関数を補正した上で、フリッジ可視度を求めることによって行われる。しかし、これらの補正処理を正確に行うのは通常困難であり、不適切な補正処理による測光確度の低下は避けられない。

スペckル差測光において、上記のような補正処理をなるべく避け、フリッジ画像から直接等級差を推定する方法が採用されてきた。その中で、フリッジ画像に対し、伝達関数と雑音バイアスを考慮に入れたモデル関数を当てはめるという手法が、研究グループの間で最もよく採用されている。しかし、この場合、適切なモデル関数を如何に選定するかが問題となる。Pluzhnik (2005) は、伝達関数の等値線に沿ったフリッジ画素値に対し、線形当てはめを適用することを提案している。この手法では、モデル関数の選定の必要はないが、伝達関数の等値線を如何に求めるかという問題が生じる。この問題に対し、我々は、フリッジ画像の可視度の等値線が伝達関数の等値線になっているという性質を利用した手法を提案する。本発表では、Pluzhnik 法に提案手法を組み込んだスペckル差測光法の有効性を数値データおよび観測データを用いて検討する。

[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](#)

## V301a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (5)

林 多佳由, 岡島 崇, Yang Soong, 田村 啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Danielle N. Gurgew, 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), 佐藤 寿紀 (立教大), 森 英之, 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, JAXA), 林田 清 (大阪大)

我々は NASA の Goddard Space Flight Center で X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載する X 線望遠鏡 (XMA: X-ray Mirror Assembly) を開発している。XMA は XRISM の 2 つの観測システム (Resolve, Xten) で X 線の集光と結像を担う。XMA は母線長 100 mm、厚さ 150-300  $\mu\text{m}$  の反射鏡ペアを同心円状に 203 層並べた構造をしている。1,2 段それぞれを 4 分の 1 口径ハウジングごとに開発し、これらを結合することで全口径の望遠鏡とする。XMA1,2 号機ともに 2020 年 7 月までに完成、熱真空試験と振動試験を実施したが、1 号機は振動試験で結像性能が変化してしまった。調査の結果、衛星への取り付けインターフェース付近で、エポキシ量が不十分で構造強度が不十分であることが分かった。これらの弱点を解消するため、各ハウジングにまでばらし、2021 年 5 月に再組み上げを完了した。今後、再振動試験を実施する予定である。2 号機は振動試験による性能の変化がなかったため、X 線による性能測定へ進んだ。速報値で、6.4 keV の有効面積は 420  $\text{cm}^2$ 、結像性能は half-power diameter で 1.3 分角となった。本講演では、こうした XMA の開発状況と、地上較正試験を含む性能測定の最新結果を報告する。

[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](#)

## V302a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VII

Y. Ishisaki<sup>A,I</sup>, R.L. Kelley<sup>B</sup>, H. Akamatsu<sup>C</sup>, H. Awaki<sup>D</sup>, T.G. Bialas<sup>B</sup>, G.V. Brown<sup>E</sup>, M.P. Chiao<sup>B</sup>, E. Costantini<sup>C</sup>, J.-W. den Herder<sup>C</sup>, M.J. Dipirro<sup>B</sup>, M.E. Eckart<sup>E</sup>, Y. Ezoe<sup>A</sup>, C. Ferrigno<sup>F</sup>, R. Fujimoto<sup>G,I</sup>, A. Furuzawa<sup>H</sup>, S.M. Graham<sup>B</sup>, M. Grim<sup>C</sup>, T. Hayashi<sup>B</sup>, A. Hoshino<sup>I</sup>, Y. Ichinohe<sup>K</sup>, R. Iizuka<sup>I</sup>, M. Ishida<sup>I</sup>, K. Ishikawa<sup>A</sup>, C.A. Kilbourne<sup>B</sup>, S. Kitamoto<sup>K</sup>, M.A. Leutenegger<sup>B</sup>, Y. Maeda<sup>I</sup>, D. McCammon<sup>L</sup>, I. Mitsuiishi<sup>J</sup>, M. Mizumoto<sup>Q</sup>, T. Okajima<sup>B</sup>, S. Paltani<sup>F</sup>, F.S. Porter<sup>B</sup>, K. Sato<sup>O</sup>, T. Sato<sup>K</sup>, M. Sawada<sup>M</sup>, H. Seta<sup>A</sup>, P.J. Shirron<sup>B</sup>, G.A. Sneiderman<sup>B</sup>, Y. Soong<sup>B</sup>, A.E. Szymkowiak<sup>P</sup>, Y. Takei<sup>I</sup>, T. Tamagawa<sup>M</sup>, M. Tsujimoto<sup>I</sup>, Y. Uchida<sup>R</sup>, C.P. de Vries<sup>C</sup>, S. Yamada<sup>K</sup>, N.Y. Yamasaki<sup>I</sup>, S. Yasuda<sup>I</sup>, N. Yoshioka<sup>I</sup> (都立大<sup>A</sup>, NASA<sup>B</sup>, SRON<sup>C</sup>, 愛媛大<sup>D</sup>, LLNL<sup>E</sup>, U-Geneva<sup>F</sup>, 金沢大<sup>G</sup>, 藤田保健衛生大<sup>H</sup>, JAXA<sup>I</sup>, 名古屋大<sup>J</sup>, 立教大<sup>K</sup>, U-Wisconsin<sup>L</sup>, RIKEN<sup>M</sup>, 東北大<sup>N</sup>, 埼玉大<sup>O</sup>, Yale-U<sup>P</sup>, 京都大<sup>Q</sup>, 広島大<sup>R</sup>)

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、センサ単体での評価では「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本が担当する液体 He デュワについて 2019 年 11 月より FM センサと断熱消磁冷凍機を組み込みを開始し、12 月にセンサを組み込んだ状態で性能を確認した。2020 年 3 月に液体ヘリウムのリークが発生し対応中であつたが、2021 年 6 月現在、対策をほぼ完了し、再度、遮光/断熱フィルタを組み込み中である。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](#)

## V303a XRISM衛星搭載精密X線分光装置 Resolveの単体試験時の低周波帯ノイズ解析

小湊 菜央, 山田 真也, 一戸悠人 (立教), 石崎 欣尚 (都立大理), on behalf of Resolve team

XRISM衛星に搭載される Resolve 検出器 (マイクロカロリメータ) は X線帯域で高いエネルギー分解能 ( $\sim 5\text{eV}@6\text{keV}$ ) を有する非分散型の単一光子分光器である。実際のセンサーの性能は、素子の設計値などで決まる性能だけではなく、環境ノイズにも依存する。2014年10月、ASTRO-H(ひとみ)衛星の軟 X線分光器 (SXS) のサブシステム試験 (@住友重機械工業 新居浜工場) にて、100Hz以下の低周波帯域に現れるノイズ (midband ノイズ) が初めて現れた。当時は機械式冷凍機の特定の条件で発現すると考えられたが根本的な原因は不明であり、新居浜工場からの移動後、および軌道上では発現しなかった。2019年に同じ場所で行われた Resolve 単体試験では midband ノイズと類似の現象が、ジュールトムソン冷凍機を特定の周波数で駆動した場合に一時的に観測された。この発生原理を理解するために、He tank に高感度の加速度計を取り付け、センサーのノイズの時系列データを同時に取得した。midband ノイズが見られた時間帯だけ断熱消磁冷凍機への熱負荷が増えていることが温度制御用のマグネット電流値の変化として見えており、磁性塩までの振動起因の熱の入力は確かであろう。そこで、振動の加速度データと midband ノイズの検出器ノイズについての相関を調べた。単純比較では、midband ノイズが高い時であっても、振動レベルには明確な変化は見られない。詳細に解析すると、断熱消磁冷凍機周りの共振周波数 (約 210Hz)、ジュールトムソン冷凍機の基本振動数の 7 倍や 9 倍の周波数などで、加速度と検出器ノイズの相関度は高いことは明確になった。

[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](#)

## V304a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (6)

富田洋 (ISAS/JAXA), 林田清 (大阪大学), 森浩二 (宮崎大学), 中嶋大 (関東学院大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 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), 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), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 吉田鉄生, 米山友景 (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), 信川久美子 (近畿大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

2022年度に打ち上げ予定の X線分光撮像衛星 (XRISM) の搭載観測機器の一つである軟 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、4枚の CCD 素子を  $2 \times 2$  に配置することで  $0.4 - 13\text{keV}$  において 38 分角四方の広視野撮像を実現する。CCD は単体校正試験後にカメラ (SXI-S) に搭載し、冷却試験で CCD 画像に異常を確認した (2021 春季年会で報告)。現在原因究明および処置方法の確立行っているが、2021 年 7 月中旬迄にその終了を目指している。カメラ以外では冷凍機駆動機器 (SXI-CD) は完成済、デジタル機器の一つである SXI-PE は不具合が発生したものの原因は判明・処置済かつ正常工程復帰済で本講演までには完成予定、もう一方のデジタル機器 (SXI-DE) は他機器の不具合の影響で遅れはあるが 2021 年内に完成予定である。今回の講演では、SXI を中心に製作・試験・解析・その他の状況、及び衛星試験に向けた今後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](#)

### V305a XRISM 衛星搭載 Xtend の Contamination Blocking Filter の X 線透過率の測定

角町駿、前川航輝、幸村孝由、萩野浩一、林田光揮、北島正隼、土居俊輝、藤森蒼天 (東京理科大学)、林田清 (大阪大学、ISAS/JAXA)、冨田洋 (ISAS/JAXA)、森浩二 (宮崎大学、ISAS/JAXA)、中嶋大 (関東学院大学)、内田裕之、鶴剛 (京都大学)、野田博文、松本浩典 (大阪大学)、吉田鉄生、米山友景 (ISAS/JAXA)、村上弘志 (東北学院大学)、山内誠、廿日出勇 (宮崎大学)、信川正順 (奈良教育大学)、信川久実子 (近畿大学)、小林翔悟 (東京理科大学)、田中孝明、鈴木寛大 (甲南大学)、平賀純子 (関西学院大学)、内山秀樹 (静岡大学)、山岡和貴 (名古屋大学 ISEE)、尾崎正伸、堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)、常深博 (大阪大学)、他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 XRISM は 2022 年度に打ち上げ予定であり、0.4–13 keV の帯域での観測を行う望遠鏡 (XMA) と裏面照射型 CCD (SXI) を合わせた軟 X 線撮像装置 Xtend を搭載する。人工衛星内部から発生したアウトガスによるコンタミネーションが、 $-120^{\circ}\text{C}$  まで冷却する CCD に付着することで X 線を吸収し X 線強度の低下を引き起こす。そこで、衛星内部と CCD を物理的に切り離す対策が不可欠であり、XRISM でも CCD を格納する SXI の X 線入射窓に Contamination Blocking Filter (CBF) を取り付ける。CBF は、40 nm と 80 nm のアルミニウムで 200 nm のポリイミドを挟み込む 3 層構造であり、紫外線と可視光を遮蔽する役割も同時に担う。ただし、CBF も Xtend の観測帯域で X 線を吸収するため、検出器の校正データとしてあらかじめ CBF の X 線透過率を測定することが必要である。本研究では、KEK の BL-11A、BL-11B で CBF に 0.15–3.00 keV の X 線照射実験を行なった。その結果から、CBF の X 線透過率と厚さを導出した。また、炭素、窒素、酸素、アルミニウムの XAFS を含めた X 線透過率関数を導出した。本講演ではそれら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 X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (7)

玉川 徹、北口貴雄、榎戸輝揚 (理研)、内山慶祐、武田朋志 (理科大/理研)、三石郁之、柏倉一斗、田原譲 (名古屋大)、郡司修一、渡邊瑛里、寺島政伸、斎藤 耀、管 佑真 (山形大)、深沢泰司、水野恒史、高橋弘充、内田和海、Zhang Sixuan (広島大)、岩切 涉 (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、放射機構を探るすぐれた手段として期待されてきたが、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がイタリアと共同提案した IXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) が採択され、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、JAXA 小規模プロジェクトの枠組みで国際協力として参加しており、ハードウェア貢献を進めてきた。名古屋大学が開発・提供した、受動型熱光学素子である X 線望遠鏡サーマルシールド、理化学研究所が開発・提供した、X 線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイルは、いずれも衛星に組み込まれ、Ball Aerospace (米国) において衛星全体の環境試験が続けられている。IXPE 衛星は 2021 年末に、SpaceX Falcon 9 ロケットにより、赤道軌道に打ち上げられる予定である。本講演では、IXPE 衛星計画の現状、観測天体検討状況等、打ち上げ後の運用プラン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](#)

## V307a MeV ガンマ線観測衛星 AMEGO 計画におけるコンプトン再構成プログラムの スタディー

末岡耕平, 内田悠介, 深沢泰司 (広島大学)

全天 MeV ガンマ線観測衛星 AMEGO は、2030 年頃の打ち上げを目指しており、マルチメッセンジャー天文学に大きく寄与することが期待されている。AMEGO に搭載される検出器は、両面シリコンストリップ検出器を 60 層に積み重ねた SiTracker、CZT 半導体検出器からなる Low-Energy Calorimeter、CsI(Tl) シンチレーターを 6 層に積み上げた High-Energy Calorimeter で構成され、SiTracker においては主にコンプトン散乱と電子陽電子対生成が生じる。数 100 keV から数 MeV のガンマ線を観測する場合には、コンプトン散乱によりガンマ線光子が落としたエネルギーと散乱した位置から、入射ガンマ線光子のエネルギーと到来方向を求めることができ、この過程をコンプトン再構成と呼ぶ。

AMEGO は全天観測により突発天体現象の観測が可能のため、ガンマ線バーストの観測に適している。ガンマ線バーストは、1 MeV より低いエネルギー帯において強いガンマ線を放射する。この放射メカニズムは未だ解明されていないが、AMEGO によるガンマ線偏光観測によって明らかになる可能性がある。

そこで、AMEGO によるガンマ線バーストのガンマ線偏光観測を検討することを目的として、数 100 keV から 1 MeV における AMEGO のコンプトン再構成の検討を行っている。C++ ツールキットの Geant4 を使用することで AMEGO のモンテカルロシミュレータを作成し、検出器とガンマ線光子の相互作用を模擬した。そして、入射する各ガンマ線光子に対してコンプトン再構成を行うためのアルゴリズムを「ひとみ」衛星 SGD の方法を参考にして構成しつつある。本講演では、このコンプトン再構成について報告する。

[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](#)

## V308a GRAMS 計画 3: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験

一戸悠人 (立教大), 青山一天, 岩澤広大, 木村真人, 櫻井真由, 田中雅土, 中曽根太地, 寄田浩平 (早稲田大), 井上芳幸 (大阪大), 小高裕和, 高嶋聡, 南木宙斗, 馬場彩 (東京大), 辻直美, 米田浩基 (理研), Tsuguo Aramaki (Northeastern U), Georgia Karagiorgi (Columbia U), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション

観測天文学における未開拓の電磁波帯域である中間エネルギーガンマ線、すなわち 0.1–10 メガ電子ボルト (MeV) の帯域には、原子核が放出するラインガンマ線が存在し、超新星爆発や連星中性子星の合体、ブラックホールなどの高エネルギー天体における核反応の唯一の直接的プローブを提供する。われわれは、MeV ガンマ線天文学開拓のため、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) を気球搭載し、同一検出器で反重陽子検出によるダークマター間接探索とコンプトンカメラによる MeV ガンマ線観測を同時に行う GRAMS 実験を推進している。検出器媒体に液体を用いることで、高密度かつ大容量の充填が可能となり、これまでになく有効面積の実現を目指す。

本公演では、日米国際協力のもと進めている GRAMS 計画の全体と、ミッション立ち上げに向けたハードウェア開発や LArTPC 概念実証機の準備状況、多重コンプトン散乱を効率よく再構成するためのアルゴリズムを含むソフトウェアの開発準備状況、サイエンス検討の状況などの概要を報告する。

[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](#)

## V309a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (20)

野田浩司, 齋藤隆之, 手嶋政廣, 戸谷友則, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁, 窪秀利 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

宇宙から飛来する超高エネルギーガンマ線が地球大気で作り出す空気シャワーでは、荷電粒子が空気中の光速より早く進むことによるチェレンコフ光が発生している。これを地上で捉えるのが大気チェレンコフ望遠鏡であり、複数望遠鏡によるステレオ観測がこの方法の主流である。チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) 計画では、複数口径の望遠鏡を 10 台以上用いることでその感度を現行の望遠鏡に比べ約 10 倍に高めつつ、20 GeV から 300 TeV の広いエネルギー領域をカバーする。これにより超高エネルギーガンマ線での発見天体数は現在の約 200 から 1000 程度になると予想されており、銀河系内の宇宙線起源やパルサーの理解、銀河系外のガンマ線バーストや活動銀河核などでの非熱的放射機構の解明が進む。それに加え、銀河外背景放射や銀河間磁場など宇宙論パラメータの測定や、ダークマター候補検出やローレンツ不変性の検証などの基礎物理への貢献も期待される。

CTA 北サイトであるスペイン・ラパルマ島の観測所では、1 台目の大口径望遠鏡の建設・試運転を終えた。2020 年からは定常シフト観測が続いており、かに星雲・パルサーや明るいブレーザーからのガンマ線信号を無事に検出した。今後はガンマ線バーストなど突発天体の観測も行うとともに、大口径望遠鏡の残り 3 台の建設を進め、2024 年には建設が終わって大口径望遠鏡 4 台での観測が始まる計画である。並行して建設される 5-9 台の中口径望遠鏡とともに、2025 年からのフルアレイ観測を目指している。また 2022 年には CTA 南サイトであるチリ・パラナルでのインフラ整備・建設が始まる予定であり、小口径望遠鏡を含めた CTA 南北サイトでの全天ガンマ線観測が目前となっている。本講演では、国内外の CTA 計画全体の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](#)

## V310b 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発 (2)

鴨川航, 峯田大靖, 松本浩典, 服部兼吾, 井出峻太郎, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 石倉彩美, 佐久間翔太郎, 花岡真帆, 澤上拳明, 松下友亮, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤 淳矢, 袴田知宏, 佐藤淳矢, 青柳美緒, 石渡幸太, 萩原涼太, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 前田良知, 石田学 (宇宙科学研究所), 中庭望, 武尾舞, 鈴木瞳, 宮本明日香 (東京都立大), 今里郁弥, 山本龍哉, 内田悠介, 今澤遼, 眞武寛人, Poon Helen, 楊冲, 高橋弘充 (広島大) 今村竜太, 亀谷紀香, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 岡島崇, 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat (ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur は、日米瑞の国際協力で行われる 15–80 keV の硬 X 線域で高感度な偏光観測を目標とする気球実験計画である。この実験では、硬 X 線帯域での高い集光能力を実現すべく、焦点距離 12m、口径 45cm、角度分解能 2.0 分角程度の硬 X 線望遠鏡を搭載する。この望遠鏡の光学設計は、ひとみ衛星用硬 X 線望遠鏡とほぼ同一の Wolter-I 型 2 回反射斜入射光学系である。望遠鏡は円周方向に 3 つのセグメントに分かれており、各セグメントの上下段に 213 層、合計 1278 枚の薄板反射鏡を搭載する。これらの薄板反射鏡は、櫛の歯状のアライメントバーで保持されている。反射鏡の位置精度が望遠鏡の結像性能に大きく影響するため、X 線反射像を見ながら、アライメントバーの位置をミクロン単位で調整する必要がある (光学調整)。2020 年 12 月までに、全ての反射鏡の光学調整が完了した。そこで、この望遠鏡の vignetting、結像性能、有効面積等の測定実験を 2021 年 6 月に大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて行う。本講演では、これまでの X 線望遠鏡の開発状況をまとめるとともに、性能測定実験の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](#)

### V311b グラフェン超薄膜を用いた高性能汎用型光学素子の開発

柏倉一斗, 三石郁之, 丹羽由実, 小川ともよ, 田原譲, 北浦良 (名古屋大学), Pablo Solís-Fernández, 河原憲治, 吾郷浩樹 (九州大学), 野本憲太郎, 谷口卓郎, 小高大樹 (ウシオ電機株式会社 R&D 本部)

薄膜光学素子のニーズは幅広く、宇宙分野でも例えば軟 X 線を対象とする飛翔体において、熱制御、可視光防護、汚染物質防護目的等のために利用されている。これら飛翔体搭載用薄膜光学素子の実体は、アルミが成膜されている百ナノからミクロン程度の高分子フィルム、支持材としての金属メッシュ、および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。しかしながら従来のフィルム材質では両者の両立は難しく、特に軟 X 線帯域の感度には改善の余地が残る。そこで我々は原子 1 個分の薄さ ( $\sim 3\text{\AA}$  厚) にも関わらず耐熱性・機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 ( $>95\% @ 10\text{--}1000\text{ eV}$ ) を実現する超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は転写工程の確立や緻密なアルミ成膜、音響試験や原子状酸素照射試験などを実施し、宇宙環境耐性評価試験を進めてきた (三石他, 日本天文学会 2020 年春・秋季年会)。

現在は高性能化を図るため、より高い開口効率を実現するための基板デザインの設計・試作までを終え、より大きなフリースタANDING面積を目指した新たな製作工程や複数層の検討を進めている。これらに加え X 線マイクロカロリメータ用入射窓への応用に向けた、極低温 ( $\sim 50\text{ mK}$ ) でのグラフェン素子の耐性を確認するための開発も進めている。本講演では、紫外線・X 線透過率評価試験や様々な厚さのグラフェンに対する耐久試験、およびグラフェンのユニークな物性を利用した地上機器への応用展開の現状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](#)

### V312b 次世代 X 線偏光観測衛星を目指した高温塑性変形 Si 湾曲ブラッグ反射光学系のミッション検討

内野友樹, 伊師大貴, 廣本悠透, 江副祐一郎, 石川久美, 福島碧都, 作田紗恵, 稲垣綾太, 上田陽功, 森下弘海, 関口るな, 辻雪音, 村川貴俊 (都立大), 沼澤正樹 (理研), 満田和久 (国立天文台), 森下浩平 (九州大), 中嶋一雄 (東北大)

X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何学的な構造や磁場を探る重要な手段の一つであるが、1970 年代に OSO-8 衛星がカニ星雲の有意な偏光を検出して以来、特に 10 keV 以下の軟 X 線では、ほとんど観測が行われていない。2021 年には、偏光観測専用衛星 IXPE が打ち上げ予定であり、高感度の軟 X 線偏光観測が期待されているが、大型衛星であるため、天体の占有観測には不向きである。最近では、カニ星雲の偏光度の時間変動が示唆されており (Feng et al. Nature Astronomy, 4, 511, 2020)、長時間の継続観測の需要は高まりつつある。

我々は日本発祥の高温塑性変形技術 (Nakajima et al. Nature Materials, 4, 47, 2004) を用いた湾曲 Si ブラッグ反射型偏光計を開発している。これまでに我々は直径 100 mm 厚み 300  $\mu\text{m}$  の Si (100) 基板を球面に塑性変形して、世界で初めて本手法によるブラッグ反射を実証し、偏光測定が可能であることを示してきた (内野 2021 年春季年会 V305a)。そこで今回、理論的なブラッグ反射モデルを取り入れた独自の光線追跡プログラムを構築し、将来観測を見据えた感度計算を行った。我々の偏光計は、鉄輝線 (6.4 keV) 付近に高い偏光感度を持つ。エネルギー帯域を拡大するために回転放物面とすることで、5-8 keV の連続 X 線を集光する。カニ星雲を観測した場合、直径 50 cm の偏光計を仮定すると、露光時間 20 ks で偏光度 20% を有意度  $3\sigma$  で検出できる。本講演では、将来観測に向けた我々の偏光計の感度計算および詳細設計について述べる。

[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](#)

## V313a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (12)

森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉), 久保田あや (芝浦工業), 榎戸輝揚 (理研), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 小林翔悟, 幸村孝由, 萩野浩一 (東京理科), 内山泰伸, 佐藤寿紀 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/カブリ IPMU), 石田学, 渡辺伸, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 藤田裕 (都立), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田医科), 鶴剛, 上田佳宏, 内田裕之 (京都), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 信川久実子 (近畿), 太田直美 (奈良女子), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 赤松弘規 (SRON), Hornschemeier, A.E., 岡島崇, Zhang, W.W. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域X線を高感度で撮像分光する衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。FORCE の科学目的は、「ミッシングブラックホールの探査を通じて、現在の宇宙を構成する天体の形成史を紐解くこと」、「超新星残骸や銀河団の観測を通じて、相対論的粒子の起源と総量を測定すること」、および、「若い超新星残骸の観測を通じて、超新星爆発における爆発メカニズムと元素合成を理解すること」である。この目的にむけて、10 keV 以上の硬X線帯域にも感度を持つ衛星として初めて15秒角の高角度分解能を実現し、既存の衛星と比較して、1桁以上高い硬X線点源感度を達成する。また、迷光を抑えた衛星・望遠鏡デザイン、超低バックグラウンドを実現する検出器により、拡がった硬X線天体にも高い感度を実現する。現在我々は、今回の衛星提案にむけて、FORCE-US チームと連携しながら、科学目的の明確化とシステム・サブシステムデザインの最適化を進めている。本講演では、それらの現状と今後の方針について報告する。

[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](#)

## V314a SOI 技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 48 : PDD 構造におけるリーク電流の原因特定とその解決手法

行元雅貴, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 三枝紀嵐, 米村修斗, 石田辰徳, 泉大輔, 岩切卯月, 梅野飛羽 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗 (京都大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 新井康夫 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 北島正隼, 土居俊輝 (東京理科大学), 田中孝明 (甲南大), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専)

我々は、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」の開発を進めている。XRPIXはSilicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、厚い空乏層を持つセンサ層とCMOS回路層を一枚板に形成できる特徴を持つ。最新のXRPIX8ではセンサ層表面を覆うようにウェルを形成し、固定電位層として用いるPinned-Depleted-Diode (PDD) 構造を導入している。PDD構造の導入によりXRPIXの分光性能は大きく向上した一方で、初期のPDD構造にはリーク電流が生じていた。我々はデバイスシミュレーションと実機での測定を組み合わせ、リーク電流の経路を調査し、リーク電流はPDD構造を構成するP型ウェルからセンサ層のP型基板へ流れる正孔電流であるという示唆を得た。また、原因は、間にあるN型ウェルの不純物濃度が不足しており、バックバイアス電圧を印加した際に十分なポテンシャル障壁を形成できていないことであると推測した。今回、我々はN型ウェルの不純物濃度の増加度合いの異なる素子を複数試作して、実際にリークが抑制できることを確認し、抑制に必要な不純物濃度の条件を求めた。本講演ではPDD構造のリーク電流の原因特定とその解決手法についての詳細を報告する。

[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](#)

## V315a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 49 : PDD 構造における分光性能のウェルの不純物濃度依存性の評価

米村修斗, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 三枝紀嵐, 石田辰徳, 泉大輔, 岩切卯月, 梅野飛羽 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗 (京都大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 新井康夫 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 北島正隼, 土居俊輝 (東京理科大学), 田中孝明 (甲南大学), 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」搭載に向けて、Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いた X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」の開発を行っている。最新の XRPIX シリーズで採用している Pinned-Depleted-Diode (PDD) 構造では、初期には非常に大きなリーク電流が生じていた。この問題解決のため、我々は PDD 構造のウェルの不純物濃度を増加させた試作素子を作成し、リーク電流の抑制に成功した。一方で、ウェルの不純物濃度変更は X 線が作る信号電荷を回収するための電場構造を変化させ、分光性能にも影響を与える。XRPIX は X 線の撮像分光が目的であるため、リーク電流の抑制と高い分光性能の両立が必要である。そこで今回、我々は試作素子を用いて分光性能の不純物濃度依存性の評価を行った。不純物濃度増加に伴いエネルギー分解能と Gain は低下していた。また、電荷が単一ピクセルに収まるシングルピクセルイベントの割合を調べた結果、不純物濃度が濃いほどシングルピクセルイベントの割合が高い傾向にあった。このことは特にピクセル境界付近での電荷回収効率が低下している可能性を示唆する。本講演では PDD 構造のウェルの不純物濃度や構造の違いが分光性能に与える影響についての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](#)

## V316a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 50: Double-SOI 構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器の放射線損傷による暗電流増加の原因究明

北島正隼, 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾, 土居俊輝, 角町駿 (東京理科大学), 鶴剛, 内田裕之, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗, 山田龍 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 三枝紀嵐, 米村修斗, 石田辰徳 (宮崎大学), 新井康夫 (KEK), 倉知郁生 (D&S)

我々は次世代 X 線天文衛星「FORCE」への搭載を目指し、X 線半導体検出器「XRPIX」の開発を進めている。XRPIX は SOI 技術を用いてセンサー層 (Si)・絶縁層 (SiO<sub>2</sub>)・CMOS 回路層を一体とした構造を持つ。XRPIX の開発における重要課題の一つが放射線損傷である。軌道上で検出器を運用するには宇宙線に加え、天体が放射する X 線によっても放射線損傷が起り、検出器の性能が劣化する。過去の研究より、絶縁層内に正の電荷が蓄積する TID 効果が特に顕著であることが知られている。そこで我々は検出器の放射線耐性を高めるために TID 効果の抑制を目的とし、絶縁層内にミドルシリコンと呼ばれるシリコンの層を導入した Double-SOI 構造の XRPIX6C を開発した。この XRPIX6C の放射線耐性を評価するために X 線照射実験を行った結果、検出器の分光性能の低下に寄与する暗電流は、軌道上約 7 年に相当する 10 krad 損傷時には損傷前と比較して 89 ± 13% 増加した。そこで、このような暗電流増加の原因を調査するために TCAD シミュレーションを行い、センサー層と絶縁層の界面における界面準位密度の増加が原因であることを明らかにした。本講演では暗電流増加の原因の議論も含め、X 線照射実験の結果について詳細を報告する。

[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](#)

## V317a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 51 : Double-SOI 構造の大面積 X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価

三枝紀嵐, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 米村修斗, 石田辰徳, 泉大輔, 岩切卯月, 梅野飛羽 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗 (京都大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 新井康夫 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 北島正隼, 土居俊輝 (東京理科大学), 島添健次, 神谷好郎 (東京大学), 上ノ町水紀 (理化学研究所), 田中孝明 (甲南大学), 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」の開発を行っている。XRPIX はピクセルごとにトリガ回路を有しており、X 線が入射したピクセルのみを選択して読み出す「イベント駆動読み出し」機能を持つ。ピクセル数が  $608 \times 384$ 、チップサイズが  $24.6\text{mm} \times 15.3\text{mm}$  の大型素子で Single-SOI 構造の XRPIX5b には、センサ層とピクセル回路間の干渉によってイベント駆動読み出しで X 線を分光できないという問題があった。新たに作成した XRPIX5b と同サイズの大型素子で Double-SOI 構造の XRPIX7 ではこの干渉を抑えることに成功した。一方で、ピクセル数が  $48 \times 48$ 、チップサイズが  $4.45\text{mm} \times 4.45\text{mm}$  の小型素子で Double-SOI 構造の XRPIX6c と比較を行うと、イベント駆動読み出しの分光性能が劣化することが分かり、大面積化により特有の問題が生じることが分かった。本講演では、大面積化に伴い生じた問題点についての詳細を報告する。

[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](#)

## V318a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 52: X 線 SOI ピクセル検出器のトリガー性能評価

山田龍, 鶴剛, 内田裕之, 佳山一帆, 松田真宗, 天野雄輝 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学), 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), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 三枝紀嵐, 米村修斗, 石田辰徳, 前野立樹, 泉大輔, 岩切卯月, 梅野飛羽 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 北島正隼, 林田光揮, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾, 土居俊輝, 角町駿 (東京理科大)

我々は次世代の広帯域 X 線天文衛星計画「FORCE」に搭載予定の X 線ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。現行の X 線天文衛星で広く用いられている X 線 CCD 検出器は読み出しが数  $s$  である。したがって非 X 線バックグラウンドと X 線イベントを区別するために  $100\mu s$  程度の間隔でイベントを起こす Veto カウンタを利用することが難しい。それに対して XRPIX は各ピクセルに閾値回路とトリガー機能を実装することで数  $\mu s$  の高い時間分解能を実現する。「XRPIX7」は絶縁層に薄いシリコン層を導入して静電シールドを形成する DoubleSOI 構造を持った大型素子である。我々は FORCE 衛星搭載品と同程度の大きさの XRPIX7 を用いて性能評価と課題の調査を行っている。本研究ではトリガー性能に焦点を当て、射出タイミングと射出時間を制御できるレーザー光を XRPIX に照射した。レーザーによる信号電荷量とトリガー閾値を変化させた際のトリガー信号の遅延と揺らぎの振る舞いについて報告する。

[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](#)

### V319a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 III

江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (JAXA 宇宙研・東大), 永田晴紀 (北海道大), 三好由純 (名古屋大), 中嶋大 (関東学院大), 三石郁之 (名古屋大), 石川久美 (都立大), 川端洋輔 (JAXA 宇宙研), 中島晋太郎 (東大), Landon Kamps (北海道大), 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 三谷烈史, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (JAXA 宇宙研), 満田和久 (国立天文台), 平賀純子 (関西学院大), 笠原慧, 小泉宏之 (東大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大), 沼澤正樹 (理研) ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は地球磁気圏の X 線によるグローバル撮像を目指す超小型衛星計画であり、太陽活動が極大を迎えると期待される 2023-25 年頃の打ち上げを目指している。近年の X 線天文の観測から太陽風プラズマの多価イオンが地球周辺の中性大気から電子を奪う、電荷交換反応によって発光していることが分かってきた。太陽風プラズマは衝撃波通過後の遷移領域と呼ばれる場所で密度を増すことから、X 線は磁気圏の大局構造を可視化する全く新たな手段になる (江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018 JATIS, Ezoe et al. 2020 SPIE)。しかし、X 線天文衛星は遠方天体を主眼とするため、狭視野かつ地球近傍からの観測であり未実証である。

そこで我々は GEO-X 衛星計画を推進している。18U Cubesat に大推力の推進系 (ハイブリッドキックモーター) を組み合わせた新しい超小型衛星と、超小型ながら高感度な独自の広視野 X 線撮像分光装置を組み合わせて、地球磁気圏外からの俯瞰的な観測を実現する。観測装置には Si 微細加工技術を用いた望遠鏡と高速読み出しの CMOS センサーを採用し、地球からの可視光雑音を低減するための遮光フィルターを持つ。現在、衛星の設計と軌道制御技術開発、推進系の地上燃焼試験、観測装置の試作品を用いた性能評価と環境試験などが急ピッチで進んでおり、本講演ではこれらの開発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](#)

### V320a 明るい X 線天体を狙う 6U キューブサット NinjaSat の進捗

武田 朋志 (東理大/理研), 玉川 徹, 榎戸 輝揚, 北口 貴雄, 加藤 陽, 沼澤 正樹, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (中央大), 内山 慶祐, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝 (東理大/理研), 佐藤 宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和, 丹波 翼 (東大), 谷口 純太郎 (早大/理研)

超小型 X 線衛星 NinjaSat は 2022 年に打ち上げ予定の 6U サイズ ( $10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$ ) キューブサットであり、2-50 keV に感度を持つ 1U の非撮像型ガス X 線検出器と、Si-PIN 放射線帯モニターをそれぞれ 2 台搭載する。X 線検出器はガス電子増幅器 (GEM) を内蔵したガスチェンバー、金属コリメーター、高電圧印加・アナログ信号処理ボード、及びデジタル信号処理ボードで構成され、6 keV において約  $36 \text{ cm}^2$  の有効面積をもつ。衛星運用上の高い柔軟性を活かし、全天 X 線監視装置 MAXI などが発見した突発天体の追観測や、大型衛星には観測の難しい明るい X 線源に対して、可視光・電波と連携した多波長同時観測を行う。

現在、ガスチェンバーとコリメーターはフライトモデル (FM) 製作の最終段階にあり、チェンバーについては GEM の選定完了後、性能評価試験を進めている。その他のコンポーネントについては、エンジニアリングモデル (EM) の製作および性能評価が完了し、各コンポーネント間での統合試験を行った。また電子回路基板は、若狭湾エネルギー研究センターと放射線医学総合研究所 HIMAC において放射線耐性試験を、名古屋大学において熱真空試験を実施し、宇宙環境への耐性を評価した。今後は 2021 年末の衛星バス製作会社へのペイロード引き渡しに向け、EM, FM に対する熱真空試験や振動試験、地上較正等を実施する予定である。本講演では NinjaSat 衛星の科学目標と各コンポーネントの概要、並びにプロジェクトの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](#)

## V321a NinjaSat における信号波形による X 線と荷電粒子の弁別方法の開発

吉田勇登 (東理大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 内山慶祐, 武田朋志, 大田尚享, 林昇輝 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口絢太郎 (早大/理研)

超小型 X 線衛星 NinjaSat は、6U 規格の CubeSat である。大型衛星搭載の検出器には明るすぎて不向きな、さそり座 X-1 等の天体や、X 線で急激に増光する突発天体の連続観測を目的としている。NinjaSat では X 線光子とガス原子の光電効果を利用したガス X 線検出器 (GMC) を搭載する。GMC は荷電粒子に対しても反応するので、何らかの方法で X 線と区別する必要がある。GMC には同心円上に並べた内側、外側 2 つの電極があり、横から侵入した荷電粒子は両者を同時に鳴らすので、反同時計数により同定することができる。一方で、検出器に上から入ってきた荷電粒子に対しては、反同時計数法は使えない。そこで我々は、X 線と荷電粒子の信号波形の立ち上がり時間が違うことを利用し、この二者を弁別する方法を開発した。

NinjaSat のデジタル信号処理基板では、信号波形をサンプリングしているが、 $^{55}\text{Fe}$  (5.9 keV),  $^{109}\text{Cd}$  (22 keV) X 線と、宇宙線ミューオンの信号波形を取得したところ、前者の立ち上がり時間は 200 ns、後者は約 800 ns となることがわかった。この違いは、X 線は光電効果を起こした場所でのみ電子雲を生成するが、荷電粒子は飛跡に沿って連続的に電子雲を発生することに起因する。この立ち上がり時間の違いに着目し、波形の立ち上がり部を、信号波形のピークまでと、ある決まった時間までの 2 種類積分することにより、その比から X 線と荷電粒子を弁別する。積分区間は X 線を可能な限り取りこぼさず、荷電粒子の除去率がなるべく大きくなるように最適化した。本講演では、弁別手法の詳細と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](#)

## V322a NinjaSat に搭載する観測機器のコンポーネント環境試験

沼澤正樹, 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 林昇輝, 内山慶祐 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口絢太郎 (早大/理研), 羽鳥聡, 久米恭, 水嶋慧 (若エネ研), 小平聡 (量子科学技術研究開発機構)

超小型 X 線衛星 NinjaSat は 2022 年度の打ち上げを目指す 6U サイズのキューブサットである。2–50 keV に感度を持つガス検出器と放射線帯モニターを搭載し、運用の柔軟性を軸に長期・連携観測から様々な科学成果を狙う。現在、搭載機器のエンジニアリングモデル (EM) 開発がほぼ完了し、2022 年 1 月から始まる衛星組み上げに向けてフライトモデル (FM) 製作を進めている。並行して、これら搭載機器のコンポーネント単位での放射線・熱・振動環境への耐性や特性を把握するため、打ち上げや軌道上を想定した環境試験を計画・実施してきた。

これまで、若狭湾エネルギー研究センターや量子科学技術研究開発機構 HIMAC において、ISS 軌道上での運用 1 年以上に相当する  $>5$  krad の陽子ビーム ( $100$  MeV,  $>\sim 10^7$  proton/s/cm<sup>2</sup>) の照射試験を計 4 度実施し、観測機器を構成する電子回路基板のシングルイベント効果など放射線耐性を評価した。名古屋大学において試作モデルを用いて実施した熱真空試験では、軌道上での想定温度範囲 ( $-20/+40$  度) でターンオンや動作に問題がないことを確認した。さらに今後、同大学の環境試験機を利用して、熱真空試験と振動試験について、EM 認定試験 (QT) 及び FM 受入試験 (AT) を実施する。現時点で、EM-QT、FM-AT それぞれを 7 月、10 月までに行う予定である。本講演では主に環境試験に注目して NinjaSat の開発状況を報告する。搭載機器コンポーネントに対して上記各所で実施した環境試験の結果を述べ、その環境耐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](#)

## V323b NinjaSat に搭載するアナログ信号処理基板の開発

大田尚享 (東理大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 林昇輝 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口絢太郎 (早大/理研)

超小型 X 線衛星 NinjaSat は、6U 規格の CubeSat であり、2022 年の打ち上げを予定している。1U サイズの非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) を 2 台搭載しており、X 線とガスの光電効果により発生した電子を、ガス電子増幅フォイルにより電荷増幅する。その電荷を前置増幅器により電圧信号に変換し、後段のデータ取得 (Data Acquisition board; DAQ) ボードへ送る役目をするのがアナログ信号処理基板 (Front-end card; FEC) である。FEC は 1U サイズに収まる  $9 \times 9 \text{ cm}^2$  の基板で、GMC への高電圧印加も担い、運用時の最大消費電力は、2 チャンネルあるアナログ信号処理部を含め、約 130 mW である。

電圧信号の S/N 比向上のため、DAQ ボードに信号を送る前に、FEC 上でオペアンプを用いて信号増幅を行う。当初は片側 +5 V 電源の非反転オペアンプ回路を用いていたが (吉田他、2021 年春季年会)、出力信号が 100 mV 以下の領域で入力に対する出力が非線形になり、低エネルギー側の信号取得に影響が出るという問題が生じた。そこで、2 つの反転増幅回路を組み合わせるにより、100 mV 以下の信号を正しく出力できるようにすることで、0-1 V の全ダイナミックレンジに渡り、非線形性を改善することができた。また、増幅回路を変更したことで、付随する受動素子のパラメータも変わったが、信号波形が変化しないように値を最適化した。その後、GMC と DAQ ボードを組み合わせた統合試験を実施した。本講演では、FEC 開発に加え、統合試験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](#)

## V324a 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 VIII

佐藤浩介 (埼玉大), 山崎典子, 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 満田和久 (NAOJ), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 石崎欣尚, 江副祐一郎, 藤田裕 (都立大), 藤本龍一 (金沢大), 鶴剛, 大里健 (京大), 太田直美 (奈良女子大), 永井大輔 (Yale 大), 吉川耕司 (筑波大), 河合誠之 (東工大), 松下恭子 (東京理科大), 山田真也, 一戸悠人 (立教大), 内田悠介 (広島大), 中島裕貴 (産総研/PTB)

次期衛星計画「XRISM」(2022 年度打ち上げ) や「Athena」(2031 年打ち上げ予定) に搭載される X 線カロリメータ検出器は、その高いエネルギー分光能力と空間的な撮像能力によって、宇宙の高エネルギー現象の解明に飛躍的な進歩をもたらすと期待される。しかし、宇宙の大局的なエネルギーの流れや物質循環を明らかにするためには、空の広い領域をサーベイして銀河、銀河団、ひいては宇宙の大規模構造に付随するバリオンを定量的に観測することが必要である。また、2020 年代に計画される可視光や電波でのサーベイデータや、過去の星生成活動を含めた銀河の進化、非熱的な過程の考慮など、多波長観測を視野にいたした議論が必要となる。

我々はサイエンスの実現性及び衛星設計要求を検討するため、宇宙論的シミュレーションデータベース「Illustris-TNG」を用いて科学目標の議論を進めている。データベースから得られた酸素輝線の感度マップの検討や、「すざく」衛星などで得られた結果との比較を行い、シミュレーションやモデルによる不定性の評価も行なっている。並行して、観測器の基礎技術開発を行なっている。多画素 TES カロリメータ読み出し用のマイクロ波多重 SQUID 技術の開発を JAXA/産総研/埼玉大/立教大/都立大で、極低温環境下での磁場遮蔽環境構築を埼玉大で進めている。一方、名古屋大が高い空間撮像能力を実現する X 線望遠鏡と X 線入射窓の検討及び開発をリードしている。本講演では、サイエンス検討の現状とハードウェア開発の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](#)

## V325a 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 (5)

瀧川歩, 作田皓基, 安福千貴, 柏倉一斗, 叶哲生, 山口隆正, 石田直樹, 岡田久美子, 吉平圭徳 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 山口豪太, 伊藤旺成, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

我々は、地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018) を用いて、高角度分解能と大有効面積を併せ持つ次世代宇宙 X 線望遠鏡開発を進めている。この実現には、地上電鍍鏡開発技術を用いた高精度反射鏡の一桁以上の大口径・長焦点化と、二段一体全周反射鏡の精密位置調整が行える支持機構の開発が必要となる。これまでに、 $\phi 60$  mm Wolter-I 型反射鏡試作に成功し、SPring-8 で結像性能を評価した結果、15 keV で FWHM  $\sim 30$  秒角 / HPW  $\sim 60$  秒角 であることがわかった。この結果は、原盤由来の  $\gg$  mm スケールの母線方向形状誤差が支配的であったが、これを取り除いた新たな原盤 (RMS  $\sim 0.03 \mu\text{m}/\text{PV} \sim 0.1 \mu\text{m}$ ,  $\sim 15$  秒角 (HPD)) の試作にも成功している。

現在、さらなる形状誤差改善に向け原盤の加工及び電鍍工程の条件出しを進めており、反射鏡においてもその半分程度の領域にて  $\sim 18$  秒角 (HPD) の形状誤差を確認している。反射鏡と支持機構の接着方法の検討も進めており、3 種類の接着剤に対し小片サンプルを用いた接着強度評価試験を行い、支持機構設計の最適化を行っている。これと並行し、反射鏡を支持機構に組み込んだ状態での試験システムの構築と一部の評価も進めている。本発表では、反射鏡単体や支持機構に組み込んだ X 線照射試験を含む各種評価試験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](#)

## V326a PhoENiX 衛星計画に向けた高精度 Wolter ミラー保持機構の検討

坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至 (名大工), 山内和人 (阪大工), 成影典之 (国立天文台)

2030 年代初頭からの太陽活動期の太陽フレア観測を通じて、磁気リコネクション過程のもとで発生する粒子加速メカニズムの探索を目指す PhoENiX 衛星計画では、光子計測型軟 X 線望遠鏡 (SXIS) を搭載し、フレア中の太陽コロナの X 線撮像分光観測を行なう。これにより、リコネクションにともない形成される衝撃波やプラズモイドなど種々の磁気流体力学的構造と非熱的 (超熱的) 電子による X 線放射源との位置関係や時間発展のようすを探る。SXIS は円環の一部分からなる「部分円環型」の X 線斜入射ミラー (Wolter ミラー) を採用し、2 秒角以下の空間分解能 (焦点面検出器の 1 ピクセルが 1 秒角以下に対応) で観測を行なう。

SXIS の部分円環型 Wolter ミラーの保持では、(1) イプシロンロケットによる打ち上げ時の振動・衝撃に耐えること、(2) 組み立て時の取り付け誤差を含め、保持によってミラーの形状を歪ませないこと、(3) 地上での重力の影響を抑えた (ないしキャンセルできる) 光学検証測定を可能とすること、(4) ミラーが設置される望遠鏡内の温度環境に対して光学性能を維持できること、等を満足する保持様式が求められる。我々は、直方体形状をしたミラー基板の側面 3 箇所を保持点とし、保持点全体で 6 自由度拘束を達成する保持形態 (位置 3 軸拘束、角度 2 軸拘束、角度 1 軸拘束) を考える。保持機構に使用するヒンジ構造 (フレクシャ) について、イプシロンロケット搭載コンポーネントとして要求される静荷重耐性・固有振動数条件、並びにミラーの形状精度の維持要求 (特に焦点距離ずれの抑止) を満足する軸方向剛性とかわし性能、安全余裕を持った寸法・形状を見出し、これをベースに加工性 (ワイヤー放電による一体成型を予定) も考慮した保持構造の具体化検討を進めている。講演では保持機構の検討状況を報告する。

[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](#)

## V327a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価

長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA 宇宙研)

FOXSI(Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽からの X 線放射を集光撮像分光する観測ロケット実験であり、4 回目の実験 FOXSI-4 が 2024 年に打ち上げ予定である。我々は最初の実験 FOXSI-1 から参加しており、FOXSI-4 においても、搭載される斜入射望遠鏡計 7 台のうち 4 台分の焦点面検出器として、CdTe 半導体両面ストリップ型検出器 (CdTe-DSD) の提供を行い、5–30 keV の硬 X 線帯域での撮像分光観測を担う。

FOXSI-4 では、角度分解能 3 秒角 (FWHM) を持つ硬 X 線望遠鏡が搭載予定であり、2 m 先の焦点面上で 30  $\mu\text{m}$  の位置分解能に対応する。これは FOXSI-3 に向け開発した CdTe-DSD のピッチ幅 60  $\mu\text{m}$  よりも小さいため、我々は隣接する電極間での電荷共有情報を利用することでピッチ幅以下の位置分解能実現を目指している。このため FOXSI-4 に向け、ストリップ間のギャップ幅を現在の 10  $\mu\text{m}$  からさらに広げることを計画しており、電荷共有イベントの割合の増やすことで位置分解能の向上が期待できる。これを検証するため、我々は陽極側にピッチ幅 60  $\mu\text{m}$  (ストリップ幅 30  $\mu\text{m}$ /ギャップ幅 30  $\mu\text{m}$ ) から 80  $\mu\text{m}$  (ストリップ幅 30  $\mu\text{m}$ /ギャップ幅 50  $\mu\text{m}$ ) まで様々な幅の電極を持つ試験検出器を開発し、性能評価を行った。その結果、ギャップを広げることで  $^{241}\text{Am}$  の 17.8 keV で電荷共有イベントが 24.3% から 49.9% まで増加することを確認した。さらに、ギャップを広げたことによる波高値の減少を考慮した新たなエネルギー再構成法を開発することで、分光性能の維持を実現した。また、Shockley-Ramo の定理に基づく理論計算を行い、評価試験結果との整合性を確認した。

本講演では、上記の試験結果の詳細と FOXSI-4 に向けた CdTe-DSD の開発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](#)

## V328a 広視野を少数の撮像素子でカバーする多重化ロブスターアイ X 線光学系

内山慶祐 (理科大/理研), 玉川徹, 三原建弘, 榎戸輝揚, 沼澤正樹 (理研), 周圓輝 (理科大/理研), 江副祐一郎, 伊師 大貴, 福島碧都, 内野友樹, 作田紗恵, 石川久美, 森下弘海, 関口るな, 辻雪音, 村川貴俊, 稲垣綾太, 上田陽功 (都立大), 坂本貴紀 (青学大)

広視野 X 線モニターは、ガンマ線バーストや重力波対応天体などの、突発的な増光イベントに着目する「時間軸天文学」において不可欠な装置である。X 線鏡の一種であるロブスターアイ (Lobster-eye; LE) 光学系は、広視野でありながら集光機能を持つため、広視野・高感度を同時に実現できる。一方で、LE 鏡の四角形の細孔に起因して、点源が十字形に結像することと、焦点面のサイズが大きくなってしまう (鏡面積の 1/4) 欠点がある。

我々は、異なる視野からの X 線を、1 つの焦点面検出器に多重化することで、撮像素子の数を削減する「多重化ロブスターアイ (Multiplexing Lobster-Eye; MuLE) 光学系」を考案した。異なる視野をカバーする LE 鏡の四角形の細孔を、方位角方向に異なる角度ずつ回転させた設計にすると、各 LE 鏡による像は異なる回転角の十字形を結ぶ。そのため、結像した十字の角度を識別することで、多重化された視野を解くことが可能である。

曲率半径 60 cm で、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$  の LE 鏡を 9 枚多重化した MuLE では、 $1/4 \text{ sr}$  もの視野を  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  の撮像素子 1 枚で覆うことが可能である。MuLE 光学系は通常の LE 光学系に比べて、一つの撮像素子に対して複数の視野を多重化するため、全天から一様に降り注ぐ宇宙 X 線背景放射 (CXB) が感度を悪化させる。我々は MuLE 光学系の光線追跡シミュレーションを開発し、CXB を模擬することで検出感度の評価を行った。その結果、100 秒間の観測での  $5\text{-}\sigma$  検出感度は、0.5–2 keV で  $5.6 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (35 mCrab) を達成できることを確認した。

[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](#)

## V329a 広視野X線集光系の光跡シミュレーション

杉田聡司, 小笠原健也, 吉田篤正 (青山学院大学)

通常のガンマ線バースト (GRB) より暗い可能性がある重力波イベント付随の GRB 残光を X 線全天モニタによって検出するため、我々は X 線全天モニタに広視野集光系の搭載を検討している。X 線ミラーで集光することによって光子統計を増やし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。

本研究では Geant4 に X 線全反射の物理プロセスを追加することで一次元集光系の光跡シミュレーションを行った。広視野集光系のデザインとしては、一次元方向は X 線ミラーの集光系によって、もう一次元は MAXI/GSC と同様にピンホールによって撮像を行う。光学系のデザインは焦点距離 1500 mm の Woliter-I 型円錐近似で、「すぎく」や「ひとみ」搭載の光学系と同様に薄板の X 線ミラーを多重にネストした構成になっている。この光学系に対して、GRB 残光のスペクトルをベキ -1.7 の powerlaw を仮定し、宇宙 X 線背景放射をバックグラウンドとして、92 分周期で 1 周回した観測結果をシミュレーションを行った。今回のシミュレーションでは、flux が  $10^{-10}$  erg/cm<sup>2</sup>/s の GRB 残光で  $5\sigma$  以上の検出が可能という結果が得られた。また 1 周回の観測では photon 数が検出限界を決めているため、光学系を使わない一次元方向での撮像にピンホール以外のデザインの検討も行っている。

本講演では全天モニタ用の X 線集光系のデザインとその Geant4 によるシミュレーション結果を報告する。

[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](#)

## V330a 広視野X線集光系のためのX線ミラーの開発

清田力, 杉田聡司, 吉田篤正 (青山学院大学), 前田良知 (ISAS/JAXA)

ISS に搭載されている全天 X 線監視装置 MAXI は、連続的に全天を観測することが可能であり、超新星や GRB などの突発的な天体現象に対して有効な観測方法を提供する。一方で重力波イベントの際に重力波源の早期 X 線放射の観測を可能とするには MAXI の検出感度では不十分であると考えられる。そこで我々は、暗い可能性がある重力波源の早期 X 線放射の全天モニタによる検出を可能とするため、全天モニタ用の集光系を開発する。

集光系は、ターゲットが X 線であるため全反射を用いて集光する。通常、全反射を用いる X 線集光系においては入射角に制限がつくため視野が狭くなるが、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り 1 周回時の全視野を減らさずに受光量を増やすことが可能となる。

一次元集光系には平面ミラーと、それを収めるケースが必要である。本研究では、ミラーを製作するために、[①滑らかなフロートガラスに金属をスパッタさせ、鏡面を製作] [②製作した鏡面を厚み 0.2mm のアルミ基板に転写 (レプリカ法)] することにより、薄板平面 X 線ミラーを製作した。また反射面素材の金属はコストの面からタングステンを選択した。過去の研究からタングstenはガラスからの離型が難しいとされていたが、本研究ではレプリカ作業中のエポキシ硬化時に加重を工夫することで離型を成功させている。

製作した鏡面の X 線反射率測定を行った結果、表面粗さ 1nm の Nevot-Croce モデルの計算値とほぼ一致した。また製作したミラーを非接触型三次元形状測定装置 NH3-Ns を使用し、断面形状測定を行った結果、 $10\mu\text{m}$  (peak to valley) 未満の歪みであることが確認でき、要求する性能を満たすことができた。

本発表ではミラーを用いて集光系を製作し、X 線集光実験を行った上で性能評価について報告する。

[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](#)

## V331a X線ビームラインによる Lobster Eye Optics の性能評価

後藤初音、米徳大輔、荻野直樹、有元誠、澤野達哉 (金沢大学)、三原建弘 (理研)

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線モニターにより突発天体を発見し、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行う計画である。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を行う。突発天体を監視する広視野 X 線モニターには、Lobster Eye Optics (LEO) と呼ばれる X 線結像光学系と 2 次元イメージセンサを用いたシステムが検討されている。この検出器は、0.4–4.0 keV の軟 X 線帯域において、約 1.0 ステラジアン視野を  $10^{-10}$  erg/cm<sup>2</sup>/s (100 秒間露光) の感度で監視する。

LEO は一辺が数十  $\mu$ m の微細な四角形の穴が多数配列されたガラス基板を球殻状に湾曲させた光学系で、その内壁を X 線反射光学系として利用する。複数の LEO を球殻状に配置することで広視野のモニターを実現し、入射 X 線は焦点面で十字の形に結像する。本研究では全長 5 m の X 線ビームラインを構築し、NNVT 社製 LEO の光学特性を評価している。ビームラインでは 2 次ターゲットを切り替えることで 6 種類の特性 X 線を真空環境下で照射することが可能であり、XYZ- $\theta$  の微動機構により様々な入射位置・入射角度に対する評価を行うことができる。また、機械式冷凍機を用いて LEO および焦点面検出器の冷却を可能にする。本講演では、X 線ビームラインの構築とその特性評価を紹介した上で LEO の結像性能 (焦点距離、角度分解能、有効面積) 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](#)

## V332a 大面積 CMOS イメージセンサ GSENSE 4040BSI の軟 X 線基礎性能評価

盛 顯捷, 山本 あゆ美, 芹野 素子, 坂本 貴紀 (青学大)

2017 年に初めての重力波源に対応する天体が観測され、多波長での突発天体観測は更なる注目を集めている。電磁波対応天体を追観測するには、高感度だけでなく重力波の到来方向の誤差領域をカバーできる広視野をもつ観測装置が不可欠である。X 線は可視光などに比べ、圧倒的に天体の密度が低いいため、突発天体の同定が比較的しやすいというメリットがある一方、一般的に従来の X 線ミラーを用いたものでは、広視野高感度な観測装置の実現が難しい。

近年では Lobster-eye-optics (LEO) と呼ばれる集光系を用い、焦点面に大面積のイメージセンサを利用する事によって、広視野、高感度の X 線検出器が実現可能となった。そこで、我々は中国の Gpixel 社が開発した CMOS イメージセンサ (CMOS) GSENSE シリーズに着目した。GSENSE シリーズの CMOS は常温でも動作可能であり、紫外、可視光用のイメージセンサであるにもかかわらず、X 線に対して高い検出能力を持つ。昨年リリースされた GSENSE 4040BSI は、37mm×37mm の大面積を持つ裏面照射型 CMOS であり、広視野、高感度の X 線検出器を開発する上で非常に魅力的な素子である。

我々は <sup>55</sup>Fe 線源を用いた X 線検出性能実験を行い、Mn-K $\alpha$  (5.9keV) および Mn-K $\beta$  (6.4keV) に対する検出能力を調査した。その結果に基づき、空乏層および中性領域の厚さを見積もった。また、真空チャンバーを用いた真空環境実験、冷却装置を用いた低温度環境実験を行った。本講演では軟 X 線検出能力を中心に、GSENSE 4040BSI の基礎性能調査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](#)

## V333a X線干渉計に向け TES を応用する高位置精度 X線センサーの開発

野田博文(大阪大)、林佑(宇宙研)、山田真也(立教大)、武井大(Daiphys Tech./立教大/理研)

X線観測において、衛星軌道上で実現された最も高い角度分解能は *Chandra* 衛星による  $\sim 0.5$  秒角だが、例えば、活動銀河核の観測においては、この性能を持ってしても超巨大ブラックホール (BH) 周辺のコロナ、降着流、そして BH シャドウを X線観測で空間分解することは不可能である。我々は、将来の活動銀河核の X線高角度分解能観測を目標に、*Chandra* を超える角度分解能が期待できる技術である「X線干渉計」に着目した。X線干渉計は一般に、干渉縞をつくるスリットや格子と、光子を検出する検出器の間の距離が短ければ短いほど、生じる X線干渉縞の間隔が極端に狭くなることから、これまでは 1 台の衛星で実現するのは困難と考えられてきた。

我々は、1 台の衛星で実現できる X線干渉計を目指し、超伝導遷移端型 X線マイクロカロリメータ (TES) を応用することで、狭い X線干渉縞でも捉えることができる「高位置精度 X線センサー」の開発に取り組んでいる。2 個の TES センサーの間を 1 つの X線吸収体で接続し、2 つの TES のパルスの立ち上がり時間差を用いて、X線光子の入射位置を精密に特定できる原理に着目した。本研究では、Ti/Au の二層薄膜でできた  $\sim 100 \mu\text{m}$  四方の TES センサー 2 個を  $\sim 1 \text{ mm}$  の間隔をあけて配置し、その間に長さ  $\sim 1 \text{ mm}$ 、幅  $\sim 20 \mu\text{m}$ 、厚さ  $\sim 1 \mu\text{m}$  の Au 吸収体を取り付ける形で、熱解析を行いながら素子のデザインを行い、宇宙研と東京都立大学のクリーンルームで製作を行った。そして、この素子を希釈冷凍機を用いて極低温まで冷却し、 $\sim 100 \text{ mK}$  で両端の TES が超電導転移することを確認した。冷却した素子に  $^{55}\text{Fe}$  線源を用いて  $5.9 \text{ keV}$  の X線を照射したところ、両端の TES で同期したパルスが生じることを確認したとともに、両者の間に光子の入射位置に応じた時間差が存在することが分かった。本講演では、このセンサーの原理とデザインを紹介し、素子製作や X線照射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](#)

## W01a 静穏時のブラックホール連星での強磁場降着流の形成と電磁波・宇宙線放射

木村成生 (東北大学), 須藤貴弘 (オハイオ州立大学), 檜山和己 (東京大学), 川中宣太 (京都大学)

ブラックホール X 線連星の中には静穏時において電波と可視光と X 線を放射しているものがある。電波はジェットから放射されていると信じられているが、可視光と X 線の放射領域はよくわかっていない。我々は可視光と X 線はブラックホール近傍の強磁場降着流 (MAD: magnetically arrested disk) から放射されるというシナリオを提案する。ブラックホール X 線連星の静穏時には、質量降着率が小さいために光学的に厚い降着円盤は遠方で途切れており、その内側には移流冷却が優勢な高温降着流が形成されると考えられている。高温降着流ではアウトフローが生成され、大スケールの磁場が作られる。その大スケール磁場は移流によりブラックホールへと運ばれ、ブラックホール周囲には強磁場降着流が形成される。強磁場降着流では磁気リコネクション過程により磁気エネルギーが散逸し、熱的電子を加熱する。加熱された熱的電子はシンクロトロン放射により可視光を放射する。また、静穏時の降着流では密度が非常に小さいため、磁気リコネクションにより非熱的な高エネルギー電子も生成され、シンクロトロン放射により X 線を放射する。これらの放射により、このシナリオは典型的なブラックホール連星の静穏時の可視光と X 線のデータを自然に説明できる。また、強磁場降着流では磁気リコネクションにより宇宙線陽子も生成される。陽子は冷却が非効率なため、降着流から逃走して星間空間を漂い、地球へと到達する。このシナリオで予言される逃走宇宙線陽子の地球での強度は、宇宙線実験が計測している「knee」付近の高エネルギー宇宙線強度と整合的である。

[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](#)

## W02a 自転するブラックホール近傍での磁気リコネクションの数値計算

小出美香 (一ツ葉高校熊本), 小出眞路 (熊本大学)

銀河系中心にある SgrA\* の放射には電波から X 線にかけての全波長でフレア現象が見られる (GRAVITY Collaboration 2020)。これは太陽フレアと同じように、磁気リコネクションが引き起こしている可能性がある。実際、一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) やフォースフリー動力学数値計算により、銀河の活動中心領域にあると考えられているブラックホールの周りでは磁気リコネクションが起こりうる反平行な磁場が容易に形成されることが示唆されている (Komissarov 2006)。

我々はブラックホールの周りに分割単磁極型の磁場を設定して、磁気リコネクションの数値計算を行ってきた。計算には一様な抵抗を入れた GRMHD 方程式を使った。これまで、天文学会において 2020 年春の年会まで、ブラックホールが自転していてもいなくてもその赤道面で磁気リコネクションが起きることを示した。今回、磁気リコネクション率  $R_{\text{mr}}$  とブラックホールの自転速度の関係を調べた。

自転している場合の  $R_{\text{mr}}$  は自転していないときに比べて、時間  $4 \sim 5\tau_S$  ( $\tau_S = r_S/c$ ,  $r_S$  はシュヴァルツシルト半径,  $c$  は光速) まではやや大きく、それ以後の  $R_{\text{mr}}$  の時間発展は、自転している場合としない場合でよく似ていた。ここで、ブラックホールの自転によって磁力線が引きずられるが、磁気リコネクションの X 点における磁場の方位角方向成分  $B_\phi$  を調べると、時間  $\sim 4\tau_S$  以降はほぼ一定値になっていた。よって、この時間以降はブラックホールの自転速度に関係なく、 $R_{\text{mr}}$  が決まるものと考えられる。

[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](#)

## W03a BTZ ブラックストリングまわりの磁気圏中を伝播するアルベン波の数値計算

小出眞路 (熊本大学)、野田宗佑 (都城高専)、高橋真聡 (愛知教育大学)、南部保貞 (名古屋大学)

M87 活動銀河核に見られるような相対論的宇宙ジェットは、一般相対論的電磁流体力学の数値シミュレーションにより、自転するブラックホールの空間の引きずり効果により誘起されるねじれアルベン波で生成維持されているとされている。これに限らず、ブラックホールの周りではアルベン波が励起され、高エネルギー天体現象を担っており、ブラックホール周りでのアルベン波の基本的物理を明らかにすることは重要である。S. Noda, Y. Nambu, T. Tsukamoto, M. Takahashi (2020) は BTZ ブラックストリングと呼ばれる  $z$  方向に伸びた円筒状の地平面をもつ時空におけるフォースフリー磁気圏を考え、 $z$  方向に振動するアルベン波の線形波動方程式を導出した。その方程式により、エルゴ領域内にアルベン波の伝播速度が急に変化する面があり、そこでアルベン波が増幅反射 (超放射) を起こしうることを示した。相対論的なアルベン波のエネルギー輸送は単純でないことがわかる。

我々は、アルベン波のエネルギー輸送を調べるために Noda ら (2020) の線形波動方程式により数値計算 (FFMD 計算) を行なった。計算の結果、アルベン波のエネルギーは背景磁力線に沿って伝播するにつれて単調に増大あるいは減少することが分かった。特に、Blandford-Znajek 機構が働くような湾曲・回転している磁力線に沿って外側に向かって伝播するアルベン波のエネルギーはエルゴ領域内で伝播するにつれ増大した。これは、アルベン波が角運動量をもつという特殊相対論的效果により説明される。アルベン波の得るエネルギーは背景磁力線からのトルクの仕事による。逆に磁力線もこのトルクの反作用により方位角方向に振動する波が誘起される。この波のエネルギーとアルベン波のエネルギーの和は保存する。また、その方位角方向の振幅は 2 次の摂動であり、アルベン波本体に線形な影響を与えない。FFMD 数値計算手法および解析結果の詳細については、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](#)

## W04a 測地線に沿った時間依存型一般相対論的輻射輸送計算コードの開発

高橋幹弥 (筑波大学)、大須賀健 (筑波大学)、高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専)、小川拓未 (筑波大学)、梅村雅之 (筑波大学)

ブラックホール近傍での輻射輸送計算は、観測イメージやスペクトルなどの観測結果の解釈に必須である。さら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、輻射とガスの相互作用が無視できない。このため、輻射の伝播と同時にガスと輻射の相互作用を解くことが必要不可欠である。現在多くの輻射流体計算では、輻射輸送方程式を直接解かないモーメント法 (FLD 近似や M1 法など) を採用している。しかしながら、これらの方法は光学的厚みや輻射場の非等方性によっては物理的に正しい解が得られないことが知られている。近年では 6 次元ボルツマン方程式を直接解く試みもなされているが、数値拡散が大きくなるといった問題が解決されていない。

そこで我々は、ブラックホール時空中の測地線に沿って輻射輸送方程式を解く、空間 3 次元の一般相対論的輻射輸送コードを開発した。これは、Takahashi & Umemura 2017 によって構築された空間 2 次元コードを拡張したものである。光子数保存が保証されるようにアルゴリズムも変更されており、数値拡散もグリッドベースの計算より少ない (高橋他、2021 年天文学会春季年会)。さらに、輻射場を解くための測地線に加え、観測イメージを作成するための測地線も用意し、輻射場と観測イメージの時間変動を同時に計算することも可能となった。流体静止系での散乱も実装した。

本講演では、ブラックホール周囲での輻射の伝播のテストの結果をはじめ、一般相対論的輻射磁気流体 (GRRMHD) 計算で得られた降着流を背景にした計算結果や今後の展望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](#)

## W05a 大局的輻射流体計算による超臨界降着流からのアウトフローの構造解明

芳岡尚悟, 嶺重慎, Ignacio Botella Lasaga (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学), 北木孝明

超高光度 X 線源 (ULX) やマイクロクェーサー、成長期の巨大ブラックホールなど、エディントン光度  $L_{\text{Edd}}$  以上で輝く天体のガスダイナミクスや電磁放射特性を明らかにするために輻射流体シミュレーションは欠かせない。超臨界降着天体の輻射流体計算は過去にも多々なされているが、計算資源の制限から、(1) 初期角運動量が小さく、(2) 比較的小さい計算ボックスの計算が主流であったため、質量噴出率が過大評価されていた。初期トーラスからのアウトフローや、脱出速度以下の「フェイルドアウトフロー」が含まれていたためである。Kitaki et al. (2021) では、計算ボックスサイズ及び初期角運動量を大幅に増加させたシミュレーションが実施され、噴出率が過去の計算に比べて大きく減少した。運動学的光度と X 線光度の比は 0.05-0.008 となり、これは ULX の観測結果と矛盾しない。

上記の結果を踏まえて、我々は質量降着率を変えた軸対称 2 次元輻射流体計算を実行している。その結果、質量降着率が増加すると、アウトフロー及びフェイルドアウトフローの噴出率が増えることや、アウトフローを放出する領域が広がることが明らかになった。特に、ブラックホールへの質量降着率が  $\sim 400 L_{\text{Edd}}/c^2$  ( $c$  は光速) のモデルでは、降着するガスのうち 43% がアウトフローとして噴出する (質量降着率  $\sim 180 L_{\text{Edd}}/c^2$  のモデルでは 13%)。ただし、ブラックホール近傍からはほとんどガスは噴出しないこともわかった。本講演ではアウトフローのスケール則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](#)

## W06a MAXI, Swift を用いたブラックホール X 線連星アウトバースト光度変動の相似性解析

栗原 明稀, 海老沢 研 (ISAS, 東京大学), 中平聡志 (ISAS), 志達めぐみ (愛媛大学)

銀河系内のブラックホール (BH) 連星系は、恒星質量 BH と通常の恒星から成り、BH への質量降着率が急激に増加することで突発的な X 線増光 (アウトバースト) を示す。数十日から数百日の増光期間中に異なるスペクトル状態間を遷移し、定常状態に落ち着く。スペクトル状態遷移によって、異なるエネルギーバンド間の強度比は大きく変化する。2004 年からガンマ線バースト衛星 Swift/BAT によって、加えて 2009 年から全天 X 線観測装置 MAXI/GSC によって、それぞれ 15-150 keV、2-30 keV のエネルギー範囲で BH 連星系がモニターされてきており、多くのアウトバーストデータが蓄積されている。それらの時間変動・スペクトル変動のシステムティックな解析から、BH への降着現象の包括的な理解が得られることが期待される。

本研究は 2015 年春季年会での発表「MAXI と Swift によるブラックホール X 線連星の長期変動の観測 (中平ほか)」の発展である。前回発表後に見つかった新天体を加えることで、天体数を 10 から 20 に増やして解析を行った。長期変動のパターンを調べるのに適したアウトバーストを、MAXI で 28 個、BAT で 26 個選定した。それらについて、アウトバースト光度曲線間の相似性を定量的に調べるために、「ダイナミックタイムワーピング法」を適用し、データ間距離を指標とした階層クラスタリングを行った。分類の結果、同じ天体のアウトバーストには明らかな再現性があることがわかった。加えて、異なる天体間のアウトバーストでも顕著な類似性を持つものが複数存在することが確認できた。本発表では、光度曲線の特徴と連星系パラメータ等の物理量との関係について考察する。

[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](#)

## W07a ダスト散乱の影響を考慮した MAXI J1631-479 のエネルギースペクトル解析

小林浩平, 根来均 (日本大学) 他 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, 小林他 2019 年秋季年会 W08b)。強度が最大付近の MAXI/GSC と Swift/XRT のデータを用いたエネルギースペクトル解析から、他のブラックホール連星のソフト状態でも観測される光学的に厚い降着円盤からの放射成分と幂函数成分に加え、NuSTAR でも観測された (Xu+ ApJ 2020) これまでにない軟 X 線成分を検出した。

一方、Swift/XRT の X 線イメージから、同天体においてはこれまで報告がないダストによる散乱成分が検出された。散乱される光子は 3 keV 以下の低エネルギー側に多く (e.g., Smith+ ApJ 2016)、上記の軟 X 線成分の見積もりにも影響する。Chandra により、MAXI J1631-479 から約 1.5 度離れた低質量 X 線連星 4U 1624-490 から同様なダストによる散乱成分が観測され、太陽系から 1-3 kpc の距離にある 2 つの渦状腕での散乱の可能性が示された (散乱の柱密度  $N_{\text{H}}^{\text{scat}}$  は、約  $2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ , Xiang+ ApJ 2007)。MAXI J1631-479 でも同位置で同量の散乱の柱密度を仮定すると、吸収量  $N_{\text{H}}^{\text{abs}}$  は約  $4.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  と見積もられ、ダストを考慮しないときの吸収量  $N_{\text{H}}^{\text{abs}}$  約  $5.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  に比べ約 15 % 少なくなった。その吸収量で再解析を行った結果、アウトバーストの最大強度付近での新たな軟 X 線成分は見られなくなった。また、ソフト状態の最内縁半径から、MAXI J1631-479 の質量は約  $7.4 M_{\odot}$  と見積もられ、ダストを考慮しないときの質量約  $8.9 M_{\odot}$  に比べ約 17 % 小さくなった。本講演では、MAXI と Swift のデータを用いたこれら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](#)

## W08a はくちょう座 X-1 の Dip の観測

八木駿介 (立教大学), 北本俊二 (立教大学)

はくちょう座 X-1 は、BH と O Iab 型超巨星 HDE226868 から成る BH 連星系で、5.6 日の公転周期、距離は  $\sim 1.86 \text{ kpc}$  と考えられている。超巨星からの星風の一部が BH に降着し、降着円盤が形成され X 線が放射されている。X 線の観測によると、high/soft state と low/hard state と呼ばれる状態があり、明るさやエネルギースペクトルが異なる。この原因は、降着円盤の様子が変化していることに関係していると考えられている。

はくちょう座 X-1 は Dip (吸収 Dip) と呼ばれる現象を示す。吸収 Dip は公転位相において、BH が遠い側にあるとき、特に外合付近で生じることが多い。Dip 時の吸収スペクトルから、ほぼ中性のガスによる吸収現象であると推定される。吸収に寄与しているガスは、星風の濃くなっている部分、あるいは超巨星に付随した低電離のガスと考えられる。この吸収は部分吸収であることが多く、吸収量や部分吸収の割合が Dip 中にも変化していることが知られている。すなわち、Dip 中の部分吸収の割合の時間変化等を調べ、吸収ガスと BH の相対速度を仮定することで、吸収ガスの大きさや、X 線放射領域の大きさを調べることができると期待できる。

そこで、大面積で時間分解能の高い RXTE 衛星が観測したはくちょう座 X-1 のデータを調査した。RXTE 衛星は、はくちょう座 X-1 の Dip を数多く観測しており、その中でもいくつかの早い変動 ( $\sim 2$  秒で吸収ガスが放射領域を覆い、 $\sim 2$  秒で復活する現象等) を示すものを抽出することができた。当日は、多くの Dip 現象を示し、その中から特徴的な Dip を、モデルを仮定して X 線放射領域の大きさ等について考察した結果を報告する。

[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](#)

## W09a 低質量 X 線連星 GRS 1915+105 の X 線で異常に暗い期間での近赤外線放射の起源について

今里郁弥, 笹田真人, 植村誠, 深沢泰司, 高橋弘充, 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 穂本正徳, 藤沢健太 (山口大学), 秋田谷洋 (千葉工業大学)

コンパクト星がブラックホールである低質量 X 線連星 GRS 1915+105 は発見以来 25 年間に渡って X 線で非常に明るい状態 (エディントン光度を越える時もある) を示してきた。しかし 2018 年中旬と 2019 年中旬に 2 回の X 線減光が起き、軟 X 線で観測史上最も暗くなった (Negoro et al. 2018, Homan et al. 2019)。この X 線減光の原因は低降着率と X 線遮蔽体の形成であると示唆されている (Balakrishnan et al. 2021)。このように特異な期間の X 線放射領域の物理的状態の理解が進んでいる一方で近赤外線観測の報告はまだほとんどなく、近赤外線の振る舞いや放射起源すらも未だ分かっていない。これらを理解するためにはこの特異な期間と過去の近赤外線データの比較はもちろん、電波と X 線の情報も考慮した議論が必要である。我々は 2 回目の X 線減光が起こる前の 2019 年 4 月から広島大学が運用する東広島天文台の小さな望遠鏡を用いて近赤外線長期間モニター観測を開始した。

この近赤外線データに山口干渉計の電波データと MAXI の X 線データを加えた多波長ライトカーブから、2 回目の X 線減光中に近赤外線と電波が増光したことが分かった。また増光後の近赤外線:  $K_s$  バンドのフラックス ( $\sim 110$  mJy) はこれまで観測された近赤外線の高いフラックスレベル ( $\sim 90$  mJy) よりも高く、軟 X 線は観測史上最も暗い一方で近赤外線は観測史上最も明るい状態であることが分かった。これらの結果から近赤外線放射について、増光前は伴星もしくは円盤からの放射が、増光後はジェットと X 線遮蔽体からの放射が寄与し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](#)

## W10a MAXI J1820 + 070 の時系列解析によるブラックホール周辺構造の解明

大間々知輝, 辻本匡弘 (総合研究大学院大学/ISAS), 海老沢研 (東京大学/ISAS)

ブラックホール X 線連星 (BHB) の周辺には降着円盤や高温降着流、ジェット、円盤風など多くの構造が存在することが分かっている。エネルギースペクトルだけではこれらの幾何学的・物理的関係を調べることは難しい。関係性を調べる手段として時系列解析、特に異なるエネルギー間の「時間差を伴った相関 (タイムラグ)」が挙げられる。これまで BHB では、異なる X 線エネルギーバンド間で見つかったタイムラグから、放射源が温度を変えて光りながら落ち込む描像や、光子がブラックホール周辺物質によってコンプトン散乱される描像など、周辺構造の関係性に関する議論が盛んに行われている。タイムラグ推定は「相互相関関数」を用いるのが一般的だが、X 線同士では連続光によって、ゼロに大きなピークが作られてしまいタイムラグ信号の検出は難しい。このことから、周波数ビンごとにタイムラグを求める「cross-spectrum 法」が用いられている。しかし、これについても周波数積分によって、連続光がタイムラグ信号検出に与えた影響を無視できないとの指摘がある。そこで、この問題に対しては、我々が新たに開発した「共通成分解析」が有効な手法であると考えている。この手法は周波数積分を必要とせず、連続光に埋れたタイムラグ信号を検出することが可能である。

NICER で取得された BHB である MAXI J1820 + 070 の高時間分解能を持つデータから、cross-spectrum 法により軟 X 線が硬 X 線に対して 1 ms ほど遅れている信号が検出されている。本研究では共通成分解析を含むさまざまな時系列解析手法を用いて、異なる時間スケールで光度曲線の詳細解析を行った。発表ではこれまで見つかったタイムラグの検証に加えて、新たなタイムラグ信号の存在、及びその物理的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](#)

## W11a いっかくじゅう座 V723 の視線速度変動における潮汐変形の影響のモデル化

増田賢人 (大阪大学), 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター)

いっかくじゅう座の赤色巨星 V723 (V723 Mon) は、質量関数  $1.7M_{\odot}$  の視線速度変動と振幅 10% 程度の ellipsoidal variation を示す公転周期 60 日の単線分光連星である。Jayasinghe et al. (2021) はこれらを組み合わせた解析により、V723 Mon の伴天体の質量 ( $3.04 \pm 0.06 M_{\odot}$ ) と軌道傾斜角 ( $87.0^{+1.7}_{-1.4}$  deg) を推定した。後者は伴天体が V723 Mon に周期的に掩蔽されることを示すが、伴天体が恒星である場合に予測されるような光度の減少は見られなかった。また V723 Mon のスペクトルエネルギー分布は単一の赤色巨星で説明でき、やはり対応する質量の恒星から期待されるような紫外光は検出されていない。これらに基づき、Jayasinghe et al. (2021) は V723 Mon の伴天体がコンパクト天体であると結論した。伴天体が単一の天体であればブラックホールである可能性が高く、その質量は X 線連星に属する中性子星とブラックホールの間の空隙 (いわゆる mass gap) に位置する。

しかしながら Jayasinghe et al. (2021) の解析では、視線速度データに軌道運動では説明できない未知の周期成分が含まれていた。我々はこの変動を、V723 Mon が伴天体の潮汐力により変形し、その吸収線が伴天体の軌道運動とともに時間変化する歪みを示すことによるものと考え、歪んだ吸収線から速度を導出する過程まで含めた視線速度モデルを新たに構築した。モデルフィットの結果、観測された周期成分を潮汐変形の効果で説明し、伴天体の質量 ( $2.95 \pm 0.17 M_{\odot}$ ) と軌道傾斜角 ( $82.9^{+7.0}_{-3.3}$  deg) を視線速度データのみから決定することに成功した。これらの値は Jayasinghe et al. (2021) によって視線速度の軌道成分と ellipsoidal variation から得られた値と整合し、従って伴天体が mass gap に位置するブラックホールであるという仮説を支持する。今回作成したモデルは同様の連星において、ellipsoidal variation が検出されない場合でも視線速度による質量推定を可能にする。

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

## W12b 全天 X 線監視装置 MAXI/GSC のデータを用いた MAXI J1820+070 と MAXI J1631-479 のパワースペクトル解析

清野光輝, 小林浩平, 根来均 (日本大学), ほか MAXI チーム

全天 X 線観測装置 MAXI に搭載された GSC 検出器は、全天の各領域を 40 秒から 180 秒かけてスキャン観測をしている。また、GSC は点源に対する検出器の有効面積が  $\lesssim 10 \text{ cm}^2$  と小さく、一般的に短時間パワースペクトル解析には向いていないが、多くの天体を継続的に観測することができる。

我々の研究室では、スキャン観測による有効面積の時間変化を考慮した、GSC の 1 スキャン観測内での短時間パワースペクトル解析のためのシステムを開発してきた。今回、同システムを用いて得られた、2018 年に現れた非常に明るい X 線新星 MAXI J1820+070 からの X 線のパワースペクトル解析結果を報告する。また、X 線望遠鏡 NICER により同じ観測時期に得られたパワースペクトルとの比較を行い、システムの検証も行った。

MAXI J1820+070 のハード状態のパワースペクトルは、NICER によるパワースペクトル同様 (e.g., Stiele & Kong 2020)、2 つのローレンツ型関数の和でおおよそ表すことができた。高周波数側のローレンツ型関数の折れ曲がり周波数は MAXI のデータからは精度よく求められなかったが、低周波数側の折れ曲がり周波数 (break/knee frequency) は、発見約 15 日後の 3 月 23-27 日のパワースペクトルでは  $0.13 \pm 0.04 \text{ Hz}$  (NICER は 3 月 24 日に  $0.183 \pm 0.004 \text{ Hz}$ )、4 月 17-21 日のデータでは  $0.41 \pm 0.09 \text{ Hz}$  (同 4 月 21 日  $0.43 \pm 0.01 \text{ Hz}$ )、5 月 7-11 日のデータでは  $2.7 \pm 1.4 \text{ Hz}$  (同 5 月 10 日  $1.37 \pm 0.04 \text{ Hz}$ ) と、NICER の結果とほぼ一致する結果が得られた。

講演では、パワースペクトルから求めた fractional RMS の結果を含め、全アウトバースト期間を通じた MAXI J1820+070 と MAXI J631-479 の短時間パワー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](#)

## W13b 一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA を用いたブラックホール降着流シミュレーションによるスピン依存性

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)

ブラックホールのようなコンパクト天体にガスが降着する際に解放された重力エネルギーの一部は輻射エネルギーへと変換される。質量降着率が高い場合には輻射エネルギーも大きくなり、輻射力が降着円盤の構造や宇宙ジェット等のアウトフローの形成に重要であることが先行研究によって示されてきた。しかし多くの先行研究では輻射輸送を解く手法として流束制限拡散近似や1次モーメント (M1) 法を用いており、光学的に薄い領域では信頼性が落ちてしまう等の問題を抱えている。近年この問題を解決するために、輻射輸送方程式を直接解く輻射磁気流体計算が実施されたが、相対論的な効果が考慮されていなかった。そこで我々は輻射輸送方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体 (GR-RMHD) コード INAZUMA を開発してきた。

本講演では INAZUMA をブラックホール降着流の計算に適用し、ブラックホールのスピンパラメータと質量降着率への依存性を調べたので報告する。流体の物理量の分布や輻射光度等は M1 法と INAZUMA の結果で大きな違いは現れなかったが、輻射場の分布は光学的に薄い回転軸付近で違いが見られた。M1 法では輻射の非物理的な衝突によって、回転軸方向へのビーミングや回転軸に輻射が届かないなどの構造が現れたが、INAZUMA ではそのような非物理的な構造の形成を抑制できた。スピンパラメータを大きくした計算でも基本的には M1 法と INAZUMA で大きな違いは現れなかった。スピンパラメータの増加と共にアウトフローの運動エネルギー流束が大きくなる傾向を得ることができた。これは磁場によるブラックホールの回転エネルギーの引き抜きによるものだと考えられる。より詳細なスピンパラメータ依存性を報告する。

[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](#)

## W14b Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着：円盤面の傾きによる非軸対称構造について

尾形絵梨花, 大須賀健, 矢島秀伸, 福島肇 (筑波大学)

超大質量ブラックホール (BH) は、近傍宇宙はもちろんのこと、赤方偏移が7を超える初期宇宙にも存在することが分かっているが、その形成過程はよく分かっていない。超大質量 BH 形成過程の有力モデルの一つが、種となる中質量 BH が星間空間中を単独で漂いながらガスを吸い込んで質量成長する Hoyle-Lyttleton 降着である。ただし、BH が降着円盤を纏い非等方輻射を放出する状況では降着流の構造はより複雑になると予測される。Fukue & Ioroi (1999) は降着円盤からの輻射の非等方性を考慮した Hoyle-Lyttleton 降着機構を調べたが、星間ガスが光学的に薄いことが仮定されており、ダストによる減光効果は含まれていない。BH が高密度領域やダストが豊富に存在する領域に突入する場合、輻射の力に対する光学的厚みの影響は無視できないと予測される。

そこで我々は、降着円盤による輻射の非等方性およびダストによる吸収減光作用を同時に考慮した Hoyle-Lyttleton 降着機構を数値計算を用いて調べた。春季年会 (2021) では、輻射の非等方性と減光効果によって、円盤光度がダストに対する Eddington 光度を超えても降着可能であることを、ガスが円盤面に並行、もしくは垂直に流入する場合について示した。本講演では、新たに円盤面とガスの流入方向の角度 (傾斜角) が 30 度や 60 度の場合を調べ、得られた円盤傾斜角と降着率の関係について報告する。降着構造は非軸対称となり、傾斜角が 90 度 (ガス流が円盤面と垂直に流入) に近づくほど降着率が上がるという傾向が見られている。これらに加え、現在取り組んでいる 3次元輻射流体シミュレーションのテスト計算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](#)

## W15c Boltzmann 法によるカー・ブラックホール近傍の輻射輸送

小川拓未, 朝比奈雄太, 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学)

光子 Boltzmann 方程式を直に解く一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードを開発し、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、観測的性質だけでなく、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も本研究の特徴である。

現在、多くの研究で行われている輻射流体計算では 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が採用されている。これらの近似は必ずしも正確とは言えないにも関わらず、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、振動数依存性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瞭なままである。

そこで我々は、振動数依存性を考慮した一般相対論的輻射流体力学計算を実現するための第一歩として、Boltzmann 方程式に従って輻射を解き、かつ多重コンプトン散乱を解くことができる一般相対論的輻射輸送計算コードを開発した (2021 年度春季年会 W44a にて発表)。今回は Boltzmann コードをさらに改良し、カー・ブラックホール近傍における輸送計算を行えるように拡張した。本講演ではブラックホールスピンのある場合の輻射輸送のテスト計算の結果を示す。特に、カー・ブラックホール近傍では光子の飛ぶ方向によりエネルギーシフトの大きさが異なり、光子エネルギーの半径依存性は複雑なものとなるが、これもテスト計算で解析解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](#)

## W16a Wakefield Acceleration in a Jet from a NDAF around a Black Hole

Yoshiaki Kato (RIKEN), Toshikazu Ebisuzaki (RIKEN), Toshiki Tajima (UC Irvine)

We have investigated electromagnetic pulses in a jet from a neutrino dominated accretion flow (NDAF) around a black hole. NDAFs are massive accretion disks of accretion rates  $\dot{M} \approx 0.01 - 10 M_{\odot}/s$  for black holes of several solar masses  $M \leq 10 M_{\odot}$ , such extreme accretions are investigated as a model of gamma-ray bursts (GRBs) as well as supernovae and hypernovae. Recently, Ebisuzaki & Tajimi 2019 have proposed a model of acceleration mechanism of charged particles to very high energies including energies above  $10^{20}$  eV for the case of protons and nucleus, and  $10^{12-15}$  eV for electrons by electromagnetic wave-particle interaction. If the episodic eruptive accretions generate Alfvénic pulses along the magnetic field in the jet, such Alfvénic pulses act as a driver of the collective accelerating pondermotive force whose direction is parallel to the motion of particles. This pondermotive force drives the wakes. Because the wakes propagate at the same speed with the particles, the so-called wakefield acceleration has a robust built-in coherence in the acceleration system itself.

In this study we extend a model of the accretion disk presented by Ebisuzaki & Tajimi 2019 into a NDAF. We estimate the energy flux of both the electro-magnetic pulses and neutrino emission from the NDAFs. We find that the total luminosity of electro-magnetic pulses  $L_{\text{wave}} = \frac{2\pi}{3\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^3}} \dot{M} c^2$  and the that of neutrinos  $L_{\nu} = \frac{1}{4} \dot{M} c^2$  where  $\alpha$  and  $\beta$  are the viscosity parameter and the plasma- $\beta$  of the disk, respectively. The properties of the NDAFs and magnetically driven jet and the maximum energy of accelerated charged particles in the jet will be discussed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W17a 超臨界ブラックホール降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力の計算

武者野拓也, 小川拓未, 大須賀健, 矢島秀伸 (筑波大学), 大向一行 (東北大学)

宇宙初期 (赤方偏移  $z \sim 7$ ) において  $10^9 M_{\odot}$  の質量を持つ超巨大ブラックホールの存在は、ブラックホールがエディントン限界を超えた降着率 (超臨界降着) で急成長した可能性があることを示唆する。こうした超臨界降着の実現には、ガス降着に伴う輻射電離加熱による降着率の低下を回避する必要がある。先行研究によると、初期の電離領域がボンディ半径内に収まるような高密度環境であれば、電離領域が降着流を押し返すことができず最終的に超臨界降着が実現するとされている (Inayoshi, et al.(2016); Sakurai et al.(2016))。

しかしながら、これらの研究では電離領域で生成される大量のライマンアルファ (以下  $Ly\alpha$ ) 輝線の輻射力を考慮していない。 $Ly\alpha$  輝線の輻射力は、多重散乱によって光子密度が増幅することで強力になるため、降着を妨げる可能性がある。一方で、ダスト吸収や 2 光子放射による  $Ly\alpha$  光子の消失や、降着流の速度勾配など、輻射力の増幅を抑制する効果もあり、輻射力が降着流に与える影響は自明ではない。

そこで我々は、流体の速度勾配を考慮した相対論的モーメント方程式を拡散近似で解く、1 次元球対称  $Ly\alpha$  輝線輻射輸送計算コードを開発した。これを用いて超臨界降着流中における  $Ly\alpha$  輝線輻射力を評価した結果、Inayoshi et al. (2016) で示された超臨界降着流中では  $Ly\alpha$  輝線輻射力が重力を圧倒し、超臨界降着が妨げられる可能性があることを明らかにした。本講演では、これに加えてダスト吸収や 2 光子放射による  $Ly\alpha$  輝線輻射力の減衰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](#)

## W18a 潮汐破壊現象からの電波放射の包括的解析

松本達矢 (東京大学)

銀河の中心には太陽の数百万倍以上の質量をもつ超巨大ブラックホールが普遍的に存在すると考えられており、接近した恒星を強力な潮汐力で破壊することがある。このような潮汐破壊現象では、X 線から電波に至る様々な波長帯で明るいフレア起こすことが観測的に知られている。しかし、潮汐破壊後の恒星の残骸がブラックホールに降着するのかなど振る舞いがよくわかっていないため、フレアがどのように発生するか理論的にはよくわかっていない。特に、可視光・電波帯域では、潮汐破壊に伴ってどのようなアウトフローが駆動されるかを理解することが重要だと考えられている。そこで我々は潮汐破壊に放出されるアウトフローの性質を調べるために電波フレアの解析を行った。アウトフローが周囲の物質との間に衝撃波を形成しシンクロトロン放射を行う一般的なモデルを用いて観測された電波放射を上限も含めて包括的に解析した。アウトフローのモデルとして、破壊後にブラックホールから非束縛になって飛散する残骸、円盤が形成された際に期待される円盤風、また相対論的ジェットを考えそれぞれの場合にアウトフローや周囲の物質密度に課せられる条件を調べた。本講演ではこれらの結果について解析手法を含めて報告する。

[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](#)

## W19a Gaia によるブラックホール連星の観測可能性の連星進化パラメータ依存性

鹿内みのり (東京大学)、谷川衝 (東京大学)、川中宣太 (京都大学)

恒星質量ブラックホールは、大質量星の成れの果ての姿である。このようなブラックホールは天の川銀河内に  $10^8 - 10^9$  個ほど存在していると予想されているが、これまでに見つかったのは 100 個ほどであり、それらは X 線連星のような短周期の連星を形成している。系外銀河では、重力波観測によってブラックホールを含む連星が合体する瞬間が観測されているが、いずれの観測手段も周期が数十日未満の短周期の連星に感度が高いものであった。一方、位置天文観測衛星 *Gaia* は、数年に渡って観測を行っているため、周期が数年ほどの連星を観測する可能性がある。*Gaia* によって恒星質量ブラックホールを含む連星 (以下、ブラックホール連星) がいくつ観測されるかを調べるために、binary population synthesis code BSE を用いて、supernova model、common envelope efficiency、natal kick model といった連星の進化を左右するパラメータを変化させて連星の進化の様子を系統的に調べた。

その結果、五年間の観測によって  $\sim 3 - 59$  個のブラックホール連星が観測されうると予想した。また、連星進化のパラメータによって、観測されるブラックホール連星のブラックホール質量、伴星質量、伴星のタイプといったパラメータ分布が変化することが分かった。すなわち、*Gaia* の観測によってブラックホール連星のパラメータ分布が得られれば、連星進化のパラメータに制限を課すことも可能であると期待する。

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

## W20a ブラックホール・中性子星連星の合体に対する放射輸送磁気流体数値相対論シミュレーション

林航大 (京都大学)、木内建太 (マックスプランク研究所・ポツダム)、久徳浩太郎 (京都大学)、柴田大 (マックスプランク研究所・ポツダム、京都大学)、関口雄一郎 (東邦大学)、藤林翔 (マックスプランク研究所・ポツダム)

ブラックホール・中性子星連星の合体は地上重力波検出器の主なターゲットの一つであり、LIGO-Virgo の重力波カタログにも候補イベントが含まれている。加えて重力波に付随する電磁波対応天体の観測も十分に期待されており、その一つとして挙げられるのはショートガンマ線バーストである。ショートガンマ線バーストを引き起こすのは相対論的ジェットだと考えられており、その相対論的ジェットを駆動する中心エンジンとしては合体後に形成されうるブラックホール降着円盤が有力視されている。しかしながら、その可否やジェット噴出のメカニズムは明確になっていないのが現状である。

本研究ではブラックホール・中性子星連星の合体とその後に形成される降着円盤の長時間発展を求めため、一般相対論、ニュートリノ放射輸送、磁気流体の効果を取り入れた数値シミュレーションを行った。その結果、降着円盤に対して垂直方向、ブラックホールの回転軸方向に揃った渦巻状の磁場が形成され、絞られた物質の高速なアウトフローが噴出することを確認した。加えて、ポインティングフラックスの強度を評価してショートガンマ線バーストの中心エンジンたり得るのか議論する。

[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](#)

## W21a Regulation of gas accretion by cocoon from stellar-mass BHs in AGN disks

Hironichi Tagawa (Tohoku), Shigeo Kimura (Tohoku), Zoltan Haiman (Columbia), Imre Bartos (Florida), Rosalba Perna (Flatiron)

The astrophysical origin of gravitational-wave (GW) events is one of the most timely problems in the wake of the LIGO/Virgo discoveries. One promising pathway for compact object mergers are evolution in AGN disks. However, in this environments, compact objects may rapidly grow to intermediate or supermassive black holes (BHs) unless accretion is suppressed by some feedback processes. Here, we propose that a cocoon emerged around a jet emitted from an accreting stellar-mass BH (sBH) due to the Blandford-Znajek effect can significantly regulate accretion onto a sBH. Such cocoon can eject outer regions of a circum-BH disk (CBD) and gas within about the scale height of an AGN disk. Since the depletion timescale of the bound CBD is usually much shorter than the resupply timescale of gas to a sBH, the averaged accretion rate onto the sBH can be reduced by orders of magnitude depending on parameters. We discuss the evolution of sBHs and observational signatures expected in this regulation 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](#)

## W22a Merging binary black holes with misaligned spins from primordial binaries

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Tanikawa, Ataru (The University of Tokyo), Fujii, Michiko (The University of Tokyo), Kumamoto, Jun (The University of Tokyo)

The recently published gravitational wave catalog (GWTC-2) shows a nonzero fraction of binary black hole (BBH) systems with component spins misaligned with the orbital angular momentum. The data even suggests that some BBH are tilted by more than 90 degrees with respect to their orbital angular momentum, giving rise to a negative effective inspiral spin parameter. It is difficult to reconcile this fact with currently proposed formation pathways: BBH from isolated primordial binaries will have spins aligned with the binary angular momentum, due to tidal spin-up. On the other hand, isolated black holes are thought to be born with low spins. To reconcile the observations, we propose an alternative formation pathway that combines isolated binary evolution and dynamical interactions in stellar clusters. In our scenario, BBHs from primordial binaries in stellar clusters undergo three-body encounters, which will tilt the binary orientation and result in misaligned spins. We compare the distributions of effective spin parameters from our model with the current Ligo-Virgo observations and provide the expected merger rates.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W23a Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources

Long Wang,<sup>1,2,1</sup> Michiko Fujii,<sup>1</sup> Ataru Tanikawa<sup>3</sup> <sup>1</sup>Department of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, Japan <sup>2</sup>RIKEN Center for Computational Science, 7-1-26 Minatojima-minami-machi, Chuo-ku, Kobe, Hyogo 650-0047, Japan <sup>3</sup>Department of Earth Science and Astronomy, The University of Tokyo, Japan

Dynamically formed and perturbed black hole (BHs) binaries are one important progenitors of gravitational waves (GWs). The globular clusters (GCs) are considered to be one of the major environment to produce such binaries due to its high central density. There is an argument that the dynamical contributions to GW mergers from GCs is small due to a small number of observed GCs in the Galaxy. However, this assumes that GCs contain a canonical initial mass function like that in the field star. But GCs formed at high redshift and in a metal-poor environment, where top-heavy IMFs might appear. Although GCs with top-heavy IMFs tend to disrupt fast or become dark clusters, their contribution to the GW sources can be significant. By using star-by-star accurate  $N$ -body simulations (PETAR code) for dense GCs with different IMFs, we find that the properties of BBH mergers have depends on the stellar-wind mass loss and stellar dynamics in a complex way. The merger rate does not monotonically correlate with the slope of IMFs. The formation rate continues decreasing as cluster expands due to BH heating. But since the total number of BHs is much larger, the final contribution can still be much more if the initial mass and density of GCs is high.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W24a 散開星団における連星ブラックホールの形成とスピン進化

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝, Alessandro A. Trani (東京大学)

近年、LIGO と Virgo による重力波イベントの検出が続いている。これまでに検出された連星ブラックホールの合体イベントにより、近傍宇宙における連星ブラックホールの合体率や質量分布等が推定されている。さらに、連星ブラックホールの観測から得られるパラメータの一つに有効スピンパラメータ  $\chi_{\text{eff}}$  がある。連星ブラックホールの有効スピンパラメータの分布についても推定が行われており、 $\chi_{\text{eff}} \sim 0$  付近に小さな正負の値を持って分布していることが予想されている。このようなスピン分布の理解が連星ブラックホールの起源を考える上で重要な要素の一つとなる。

我々はこれまでの研究において、散開星団における連星ブラックホール形成について研究を行って来た。金属量が異なる散開星団について、重力  $N$  体シミュレーションコード NBODY6++GPU を用いて計算を行い、散開星団内における連星ブラックホールの形成過程について調べてきた。今回は、4つの異なる金属度を持つ散開星団について重力  $N$  体シミュレーションを行い、それぞれの星団で形成される連星ブラックホールの前駆体について、金属量に依存した恒星の質量損失・スピン損失を仮定し、スピン進化を計算した。

その結果、軌道長半径の小さい連星は、伴星からの強い潮汐力によって、より大きな有効スピンを持つ連星ブラックホールに進化することがわかった。ブラックホールやその前駆体が伴星からの潮汐力以外にスピン角運動量を得ていなくても、合体する BBH の約 16% は有効スピンの 0.1 以上になる。もし、Wolf-Rayet 星が common envelope の直後には、無次元のスピン分布が平坦で等方的であると仮定すると、合体する BBH の有効スピン分布は、LIGO や Virgo による重力波観測から推測されるものと似ていることを発見した。

[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](#)

## W25a 超巨大バイナリー・ブラックホールにおいて重力波発生のない状況について

大家 寛 (東北第)

東北大学デカメータ波電波干渉計により 21.86MHz での観測で得られたスピン情報から天の川銀河中心のブラックホールは 240 万太陽質量 ( $G_{aa}$  と仮称) と 190 万太陽質量 ( $G_{ab}$  と仮称) から成る超巨大バイナリー・ブラックホール (SMBBH) であり、それぞれ光速の 18 及び 22 パーセントの速度を持ち、2200 秒周期で公転し合っていると結論している。この存在は既存の、ブラックホール・バイナリーからの重力波放射論の下では矛盾があり、SMBBH からの重力波発生に関し改めて理論検討を行った。SMBBH の重力波問題が星質量ブラックホールの場合と本質的に異なる点は、密度がブラックホール半径の逆 2 乗で薄くなることから、SMBBH の内部物質は古典論に基づくプラズマ物理学の範疇で取り扱えることにある。本研究では、SMBBH 内部で測地線近傍の座標系にて記述される力学平衡状態から質量と回転パラメータを観測値に固定したまま物質領域の半径  $r(Mc)$  を求め、事象限界 (EH) の半径  $r(E)$  に対し  $r(Mc)/r(E) = 1/10$   $1/100$  となりうる事を明らかにした。

Kerr-SMBBH の EH より内部で、半径  $r(Mc)$  に凝縮された物質球がバイナリーの公転軌道の原点に対して形成する 4 重極の加速運動を源とする重力波の発生を検討した、一例として EH の  $1/50$  の半径に凝縮した物質から放射された重力波は Kerr SMBBH の内部・時空を伝搬し EH に向かうが Kerr ブラックホール 内部・真空時空の制約から EH に到達する前に停止する。停止後重力波は逆行し共存する進行波との干渉のため定在波を形成することが判明した。重力波のエネルギー伝搬を許されず、SMBBH からは重力波が放射されないと結論される。

[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](#)W26b P<sup>3</sup>T-DENEb を用いた球状星団内の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)

球状星団は、重力波を放出して合体する連星ブラックホールの形成場所の一つである。密度が高い星団では、3 体の恒星同士の遭遇により、連星間距離が小さくエネルギーが大きい連星が力学的に形成される。しかし、現実的な恒星の数 (100 万個以上) を含む球状星団の  $N$  体計算は依然として困難である。理由の一つとして、恒星間の重力計算コストが  $O(N^2)$  で非常に大きいことが挙げられる。また、球状星団の時間スケールが連星の軌道周期 (1 日以下) と比較して非常に長い (10 Gyr 以上) ため、連星の軌道計算を正確に行いつつ長時間計算しなければならない。これらの問題を解決するために、私は Particle-Particle Particle-Tree (P<sup>3</sup>T) 法 (Oshino et al. 2011) と連星アルゴリズムを持つ GORILLA (Tanikawa and Fukushige 2009) を組み合わせた新しいシミュレーションコード「P<sup>3</sup>T-DENEb」を開発した。これは遠く離れた星からの重力の計算コストが  $O(N \log N)$  となる Tree コードでまとめて計算し、近くの星からの重力は近似することなく高精度で計算するシミュレーションコードである。また、連星がある場合は解析的に連星の軌道を計算することで、エネルギー誤差の蓄積を抑えている。P<sup>3</sup>T-DENEb の計算速度は、 $10^6$  個の星で GORILLA を使用した  $N$  体計算よりも約 100 倍高速であることを確認している。

本研究では、Salpeter の質量関数 ( $0.1M_{\odot} - 50M_{\odot}$ ) を持つ  $10^4 - 10^5$  個の恒星からなる球状星団のモデルを生成し、P<sup>3</sup>T-DENEb による力学進化シミュレーションを行った。系全体のエネルギーの誤差を 0.1% 以下の精度を保った状態でコアコラプス時間の 100 倍まで計算したところ、星団内で最も重い星が連星系をなし、星団内の恒星が持つ平均運動エネルギーの  $10^3 - 10^4$  倍のエネルギーを持つ連星が 10 個程度星団外へ放出される様子が確認された。その他のテスト計算の結果や今後の展望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](#)

## W27b Eccentric-Kozai-Lidov 機構による BH 連星の合体: Post-Newtonian 効果

稲熊穂乃里 (東京大学)

恒星質量ブラックホールの連星が、他の少し遠方にある天体 (3 体目と呼ぶ) に束縛されており、系が階層的 3 体系となっている場合を考える。このとき、Eccentric-Kozai-Lidov メカニズムによって、連星の軌道離心率や、連星の軌道平面と 3 体目の軌道平面のなす角度 (inclination) がある時間で振動的に変化する。この振動の時間を EKL 時間と呼ぶ。現在では、様々な場合に EKL 時間が見積もられている (e.g. Antognini J. M. O., 2015)。また、連星ブラックホールが重力波を放出して合体する際の合体時間は、連星を成すブラックホールだけを考えた場合について、解析的に見積もられている (Peters P.C., 1964)。この合体時間は上記のように 3 体目がある場合には、その質量や inclination、連星と 3 体目の質量比にも依存する。

本研究では、2.5 Post-Newtonian(PN) の効果までとり入れた Secular コードと直接 N 体計算コードを用いて、3 体目の質量を変化させた場合に EKL 時間がどのように変化するか調べた。そして Secular コードと直接 N 体計算で結果を定量的に比較した。また、一般相対論的效果を考慮しない場合と、1PN まで入れた場合、2.5PN まで入れた場合では EKL 時間がどのように異なるかを確かめた。

本講演では、3 体目の質量を変化させた場合の EKL 時間の変化について発表する。はじめに、3 つのコードの結果を比較し、その精度を確かめた。また、2.5PN の効果まで取り入れた場合、Secular コードでも直接 N 体計算でも、3 体目の質量増加に伴って EKL 時間は短くなる場合があることがわかった。3 体目が連星に比べ軽い場合についても計算を行った。また、直接 N 体計算では、Secular コードよりも EKL 時間が長くなる場合もあることが確認された。これらに加えて、ブラックホール連星合体時間の変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](#)

## W28a 中性子星 X 線連星 Aql X-1 の X 線及び可視光変動の研究

庭野聖史, 村田勝寛, 河合誠之, 安達稜, 細川稜平, 谷津陽一 (東京工業大学), 堀内貴史, 花山秀和 (国立天文台), MAXI チーム

中性子星 X 線連星 Aql X-1 について、MAXI、ZTF、LCO の 3.7 年間の X 線・可視光ライトカーブを解析し、その放射及び変動のメカニズムについて議論した。我々は X 線連星の長期間の X 線・可視光の同時データの取得を目的として、全天 X 線監視装置 MAXI がモニターする 61 個の銀河面上の X 線連星のうち 24 天体について、可視光サーベイ観測プロジェクト ZTF の Public Data Release 3 より 2018 年 3 月から 2 年間の可視光ライトカーブを取得した。その結果、中性子星 X 線連星 Aql X-1 に関しては当該期間中の 2 回のアウトバーストについて可視光と X 線の双方で顕著な増光が確認された。そこで我々は MAXI と ZTF に加えて、国際天文台ネットワーク LCO の 2016 年 3 月から 3.7 年間の可視光データも使用し、Aql X-1 の多波長ライトカーブの解析を行った。その結果、当該期間中に発生した 5 回のアウトバーストのうち 3 回で Low-Hard と High-Soft 間の X 線状態遷移が生じていたこと、2008 年までのバーストで見られていたように、X 線と可視光の明るさの比によって FRED (Fast Rise Exponential Decay) と LIS (Low Intensity State) の 2 つの状態に分類できること、High-Soft 状態では可視光が明るくなるほど青くなる変動が起こっていたことが明らかとなった。そして、High-Soft 状態における可視光放射源を X 線照射で加熱された降着円盤表面と仮定すると、質量降着率の増大による X 線フラックスの増大、及び温度上昇による円盤の厚さの膨張によって、観測された可視光の明るさと色の変動を説明できた。

[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](#)

## W29a MAXI と NICER による Swift J1858.6-0814 のスペクトル

坂井謙斗 (芝浦工大、理研), 三原建弘 (理化学研究所), 久保田あや (芝浦工業大学)

Swift J1858.6-0814 は、2018 年 10 月 25 日に発見された X 線連星である (ATel #12151)。アウトバーストは長く続き、明るくなった 2020 年 3 月に NuSTAR と NICER により I 型 X 線バーストが検出され、中性子星であると判明した (Buisson + 2020)。同時に距離は 12.8 (9-18) kpc とされた。本研究では、MAXI のライトカーブで明るくなっていた、58880MJD から 58930MJD の期間の NICER のスペクトルを解析した。NICER のデータは 58913MJD から 7 日間のデータ (exposure time : 4333 s) を統計誤差を減らすために足し合わせて使用した。0.6-10 keV の flux は  $9.9 \times 10^{-10}$  erg/s/cm<sup>2</sup> で光度は  $1.8 \times 10^{37}$  erg/s であった。1.4M<sub>☉</sub> の中性子星のエディントン限界の 9% である。スペクトルの概略は、powerlaw ( $\Gamma \sim 1.5$ ) で、LMXB のハード状態と考えられる。まず、中性子星表面を覆う、高温コロナによる逆コンプトン散乱と考える nthcomp モデル (Zdziarski + 1996) を適用したが、それだけでは  $\chi^2_{\nu}$  (dof)=1.60(441) とデータを再現しなかった。そこで、光学的に厚い降着円盤を加えた phabs\*(nthcomp+diskbb) でフィットしたところ、 $\chi^2_{\nu}$  (dof)=1.15(439) とデータを再現した。nthcomp のベストフィット値は種光子の黒体温度  $kT_{\text{bb}} = 0.44 \pm_{0.030}^{0.031}$  keV、コロナの電子温度  $kT_e = 3.26 \pm_{0.27}^{0.27}$  keV、 $\Gamma = 1.72 \pm 0.01$  であり、光学的厚み  $\tau$  と  $y$  パラメータは  $\tau = 6.3$ ,  $y = 1.0$  と算出できる。また、種光子の黒体放射の半径は  $8^{+3}_{-2}$  km と計算でき、距離の不定性を考慮すると中性子星全体をコロナが覆っていると考えて矛盾ない。また、diskbb は  $kT_{\text{in}} = 0.27 \pm 0.02$  keV であり、境界条件補正 ( $\xi = 0.41$ ; Kubota + 1998) と色温度補正  $\kappa = 1.7$  (Shimura + 1995) を考慮すると、 $R_{\text{in}} \sqrt{\cos i} = 107^{+44}_{-32}$  km となり、降着円盤は中性子星の半径の 10 倍程度の位置に後退していると考えられる。この描像は中性子星 LMXB のソフト状態に近いハード状態と考えて矛盾ない。

[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](#)

## W30a GS 1826-24 の X 線バースト観測による中性子星の物理過程の制限

土肥明 (九大理、理研)、西村信哉 (理研)、橋本正章 (九大理)、松尾康秀 (九大理)、野田常雄 (久留米工大)、長瀧重博 (理研)

低質量 X 線連星系において、しばしば I 型 X 線バーストと呼ばれる突発的な増光現象が観測される。この原因は、降着中性子星の表面付近で起きる水素・ヘリウムの不安定核燃焼であると考えられている。現在、100 個以上の X 線バースターが観測されているが、その中でも GS1826-24 は連続アウトバーストの間に観測された光度曲線の形状が一定であるという点で、X 線バーストのモデル制限に便利な天体である。複数の先行研究で、GS1826-24 のバーストモデルを多数構築し、最終的に質量降着率や降着物質の金属量など特に中性子星の外部の領域に関するモデルパラメータの制限が行われてきた (Heger et al., 2007, Lampe et al., 2016, Meisel 2018, Meisel et al., 2019, Johnston et al., 2020)。しかし、これまでの先行研究では、降着層のみが計算領域として考慮され、状態方程式やニュートリノ冷却などの中性子星の内部物理の効果は簡単なモデルとして取り入れられていた。

我々は、相対論的天体の熱的進化コードに上記の中性子星内部の物理過程を取り入れて (Dohi et al., 2020)、複数の GS1826-24 の理論モデルを計算した。状態方程式の不定性やニュートリノの冷却過程が、それらの光度曲線どのような影響を及ぼすかを調べた。その結果、中性子星の状態方程式だけではなく、ニュートリノによる冷却の効果も重要であるということがわかった。また、その上で、不定性は残るものの GS1826-24 で観測された光度曲線との比較により、より硬い状態方程式は棄却される傾向に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](#)

## W31a NICER による X 線連星 Circinus X-1 の軌道周期を完全にカバーした観測

富永愛侑 (東京大学, JAXA/ISAS), 海老沢研 (東京大学, JAXA/ISAS), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS), 榎戸輝揚 (理化学研究所), 早崎公威 (忠北大学)

Circinus X-1(以下、Cir X-1) は、中性子星を持つ周期 16.6 日の X 線連星であり、1 型 X 線バースト、軌道周期に依存する光度変動、kHz スケールでの準周期的変動などの多様で複雑な光度変動を示す、他に例を見ない天体として長年知られている。近年、X 線連星として唯一、付随する超新星残骸が発見され、系の年齢が 4600 年未満と見積もられた (Heinz+13)。即ち Cir X-1 は X 線連星で最も若く、中性子星や連星の進化を理解する上で重要な天体と判明した。特に、その特異な時間変動性と降着円盤の安定性の関係は重要な研究課題である。しかし、円軌道で周回する連星で起こる伴星から中性子星へのロッシュローブ質量輸送と異なり、伴星からの質量降着の様子が良くわかっておらず、様々な時間スケールで時間変動性を特徴付けることから始めなければならない。特に短い時間スケールでの研究には、最も大きな望遠鏡面積と高い時間分解能を有する NICER 装置が最適である。

我々は昨年度、NICER 装置を用いて、1 周期内を完全にカバーするために 100 回の観測を行った。近星点直前で数日間減光し、直後から増光するという特徴は、10 年間の長期観測結果を保持する MAXI 装置でも度々観測されており、本観測でもライトカーブから同様の特徴が見受けられた。今回は特にこの近星点付近の変動に注目してスペクトル解析を行った。減光期には 1–2.5 keV に散乱由来と考えられる超過成分が存在し、高階電離鉄の輝線が観測された。一方増光期には、鉄の吸収線が He 状から H 状へ徐々に遷移する様子が見られ、Cir X-1 の光度変動と連動して視線方向に存在する物質の電離が進行する様子が明らかになった。本講演では詳細な解析結果を報告するとともに、一連のスペクトル変動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](#)

## W32a 大質量 X 線連星 Cen X-3 の軌道位相に伴う放射機構の変化

丹波翼, 小高裕和, 谷本敦 (東京大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 高嶋聡, 馬場彩 (東京大学)

HMXB (high mass X-ray binary) は大質量星とコンパクト星の連星系であり、コンパクト星が中性子星である場合には  $\sim 10^{12}$  G という強力な磁場を伴うことが知られている。そのような状況下では、中性子星の磁力線に沿って降着物質が磁極に円柱を作り、中性子星表面から出た光子が円柱内でコンプトン散乱によって叩き上げられる “accretion column” モデルが有力な放射機構として提唱されている (Becker & Wolff, 2005)。しかし、降着円盤からの反射や周辺物質による吸収など考慮すべき物理現象が多いため、軌道周期やパルス周期に伴って変化する観測結果を説明することは難しく、それらの解釈はいまだ現象論的なものにとどまっている。

我々は、物理現象に基づいて強磁場を伴う降着系の観測結果の説明することを目指し、代表的な HMXB である Cen X-3 の NuSTAR 観測データを解析した。軌道位相およびパルス位相に伴う短時間の変動を調査するために、40 ks の観測データを 2 ks ずつ 20 分割し、軌道位相ごとにパルスプロファイルを生成し解析した。その結果、天体のフラックス減少に同期したパルスフラクションの急激な増加を発見し、磁極からの直接成分以外の間接成分が大きく減少している可能性を指摘した。また、光子エネルギーの増加に伴って、パルスプロファイルのピーク強度が小さくなることや、ピーク位相が遅れるという傾向を軌道位相によらない普遍的な性質として発見した。パルスプロファイルのエネルギー依存性は、高エネルギー光子を中心とした磁極からの直接成分と低エネルギー光子を中心とした円盤からの反射成分の 2 成分の存在を示唆するものである。本研究では、モンテカルロシミュレーションコード MONACO (Odaka et al. 2011) を用いて、accretion column モデルに基づく 3次元シミュレーションモデルの構築も進めており、本講演ではそのシミュレーションと観測結果の比較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](#)

## W33a X線連星内での非対称な恒星風駆動と降着

平井遼介 (モナッシュ大)

大質量 X 線連星とは、大質量星とコンパクト天体 (中性子星またはブラックホール) からなる連星系である。主に大質量星から放出される恒星風をコンパクト天体が一部降着することで輝いている。連星軌道が小さいほど降着する質量は大きくなり放出される X 線の強度も高まるため、実際に観測されている X 線連星の多く (Cyg X-1, LMC X-1 等) は星がロッシュ・ローブを 9 割以上満たしている近接連星である。このような近接連星では潮汐力の影響が大きいので星が軌道にロックされ、高速回転する上にロッシュ・ポテンシャルの形に合わせて変形すると考えられる。また、高速回転や潮汐力によって星表面は非対称に重力減光の影響を受ける。大質量星は自身の輻射圧によって恒星風を駆動するため、表面が非対称に光っている星からは非対称な恒星風が駆動されるはずである。

本研究では大質量 X 線連星において潮汐ロックされた大質量星から放出される恒星風の非対称性に着目した。まず、吸収線駆動恒星風の基本モデルである CAK 理論 (Castor et al. 1975) を用いて、高速回転しながら非対称に光る星からの恒星風がどのように駆動されるか計算した。また、従来用いられてきた球対称恒星風モデルと比べてコンパクト天体に降着する質量や角運動量がどの程度変わるかを見積もった。その結果、軌道が十分に近い場合は Cyg X-1 で観測されているような恒星風が集中したストリーム状の降着流を再現することができた。また、ストリームができる通常の恒星風降着とは逆向きの角運動量が降着するため、ストリームができる場合とできない場合の境界となる軌道半径では降着する角運動量がゼロとなり X 線源としては非常に暗くな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](#)

## W34a 磁気回転風に関する自己相似解

黄天銳, 藤澤幸太郎, 茂山俊和 (東京大学)

単独星の進化によって形成される白色矮星の最大質量はおよそ 1 太陽質量程度であると理論的に知られているが、近年それを超える単独大質量白色矮星が観測されており、このような白色矮星は連星白色矮星合体直後で生じる。そのような大質量白色矮星は高速に回転しており、周辺磁場も強いことが理論的に予想される。連星白色矮星合体は Ia 型超新星爆発につながる可能性がある現象で重要な問題であり、今後連星白色矮星の合体の初期段階の観測がなされる可能性があり、その比較のためのモデル構築は重要な課題である。そこで、本研究では高速に回転している強磁場の白色矮星の wind の構造の力学モデルの構築を行った。

Kashiyama et.al.(2019) によると、そのような高速に回転する強い磁場を持った大質量白色矮星が存在していると、磁場と回転による光学的に厚い速いウインドが吹くと考えられている。Kashiyama et.al. (2019) らは定常状態を仮定して解を求めたが、定常に至る過程等については議論されていないため、本研究では定常に至る過程や、中心天体表面でのフレア等の突発的な現象が生じた際の非定常な wind 構造についての自己相似解の手法を用いて計算を行った。

具体的な計算方法として、磁場と回転を全て含めた自己相似解のモデルを作り、大質量白色矮星の周囲の非定常な wind の解を求めることに成功した。shock がある場合とない場合でそれぞれ行い、その結果について報告をする。

併せて、このようなモデルを他の強磁場で高速に回転する天体等の天体現象に対する応用可能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](#)

## W35a X線観測による矮新星 SS Cyg の硬 X 線放射領域の空間分布の解明

武尾舞, 中庭望 (都立大), 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC), 石田學, 前田良知 (宇宙研)

我々は、矮新星の X 線を放射する温度  $10^8\text{K}$  ほどの高温プラズマおよび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を用いて、これらの位置関係と強く coupling する  $6.4\text{keV}$  鉄輝線のプロファイルを調べることで、高温プラズマの空間分布を精密に推定する研究に取り組んでいる。我々は代表的な矮新星であるはくちょう座 SS 星 (SS Cyg) の X 線天文衛星すざくによる観測データを用いて解析を行った。その結果、静穏時には、光学的に厚い降着円盤が白色矮星半径の 1.15–1.22 倍で途切れており、まさにその途切れている辺りで、中性鉄の内核電離を引き起こすほど高温のプラズマ ( $kT > 10\text{keV}$ ) が形成されていることを発見した。同様の描像が 2020 年秋季年会で発表したふたご座 U 星 (U Gem) の静穏時解析結果からも得られていることから、我々は、静穏時の境界層入り口でのプラズマ急加熱が、矮新星で共通に起きている現象なのではないかと考えている。そうであれば、矮新星静穏時における境界層からの X 線放射モデルを構築する際の非常に重要な境界条件となる。一方、爆発時には、光学的に厚い降着円盤が白色矮星の表面付近 (白色矮星半径の 1%以内) にまで迫っているという結果を得た。また、 $6.4\text{keV}$  輝線の広がったエネルギープロファイルから、光学的に厚い降着円盤上にプラズマが accretion disk corona 状に存在していることが確かめられた。また、corona の分布範囲が白色矮星半径の 1.2 倍以内の領域であることを発見した。本発表ではこれらの結果を詳述し議論する。

[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](#)

## W36a 木曾 Tomo-e Gozen と NICER 望遠鏡による矮新星 SS Cyg の可視光・X 線同時高速観測

西野耀平, 酒向重行, 紅山仁, 大澤亮, 峰崎岳夫, 瀧田怜 (東京大学), 木邑真理子, 榎戸輝揚 (理化学研究所), 中庭望 (東京都立大学), 山田真也 (立教大学), Keith C. Gendreau (NASA/GSFC)

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) からなる近接連星系であり、主星の周囲には降着円盤 (以下、「円盤」) が形成されている。宇宙には様々な降着円盤天体が存在するが、光度変動のタイムスケールが短く、多波長域で明るい矮新星は、円盤降着のメカニズムを理解するのに最適の天体である。

我々は最も明るい矮新星 SS Cyg においては 2019 年 8 月頃から静穏期の可視光と X 線の光度が緩やかに増加していることに注目し、この観測の好機を活かすべく、2020 年 9 月から 11 月にかけて、東京大学木曾観測所の 1.05m シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen と、国際宇宙ステーションに搭載された X 線望遠鏡 NICER を用いて矮新星 SS Cyg をターゲットにサブ秒スケールの同時高速観測を実施した。

結果として静穏期の SS Cyg において可視光と X 線の光度変動が高い相関を示すことを初めて発見した。10 秒スケールのローカルな変動のピーク (以下、ショット) を用いて遅延解析を行い、光度変動の相関の高いショットについて 0.3–2 秒程度の可視光の遅延を確認した。この遅延は SS Cyg の主星付近から円盤外縁部もしくは伴星表面までの light-crossing time とおおよそ一致しており、X 線照射に起因すると考えられる。過去の紫外線と X 線の同時観測 (Balman & Revnivtsev 2012) では X 線の照射効果は確認されておらず、現在の SS Cyg では X 線放射領域である中心の高温プラズマ領域のスケールハイトが拡大していると推測される。可視光と X 線のサブ秒スケールの同時観測により、従来の観測では捉えられなかった降着円盤内側の構造と放射過程が明らかになった。

[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](#)

## W37a 再帰型ニューラルネットワークを用いた高密度天体の X 線強度変動のパワースペクトル推定

牧田佳大, 山田真也, 一戸悠人 (立教大学)

宇宙 X 線の観測データは、統計的なノイズや系統誤差、サンプリング時間の非一様性、データギャップなどが生じやすい。それゆえ、解析結果にエイリアス (偽物の特徴量) が現れやすい。近年、観測量は増え、人力でデータを一つ一つ見ることが困難になりつつあるが、一方で、単純な変動パターンだけではなく、非周期的な変動やエネルギー依存性、フレア現象なども様々な天体で見られている。天体近傍の強い重力や、磁場や非定常な降着流の理解に繋がる観測量が眠っている可能性もある。そこで、本研究では、将来的に特徴量の自動抽出を目指し、まずはデータ欠損のある時系列データかつ、時間的に等間隔ではない場合でも活用できるように、時系列データから周波数空間のパワースペクトルの特徴量を予測することができる再帰型ニューラルネットワークを構築した。

機械学習において、実際の観測量を教師データとするには、X 線観測の時系列データは均質なものが少ないため、まずは、教師データとして、周波数空間で、べき関数型スペクトルかつ周波数ごとに位相はランダムを仮定した時系列データを作成し、作成した時系列データにガウスノイズとデータ欠損を付与することで、任意の数の擬似的な X 線の強度変動の時系列データを生成することにした。ネットワークは、時間と強度のペアを入力として、出力は周波数空間でのパワースペクトルの傾きと、規格化因子、カットオフ周波数を目標とするパラメータに設定した。トレーニングの結果、擬似的なデータに対して、約 30% の精度で目標とするパラメータを推定することができた。擬似的なデータでの実証を踏まえて、実際の NICER の観測した白色矮星 SS Cygni のデータに適用した。本講演では、ネットワークの概要と学習結果、実データへ適用した結果や今後の課題について紹介する。

[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](#)

## W38a 矮新星 MASTER OT J004527.52+503213.8 の 2020 年 outburst 時における測光観測とその解析

松井瀬奈 (名古屋大), 田邊健茲 (岡山理大), 竹内努 (名古屋大, 統数研), 河野海 (名古屋大)

MASTER OT J004527.52+503213.8 は 2013 年に増光を起こしている際に MASTER プロジェクトによって発見された天体であり、暫定的に SU UMa 型と考えられている矮新星である。この天体の増光が 2020 年 10 月 25 日 3:20(JST) の vsnet-alert 24843 (Denis Denisenko) に報告された。この報告を受け、岡山理科大学天文台の 23.5cm シュミットカセグレン式望遠鏡を用いて、2020 年 10 月 25 日から 11 月 4 日 (JST) にかけてこの天体の測光観測を行った。観測の結果、10 日間でおおよそ 1.5 等の減光と、superhump と見られるおおよそ 0.3 等の変光幅を持つ hump が検出された。周期解析の結果、hump の周期はおおよそ 118.4(2) 分であった。本研究における周期解析では、矮新星の superhump の解析によく用いられる PDM ではなく、より直感的に理解しやすい多項式 (2 次式、3 次式) フィッティングから hump の極大値を求め、極大値間の差分から周期を推定する方法を採用した。

Superhump が検出されたことから、今回の増光は superoutburst であり、この矮新星のタイプは SU UMa 型であることが示唆される。しかし、今回得られた outburst の増光幅は SU UMa 型にしては明らかに大きすぎ、むしろ WZ Sge 型矮新星に当てはまる。一方 WZ Sge 型矮新星の典型的な周期は 80 分前後であり、上述の hump の周期から分類を考えると WZ Sge 型には当てはまらない。以上より、この矮新星は分類上 SU UMa 型と WZ Sge 型の中間的な、遷移段階の天体ではないかと示唆される。

講演では観測結果ならびに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](#)

## W39b 食を用いた IW And 型矮新星のアウトバースト機構の検証 II

柴田真晃, 反保雄介, 小路口直冬, 若松恭行, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 木邑真理子 (理化学研究所)

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) からなる近接連星系であり, ロッシュローブを満たした伴星から輸送されたガスが主星の周囲に降着円盤を形成する。矮新星では準周期的に outburst が観測され, これは円盤が高温状態と低温状態を行き来する円盤不安定性モデル (Osaki 1996) で説明されてきた。しかし, 近年, 中間的な明るさの状態 (standstill) の後に減光せず outburst を起こす, 矮新星としては特異な変動を示す天体が見つかっており, IW And 型矮新星と呼ばれている。現在この光度変動を説明するものとしては, 伴星からの質量輸送率が急激に増加するモデル (Hameury & Lasota 2014), 円盤の質量降着率が変化するモデル (Kato 2019, Kimura et al. 2020) の2つが考えられている。円盤半径の時間変化を追うことでモデルの判別が可能となる。

我々は食を持つ IW And 型矮新星 AC Cancri の解析を行った。AC Cancri は Kepler 衛星の K2 mission により集中した観測がなされており, その期間の食の時間変化を調べた。前回の年会では secondary eclipse を用いた解析結果から, 円盤半径が standstill で次第に増加し, outburst 中は増加した後減少することを報告した (講演番号: W31a)。これは質量輸送率の急激な増加では説明できず, 円盤の質量降着率が変化するモデルを支持する結果である。その後, 我々は primary eclipse についても解析を行った。primary eclipse の解析では, 円盤外縁半径を secondary eclipse により算出された値に固定し, 円盤内側は温度が半径の冪乗で変化する power-law 円盤, 円盤外側は温度一定の低温領域としてモデルを作成した。primary eclipse と secondary eclipse の結果を比較することで, 円盤の高温領域の大きさを見積もることが可能となった。本講演では, 上記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](#)

## W40b 木曾シュミット、せいめいで観測可能な可視光パルサーの調査

高橋尚人, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学)

従来の可視光での光度変動天体の探査は CCD センサの読み出し時間などの制約によりタイムスケール数分以上のものが対象であったが, 東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen カメラは, CMOS センサで木曾 Schmidt 望遠鏡 (口径 105cm) の焦点面を覆うことで広い視野と高い時間分解能を実現し, 可視光によるタイムスケール秒以下の光度変動現象のサーベイ観測を可能にした。

本研究では可視光サーベイを行う対象として秒以下の周期的変動が期待されるパルサーの観測可能性を調査した。ATNF Pulsar Catalogue の中から赤緯  $-15^\circ$  以上かつ, ①距離 200pc 以内, ②距離 4kpc 以内かつ電波光度が Crab パルサー以上, ③ $\dot{E}$ (回転エネルギー変化率) が大きいという条件を満たすパルサーについて PanSTARRS-1 の r バンド画像を用いて可視光対応天体があるか調べた。その結果, 限界等級より明るい天体は一つしかなかった。その一つは 1.75arcsec 離れた場所にある 20.5mag の点源で対応天体である可能性は高くないが, 今後 Tomo-e で調べる予定である。この他, 星間減光量 (Green et al. 2019) と, せいめい望遠鏡を扱った際の PanSTARRS-1 の  $5\sigma$  限界等級 ( $r \sim 23.1\text{mag}$ ) 以下のパルサーの観測可能性を考察した。

本講演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](#)

## W41b 「すざく」による低質量 X 線連星 EXO 0748-676 の dips/bursts の解析

中間洋子 (東工大)、堂谷忠靖 (東工大、ISAS/JAXA)

「すざく」のアーカイブデータを利用した、EXO 0748-676 の dip 中のスペクトル解析及び X 線バースト中の吸収線探索の結果について報告する。EXO 0748-676 は、代表的な低質量 X 線連星の一つで中程度の明るさを持ち、dip や X 線バーストなどの多様な現象を示すことが知られている。Dip は中性子星の周りにある降着円盤の外縁により中性子星近傍からの X 線放射が遮蔽・吸収される現象で、降着円盤外縁の構造や X 線放射領域の広がりに関する情報を含んでいる。Dip 中のスペクトルは、部分吸収や光電離プラズマによる吸収で再現されることが多い。一方、X 線バーストは磁場が弱い中性子星で表面での熱核反応の暴走現象で、その際に形成されるスペクトル構造 (吸収線や吸収端) が観測できれば、中性子星の質量半径、引いては中性子星を作る核物質の状態方程式に制限が与えられると期待されている。

「すざく」による EXO 0748-676 の観測は、2007 年 12 月 25 日からほぼ 1 日行われ、有効観測時間は 46 ksec であった。観測時の光度は、a few  $10^{36}$  erg/sec でやや暗い状態であった。Light curve を見ると、連星位相の後半で良く dip が生じているという典型的な振る舞いを示しており、また、X 線バーストも 4 回観測されていた。このデータの persistent emission はすでに解析されているので (Zhang et al. ApJ, 823, 131)、我々は EXO 0748-676 のライトカーブから dip とバーストに着眼し、そこからエネルギースペクトルを抽出し解析を行った。その結果、dip 中の energy spectrum の約 0.8 keV 以下に顕著な soft excess があることがわかり、光電離プラズマによる吸収構造として説明できるかどうか試みた。X 線バーストのスペクトル解析からは、特に吸収線・吸収端などの構造は見つからなかった。本講演ではこれら dip と X 線バーストの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](#)

## W42c Systematic search of optically thick magnetic rotating wind solutions for double white dwarf merger remnants : sub-Chandrasekhar mass case

Narenraju Nagarajan (UTokyo), Kazumi Kashiyama (UTokyo), Kotaro Fujisawa (UTokyo), Toshikazu Shigeyama (UTokyo)

BACKGROUND: Stellar wind, being one of the major contributors to the mass loss from the white dwarf (WD), is key to understanding stable paths that lead to different merger products. In this study we conduct a 1-dimensional numerical search over a large parameter space in order to identify stable wind solutions of potential interest.

METHODS: We investigate optically thick rotating magnetic winds from the remnants of binary white dwarf (WD) mergers. Focusing on sub-Chandrasekhar mass system with an ONe core and Carbon burning near the surface, we systematically search steady wind solutions with extending the method given in Kashiyama, Fujisawa, Shigeyama 2019. This lead to some interesting findings about the relationship between the variables in the parameter space.

RESULTS: We identify a possible range of photospheric temperature, luminosity, and mass loss rate for a given set of WD mass, angular frequency, and magnetic field strength. With further systematic investigation we determine the physical origin and implications of this result.

DISCUSSION: These results are useful to observationally search double WD merger remnants in our Galaxy and to constrain the evolutionary history.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W43a すざくによるはくちょう座 X-3 のエネルギースペクトルの解析

荒神歩己、北本俊二 (立教大学)

はくちょう座 X-3 は、約 4.8 時間の公転周期を持つ WR 星と X 線源であるコンパクト星の連星系である。GeV ガンマ線が検出されていたり、巨大電波バーストや光速の 0.1 倍から 0.9 倍にのぼるジェットが観測されていることで、マイクロクエーサーの代表としても知られている。WR 星からの大量の星風の中を、強い X 線を放射しているコンパクト星が公転しているという特殊な状況が実現しており、X 線により星風が光電離されていることで、多くの輝線とともに放射性再結合連続放射 (RRC) が検出されていることも特徴である。

はくちょう座 X-3 のコンパクト星は、未だ BH か中性子星か決定できていない。コンパクト星の速度が測定できれば、大きな情報となるので多くの試みがなされている。例えば、X 線で観測できる多くの輝線は、星風が放射しており、星風の速度が反映されているが、高階電離した鉄からの輝線は、コンパクト星の近傍で放射されており、コンパクト星と同じように公転していると仮定して、コンパクト星の速度を反映しているとして質量関数を推定した結果等が報告されている。しかし、どこで、輝線や RRC が放射されているのかは、単純ではなく、たとえば Chandra 衛星の HETGS による観測結果ももっと複雑な様子が報告されている (Kallman et al. 2019)。

そこで、Chandra 衛星の HETGS よりもエネルギー分解能が劣るが、大きな有効面積をもち統計精度の高い、すざくにより取得したスペクトル (Todoroki et al. 2012) を再解析した。

すざくのエネルギースペクトルを最大限有効に活かす工夫として、較正線源の解析と SCF 効果の補正を行い、4.8 時間の公転周期による輝線や RRC の強度変化を調べた。その変化から色々な輝線の放射領域について考察した結果を報告する。

[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](#)

## W44a 那須電波干渉計によって観測された Cygnus X-3 の巨大フレア (2)

坪野公夫, 大師堂経明 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 岳藤一宏 (JAXA), 新沼浩太郎 (山口大学)

Cygnus X-3 からの巨大フレアに関しては、記録の揃った 2016 年から現在まで 7 回の出現が報告されている。このうちの 5 回のアウトバーストについては、那須電波干渉計によってその出現から消滅にいたるまでの経過が観測された。これらに関して前回 (2021 年春季年会) に引き続き、他波長も含めた関連する観測の詳細と研究の進展について報告する。

那須電波干渉計では、東西方向に並んだ直径 20 m の 8 基のアンテナが一体で機能する。8 基のアンテナからの出力を空間フーリエ変換 (空間 FFT) することにより、1.4 GHz において角度分解能  $0.1^\circ$  が実現される。この分解能は直径 160 m のアンテナの性能に匹敵する。一方で、20 m アンテナのもつ  $0.8^\circ$  という広視野が維持される。このような空間 FFT 型電波干渉計はトランジェントな電波源の探査に適している (Asuma et al. PASJ(2020))。

マイクロクエーサーの一つである Cygnus X-3 は、白鳥座に属し X 線を放つ 4.8 時間周期の連星であり、主星はブラックホールもしくは中性子星、伴星は Wolf-Rayet star (WR) である。最近のアウトバースト研究では、メインの電波バーストに先立って、hard X-ray 領域において hypersoft/quenched state とよばれる不活性状態を遷移することがわかってきた。それと同時に散発的なガンマ線放射が見られることが多い。これらガンマ線、X 線、電波で得られた観測データを総合的に検討することにより、ジェットや WR からの恒星風が作り出すアウトバーストの物理的理解が進むことが期待される。

那須電波観測所 HP: <https://nasu-radio-telescope.space>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W45a MAXI による長期観測データの時系列解析

鈴木開斗, 吉田篤正, 杉田聡司 (青山学院大学)

コンパクト星を主星とする X 線連星の光度曲線には連星軌道による周期的変動が観測されるが、一部の天体には軌道周期を超える超軌道周期 (~100 日) を持つことが知られている (Sood. et al., 2007)。しかしその起源はいまだ明らかになっておらずまた発見例自体も少ない。国際宇宙ステーションに搭載されている全天 X 線監視装置 (Monitor of All-sky X-ray Image, MAXI) MAXI は稼働を開始した 2009 年から全天の X 線天体の観測を続けており、X 線連星の光度曲線データは長周期の時系列解析に適している。

天体の光度の周期探索には光度曲線をフーリエ変換し周波数毎のパワーを表示したパワースペクトルを用いる。しかし、MAXI の軌道には南大西洋異常帯や高緯度帯での高バックグラウンド領域が存在することで観測不能領域があるため、データが抜けている部分が存在し特定の天体に対しては断片的なデータしか得られない。抜けのあるデータに対してフーリエ変換を行うと、パワースペクトルに偽の信号やノイズが発生し正確な周期を読み取ることが出来ない。そこで本研究では、断片的なデータを補完して実状に忠実に再現する技法の一つであるスパースモデリングの時系列データへの応用 (Kato, T., Uemura, M., 2012) を X 線観測データに適用する。MAXI GSC が公開している 90 分または 1 日間隔のライトカーブデータを用い LASSO によるパワースペクトルの推定を行った。

本発表では、周期が既知である中性子星連星 Her X-1 の観測データを用いてスパースモデリングによるパワースペクトル推定が X 線天体の周期探索に適用可能であるか検証を行った結果、及び MAXI が発見した新天体の MAXI J1535-571 など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](#)

## W46a 大型液体シンチレータ検出器 KamLAND における重力波事象由来ニュートリノ探索および超新星爆発由来ニュートリノ探索

小原脩平, 永塚穂里, 石徹白晃治, 他 KamLAND コラボレーション (東北大学)

1987 年, 大マゼラン星雲で起きた超新星爆発から放出されたニュートリノを世界で初めて捉えたことによって小柴氏がノーベル物理学賞を受賞されたことは記憶にそう遠くない。ニュートリノはその非常に高い透過性から、爆発時の星の内部情報がある程度保持したまま地球まで飛来する。ニュートリノで観る天文学は現在も検出器の開発が進み、感度向上が為されている。本講演では岐阜県神岡地下, 旧 KamiokaNDE 跡地に建設された, 大型液体シンチレータ検出器 KamLAND において行った以下の研究結果についてまとめて報告する。

近傍超新星爆発が起こった場合には、大量のニュートリノ放出が期待されるため、高感度なニュートリノ検出器をもってすればその観測が可能である。さらにはニュートリノを用いることで光学的観測では見つけられないような、ブラックホール化するような超新星 (Failed Supernova) に対しても観測が可能である。今回 KamLAND 検出器を用いて 10 秒以内に複数事象のニュートリノ反応を探索し、近傍超新星爆発の探索を行ったので結果を報告する。また、過去の超新星爆発から放出された大量のニュートリノが現在も宇宙を漂っており (超新星背景ニュートリノ)、これを観測することで「平均的描像の」超新星爆発ニュートリノを捉えることができる。これも KamLAND 検出器において探索した結果を報告する。銀河中心で暗黒物質粒子同士が対消滅した際にニュートリノペアになる可能性についても議論を行う。

さらに近年では重力波観測装置 LIGO/Virgo によって多くの重力波事象が報告されているが、そのような重力波源からもニュートリノは発生しうる。この重力波事象に伴うニュートリノも探索したので、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](#)

## W47a 超高輝度超新星 PTF10hgi における後期電波放射の時間変動

廿日出文洋 (東京大学), 富永望, 林将央, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大)

近年、超新星の大規模探査が行われるようになり、通常の超新星と比較して10倍から100倍もの明るさの超新星が発見された。このような超新星は「超高輝度超新星 (Superluminous Supernova)」と呼ばれ、これまで知られていなかった新たな種族として注目されている。その発生メカニズムやエネルギー源、起源天体についてはよくわかっておらず、多くのモデルが提唱されている状況である。電波による観測は、モデルを制限するための有力な手段である。

我々は、VLA 電波干渉計を用いて超高輝度超新星 PTF10hgi ( $z = 0.0987$ ) における 3 GHz 電波連続波の観測を行った。PTF10hgi は I 型 (hydrogen poor) の超高輝度超新星で、過去の観測では 1–15 GHz 帯で電波放射が観測されていた。我々の観測の結果、超新星発生から 8.6 年後と 10 年後の観測において、電波強度が有意に (~40%) 減少していることが分かった。超高輝度超新星において電波放射の時間変動をとらえたのはこの研究が初めてである。過去に取得された 2 回のデータ点 (超新星発生から 6.8 年後と 9.9 年後) を合わせると、発生からおよそ 8–9 年頃に光度曲線のピークを迎えることが分かった。時間変動の要因としては、off-axis ジェットによる残光、若いマグネターに起因するパルサー星雲、および母銀河における活動銀河核が考えられる。モデルとの比較では、off-axis ジェットおよびマグネター起因のパルサー星雲で時間変動を説明できるが、前者は観測されたスペクトルのべき指数を説明できないことが分かった。超高輝度超新星の起源を解明する重要な知見が得られたが、さらにモデルに制限を加えるためには、多周波数での長期的なモニター観測が重要である。

[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](#)

## W48a r プロセス元素を合成する特異な超新星爆発の観測的特徴

長谷川樹, 田中雅臣, 齋藤晟, 土本草々恵 (東北大学), 西村信哉 (理化学研究所), 川口恭平 (東京大学)

近年、中性子星合体からの重力波 (GW170817) に付随し、電磁波対応天体 (キロノバ) が観測された。これにより、宇宙における r プロセス元素の起源として中性子星合体が有力となったが、銀河の化学進化を説明できない可能性も指摘されており、唯一の起源とは限らない。そこで別の候補として考えられるのが、大質量星の重力崩壊由来でも通常の超新星とは異なる爆発メカニズムをもつ場合である。特に注目されているシナリオは、高速の自転と強磁場をもつ親星による、磁気駆動型の爆発である。

我々は、特殊な重力崩壊型超新星において r プロセス元素が生成された場合の電磁波放射に対する影響を調べた。まず 1 次元流体計算で超新星爆発の流体環境を計算し、その結果を用いて r プロセス元素を加味した輻射輸送計算を行った。この輻射輸送計算では、通常の超新星でも生成される  $^{56}\text{Ni}$  と、r プロセス元素全体の質量を様々な値に変えて、組成の違いが光度曲線に与える影響を調べた。その結果、 $^{56}\text{Ni}$  の放射性崩壊で光る超新星においても十分な r プロセス元素が合成された場合、高い吸収係数の効果により、特に g バンドや r バンドなど、可視光の短い波長の放射が暗くなり、カラーが赤くなることがわかった。この結果を観測されている超新星のカラーと比較することで、超新星の r プロセス元素合成量が約 0.3 太陽質量以下であるという制限を得た。また、磁気駆動型の超新星のモデルで予想される  $^{56}\text{Ni}$  の合成量が少ない超新星では、r プロセス由来の放射性崩壊が主要な熱源となる可能性もある。本講演では、そのような新しい超新星シナリオの観測的特徴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](#)

## W49a ジェット状超新星における r プロセス元素の生成と放出

西村 信哉 (理化学研究所), 松本 仁 (慶應義塾大学), 澤井 秀朋 (高度情報科学技術研究機構), 滝脇 知也 (国立天文台)

近年の重力波観測や理論シミュレーションの進展により、宇宙 (銀河) の化学進化史において中性子星連星の合体 (キロノヴァ) が r プロセス元素の主要な生成源である説が強まっている。ただし、宇宙の初めから現在に至るまで全ての振る舞いを連星中性子星合体で説明できるわけではなく、むしろこれを補完するソースとしての超新星ライクな天体現象での r プロセス元素生成の必要性も高まっている。

本研究では、重力崩壊型超新星でも磁場と回転によって駆動される爆発メカニズムに着目し、そのジェット的な爆発において r プロセス元素を生成するシナリオに着目する。磁気回転駆動の爆発メカニズムは通常のニュートリノの加熱による爆発と異なり、放出物質に対して中性子過剰な環境を壊さずに爆発することが可能である。我々は、「中心エンジン領域」を飛び出した r プロセス元素に満ちた放出物質が外装に拡散していくフェーズまでを流体力学シミュレーションによって追いかけた。本発表では、流体シミュレーションの結果に基づいて、中性子過剰物質が拡散・放出されると共に r プロセス元素合成がどのように進行するか定量的に示す。さらに、これらのモデルから示唆される観測的な性質を議論する。

[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](#)

## W50a SS433 ジェット TeV ガンマ線領域からの電波放射と H $\alpha$ 線との相関

酒見はる香, 永井洋, 町田真美 (国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 大村匠 (東京大学), 赤松弘規 (SRON), 中西裕之 (鹿児島大学), 藏原昂平 (近畿大学/国立天文台)

近年のガンマ線観測により  $10^{15}$  eV 以上に宇宙線を加速しうる天体、ペバトロンが銀河系内に存在している証拠が発見された (Amenomori et al. 2021)。しかしながら系内のペバトロンは未だ明らかにされておらず、多数の候補天体が挙げられ議論が続いている。系内に  $10^3 \sim 10^4$  個存在すると思われる X 線連星から噴出する宇宙ジェットは、このペバトロン有力な候補天体の 1 つである。

近年、銀河系内で最も活発な X 線連星ジェット天体であるマイクロクエーサー SS433 からの TeV ガンマ線検出が報告されている (Abeysekera et al. 2018)。この観測から、SS433 ジェットにより高い効率で宇宙線粒子加速が起こっていることが確認された。TeV ガンマ線放射領域では X 線観測によりジェットのローブ構造が同定されている。しかしながら当該領域と相関のある電波放射はこれまで報告されておらず、宇宙線粒子加速領域の物理情報を反映する放射モデルを多波長スペクトル解析により制限することが困難であった。我々は VLA を用いて TeV ガンマ線放射領域を含む星雲 W50 の東側領域を 2.0-4.0 GHz の周波数帯域で観測した。その結果、X 線ローブ周辺の詳細な電波構造を初めて明らかにした。また検出した電波放射が、H $\alpha$  線観測により同定されている複数のフィラメント構造と空間的に高い相関を示すことを確認した。本講演ではこれらの結果に加え、電波からガンマ線の多波長観測で同定された宇宙線粒子加速領域周辺の構造比較、スペクトル解析から系内 X 線連星ジェットが  $10^{15}$  eV を超える高エネルギー宇宙線の加速源となりうる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](#)

## W51a ほぼトロイダルな背景磁場を持つ MRI 乱流における Alfvén 的揺動と圧縮的揺動の分配

川面洋平 (東北大学), Alexander Schekochihin (Oxford 大学), Michael Barnes (Oxford 大学), William Dorland (Maryland 大学), Steven Balbus (Oxford 大学)

Radiatively inefficient accretion flow (RIAF) では、プラズマが無衝突状態にあるためイオンと電子が異なる温度を持っていると考えられている。プラズマ加熱のメカニズムとして、磁気回転不安定 (MRI) 乱流の散逸が考えられるが、この散逸エネルギーがイオンと電子に不平等に分配されることによって二温度状態が発現する。しかし、降着円盤においてどのように乱流のエネルギーがイオンと電子に配分されるかは未解明の問題である。

我々は近年、ジャイロ運動論を用いた無衝突乱流シミュレーションにより、イオンと電子の加熱比が慣性領域における Alfvén 的揺動と圧縮的揺動の比の増加関数になっていることを示した (Kawazura et al. 2020)。これはすなわち、RIAF におけるイオンと電子のエネルギー分配は、MRI 乱流中の圧縮的揺動と Alfvén 的揺動の分配によって決まるということを意味している。しかし、MRI 乱流では駆動スケールに非局所エネルギー伝達が存在するため (Lesur and Longaretti 2011)、Alfvén 的揺動と圧縮的揺動の分配を求めることが困難である。我々は、ほぼトロイダルな背景磁場が存在するときは、簡約化 MHD を用いることで、容易に MRI 乱流中の Alfvén 的揺動と圧縮的揺動の分配を求めることが可能であることを見出した。我々が導出した簡約化 MHD では、Alfvén 的揺動と圧縮的揺動が線形項によってのみカップルしている。すなわちカスケードレド (= 渦回転時間の逆数) が円盤の回転周波数を上回れば、Alfvén 的揺動と圧縮的揺動がデカップルする。簡約化 MHD の数値シミュレーションを行い、Alfvén 的揺動と圧縮的揺動の比はプラズマ  $\beta$  に依らずほぼ 1:2 であることを発見した。

[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](#)

## W52a シンクロトロンメーザー放射に伴う相対論的ピックアップ過程

岩本昌倫 (九州大学), 天野孝伸 (東京大学), 松本洋介 (千葉大学), 松清修一 (九州大学), 星野真弘 (東京大学)

シンクロトロンメーザー不安定 (SMI) はコヒーレント放射を励起するプラズマ素過程であり、相対論的衝撃波で自己無撞着に実現されることが知られている (e.g., Hoshino & Arons 1991)。SMI は地球のオーロラキロメートル電波放射や木星のデカメートル電波放射の放射機構として地球惑星科学ではよく知られているが、近年では高速電波バーストの放射機構の候補として天文学においても注目されている (e.g., Metzger et al. 2019)。この SMI に伴う高強度電磁波は衝撃波上流で誘導ラマン散乱されて航跡場 (静電波) を励起し、最終的には非熱的粒子を生成することが 1 次元数値計算により示されている (Lyubarsky 2006; Hoshino 2008)。この高効率な粒子加速は高エネルギー宇宙線の生成機構として期待されているが、詳細な加速機構はよくわかっていない。

本研究ではこの加速過程を第一原理に基づく 2 次元計算により調べた。相対論的衝撃波は主に 1 次元数値計算で研究されており、現実には多次元系では数値不安定に伴う数値計算の困難さから十分に研究されていなかった。本研究では、数値不安定を抑制した高度に最適化された数値コード (Ikeya & Matsumoto 2015) を用いることで、2 次元でも粒子加速が生じることを見つけた (Iwamoto et al. 2019)。さらには非熱的粒子の軌道を解析することで、その具体的な加速機構はいわゆるピックアップ過程に相対論的効果を加味したものだということがわかった。本公演では、この相対論的ピックアップ過程についてより詳細に議論する。

[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](#)

## W53a マグネター SGR 1900+14 の硬 X 線パルス位相変調：エネルギー依存性の発見

牧島 一夫 (東大 Kavli IPMU), 丹羽 翼 (東大・理), 會澤 優輝 (東大・理), 小高 裕和 (東大・理), 米田 浩基 (理研・仁科), 榎戸 輝揚 (理研・白眉)

マグネターが内部に潜む  $\sim 10^{16}$  G のトロイダル磁場により、慣性率にして  $\epsilon \sim 10^{-4}$  ほど縦長に変形すると、自由歳差周期  $P$  と対称軸周り自転周期  $P/(1+\epsilon)$  が微妙にずれ、それらのビート周期  $T = P/\epsilon$  により、硬 X 線パルスの位相が進み遅れる。こうしたパルス位相の長周期の変調現象は、2 例のマグネター 4U 0142+61 [1] と 1E 1547.0-5408 [2-4] で発見され、3 例目として代表的な軟  $\gamma$  線リピーター SGR 1900+14 で確認された [5]。

今回は、「すぎく」と *NuSTAR* [6] により 2006 年 4 月と 2016 年 10 月にそれぞれ取得された SGR 1900+14 の X 線データを、引き続き解析した。その結果どちらの時期にも、 $P = 5.2$  秒の硬 X 線パルスの位相が、周期  $T = 40.5 \pm 0.8$  msec および振幅  $A \sim 1.0$  秒 (パルス周期の  $\pm 20\%$ ) の位相変調を示すことが確実となった。ここから非球対称度は  $\epsilon \sim 1.3 \times 10^{-4}$  となり、先の 2 天体と同様この天体の内部のトロイダル磁場は  $\sim 10^{16}$  G と推定される。軟 X 線成分のパルスには、位相変調は見られないなど、両衛星の結果は良く一致した。

さらに興味深い現象として、両衛星のデータで、硬 X 線パルスの位相変調パラメータが、 $\sim 13$  keV と 15-20 keV の間で大きく変化することが発見された。これは 1E 1547.0-5408 [3,4] で見られた現象と酷似し、陽子サイクロトロン共鳴など、超強磁場でのエキゾチックな物理に関係しそうである [3]。

[1] Makishima, K. *et al.* 2019, *PASJ*, **71**, id.15

[2] Makishima, K. *et al.* 2016, *PASJ*, **68**, id.S12

[3] Makishima, K. *et al.* 2021, *MNRAS*, **502**, 2266

[4] 牧島ほか日本天文学会 2021 春の年会, W27a

[5] 牧島ほか日本天文学会 2019 秋の年会, W30a

[6] Tamba, T, *et al.* 2019, *PASJ*, **71**, id.50

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W54a 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 (4)

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、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、 $\leq 10$  keV) と非熱的成分 (冪函数、 $\geq 10$  keV) で構成されており (Nakagawa *et al.* 2011; Enoto *et al.* 2012)、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から、バーストもマイクロバーストの重ね合わせ、マイクロバーストの放射の継続時間 ( $\delta t$ ) は数ミリ秒、マイクロバーストの本体であるファイアボールの速度  $v$  は光速  $c$  に近い、と予想している。これら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。その結果、95% の有意水準でバーストは  $\delta t \geq 6.1$  ms の継続時間を持つ同一の確率過程の現象 (マイクロバースト) の重ね合わせであることを見出した。また、 $\delta t$  は、熱的成分が優勢であるバーストから推定しているため、熱的成分の放射時間と考えることができ、ファイアボールが放出されてから  $\sim 1000$  km までに熱的成分が放射されると仮定すると、ファイアボールの速度は  $v \sim 0.5c$  であり、ローレンツ因子は  $\gamma \sim 1.1$  であることを見出した。これらの結果はマイクロバーストモデルからの予想とよく一致する。

[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](#)

## W55a FRB 121102 と連星コムモデル

和田知己 (京大基研), 井岡邦仁 (京大基研), Zhang Bing (UNLV)

高速電波バースト (FRB) は電波でミリ秒のタイムスケールで輝く突発天体で、その起源やメカニズムはわかっていない。近年の観測で、FRBのうち同一天体から複数回のバーストが観測されている repeating FRB という種族について、そのうちの2天体から周期性が報告されている。FRB 121102 は周期性を示す FRB の一つであり、その周期性はおよそ 159 日である。この周期のうち、およそ 47% の期間は FRB が観測されるが、残りの期間では観測されていない。我々は FRB の周期性を説明するモデルの一つである連星コムモデル (Ioka & Zhang (2020)) を拡張し、FRB121102 は中性子星を含んだ連星として解釈できることを示した。この拡張では連星の離心率と、先行研究では考慮されていなかった周期性を実現するモードをモデルに導入した。伴星は大質量星、中間質量ブラックホール、大質量ブラックホールのいずれの可能性もありうるが、ブラックホールの方が許されるパラメータ空間が広いこと、及びブラックホールが伴星である場合、FRB 以外の観測結果 (恒常的電波放射と dispersion measure の時間変化) と無矛盾であることを示した。また別の周期的 FRB、FRB 180916.J0158+65 については周期性が周波数に依存することが報告されているが、この周波数依存を説明しうるシナリオを提案した。

[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](#)

## W56a 磁気中性子星におけるクラストの弾性力は有効か

小島 康史, 木坂 将太 (広島大), 藤澤 幸太郎 (東京大)

磁気星の静水圧平衡モデルとその安定性がこれまで活発に議論されてきた。電磁気的なローレンツ力は圧力や重力に比べて小さいので、球対称性からわずかにずれた軸対称的な構造を摂動的に求める手法や数値シミュレーションなどの研究も進んでいる。シミュレーションの結果では動的な安定性のため、トロイダル磁場が相当に強いことが要求されるが、平衡状態を求める手法ではそのような解を求めるのは難しいことが知られている。

中性子星の磁場も磁気星の平衡モデルの枠組みで研究を進めることができるだろうが、ここでは、固相であるクラスト (殻) 部分の弾性応力を考慮に入れた静水圧平衡を考察した。弾性力で支えられる最大エネルギーは (未定の物理量が関与するが)、 $10^{43}$  erg 程度と考えられ、マグネターを含む強い磁場を持つ中性子星のクラスト部分に貯蔵される磁気エネルギーは (磁場の形状に左右されるが)、弾性力エネルギーを超え、 $\sim 10^{44}$  erg 以上と見積もられる。その結果、平衡モデルを考える際、クラスト部分の弾性力を考慮する必要がないように思えるかもしれない。しかし、その議論は正しくなく、弾性力を考慮することで、多種多様な磁場の形状に対して平衡モデルが構築できる可能性をここに示す。

力学平衡において、ローレンツ力の渦なしベクトル場の部分は重力、圧力に支えられるが、残りの渦的ベクトル場の部分に弾性力が必要になるからである。その結果、強いトロイダル磁場をクラスト部分に閉じ込めることも可能である。また、いくつかの単純化の近似のもとであるが、磁場のストレスによる変形の弾性限界を付近の状態の情報も計算した。マグネターの活動性を探るために、場所を限定し、形状変化による解放エネルギーの大きさを知るといふ、研究につながることになる。

[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](#)

## W57a 磁化中性子星への超臨界降着によるアウトフロー；駆動機構とその温度について

井上壮大 (筑波大)、大須賀健 (筑波大)、高橋博之 (駒澤大)、朝比奈雄太 (筑波大)

超高光度 X 線パルサー (ULX パルサー) とは、恒星質量ブラックホールの Eddington 限界光度 ( $\sim 10^{39}$  erg/s) を超える光度を有する X 線パルサーである。中性子星の質量は太陽と同程度なので、磁化中性子星への超臨界降着流 (Eddington 限界を超えた降着流) が ULX パルサーの中心エンジンだと考えられている。近年、系内 ULX パルサーである Swift J0243.6+6124 のスペクトルのソフト成分を、低温 ( $\sim 10^7$  K) の黒体放射によってうまく説明できることが示された (Tao et al. 2019)。この低温の黒体放射は、超臨界降着によって発生する光学的に厚いアウトフローが起源であると考えられているが、まだよくわかっていない。

そこで我々は、磁化中性子星への超臨界降着流およびそこで生じるアウトフローの一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを実施した。その結果、磁気圏半径の大きさに依存して 3 種類のアウトフローが発生することがわかった (2021 年春期年会)。さらに、これらのアウトフローの駆動機構を調査したところ、中性子星の磁極付近に形成される柱状の降着流 (降着柱) から吹き出すアウトフローは、主に輻射圧によって加速されることがわかった。一方、降着円盤から吹き出すアウトフローでは、輻射圧だけでなく遠心力も効果的に加速にはたらくことがわかった。また、アウトフローの光球面の位置 ( $\sim 1000$  km) と温度 ( $\sim 10^7$  K) は、観測されている黒体放射の半径および温度と無矛盾であることも明らかになった。講演では、シミュレーション結果から予想される観測者の見込み角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](#)

## W58a かなた望遠鏡と光子計数法による Crab パルサー巨大電波パルスの可視電波同時観測

中森健之, 大内優雅, 荻原理沙, 加藤悠平 (山形大学), 寺澤敏夫 (東京大学宇宙線研究所), 秋田谷洋 (千葉工業大学), 川端弘治 (広島大学), 柴田晋平 (山形大学)

Crab パルサーで頻発することが知られている巨大電波パルス (Giant Radio Pulse; GRP) は、平均的な電波パルスに対して 1000 倍のフラックスにも至り、ns スケールの時間構造を持つ増光現象である。その起源を明らかにするために、高い時間分解能の多波長同時観測がこれまでに行われてきた。800 MHz や 1.4 GHz の GRP に同期した、3% 程度の有為な可視増光が報告されていたのに加え、近年 NICER 検出器により X 線でも 4% の増光が検出された。この発見により、従来考えられていたよりも瞬間的に大きなエネルギーの供給が必要となり、放射機構の理論モデルに対して新たな制限が与えられた。

我々は、半導体光センサ MPPC をベースにした可視天体の超高速測光システムを開発している。MPPC はガイガーモードで動作するため内部増幅機能を持ち、単光子に感度を持ちナノ秒の時間分解能を有する。100 × 100  $\mu$ m のピクセルが 4 × 4 に並んだ素子をこれまでに試作し、各ピクセルに対して 100  $\mu$ s ごとの検出光子数を記録し続けるプロトタイプシステムを構築した。本研究ではこのシステムをかなた望遠鏡のナスミス焦点に設置し、Crab パルサーの観測を行った。この観測は開発したシステムの性能評価だけでなく、GRP への感度が向上した東北大学飯館電波望遠鏡との同時観測であり、先行研究よりも高い GRP イベント数で可視との相関解析をすることを狙った。325 MHz の観測から Crab パルサーの回転パラメータと GRP の発生した時刻を得て、可視光のタイミング解析を行った。本講演では、その解析結果を報告する。

[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](#)

## W59a パルサー星雲広帯域スペクトルの系統解析

馬場彩 (東京大学), 柴田晋平 (山形大学), 森浩二 (宮崎大学), 寺田幸功 (埼玉大学), 内田裕之 (京都大学), 田中周太 (青山学院大学), 石崎渉 (京都大学)

パルサー星雲は energetic な電子陽電子加速源であり、電波から TeV ガンマ線まで広帯域でシンクロトロン放射と逆コンプトン放射で明るい放射を持つ。X 線帯域では主にシンクロトロン放射で輝いており、そのスペクトルは電子の最高エネルギーや磁場など重要な情報を持つ。近年になり、いくつかのパルサー星雲の X 線スペクトルに折れ曲がりがあることが発見された (e.g., Tsujimoto et al. 2011, Nynka et al. 2014, Hitomi collaboration et al. 2018)。しかし、現在までに提唱されているパルサー星雲のスペクトルモデルでは X 線帯域の折れ曲がり説明できず、さらなるサンプルが必要とされてきた。

我々はスピンドウンエネルギーの大きなパルサーのパルサー星雲で軟 X 線から硬 X 線まで観測が行なわれている N157B, PSR J1813–1749, PSR J1400–6325, G21.5–0.9 の 4 天体について Chandra, Suzaku, NuSTAR, Hitomi のデータを用い、広帯域 X 線スペクトル解析を行なった。その結果、全てのサンプルで single power-law より broken power-law もしくは cut-off power-law の方がよりよくスペクトルを再現する、つまりスペクトルは X 線帯域で折れ曲がりがあることを示した。break energy は 4-14 keV 程度であり、スピンドウンエネルギーや年齢などとの明確な相関は見られなかった。

[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](#)

## W60a クォーク物質を含む中性子星の冷却と超流動・超伝導状態

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)

中性子星は大質量星が重力崩壊を起こした際に作られる高密度天体であり、星全体が一つの巨大な原子核と例えられる。中性子星内部では、通常の原子核では出現しない“エキゾチック”な粒子や状態が出現すると考えられている。その内部の状態は、高密度領域の状態方程式を介し、星の質量や半径の観測から制限を課されている。その制限の範囲内において、様々な“エキゾチック”な状態が議論されている。中性子星内部の状態と密接な関係にあるニュートリノ放射は星を内部から冷却し、その効果は中性子星の表面温度の観測と突き合わせる事ができる。しかし、様々な中性子星の観測が行われている現在においても、依然として中性子星内部の物質の状態は未確定な部分が多い。

本研究では、“エキゾチック”な状態としてクォーク物質を考慮し、核子・クォークの超流動・超伝導の効果を取り入れた中性子星の冷却計算を行った。その際に、中性子の  ${}^3P_2$  超流動がクォークの  ${}^3P_2$  ペアリングに引き継がれる“クォーク・ハドロン連続性”を考慮した。さらに、表層の組成による表面温度の違いを考慮し、クォーク物質を含む核を持つ中性子星の冷却曲線の範囲を求めた。クォーク物質が出現するとクォークによる強いニュートリノ放射が効くことになるが、超流動・超伝導の効果によってそれらが適度に抑制され、表面温度の低い中性子星を説明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](#)

## W61a 強い多重極磁場を伴った中性子星表面の磁気山の構造

藤澤幸太郎 (東京大学), 木坂将大 (広島大学), 小島康史 (広島大学)

回転軸に対して非軸対称な構造で高速回転している中性子星は、連続重力波の有力な候補天体である。特に連星系内の中性子星の場合、降着物質からなる山が表面に形成されこの山が非軸対称的であるとすると、重力波を放出しスピンドアウンすると考えられている。このような中性子星の山のモデルとして様々なメカニズムが提案されているが、ここでは中性子星の磁場で支えられている磁気山モデルに取り組んだ。

中性子星の表面磁場は、大局的には双極子磁場であると考えられている。一方で、最近の NICER による中性子星の表面の観測の結果から、表面磁場は双極子磁場よりも高次で複雑な多重極磁場を伴っていることが示唆されている。しかし、これまでの磁気山の先行研究では、中性子星の表面磁場は双極子磁場であると仮定して定式化や数値計算を行っており、中性子星がより高次の磁場構造を持っているような状況をそのまま計算するのは難しかった。

そこで本講演では、最近開発した磁気山の構造を計算する新しい定式化と数値計算コードを用いて、中性子星が強い多重極磁場を持つ時の磁気山の構造を計算した。その結果、双極子磁場よりも強い多重極磁場で支えられる磁気山の構造の解が求まった。この結果から、中性子星の大局的な双極子磁場が弱くても、局所的に強い多重極磁場を伴っていれば多重極磁場が磁気山を支えることが分かった。

[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](#)

## W62a Relativistic radiation mediated shocks in photon starved regime

伊藤裕貴 (理化学研究所), Amir Levinson (テルアビブ大学), 長瀧重博 (理化学研究所)

Radiation-mediated shocks (RMS) play an important role in shaping the early emission in many astrophysical transients. In most cases, e.g. shock breakout in supernovae, GRBs, and neutron star mergers, the upstream plasma is devoid of radiation (photon starved), and the photons that ultimately reach the observer are generated predominantly within the shock. Therefore, in order to explore the emissions from these phenomena, one needs to evaluate the structure of RMSs in the photon starved regime.

While the physics of RMSs is well established in non-relativistic regime, the nature of relativistic RMSs (RRMSs) is still poorly understood. To tackle this issue, we have developed a novel numerical method for solving self-consistent steady-state solutions of RRMSs. In this talk, we present the results of simulations of photon-starved RMS, which yield the shock structure and emission for a broad range of shock velocities, from subrelativistic ( $\beta_{sh} = 0.1$ ) to highly relativistic ( $\Gamma_{sh} = 20$ ). Our simulations confirm that in relativistic RMS the immediate downstream temperature is regulated by exponential pair creation, ranging from 50 keV at  $\beta_{sh} = 0.5$  to 200 keV at  $\Gamma_{sh} = 20$ . At lower velocities, the temperature becomes sensitive to the shock velocity, with  $kT \sim 0.5$  keV at  $\beta_{sh} = 0.1$ . We also confirm that in relativistic shocks the opacity is completely dominated by newly created pairs, which has important implications for the breakout physics. We find the transition to pair dominance to occur at  $\beta_{sh} = 0.5$  roughly. In all cases examined, the spectrum below the  $\nu F_\nu$  peak has been found to be substantially softer than the Planck distribution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W63a GW170817 の年スケール X 線光度曲線の Fallback 降着モデル

石崎 渉, 井岡 邦仁 (京都大学), 木内 建太 (マックス・プランク重力物理学研究所)

近年、連星中性子星合体イベント GW170817 の年スケール X 線光度曲線に、GRB 残光からの超過成分が報告された。これは、kilonova afterglow と呼ばれる、連星合体に伴うイジェクタが星周物質と相互作用して輝く成分であるという解釈がされてきたが、理論的に期待される電波放射の増光が観測されていない。我々は、この増光の新しい解釈として、連星合体のイジェクタの一部が fallback して降着円盤を形成し輝くというシナリオを提示する。合体直後からしばらくの質量降着率は、Eddington 降着率に対して非常に大きく、X 線光度は放射フィードバックによっておおよそ Eddington 光度程度に抑制されると考えられる。これは現在の X 線フラックスの値をよく再現する。また、時間の経過とともに質量降着率は下がっていくが、これが Eddington 降着率と同程度以下になると X 線光度は減光し始める。我々は、この減光の開始時間が、連星合体イジェクタの数秒から数十秒のダイナミクスを反映していることを見出した。さらに今後 10 年の継続的な観測によって、10 秒から  $10^4$  秒にわたるイジェクタ放出機構の情報を得られることが示唆される。

[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](#)

## W64a 相対論的無衝突衝撃波での乱流ダイナモによる磁場増幅

富田沙羅 (東北大学 学際研), 大平豊 (東京大学)

ガンマ線バーストの残光観測によると、無衝突衝撃波で星間空間の磁場が 100 倍以上増幅し、高エネルギー粒子が生成されていることが要求されているが、それらの物理機構が未解明である。これまでに調べられてきた、非一様な密度媒質中を伝播する相対論的衝撃波の磁気流体シミュレーションによると、磁場は衝撃波下流で乱流ダイナモによって増幅されることが示されている。しかし、ガンマ線バーストの残光を生成する衝撃波は無衝突衝撃波であり、非熱的粒子が生成され、粒子拡散も生じる。したがって、流体近似が適応できるかどうかは自明でなく、衝撃波下流で密度揺らぎが維持されるかどうかはわからない。乱流ダイナモ機構が働く場合に、ガンマ線バーストの残光を説明するために要求される衝撃波上流の密度揺らぎの空間スケールは、星間磁場中を伝播する熱的粒子のジャイロ半径の数 10 倍程度しかない。そこで、非一様密度分布をもつ磁化プラズマ中を伝播する相対論的無衝突衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーションを行った結果、粒子拡散が効き、磁気流体近似が適応できない条件を見つけた。また上流の背景磁場の強度が弱いほど、衝撃波下流で磁場が強く増幅された。本講演では、磁気流体シミュレーションと Particle-in-cell シミュレーションの結果を比較しながら、無衝突衝撃波での乱流ダイナモの発展における上流磁場強度の依存性について述べる。

[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](#)

## W65a The Cocoon Breakout and Emission in Binary Neutron Star Mergers

Hamid Hamidani<sup>1</sup>, and Kunihiro Ioka<sup>1</sup> <sup>1</sup> Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

In binary neutron star mergers, short gamma-ray bursts' jets are launched and propagate across the dynamical ejecta. Using 2D numerical simulations, we study the jet cocoon; the byproduct of the jet propagation across the dynamical ejecta. We follow the cocoon at later times after the jet breakout. Our results show that, the fraction of the cocoon that breaks out of the ejecta (in terms of mass and energy) is not substantial, with most of the cocoon being trapped inside the dynamical ejecta even at later times. This is in contrast with the cocoon of collapsar jets. In addition, we present an analytical model for the cocoon breakout. Our model is reasonably consistent with numerical simulations at predicting the properties of the cocoon after the breakout. Finally, we apply our analytic model to estimate the cocoon's cooling emission, as an electromagnetic counterpart to gravitational waves from neutron star mergers, as well as other observational features.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W66a ガンマ線バースト残光で探る trans-relativistic 衝撃波における粒子加速

高橋和也(京都大学), 井岡邦仁(京都大学), 大平豊(東京大学), Hendrik van Eerten(Bath 大学)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的ジェットの影響波で加速された非熱的電子によるシンクロトロン放射によるものとして理解され、そのスペクトルは加速電子のエネルギースペクトル指数に依存する。一般に、衝撃波統計加速における電子のエネルギースペクトル指数は衝撃波のローレンツ因子に依存する。衝撃波のローレンツ因子は時間とともに減少していくため、長期間に渡って GRB 残光の広帯域観測をすることで、加速電子のエネルギースペクトル指数の時間発展を観測的に検証できる可能性がある。本研究では off-axis GRB 残光のスペクトルの時間発展を、GRB 170817A (連星中性子星合体からの重力波 GW170817 に付随した short GRB) と整合的なジェットモデルおよび相対論的効果を考慮した粒子加速モデルを用いて計算した。その結果をもとに、将来の連星中性子星合体イベントにおける、加速電子のエネルギースペクトル指数の時間発展の観測可能性を議論する。

[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](#)

## W67a Highlights of Galactic observations with the MAGIC telescopes

Daniela Hadasch, Katsuaki Asano, Satoshi Fukami, Tomohiro Inada, Yukiho Kobayashi, Daniel Mazin, Koji Noda, Yoshiki Ohtani, Takayuki Saito, Shunsuke Sakurai, Marcel Strzys, Mitsunari Takahashi, Ryuji Takeishi, Masahiro Teshima, Ievgen Vovk (ICRR, U. Tokyo), Hidetoshi Kubo, Seiya Nozaki, Tomohiko Oka (Kyoto U.), Junko Kushida, Kyoshi Nishijima (Tokai U.), Yusuke Suda (Hiroshima U., the MAGIC collaboration)

There are several types of Galactic sources that can potentially accelerate charged particles up to GeV and TeV energies. These accelerated particles can produce Very High Energy ( $E > 100$  GeV) gamma-ray emission through different non-thermal processes such as inverse Compton scattering of ambient photon fields by accelerated electrons or pion decay after proton-proton collisions. Here we present highlight results of observations with the MAGIC telescopes on Galactic sources: pulsars, supernova remnants (SNRs), pulsar wind nebulae (PWNe) and gamma-ray binaries. In particular, we present the promising PeVatron candidate SNR G106.3+2.7 containing an energetic PWN named Boomerang. Also, in the ongoing search for the origin of the most energetic galactic cosmic rays, we present our studies of the Crab Nebula's spectral energy distribution and flux variability using data taken at very large zenith angles. For the gamma-ray binaries, we came closer to revealing the mystery of the nature of these objects by analyzing data from multi-year observation campaigns of several objects of this class. Finally, we present our latest pulsar detection: Geminga (PSRJ0633+17) is an old nearby pulsar and the prototype of the gamma-ray loud and radio-quiet pulsars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W68a MAGIC 望遠鏡による GRB 201015A と GRB 201216C の観測

寺内健太, 窪秀利, 野崎誠也, 岡知彦 (京大理), 浅野勝晃, 深見哲志, Daniela Hadasch, 稲田知大, 小林志風, Daniel Mazin, 野田浩司, 大谷恵生, 斎藤隆之, 櫻井駿介, Marcel Strzys, 高橋光成, 武石隆治, 手嶋政廣, Ievgen Vovk (東大宇宙線研), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大理), 須田祐介 (廣大先理工), The MAGIC Collaboration

ガンマ線バースト (gamma-ray burst, GRB) の物理を探求する新たな手段として、解像型大気チェレンコフ望遠鏡による VHE (数十 GeV 以上) ガンマ線観測は有用な手法である。現行チェレンコフ望遠鏡の一つである MAGIC 望遠鏡が 2019 年に GRB 190114C からの VHE ガンマ線放射を初検出した事実は、GRB の性質を VHE 帯で探ることの可能性を大いに示した。しかしこれまでチェレンコフ望遠鏡で有意に検出されたのは 3 例のみであり、GRB の普遍的性質を明らかにするためにはさらなる検出数が必要とされる。GRB 201015A と GRB 201216C はどちらも良好な気象条件のもと MAGIC 望遠鏡で前者はバースト発生から約 27 秒後より観測して放射の兆候を検出、後者は約 56 秒後より観測して放射の検出に成功した。また GRB 201015A は等方換算したときの総放出エネルギーが  $E_{\text{iso}} \sim 10^{50}$  erg と比較的 low、GRB 201216C は赤方偏移  $z = 1.1$  とチェレンコフ望遠鏡で検出された VHE ガンマ線源のうち最遠といった特徴を持っている。本講演では、これら 2 つの GRB の観測と解析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](#)

## W69a MAXI/GSC が検出した 2021 年度前半の突発現象 – X 線新星 MAXI J0903–531 と MAXI J1803–298 の発見

根来均, 中島基樹, 小林浩平 (日大), 三原建弘 (理研), 山岡和貴 (名大), 北古賀智紀, 岩切渉 (中央大), 芹野素子 (青学), 志達めぐみ (愛媛大), 菅原泰晴 (JAXA), 山田智史 (京大), 松岡勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC により、2021 年度前半に発見検出した突発現象について報告する。4 月 14 日に MAXI/GSC 突発天体発見システムにより、X 線新星 MAXI J0903–531 が発見された (Yamaoka+ ATel 14555)。その後 Swift/XRT により詳細な位置が得られ (ATel 14557)、NICER により約 14 秒の周期が検出された (ATel 14559)。また、可視等の観測から伴星が Be 星であることもわかった。5 月 1 日には、X 線新星 MAXI J1803–298 が発見された (Serino+ ATel 14587)。ソフト状態に遷移したその特徴からブラックホールの可能性が高く (Shidatsu+ ATel 14627)、引き続き電波から硬 X 線領域にわたり多くの追観測が行われている。

また、Be パルサー XTE 1829–098、低質量連星系 SAX J1810.8–2609 と 4U 1705–32 の新たなアウトバーストを検出し、ATel に報告した (それぞれ、ATel 14554, 14649, 14663)。4 月 18 日と 6 月 7 日には、1 スキャン観測のみで受かる短時間増光を検出した。前者は RS CVn 型連星 EI Eri からのフレアである可能性が高く、その場合 MAXI では初検出となる (ATel 14561)。後者は バルジ領域 ( $l, b$ )  $\sim$  (4.2 deg, 5.8 deg) に位置することからも GRB ではなく新天体の可能性もあり、MAXI J1733-222 と命名した (ATel 14683/GCN 30150)。

本期間中、4 つの GRB、210320A (GCN 29676)、210521A (GCN 30067)、2100528B (GCN 30094)、210602A (GCN 30113) も検出した。講演では、新天体の発見とその特徴を中心に報告する。

[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](#)

## W70a MAXI が観測した GRB の系統的解析

平松裕貴, 吉田篤正, 杉田聡司, 芹野素子 (青山学院大学), 他 MAXI チーム

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) は現在まで 136 個の GRB を観測している。MAXI に搭載されているガスリットカメラ (GSC) は GRB を観測する装置の中では、約 10 keV 以下のエネルギー帯域の X 線 (軟 X 線領域) に感度をもつため、他衛星とは異なる帯域の GRB スペクトルを得ることができる。Serino et al., 2014 では、MAXI が観測した GRB は他衛星で観測された GRB より光度が暗く、スペクトルがソフトなものが多いと報告されている。これらの GRB が従来のものと同様の性質なのか、スペクトルフィッティングによってパラメータの比較を試みる。本研究では MAXI で観測された 136 個の GRB のうち 70 個の GRB のデータをスペクトル解析した。スペクトルモデルには、GSC の観測エネルギー帯域と統計を考慮して、星間吸収モデルとベキ型関数モデルをかけ合わせたものを使用した。その結果、flux の分布のピークは  $10^{-8}$  erg/cm<sup>2</sup>/s となり、他衛星の観測より小さい値となった。ベキは  $-1.5$  から  $-2.0$  程度にピークを持ち、10 keV 付近に  $E_{\text{peak}}$  を持つソフトな GRB (XRF) が観測されている可能性を示唆している。一方で flux とベキの相関を見てみると、暗くてベキが  $-0.5$  程度のハードな GRB やそれより明るいベキが  $-3.0$  程度とソフトな GRB などが存在することがわかった。GRB 即時放射の光度と  $E_{\text{peak}}$  に相関があることが知られており、Nava et al., 2012 での相関を仮定して、GSC で観測される flux とベキの関係をシミュレーションすると、高赤方偏移の明るい GRB が GSC で観測した場合は暗くてハードなスペクトルとなることが推定された。本発表では、flux とベキ、 $E_{\text{peak}}$  と距離の相関関係を中心に、MAXI が観測した GRB のスペクトル解析からわかったことを報告する。

[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](#)

## W71a OHMAN (MAXI-NICER ISS 上連携) の準備状況

三原建弘 (理研)、根来均 (日大)、岩切渉 (中央大)、海老沢研 (JAXA/ISAS) ほか MAXI チーム

ISS 搭載の全天 X 線監視装置 MAXI は観測開始から約 12 年を迎え、現在も順調に全天モニタを続けている (観測データは <http://maxi.riken.jp> から公開)。その間、MAXI J0158-744 (世界初の軟 X 線新星爆発) や中性子星 X 線連星からのスーパーバーストや恒星のフレアのように、X 線帯でのみ光る突発天体を見つけてきた。しかし、MAXI の 1 スキャンでのみ光り、数時間後の Swift/XRT の追観測では、すでに消滅しているような急速減光天体 (MUSST 天体) も発見されてきた。我々は、それらの正体を解明すべく、「X 線帯で発見、X 線帯で即時追観測」を合言葉に、同じく ISS に搭載されている NICER 望遠鏡と協力し、OHMAN プロジェクト (On-orbit Hook-up of MAXI and NICER) を立ち上げた。ISS きぼうモジュールの中に新星発見 PC を置き、MAXI のデータから新星を発見し、即座に NICER に伝え、発見 2-10 分後から観測する。軌道上の装置では地食や放射線帯などの観測制約があるが、ISS に載っている両者ではその制約はない。また ISS と地上とは通信が途切れる時間帯が約 1/3 程度あるが、軌道上で処理すれば欠測はない。OHMAN の日本側は 2017 年度に ISAS 小規模計画で準備を行った。2020 年には NICER 側の予算も認められ、準備が進んでいる。NICER では MAXI 誤差円内を自動マルチポインティングする機能を装備した。現在、新星ソフトの第 1 版は US 側に送付済みで、6 月に、ジョンソン宇宙センターで、ダミー MAXI からダミー NICER までの通信経路の地上試験が行われる。ISS のプログラムは半年単位であり、OHMAN は、2021 年 4 月からの半年間で地上試験を完了、10 月から軌道上への装備、2022 年 4 月から観測を開始する予定である。MAXI、NICER という 2 つの装置ではあるが、JAXA と NASA の日米協力として、また ISS を科学の意味において真の「国際」宇宙ステーションとすべく、準備が進められている。

[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](#)

X01a  $z = 7$  クエーサーにおける大規模アウトフローと始原的共進化関係

泉拓磨, 今西昌俊, 馬場俊介, 中西康一郎 (国立天文台), 松岡良樹, 長尾透 (愛媛大), 藤本征史 (DAWN), 尾上匡房 (MPIA), Michael A. Strauss (Princeton), 梅畑豪紀 (理研), 河野孝太郎, John D. Silverman, 柏川伸成 (東京大), 川口俊弘 (尾道市立大), +SHELLQs コラボレーション

赤方偏移  $z = 7.07$  の低光度クエーサー HSC J124353.93+010038.5 (J1243+0100;  $M_{1450} = -24.1$  mag) に対する [CII] 輝線と静止系遠赤外線連続波放射の、ALMA Cycle 7 観測結果 ( $\sim 3$  kpc 分解能) を報告する。このクエーサーは、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた広域サーベイで発見された天体であり、既知の SDSS 級クエーサーに比べて 1 桁程度暗く、当時の宇宙の (光度関数の観点で) 代表的なクエーサー種族だと考えられる。遠赤外線連続波光度の推定値は  $3.5 \times 10^{12} L_{\odot}$  と非常に明るく、そのうち 40% を空間的に広がった成分 (星形成率に換算すると  $307 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) が担う。興味深いことに、[CII] 輝線プロファイルは明確に core 成分 (FWHM =  $235 \text{ km s}^{-1}$ ) と幅の広い wing 成分 (FWHM =  $997 \text{ km s}^{-1}$ ) に分離された。空間分布等の考察からこの wing 成分はアウトフローを反映しており、エネルギー学的特性からその駆動源はクエーサー核自身だと結論された。アウトフロー率 (原子ガス成分だけでも  $> 447 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) は星形成率を凌駕しており、本結果は観測史上最遠方宇宙でのクエーサーから母銀河 (星形成活動) への negative feedback の検出例だと言える。また、母銀河のガス運動のモデル解析からは、「バルジ」のようなコンパクトで大質量の構造の存在が示唆された。別途近赤外線観測から求めたブラックホール質量 ( $\sim 3.3 \times 10^8 M_{\odot}$ ) と、このバルジ質量 ( $\sim 3.3 \times 10^{10} M_{\odot}$ ) の比は  $\sim 1\%$  で、誤差の範囲で近傍宇宙のブラックホール質量-バルジ質量関係と整合する。以上の結果は総じて、 $z > 7$  の初期宇宙で既に急激に銀河とブラックホールの「共進化」が進行してい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](#)

X02a ALMA を用いた赤方偏移 6 にあるクエーサーの [OI]  $63 \mu\text{m}$  輝線観測と星間媒質の性質の解明

石井希実, 橋本拓也, 久野成夫, 保田敦司, 河原沙帆, 浦遼太, Dragan Salak (筑波大), 道山知成 (大阪大), 井上昭雄 (早稲田大), 田村陽一 (名古屋大), 松尾宏, 馬渡健 (国立天文台)

なぜ宇宙初期に超巨大ブラックホールが存在するかは、現代天文学において重要な未解決問題の一つである。超巨大ブラックホールとその母銀河は共進化していることが分かっているため、遠方のクエーサーを詳しく観測することが重要である。ALMA によって、遠方クエーサーの遠赤外線微細構造輝線 (中性ガス領域から放射される [CII]  $158 \mu\text{m}$  や、電離領域から放射される [OIII]  $88 \mu\text{m}$  など) の研究が盛んに行われている。より多くの輝線を調べることで、母銀河の星間媒質の性質を理解できるが、そのような研究例は限られていた。特に [OI]  $63 \mu\text{m}$  輝線は、[CII] に比べて暖かく ( $T > 229 \text{ K}$ ) 比較的に高密度 ( $n < 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) な中性ガスから放射され、[CII] などと組み合わせることで中性ガスの詳細な情報 (紫外輻射場とガス密度) を理解できるため重要である。そこで本研究では、 $z \sim 6$  にあるクエーサー J2054-0005 の [OI]  $63 \mu\text{m}$  輝線の有無を初めて調べ、先行研究で得られた他の輝線 ([CII], [OIII], CO) の情報とも組み合わせることで、母銀河の星間媒質の性質を明らかにすることを目的とする。J2054-0005 の [OI]  $63 \mu\text{m}$  輝線は未検出であり、 $3\sigma$  上限値 ( $3.42 \times 10^9 L_{\odot}$ ) を得た。他の輝線光度および遠赤外線光度との比は、 $L_{[\text{OI}]63\mu\text{m}}/L_{[\text{CII}]158\mu\text{m}} < 1$ 、 $L_{[\text{OI}]63\mu\text{m}}/L_{\text{FIR}} < 4 \times 10^{-4}$ 、 $L_{[\text{OIII}]88\mu\text{m}}/L_{[\text{OI}]63\mu\text{m}} > 2$  ( $3\sigma$ ) であった。光度比を  $z = 0 - 4$  の銀河や  $z = 6$  のサブミリ波銀河と比較したところ、特に  $L_{[\text{OI}]63\mu\text{m}}/L_{\text{FIR}}$  は、遠方 ( $z > 1$ ) 天体の中で個別天体としては最も低く、興味深い結果となった。本講演では、Photodissociation region (PDR) モデルリングの結果も紹介しつつ、本天体の特徴を議論する。

[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](#)

X03a 宇宙再電離期 ( $z \sim 7$ ) におけるダストに隠された optically-dark 銀河の初検出

札本佳伸 (早稲田大学), P. A. Oesch (University of Geneva), S. Schouws (Leiden University), M. Stefanon (Leiden University), R. Smit (Liverpool John Moores University), R. J. Bouwens (Leiden University), and REBELS collaboration

これまで、すばる望遠鏡やハubble宇宙望遠鏡などを用いた静止系 UV 光の観測により宇宙の再電離期 ( $z \sim 7$ ) における星形成銀河の探査が数多く行われ、銀河形成初期における銀河進化の様子が明らかになってきた (e.g., Madau&Dickinson 2014, Bouwens+15, Oesch+18)。しかしながら、UV 光は星間空間のダストによって強く散乱・吸収されてしまうという性質から、ダストに深く隠され、静止系 UV 光で暗い銀河 (optically-dark 銀河) がこれまでの初期宇宙の探査においてどの程度見過ごされているのか、宇宙再電離期の銀河進化にどの程度寄与するのかについては未だ明らかになっていない (e.g., Casey+18)。今回の発表では、近年行なわれた ALMA 望遠鏡による大規模サーベイ「REBELS」から、我々が発見したダストに隠された 2 つの星形成銀河についての紹介と議論を行う。これらの新たに発見された 2 つの銀河はどちらも非常に深い静止系 UV 光の画像からは全く検出されず、今回の ALMA による観測で得られたダスト連続光と [CII] 158  $\mu\text{m}$  輝線によって偶然、サーベイのターゲット銀河に対するコンパニオン銀河として発見された。不定性は大きいものの、我々の発見から、これらのダストに隠され未だ存在が明らかになっていない銀河が、今知られている  $z \sim 7$  の星形成率密度に対して新たに 10 – 20 % 程度寄与することを示唆しており、現在我々のもつ宇宙再電離期における銀河の星形成に対する理解が未だ不完全であることを示している。これらダストに隠された銀河の更なる探査には ALMA 望遠鏡や James Webb 宇宙望遠鏡、現在計画が進んでいる GREX-PLUS を用いた広視野撮像が不可欠である。

[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](#)

## X04a ALMA Lensing Cluster Survey: A Sub-kpc View of [CII] Emission from a Sub-L\* Galaxy in the Epoch of Reionization

S. Fujimoto (DAWN), M. Oguri (U. Tokyo), G. Brammer (DAWN), Y. Yoshimura (U. Tokyo), N. Laporte (U. Cambridge), K. Kohno (U. Tokyo), and ALCS collaboration

We present bright [C II] 158  $\mu\text{m}$  line detections from a strongly magnified and multiply-imaged ( $\mu \sim 20\text{--}160$ ) sub-L\* ( $M_{\text{UV}} = -19.75$ ) Lyman-break galaxy (LBG) at  $z = 6.0719 \pm 0.0004$  from the ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS). Owing to the uniquely deep and wide survey volume being explored by ALCS, we successfully detect emission lines at 268.7 GHz at  $\geq 8\sigma$  exactly at positions of two multiple images of the LBG behind a massive galaxy cluster. Our lens models indicate that a sub region of the LBG crosses the caustic and is lensed into a long ( $\sim 6''$ ) arc with a local magnification of  $\mu \sim 160$ , for which the [C II] line is also significantly detected. The source-plane reconstruction resolves the interstellar medium (ISM) structure, showing that the [C II] line is co-spatial with the rest-frame UV continuum at the scale of  $\sim 300$  pc. The [C II] line properties suggest that the LBG is a rotation-dominated system whose velocity gradient explains a slight difference of redshifts between the whole LBG and its sub region. The star formation rate (SFR)- $L_{\text{[CII]}}$  relations from the sub to the whole regions of the LBG are consistent with those of local galaxies. We evaluate the lower limit of the faint-end of the [C II] luminosity function at  $z = 6$ , and find that it is consistent with predictions from semi-analytical models and from a SFR function at  $z=6$  converted with the local SFR- $L_{\text{[CII]}}$  relation. We will also present our JWST program for this unique lensed system, which has been approved in cycle 1.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X05a Low star-formation activity and low gas content in quiescent galaxies at $z > 3.5$ constrained with ALMA

Tomoko Suzuki (University of Groningen), Karl Glazebrook (Swinburne University of Technology), Tadayuki Kodama (Tohoku University), and the ZFOURGE team

Recent deep near-infrared observations found massive quiescent galaxies at  $z > 3$ . However, it is not fully understood yet what physical processes are involved in the quenching of these massive galaxies. Gas properties, such as gas mass fraction and gas depletion timescale, are one of the important quantities to give a constraint on the quenching mechanisms of galaxies. In this study, with ALMA, we investigate the dust-obscured star-formation activity and gas content of four quiescent galaxies at  $z > 3.5$  selected from the ZFOURGE galaxy catalog. Among the four quiescent galaxies, one source is detected with the continuum emission at  $\lambda_{\text{obs}} \sim 870\mu\text{m}$ . We then estimated their star formation rates (upper limits) with the obtained dust continuum fluxes (upper limits). We find that all the galaxies including the continuum-detected source are located more than four times below the  $M_{\text{star}}\text{-SFR}$  relation of star-forming galaxies at similar redshifts. We confirm the passivity of our quiescent galaxies. Three out of the four galaxies were also observed with Band-3 to detect [C $\text{I}$ ] line, and none of them is detected. The obtained upper limits on the gas mass fraction are  $< 20\%$ , which is more than three times smaller than the gas mass fraction of star-forming galaxies at similar redshifts. Our results suggest that massive galaxies at  $z > 3.5$  stop their star-formation by consuming or expelling their gas reservoir.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X06a Finding gravitational lenses among half a million Herschel sources

Tom Bakx (Nagoya University), Y. Tamura (Nagoya University), S. Eales (Cardiff University)

Observations of large samples of Herschel-selected lensed SMGs can provide a unique probe of the intervening Universe and its cosmology. However, increasing the sample of the gravitational lenses still remains a challenge as our current selection methods are only based on relatively-crude flux cuts. Here, we show that optical and near-infrared imaging are an essential tool for identifying the gravitational lenses within the Herschel samples by finding the foreground lensing galaxies. We improve our method to near 100% accuracy, contrary previous work ( $\sim 40\%$ ). Based on near-IR VIKING data, we will present the first measure of the lensing probability as a function of selection flux. We will then outline our ongoing work with ALMA in combination with multi-wavelength imaging to target confirmed lensed sources, and conversely, to target unlensed sources - the most intensely starforming systems in the known Universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X07a 「あかり」北黄極ワイドサーベイ領域における Dust Obscured Galaxies の特徴

榎木谷海、松原英雄、Ting-Chi Huang (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所)、鳥羽儀樹 (京都大学)、後藤友嗣 (国立清華大学)、Chris Pearson (RAL Space)、Stephen Serjeant (Open Univ.)

赤外線天文衛星「あかり」により、北黄極ワイドサーベイ領域 ( $\sim 5 \text{ deg}^2$ ) において発見された Dust-Obscured Galaxies (DOGs) は星形成が極めて活発な時期である 70 ~ 100 億年前の宇宙に存在したとされ、今日の星形成銀河と性質が異なるため、DOGs の特徴を掴むことは宇宙の星形形成史を調べる上で非常に重要である。我々は「あかり」によって検出された 91,861 個の天体から「 $r - L18W > 7.5$  (AB mag)」、( $r$ , L18W: すばる望遠鏡 HSC の  $r$  バンド、および「あかり」IRC の L18W バンドでの等級) で選んだ DOGs の内、photo- $z$   $0.5 < z < 3.0$  の 520 個について、可視光線 (すばる望遠鏡 HSC) ~ 遠赤外線 (Herschel) の観測データを用いて CIGALE によるスペクトルエネルギー分布 (SED) フィッティングを行った。

まず、520 個の DOGs を SED の形状から 261 個の Power law-DOGs (PL) と波長  $1.6 \mu\text{m}$  にバンプがある 259 個の Bump-DOGs (BP) に分類した。これは、「あかり」の連続した中間赤外線バンドの存在により初めて可能になったことである。次に、SED フィッティングより得られた物理量についての結果を示す。赤外線光度について、PL と BP の間に有意な差はないが、両者の赤方偏移の分布は PL が  $z = 2.05 \pm 0.03$ 、BP が  $z = 1.76 \pm 0.02$  であるという結果が得られた。また、PL と BP の sSFR (星形成率と星質量の比) を比較すると有意な差は見られず、AGN を含む銀河と含まない星形成銀河の間に星質量あたりの星形成率の違いがないことを示唆する結果が得られた。さらに、AGN fraction 等の物理量について、PL と BP の違いや sSFR の変化を明らかにし、DOGs の進化シナリオについて考察する。

[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](#)

X08a An ACA Survey of [CI]  $^3P_1-^3P_0$ , CO  $J=4-3$ , and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs

道山知成 (大阪大学)、齊藤俊貴 (日本大学)、但木謙一、植田準子、伊王野大介、中西康一郎、山下拓時 (NAOJ)

Atacama Compact Array (ACA) を用いた 36 天体の近傍超高光度赤外線銀河 (U/LIRGs) の [CI]  $^3P_1-^3P_0$ ,  $^{12}\text{CO } J=4-3$ ,  $630 \mu\text{m}$  ダスト連続光のサーベイ観測結果を報告する。主な結果は、以下である。(1) [CI]  $^3P_1-^3P_0$  光度は、 $^{12}\text{CO } J=4-3$  光度と  $630 \mu\text{m}$  ダスト連続光度両者との間に正の相関を示した。(2) 一方で、 $^{12}\text{CO } J=4-3$  は検出できたものの、[CI]  $^3P_1-^3P_0$  が検出できなかった銀河も存在した (NGC 6052 と NGC 7679)。これらの銀河での [CI]  $^3P_1-^3P_0 / ^{12}\text{CO } J=4-3$  比は 0.08 以下であると推定でき、他の銀河の典型的な値 (約 0.5) よりも有意に低いことがわかった。[CI]  $^3P_1-^3P_0$  が検出できなかった要因として、「 $\text{C}^0$ -poor/CO-rich な環境」または「干渉計観測によるミッシングフラックス」が考えられる。(3) 観測した近傍 U/LIRGs 天体を銀河衝突や活動銀河核の有無をもとにサブサンプルに分類し、[CI]  $^3P_1-^3P_0 / ^{12}\text{CO } J=4-3$  比の起源を調査したが、これらのサブサンプルの間に統計的に有意な [CI]  $^3P_1-^3P_0 / ^{12}\text{CO } J=4-3$  比の違いは確認できなかった。(4) 観測した近傍 U/LIRGs を、high- $z$  銀河 ( $z \sim 1$  の星形成銀河と  $z = 2-4$  サブミリ銀河) を比較した。近傍 U/LIRGs での典型的な [CI]  $^3P_1-^3P_0 / ^{12}\text{CO } J=4-3$  比は  $z = 2-4$  サブミリ銀河と同様の値を示し、 $z \sim 1$  の典型的な比の値よりも有意に低いことがわかった。単純な光乖離モデルを仮定すると、低い [CI]  $^3P_1-^3P_0 / ^{12}\text{CO } J=4-3$  比は光乖離領域のガス密度が高いことを示唆する。

[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](#)

## X09b ALMA lensing cluster survey (ALCS): Overview and initial results

Kotaro Kohno (U. Tokyo); Seiji Fujimoto (DAWN); Karina Caputi (Kapteyn); Masami Ouchi (U. Tokyo, NAOJ); Franz Bauer (PUC); Marc Postman, Dan Coe (STScI); Jean-Paul Kneib (EPFL); Johan Richard (Observatoire de Lyon); Eiichi Egami (U. Arizona); Keiichi Umetsu (ASIAA) and ALCS collaboration

Recent ALMA observations have unveiled the presence of faint (i.e., sub-mJy at  $\lambda \sim 1$  mm, significantly fainter than the classical bright submillimeter galaxies), dusty star-forming galaxies, which are often invisible in the deepest near-infrared images taken with the *HST* and 8-m-class telescopes. They seem to represent the bulk population of massive galaxies at  $z > 3 - 4$  and beyond, which have been completely missed by the LBG selection using *HST*/WFC3. Due to its faintness, however, detailed physical characterization of the faint dusty star-forming population remains a challenge. Here we present an overview of the ALMA lensing cluster survey (ALCS), one of the cycle-6 large programs of ALMA. It aims at obtaining high-resolution ( $\sim$ arcsec) 1.2-mm images of high-magnification regions of 33 lensing clusters with a depth of  $60 \mu\text{Jy}$  ( $1\sigma$ ). The sample is taken from the best-studied massive clusters including CLASH, HFF, and RELICS. We have detected 137 continuum sources above  $5\sigma$ , and we find a significant number of near-infrared-dark, magnified (but intrinsically faint) dusty star-forming galaxies. Initial outcomes, including the discovery of a galaxy group at  $z = 4.32$  lensed by the massive galaxy cluster ACT-CL J0102-4915 (aka *El Gordo*) at  $z = 0.87$ , associated with a near-infrared-drop ALCS source (Caputi, Caminha, Fujimoto, Kohno et al. 2021, ApJ, 908, 146), will be reported.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X10b JWST 撮像観測シミュレーションによる LIRGs 観測における点源の抽出限界

星岡 駿志 (広島大学), 稲見 華恵 (広島大学), Jason Surace (California Institute of Technology), GOALS JWST/ERS Team

銀河同士の合体等の非恒常的なプロセスはスターバーストや活動銀河核 (Active Galactic Nucleus, AGN) を引き起こすと考えられている。したがって、銀河合体が起こっている環境について詳細に調査することで、スターバーストと AGN の起源やそれが銀河進化に与える影響を究明することができる。このような環境を有する高光度赤外線銀河 (Luminous Infrared Galaxies, LIRGs) は、銀河相互作用の影響を調査する理想のターゲットである。LIRGs は赤外線光度が  $L_{IR} > 10^{11} L_{\odot}$  の銀河で大量の塵が存在するため、吸収を受けない赤外線領域での観測が欠かせない。そのため、次世代赤外線宇宙望遠鏡、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (James Webb Space Telescope, JWST) の高感度・高空間分解能により、塵による吸収の影響を受けずに近傍 LIRGs を空間分解した観測から、スターバーストと AGN の形成と進化の理解が進むことが期待されている。

本研究では、JWST で観測が予定されている近傍 LIRGs を対象に観測装置 MIRI の撮像観測シミュレーションを行い、期待される観測結果とその限界を評価した。特に、LIRGs に多く見られる super star clusters (SSC) や星形成ディスクと AGN に着目し、それぞれをどれぐらいの精度で空間分解し抽出できるかを調べた。具体的には、点源で検出される SSC や AGN に対して、SSC を近接させた際に JWST で空間分解できる距離の限界や波長による影響と、広がった放射の中にある AGN や SSC を抽出しフラックスを求めた際の精度の評価を行った。今回の結果は JWST で実際に観測される LIRGs を解析し、それぞれの成分を定量的に評価する際に重要な情報となる。

[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](#)

## X11b 原始銀河団領域 SSA22 における JVLA 5cm 電波連続光観測 : I. ソースカタログの作成

松田慧一 (名古屋大学), 梅畑豪紀 (理化学研究所), 田村陽一, 谷口暁星, T. Bakx (名古屋大学), 河野孝太郎 (東京大学), 中西康一郎, 但木謙一 (国立天文台), W. Rujopakarn (MCU), R. Ivison (ESO), Y. Ao (PMO), M. S. Yun (UMass)

本講演では、Jansky Very Large Array (JVLA) の C-band (中心波長 5 cm) で観測された、 $z = 3.1$  に位置する原始銀河団を含む SSA22 領域の電波連続光の解析結果を報告する。宇宙全体の星形成最盛期、かつ銀河進化が促進される高密度環境 (原始銀河団) において、爆発的星形成銀河や活動銀河核 (AGN) の密度超過を定量的に理解することは、銀河進化を探る上で極めて重要である。そこで、星形成活動や AGN をトレースする電波連続光に注目し、X 線天文衛星 *Chandra* やサブミリ波干渉計 ALMA と組み合わせることで、SSA22 原始銀河団における銀河活動性の超過を定量的に理解することを目指す。これまでに、SSA22 領域で JVLA S-band, L-band (中心波長 13 cm, 20 cm) による電波連続光の観測が行われてきた。本研究では、これらの観測より高分解能を実現できる C-band による観測とその解析を行った。解析の結果、beam size が  $0.89'' \times 0.79''$ 、r.m.s. ( $1\sigma$ ) =  $0.30 - 0.34 \mu\text{Jy}/\text{beam}$ 、ダイナミックレンジが  $5.6 \times 10^2$  のマップを得た。この r.m.s. は、SSA22 の S-band による結果より約 9 倍良い値である。また、Hubble Ultra-Deep Field の C-band による高感度な観測結果と同等の値のため、このマップは C-band データの中で最も深いものの一つと言える。このマップに対し、JVLA 視野 ( $59 \text{ arcmin}^2$ ) にわたって公開コード (Aegean) を用いた天体検出を行い、偽検出率と completeness を計算した。その結果、偽検出率が 0% となる信号対雑音比  $\geq 5.5$  で 222 個の天体 ( $S_{5\text{cm}} \geq 1.9 \mu\text{Jy}$ ) を検出した。

[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](#)

## X12b 銀河ハローでのダスト進化と小さなダストの起源

平下博之 (ASIAA, 台湾), 藍鼎文 (UCSC, USA)

ダストは銀河のみならず、銀河ハローにも存在する。銀河ハロー (銀河周縁物質 CGM) 中のダストは、銀河から銀河風などによって供給されたと考えられる。我々の銀河シミュレーション (Hou et al. 2018; Aoyama et al. 2019) や輻射圧モデル (Hirashita & Inoue 2019) によれば、CGM へ供給されるダストは、主として大きな ( $\gtrsim 0.1 \mu\text{m}$ ) ダストである。しかしながら、CGM をトレースする Mg II absorbers の背景クエーサーの赤化の観測結果によると、小さなダスト ( $\lesssim 0.03 \mu\text{m}$ ) が多く存在しなければならない (Ménard & Fukugita 2012; Lin & Hirashita 2020)。

本研究では、CGM での小さなダストの起源を明らかにするべく、大きなダストから小さなダストを銀河ハロー中で生成する機構としてダスト破碎 (shattering)、則ち、ダスト同士の衝突により小さなダスト破片を生成する過程を考えた。CGM の平均密度は低すぎてダスト同士の衝突が十分頻繁には起きないので、Mg II absorbers からその存在が示されている CGM 中の 30 pc 程度の大きさを持つ低温 ( $\sim 10^4 \text{ K}$ )、高密度 ( $\sim 0.1 \text{ cm}^{-3}$ ) のクランプ (Lan & Fukugita 2017) を考えた。我々は、ダストサイズ分布の破碎による進化を、大きなダストの卓越した初期条件から、Smoluchowski 型の時間発展方程式を解くことで与えた。その際、ダストの速度は、クランプが乱流状態にあると仮定して評価した。計算の結果、小さなダストが数億年以内に十分大量に生成されることが判った。流体シミュレーションなどから示唆されているクランプの寿命が数億年程度である為、クランプの寿命内に小さなダストを生成できることになる。減光曲線も計算したところ、実際に観測されている赤化を (factor 2 程度の違いを許容して) 説明することができた。従って、我々は、CGM でのダスト破碎は銀河ハローでの小さなダストの主要な生成機構たるに十分効率的に起きると結論した (Hirashita & Lan 2021)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X13b 近傍銀河における銀河衝突が星形成率に与える影響の定量的検証

藤谷愛美(名古屋大)、大森清顕(クリストファ(名古屋大)、竹内努(名古屋大, 統数研)

銀河相互作用は銀河の形態や環境・星形成に影響を与えるため、銀河進化を理解する上で非常に重要なプロセスである。しかし、その重要性にも関わらず、物理的素課程については未解明の部分が多い。相互作用の中でも特に、銀河衝突は銀河のあらゆる構成要素に大きな変化を与える激しい過程である。我々は特に衝突中の銀河の星形成に着目し、その変化について調査した。Pearson et al. 2019 では、近傍銀河における銀河衝突は確実に星形成率に影響を与えるものの、その割合は非常に小さく、非衝突銀河と比較すると $\sim 1.2$ 程度とされている。しかし、ここでは衝突の段階を踏まえた星形成率の違いについては検証されていない。銀河衝突のタイムスケールは $\sim$ 数10億年に及ぶため、衝突の初期と末期では銀河の形態やガス、ダストなど諸物理量が大きく異なると予想される。よって、衝突のどの段階を観測しているかによって星形成率の違いが見られるはずである。したがって、衝突段階で分類した解析により、星形成を爆発的に引き起こす段階とその要因を検証することが期待される。

本研究では、近傍銀河( $0.01 < z < 0.1$ )、Galaxy Zoo Project (Darg et al. 2010) でmerging galaxiesに分類された銀河を用いて、衝突段階ごとにSDSSの非衝突銀河と質量-星形成率関係を比較する。RCSEDにおける輝線を用いた可視光輝線診断図上の分布から、星形成銀河に分類される銀河をサンプルとして選出し、銀河衝突が星形成に与える影響を調べている。

本講演では、比較の結果を踏まえて爆発的星形成を生じている衝突段階と星形成機構のトリガーについて議論する。

[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](#)

## X14c 分子雲の乱流状態に基づく星形成モデルと銀河シミュレーション

堀江秀、岡本崇(北海道大学)

多くの銀河のシミュレーションでは、低温・高密度のガスから一定の星形成効率(ガスが星になる効率)で星が形成されると仮定して計算される。しかし、Padoan et al. (2012) は分子雲のシミュレーションを行い、分子雲の乱流状態と星形成効率には負の相関があることを示した。この結果を銀河のシミュレーションへと応用するためには、シミュレーション実行中に分子雲を同定する必要がある。

本研究では、銀河のシミュレーション実行中に分子雲を同定するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、Friends-of-Friends (FoF) と呼ばれる方法を用いて、効率的に近傍の高密度なガス要素同士をグループ化する。グループ化されたものを分子雲とすることで、銀河のシミュレーション実行中に分子雲を同定することに成功した。分子雲を空間的に分解できるほどの高分解能の銀河のシミュレーションで、このアルゴリズムを用いて、同定した分子雲に Padoan et al. (2012) の星形成モデル(乱流モデル)を適用した。一定の星形成効率(3%)を用いた場合のシミュレーションも行い、それぞれの結果を比較した。

乱流モデルと一定の星形成効率を用いた結果の間で、分子雲の物理状態(質量、半径、速度分散、virial パラメータ)の確率密度分布に有意な違いは見られなかった。しかし、解析した期間のうち銀河全体での分子雲の数の平均は、乱流モデルの方が一定の星形成効率を用いた場合よりも30%程度低かった(前者261個、後者369個)。これは一定の星形成効率の場合よりも、乱流モデルの結果では分子雲の星形成効率の平均は15%と高いために、星がより生まれやすいことが原因だと考えられる。

[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](#)

## X15a すばるによる極金属欠乏銀河観測：He量から探る初期宇宙の熱史と新素粒子

松本明訓 (東京大学), 大内正己, 中島王彦 (国立天文台/東京大学), 播金優一, 磯部優樹, 川崎雅裕, 村井開 (東京大学), EMPRESS 3D Team

ビッグバン元素合成で作られる全バリオンに対する He の質量比  $Y_P$  は、ニュートリノの有効種族数  $N_{\text{eff}}$  に依存し、初期宇宙の熱史や素粒子を探る上で重要な観測量である。標準理論によれば  $N_{\text{eff}} = 3.04$  となるが、仮に  $N_{\text{eff}} < 3.04$  ならば熱いビッグバンモデルに修正を迫る事となり、 $N_{\text{eff}} > 3.04$  であればステライルニュートリノ等の新粒子の存在の証拠となる。これまで Planck 衛星による CMB の観測や可視光望遠鏡による極金属欠乏銀河 (EMPG) などの探査からはそれぞれ  $N_{\text{eff}} = 2.92^{+0.36}_{-0.37}$  と  $2.85^{+0.28}_{-0.25}$  という制限が得られているが、 $3\sigma$  程度で  $N_{\text{eff}} = 2$  や  $4$  と見分けられないほど精度が低く、標準理論の予言を確かめるに至っていない。EMPG 探査による  $N_{\text{eff}}$  への制限は CMB からの制限より強いとは言え、 $Y_P$  の測定精度が不十分であることが  $N_{\text{eff}}$  の決定精度向上の足かせとなっている。そこで、我々は 2021 年春よりすばる望遠鏡の可視・近赤外線分光探査 EMPRESS 3D を開始した。これは従来の 5 倍にあたる 30 個の EMPG を観測するもので、統計誤差を従来の半分程に減らす見込みである。さらに近赤外域にある HeI $\lambda$ 10830 輝線を用いることで電子密度を正確に決定し、 $Y_P$  に含まれる 1% 程の系統誤差も除く。最終的には、統計誤差と系統誤差を合わせて、 $Y_P$  を  $\Delta Y_P = 0.0022$  の精度で求め、 $\Delta N_{\text{eff}} = 0.12$  を達成する計画である。既に、IRCS による近赤外線分光観測が 3 天体について行われ、得られたデータを過去の研究のデータと合わせたところ  $Y_P = 0.2436^{+0.0041}_{-0.0041}$  となり、 $N_{\text{eff}} = 2.85^{+0.25}_{-0.25}$  が得られている。一方この過程で、EMPG の He 組成比から  $Y_P$  を求める際の関数フィットの手法の違いにより  $2\sigma$  程度結果が変化する可能性があることが分かった。本講演では以上の初期結果に加え、新たに判明した系統誤差とその解決法を議論したい。

[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](#)

## X16a 電離スペクトルから迫る形成初期銀河の強い HeII 輝線の起源

梅田滉也 (東京大学), 大内正己, 中島王彦 (国立天文台/東京大学), 磯部優樹, 青山尚平, 小野宜昭, 播金優一, 松本明訓 (東京大学)

形成初期の銀河は金属量が少ないと考えられている。そのため、銀河形成の初期段階を理解するため極金属欠乏銀河 (EMPG) の研究が行われているが、その性質は未だ分からないことが多い。EMPG に見られる強い高電離輝線 HeII の起源もその 1 つである。例えば  $z \sim 2$  における EMPG では、星の種族合成モデルを用いて輝線比を再現しようとする、観測された HeII 強度の 1/5 以下しか説明できないことが報告されている (Berg et al. 2018)。

本研究では、従来の研究のアプローチとは異なり、観測で得られた HeII4686 を含む複数の輝線 (H $\beta$  と H $\gamma$ 、[OII]3727、[OIII]5007 など) を説明する電離スペクトルの形状を光電離モデル CLOUDY とマルコフ連鎖モンテカルロ法で探る。ここで、電離スペクトルは、熱的な黒体放射と非熱的な乗放射の 2 成分の和とし、AGN のスペクトルも包含する一般化された形状を仮定する。この手法により、強い HeII4686 輝線を出し、 $0.016Z_{\odot}$  とこれまでに検出された中で最も金属量が少ない EMPG J1631+4426 の電離スペクトルの形状を推定した。

その結果、用いた全ての輝線を観測値の  $3\sigma$  以内で再現できる電離スペクトルを得ることに成功した。得られた電離スペクトルは、水素のイオン化エネルギー (13.6eV) からヘリウムの第二イオン化エネルギー (54.4eV) までの範囲で下に凸の形のスペクトルになっており、従来の研究で使われていた星の種族合成モデルが与える上に凸のスペクトルの形とは根本的に異なることが分かった。このような下に凸のスペクトルを持つ天体としては、降着円盤の温度が  $10^4$ – $10^5$  K 程度の黒体放射と  $\alpha = -1$  の乗放射をもつ AGN が考えられる。本講演では、AGN の他に、電離源が大質量 X 線連星など他の天体の可能性についても検証し議論する。

[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](#)

## X17a 形成初期銀河における高い鉄酸素比が示唆する対不安定型超新星の兆候

磯部優樹, 大内正己, 中島王彦, 鈴木昭宏, 守屋堯, 他 30 名 (HSC Project 251)

形成初期の銀河は星形成とそれに伴う元素合成が十分に進んでいないため、星質量が小さく、金属量が低い。このような銀河は遠方宇宙で多く見られるものの、近傍宇宙においても太陽の 10% 以下の金属量 (O/H) を持つ極金属欠乏銀河 (EMPG) が複数発見されてきた。近傍の EMPG は遠方銀河に比べて弱い輝線まで観測でき、元素組成比を詳細に測定することが可能である。これらの組成比は形成初期の銀河における元素合成がどのように進むかを理解する重要な指標となる。Kojima et al. 2021 では金属量が  $\sim 2\%$  (O/H) $_{\odot}$  と極めて低いにも関わらず、非常に高い鉄酸素組成比 (Fe/O) をもつ天体の存在が報告され、その起源が議論されている。前回の講演では、HSC-SSP の深撮像データから機械学習を用いて選ばれた EMPG 候補天体 (Kojima et al. 2020) のうち Keck 望遠鏡の可視分光器 LRIS により新たに追観測された 13 天体の化学組成を調べ、うち 9 天体が EMPG の条件を満たすことを報告した。これらの EMPG のうち 2 天体については非常に弱い鉄輝線 [Fe III] $\lambda$ 4658 の検出に成功したため、光電離モデルを基に Fe/O を算出した (日本天文学会 2020 年秋季年会 X19a)。

本講演では、この 2 天体に過去の研究の 3 天体を加えた 5 天体の EMPG に対し、銀河の年齢に対する Fe/O をよく再現するモデルについて定量的に議論する。超新星による元素供給を計算する Fe/O 進化モデル (Suzuki & Maeda 2018) と比較したところ、一般的な鉄供給源である Ia 型超新星では説明できないほど EMPG の Fe/O が高いことが確かめられた。このうち非常に若く、高い Fe/O をもつ EMPG については、対不安定型超新星を含むモデルでしか説明できない可能性がある。このような EMPG の内部では、対不安定型超新星の元となる非常に重い星 (140–300  $M_{\odot}$ ) が効率的に作られているかもしれない。

[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](#)

## X18a 機械学習と分光観測データで探る極金属欠乏銀河とその形成メカニズム

西垣萌香 (総合研究大学院大学), 大内正己, 中島王彦 (国立天文台/東京大学), 磯部優樹 (東京大学), HSC Project 251 Team

遠方宇宙にある形成直後の銀河は金属量が低いと考えられる。近傍宇宙にも、極金属欠乏銀河 (EMPG) と呼ばれる金属量が太陽の 10% 未満 ( $< 0.1Z_{\odot}$ ) の銀河が存在しており、これらは初期の銀河形成を理解する上で重要である。EMPG の多くは、低密度領域に存在していることが過去の研究で示されたが、その形成メカニズムは明らかになっていない。本研究では、機械学習を用いて新たな EMPG を探索すると共に、既知の EMPG を用いてその形成メカニズム理解のための緒を探る。まず、新たな EMPG を探すために、決定木の機械学習を用いた分類器を開発した。これを SDSS の撮像観測で検出された約 57 万天体に適用したところ、およそ 700 天体が EMPG 候補として選択された。このうち 133 天体に対してせいめい望遠鏡となゆた望遠鏡で分光観測を行い、100 天体程度から輝線が検出された。得られたスペクトルからは、BPT 図上で EMPG と同程度の金属量を持つ銀河が複数見つかった。一方で、過去の観測研究で分光同定された 53 個の EMPG について、宇宙大規模構造の中における空間的位置を調べた。EMPG 周辺の宇宙大規模構造を、ハッブル流を仮定して SDSS の分光銀河 ( $i' \lesssim 18\text{mag}$ ) を用いて描いたところ、これまで報告されていたように EMPG の多くは他の銀河から離れた領域に存在することが確かめられた。また、EMPG は、銀河からの距離と銀河の個数密度の関係が、銀河団やボイドにある銀河とは明らかに異なり、フィラメントにある銀河に近いことが分かった。このため、EMPG の多くはフィラメントに存在している可能性がある。本講演では、EMPG の探索の現状を紹介すると共に、フィラメントにある EMPG がどのように形成されたかについて理論研究との比較などを行いながら議論したい。

[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](#)

## X19a すばる望遠鏡 HSC で探る宇宙再電離非一様性の物理的起源

石本梨花子, 柏川伸成 (東京大学), 柏野大地 (名古屋大学), 伊藤慧, Yongming Liang (総合研究大学院大学/国立天文台), 吉岡岳洋, 武田佳大 (東京大学), 大越克也 (東京理科大学), Zheng Cai (Tsinghua Univ.), 三澤透 (信州大学), 尾上匡房 (MPIA), 内山久和 (愛媛大学)

高赤方偏移のキューサーで測定される視線上の銀河間物質のライマン  $\alpha$  の光学的厚み ( $\tau_{\text{eff}}$ ) は、 $z > 5.5$  で分散が大きくなることが観測されており、宇宙再電離が非一様に進行していったことを示している。この  $\tau_{\text{eff}}$  の分散はガス密度のゆらぎのみでは説明できないことがわかっており、他の原因として UV 背景光のゆらぎ、あるいは銀河間物質のガス温度のゆらぎが挙げられている。UV 背景光が原因の場合は中性度と銀河密度は負の相関を、ガス温度が原因の場合は正の相関をとるため、大きな  $\tau_{\text{eff}}$  が観測された場所での銀河密度を調べることで、この2つの原因のどちらが支配的であるかを制限することができる。しかしながら、このような観測は過去に1つのキューサー視線についてしか行われていない (Becker et al. 2018, Kashino et al. 2020)。

本研究では、 $z \sim 5.7$  において  $\tau_{\text{eff}} > 5$  を持つ3つの高  $\tau_{\text{eff}}$  領域において、同時代のライマン  $\alpha$  輝線銀河 (LAE) の探査を行った。各領域で  $\sim 5000 \text{ arcmin}^2$  から約100個の LAE が選択され、これらの密度分布を調べた。1領域ではキューサー視線周囲で LAE が低密度であったが、他の2領域では視線周囲で高密度であることがわかった。本講演ではこれらの結果と考えられる非一様性の原因について議論する。

[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](#)

X20a CHORUS 中性水素マッピング：ライマン  $\alpha$  輝線銀河とライマンブレイク銀河の個数比による宇宙の中性水素割合の推定法

井上昭雄 (早稲田大学), 吉岡岳洋, 柏川伸成 (東京大学), 他 CHORUS プロジェクトメンバー

宇宙再電離現象の解明は観測的宇宙論の最重要課題の一つである。この問題に取り組むため、わたしたちは、すばる望遠鏡 Hyper Suprime Cam (HSC) に5枚の狭中帯域フィルターを搭載し、COSMOS 領域での深い撮像観測 CHORUS (Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru) を実施した。本講演と次に続く講演 (吉岡ら) では、CHORUS で得た IB945 撮像データと、HSC すばる戦略撮像で得られた狭帯域フィルター NB921 撮像データを組み合わせて、赤方偏移  $z=6.6$  における宇宙の中性度マッピングを試みた結果を報告する。

本講演では、わたしたちが新しく開発した中性水素割合  $x_{\text{HI}}$  を求める手法に関して報告する。Ly $\alpha$  光子は銀河間の  $x_{\text{HI}}$  に敏感なため、Ly $\alpha$  輝線で選択される Ly $\alpha$  輝線銀河 (LAE) の空間分布は、 $x_{\text{HI}}$  分布に大きく影響される。ただし、LAE の分布は  $x_{\text{HI}}$  の分布に加え、宇宙の大規模構造の情報も含まれており、両者の切り分けが難しい。一方、連続光の Ly $\alpha$  ブレイクで選択されるライマンブレイク銀河 (LBG) は、比較的  $x_{\text{HI}}$  に影響されず選択でき、大規模構造の情報を強く反映するはずである。そこで、LAE/LBG 個数比を取ることで、 $x_{\text{HI}}$  の情報を取り出すことができると考えた。このアイデアを確かめるため、Inoue et al. (2018) で開発した宇宙再電離数値シミュレーションによる LAE モデルにもとづき、LAE/LBG 個数比と  $x_{\text{HI}}$  の関係を調べた。結果として、LAE と LBG の赤方偏移範囲をそろえることができれば、LAE/LBG 個数比と  $x_{\text{HI}}$  は反相関することが確かめられた。ただし、LAE/LBG 個数比の分散は大きく、平均化する空間サイズをある程度大きく取る必要がある。また、 $x_{\text{HI}} \simeq 0.5$  付近で良い感度が期待できる反面、 $x_{\text{HI}}$  が小さいときと大きいときは感度が低くなることも分かった。

[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](#)

## X21a CHORUS 中性水素マッピング：HSC で挑む宇宙再電離の空間的非一様性の解明

吉岡岳洋, 柏川伸成 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 山中郷史 (鳥羽高専), 他 CHORUS プロジェクトメンバー

宇宙再電離の空間的非一様性はその過程を理解する上で重要な性質のひとつであるが、定量的な理解はまだ不十分である。LAE/LBG 個数比が中性度の良い指標となり、これまでに多くの研究で宇宙再電離を調査してきたが、それらは分光観測を使用しているために観測数を増やすことが困難であった。本研究ではすばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (HSC) の広視野 (約  $1.5 \text{ deg}^2 = 34000 \text{ cMpc}^2$ ) 探査のデータを用いて効率的に銀河を検出することでこの問題を克服した。宇宙再電離の空間的非一様性を描き出すため、私たちはライマン  $\alpha$  輝線銀河 (LAE) とライマンブレイク銀河 (LBG) を  $z \sim 6.6$  で同時に検出した。HSC に新たに搭載した中帯域フィルター IB945 を使用することで、狭帯域フィルター NB921 で選択される LAE とほぼ同時代で LBG を検出することに成功した。観測された LAE と LBG の個数比  $n(\text{LAE})/n(\text{LBG})$  と、再電離シミュレーションによる予測から中性度  $x_{\text{HI}}$  を推定し、その空間的なばらつきを調査した。視野内の平均的な中性度は  $x_{\text{HI}} < 0.4$  と求まり、過去の研究と一致しているが、 $140 \text{ pMpc}^2$  ごとの視野内での  $n(\text{LAE})/n(\text{LBG})$  のばらつきは 3 倍にも及ぶことがわかった。これは、宇宙再電離が空間的に非一様であることを反映していると考えられるが、そのばらつきは宇宙の大規模構造で決まる銀河自身の分布によるものである可能性が残っている。シミュレーションの結果から、現在よりも 1 等程度深い観測であれば、両者を区別することが可能になるとわかった。また、今後の観測のために、LAE/LBG 個数比に基づく  $x_{\text{HI}}$  の推定値が視野の大きさによってどの程度変化するかを定量的に調査した。

[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](#)

## X22a Revealing the cosmic reionization history with fast radio bursts in the era of Square Kilometre Array

橋本哲也, 後藤友嗣, Ting-Yi Lu, Alvina Y. L. On, Daryl Joe D. Santos, Seong Jin Kim (NTHU), Ece Kilerci-Eser (Sabanci U.), Simon C.-C. Ho, Tiger Y.-Y. Hsiao, and Leo Y.-W. Lin (NTHU)

Revealing the cosmic reionization history is at the frontier of extragalactic astronomy. The power spectrum of the cosmic microwave background (CMB) polarization can be used to constrain the reionization history. Here, we propose a CMB-independent method using fast radio bursts (FRBs) to directly measure the ionization fraction of the intergalactic medium (IGM) as a function of redshift. FRBs are new astronomical transients with millisecond time-scales. Their dispersion measure ( $\text{DM}_{\text{IGM}}$ ) is an indicator of the amount of ionized material in the IGM. Since the differential of  $\text{DM}_{\text{IGM}}$  against redshift is proportional to the ionization fraction, our method allows us to directly measure the reionization history without any assumption on its functional shape. As a proof of concept, we constructed mock non-repeating FRB sources to be detected with the Square Kilometre Array, assuming three different reionization histories with the same optical depth of Thomson scattering. We considered three cases of redshift measurements: (A) spectroscopic redshift for all mock data, (B) spectroscopic redshift for 10 per cent of mock data, and (C) redshift estimated from an empirical relation of FRBs between their time-integrated luminosity and rest-frame intrinsic duration. In all cases, the reionization histories are consistently reconstructed from the mock FRB data using our method. Our results demonstrate the capability of future FRBs in constraining the reionization history.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a  $z \sim 7.8$  における  $H\alpha$  輝線天体の探査と星形成率密度への制限

浅田喜久, 太田耕司 (京都大学)

星形成率密度 (SFRD) の赤方偏移進化は、銀河の宇宙論的進化を記述する最も基本的な物理量の一つである。高赤方偏移 ( $z \gtrsim 4$ ) においては、SFRD は主に静止系紫外線 (rest UV) の光度関数 (LF) を通して調べられてきた。Rest UV の光はダストによる減光を強く受けるためその補正が必要であるが、これも rest UV におけるスペクトルから減光量の推定が行われてきた。しかし近年遠赤外線における観測に基づいた SFRD の推定が可能になると、高赤方偏移においてもダストに隠された星形成活動は活発で、従来の rest UV に基づく推定では SFRD を過小評価していた可能性が指摘されており (e.g. Rowan-Robinson et al. 2016)、独立な手法による調査が必要である。そこで我々は  $H\alpha$  輝線に着目した。 $H\alpha$  輝線は rest UV に比べるとダスト減光の影響は極めて小さく、性質の良い銀河の星形成率の指標の一つである。 $z > 2.5$  においては  $H\alpha$  輝線の地上観測は難しいが、*Spitzer*/IRAC による broadband 測光から検出可能である。本研究では、*Spitzer*/IRAC を用いて  $H\alpha$  輝線を検出することが可能な赤方偏移帯のうち  $z \sim 7.8$  を対象とした。重力レンズ効果による増光を利用してより光度が低い銀河まで探査するため、*Hubble* Frontier Fields において Lyman break 法によって目標の赤方偏移帯に位置する銀河の候補を選出し、*Spitzer*/IRAC の Ch3 バンドで  $H\alpha$  輝線による超過を示す天体の探査を行った。その結果、Ch3 バンドにおける対応天体の検出個数は 0 個であった。この結果から  $z \sim 7.8$  における  $H\alpha$  LF に対して初めて制限を与えた。講演では、この結果に基づく星形成率密度への制限について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](#)X24a Luminosity Function and Clustering from  $\sim 4$  Million Star Forming Galaxies at  $z \sim 2 - 7$ 

播金優一 (東京大学), HSC projects 78&amp;87 + CLAUDS teams

We present our latest work for statistical properties of 4 million star-forming galaxies at  $z \sim 2 - 7$ . The galaxy sample contains  $\sim 2$  million Lyman break galaxies at  $z \sim 4 - 7$  over the  $300 \text{ deg}^2$  sky ( $\sim 4 \text{ Gpc}^3$  survey volume) identified in the Subaru/Hyper Suprime-Cam survey, significantly larger than previous studies. The selected galaxies clearly show an excess of the number density from the Schechter form of the UV luminosity function at the bright end ( $M_{UV} < -23$ ), more consistent with the double power-law function, which indicates inefficient mass quenching and/or low dust obscuration compared to low-redshift galaxies. Combined with  $\sim 2$  million star-forming galaxies at  $z \sim 2 - 3$  selected with the CLAUDS  $u$ -band data, we have investigated clustering properties of galaxies at  $z \sim 2 - 7$  using the halo occupation distribution model. Our clustering analysis indicates that the baryon conversion efficiency (the star formation rate divided by the dark matter accretion rate) is almost constant at  $z \sim 4 - 7$  but gradually increases from  $z \sim 4$  to 2, which quantitatively reproduces the observed cosmic star formation rate density (a.k.a. the Madau plot).

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

## X25a コア崩壊型超新星爆発を用いた遠方銀河の初期質量関数への制限

青山尚平 (東京大学)、大内正己 (国立天文台/東京大学)、播金優一 (東京大学)

初期質量関数 (IMF) は恒星誕生時の恒星の数密度の質量依存性を示す関数である。この関数により銀河進化に大きな影響を与える超新星爆発の頻度分布、恒星質量ブラックホール数が決定されるため、銀河進化にとって非常に重要な関数である。系内天体、並びに近傍銀河では IMF は  $M > 1 M_{\odot}$  の恒星質量領域で single power-law ( $dN/dM \propto M^{-\alpha}$  かつ  $\alpha = 2.35$ ) で近似できるが、遠方銀河ではほとんどわかっていない。遠方銀河において、IMF の傾き  $\alpha(z)$  を各赤方偏移で制限することは銀河形成史を解明する上で重要である。

本研究ではコア崩壊型超新星爆発 (CCSNe) の数密度の観測と静止系で紫外線と赤外線観測を併用することにより各赤方偏移での IMF の傾きに制限ができることに注目する。本研究では当該質量域の IMF が single power-law で書けると仮定し、 $\alpha(z) = \max(\alpha_0 + \alpha_z \cdot z, 1)$  とした。そして理論パラメータ  $\alpha_0$  と  $\alpha_z$  に対する制限を行うために観測は現在までに既に行われている可視光の観測 (number counts) と、ハイパーカミオカンデ (HK) でのニュートリノフラックスの感度予想を使用する。ニュートリノフラックスの予言には超新星爆発のシミュレーション Nakazato et al. (2013) を用いる。シミュレーションパラメータの違いによるニュートリノフラックスの違いは概ね 50% 以下程度になっていることが知られており、この誤差は最終的な結果に重大な影響は与えない。

以上の計算により現状の観測では  $\alpha_0$  は制限できるが、高赤方偏移側で CCSNe の数密度の観測誤差が大きいため、 $\alpha_z$  に制限するのは難しいことがわかった。一方で将来の HK の観測では高い信頼水準で  $\alpha_0$  のみならず、 $\alpha_z$  にも制限を与えられることがわかった。また HK では CCSNe 起源のニュートリノが全く検出できなかった場合でも  $\alpha_0, \alpha_z$  に強い制限を得ら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](#)

X26a Super-Resolution with Subaru/HSC Data I: Major Merger Fractions of  $L_{UV} \sim 3 - 15 L_{UV}^*$  Dropout Galaxies at  $z \sim 4 - 7$ 

Takatoshi Shibuya, Noriaki Miura, Kenji Iwadate (Kitami), Seiji Fujimoto (DAWN/NBI), Yuichi Harikane (ICRR/UCL), Yoshiki Toba (Kyoto/ ASIAA/Ehime), Takuya Umayahara, Yohito Ito (Kitami)

We perform a super-resolution analysis of the Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) images to estimate the major merger fractions of  $z \sim 4 - 7$  dropout galaxies at the bright end of galaxy UV luminosity functions (LFs). Our super-resolution technique improves the spatial resolution of the ground-based HSC images, from  $\sim 1''$  to  $\lesssim 0.0^{prime}1$ , which is comparable to that of the *Hubble Space Telescope*, allowing us to identify  $z \sim 4 - 7$  bright major mergers at a high completeness value of  $\gtrsim 90\%$ . We apply the super-resolution technique to 6535 very bright dropout galaxies in a UV luminosity range of  $L_{UV} \sim 3 - 15 L_{UV}^*$  corresponding to  $-24 \lesssim \log M_{UV} \lesssim -22$ . The major merger fractions are estimated to be  $f_{\text{merger}} \sim 5 - 20\%$  at  $z \sim 4$  and  $\sim 50 - 80\%$  at  $z \sim 5 - 7$ , which shows no  $f_{\text{merger}}$  difference compared to those of a control faint galaxy sample. Based on the  $f_{\text{merger}}$  estimates, we verify contributions of source blending effects and major mergers to the bright-end of double power-law (DPL) shape of  $z \sim 4 - 7$  galaxy UV LFs. While these two effects partly explain the DPL shape at  $L_{UV} \sim 3 - 10 L_{UV}^*$ , the DPL shape cannot be explained at the very bright end of  $L_{UV} \gtrsim 10 L_{UV}^*$ , even after the AGN contribution is subtracted. The results support scenarios in which other additional mechanisms, e.g., insignificant mass quenching effects, contribute to the DPL shape.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X27a 赤方偏移 $3 < z < 3.7$ における極めて強い [OIII] 輝線を示す銀河の近赤外線分光観測による物理的性質

小野寺仁人, 小山佑世, 中島王彦 (国立天文台/総合研究大学院大学), 嶋川里澄, 田中壱, 林将央 (国立天文台), 鈴木智子 (フローニンゲン大学), 播金優一 (東京大学), 児玉忠恭 (東北大学), 澁谷隆俊 (北見工業大学)

我々は、宇宙再電離期における星形成銀河の類似種族として、赤方偏移  $3 < z < 3.7$  における極度に強い輝線を示す銀河 (EELG) の選択手法の開発、分光学的な同定、そしてそれらの物理的性質の調査をおこなった。サンプルは、観測された  $K_s$  バンドにおける、恒星種族の連続光モデルからの超過をもちいて選択した。その結果、COSMOS フィールドにおいて、0.3 等分の超過量を主たる基準に、観測系での等価幅 (EW) が  $\gtrsim 1000 \text{ \AA}$  と見積もられる 240 個の EELG 候補天体を得た。これらのうち 23 天体について Subaru/MOIRCS による  $HK$  フォローアップ分光観測をおこなったところ、19 天体と 2 天体の候補が、それぞれ、 $z > 3$  の天体からの強い [OIII] $\lambda 5007$  輝線と、 $z \simeq 2$  にある天体からの  $H\alpha$  輝線によるものであった。分光同定された  $z \simeq 3.3$  の EELG は、星形成銀河の主系列よりも高い比星形成率 (sSFR) を示すこと、 $E(B - V) \lesssim 0.1$  等級と低いダスト減光量であること、また [OIII]/[OII] 比が  $\gtrsim 3$  と高いことがわかった。さらに、これらの  $z \simeq 3.3$  にある EELG は、水素電離光子生成効率 ( $\xi_{\text{ion}}$ ) が一般的によく用いられている値 ( $\simeq 10^{25.2} \text{ erg}^{-1} \text{ Hz}$ ) よりも高く、周囲の星間物質を効率的に電離していることが示唆された。これらの物理的特性は、EELG が、イオン化パラメータが高く、紫外スペクトルが硬い低金属量銀河であることを示唆しており、ライマン連続光 (LyC) が検出されている銀河によく似ている。特に、[OIII]/[OII] の値が大きいものは、LyC が脱出している可能性が高いと考えられる。

[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](#)

## X28a The diversity of IGM-galaxy connection at redshift $z = 2 - 3$

Rieko Momose, Kazuhiro Shimasaku, Nobunari Kashikawa (University of Tokyo), Kentaro Nagamine (Osaka University), Ikkoh Shimizu (Shikoku Gakuin University), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Haruka Kusakabe (University of Geneva), Yasunori Terao, Makoto Ando, Kentaro Motohara (University of Tokyo), Lee Spitler (Macquarie University)

The link between the intergalactic medium (IGM) and galaxies is key to understanding the evolution of baryonic matter and galaxies. Several observations in the literature have reported a correlation signal up to several tens of comoving Mpc between galaxies and Ly $\alpha$  forest absorption, a tracer of the neutral hydrogen gas (HI) in the IGM. Nonetheless, its variations over galactic properties, such as mass, SFR, and galaxy population, are not well understood. We calculate the cross-correlation function between galaxies and Ly $\alpha$  forest absorption and investigate its variations depending on galactic properties in order to deeply understand the IGM-galaxy connection in terms of galaxy evolution (Momose et al. 2021a, b, c). In this talk, we will present observational results obtained from publicly available IGM HI 3D tomography data, CLAMATO (Lee et al. 2016, 2018), and several galaxy catalogs. We will show similarities and differences in the correlation function among galaxy populations and discuss their Mpc scale HI environments reflecting different stages in galaxy evolution. We will also present a discordance between HI density distribution and galaxy distribution found only from LAEs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a  $2 < z < 4.5$  における  $\text{Ly}\alpha$  輝線銀河と大質量銀河がなす環境の相互関係

伊藤慧(総合研究大学院大学/国立天文台), 柏川伸成(東京大学), 田中賢幸(国立天文台), 久保真理子, 内山久和(愛媛大学), 利川潤(University of Bath), Yongming Liang(総合研究大学院大学/国立天文台), 石本梨花子, 吉岡岳洋, 武田佳大(東京大学)

近年、高赤方偏移宇宙における大規模構造が様々な銀河種族を用いて精力的に調査されている。一方で、異なる銀河種族が常に同一の大規模構造を指し示すかは自明ではない。実際に複数の原始銀河団領域では  $\text{Ly}\alpha$  輝線銀河(LAE)とその他の銀河種族の空間分布が異なっていることがこれまでに指摘されている(e.g., Shimakawa et al. 2018, Shi et al. 2019)。本研究では、一般的な領域での傾向を調査するため、 $2 < z < 4.5$  における COSMOS 領域の LAE とそれに比べてより星質量が重い星形成銀河(SFG)と星形成を終えようとしている銀河(QG)という3種類の銀河種族の空間分布の違いを評価した。LAEは中間帯域フィルターから選択した SC4K(Sobral et al. 2018)の天体カタログを用い、SFGとQGはCOSMOS2015(Laige et al. 2016)の多波長カタログから測光赤方偏移を推定し選択した。まず3種族の自己相関関数と、SFGとLAE間、SFGとQG間の相互相関関数を求め両者の値を比較した。SFGとQG間の相互相関関数の値はこれらの自己相関関数から期待されるものであったが、SFGとLAE間の相互相関関数の値は自己相関関数から期待される値に比べて有意に小さく、ハロー質量の違い以上にこの2種族の分布が異なることが明らかになった。また、SFGの数密度を用いて3種族の銀河の位置での密度超過分布を求めたところ、LAEはSFGやQGに比べてSFGの低密度領域に有意に存在することが示された。これらの2つの結果はともにLAEは一般的にSFGとQGに比べて空間分布が異なることを示しており、高赤方偏移における真の大規模構造の理解には複数の銀河種族の調査が必要であることを指摘している。

[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](#)

X30a A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS):  $z \sim 4$  の暗い電波銀河周辺環境の統計的理解

内山久和(愛媛大), 山下拓時(国立天文台), 利川潤(Bath univ.), 柏川伸成(東京大), 市川幸平(東北大), 久保真理子, 長尾透, 鍛冶澤賢(愛媛大), 鳥羽儀樹(京都大), 伊藤慧, Yongming Liang(総研大), 川勝望(呉高専), 小野宜昭, 播金優一(宇宙線研), 今西昌俊(国立天文台), Chien-Hsiu Lee(NOIRLab)

電波銀河の周辺環境を様々な時代で特徴づけることは銀河形成・進化を理解する上で重要である。しかし、 $z \geq 4$  では、電波銀河の希少性ならびに観測的な制限により、既知の電波銀河の数が極端に少なく、明るいもの(静止系  $1.4\text{GHz}$  の電波光度  $L_{1.4\text{GHz}} > 10^{27} \text{ W Hz}^{-1}$ )に限られていて、電波銀河環境の系統的理解には至っていない。本研究では、すばる戦略枠プログラムのデータから構築された  $z \sim 4$  の21個の電波銀河( $L_{1.4\text{GHz}} \sim 10^{26-27} \text{ W Hz}^{-1}$ )と、ライマンブレイク銀河(LBG)の高密度領域の大規模サンプルを利用する。電波銀河とLBG周辺の密度超過を計測・比較することにより、 $z \sim 4$  の電波銀河の環境的性質を統計的に特徴づける。

結果として、 $L_{1.4\text{GHz}} \sim 10^{26.0-26.5} \text{ W Hz}^{-1}$  の電波銀河はLBGよりも高密度領域に存在する傾向にあるが、より明るい電波銀河はLBGと同じ密度環境に存在することが分かった。クラスタリング解析により、電波銀河はLBGよりも重いハローに属し、暗い電波銀河はさらに重いハローに属する傾向が見られた。これらの結果は、年老いた重い電波銀河の割合が電波光度とともに増加するというシナリオと無矛盾である。また、電波銀河はそのハロー質量から、銀河団に成長する構造に所属していることが期待される。加えて、電波銀河のジェットの方角と周辺銀河の空間分布との相関関係から得られる示唆を議論する。

[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](#)

X31a  $z = 2.4$  53W002 原始銀河団における大質量銀河の SED 解析

米倉直紀, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 馬渡健 (国立天文台), 山田亨 (ISAS)

近傍の銀河団では早期型銀河の割合が高いことが知られている。銀河団の早期型銀河を構成する古い星は  $z > 2$  の時代に形成されたと考えられている (Bower et al. 1992)。そのため早期型銀河の形成と進化を理解するためにはその形成時期にあたる  $z > 2$  の高密度環境を探査する必要がある。そこで我々は  $z = 2.4$  の 53W002 原始銀河団に注目した。この原始銀河団では Ly $\alpha$  輝線銀河 (Lyman Alpha Emitter: LAE) の大規模構造が発見されており、将来一般の銀河団クラスへと成長すると考えられている (Mawatari et al. 2012)。本研究では、近赤外線の色選択と可視近赤外線の SED fitting から原始銀河団に属するメンバー銀河候補天体の選出と物理量の推定を行った。さらに COSMOS 領域において同様の手法で銀河選出し、原始銀河団領域と一般領域における違いを調査した。

その結果、原始銀河団領域では明るく ( $K_{s,AB} > 22.25$ )、赤いカラー ( $J - K_{s,AB} > 2$ ) を持つ天体が、一般領域と比較して約 8 倍の密度超過があることがわかった。SED fitting によって推定した星質量、比星形成率を比較すると、原始銀河団領域では星質量が  $5 \times 10^{10} M_{\odot}$  以上の大質量銀河や比星形成率が  $10^{-11} \text{ yr}^{-1}$  以下のすでに星形成活動をやめた天体の密度超過が確認された。これらことから 53W002 原始銀河団クラスの原始銀河団において星質量が  $10^{11} M_{\odot}$  を超えるような大質量銀河がすでに形成されている可能性が高いことが明らかになった。また選出した銀河と LAE の空間分布を調べたところ、星質量が  $5 \times 10^{10} M_{\odot}$  以上の天体、特に比星形成率が  $10^{-11} \text{ yr}^{-1}$  以下の天体は LAE 個数密度の低い領域に分布していた。一方で、星質量が  $5 \times 10^{10} M_{\odot}$  以下の天体、特に比星形成率が  $10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  以上の天体は LAE 個数密度の高い領域に分布している傾向が見られた。

[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](#)

## X32a Exploring chemical evolution of star-forming galaxies at cosmic noon

柏野大地 (名古屋大学)

We present the relationship between stellar mass and stellar metallicity, i.e., the  $MZ_*$  relation, for 1336 star-forming galaxies at  $1.6 < z < 3.0$  from the zCOSMOS-deep survey. We utilized a full spectral fitting with the BPASS stellar population synthetic spectra to measure the stellar metallicities that reflect mainly the iron abundance. The inferred metallicities are in a range of  $-1.5 \lesssim \log(Z_*/Z_{\odot}) \lesssim -0.3$ , showing a tight positive correlation with stellar mass. Comparing the local  $MZ_*$  relation, we found a significant redshift evolution between  $z \sim 0$  and  $z \sim 2.2$  with the latter showing  $\sim 0.8$  lower  $Z_*$  at a given  $M_*$ . Furthermore, comparing the gas-phase  $MZ$  relation, we constrain the O/Fe-enhancement and found an intriguing link between the galactic archeology and high- $z$  galaxy evolution: the evolution of the location in the O/Fe vs. Fe/H diagram occupied by local and high- $z$  galaxies are in good agreement with the sequence of the Galactic stars. We discuss the interpretation of the observed results by using a simple chemical evolution model in which the delayed time of iron enrichment due to type-Ia supernovae is accounted for.

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

### X33a A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity

Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Rieko Momose (U.Tokyo), and the HSC-project 394 members

At  $z > 2$ , galaxies in proto-clusters (PCs) are actively star forming, while matured clusters at  $z < 1$  are dominated by quenched galaxies, suggesting that  $z \sim 1.5$  is the transition epoch of (proto)clusters from star forming phase into quenching phase. To investigate star formation quenching in this epoch, we search for PC cores at  $z \sim 1.5$ . Here, a “core” is defined as the most massive halo in a given PC, where environmental effects are likely to work most effectively. Using a photo- $z$  catalog of large and deep optical survey data with Subaru Hyper-Suprime Cam, we search for PC cores in a very wide field that reaches  $\sim 22 \text{ deg}^2$ . Regarding galaxies more massive than  $\sim 2 \times 10^{11} M_{\odot}$  as the central galaxies of PC cores, we detect more than 1000 core candidates. Then, we estimate their average halo mass by clustering analysis and find it to be  $\sim 3 \times 10^{13} M_{\odot}$ . From a comparison with the Illustris TNG simulation, we confirm that these massive halos at  $z \sim 1.5$  are progenitors of present-day clusters comparable to or more massive than Fornax-type clusters. Classifying our galaxy sample into red and blue galaxies, we calculate the red fraction of the member galaxies of our PC core candidates. Interestingly, although cores with red and blue centrals have similar halo masses, only those with red centrals show a red fraction excess compared to the field, suggesting a conformity effect. We also find that the red fraction excess is an increasing function of stellar mass. Combining with the Illustris TNG simulation, we discuss galaxy quenching in PC cores at  $z \sim 1.5$ .

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### X34a Swimmy Survey : 深層異常検知で拓くすばる HSC 希少銀河探査

田中匠 (東京大学), 嶋川里澄 (国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), 柏川伸成 (東京大学), 嶋作一大 (東京大学), 田中賢幸 (国立天文台), 鳥羽儀樹 (京都大学)

HSC-SSP (Subaru Strategic Program with Hyper Suprime-Cam) の進行により, 可視の深い銀河画像を大量に入手できるようになった. 2022 年には LSST (Large Synoptic Survey Telescope) も本観測を開始し, 今後さらに大量の銀河画像にアクセス可能となることが予想される. これらの大規模サーベイで取得された大量の銀河画像の中には, 少ないサンプル数のために統計的解析の難しい希少銀河や, 未知の種類为天体が紛れている可能性がある. これらの希少銀河・未知天体をビッグデータの中から抽出するため, 我々は予備知識を必要とせず, 既存手法より効率的で非線形な構造にも対応可能な深層異常検知を用いたブラインド探査である Swimmy (Subaru Wide-field Machine-learning anoMaLY) Survey を提案する.

本研究では Swimmy Survey の第一段階として, HSC-SSP Wide 20A の画像データから低光度活動銀河核や超輝線銀河といった希少銀河を抽出する手法を開発した. Convolutional Denoising Autoencoder で入力画像を圧縮・再構成する手法を学習し, 訓練したモデルを用いて再構成した画像と元画像との残差情報から, 21,151 天体のサンプルの中でも典型的な銀河とは有意に異なる希少銀河候補 3,375 天体を抽出した. 深くかつ解像度の高い HSC 画像により, これらの候補天体の中には母銀河の放射に埋もれた低光度活動銀河核のような既存の一次元分光サーベイでは判別できなかった局所的にユニークな性質を持つ希少銀河が含まれていると考えられる. 講演では詳しい解析手法や候補天体の傾向, Swimmy Survey の今後の方針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](#)

## X35a Uchuu simulation と準解析的モデルで探る高赤方偏移クエーサー形成

大木平, 石山智明 (千葉大学), 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), 榎基宏 (東京経済大学), 白方光 (株式会社 タダノ), 小倉和幸 (呉高専),  $\nu^2$ GC collaboration

近年、観測の進展により多数の高赤方偏移 ( $z \gtrsim 6$ ) クエーサーについてそのブラックホール質量、母銀河の星質量が推定されている。高光度クエーサー ( $M_{1450} \lesssim -26$  mag) については、近傍のマゴリアン関係に比べて約 10 倍のブラックホール質量を持つことが分かってきている。一方、低光度クエーサー ( $M_{1450} \gtrsim -25$  mag) では、近傍の関係と整合するという報告もある (Izumi et al. 2018, 2019)。この多様なブラックホール-母銀河関係は、高赤方偏移クエーサーの形成過程の重要な手掛かりになると考えられる。本研究では、スーパーコンピュータ京とアテルイ II を用いた超大規模宇宙論的  $N$  体シミュレーション Uchuu simulation の広い計算領域を活かし、準解析的銀河・AGN モデル  $\nu^2$ GC を用いて高赤方偏移クエーサーの統計的性質について調べた。

Uchuu simulation では、矮小銀河スケールのダークマターハローを解像しつつ、1 辺  $2 h^{-1}$  Gpc という大領域のダークハロー合体史を得ることができる。また、準解析的モデル  $\nu^2$ GC では、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・中心ブラックホールへのガス供給が起きると仮定している。このモデルを用いて、 $z \gtrsim 6$  のクエーサーの光度関数、母銀河との相関関係を調べた。その結果、モデルは観測されるクエーサー光度関数の高光度側をよく再現することがわかった。また、モデルから予言される高光度クエーサーの星質量-ブラックホール質量関係は観測とよく一致する。一方、低光度クエーサーはより広がった相関関係を持ち、一部のモデルは観測結果とよく一致することがわかった。本講演ではこれらの結果を報告し、高赤方偏移クエーサーと母銀河の相関関係と中心ブラックホールへのガス供給機構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](#)

## X36a Evolution of high-redshift quasar hosts and promotion of massive black hole seed formation

稲吉恒平 (北京大学/KIAA)

High-redshift luminous quasars powered by accreting supermassive black holes (SMBHs) with mass  $\gtrsim 10^9 M_{\odot}$  constrain their formation pathways. We investigate the formation of heavy seeds of SMBHs through gas collapse in the quasar host progenitors, using merger trees to trace the halo growth in highly-biased, overdense regions of the universe. The progenitor halos are likely irradiated by intense  $H_2$ -photodissociating radiation from nearby star-forming galaxies and heat the interior gas by successive mergers. The kinetic energy of the gas originating from mergers as well as baryonic streaming motion prevents gas collapse and delays prior star formation. With a streaming velocity higher than the root-mean-square value, gas clouds enter the atomic-cooling stage and begin to collapse isothermally with  $T \simeq 8000$  K via  $Ly\alpha$  cooling. The fraction of trees which host isothermal gas collapse is  $\sim 14\%$  and increases with streaming velocity, while the rest form  $H_2$ -cooled cores after short isothermal phases. In the massive collapsing gas, a newly-born protostar grows via mass accretion at rates of  $\sim 10^{-2} - 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ . As a result, we expect a distribution of stellar mass (presumably BH mass) ranging from several hundred to above  $\sim 10^5 M_{\odot}$ , potentially forming massive BH binary mergers and yielding gravitational wave events. In this talk, we describe the key physics of this new scenario and provide applications of the BH mass function in the early universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X37a 原始銀河内における超大質量星および中間質量ブラックホールの形成

豊内大輔 (東京大学), 稲吉恒平 (北京大学/KIAA), Wenxiu Li (北京大学/KIAA)

$10^3$ - $10^5 M_{\odot}$  程度の中間質量ブラックホール (BH) の形成・進化の過程は、恒星質量 BH と銀河中心超巨大 BH を繋ぐミッシングリンクである。重元素を含まない初代星は近傍よりも重い星が多くできると考えられており、その中で  $10^4 M_{\odot}$  を超える超大質量星も誕生し、その死後に中間質量 BH を残すと期待されている。このような超大質量星の形成過程は宇宙論的構造形成シミュレーションによって精力的に調べられてきた。近年の特筆すべき進展として、超大質量星形成を促すプロセスが従来の理解よりずっと多様で、原始星を育む自己重力ガス雲の性質はホストハローの合体史、伴銀河の存在などを反映して大きく異なることがわかってきた (Hirano et al. 2017 など)。一方で、現行の宇宙論的大規模計算ではそれぞれの原始星が最終的にどれだけ重くなるかまでは示せていない。つまり、超大質量星形成環境の多様性を反映して、その死後残る中間質量 BH がどのような質量分布に従うのか明らかにすることが次なる重要課題と言える。

本研究では宇宙論的原始銀河形成シミュレーション (Wise et al. 2019) で得られた原始星周辺の構造を解像した 3 次元輻射流体計算を行い、中心星質量の長時間進化を調べた。その結果、周星円盤は水素分子冷却により重力的に不安定になり、中心星へのガス降着率は激しく時間変動することがわかった。このとき、質量降着率が  $0.04 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  を下回る時間が中心星の KH 収縮時間より十分長い場合は、中心星からの輻射が強まり質量降着が大きく阻害されることがわかった。結果として、銀河中心へのガス流入史を反映して、中心星の質量は  $500$ - $10^4 M_{\odot}$  まで幅広く分布することがわかった。本発表では、この計算結果に基づいて原始銀河の統計的性質を考慮することで、初代星を起源として BH の質量分布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](#)

## X38a 機械学習を用いた宇宙論的 $N$ 体シミュレーションの補間

本間 慎一郎, 石山智明 (千葉大学)

宇宙の物質の 8 割以上はダークマターから構成される。初期密度揺らぎが重力によって成長してダークマターハローが形成し、その中でさまざまな天体が形成してきた。したがって、天体の形成や進化を理解するには、宇宙論的  $N$  体シミュレーションでハローの形成・進化過程を追うのが非常に強力である。このとき、世界有数のスーパーコンピュータを使った最先端のシミュレーションの出力データサイズは、2021 年現在、1 スナップショットあたり数十テラバイト以上にも及ぶことがある。したがって、十分な数のスナップショットを長期間維持するのは困難であり、データの時間分解能、もしくは質量分解能を犠牲にせざるを得ない。

本研究では機械学習を用いて、時刻間で高精度な補間が可能か検証している。既存の高分解能シミュレーションである Phi-4096 (Ishiyama et al. 2020) から銀河系サイズのホストハローに付随するサブハローを抽出し、その merger tree 上の情報を異なる時刻間で補間する多層ニューラルネットワークを構築した。低分解能化したデータをネットワークへの入力とし、元の高分解能のデータに対する誤差が小さい出力を得られるようネットワークをチューニングした。そして、補間精度を 3 次スプラインなどさまざまな補間手法と比較した。

本講演では、ネットワークの詳細を述べるとともに、サブハローの座標や速度の補間精度が 3 次スプラインなどよりも優れることを報告する。

[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](#)

## X39a 高分解能宇宙論的シミュレーションを用いた、ダークマター自己相互作用モデルの制限

蛭子俊大, 石山智明 (千葉大学), 林航平 (一関工業高等専門学校)

矮小銀河はサブハローと呼ばれるダークマターの局所密度が高い系に属し、その形成過程や進化の研究はダークマターの性質を理解するうえで重要であると考えられている。しかし、このような小スケールでは、従来の冷たいダークマター (CDM) モデルの予測と観測との間にいくつか矛盾点が存在する。例えば、観測から示唆されるハローの中心密度構造はコア構造を示すのに対し、CDM シミュレーションではカスプ構造が示唆される、カスプ-コア問題がある。それを解決するため、自己相互作用するダークマター (SIDM) モデルが提案されてきた。

本研究では、ハロー形成段階からダークマター自己相互作用を考慮した高分解能の宇宙論的  $N$  体シミュレーションを行い、現在の観測から自己相互作用の散乱断面積をどれくらい制限できるか調べた。シミュレーションは粒子数  $1024^3$ 、ボックスサイズ 8 Mpc/h を採用し、質量分解能は  $4.1 \times 10^4 M_{\odot}/h$  であり、これまでの SIDM シミュレーションの中でも広範囲かつ高分解能である。そして9個の銀河系サイズのハローに付随する矮小楕円体銀河サイズのサブハローの、それぞれの中心から 150 pc の密度を測定し、CDM および観測と比較した。

その結果、シミュレーションと観測が矛盾しない散乱断面積が、 $\sigma/m < 3 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  であると制限できた。近点距離が小さいサブハローほどホストハローからの潮汐が強くはたらく、中心密度の低いサブハローは壊されやすく、CDM では中心密度と近点距離に負の相関が見られるが、SIDM では顕著でなかった。CDM では生存しやすい中心密度の高いサブハローは、SIDM では自己相互作用の影響が強く、現在では密度が低くなる傾向にあるからである。これは、近点距離の小さい矮小楕円体銀河ほど、散乱断面積をより厳しく制限でき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](#)

## X40a 銀河合体による超低光度矮小銀河ハローの形成

垂水勇太 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学), Anna Frebel (MIT)

超低光度矮小銀河 (UFD) のような小さい銀河の表面輝度プロファイルは、急激に減少する指数関数で通常表される。しかし昨年末、Chiti らは Tucana II (Tuc II) の中心から約 1kpc 離れた位置に、Tuc II のメンバー星 Tuc2-305 を発見した [1]。観測された 19 個の星のうち 7 個が half-light radius の倍以上の距離にあり、表面輝度プロファイルは指数関数より大きく広がった分布を持つことがわかった。潮汐破壊ではこの星分布を再現することはできないため、別の起源が必要である。

この広がった分布の起源として、銀河合体説を提唱する。UFD はひとつのまま星を作り成長してきたと通常仮定されるが、それではこのように広がった分布を実現することができない。そこで、数千太陽質量程度の非常に小さな二つの銀河が合体し、その合体時にこのような分布が形成されたと考える。このシナリオを銀河形成シミュレーションコード AREPO を用いて調べた。3900 太陽質量の銀河と 7500 太陽質量の銀河の合体をシミュレートした結果、3900 太陽質量の銀河が潮汐破壊された。この破壊された銀河の星に加え、合体時にガスの圧縮で形成される星々によって、確かに Tuc II のような広がった星分布が再現された。従って、Tuc II はこのような原始銀河の合体により形成された UFD だと考えられる。

## References

[1] Chiti, A., et al. 2021, Nature Astronomy, Volume 5, p.392-400

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X41a 原始銀河団中銀河の $\text{Ly}\alpha \cdot \text{H}\alpha$ 放射とその星形成史

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学)

近年高赤方偏移 ( $z \geq 2$ ) にて、銀河団の前駆体と考えられている原始銀河団領域が見つかってきている。高赤方偏移の宇宙において特に高密度な領域であるため、宇宙の星形成密度進化に大きな寄与を与えると示唆されている。これらの領域は  $\text{Ly}\alpha$  emitter (LAE) や  $\text{H}\alpha$  emitter (HAE) などの密度過剰によって発見されている。高赤方偏移では LAE が高密度領域にあり、次第に大質量の HAE が高密度領域に生まれ LAE はその周囲に分布するようになると考えられている。

これらの銀河と原始銀河団との関係を明らかにするために、我々は、運動量フィードバックを考慮した超新星爆発モデルを取り入れた宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka により、zoom-in 手法を用いて原始銀河団形成の計算を行った。 $z = 0$  で  $10^{15} M_{\odot}$  に達する原始銀河団領域の全星形成率は  $z = 3$  で  $3000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$  に到達し、その中でも中心のコア領域では  $z \sim 2$  で原始銀河団全体の星形成の約半分を占めることを示した。この原始銀河団に対し多波長輻射輸送計算コード ART2 をポストプロセスで用いることで、 $\text{Ly}\alpha \cdot \text{H}\alpha$  放射強度を求め LAE と HAE の空間分布を調べた。化学進化ライブラリ CELib を用いて、II 型、Ia 型超新星爆発と AGB 星による金属生成を流体計算と同時に解くことで銀河の化学組成比進化も求めた。化学組成比は銀河の星形成史を反映するため、 $\text{Ly}\alpha$ 、 $\text{H}\alpha$  輝線強度と化学組成比の相関を調べ、銀河の星形成史を議論する。

[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](#)

## X42a AGN Jet Feedback Model for Galaxy Simulation

Abednego Wiliardy, Kentaro Nagamine (Osaka U.), Renyue Cen (Princeton U.)

Simulating the effect of AGN jet on cosmological-scale simulation has been a challenge for many years. Jets launched by a supermassive black hole (SMBH) in the galactic center are believed to quench the star formation in the galactic disk indirectly by heating up the galaxy halo through the ram pressure or stirring-up the circumgalactic medium (CGM). However, AGN jets tend to be ignored or oversimplified in cosmological simulation due to the difficulties of its implementation in Lagrangian-based codes which are typically used at such scale. In this research, we introduce a new method to treat the effect of AGN jet using SPH-based code GADGET3-Osaka. Here, we do not try to resolve the evolution of the jet, which is computationally expensive for large-scale simulations, but we attempt to simulate the evolution of jet cocoons and lobes instead. We solve the dynamics semi-analytically by balancing the jet thrust with the ram pressure of the CGM. The jet model is treated by the GHost particles which are gas (SPH) particles that host feedback information. Two types of GHosts are used here, i.e. the front GHost that represents the jet lobe, and the intermediate GHost that delivers feedback information from SMBH to the front GHost while distributing thermal energy along the path in proportion to the gas column density. In contrast to the intermediate GHost, the front GHost is actually moved at cocoon velocity exerting pressure on the CGM. Through this method, we are able to simulate collimated jet feedback that heats up the CGM and pushes away the gas producing outflow which eventually quenches the star formation by preventing gas from being recycled into the galactic disk.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X43a 多相アウトフローを考慮した超新星フィードバックモデルの構築

奥裕理 (大阪大学), 富田賢吾 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

銀河進化を理解するためには銀河と銀河間ガスの関係を理解することが重要である。銀河から銀河間ガスへの物質流出を担う銀河アウトフローは多相であることが知られており、近年では高分解能シミュレーションによって超新星爆発が駆動する多相アウトフローの性質が調べられている。高温相のガスは超新星爆発によって放出された金属を多く含んでおり、銀河から銀河間ガスへの金属流出を調べる上で重要である。しかし高温ガスの質量は小さいため、低分解能の銀河シミュレーションでは質量分解することができず、モデル化が必要である。

本研究では高分解能シミュレーションの先行研究の結果をもとに、高温アウトフロー形成を考慮した超新星フィードバックモデルを構築した。このモデルでは高温アウトフローの典型的温度  $5 \times 10^6$  K を再現するように超新星爆発の熱エネルギーを確率的に与える。このモデルを SPH 法の宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-OSAKA に実装し、孤立銀河シミュレーションを実行してアウトフローの性質を調べた。その結果、高温アウトフローの形成が確認できた。また、我々がこれまで開発してきた運動量フィードバックモデルと組み合わせることで、低温・大質量の相と高温・低質量の相から成る多相アウトフローが形成された。本講演ではモデルの概要と孤立銀河シミュレーションの結果を報告し、フィードバックモデルが銀河間ガスの金属汚染に与える影響について議論する。

[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](#)

## X44a 深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学)

銀河形成シミュレーションでは、 $N$  体/Smoothed particle hydrodynamics (SPH) 法や moving mesh 法/adaptive mesh refinement を用いて計算するが、現状のアルゴリズムでは、十分な並列化効率が達成できる並列度に限界がある。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と恒星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる  $N$  体/SPH 法による最高解像度のシミュレーションでも、 $10^8$  個程度の粒子で銀河を表しており、典型的な質量分解能は  $10^3 M_{\odot}$  程度に止まっている。

我々は、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて、個々の星まで分解した高解像度銀河形成シミュレーションの達成を目指している。しかし、一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) が、他の全ての粒子の時間積分に必要な演算・通信回数を数百倍に増大させ、現実的な時間内でのシミュレーション実行を不可能にしている。本研究では、演算・通信回数を減らすため、銀河内の時間刻みが短くなる領域 (超新星爆発など) を孤立系で計算する手法を試みている。そのためには、超新星爆発によるシェルが膨張し、時間刻みが短くなる領域、もしくは粒子を事前に予測する必要がある。そこで、将来の映像を予測する深層学習モデル Memory-In-Memory Network (Y. Wang et al. (2018)) を元に、シェル膨張に伴うガス密度変化を予測する深層学習モデルを開発した。このモデルでは、超新星爆発直前の 3 次元密度分布だけを入力として、シェル膨張による 3 次元密度変化が予測可能である。また、爆発後 0.2Myr の密度変化が予測可能であり、予測結果は 1 秒以内で出力される。本講演では、開発したモデルを用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測の精度・実行時間等について報告する。さらに、時間刻みの短い粒子を孤立系で計算する手法と、銀河形成シミュレーション高速化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](#)

## X45a 低質量ダークマターハローの成長過程について

数野優大, 森正夫, 大滝恒輝 (筑波大学)

Cold Dark Matter(CDM)を基礎とした天体形成論は、宇宙の大規模構造の観測的性質の多くを説明出来ることから、標準的な銀河形成モデルとして広く受け入れられている。CDM理論では、宇宙初期のCDMの密度揺らぎの成長に伴い、小さなダークマターハロー(subhalo)の合体が繰り返されることで大きなハローへと成長していく。これまで我々は、宇宙論的 $N$ 体シミュレーションのデータを用いて、天の川銀河程度( $10^{12}[M_{\odot}/h]$ )のハローに付随したsubhalo同士の衝突頻度について調べてきた。その結果、個々のsubhaloの進化に伴う質量変化が衝突頻度に大きな影響を与えていることが明らかになった。そこで本発表ではハローの成長過程について議論する。

先行研究としてWechsler et al. 2002では、宇宙論的 $N$ 体シミュレーションの結果から個々のハローの成長過程(mass accretion history)を示し、ハローのサイズが大きいほど成長が遅いことを示した。またmass accretion historyを定量的に示すシンプルなFitting関数を見つけ、ハローの成長度合いを決定付けるパラメータ(formation epoch)を定義した。しかしこの研究ではシミュレーションの質量分解能が $10^9[M_{\odot}/h]$ 程度であるため、矮小銀河を内包するようなsubhaloまでは議論されていない。

そこで低質量ハローの成長過程を調べる為に、Ishiyama et al. 2020で行われた質量分解能 $5 \times 10^3[M_{\odot}/h]$ の宇宙論的 $N$ 体シミュレーションの結果を用いて、Wechsler et al. 2002と同様の解析を行った。その結果、mass accretion historyは $10^{6-8}[M_{\odot}/h]$ の低質量ハローについても先行研究と同様の傾向を示した。発表ではconcentration parameterとformation epochの関係など、先行研究との比較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](#)

## X46a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：金属量依存性について

大滝恒輝, 森正夫 (筑波大学)

銀河形成の標準模型であるコールドダークマターによる階層的構造形成論では、銀河には恒星質量の約100倍以上のダークマターが存在していると考えられている。しかし、楕円銀河NGC1052に付随する衛星銀河NGC1052-DF2のダークマター質量が、理論的に予測される量の1/400程度しかないダークマター欠乏銀河であることが発表された(van Dokkum et al. 2018)。この銀河は大きいeffective半径( $> 1.5$  kpc)に対して、低い表面輝度( $> 24$  mag arcsec $^{-2}$ )を特徴とするUltra Diffuse Galaxy(UDG)に分類される。この銀河の発見に続いて、さらに7つのUDGと19個の矮小銀河がダークマター欠乏銀河として報告されている(Mancera Piña et al. 2019, Guo et al. 2020)。このような銀河が存在することは、コールドダークマターを基本とした現在の標準的銀河形成論では非常に困難であり、それらの形成シナリオを検討する必要がある。

我々はガスとダークマターの物理的性質の違いに着目し、ガスを含んだダークマターサブハロー同士の衝突によってダークマター欠乏銀河が形成される可能性を調査している。2021年春季年会では、一次元流体モデルによる解析からダークマター欠乏銀河やダークマターを多く含む銀河が形成される衝突速度の条件を見出し、三次元銀河形成シミュレーションからダークマター欠乏銀河が形成されることを示した。

本研究ではこれまでのモデルを発展させ、サブハローの金属量の違いによる効果を調査した。その結果、金属量 $Z = 10^{-3} Z_{\odot}$ のガスを含む質量 $10^9 M_{\odot}$ 同士のサブハロー衝突シミュレーションでは、 $Z = 0$ の衝突に比べ星形成効率が上昇し、ダークマター欠乏銀河の形成過程に影響を与えることがわかった。発表ではシミュレーション結果と観測結果を比較し、ダークマター欠乏銀河の形成可能性やその進化過程を詳細に議論する。

[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](#)

## X47a 局所銀河群外におけるミッシングサテライト問題への統計的検証

梨本真志 (国立天文台), 田中賢幸 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学), 林航平 (一関工業高等専門学校), 小宮山裕 (国立天文台)

宇宙項優勢な冷たい暗黒物質モデル ( $\Lambda$ CDM) は宇宙の大規模構造を説明する標準的なモデルとしての地位を確立している。一方で、 $\Lambda$ CDM に基づく銀河形成理論から期待される局所銀河群内の矮小銀河の数は観測結果と整合していないという問題がある。ミッシングサテライト問題として知られる矮小銀河数に関する理論と観測の不一致について、研究が進んでいるのは天の川銀河やアンドロメダ銀河といった局所銀河群内に対してのみである。そのため、局所銀河群外における観測的な検証が十分なされていない。

本研究では、Hyper Suprime-Cam データを用いて局所銀河群外にある近傍銀河に付随する矮小銀河を検出することで、ミッシングサテライト問題を統計的な観点から検証する。観測データから天体を検出し、それぞれの天体の明るさ、表面輝度、セルシクインデックス、軸比、FWHM といった物理量を測定する。それぞれの物理量に対してカット値を設けてサンプルを絞り込むことで、背景天体を取り除いた矮小銀河カタログを作成する。本講演では、矮小銀河を検出するまでの一連の手順について、その詳細を紹介する。検出した矮小銀河の光度関数や空間分布、物理量間の関係について、それらの統計的な傾向を示す。また、これらの観測結果とシミュレーションの比較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](#)

## X48a HSC と Gaia データを用いた銀河系ハローサブ構造の恒星種族と運動

鈴木善久, 千葉柁司 (東北大学), 林航平 (一関高専), 小宮山裕, 田中賢幸 (国立天文台), Scott G. Carlsten (プリンストン大学)

天の川銀河 (MW) の形成史を探るための重要な鍵として MW の恒星系ハロー内に存在する恒星ストリームや Overdensity などのサブ構造がある。サブ構造は MW ハローの形成に大きな影響を与えた過去の矮小銀河の合体・降着イベントを反映したものだと考えられている。サブ構造の研究が観測的側面から注目されるようになった 1 つの契機としては SDSS が挙げられる。SDSS で発見されたサブ構造の 1 つに Virgo Overdensity (VOD) がある。VOD は、いて座矮小銀河が MW に降着した際にその潮汐力を受けて引き伸ばされたことで形成された Sagittarius stream 内にある Overdensity であると考えられている。しかしその恒星種族の特徴や MW ハローの空間内でどのように運動しているのかに関しては未解明の部分が多い。

私たちはこれらを紐解くために、HSC と Gaia データを組み合わせた研究を行った。HSC と Gaia の測光データから、VOD の年齢や金属量などの恒星種族に対する制限を与えた。また、距離と固有運動の情報をもつ青色水平分枝星を用いて VOD の接線速度を求め、潮汐力の影響を受けた progenitor であるいて座矮小銀河の過去の軌道運動に対する制限を与えた。

[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](#)

## X49a Gaia データを用いた銀河系恒星ハローの広領域の化学動力学構造

佐藤元太, 千葉征司 (東北大学)

本研究は Gaia EDR3 の恒星データを用いて、天の川銀河 (MW) の化学動力学構造を解析した。具体的には、MW ハロー内の恒星の運動情報から各恒星の軌道を計算し、最尤法に基づいて軌道密度を足し合わせることで恒星ハローの密度分布を構築した。前回の年会時は密度分布のみを構築していたが、今回は加えて恒星の速度分布も導出した。恒星の軌道をベースに考えることで、観測により個々の恒星の運動情報を取得できる領域を超えて、恒星が到達しうる非常に広い領域内をカバーして化学動力学構造を構築することができるのである。

その結果再現された恒星ハローの密度分布からは、 $[\text{Fe}/\text{H}]$  が比較的高いハロー恒星の分布に、monoceros stream (Newberg et al. 2002) に似た構造が新たに確認された。これは Gaia DR2 をのデータを使用した前回時は見られなかった構造である。金属量が低い恒星ではその構造が薄弱であることから、その構造は、もともと扁平なディスク状の分布だったが、摂動によって厚みが増大したことにより発生した構造であることが示唆される。

一方で速度分布からは、銀河平面付近では金属量が比較的大きい恒星ほど、太陽と同方向に回転する傾向が強く、したがって金属量の高さと disk-like な運動の対応関係が裏付けられる結果となった。また太陽の位置から遠ざかるほど、回転速度は逆向きに大きくなる傾向があり、これはかつて MW に降着してきた大規模星団の落下方向を反映していると考えられる。ただし、極端に金属量が低い ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.2$ ) 恒星は、太陽から遠く離れた位置でも太陽と同じ方向に回転する結果となり、ハローの形成機構には別の起源もあることを示唆している。さらに、ハロー恒星の速度の非等方性  $\beta$  の分布を描くと、金属量に関わらず、遠方ほど  $\beta$  が 1 に近づく傾向にあり、非常に radial な軌道で MW に降着した衛星の存在が示唆される結果を得られた。

[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](#)

## X50a Detailed Analysis of the Resolved Kennicutt–Schmidt Law with COMING

竹内 努 (名古屋大/統数研), 依田 萌, Suchetha COORAY, 施 文 (名古屋大), 諸隈 佳菜 (東京大), 村岡 和幸 (大阪府立大), 俣徠 和夫 (北海道大), 久野 成夫, 中井 直正 (筑波大), 金子 紘之 (上越教育大), 宮本 祐介 (国立天文台), 小林 将人 (東北大), 他 COMING チーム

Kennicutt–Schmidt (K-S law), a log-linear relation between gas and star formation rate (SFR) surface densities in galaxies, is one of the most fundamental heuristic laws with respect to the evolution of galaxies. However, the physical mechanism behind it remains unsolved, mainly because it takes much time for a radio imaging, which is necessary for the estimation of gas surface densities, and then it is difficult to obtain homogeneous dataset for many galaxies.

We examined the K-S law resolved to 1 kpc scale for 104 nearby galaxies by using the data of COMING, a Nobeyama Radio Observatory 45 m Legacy Project. To make a linear fit data with significant noise as well as the intrinsic dispersion, we introduced a Gaussian mixture model with the expectation–maximization (EM) algorithm. Thanks to this method, we could make an anatomy of the spatially resolved K-S law as two completely distinct components: molecular gas having a slope unity, and atomic gas basically following the saturation column density vertically. This first result was reported as X09a at 2020 ASJ Autumnal Meeting. In this presentation, we present further results from a detailed analysis. We newly developed a method to judge the reliability of the parameter estimation for each object. In addition, we show a loose metallicity dependence of saturation column density of the atomic gas, which is consistent with a theoretical prediction.

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

## X51a Analysis of the spatially resolved SFR – M relation for DustPedia galaxies

施 文 (名古屋大), 竹内 努 (名古屋大/統数研), 河野 海 (名古屋大), Suchetha Cooray (名古屋大)

The majority of star-forming galaxies follow a relatively tight relation between stellar mass and star formation rate (SFR) in a wide range of redshifts. This is known as the star-forming galaxy main sequence (SFMS). Recent studies have shown that the SFR surface density ( $\Sigma$  SFR) traces the stellar mass surface density ( $\Sigma$  M) in kpc scales. This resolved SFMS indicates the connection between the global SFMS and the local processes.

In this work, we made an extensive analysis of the SFMS based on the DustPedia database (Davies et al. 2017), which provides access to multiwavelength imagery and photometry for hundreds of nearby galaxies. The spatially resolved SFR and mass is estimated through various approaches. (Querejeta et al. 2015, Wen et al. 2013, Bigiel et al. 2008, etc.)

Star formation is a complex process that involves multiple scales. We try to use statistical methods to analyze and classify the SFMS, but includes more characteristics of the galaxy (like the morphological statistics). We try identifying the star forming regions in galaxies with algorithms, and study their relative position inside the galaxy. We study the spaxel SFR and mass variance with respect to their distance to the galaxy center. We try to understand the quenching process for these galaxies.

In this talk, we present the 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](#)

## X52a Spatially resolved mass-metallicity relation of SDSS-MaNGA galaxy pairs

Kiyoaki Christopher Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University, Institute of Statistical Mathematics)

One way we can enrich our understanding of galaxy evolution is to investigate the relationship between physical properties. One such relationship is one between the stellar mass ( $M_*$ ) and gas phase metallicity of a galaxy, known as the mass-metallicity relation (MZR; Lequeux et al. 1979). This relationship indicates that the metallicity, in particular the oxygen abundance, increases with increasing stellar mass. Galaxy interactions and mergers are known to dilute the gas phase metallicity in central regions of galaxies. When two galaxies interact, lower metallicity gas associated with the interaction inflows towards the galaxy cores which lowers the metallicity in the nuclear region, and as a result interacting galaxies show an offset from the MZR. In this work, we studied the spatially resolved MZR of interacting galaxies from the Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA; Bundy et al. 2015) catalogue to study the effect of interactions on the MZR at a local scale. We find a bimodality in distribution for spaxels in the core regions. In particular, we find that the core regions for close galaxy pairs show an offset below the MZR curve found in previous studies such as Barrera-Ballesteros et al. (2016), whereas the core regions for more distant galaxy pairs are closer to the relation. We will discuss these results and other findings.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X53a 空間分解した近傍渦巻銀河におけるダスト減光量と星形成率、星質量関係

北條妙(名古屋大学), 竹内努(名古屋大学, 統数研)

星間空間には重元素の固体微粒子であるダストが存在する。ダストは星の放射を吸収・散乱し、吸収したエネルギーを遠赤外線として再放射する。そのため本来のスペクトルを得るためにはダストによる減光の補正を行わなければならない。また、減光によって紫外線が過小評価され星形成率の推定を困難にするため、星形成率推定には紫外線と赤外線の両方の観測を総合する必要がある。このように銀河における物理量を考える上でダスト減光量を考えることは非常に重要である。本研究ではダスト減光量について調べるために減光量—星形成率、減光量—星質量の関係に注目した。これまでの研究でそれぞれの銀河全体を積分したグローバルな関係が得られているが (Garn & Best 2010), 空間分解した関係は未だ明らかになっていない。銀河では場所ごとに環境が異なっているため、空間分解すると局所的な違いを考慮でき、幅広い値での関係が得られると期待される。

そこで、本研究では近傍銀河における kpc スケールでの減光量—星質量関係、減光量—星形成率関係について求めることを目的として、それぞれの関係に対しての空間依存性について調べた。近傍銀河のサンプルは DustPedia から選択した。使用する UV, IR バンドのデータが揃っていること、渦巻銀河であることを条件とした。解析手法として星形成率は CIGALE (Burgarella et al. 2005, Noll et al. 2009) の SED フィッティングを用いて行った。結果として、kpc スケールに空間分解した銀河における減光量—星質量関係と減光量—星形成率関係は共に、銀河全体を積分したグローバルな関係と同じ傾向を示すことがわかった。加えてこれらの結果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](#)

## X54a 機械学習を用いた銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響の評価

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よると、銀河同士の衝突・合体といった相互作用は銀河の進化において非常に重要な役割を果たしている。例えば、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イーブに期待されるが、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。これまでの我々の研究では 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、SDSS の DR14 に基づいた赤方偏移 0.2 未満の 9000 個の銀河について銀河同士の衝突・合体、相互作用を目で見て判別してきた。これによりおよそ、1800 個の衝突合体している銀河を発見し、活動銀河核を持つ割合が衝突合体している銀河の方が少し高いといった結果を得ている。

しかし、このサンプルは 1800 個ほどで、そのほとんどが post-merger である。そのため、どのような銀河同士の衝突や合体で銀河核の活動性が上げられるのかを見ようと細かく分けると、サンプル数が足りないため、統計の十分いい議論はできない。しかし、目で見て判別する方法は時間がかかるため、今後サンプルを増やす手段としては実践的ではない。

そこで、目で見ただけを教師サンプルとして Convolutional Neural Network (CNN) という方法で分類することを試みた。これによってこれまでより統計のいい評価を行うことができ、銀河同士の衝突・合体、相互作用の種類を細かく分けて議論することも可能となった。本講演では CNN による衝突・合体銀河判別の精度と、これらのサンプルについて活動銀河核を持つ割合、質量分布などを紹介する。また、衝突合体をより細かく分類分けし、衝突合体のどの段階で、またどのような銀河同士の衝突が銀河核の活動を上げるのかを議論し、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](#)

## X55a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning

Suchetha Cooray, Tsutomu T. Takeuchi, Shuntaro A. Yoshida, Kai T. Kono (Nagoya University)

Galaxy evolution is a complicated process that encompasses many physical properties in/around a galaxy (e.g., stellar mass, gas mass, star formation rates, star formation histories, environment). It is still challenging to describe the entangled processes from just the fundamental theory entirely. The studies using observed data have given us the many galaxy scaling laws (e.g., star formation main sequence, Tully-Fisher relation, Faber-Jackson relation, Kennicutt-Schmidt). However, current galaxy surveys provide hundreds of physical quantities for hundreds of millions of galaxies, and characterizing the intricate nature through simple scaling laws is undesirable. Thus, sophisticated multivariate analysis is necessary to explore the high dimensional feature space and build a unified picture of galaxy evolution. In this study, we extract a lower-dimensional manifold (galaxy manifold) from the higher-dimensional space of galaxy emissions by using the latest dimensionality reduction techniques. The discovered manifold can explain conventional evolutionary features such as star formation rates and stellar mass continuously, showing clear trends of galaxy evolution along the manifold. Lastly, the galaxy manifold can be parameterized to derive a fundamental set of equations for galaxies, enabling us to explore the evolution of these objects across cosmic time.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Y01a ふれあい天文学:11年目の挑戦 -参加者アンケートから分かること-

縣 秀彦, 藤田登起子 (国立天文台)

国立天文台の教育・アウトリーチ事業ふれあい天文学が11年目を迎えた2020年度も64名の国立天文台職員参加により実施された。コロナ禍の下、従来通り学校に研究者が直接伺う出前授業形式のほか、初めてZoom等を用いたオンラインでのリモート授業形式でも実施された。リモート授業では旅費が発生しないため、国外からの申し込みが可能となり、全国の小中学校69校のほか、海外日本人学校等の在外教育施設30校でも実施可能となった。この中には聾学校、特別支援学校、夜間中学も含まれる。海外は小・中学生合同のケースが多くすべてオンラインでの実施であった。国内でも小学校中学校が併設されている3校は小中合同で実施された。リモート授業形式を取り入れることとなり、従来の出前授業形式と比べ、参加者の理解度や満足度等に差が出ないかを調べるため、参加する児童生徒に直接、事後アンケート調査を実施した。授業実施後にウェブ・フォームまたは紙で回答する数項目の簡単な調査である。出前とリモートとの間で授業の楽しさの印象は、顕著な差はみられなかった。一方、また天文学者とふれあいたいと全体の9割の参加者が希望していることが分かった。ただし、授業が難しいと回答した参加者ほど希望しない傾向がみられた。自由記述の中には改善が可能なコメント等もあり、2021年度実施では改善策を講じる予定である。

[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](#)

## Y02a はやぶさ2プロジェクトにおける教育・広報・アウトリーチ活動

吉川真, Elizabeth Tasker, 細田聡史, 松岡萌, 武井悠人, 三柁裕也, 伊佐百加, 中澤暁, 津田雄一 (JAXA)

小惑星探査機「はやぶさ2」は、小惑星リュウグウから物質を持ち帰る小惑星サンプルリターンミッションであるが、6年間の太陽系空間での飛行を無事終えて、2020年12月に地球にカプセルを帰還させた。工学・科学の成果を多く挙げることができたが、プロジェクトでは教育・広報・アウトリーチにも力を入れて多くのことを行った。ここでは、プロジェクトとして行ってきたことをまとめたうえで、今後の方針について議論する。

はやぶさ2プロジェクトで行った広報・アウトリーチ活動としては、イベント的に行ったものと、継続的に行ったものがある。イベントとしては、探査機に一般の人の名前やメッセージを載せるキャンペーンや、小惑星の名称の募集、リュウグウ想像コンテストのようなものと、地球に接近したときに探査機やリュウグウを観測するキャンペーンなどを行った。継続的な活動としては、Webやツイッターでの情報発信の他、プロジェクトメンバーによる講演会を頻繁に行って、情報発信に務めた。また、重要な探査機運用の時には、リアルタイムでの情報発信も積極的に行った。マスコミ向けにもかなりの回数の記者説明会を行っている。

さらに、実際のデータについても、多くの人に使ってもらえるよう、軌道情報や形状モデルの公開も行ってきた。サイエンスデータについては、現在、公開する作業が進められているので、今後はサイエンスのデータについても多くの人に利用してもらうような工夫を行っていきたい。はやぶさ2は、ミッションが延長されて、別の小惑星に向かっている。今後も、科学や技術に広く親しんでもらえるような活動を行っていきたい。

[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](#)

## Y03a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE 参加者の属性

白田-佐藤功美子, 柴田純子, 亀谷和久, 田中賢幸, 小池美知太郎, 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・合体銀河の分類に市民が参加する「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE サイト (<https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp>) の公開から1年半以上経過した。2021年6月1日現在、81の国と地域より6635名が「市民天文学者」として登録している (うち、日本からは5277名)。銀河分類総数は150万を超え、分類結果を用いた科学解析も進みつつある (田中 et al. 2021年春季年会「天文データと科学の新しい潮流」企画セッション)。進捗状況については、当サイト NEWS 記事などで随時報告している。

参加者には登録時に1. 宇宙・天文との関わり方 (「より娯乐的」から「より学術的」を4段階で)、2. 宇宙・天文にかける時間 (「より短い」から「より長い」を4段階で)、3. 参加登録の理由 (モチベーションを選択肢の中から選ぶ) について初期調査を実施している。2021年6月1日の段階で、1000個以上銀河を分類している参加者を「活発層」と定義し、[日本国内/それ以外] × [活発層/それ以外] の4つのグループで宇宙・天文との関わり方とかける時間を調査したところ、日本国内の活発層218名のうち、より娯乐的・短時間の参加者が58%を占め、より学術的・長時間の19%を大きく上回った。このことにより、新しい層を開拓できている可能性が示唆される。さらに、活発層は国内外を問わず、それ以外の参加者に比べて天文学研究への貢献をモチベーションに挙げる割合が高いことがわかった。

本講演では、初期調査から見える参加者の属性に加え、2021年6月下旬から実施する参加者向けアンケートの結果に言及し、本プロジェクトの評価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](#)

## Y04a 「はやぶさ2」のメディアリレーション

生田ちさと (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)

小惑星探査機「はやぶさ2」は国内の認知率が90%を超える (JAXAによる調査) ほど、認知度の高いミッションである。社会的な関心の高さから、小惑星近傍でのタッチダウンやローバ分離などの特殊運用や地球近傍でのカプセル分離運用は、宇宙科学のアウトリーチを行う絶好のチャンスでもあった。同時に、発信する情報が不十分だとメディアや一般の人々から受け止められた場合には、説明責任を果たしていないとして、批判されるリスクもあった。本講演では、「はやぶさ2」の小惑星到着から地球帰還までのアウトリーチについて、マスメディアとソーシャルメディアでの反響を中心に報告する。

海外宇宙機関が行うアウトリーチとは違い、完成された動画やキャッチーな図版などの公開数は少なかった。一方で、頻繁に記者説明会が開催され、報道用資料は日・英で公開されるなど、マスメディアに対して「透明な」情報提供が行われた。小惑星近傍運用中の特殊運用時、報道用資料として使用できる写真・映像素材が抱負に準備され、提供された。

結果、国内外で多くの記事 (小惑星近傍運用期間での総記事件数は53000件以上) で取り上げられた。国別での記事件数は、日本が最多であったが、北米や欧州、中国でも多くの記事が掲載された。同じ記事が複数のニュースサイトに掲載されていることもわかった。そのため、ユニークな記事件数は、小惑星近傍運用時は約半分、地球帰還時は三分の一程度になる。Twitterのトラフィックも特殊運用時には一日一万件を優に超えた。特に帰還時は、ツイート数とリツイート数の合計が一日7万を超えた。ただし、このうち少なくとも約一万件は、トレンド入りするキーワードをつぶやくことで宣伝効果を高める広告用ツイートだったこともわかった。

[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](#)

## Y05a 物理・探究授業のための超小型衛星デモ機教材の構想

内山秀樹、町岳、能見公博（静岡大学）、今井一雅（高知工業高等専門学校）、渡辺謙仁（北海道大学）、松村雅文（香川大学）、信川正順（奈良教育大学）、野澤恵（茨城大学）

近年、開発・打ち上げが進む 10 cm 立方の超小型衛星 CubeSat は、これまでにない新しい宇宙教育を可能にしている。我々は初等・中等教育における CubeSat 利用の最大の利点を「実際に宇宙を回るとほぼ同じデモ機を、生徒達自身が手に取って教材とできる点」と捉えた。デモ機により生徒達は、“自分達の手の届かない” 科学技術の塊を感じる人工衛星を実際に“手に取り”、自身が学ぶ理科やプログラミングでその仕組みを理解し、更にそれを様々な課題解決に活用する経験を積める。デモ機は、国際的に見ても低い日本の高校生の理科への有用感を増す良い教材になる可能性がある。

人工衛星は様々な技術要素の集合であり、デモ機は高校物理で扱う様々な内容の実験を行うプラットフォームになり得る。高校の「物理基礎」「物理」でデモ機を使って、技術（宇宙工学）との関連を実感しつつ学習内容を定量的に実験で確認する。この物理授業での蓄積を元に、「理数探究」で生徒がデモ機を使った自由なミッション（測定）を実施する。こうした教育パッケージを構想し、現在デモ機教材と共に開発を進めている。

本構想の試行的な実践を、2020 年度に中高生を対象とした科学教室の形式で行った。Raspberry Pi 4 と欧州宇宙機関が開発した Sense HAT をデモ機の代替として使用した。物理・プログラミングを衛星・日常生活との関連を意識しつつ学び、その上で超小型衛星のミッションを中高生が自由に構想する内容とした。実践前後のアンケート結果により、プログラミングが日常生活に役立っているという受講者の意識を高められた事を確認した。

本講演では我々の構想と上記の試行的な実践について、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](#)

## Y06a 東京学芸大学の new 40cm 鏡と制御システムの開発 2

土橋一仁、西浦慎悟、富田飛翔、鈴木海哉、芹沢来渡、松井ひなた、佐藤悠、饗場智、ほか 東京学芸大学天文学グループ（東京学芸大学）

2021 年春の年会（川崎ほか、Y10b）で報告した通り、東京学芸大学の天文学研究室では新しく導入した 40cm 光学望遠鏡（以後、新 40cm 鏡）を本格的に運用するための各種開発・整備を行なっている。新 40cm 鏡は、約 3300 × 2500 画素をもつ高感度冷却 CCD カメラ（Finger Lakes Instrumentation 社製）と Johnson-Cousins システムに準拠したフィルター群（BVRC、Astrodon 社製）を装備しており、学生教育のほか、学術研究のための本格的な測光観測も行える仕様になっている。2021 年 6 月現在、CCD カメラの性能評価やドームフラット用のスクリーンの設置などの基礎的な開発・整備も進み、本格的な測光観測を開始するための準備が整いつつある。詳しい開発状況については、関連する講演（富田ほか、本年会）で報告する。

本講演では、新 40cm 鏡を利用した観測計画について述べる。まず、観測システムのチェックを兼ねて、観測し易いよく知られた天体に対するオーソドックスな観測を行う。具体的には、比較的明るい星団や変光星の観測を予定している。星団の観測については、メンバー星の HR 図を作成し、教材化も視野に入れて年齢の推定を行う。明るい散開星団については十分に遂行できると予想しているが、球状星団については年齢の推定に重要な暗い転向点まで検出できるか否かが鍵となる。変光星については、周期の短いアルゴル等の食変光星を想定している。これらの観測で得られるデータは、高校生や大学生が天文学の学習に使えるよう、教材化を図る。さらに、主に学術研究の目的で、星形成領域の若い星やメーザー源に対する観測も計画している。本講演では、新 40cm 鏡を用いた観測計画と一部の結果について、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](#)

## Y07a デジタル Diamond Mandala Matrix による宇宙に関する反転学習型オンライン授業の実践例と分析

青木成一郎 (京都情報大学院大学, 京大・理・附属天文台天文普及プロジェクト室), 小林信三 (京都情報大学院大学, CCC-TIES), 榎木隆彦 (京都情報大学院大学, グリーンカラープラネット), 土持ゲーリー法一, 岡本敏雄 (京都情報大学院大学)

京都情報大学院大学での反転学習型オンライン授業「次世代農業情報学」(全15回)(2020年度秋学期実施)の実践例と、その中の「宇宙と農業」(2回分)についての分析について報告する。本授業は、事前学習、リアルタイムオンライン授業(講義+議論)、事後学習からなり、事前学習及び事後学習には、協調学習型オンライン授業用ツールとして開発中のデジタル Diamond Mandala Matrix (DMM) アプリを用いた。DMMは、8つへ言葉数を制限したマインドマップのように使うことができ、それらの言葉を説明する文章記述欄も設けている。分析対象は、受講生が予習として事前学習でDMMへ入力したデータ(事前学習DMM)と復習として事後学習で入力したデータ(事後学習DMM)とし、KH Coderを用いてテキスト分析した。分析の結果、事前学習DMMと事後学習DMMで入力された言葉の間に、受講生全体での統計的な変化が見られた。それらの言葉は、事前学習DMMには現れずに事後学習DMMに現れたことと、リアルタイムオンライン授業での講義や議論の内容であることなどから、リアルタイムオンライン授業へ受講生が参加した結果として反映されたと理解される。本講演では、具体的な授業の実践例とテキスト分析の結果、及び分析結果が示すDMMアプリを用いた反転授業型オンライン授業の受講生の学修における有効性を示す。

[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](#)

## Y08a 動画配信プラットフォーム YouTube を用いた天文普及活動報告

萩野正興 (日本スペースガード協会), 齊藤昭則 (京都大), 宮良碧 (茨城大), 山田紗也, 大島優, 宮田ゆき乃, 田中智也, 高橋晴信, 内藤光希, 内藤将景, 影山侑汰 (明星大), 明星大学天文愛好会, ダジック・アース・チーム

我々はこれまでプロジェクターを使って、大型のバルーンに天体を投影し立体視させるダジック・アース手法を用いて全国各地で出前授業を行ってきた。また、その応用として身近なもの(スマートフォン、虫眼鏡、スチロール球など)を使って家庭でもダジック・アースが再現できる「おうちでダジック」という教材を開発し、天文啓発活動を行ってきた。この「おうちでダジック」では、天体物理学としての天文学だけでなく、レンズを組み合わせた鏡を用いたりして、虫眼鏡を屈折望遠鏡に見立てその仕組みや光軸調整やフォーカス合わせといった天文学の光学技術分野の理解向上としても利用できる。

しかし、2019年に始まった世界的なコロナ禍で出前授業ができなくなってしまった。そこで、テレワークやステイホームといったニューノーマルな生活形態に着目し、ユーザーの多い動画配信プラットフォーム YouTubeでの配信という形式で、天文学や地球物理学を広く多くの人々に知ってもらう活動を開始した。この動画作成には、多くの若者に見てもらうことを考えて大学生のアイデアを多く起用した。この事によって参加した学生の知的好奇心が刺激され、自ら進んで学び、行動できるようになった。

本講演では2020年度に行われた YouTube 配信の様相やその効果について報告する。また、オンライン動画配信における天文教育普及活動の今後の展望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](#)

## Y09a 国立天文台三鷹「オンライン定例観望会」の試みと今後の展望

桑田敦基, 鈴木雄大(東京大学), 石川直美, 日比野由美(国立天文台), 石塚典義(東京大学/国立天文台), 江良真結子(東京工業大学), 大島由佳, 本間航平(東京大学), 他国立天文台三鷹定例観望会スタッフ

国立天文台三鷹キャンパスでは、50センチ公開望遠鏡を用いた市民向けの定例観望会を行っている。1996年4月に始まり25年以上にわたって続いてきた定例観望会の運営の主力は、天文学を含む様々な分野を専攻する学生である。望遠鏡の操作だけでなく、観望天体に関する最新の研究成果を含めた解説、国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクトによるシミュレーションソフト「Mitaka」を用いた講話、さらに当日の受付や誘導など、運営のほとんどを学生が務め、学生の科学コミュニケーションの修行の場としてもこの定例観望会は位置付けられる。

しかし2020年2月、新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止のために定例観望会は中止を余儀なくされた。当初は感染予防対策を十分に講じた上での現地での再開を検討していたがそれも叶わず、オンライン定例観望会の企画に踏み切った。双方向性を担保しながらこれまでの定例観望会の特色を活かしたものにすべく、学生スタッフの有志が集まり議論を重ね、2020年8月、YouTubeライブでのオンライン定例観望会として再開させた。「Mitaka」を用いた講話や観望天体の解説、50センチ公開望遠鏡によるライブ映像配信を組み込んだオンライン定例観望会により、現地開催での定員を大幅に上回る視聴者数を獲得することができた。その後に緊急事態宣言が発令された際には、望遠鏡を操作するスタッフの夜間の外出を控えるため、これまで撮影されたアーカイブ映像を放映することによってオンライン定例観望会を継続させてきた。これまでに10回以上のオンライン観望会を開催し、視聴者からも高い評価を得ている。本講演では定例観望会の中止からオンラインでの再開に至る経緯とオンライン定例観望会の実施報告、さらに今後の展望を述べる。

[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](#)

## Y10a 自然科学研究機構野辺山展示室オンライン4D2Uシアター実施報告

林 満, 依田千津子, 井出秀美, 宮澤和彦, 衣笠健三(国立天文台野辺山宇宙電波観測所)

2021年3月に試験的に開催し、4月から月2,3回のペースで開催している自然科学研究機構野辺山展示室オンライン4D2Uシアターの実施報告を行う。

新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴い野辺山特別公開2020は、「今年はおうちで特別公開」というテーマでオンラインの開催となった(2020年8月29日)。自然科学研究機構野辺山展示室4D2Uシアターは4次元デジタル宇宙ビューワーmitakaを用いた解説(2D(非立体映像)、アナグリフ(立体映像)、サイドバイサイド(立体映像)の3形式)のYouTubeライブストリーム配信を行った。参考までに視聴回数は2Dが約1500、アナグリフが約500、サイドバイサイドが約250であった。

自然科学研究機構野辺山展示室は2020年3月より閉鎖となり、4次元デジタル宇宙シアターも休映となっていたが、Web会議システムZOOMを用いることで、上記に双方向性を持たせたオンライン4D2UシアターをNROホームページでモニターを募集し、2021年3月に試験的に開催した。モニターの評価も概ね良好であったため、4月以降も月に2,3回のペースでオンライン4D2Uシアターを開催している。

試験配信を含めて、九州、北海道から視聴されている方々もおり、コロナ禍が終息し、従来のスタイルで自然科学研究機構野辺山展示室に訪れた方々に対して公開を行うことができる様になった場合でも、並行して、双方向性のあるオンラインでの4D2Uシアターの公開も行うことは大変意義あるものと考えられる。

本講演ではオンライン上映を行うことで明らかになった問題とその対処法、今後の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](#)

## Y11c 東京学芸大学の新 40cm 鏡と制御システムの開発3

富田飛翔、土橋一仁、西浦慎悟、鈴木海哉、芹沢来渡（東京学芸大学）

現在、東京学芸大学の天文学研究室では新しく導入した 40cm 光学望遠鏡（以後、新 40cm 鏡）を本格的に運用するための各種開発・整備を行なっている。関連する講演（川崎ほか、2021 春季年会、Y10b；土橋ほか、本年会）で紹介した通り、同望遠鏡は約 3300 × 2500 画素をもつ高感度冷却 CCD カメラ（Finger Lakes Instrumentation 社製）と Johnson-Cousins システムに準拠したフィルター群（*BVRcIc*、Astrodon 社製）を装備しており、本格的な測光観測を行える仕様になっている。しかし、実際に観測をスタートするためには、CCD カメラや周辺機器等を整備する必要がある。本講演では、その整備状況について報告する。

CCD カメラに設置されたペルチェ素子は、CCD 素子の温度を周囲より 50 °C 冷却する能力をもっている。本格的な観測では、−30 ~ −20 °C で駆動させる予定である。16 ビットの AD 変換（飽和レベルは 65536）で −30 °C におけるバイアス電圧は 2100 カウント程度であり、暗電流はごく小さい。また、ほぼ飽和レベルまでのリニアリティは確認できている。様々な温度条件での感度や暗電流の安定性については、目下調査中である。CCD の感度むらを補正するためのフラットフィールドについては、半球状の天文ドームの内側に貼ったスクリーンに白熱電球（40–60W）の散乱光を照射したドームフラットと、薄明時のスカイフラットの比較に取り組んでいる。これらの開発・確認を行った後、システム変換係数の測定に取り組む予定である。新 40cm 鏡では、学校教育用のデータを取得することも目的としているため、惑星や月など明るい天体も撮像する。CCD の飽和を避けるため、これらの天体を観測する際には ND フィルターは必須であり、どの程度の濃度の ND フィルターが必要か現在検討中である。本講演では、上記に加え、雨滴センサーやドームとの連動システムの開発状況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](#)

## Y12c 外国語学部における天文学実習の取り組み

福江慧（京都産業大学）、福江翼（神戸市外国語大学）

外国語学部における授業科目において 2019 年度から天文実習を取り入れている。この講義では観測天文学について概観しながら、私たちにとって身近な天体である太陽を中心に実際に光学機器や計算機を用いた実習を行い、天体観測の基本的な手法を学ぶことで自然科学の理解を進めている。文系の学部生を主に対象としているため、理科の高度な知識は前提とせず、実験全体の流れを体験してもらうことで、基礎的な天体観測を実感して学べる授業を目指した。実習内容としては、(1) デジタルカメラを用いた太陽の写真撮影と、それを用いた太陽の活動についての考察、(2) 簡易分光器の作成と身近な光源を用いたスペクトルの勉強、(3) 日食観測のための観測計画の立案、などである。

2019 年度は授業のなかで実際に撮影などを行うことができた。一方で、2020 年度は感染症拡大のために多くの授業がオンラインとなった。本講義も対面での授業は困難となったため、どのように講義を実施するかが課題となった。そのため、学生と一緒に撮影や分光器を作ることはできなかったが、あらかじめ撮影した太陽の写真のデータなどを配布し、オフィスソフト上で作業が全て実施できるような課題を設定する等の対応を行い、実施することができた。

本発表では外国語学部におけるこれらの授業の取り組みの報告を行う。また、文系の学部における天文学教育のあり方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](#)

## Y13a Tomo-e Gozen Sky Atlas の公開

瀧田 怜, 酒向 重行, 大澤 亮, 紅山 仁, 高橋 英則, 近藤 莊平, 森 由貴, 青 木 勉 (東京大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

我々は東京大学木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen を用いて、毎晩約 7000 平方度の天域に対して 2 fps の動画サーベイ観測を行っている。動画データはリアルタイムで一次処理が行われ、機械学習モデルによる超新星等の突発天体や小惑星等の高速移動天体の検出が行われている。一方で、一次処理がなされた動画データを時間方向に圧縮した二次元画像データは、長期保存としてアーカイブされる。この処理済みの二次元画像を簡単に閲覧できるツールとして Tomo-e Gozen Sky Atlas を作成した。Sky Atlas はウェブブラウザ上の JavaScript で動作する Aladin Lite を利用しており、以下の URL から世界中の誰でも閲覧が可能である。 <https://tomoe.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/skyatlas/>

この Sky Atlas では Tomo-e Gozen の取得したデータを観測日毎に用意しており、ユーザーが好きな日付を選択してその晩に Tomo-e Gozen の観測したデータを表示することができる。毎晩のデータは翌日の昼ごろには閲覧が可能となっている。異なる観測日のデータが見られることで、超新星や変光星のような明るさの変化する天体や、惑星や彗星のように移動する天体の様子を窺うことができる。これらの変動する天体を探しやすくするために、超新星等の突発天体や惑星・小惑星・彗星の一部を画像上に表示する機能を用意した。特に惑星等の太陽系内天体は日々移動している様子がわかる。また星座を表示することで、空のどの方向を見ているのかも判別しやすくなっている。このように研究者でなくても楽しめるコンテンツとなっている。

[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](#)

## Y14a 光害の自動測定手法の開発と美星天文台における夜空の明るさの推移

伊藤亮介, 前野将太, 綾仁一哉 (美星天文台)

美星天文台を設置した旧美星町は、1989 年 11 月 22 日に全国で初めてとなる「光害防止条例」を制定し、町を挙げての星空観測環境の保全に努めている。夜空の明るさの測定は、光害の指標の一つであり、継続した観測が極めて重要である。夜空の明るさの測定には、様々な方法が提案されており、広角レンズを装着したデジタルカメラによる夜空の撮影、夜空の明るさを測定する専用機器である Unihedron 社製 SQM-L を用いた測定、望遠鏡へ CCD カメラを装着しての測定などがある。それぞれに長所・短所があるが、本講演では、CCD カメラで取得された画像に対して、夜空の明るさを推定するために構築した自動解析パイプラインと、その結果得られた 10 年以上にわたる美星町における夜空の明るさの測定結果について報告する。

望遠鏡と CCD カメラで得られた画像から、夜空の明るさを推定するためには、望遠鏡の指向位置や視野内のカタログ星の情報が必須である。開発したパイプライン中では、Astrometry.net を使用した WCS 貼り付け、UCAC-4 カタログを用いた撮像フィルターの推定、等級補正ゼロ点の推定、ランダム・アパーチャーによる限界等級の推定と夜空の明るさの推定を自動的に行う。本パイプラインは美星天文台 web サーバー上にも設置されており、様々な望遠鏡で取得された画像データに対し、夜空の明るさの測定を提供できるものとなっている。このパイプラインを用い、美星天文台において 2008 年から 2020 年までに撮像された全データ (計 111 夜, 10,919 枚) に対し、夜空の明るさの光度解析を行った。その結果、12 年間の間で有意な光度の変動は見られず、その典型的な明るさは  $V = 20.5 \text{ mag/arcsec}^2$  (AB system) と求まった。また、暗い場合で  $V = 21.7 \text{ mag/arcsec}^2$  まで到達し、 $21.0 \text{ mag/arcsec}^2$  より暗くなる夜の割合は、全体の約 5% 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](#)

## Y15a 天文シミュレーションソフト Mitaka のコマンド実行機能

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。

昨年リリースしたバージョン 1.6 および、今年 6 月にリリースした最新のバージョン (v1.7.0) 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 の動作の制御や各種設定をすることができるようになった。ひとまとまりのコマンド群を実行する「コマンドセット」、一連のコマンドセットを順次実行する「シーケンス」などの機能が追加され、これにより、Mitaka の状態の保存・読み込みや、プリセット、スクリーンメニュー、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り、ユーザー独自の番組もシーケンスとして作成することができるようになった。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](#)

## Y16a キトラ古墳・天文図／ダジック・アースの活用

土井 正治, 田中 佳奈 (アクトバル宇治), 伊藤 忠 (国営飛鳥歴史公園), 玉澤 春史 (京都市立芸術大学/京都大学), 小田木 洋子, 齊藤 昭則 (京都大学)

『特別史跡キトラ古墳』の石室天井には、世界最古の科学的な天文図が描かれており、2020 年日本天文遺産に認定された。ダジック・アースを用いて、天文図を天球として球体投影することで、視覚的な理解を促進できることを、2020 年秋期年会 (Y05a) で紹介した。その後、ダジック・アースを活用し、更なる検討を行った。

1. 天文図関連コンテンツ：まず、天文図・壁画のコンテンツを作成した。キトラ古墳施設で来館者に紹介したところ、壁画に描かれた星や星座への理解を深め、興味を高めてもらった。また、天文図を天球儀表示とし、星図シミュレーションソフトで作成した天球儀や中世ヨーロッパ及び江戸時代の天球儀と比較できるコンテンツを作成した。本コンテンツは、天文図の正確さ・不正確さや、地球の歳差運動による星の見え方の違いなど、天文学的観点から世界最古の天文図への理解を深めると考える。

2. 天文図早見盤 (仮称)：ダジック・アースで天文図を天球儀として再現すると、参加者から見える半球部分がある時、ある場所から見える星空を表している。このことから着想し、天文図に、内規と外規に接した地平線に相当する楕円を置き、この楕円を地平線枠として固定し、天の北極を中心に天文図を回転することで、天体の日周・年周運動が表現できるため、星座早見盤と同様な仕組みの天文図早見盤 (仮称) を考案した。本早見盤を工作イベント等で活用することで、大人だけでなく子供も、天文図への理解を深め、約 1400 年前に天文図を作成・使用していた人々に想いを馳せるなど、歴史的観点からの興味も高めることができる。

以上のような活用で、天文図への理解や興味を促進し、天文普及に繋がることが期待された。

[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](#)

## Y17a 戦前の緯度観測所に勤務した或る女性所員の生涯

馬場幸栄 (一橋大学)

国立天文台の前身組織のひとつである緯度観測所(岩手県水沢)は大正12年より女性を雇用していた。彼女たちはどのような経緯で緯度観測所に就職し、どのような業務を担当し、退職後にどのような人生を歩んだのだろうか。これまで天文学史において殆ど注目されてこなかった女性所員たちの実像を明らかにするため、戦前の緯度観測所に勤務した或る女性の生涯をご遺族への聴取調査、ご遺品、緯度観測所の写真・文献から紐解いてゆく。

タミ子は、大正7年に水沢で荷車を製造販売する商家・飯坂家の二女として生まれた。水沢の尋常小学校と尋常高等小学校に進学したタミ子は成績も良く、学校で表彰された。昭和7年春に緯度観測所所長・木村栄が「給仕」1名の推薦を同校に求めると校長はタミ子を推薦した。14歳で緯度観測所所員となったタミ子の配属先は「庶務課」だった。日給制で、お茶汲みなどの雑用から始めた。しかし、同じく尋常高等小学校卒ながらも数学者となることを目指し勉強を続けていた所員・石川栄助に触発され、タミ子も働きながら勉強を続けた。昭和8年には専門学校入学者試験検定の数学科と地理科に合格した。昭和9年には「緯度観測所計算事務助手」となり、月給を貰えるようになった。計算を間違えたことがなかったため同僚たちからは「計算の神様」と呼ばれた。昭和12年には「臨時雇」に昇格し、「気象課高層気象掛」での勤務を命じられた。そこでも計算が主な業務だった。昭和15年、22歳となったタミ子は緯度観測所を退職し、見合いをして水沢出身の軍人を婿養子に迎えた。まもなく夫は農林省に移り、タミ子は家事と育児に専念した。3人の子どものうち、長男と二女は教員となり、長女は教育委員会や検察庁に勤めた。タミ子は緯度観測所に勤務したことを生涯誇りとし、子どもたちによく当時の話をした。所長・木村栄や所員たちがタミ子に贈った書・絵画・辞典・手紙等は今も子どもたちが大切に保管している。

[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](#)

## Y18a 市民科学による「長野県は宇宙県」の近代天文学史100年の構築に向けてII

大西浩次(国立長野高専)、陶山徹(長野市立博物館)、大西拓一郎(国立国語研究所)、渡辺真由子(茅野市総合博物館)、早川尚志(名古屋大学)、野澤聡(獨協大学)、衣笠健三(国立天文台野辺山)、百瀬雅彦、宮地美由紀(塩尻星の会)、是枝敦子(きらきら)青木勉、小林尚人、森由貴(東大木曾観測所)、長野県星空継続観察WG、長野県天文文化研究会、「長野県は宇宙県」連絡協議会ほか

「長野県は宇宙県」の活動で作られてきたネットワークを生かして、近代の天文学・天文文化史を研究者や市民との協働作業で明らかにする市民科学プログラムを進めている。この「長野県は宇宙県」とは、「長野県がもつ宇宙に近い」という資産を生かし、県内外の研究施設・社会教育施設・市民天文同好会などと一緒に「地域振興、人材育成、観光、天体観測環境維持」に寄与する(松本宣言,2016)ことを掲げて行っている諸活動のことである。現在、2つのワーキンググループ(WG)が調査研究活動を行っている。

一つは、星空継続観察WGで、長野県内の天体観測環境の調査と長期モニターを行っている。この状況下で、2020年暮れより塩尻市内のホテルでサーチライトを点灯する事例が発生し、塩尻星の会を中心とした「長野県は宇宙県」の活動によって、長野県の条例に光害防止条項が追加されることになった(衣笠ほか, 今年会)。

もう一つは、「長野県は宇宙県」に至る天文学・天文文化史の調査を行う長野県天文文化研究会の活動である。「長野県は宇宙県」の活動の原点が、諏訪天文同好会が設立された1922年前後にあることが分かってきた(大西ほか,2021 春年会)。そこで、現在、諏訪天文同好会の設立当時の活動を集中的に調査している(陶山ほか, 今年会)。本発表では、このような市民科学の活動で、「長野県は宇宙県」の近代天文史100年を構築するための道筋を紹介する。

[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](#)

## Y19a 長野県における星空環境保護活動 ～光害防止に係る県条例改正に向けて～

衣笠健三(国立天文台野辺山), 百瀬雅彦, 宮地美由紀(塩尻星の会), 大西浩次(国立長野高専), 青木勉(東大木曾観測所), 陶山徹(長野市立博物館), ほか長野県星空継続観察ワーキンググループ

「長野県は宇宙県」のワーキンググループ(WG)の一つである長野県星空継続観察WGでは、2018年の環境省による星空継続観察の再開に合わせて、県内各地での夜空の暗さ測定に積極的に参加し、再開から6期連続で全国一の測定数を達成するなどの活発な活動を展開している。そうしたなかで、2020年12月4日より2021年2月28日まで塩尻市内のホテルより回転サーチライトが点灯された。松本盆地一帯で広くライトが見えることに対して、一般市民からも多くの苦情が出され、地域の新聞等でも大きく取り上げることとなった。この間、塩尻星の会を中心として、真っ先にこの問題について声を上げるとともに、市民への観望会と勉強会を開くなど、地域での光害防止についての機運を高めてきた。さらに、インターネットでの意見聴取を実施し、県へ要望書を提出した。その結果、3月の県議会において条例改正を示唆する知事答弁が行われることとなった。

「長野県は宇宙県」では、この後も塩尻星の会とともに、この機会を逃さず、これまでの星空保護に関する活動を継続しつつ、市民や行政に向けての星空保護における啓蒙活動を積極的に行うことにした。具体的には、3月に改訂された光害対策ガイドラインと国際ダークスカイ協会にて認定している「星空保護区」の把握と今後の方向性を決めるための勉強会を6月にメンバー内で実施した。そして、7月には一般市民を対象に、木曾町にて光害防止と「星空保護区」に関する公開ミーティングと講演会を予定している。これらは、県の光害防止に係る条例改正に向けた7月のパブリックコメント、9月議会、10月に予定された公布に対しての活動となる。本発表では、これらの活動状況とともに、今後に向けた展開について報告する。

[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](#)

## Y20a 長野県天文文化研究会の現状～諏訪天文同好会の多様な活動～

陶山徹(長野市立博物館), 渡辺真由子(茅野市八ヶ岳総合博物館), 大西浩次(国立長野高専), 大西拓一郎(国立国語研究所), 茅野勝彦(諏訪天文同好会), 早川尚志(名古屋大学), 衣笠健三(国立天文台野辺山), 青木勉(東京大学木曾観測所), 野澤聡(獨協大学), 宮地美由紀(塩尻星の会), 百瀬雅彦(塩尻星の会), 丸山卓哉(大町エネルギー博物館友の会フォーマルハウト), 長野県天文文化研究会メンバー

長野県内では、「長野県は宇宙県」をキーワードに、宇宙を教育や観光へ活かす活動を進めてきた。天文文化研究会は、この宇宙県の活動におけるワーキンググループの一つである。現在、研究会では、日本で最初期につくられた地方天文同好会である、諏訪天文同好会について調査研究を進めている。

諏訪天文同好会は、今から約100年前の1922年に発足した。発足の原因の一つとして、当時の天文同好会(現東亜天文学会)の会長であった山本一清が長野県で講演会を行ったことが挙げられる。この講演会の後、当時、諏訪中学校の教師であった三澤勝衛などを中心に天文同好会諏訪支部が作られる。この同好会は大人向けであったため、子どもたちが入りやすい会として、諏訪天文同好会が発足する。諏訪天文同好会は、とかげ座新星を発見した五味一明や東京天文台台長となった古畑正明など様々な人材を輩出することとなる。諏訪天文同好会は、変光星の観測を多数行い、天文月報で報告するなど、精力的な天文活動を行っている。また、霧ヶ峰におけるビーナスラインの反対運動や日本星空を守る会の設立など自然保護運動にも行っており、非常に注目すべき点がある。本講演では、この諏訪天文同好会の活動内容や後世に及ぼした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](#)

## Y21a 「ジャパンサーチ」の天文教育普及研究利用

玉澤春史 (京都大学/京都市立芸術大学)

日本国内の様々なデジタルアーカイブを横断的に検索する「ジャパンサーチ」が2020年に正式リリースとなり、各データベース、各施設のサイトで検索していた状況から検索がより容易になった。また、コンテンツの提供側にとっても自前コンテンツへのアクセスの増加が期待される。天文分野に関する資史料も公開されており、画像使用の確認や複数の施設で所蔵されている資料の比較などが容易になった。おりしも調査に関してもリモートによる対応が必要な状況が重なり、今後も連携および利用の重要性は増していく。天文に関する史料を手元で見ることが容易になる点は研究だけでなく教育の場面でも有用であり、画像資料を実際に見ることにより記された当時の認識がどうであったかをより理解しやすくさせたり、史料の画像がどこの施設のものであったかを確認してもらうなど、提供側・享受側双方にとって有益である。天文学の教育を受ける意義の中にも世界観・宇宙観の形成を知ることは固有の意義として指摘されているが（日本学術会議「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準物理学・天文学分野」など）情報元が信頼でき、手元での資料閲覧がより容易になるメタデータベースの利用はこの目的に帰すると考えられる。本講演では実際の利用例も紹介しつつ今後の可能性を探る。

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

**【2021 年春季年会講演取消一覧】**

P208a 超低光度前主系列星 J162656.43-243301.5 周囲の transition disk の ALMA 観測 II  
杉谷朱泉（鹿児島大学）

講演者索引  
(50音順)

## 【A】 – 【Z】

Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Bakx Tom).....	X06a
Ignacio Botella Lasaga (Botella Lasaga Ignacio).....	S15a
Denis Pavel Cabezas (Cabezas Denis Pavel).....	M32a
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	V124b
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	X55a
Fumi Egusa (Egusa Fumi).....	R09a
Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro).....	V101a
Hadasch, Daniela (Hadasch Daniela).....	W67a
HAMID HAMIDANI (HAMIDANI HAMID).....	W65a
Tilman Hartwig (Hartwig Tilman).....	P106a
Tilman Hartwig (Hartwig Tilman).....	P107c
Tilman Hartwig (Hartwig Tilman).....	S12b
Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo).....	P112a
Wanqiu He (He Wanqiu).....	V224b
Hanae Inami (Inami Hanae).....	Z108r
Yeongmin Kang (Kang Yeongmin).....	M16b
Yoshiaki Kato (Kato Yoshiaki).....	W16a
KOHNO Kotaro (Kohno Kotaro).....	X09b
John Livingston (Livingston John).....	P327a
Daniel Mazin (Mazin Daniel).....	S03a
Nadia M. Murillo (Murillo Nadia M.).....	P127a
Kiyooki Christopher Omori (Omori Kiyooki).....	X52a
Janek PFLUGRADT (PFLUGRADT Janek).....	S35a
Nirmit Deepak Sakre (Sakre Nirmit Deepak).....	P108a
Wenlei Shan (Shan Wenlei).....	V102a
Toshikazu Shigeyama (Shigeyama Toshikazu).....	W42c
Marcel C. Strzys (Strzys Marcel C.).....	Q16a
Tomoko Suzuki (Suzuki Tomoko).....	X05a
Alessandro A. Trani (Trani Alessandro).....	W22a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	R12b
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	R22a
Bovornpratach Vijarnwannaluk (Vijarnwannaluk Bovornpratch).....	S38a
Long Wang (Wang Long).....	W23a
Shijie Wang (Wang Shijie).....	P212a
Abednego Wiliardy (Wiliardy Abednego).....	X42a
Yi Yang (Yang Yi).....	P210a
Seokhyun Yoo (Yoo Seokhyun).....	S39a

Sarolta Zahorecz (Zahorecz Sarolta).....	P120a
Shaoshan Zeng (Zeng Shaoshan).....	Q25a
Bo Zhang (Zhang Bo).....	P201a
Yu Zhou (Zhou Yu).....	Q19a

## 【あ】

青木成一郎 (あおき せいいちろう).....	Y07a
青木和光 (あおき わこう).....	N23a
青木和光 (あおき わこう).....	V226b
青山尚平 (あおやま しょうへい).....	X25a
青山雄彦 (あおやま ゆうひこ).....	P318a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y01a
浅田喜久 (あさだ よしひさ).....	X23a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	W13b
安部大晟 (あべ だいせい).....	P146b
阿部祐大 (あべ ゆうだい).....	U10b
甘田溪 (あまだ けい).....	N18a
天野雄輝 (あまの ゆうき).....	Q05a
有馬海里 (ありま かいり).....	V104a
有松亘 (ありまつ こう).....	P321a
有賀麻貴 (あるが まき).....	Q13a
安藤誠 (あんどう まこと).....	X33a
安藤梨花 (あんどう りか).....	U08a
安福千貴 (あんぷく かずき).....	R16a

## 【い】

飯島陽久 (いいじま はるひさ).....	M12b
飯島陽久 (いいじま はるひさ).....	M36a
飯田佑輔 (いいだ ゆうすけ).....	V202a
飯野孝浩 (いいの たかひろ).....	P305a
伊王野大介 (いおの だいすけ).....	V107a
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	S04a
幾田佳 (いくた かい).....	P320a
生田ちさと (いくた ちさと).....	Y04a
石井希実 (いしい のぞみ).....	X02a
石神瞬 (いしがみ しゅん).....	M15b
石崎欣尚 (いしさき よしたか).....	V302a
石崎渉 (いしざき わたる).....	W63a

石本梨花子(いしもと りかこ).....	X19a
石山智明(いしやま ともあき).....	X39a
泉拓磨(いずみ たくま).....	X01a
泉拓磨(いずみ たくま).....	Z114b
磯部優樹(いそべ ゆうき).....	X17a
一戸悠人(いちのへ ゆうと).....	V308a
市橋正裕(いちはし まさひろ).....	Q01a
一本潔(いちもと きよし).....	M30a
伊藤慧(いとう けい).....	X29a
伊藤博士(いとう ひろし).....	M23a
伊藤裕貴(いとう ひろたか).....	W62a
伊藤亮介(いとう りょうすけ).....	Y14a
稲熊穂乃里(いなぐま ほのり).....	W27b
稲吉恒平(いなよし こうへい).....	X36a
井上昭雄(いのうえ あきお).....	X20a
井上壮大(いのうえ あきひろ).....	W57a
井上茂樹(いのうえ しげき).....	R17a
井上進(いのうえ すすむ).....	Q21a
井上進(いのうえ すすむ).....	Z107r
井上一(いのうえ はじめ).....	S09a
今泉瑛介(いまいずみ えいすけ).....	V251c
今枝佑輔(いまえだ ゆうすけ).....	P136a
今里郁弥(いまざと ふみや).....	W09a
今澤遼(いまざわ りょう).....	S27a
今田大皓(いまだ ひろあき).....	Z119a
今西昌俊(いまにし まさとし).....	S17a
岩井一正(いわい かずまさ).....	M48a
岩田季也(いわた としや).....	S26a
岩本昌倫(いわもと まさのり).....	W52a

## 【う】

上田周太朗(うえだ しゅうたろう).....	T04a
上田翔汰(うえだ しょうた).....	Q29a
植田高啓(うえだ たかひろ).....	P213a
上田将暉(うえだ まさき).....	Q18a
氏原秀樹(うじはら ひでき).....	V129a
臼田知史(うすだ とものり).....	V214a
臼田-佐藤功美子(うすだ-さとう くみこ).....	Y03a
内野友樹(うちの ともき).....	V312b

内山慶祐(うちやま けいすけ).....	V328a
内山久和(うちやま ひさかず).....	X30a
内山秀樹(うちやま ひでき).....	Y05a
宇野孔起(うの こうき).....	N04a
宇野慎介(うの しんすけ).....	V123b
宇野慎介(うの しんすけ).....	V241a
梅田滉也(うめだ ひろや).....	X16a
梅谷翼(うめたに つばさ).....	P309b
梅本智文(うめもと ともふみ).....	Z110a
浦郷陸(うらごう りく).....	N25a
海野真輝(うんの まさき).....	P202a

## 【え】

江副祐一郎(えぞえ ゆういちろう).....	V319a
榎木谷海(えのきだに うみ).....	X07a
榎谷玲依(えのきや れい).....	R03a
海老原大路(えびはら ひろみち).....	V212b
遠藤いずみ(えんどう いずみ).....	Q22a

## 【お】

大川将勢(おおかわ まさなり).....	P141a
大木平(おおぎ たいら).....	X35a
大栗真宗(おおぐり まさむね).....	V217a
大河内雄志(おおこうち ゆうじ).....	U07a
大小田結貴(おおこだ ゆき).....	P135a
大島泰(おおしま たい).....	Z121a
大城勇憲(おおしろ ゆうけん).....	Q03a
大田尚享(おおた なおゆき).....	V323b
大滝恒輝(おおたき こうき).....	X46a
大津天斗(おおつ たかと).....	M45a
大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....	P308b
大西浩次(おおにし こうじ).....	Y18a
大沼伊織(おおぬま いおり).....	M07a
大野有紀(おおの ゆき).....	Q24a
大橋聡史(おおはし さとし).....	P132a
大平泰広(おおひら やすひろ).....	V246b
大前陸人(おおまえ りくと).....	R19a
大間々知輝(おおまま ともき).....	W10a

大宮正士（おおみや まさし）.....V205a  
 大宮悠希（おおみや ゆうき）.....T03a  
 大村匠（おおむら たくみ）.....T05a  
 大家寛（おおや ひろし）.....W25a  
 大屋瑠子（おおや ようこ）.....P134a  
 尾形絵梨花（おがた えりか）.....W14b  
 小形美沙（おがた みさ）.....N13a  
 小上樹（おがみ いつき）.....R14a  
 岡本幸平（おかもと こうへい）.....M21a  
 岡本豊（おかもと ゆたか）.....M27a  
 小川拓未（おがわ たくみ）.....W15c  
 奥裕理（おく ゆうり）.....X43a  
 尾崎忍夫（おざき しのぶ）.....V215a  
 押野翔一（おしの しょういち）.....V236a  
 小高裕和（おだか ひろかず）.....S05a  
 尾中敬（おなか たかし）.....P124a  
 小野智弘（おの ともひろ）.....P211a  
 小野寺仁人（おのでら まさと）.....X27a  
 小原脩平（おばら しゅうへい）.....W46a  
 小山貴裕（おやま たかひろ）.....Q23a

## 【か】

柿内健佑（かきうち けんすけ）.....Q31a  
 格和純（かくわ じゅん）.....M19c  
 柏野大地（かしの だいち）.....X32a  
 柏木頼我（かしわぎ らいが）.....P115b  
 柏倉一斗（かしわくら かずと）.....V311b  
 数野優大（かずの ゆうだい）.....X45a  
 勝川行雄（かつかわ ゆきお）.....V201a  
 加藤恒彦（かとう つねひこ）.....Q10b  
 加藤恒彦（かとう つねひこ）.....Y15a  
 金川和弘（かながわ かずひろ）.....P214a  
 金子大輔（かねこ だいすけ）.....V125a  
 金子岳史（かねこ たかふみ）.....M03a  
 金子寛明（かねこ ひろあき）.....P221c  
 金子紘之（かねこ ひろゆき）.....R11a  
 金子美由起（かねこ みゆき）.....Q33a  
 亀野誠二（かめの せいじ）.....S18a  
 亀谷収（かめや おさむ）.....V130a

鴨川航（かもがわ わたる）.....V310b  
 榎木大修（かやのき たいしゅう）.....S29a  
 河合広樹（かわい ひろき）.....M25a  
 川上碧（かわかみ あおい）.....P307b  
 川下紗奈（かわした さな）.....V111b  
 川島朋尚（かわしま ともひさ）.....S02a  
 川島朋尚（かわしま ともひさ）.....S10b  
 川田七海（かわた ななみ）.....M24a  
 川面洋平（かわづら ようへい）.....W51a  
 川中宣太（かわなか のりた）.....S11b  
 川野元聡（かわのもと さとし）.....V222c  
 川端弘治（かわばた こうじ）.....V242b  
 川畑佑典（かわばた ゆうすけ）.....M31a  
 河原創（かわはら はじめ）.....P319a  
 川邊良平（かわべ りょうへい）.....P209a

## 【き】

木坂将大（きさか しょうた）.....S30a  
 北口慶太（きたぐち けいた）.....P147b  
 北島慎之典（きたじま しんのすけ）.....M09b  
 北島正隼（きたじま まさとし）.....V316a  
 城戸未宇（きど みゆう）.....P133a  
 衣笠健三（きぬがさ けんぞう）.....Y19a  
 紀基樹（きの もとき）.....S32a  
 木村和貴（きむら かずたか）.....P104a  
 木村成生（きむら しげお）.....W01a  
 木村真博（きむら ただひろ）.....P328a  
 桐川凜太郎（きりかわ りんたろう）.....P311a

## 【く】

櫛引洸佑（くしびき こうすけ）.....V233a  
 具島侑也（ぐしま ゆうや）.....U20a  
 工藤祐己（くどう ゆうき）.....S16a  
 國友正信（くにとも まさのぶ）.....M20a  
 国吉秀鷹（くによし ひでたか）.....M39a  
 久野成夫（くの なりお）.....Z103a  
 熊本淳（くまもと じゅん）.....W24a  
 栗原明稀（くりはら みき）.....W06a

黒崎健二(くろさき けんじ).....P303a  
 桑田敦基(くわた あつき).....Y09a  
 桑村進(くわむら すすむ).....V252c

## 【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....W03a  
 小出美香(こいで みか).....W02a  
 黄天鋭(こう たかとし).....W34a  
 荒神歩己(こうじん あゆみ).....W43a  
 郷田直輝(ごうだ なおてる).....V203a  
 河野孝太郎(こうの こうたろう).....Z101a  
 古賀駿大(こが しゅんた).....P145a  
 古賀柚希(こが ゆずき).....V244b  
 小久保充(こくぼ みつる).....S37a  
 越田進太郎(こしだ しんたろう).....V223b  
 小嶋崇文(こじま たかふみ).....V103a  
 小嶋崇文(こじま たかふみ).....Z118r  
 小嶋康史(こじま やすふみ).....W56a  
 後藤初音(ごとう はつね).....V331a  
 小西亜侑(こにし あゆ).....P122a  
 小西諒太郎(こにし りょうたろう).....R04a  
 小林宇海(こばやし うみ).....X54a  
 小林浩平(こばやし こうへい).....W07a  
 小林秀行(こばやし ひでゆき).....V131a  
 小林秀行(こばやし ひでゆき).....V132b  
 小林浩(こばやし ひろし).....P317a  
 小林将人(こばやし まさと).....P110a  
 小林雄大(こばやし ゆうだい).....P222c  
 小堀しづ(こぼり しづ).....U21a  
 駒木彩乃(こまき あやの).....P205a  
 小松耀人(こまつ あきと).....M06a  
 小湊菜央(こみなと なお).....V303a  
 小麦真也(こむぎ しんや).....S33a  
 近藤依央菜(こんどう いおな).....P313a  
 近藤克(こんどう かつし).....P216a  
 近藤芳穂(こんどう かほ).....M14b  
 近藤翼(こんどう つばさ).....V213b  
 近藤智也(こんどう ともや).....V230a

## 【さ】

雑賀恵理(さいが えり).....P131a  
 佐伯優(さいき ゆう).....P129a  
 齋藤晟(さいとう せい).....N07a  
 斎藤俊貴(さいとう としき).....S24a  
 斎藤智樹(さいとう ともき).....V249b  
 坂井謙斗(さかい けんとう).....W29a  
 坂井了(さかい りょう).....V106a  
 坂尾太郎(さかお たろう).....V326a  
 坂本陽菜(さかもと ひな).....U16a  
 桜井隆(さくらい たかし).....M46a  
 櫻井祐也(さくらい ゆうや).....P144a  
 酒見はる香(さけみ はるか).....W50a  
 佐々木俊輔(ささき しゅんすけ).....N03a  
 定成 健児エリック(さだなり けんじえりつく).....P105a  
 佐藤元太(さとう げんた).....X49a  
 佐藤浩介(さとう こうすけ).....V324a  
 佐藤寿紀(さとう としき).....N08a  
 佐藤佑樹(さとう ゆうき).....P312a  
 佐野栄俊(さの ひでとし).....Q08a  
 澤上拳明(さわがみ けんめい).....S07a  
 澤田真理(さわだ まこと).....Q09a  
 澤田涼(さわだ りょう).....N10a

## 【し】

施文(し ぶん).....X51a  
 鹿内みのり(しかうち みのり).....W19a  
 茂山俊和(しげやま としかず).....N15a  
 柴崎清登(しばさき きよと).....M50a  
 柴田真晃(しばた まさあき).....W39b  
 澁谷隆俊(しぶや たかとし).....X26a  
 島尻芳人(しまじり よしと).....Z116a  
 鳶田遼太(しまだ りょうた).....M02a  
 清水一揮(しみず かずき).....R07a  
 清水利憲(しみず としのり).....P314a  
 清水敏文(しみず としふみ).....M40a  
 下条圭美(しもじょう ますみ).....M41a  
 霜田治朗(しもだ じろう).....Q36a

庄田宗人(しょうだ むねひと).....P322a  
 白崎裕治(しらさき ゆうじ).....V227b  
 白戸春日(しらと はるひ).....M33a

### 【す】

末岡 耕平(すえおか こうへい).....V307a  
 菅原充祥(すがわら みさき).....T06a  
 杉浦圭祐(すぎうら けいすけ).....P302a  
 杉田聡司(すぎた さとし).....V329a  
 杉山素直(すぎやま すなお).....U05a  
 鈴木昭宏(すずき あきひろ).....N06a  
 鈴木開斗(すずき かいと).....W45a  
 鈴木大誠(すずき たいせい).....P119a  
 鈴木那梨(すずき なり).....Q07a  
 鈴木寛大(すずき ひろまさ).....Q17a  
 鈴木善久(すずき よしひさ).....X48a  
 角谷健斗(すみや けんと).....U18a  
 陶山徹(すやま とおる).....Y20a  
 諏訪雄大(すわ ゆうだい).....N12a

### 【せ】

盛顯捷(せい けんしょう).....V332a  
 清田力(せいだ りき).....V330a  
 清野光輝(せいの こうき).....W12b

### 【た】

高石大輔(たかいし だいすけ).....P218b  
 高倉隼人(たかくら はやと).....V114a  
 高取沙悠理(たかとり さゆり).....V127a  
 高橋和也(たかはし かずや).....W66a  
 高橋尚人(たかはし なおと).....W40b  
 高橋英則(たかはし ひでのり).....V229a  
 高橋真聡(たかはし まさあき).....S25a  
 高橋幹弥(たかはし みきや).....W04a  
 高山正輝(たかやま まさき).....N27a  
 田川寛通(たがわ ひろみち).....W21a  
 瀧川歩(たきがわ あゆむ).....V325a

瀧田怜(たきた さとし).....Y13a  
 田口健太(たぐち けんた).....N19a  
 武井勇樹(たけい ゆうき).....N09a  
 竹内努(たけうち つとむ).....X50a  
 武尾舞(たけお まい).....W35a  
 竹川俊也(たけかわ しゅんや).....Z111a  
 竹腰達哉(たけこし たつや).....V121a  
 武田朋志(たけだ ともし).....V320a  
 田嶋裕太(たしま ゆうた).....R20a  
 田代寛之(たしろ ひろゆき).....U14a  
 但木謙一(ただき けんいち).....Z104r  
 立原研悟(たちはら けんご).....Q26a  
 立川崇之(たてかわ たかゆき).....R23c  
 田中賢(たなか さとし).....U02a  
 田中匠(たなか たくみ).....X34a  
 田中賢幸(たなか まさゆき).....V220a  
 田中優貴子(たなか ゆきこ).....Q06a  
 谷川衝(たにかわ あたる).....N17a  
 谷口暁星(たにぐち あきお).....Z120r  
 谷口琴美(たにぐち ことみ).....P125a  
 谷口大輔(たにぐち だいすけ).....N26a  
 谷村英樹(たにむら ひでき).....U17a  
 谷本敦(たにもと あつし).....S06a  
 玉川徹(たまがわ とおる).....V306a  
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y21a  
 田村直之(たむら なおゆき).....V219a  
 田村陽一(たむら よういち).....Z102a  
 垂水勇太(たるみ ゆうた).....X40a  
 樽家篤史(たるや あつし).....U01a  
 丹波翼(たんば つばさ).....W32a

### 【ち】

千秋元(ちあき げん).....P102a  
 知念翼(ちねん つばさ).....V133b  
 茅根裕司(ちのね ゆうじ).....U19a  
 鄭昇明(ちよん すんみょん).....P101a

## 【つ】

塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....	P203a
津久井遼(つくい りょう).....	V245b
柘植紀節(つげ きせつ).....	R13a
辻直美(つじ なおみ).....	Q15a
土岡智也(つちおか ともや).....	Q12a
堤大陸(つつみ だいち).....	Q27a
角町駿(つのまち しゅん).....	V305a
坪野公夫(つぼの きみお).....	W44a

## 【て】

鄭祥子(てい あきこ).....	M37a
鄭祥子(てい あきこ).....	V211b
出町史夏(でまち ふみか).....	P123a
寺内健太(てらうち けんた).....	W68a
寺尾航暉(てらお こうき).....	V216a

## 【と】

土井正治(どい まさはる).....	Y16a
堂谷忠靖(どうたに ただやす).....	V112a
徳田一起(とくだ かずき).....	P111a
徳野鷹人(とくの たかと).....	N29a
鳥羽儀樹(とば よしき).....	S13c
鳥羽儀樹(とば よしき).....	S36a
土橋一仁(どばし かずひと).....	Y06a
土肥明(どひ あきら).....	W30a
富田沙羅(とみた さら).....	W64a
富田飛翔(とみた つばさ).....	Y11c
富田洋(とみだ ひろし).....	V304a
富永愛侑(とみなが まゆ).....	W31a
富永遼佑(とみなが りょうすけ).....	P215a
豊内大輔(とようち だいすけ).....	X37a

## 【な】

永井洋(ながい ひろし).....	S20a
中川友進(なかがわ ゆうじん).....	W54a

仲里佑利奈(なかざと ゆりな).....	P113b
長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....	V327a
長沢真樹子(ながさわ まきこ).....	P316a
中島拓(なかじま たく).....	V116a
永田伸一(ながた しんいち).....	V248b
仲谷峻平(なかたに りょうへい).....	P206a
長沼桐葉(ながぬま とうよう).....	V122a
中野佑樹(なかの ゆうき).....	M22a
中野遼(なかの りょう).....	V115a
中間洋子(なかま ようこ).....	W41b
中道晶香(なかみち あきか).....	P301a
中村文隆(なかむら ふみたか).....	Z115r
中本泰史(なかもと たいし).....	P220b
中森健之(なかもり たけし).....	W58a
梨本真志(なしもと まさし).....	X47a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	M28a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	N20b
成田拓仁(なりた たくと).....	Q04a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	M29a

## 【に】

西岡文翔(にしおか たける).....	P126b
西岡文翔(にしおか たける).....	P140a
西垣萌香(にしがき もか).....	X18a
西川薫(にしかわ かおる).....	V119a
西塚直人(にしづか なおと).....	M43a
西野耀平(にし の ようへい).....	W36a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	U03a
西村信哉(にしむら のぶや).....	W49a
西本将平(にしもと しょうへい).....	M44a
西山苑実(にしやま そのみ).....	Q34a
西脇公祐(にしわき こうすけ).....	T07a
新田伸也(にった しんや).....	M11b
庭野聖史(にわの まさふみ).....	W28a

## 【ぬ】

沼澤正樹(ぬまざわ まさき).....	V322a
---------------------	-------

## 【ね】

根来均(ねごろ ひとし).....W69a

## 【の】

野田千馬(のだ かずま).....V209b

野田浩司(のだ こうじ).....V309a

野田常雄(のだ つねお).....W60a

野田博文(のだ ひろふみ).....V333a

野津翔太(のつ しょうた).....P219b

野津翔太(のつ しょうた).....Z117a

野津湧太(のつ ゆうた).....M10b

## 【は】

萩野正興(はぎの まさおき).....Y08a

間夏子(はざま なつこ).....S31a

橋本哲也(はしもと てつや).....X22a

橋本裕希(はしもと ゆうき).....M35a

橋本遼(はしもと りょう).....V207a

橋本遼(はしもと りょう).....V210b

長谷川 隆祥(はせがわ たかひろ).....M34a

長谷川樹(はせがわ たつき).....W48a

長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....P223c

長谷川豊(はせがわ ゆたか).....V108a

廿日出文洋(はつかで ぶんよう).....W47a

服部公平(はっとり こうへい).....R15a

花岡庸一郎(はなおか よういちろう).....M42a

馬場幸栄(ばば ゆきえ).....Y17a

濱田大晴(はまだ たいせい).....N11a

濱野哲史(はまの さとし).....V221b

早川貴敬(はやかわ たかひろ).....Q35a

早川尚志(はやかわ ひさし).....M08a

林航大(はやし こうた).....W20a

林航平(はやし こうへい).....U13a

林多佳由(はやし たかゆき).....V301a

林利憲(はやし としのり).....P310a

林寛昭(はやし ひろあき).....V247b

林満(はやし みつる).....Y10a

原弘久(はら ひろひさ).....M38a

原川紘季(はらかわ ひろき).....V238a

原田了(はらだ あきら).....N01a

原田直人(はらだ なおと).....P139a

原田ななせ(はらだ ななせ).....R02a

播金優一(はりかね ゆういち).....X24a

繁澤政樹(はんざわ まさき).....S23a

馬場彩(ばんば あや).....W59a

## 【ひ】

東翔(ひがし しょう).....P103a

平井遼介(ひらい りょうすけ).....W33a

平下博之(ひらした ひろゆき).....X12b

平下博之(ひらした ひろゆき).....Z105a

平島敬也(ひらしま けいや).....X44a

平松大地(ひらまつ だいち).....N05a

平松裕貴(ひらまつ ひろき).....W70a

廣瀬開陽(ひろせ はるあき).....V128a

## 【ふ】

深沢泰司(ふかざわ やすし).....S28a

福井暁彦(ふくい あきひこ).....P326a

福井康雄(ふくい やすお).....P121a

福一誠(ふくいち まこと).....T02a

福江慧(ふくえ けい).....Y12c

福島啓太(ふくしま けいた).....X41a

福島肇(ふくしま はじめ).....P116a

福地輝(ふくち ひかる).....S34a

福本英也(ふくもと ひでや).....U12a

藤井通子(ふじい みちこ).....P117a

藤沢健太(ふじさわ けんた).....V120c

藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう).....W61a

藤重朝妃(ふじしげ あさひ).....Q02a

藤田真司(ふじた しんじ).....Q28a

藤田裕(ふじた ゆたか).....Q14a

藤谷愛美(ふじたに えみ).....X13b

藤本信一郎(ふじもと しんいちろう).....N02a

藤本征史(ふじもと せいじ).....X04a

藤本正行（ふじもと まさゆき）..... N24a  
 札本佳伸（ふだもと よしのぶ）..... X03a  
 古澤久徳（ふるさわ ひさのり）..... V218a  
 古家健次（ふるや けんじ）..... P207a

## 【へ】

紅山仁（べにやま じん）..... P304a

## 【ほ】

北條妙（ほうじょう たえ）..... X53a  
 星岡駿志（ほしおか しゅんし）..... X10b  
 堀田英之（ほった ひでゆき）..... M01a  
 堀内貴史（ほりうち たかし）..... V237a  
 堀江秀（ほりえ しゅう）..... X14c  
 本間慎一郎（ほんま しんいちろう）..... X38a  
 本間裕也（ほんま ゆうや）..... R21a

## 【ま】

前澤裕之（まえざわ ひろゆき）..... V117a  
 前田郁弥（まえだ ふみや）..... R08a  
 前田龍之介（まえだ りゅうのすけ）..... P137a  
 前原裕之（まえはら ひろゆき）..... M26a  
 牧島一夫（まきしま かずお）..... W53a  
 牧田佳大（まきた よしひろ）..... W37a  
 真喜屋龍（まきや りゅう）..... U06a  
 正木寛之（まさき ひろゆき）..... M05a  
 増井翔（ますい しょう）..... V105a  
 増田賢人（ますだ けんと）..... W11a  
 松井瀬奈（まつい せな）..... W38a  
 松浦周二（まつうら しゅうじ）..... V206a  
 松英裕大（まつえ ゆうだい）..... V118a  
 松岡知紀（まつおか ともき）..... N14a  
 松木場亮喜（まつこば りょうき）..... P143a  
 松坂怜（まつさか れん）..... Q30a  
 松下恭子（まつした きょうこ）..... T01a  
 松下祐子（まつした ゆうこ）..... P130a  
 松田慧一（まつだ けいいち）..... X11b

松田フレドリック（まつだ ふれどりっく）..... V113a  
 松田有輝（まつだ ゆうき）..... M04a  
 松本明訓（まつもと あきのり）..... X15a  
 松本達矢（まつもと たつや）..... W18a  
 的場健悟（まとば けんご）..... M17c

## 【み】

三浦則明（みうら のりあき）..... V250c  
 三枝紀嵐（みえだ きら）..... V317a  
 三澤透（みさわ とおる）..... S22a  
 三杉佳明（みすぎ よしあき）..... P109a  
 水越翔一郎（みずこし しょういちろう）..... S19a  
 水本岬希（みずもと みさき）..... S21a  
 三谷啓人（みたに ひろと）..... P323a  
 道藤翼（みちふじ つばさ）..... V231a  
 道山知成（みちやま ともなり）..... X08a  
 道脇健斗（みちわき けんと）..... M18c  
 三井康裕（みつい こうゆう）..... P324a  
 南大晴（みなみ たいせい）..... P114b  
 南大晴（みなみ たいせい）..... P118a  
 峯田大靖（みねた たいせい）..... S08a  
 箕田鉄兵（みのだ てっぺい）..... U15a  
 三原建弘（みはら たてひろ）..... W71a  
 宮崎翔太（みやざき しょうた）..... V234a  
 宮田隆志（みやた たかし）..... V228a  
 宮武広直（みやたけ ひろなお）..... U04a  
 宮本明日香（みやもと あすか）..... N21a  
 宮本祐介（みやもと ゆうすけ）..... Z109a  
 三好隆博（みよし たかひろ）..... M47a  
 三好真（みよし まこと）..... S01a

## 【む】

武者野拓也（むしゃの たくや）..... W17a  
 村岡和幸（むらおか かずゆき）..... R05a  
 村上広椰（むらかみ こうや）..... U09a

## 【も】

元木業人(もとぎ かずひと).....	P142a
本原顕太郎(もとはら けんたろう).....	V232a
百瀬莉恵子(ももせ りえこ).....	X28a
森浩二(もり こうじ).....	V313a
森昇志(もり しょうじ).....	P217a
森文樹(もり ふみき).....	V243b
森万由子(もり まゆこ).....	P325a
森美南(もり みなみ).....	M49a
森井健翔(もりい けんしょう).....	P128a
森田諭(もりた さとし).....	V240a
森脇可奈(もりわき かな).....	Z106a

## 【や】

八木駿介(やぎ しゅんすけ).....	W08a
矢島義之(やじま よしゆき).....	R06a
安井千香子(やすい ちかこ).....	P204a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N30a
矢野太平(やの たいへい).....	V204a
矢部清人(やべ きよと).....	V225b
山響(やま ひびき).....	V235a
山崎大(やまざき だい).....	U11c
山崎大輝(やまさき だいき).....	M13b
山崎駿(やまさき はやお).....	P138a
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V109a
山敷庸亮(やましき ようすけ).....	P329a
山下真依(やました まい).....	N28a
山下祐依(やました ゆい).....	R01a
山田恭平(やまだ きょうへい).....	V126a
山田志真子(やまだ しまこ).....	N22a
山田崇貴(やまだ たかよし).....	P306a
山田龍(やまだ りゅう).....	V318a
山田麟(やまだ りん).....	R10a
山村一誠(やまむら いっせい).....	V208a
山本久美子(やまもと くみこ).....	Q32a
山本宏昭(やまもと ひろあき).....	Q11b
山本真理乃(やまもと まりの).....	Q20a
山本優太(やまもと ゆうた).....	S14b

## 【ゆ】

行元雅貴(ゆくもと まさたか).....	V314a
----------------------	-------

## 【よ】

芳岡尚悟(よしおか しょうご).....	W05a
吉岡岳洋(よしおか たけひろ).....	X21a
吉川真(よしかわ まこと).....	Y02a
吉田敬(よしだ たかし).....	N16a
吉田有宏(よしだ ともひろ).....	P208a
吉田雄城(よしだ ゆうき).....	R18a
吉田勇登(よしだ ゆうと).....	V321a
吉成直都(よしなり なおと).....	W26b
吉村勇紀(よしむら ゆうき).....	Z112a
米倉直紀(よねくら なおき).....	X31a
米倉覚則(よねくら よしのり).....	V134b
米田謙太(よねた けんた).....	V239a
米津鉄平(よねつ てっぺい).....	Z113b
米村修斗(よねむら しゅうと).....	V315a
米山翔(よねやま しょう).....	V110b

## 【わ】

和田知己(わだ ともき).....	W55a
渡辺紀治(わたなべ のりはる).....	P315a

2021年8月20日発行

年会実行委員会

委員長	古澤久徳	(国立天文台)	
委員	和泉 究	(宇宙航空研究開発機構)	
	岩切 涉	(中央大学)	
	大屋 瑶子	(東京大学)	
	鈴木 知治	(中部大学)	
	甘日出 文洋	(東京大学)	
	藤井 友香	(国立天文台)	
	堀田 英之	(千葉大学)	
	松岡 良樹	(愛媛大学)	
	浅井 歩	(京都大学)	保育室担当
	市来 浄與	(名古屋大学)	保育室担当

年会開催地理事

米原厚憲 (京都産業大学)