

2019年 春季年会

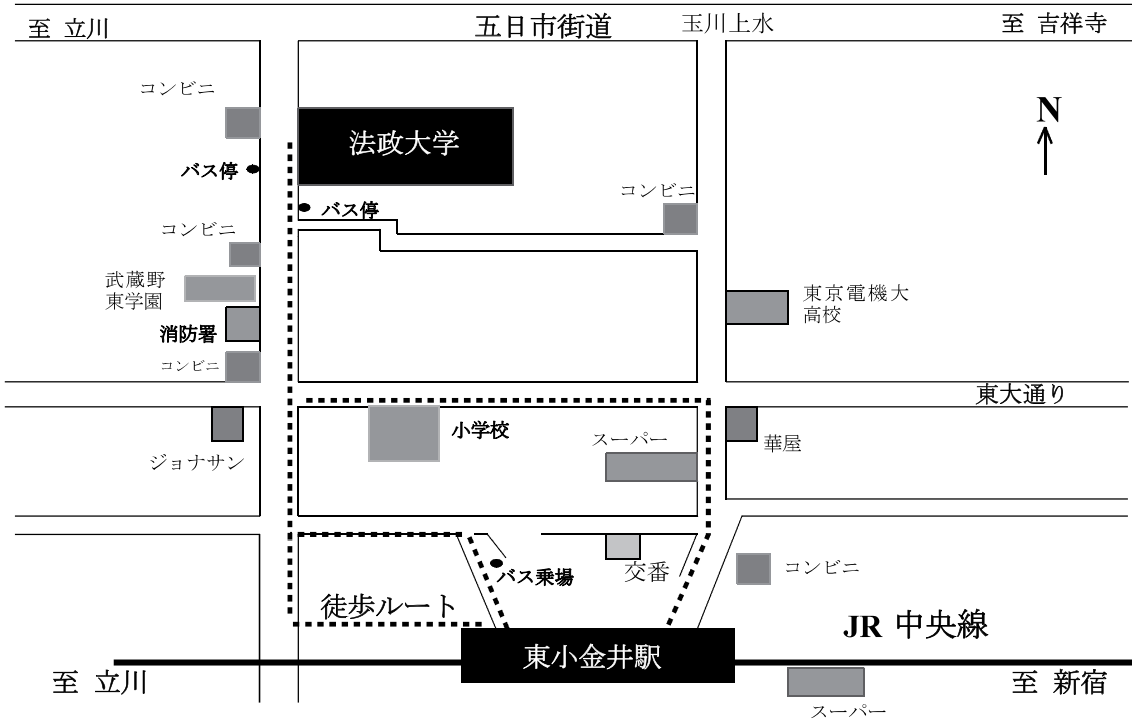
講演予稿集

電子版

於 法政大学

2019年3月14日(木) ~ 3月17日(日)

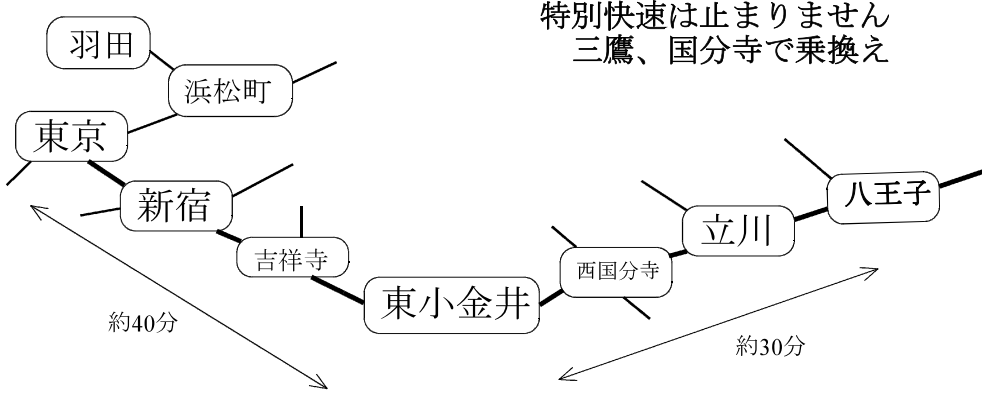
交通案内



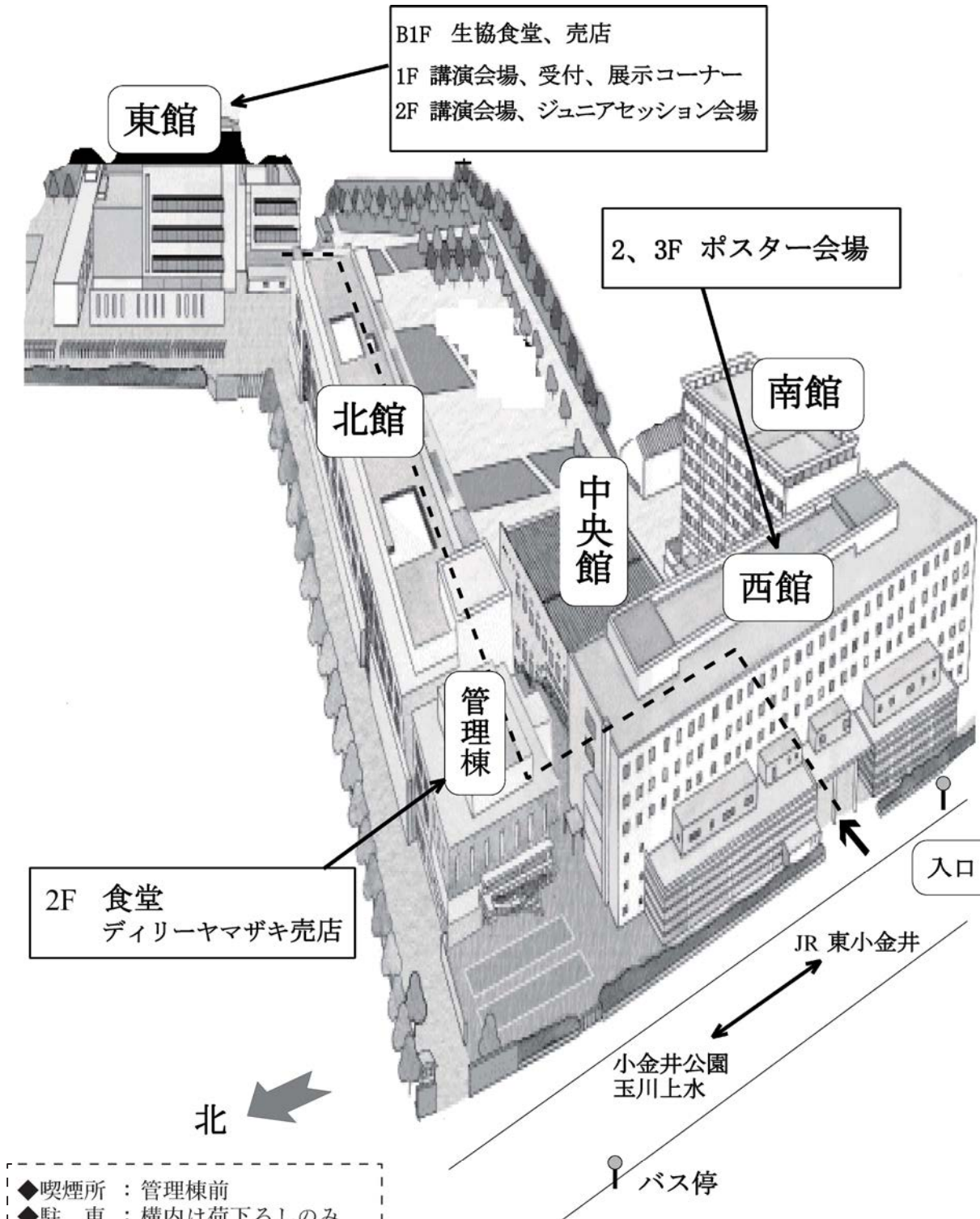
【徒歩】 東小金井駅から約15分
【バス】 東小金井駅から「武蔵小金井駅行」に乗車、「法政大学」下車
 京王バス、CoCoバス 約5分

駅付近工事あり、歩行注意

JR 中央線 東小金井



会場案内



B1F 生協食堂、売店
1F 講演会場、受付、展示コーナー
2F 講演会場、ジュニアセッション会場

2、3F ポスター会場

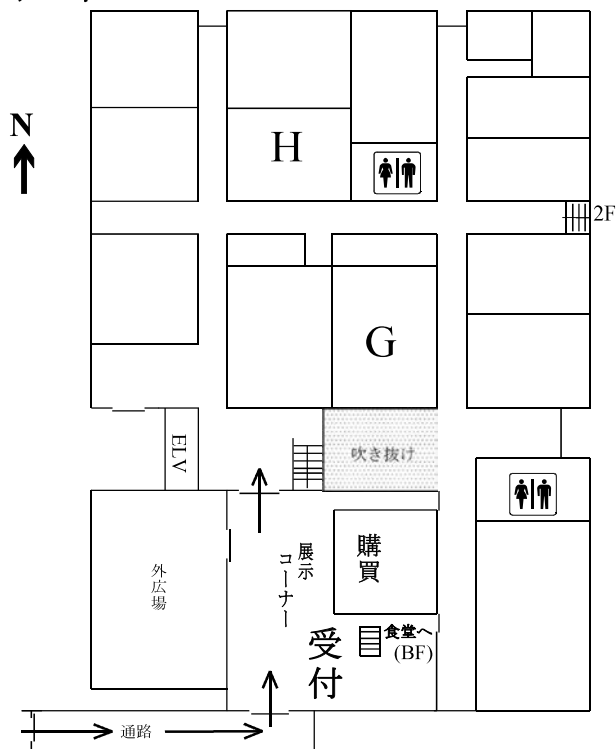
2F 食堂
ディリーヤマザキ売店

- ◆喫煙所：管理棟前
- ◆駐 車：構内は荷下ろしのみ
- ◆A T M：西館1階(三菱UFJ)
- ◆無線 LAN：eduroam 校舎内全域

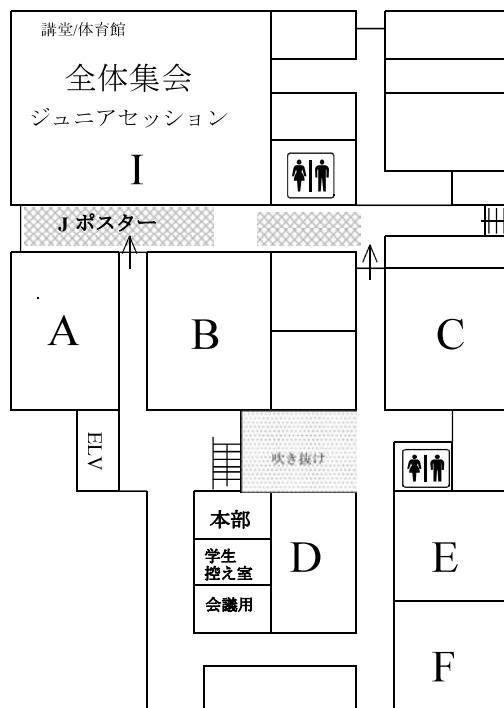
会場配置図

講演会場

東館 1F



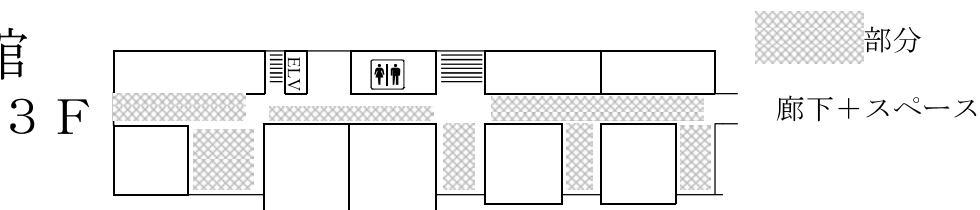
2F



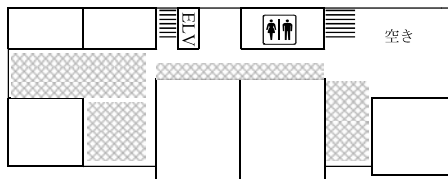
ポスター会場

西館

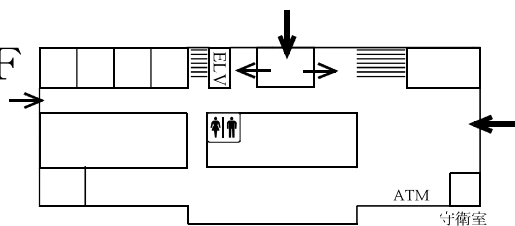
N ↑



2F



1F



座 長 一 覧 表

2019 年春季年会

	3月14日(木)	3月15日(金)		3月16日(土)		3月17日(日)
	13:00 - 15:00	09:30 - 11:30	13:30 - 15:30	09:30 - 11:30	13:30 - 15:30	09:30 - 11:30
A 会場	W.コンパクト天体 田中周太 (青山学院大学)	W.コンパクト天体 山岡和貴 (名古屋大学)	W.コンパクト天体 町田真美 (九州大学)	W.コンパクト天体 岩切涉 (中央大学/理化学研究所)	W.コンパクト天体 杉崎睦 (東京工業大学)	
B 会場	L. 太陽系/N. 恒星 佐藤文衛 (東京工業大学)	N. 恒星 松永典之 (東京大学)	M.太陽 飯田佑輔 (関西学院大学)	M.太陽 片岡龍峰 (国立極地研究所)	M.太陽 西塚直人 (情報通信研究機構)	M.太陽 成影典之 (国立天文台)
C 会場	U. 宇宙論 白崎正人 (国立天文台)	U.宇宙論/X.銀河形成 井上昭雄 (大阪産業大学)	X. 銀河形成 廿日出文洋 (東京大学)	X. 銀河形成 松岡良樹 (愛媛大学)	X. 銀河形成 田村陽一 (名古屋大学)	
D 会場	V1. 観測機器 松尾宏 (国立天文台)	V1. 観測機器 川邊良平 (国立天文台)	V1. 観測機器 小林秀行 (国立天文台)	V3. 観測機器 谷津陽一 (東京工業大学)	V3. 観測機器 森浩二 (宮崎大学)	V3. 観測機器 松本浩典 (大阪大学)
E 会場	V2. 観測機器 峰崎岳夫 (東京大学)	V2. 観測機器 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター)	V2. 観測機器 松原英雄 (宇宙航空研究開発機構)	K. 超新星爆発 鈴木昭宏 (国立天文台)	K. 超新星爆発 谷川衝 (東京大学)	
F 会場	T. 銀河団 三石郁之 (名古屋大学)	R. 銀河 八木雅文 (国立天文台)	R. 銀河 祖徠和夫 (北海道大学)	S. 活動銀河核 川島朋尚 (国立天文台)	S. 活動銀河核 大藪進喜 (名古屋大学)	S. 活動銀河核 笹田真人 (広島大学)
G 会場	Q. 星間現象 山本宏昭 (名古屋大学)	Q. 星間現象 鳥居和史 (国立天文台)	Q. 星間現象 内田裕之 (京都大学)	Q. 星間現象 大平豊 (東京大学)	Y. 教育・広報普及・他 高梨直紘 (東京大学)	
H 会場	P1. 星・惑星 大屋瑤子 (東京大学)	P1. 星・惑星 武藤恭之 (工学院大学)	P1/P2. 星・惑星 奥住聡 (東京工業大学)	P2. 星・惑星 本田充彦 (久留米大学)	P2/P3. 星・惑星 堀安範 (アストロバイオロジーセンター)	P3. 星・惑星 福井暁彦 (東京大学)

口頭セッション 3月14日(木)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場
開始時刻	[コンパクト天体]	【太陽系/恒星】	【宇宙論】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河団】	【星間現象】	【星・惑星】
13:00	W01a	L01a	U01a	V101a	V201a	T01a	Q01a	P101a
13:12	W02a	L02a	U02a	V102a	V202a	T02a	Q02a	P102a
13:24	W03a	L03a	U03a	V103a	V203a	T03a	Q03a	P103a
13:36	W04a	L04a	U04a	V104a	V204b V205b V206b	T04a	Q04a	P104b P105b P106b
13:48	W05a	L05a	U05a	V105a	V207b V208b V209b	T05a	Q05a	P107b P108b P109b
14:00	W06a	L06b L07b	U06a	V106a	V210b V211b V212b	T06a	Q06a	P110a
14:12	W07a	L08b L09b	U07a	V107a	V213a	T07a	Q07a	P111a
14:24	W08a	N01a	U08a	V108a	V215a	T08a	Q08a	P112a
14:36	W09b W10b W11b	N02b N03b N04b	U09a	V109a	V216a	T09a	Q09a	P113a
14:48	W12b W13b W14b	N06a	U10b	V110a	V217a	T10b	Q10b Q11b	P114a
15:15	特別セッション「安全保障と天文学 III」(A 会場)							
18:30	理事会							

口頭セッション 3月15日(金)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場
開始時刻	【コンパクト天体】	【恒星】	【宇宙論 / 銀河形成】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河】	【星間現象】	【星・惑星】
09:30	W16a	N07a	U12a	V111a	V221a	R01a	Q12a	P115a
09:42	W17a	N08a	U13a	V112a	V222a	R02a	Q13a	P116a
09:54	W18a	N09a	U14a	V113a	V223a	R03b R04b R05b	Q14a	P117a
10:06	W19a	N10a	U15a	V114a	V224a	R06a	Q15a	P118a
10:18	W20a	N11a	X01a	V115a	V225a	R07a	Q16a	P119a
10:30	W21a	N12a	X02a	V116a	V226b V227b V228b	R08a	Q17a	P120a
10:42	W22a	N13a	X03a	V117a	V229b V230b V231b	R09a	Q18a	P121a
10:54	W23a	N14a	X04b X05b X06b	V118b V119b V120b	V232b V233b V234b	R10a	Q19b Q20b Q21b	P122a
11:06	W24b W25b W26b	N15a	X07b X08b X09b	V121b V122b V123b	V235a	R11a	Q22a	P123a
11:18	W27b W28b W29b	-	X10b	V124b V125b V126b	V236a	R12b R13b	Q23a	P124b P125b
11:30	昼休み（代議員総会）（G 会場）							
12:30	ポスター							
開始時刻	【コンパクト天体】	【太陽】	【銀河形成】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河】	【星間現象】	【星・惑星 / 星・惑星】
13:30	W31a	M01a	X11a	V127a	V238a	R18a	Q24a	P126a
13:42	W32a	M02a	X12a	V128a	V239a	R19a	Q25a	P128a
13:54	W33a	M03a	X13a	V129a	V240a	R20a	Q26a	P129a
14:06	W34a	M04a	X14a	V130a	V241a	R21a	Q27a	P130a
14:18	W35a	M05a	X15a	V131a	V242a	R22a	Q28a	P131a
14:30	W36a	M06a	X16a	V132a	V244b V245b V246b	R23a	Q29a	P201a
14:42	W37a	M07a	X17a	V133a	V248a	R24a	Q30a	P202a
14:54	W38a	M08a	X18a	V134a	V249b V250b V251b	-	Q31a	P204a
15:06	W39a	M09a	X19a	V135b V136b V137b	V252a	-	Q32a	P205a
15:18	W40a	M10a	X20a	V138b	V253a	-	Q33b Q34b	P206b P207b
15:30	天文教育フォーラム（A 会場）							
17:45	特別セッション「キャリアをどうデザインするか」（A 会場）							
19:00	懇親会（大学生協 東館 B 1 F）							

口頭セッション 3月16日(土)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場
開始時刻	【コンパクト天体】	【太陽】	【銀河形成】	【観測機器】	【超新星爆発】	【活動銀河核】	【星間現象】	【星・惑星】
09:30	W41a	M11a	X21a	V301a	K01a	S01a	Q35a	P208a
09:42	W42a	M12a	X22a	V302a	K02a	S02a	Q36a	P209a
09:54	W43a	M13a	X23a	V303a	K03a	S03a	Q37a	P210a
10:06	W44a	M14a	X25a	V304a	K06a	S04a	Q38a	P211a
10:18	W45a	M15a	X26a	V305a	K07a	S05a	Q39a	P212a
10:30	W46a	M16a	X27a	V306a	K08a	S06a	Q40a	P213a
10:42	W47a	M17a	X28a	V307b V308b V309b	K09b K10b K11b	S07a	Q41a	P214a
10:54	W48a	M18a	X29a	V310b V311b	K12a	S08b S09b S10b	Q42a	P215a
11:06	PDL01 PDL02	M19b M20b M21b	X30a	V312a	K13a	S11b S12b S13b	Q43a	P216a
11:18	-	M22b M26b M27b	-	V313b V314b V316b	K14b K15b	S14b S15b	Q44a	-
11:30	-	M28b	-	-	-	-	Q45a	-
11:30	昼休み							
12:30	ポスター							
開始時刻	【コンパクト天体】	【太陽】	【銀河形成】	【観測機器】	【超新星爆発】	【活動銀河核】	【教育・他】	【星・惑星 /星・惑星】
13:30	W50a	M29a	X31a	V317a	K16a	S17a	Y01a	P217a
13:42	W51a	M30a	X32a	V318a	K17a	S18a	Y02a	P218a
13:54	W52a	M31a	X33a	V319a	K18a	S19a	Y03a	P219a
14:06	W53a	M32a	X34a	V320a	K19a	S20a	Y04a	P220a
14:18	W54a	M33a	X35a	V321a	K20a	S21a	Y05a	P301b P302b P303b
14:30	W55a	M34a	X36a	V322a	K21a	S22a	Y06a	P304a
14:42	W56a	M35a	X37a	V323a	K22a	S23a	Y07a	P305a
14:54	W57a	M36a	X38a	V324a	K23a	S24a	Y09b Y12b Y13b	P306a
15:06	W58a	M37a	-	V326a	K24a	S25a	Y16b	P307a
15:18	-	M38a	-	V327a	-	S26a	-	P308a
15:45	会員全体集会 (I会場)							
17:15	受賞記念講演 (I会場)							

口頭セッション 3月17日(日)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場
開始時刻		【太陽】		【観測機器】		【活動銀河核】		【星・惑星】
09:30	-	M39a	-	V328a	-	S27a	-	P309a
09:42	-	M40a	-	V329a	-	S28a	-	P310a
09:54	-	M41a	-	V330a	-	S29a	-	P311a
10:06	-	M42a	-	V331a	-	S30a	-	P312a
10:18	-	M43a	-	V333a	-	S31a	-	P313a
10:30	-	M44a	-	V334a	-	-	-	P314a
10:42	-	M45a	-	V335a	-	-	-	P315a
10:54	-	M46a	-	V336a	-	-	-	P316a
11:06	-	-	-	V337a	-	-	-	P317a
11:18	-	-	-	V338a	-	-	-	P318a
11:30	-	-	-	V339a	-	-	-	-
11:30	昼休み							
12:30	ポスター							
13:30	特別セッション「国立天文台 - 現状と今後 -」(A 会場)							

【K. 超新星爆発】(7)					【R. 銀河】(9)				
K04c	K05c	K09b	K10b	K11b	R03b	R04b	R05b	R12b	R13b
K14b	K15b				R14c	R15c	R16c	R17c	
【L. 太陽系】(4)					【S. 活動銀河核】(9)				
L06b	L07b	L08b	L09b		S08b	S09b	S10b	S11b	S12b
					S13b	S14b	S15b	S16c	
【M. 太陽】(10)					【T. 銀河団】(1)				
M19b	M20b	M21b	M22b	M23c	T10b				
M24c	M25c	M26b	M27b	M28b					
【N. 恒星】(4)					【U. 宇宙論】(3)				
N02b	N03b	N04b	N05c		U10b	U11c	U16c		
【P1. 星・惑星】(10)					【V1. 観測機器】(16)				
P104b	P105b	P106b	P107b	P108b	V118b	V119b	V120b	V121b	V122b
P109b	P124b	P125b	P127c	P132c	V123b	V124b	V125b	V126b	V135b
【P2. 星・惑星】(3)					V136b	V137b	V138b	V139c	V140c
P203c	P206b	P207b			V141c				
【P3. 星・惑星】(3)					【V2. 観測機器】(31)				
P301b	P302b	P303b			V204b	V205b	V206b	V207b	V208b
【Q. 星間現象】(7)					V209b	V210b	V211b	V212b	V214c
Q10b	Q11b	Q19b	Q20b	Q21b	V218c	V219c	V220c	V226b	V227b
Q33b	Q34b				V228b	V229b	V230b	V231b	V232b
					V233b	V234b	V237c	V243c	V244b
					V245b	V246b	V247c	V249b	V250b
					V251b				

【V3. 観測機器】(12)

V307b V308b V309b V310b V311b

V313b V314b V315c V316b V325c

V332c V340c

【W. コンパクト天体】(15)

W09b W10b W11b W12b W13b

W14b W15c W24b W25b W26b

W27b W28b W29b W30c W49c

【X. 銀河形成】(9)

X04b X05b X06b X07b X08b

X09b X10b X24c X39c

【Y. 天文教育・他】(9)

Y08c Y09b Y10c Y11c Y12b

Y13b Y14c Y15c Y16b

【K. 超新星爆発】

3月16日(土) 午前(9:30-11:30) [E会場]

K01a	09:30	重力崩壊型超新星のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算	岩上わかな(京都大学/早稲田大学)
K02a	09:42	超新星 1987A の親星モデルを用いた鉄コアの重力崩壊・爆発のシミュレーション	山本浩之(福岡大学)
K03a	09:54	超新星 1987A モデルの爆発初期の重力波とニュートリノシグナル	岐部秀和(福岡大学)
K04c		重力崩壊型超新星シミュレーションにおけるニュートリノ反応率の精密化	秀島健太(福岡大学)
K05c		ボルツマン輻射輸送による超新星シミュレーションの核物質状態方程式依存性	原田了(東京大学)
K06a	10:06	重力崩壊型超新星の空間多次元長時間数値シミュレーション	中村航(福岡大学)
K07a	10:18	Ib 型超新星 SN 2012au におけるパルサー活動の爆発への影響	増山美優(東京大学)
K08a	10:30	II 型超新星の統計調査における SN 2016X および SN 2017eaw の位置づけ	杉浦裕紀(大阪教育大学)
K09b	10:42	光赤外線大学間連携による爆発後 450 日間の IIP 型超新星 SN 2017eaw の観測	山中雅之(広島大学)
K10b	10:42	特異なライトカーブを持つ II 型超新星 SN 2017czd の爆発モデル	中岡竜也(広島大学)
K11b	10:42	外層における持続的なエネルギー注入が赤色超巨星の振動に及ぼす影響と超新星直前の質量放出への示唆	大内竜馬(京都大学)
K12a	10:54	連星白色矮星でのダブルデトネーションの 3 次元流体計算と Ia 型超新星	谷川衝(東京大学)
K13a	11:06	Branch スペクトル分類に基づいた Ia 型超新星の intrinsic color/luminosity 調査	有馬宣明(東京大学)
K14b	11:18	Optical and near-infrared observations of Type Ia SN 2018gv from early phase	Yun JeUng (Hiroshima University)
K15b	11:18	ジーナス統計で迫る Ia 型超新星残骸内の塊構造の形成過程	佐藤寿紀(理化学研究所/NASA's GSFC)

3月16日(土) 午後(13:30-15:18) [E会場]

K16a	13:30	HSC transient survey による rapidly evolving transients の統計的解析	反保雄介(東北大学)
K17a	13:42	HSC transient survey で探る明るい超新星の光度分布	松田将大(東北大学)
K18a	13:54	中心エンジン駆動超新星エジェクタの 3 次元流体シミュレーションと明るい超新星の多様性	鈴木昭宏(国立天文台)
K19a	14:06	大質量星の最終進化の多次元シミュレーション	吉田敬(東京大学)
K20a	14:18	Confined CSM 付随の超新星爆発のミリ波放射に関する理論研究	松岡知紀(京都大学)
K21a	14:30	衝撃波領域の構造を考慮した IIn 型超新星の光度曲線	津名大地(東京大学)
K22a	14:42	星周物質との衝突によって光る超新星の拡散近似を用いた輻射流体計算による研究	武井勇樹(東京大学)
K23a	14:54	高い偏光度を示す IIn 型超新星 SN 2017hcc の可視近赤外線観測	大坪一輝(広島大学)
K24a	15:06	ダスト生成を伴う IIn 型超新星 KISS15s の発見と 3 年間の可視-赤外線追観測	小久保充(東北大学)

K01a 重力崩壊型超新星のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算

岩上わかな（京都大学 / 早稲田大学）、長倉洋樹（Caltech）、大川博督（京都大学 / 早稲田大学）、原田了（東京大学）、古澤峻（理研）、松古栄夫（KEK）、住吉光介（沼津高専）、山田章一（早稲田大学）

近年、重力崩壊型超新星の爆発メカニズムの中でも「ニュートリノ加熱メカニズム」が注目され、様々な研究が進められている。ニュートリノ輻射輸送計算はコストが高く、多くの研究ではニュートリノ輻射輸送に対し近似手法を用いたコードが利用されている。本研究では、ニュートリノ輻射輸送方程式を近似なしで解くことを目指し、ボルツマン方程式と流体の方程式を同時に解くコードの開発を進めてきた。その計算結果を利用して、ニュートリノ輻射輸送に関する様々な近似手法の検証を行い、適用範囲を明らかにするとともに、得られた結果を詳細に解析してニュートリノ輻射輸送の物理的性質を調べることを目的としている。本講演では、ボルツマンハイドロコードを使ってこれまでに得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K02a 超新星 1987A の親星モデルを用いた鉄コアの重力崩壊・爆発のシミュレーション

山本 浩之, 中村 航, 固武 慶 (福岡大学大学院 理学研究科)

超新星爆発は 60 年に及ぶ研究によりそのメカニズムが少しずつ明らかになりつつある。特に最新の数値シミュレーションにより、ニュートリノ加熱によって爆発に成功する例が多数報告されるようになった。しかし、数値シミュレーションで得られる爆発エネルギーのオーダーは 10^{50} erg 程度で、典型的な観測値である 10^{51} erg に届いていない。そこで本研究では、素粒子の性質を表す量子数の一つであるストレンジネスを導入し、それが爆発エネルギーにどのように寄与するかを調べることを目的とする。

本研究では親星モデルとして超新星 1987A の最新親星モデル (Urushibata et al. (2018) MNRAS) を使い、ストレンジネス $g_a^s = 0, -0.1, -0.2$ の 3 つのパターンで 2D シミュレーションを行った。また、エネルギー輸送法としては IDSA 法 (Libendoerfer et al. (2009) ApJ, Kotake et al. (2018) ApJ)、流体計算では 3DnSNe コード (Takiwaki et al. (2014) ApJ) を用いた。

ストレンジネス g_a^s の絶対値が大きいほどニュートリノと中性子の散乱断面積は小さくなり、ニュートリノ不透明度は下がる。結果として、原子中性子星は収縮し、収縮に伴う重力エネルギーの解放により原子中性子星の温度が上がり、それに起因するニュートリノ平均エネルギーの上昇が爆発に寄与することがわかった。また、超新星 1987A の観測で知られているニッケル質量は 0.07 太陽質量であり、本シミュレーションでは 0.06 太陽質量と観測値と近い結果が得られた。マイクロ物理学の代表としてストレンジネス g_a^s を導入し、その絶対値が大きいほど爆発に有利な方向にはたらくことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a 超新星 1987A モデルの爆発初期の重力波とニュートリノシグナル

岐部秀和, 中村航, 固武慶 (福岡大学大学院 理学研究科)

太陽の約 8 倍以上の質量をもつ恒星は、元素合成の最終段階で中心部に鉄のコアを形成する。この鉄コアが重力的に不安定になることで急激に潰れ (重力崩壊)、それによって生じる爆発が重力崩壊型超新星爆発である。過去 40 年以上にわたる理論研究により、その超新星爆発の謎が解かれつつあるが、数値計算の結果得られる爆発エネルギーは実際の観測値に比べて小さいという問題がある。観測されている典型的な爆発エネルギーを再現するためには、なんらかの爆発を助ける効果を入れる必要がある。

本研究では、近年注目されているストレンジネスの効果が超新星の重力波とニュートリノシグナルに与える影響を、2Dシミュレーションに基づいて3つのモデルで比較する ($g_a^s = 0.0, -0.1, -0.2$)。ストレンジネス (g_a^s) は核子のスピンに影響を与える量子数であり、その絶対値が大きければ中性子とニュートリノの散乱断面積は小さくなる。その結果、原始中性子星 (PNS) 内からニュートリノがより多くのエネルギーを運び去ることで PNS が収縮し、解放された重力ポテンシャルにより内部温度は上昇、衝撃波停滞時のニュートリノ平均エネルギーは高くなる。この一連の流れは爆発に有利な影響を及ぼす (Melson et al. 2015)。数値計算には、SN1987A に対応する親星モデル (Urushibata et al. 2018) と 3DnSNe コード (Takiwaki et al. 2012) を使用した。輻射輸送計算は IDSA 法 (Liebendörfer et al. 2009) で、最新のニュートリノ反応率を用いている (Kotake et al. 2018)。シミュレーションの結果、重力波には全てのモデルで超新星特有のシグナル (即時対流、非線形、爆発段階) が見られた。ニュートリノシグナルに関してはストレンジネスの絶対値が大きくなるほど平均エネルギーは上がり、検出イベント数が増加することが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K04c 重力崩壊型超新星シミュレーションにおけるニュートリノ反応率の精密化

秀島健太, 中村航, 固武慶 (福岡大学大学院 理学研究科)

重力崩壊型超新星爆発がどのような過程により起こっているのかは、長い研究の歴史を持ちつつも未だ完全には解明されていない。この現象を解明するにあたって、直接観測できない内部コアで起きている現象を数値シミュレーションで再現する方法が有効である。最新の数値シミュレーションにより重力崩壊が進むことで形成される衝撃波は一度停滞してしまうのだが、ニュートリノ加熱により再び復活して爆発に転じることが可能であることが示された。このニュートリノ加熱メカニズムは重力崩壊型超新星爆発を駆動する最も有力な機構であるが、爆発エネルギーやニッケル合成量などの観測量を再現するには至っていない。

そこで、爆発で決定的な役割を果たすニュートリノの反応率を精密化し (Kotake et al. 2018) 爆発エネルギーとニュートリノ光度、ニュートリノ平均エネルギーの関係性について知るために主に高解像度について調べた。使用した親星モデルは SN1987A の 14 太陽質量モデルで、ストレンジネス $g_a^s = -0.1$ の効果を取り入れた空間 2 次元数値シミュレーションを行った。ニュートリノ輻射輸送計算には IDSA 法を用いた。本研究では特に、爆発の空間解像度依存性について調べた結果を報告する。角度方向の解像度について 3 パターン ($n(\theta) = 64, 128, 256$) の計算を実行したところ、解像度が上がるにつれて爆発エネルギー、衝撃波半径は大きくなった。しかしニュートリノ光度やニュートリノ平均エネルギーでは違いは見られなかった。衝撃波背面での乱流圧等を比較し、違いを生み出した原因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K05c ボルツマン輻射輸送による超新星シミュレーションの核物質状態方程式依存性

原田 了 (東京大学)

重力崩壊型超新星爆発は大質量星がその最期に起こす爆発現象である。そのメカニズムの最有力仮説は、中心に形成される原始中性子星からニュートリノが放射され、これが衝撃波下流の物質に吸収されて加熱することでエネルギーを賄うニュートリノ加熱メカニズムである。近年では特に、流体不安定性等の多次元効果の重要性が認識され、多くの多次元超新星計算が為されている。

ニュートリノが重要な役割を果たす一方で、その輸送はボルツマン方程式に従うため、数値的な取り扱いが困難である。多くのグループがこれを近似的に扱う一方で、我々はボルツマン方程式を直接解く多次元超新星計算コードを開発した。その成果もいくつか発表されてきており、その嚆矢として Nagakura et al. (2018) において核物質状態方程式モデルの違いが超新星爆発にもたらす影響が発表された。本講演ではその結果をさらに詳細に解析した結果を報告する。

本計算では状態方程式の核力モデルとして柔らかいものと硬いものの二種類を用いており、前者でのみ超新星爆発が得られた。しかし、その決定的な違いとなったのは核力モデルよりむしろ原子核の取り扱いであり、原始中性子星の構造にも特異な影響を及ぼしている。加えて、ニュートリノ分布と流体分布の相互の影響を調べたところ、原子核の取り扱いに伴う流体運動の違いによってニュートリノ分布にも違いが現れ、特にニュートリノ輸送近似法にも影響を与えることが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a 重力崩壊型超新星の空間多次元長時間数値シミュレーション

中村 航 (福岡大学), 滝脇 知也 (国立天文台), 固武 慶 (福岡大学)

数値計算手法と計算機性能の向上にともない、セルフコンシステントな計算で爆発に成功する超新星モデルが報告されるようになってきた (Müller 2016 ; Janka et al. 2016 for review)。その膨大な計算コストから計算を実行するモデル数が限られるため、爆発の親星構造に対する依存性を議論することは困難であった。また、これらの計算の多くは進化時間が1秒未満と短く、爆発エネルギーや原始中性子星の反跳速度など数秒間に渡って成長する量の最終値を見積もることができなかった。ここで原始中性子星の反跳とは、爆発に伴う物質やニュートリノの放出が非等方に起こることによって、原始中性子星が反対方向に押し出される現象のことである。観測が示す中性子星の高速運動 (平均数 100 km/s) の起源と考えられており、最近の超新星残骸の観測は物質の非等方噴出シナリオを支持している (Holland-Ashford et al. 2017; Katsuda et al. 2017)。

そこで、超新星親星 10モデル (ZAMS 質量 $10.8 M_{\odot}$ – $20 M_{\odot}$) に対して空間2次元で5秒以上にわたる長時間計算を実行し、爆発エネルギーや反跳速度と親星構造の関係を調べた。さらに、そのうち11.2太陽質量の親星1モデルに対して空間3次元での長時間計算を実行し、空間2次元での結果と比較した。空間2次元計算の結果、バウンス後5秒時点で幅広い爆発エネルギーと反跳速度 (それぞれ 0.13 – 0.87×10^{51} erg、 74 – 590 km s⁻¹) を得た。さらに、爆発エネルギーと反跳速度の間にはゆるい相関が見られた。一方、空間3次元計算で得られた反跳速度は、2次元計算の結果と比較して著しく低かった。これらの結果は、すべて中心の原始中性子星への降着流の強弱で説明できる。以上の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K07a Ib型超新星 SN 2012au におけるパルサー活動の爆発への影響

増山美優, 栗山直人, 茂山俊和 (東京大学)

大質量星 ($M > 8 M_{\odot}$) は一生の最後に超新星爆発を起こし、中心に中性子星やブラックホールなどのコンパクト天体を残すと考えられている。しかし、どのような超新星がどのようなコンパクト天体を残すのかについては、よくわかっていない。

Ib型超新星である SN 2012au は、最大光度 (6.7×10^{42} erg/s) や爆発エネルギー (10^{52} erg) が極超新星に類似しており、普通の超新星とガンマ線バーストが付随するようなエナジエティックな超新星との違いを知るうえで、重要な手がかりを与えてくれるであろうと注目されている (Takaki et al., 2013; Milisavljevic et al., 2013)。SN 2012au は爆発から6年が経過した現在も可視光帯で明るく輝き、さらに [OIII] の輝線が検出されたことから、現在のエネルギー源として中心にパルサーが存在することが指摘されている (Milisavljevic et al., 2018)。

中心にいるパルサーの性質を調べるためには、パルサーが超新星イジェクタに及ぼす影響を知る必要がある。Chevalier & Fransson (1992) は、中心にいるパルサーが膨張する超新星イジェクタに及ぼす影響を解析的に求め、パルサーと超新星の相互作用を考える際に広く用いられている (e.g., Kasen & Bildsten, 2010)。しかし、この解では、ある速度をもったイジェクタがどれくらい存在するかについては議論されていない。エネルギーの入れ方によっては、速度が遅いイジェクタは存在せず、観測された [OIII] の光度を説明することができないと考えられる。

そこで我々は、中心にエネルギー注入がある超新星爆発の進化を追う1次元流体シミュレーションを行い、爆発エネルギーの注入の仕方とパルサーの活動について制限をつけた。本講演では、SN 2012au でどのようなコンパクト天体が誕生し、その後現在に至るまでどのようなパルサーの影響があったのかについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08a II型超新星の統計調査におけるSN 2016XおよびSN 2017eawの位置づけ

杉浦裕紀(大阪教育大), 小路口直冬(京大), 伊東大輝, 角谷祥, 中房仁, 二階健吾, 松本花観, 松本桂(大阪教育大)

II型超新星は光度曲線の減光速度により、光度一定な期間があるIIP型と、直線的に減光するIIL型に分類される。減光速度の違いは、親星が持つ水素の質量に起因すると考えられているが、その起源が同一なのかどうかは明らかではない。近年、II型超新星の様々な観測量に対する統計調査が盛んに行われている中、大阪教育大学でも福嶋(2016)において、IIL型に分類されたSN 2014Gの光度曲線にIIP型のような減光の特徴が見られたことともに、本学での観測で得られたものを含む観測サンプルに基づいた、II型超新星の包括的な統計調査結果が報告された。その中で、放射エネルギーとTail光度との間に強い相関が見られたことから、これらのパラメータが2種の超新星を包括的に扱う際の有用な指標として提案された。

本研究では、新たに観測された超新星SN 2016XおよびSN 2017eawについて、統計調査における位置づけを調べた。SN 2016Xは2016年1月20日に15.1等で、SN 2017eawは2017年5月14日に12.8等でそれぞれ発見され、その後の観測でIIP型に分類された超新星である。我々は早期から可視光による多色測光観測を行い、両者とも爆発初期からTail期まで密なデータを得ることができた。特に、SN 2016Xには傾きが大きく期間の短いPlateauが見られ、SN 2014Gとは逆にIIL型に近い特徴を持ったIIP型であることがわかった。このことから、SN 2016XはIIP型とIIL型の超新星を包括的に議論する上で重要なサンプルとなることが期待され、統計調査の中においても、福嶋(2016)で示されたIIP型とIIL型の分布に矛盾しない結果が得られた。本講演では、これらの結果を示すとともに、福嶋(2016)で提案された2種の超新星を包括的に扱う指標の有用性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K09b 光赤外線大学間連携による爆発後 450 日間の IIP 型超新星 SN 2017eaw の観測

山中雅之, 中岡竜也, 川端美穂, 長木舞子, 河原直貴, 大坪一輝, 木村浩輝, 安部太晴, 山崎優衣奈, 川端弘治 (広島大学), 諸隈智貴 (東京大学), 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大学), 今井正亮, 高木聖子 (北海道大学), 高橋隼, 本田敏志, 大島誠人, Stefan Baar, 高山正輝, 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 森鼻久美子 (名古屋大学), 斉藤嘉彦 (情報通信研究機構), 花山秀和, 前原裕之, 関口和寛 (国立天文台), 秋田谷洋 (埼玉大学), 野上大作 (京都大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 他光赤外線大学間連携メンバー

近年サーベイの発展に伴い, IIP 型超新星の爆発直後の分光観測によって, 予期せぬ星周物質との相互作用による輝線が検出されるようになった (Yaron et al. 2017, Nakaoka et al. 2018). これまで, 親星の質量放出は長い期間に亘っているものと思われていたが, これらの観測事実は一時的な質量放出を示唆しており, 恒星の進化理論において重大な問題となっている. 星周物質が広がっていれば, それに伴うダストからの近赤外線放射によって赤外超過が期待されるが, 一方でそもそも IIP 型超新星においてはテンプレートと呼べる長期の近赤外線データが依然として得られていない. 我々は, 明るい IIP 型超新星の発見の 0.3 日後の 5 月 14.5 日からおよそ 450 日に亘り光赤外線大学間連携を通じて偏光撮像を含む可視近赤外線観測を実施している. 200 日までの観測については, 2018 年春季年会にて報告を行った. 今回は, 光赤外線大学間連携に加えた継続観測によってさらに後期のデータを取得することができたので, これらを報告する. 特に, 近赤外線においては過去に例が無いほど連続的かつ長期の観測を実現した. その結果, テール期において J, H バンドにおいては 400 日まで, K_s バンドにおいては 350 日まで一定の割合で減光したことを明らかにした. また, スペクトルエネルギー分布は 1 成分の黒体放射と誤差の範囲内で一致し, 有意な赤外超過は認められなかった. 講演では, 星周物質に焦点を置いた議論を行う予定である.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10b 特異なライトカーブを持つII型超新星 SN 2017czd の爆発モデル

中岡竜也, 川端弘治, 山中雅之, 川端美穂 (広島大), 守屋堯 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大), 前田啓一, 大内竜馬 (京都大), 富永望 (甲南大), かなた観測チーム

古典的な超新星爆発は、その光度進化のタイムスケールはよく知られつつある。IIP型超新星は、爆発後数日で極大光度に達し、~100日程度のプラトー期を経た後に急減光を示す (Filippenko 1993)。また Ia型、Ibc型超新星は爆発後 10–20日程度で極大光度に達し、その後 15日 で 0.5–1.0等減光する (Drout et al. 2011, Ganeshalingam et al. 2011)。しかし近年の超新星サーベイの結果では、その数分の一という短いタイムスケールを示すものが見つかっている (Richmond et al. 1996, Drout et al. 2014, Tanaka et al. 2016, Whitesides et al. 2017, Pursiainen et al. 2018, Rest et al. 2018)。それらの天体はこれまで見つかった超新星とは全く違う素性を示し、爆発メカニズムは重力崩壊型か熱核暴走型か、あるいはそれ以外のものなのか不明である。

我々は 2017年 4月 12.7日 (UT) に発見された超新星 SN 2017czd (32 Mpc) について、広島大学が所有するかなた望遠鏡を用いてモニター観測を行った。当初、この天体は爆発 3日後から可視光でプラトーとなったことから典型的な SN IIP であると思われていたが、爆発 18日後に急減光を開始し、上記の例に挙げたような、特異なライトカーブを示す天体となった (2018年春季年会: K07a)。その後の解析の結果、爆発約 50日後の光度は極大時の 50倍以上暗く、放出された ^{56}Ni は最大でも $0.005M_{\odot}$ と非常に少ないことが分かった。このことから、極大時の光度は ^{56}Ni では説明できず、IIP型超新星のようにショックで光るか、星周物質との相互作用が考えられる。またライトカーブは、IIb型超新星 SN 1993J と同じ親星モデル (初期質量 $16 M_{\odot}$ の星を $15 M_{\odot}$ の伴星が周回) の星が、弱い爆発 (約 5×10^{50} erg) を起こすとよく説明できることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K11b 外層における持続的なエネルギー注入が赤色超巨星の振動に及ぼす影響と超新星直前の質量放出への示唆

大内 竜馬 (京都大学)、前田啓一 (京都大学)

近年の様々な観測事実から、一部の大量星は超新星爆発を起こす直前(数年数十年)に非常に高い質量放出率を示すことが明らかになってきた (Smith 2014)。この現象の起源は分かっておらず、コア内部の対流域によって励起された重力波 (gravity waves) のエネルギーが外層に伝搬され、それによって質量放出が駆動されるとする仮説 (Quataert & Shiode 2012) や、赤色超巨星の振動などが起源として提唱されてきた (Yoon & Cantiello 2010)。これまでの赤色超巨星の振動の数値計算の多くは、外層の速度が音速を超えた時点で計算を止めており、外層の速度が脱出速度を超えるまで追った計算はほとんど存在しない。そのため、これらの振動が定量的にどの程度の質量放出率を引き起こしうるのかは分かっていない。

本研究では、赤色超巨星の振動が、観測から推定されている、超新星直前における高い質量放出率の起源となりうるかを検証することを目的とした。そのため、公開恒星進化コード MESA を用いて赤色超巨星の振動を計算し、質量放出が起きる場合は、外層が脱出速度を超えて質量放出に到るまで計算を行った。さらに、重力波などにより期待される持続的なエネルギー散逸を外層に注入した場合に、それが外層の振動の振る舞いや質量放出率にどのような影響を与えるかを計算した。その結果、エネルギー散逸がない場合でも外層は振動するが、質量放出には至らないことが分かった。また、あるエネルギー注入率を外層に与えると、星の振動によって観測から示唆されるような非常に高い質量放出率 ($\dot{M} \gtrsim 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) も再現できることが分かった。本ポスター発表では、これらの結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K12a 連星白色矮星でのダブルデトネーションの3次元流体計算とIa型超新星

谷川衝, 野本憲一 (東京大学), 中里直人 (会津大学)

Ia型超新星は宇宙の距離指標であり、また鉄元素の主要な起源でありながら、その親星の正体が明らかになっていない。その親星については長年に渡って白色矮星(WD)と主系列星や赤色巨星の連星(SDシナリオ)か、WD同士の連星(DDシナリオ)かで論争が続いている。2018年のGaia Data Release 2によって、1000km/s以上の超高速度で運動するWDが3個発見された(Shen et al. 2018)。これはDDシナリオ、その中でも特に、連星WDが合体する前にダブルデトネーションによって重いWD(主星)が爆発するD⁶モデルを支持する。爆発しなかった方のWD(伴星)が、主星の重力から突然解放されることで、超高速度WDとなるからである。

我々は、D⁶モデルがIa型超新星の親星モデルとして正しいならばIa型超新星の観測にどのような痕跡を残すのかを調べるために、D⁶モデルの3次元流体計算を行った。連星WDは1.0M_☉のWD(主星)と0.6M_☉のWD(伴星)からなる。主星は炭素酸素(CO)からなるコアとヘリウム(He)からなる外層からなり、伴星はCOコアのみからなる。主星のHe外層にホットスポットを置き、主星でダブルデトネーションが起こるようにした。この爆発には以下2つの特徴があることがわかった。1つめは、主星の爆発による爆風が伴星のCO物質を剥ぎとるため、超新星エジェクタには低速度のCO物質が含まれることである。2つめは、主星自体が1000km/s程度で運動しているため、超新星エジェクタが同程度の1000km/sの速度シフトを持つことである。この結果はTanikawa, Nomoto, Nakasato (2018, ApJ, 868, 90)にまとめられている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K13a Branch スペクトル分類に基づいた Ia 型超新星の intrinsic color/luminosity 調査

有馬宣明, 諸隈智貴, 土居守, 酒向重行, 大澤亮, 小島悠人, Jiang Jian, 一木真, 森田雅大 (東京大学), Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー

連星系にある白色矮星がチャンドラセカール限界質量に近づくことで生じるとされる Ia 型超新星は、その出現する銀河全体にも匹敵する明るさを持つ ($M_V \sim -19.3$ mag) ことから、赤方偏移が 1 を超える遠方宇宙にまで、距離指標としてこれまでの宇宙論研究に用いられてきた。しかし、統計的に十分なサンプル数が得られるようになると、個々の Ia 型超新星の color や明るさには本質的なバラつきが見られるようになり、これまでの理論では説明できないような color evolution をたどる新たな観測結果も報告されている (e.g., Jiang et al. 2017)。我々は、最大光度付近の Ia 型超新星の吸収線に特徴的に見られるケイ素 SiII (5750Å, 6100Å) の等価幅から分類を行った Branch et. al. 2009 に基づき、過去のアーカイブデータを用いて光度曲線に見られる関係から明るさを補正した後の color-color 関係や color-luminosity 関係を調べた。すると 4 種類の Branch 分類グループごとに異なる color-luminosity 関係を持つことが示唆された。さらに我々は、本研究に使用する超新星サンプルを集めるために、11 月中旬から東京大学木曾観測所 1m シュミット望遠鏡に搭載する広視野・高速読み出しカメラ Tomo-e Gozen に、部分的にセンサを搭載した全天サーベイを行なっている。Tomo-e Gozen サーベイでは限界等級 19mag(S/N=5) で、全センサ (84 枚) が搭載されると 1 視野約 20 平方度となり、7000 平方度を 2 時間おきに観測できる。現在は Pan-STARRS 画像との引き算パイプラインを整備しており、例えば国内望遠鏡による分光追加観測を想定した、最大光度から約 1mag 暗いフェーズにある Ia 型超新星の発見が年間 100 個程度期待されている。これによりサンプル数の乏しい Branch 分類グループを集め、intrinsic な多様性の有無を統計的に検証することが可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K14b Optical and near-infrared observations of Type Ia SN 2018gv from early phase

Yun JeUng, Masayuki Yamanaka, Miho Kawabata, Tatsuya Nakaoka, Koji S. Kawabata, Hiroki Kimura (Hiroshima University)

It is widely known that Type Ia supernovae (SNe Ia) are used to measure the distances of their host galaxies. However, there are some remained problems to understand the nature of SNe Ia. For example, the explosion model and progenitor system are still unclear. Recently, diversities of the color evolution in early phase of SNe Ia were reported (Jiang et al. 2018; Stritzinger et al. 2018). Their diversities may be related to the explosion scenario. Near-infrared properties of SNe Ia were still ambiguous. In this poster, we present multi-band (BVRIJHKs-bands) properties of the Type Ia SN2018gv from its early phase. We observed this SN from January 19, 2018 to May 11, 2018 through the 1.5-m Kanata telescope. The light curve shapes of this object are similar to those of a normal SN Ia. The B-band maximum date is February 1, 2018, and the B-band maximum magnitude is ~ 13.0 mag. The decline rate of the B-band maximum, $\Delta m_{15}(B) \sim 1.0$, supports that this SN is classified as normal SN Ia. We find that the color evolutions of V-JHKs are consistent with those expected by the template light curves. We will discuss near-infrared properties of SN 2018gv by using our data.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K15b ジーナス統計で迫る Ia 型超新星残骸内の塊構造の形成過程

佐藤寿紀 (理研, NASA)、森井幹雄 (統数研)、Brian Williams (NASA)、John Hughes (Rutgers Univ.)

1980年代初頭に Einstein 衛星によって、Ia 型超新星残骸の内側に塊状の構造が確認されて以来 (Seward+83)、その形成過程について観測・理論の両面から議論はされているものの、起源は未だ謎である。この塊形成モデルとして、爆発直後から多数の塊状構造を保持していたと考える”Clumpy モデル”と、爆発直後の構造は一様だが、進化過程の流体的不安定性で塊構造を形成する”Smooth モデル”の2つが考えられている (Wang+01)。これらは、爆発時の Ia 型超新星の構造に直結するため、爆発機構を理解する上でも重要な情報である。近年、両モデルの流体計算が行われ、両者の外見 (塊のサイズや形状) は異なっているものの、運動学的性質 (膨張速度やその減速度) は両者とも実際のティコの Ia 型超新星をよく説明できる事がわかり始めている (Williams+17)。しかし、その構造の違いを区別する手法が現在無い。そこで我々は、二次元画像内のトポロジーをジーナス統計を用いて定量化することで、この超新星残骸内の構造の違いを特徴づけ、塊の形成過程に迫れないかと考えた。ジーナス統計は、主に宇宙の大規模構造の研究に用いられている手法で (Gott+86 など)、画像に等高線を引いた時にできる輝度の「山」と「穴」の数 (=ジーナス数) によって、二次元面がどのようにつながり合っているかというトポロジカルな情報を特徴づけることができる。

本研究では、実際にティコの超新星残骸、Clumpy モデル、Smooth モデルの二次元画像の等高線 ν に対するジーナス数 $G(\nu)$ の変動を算出し、その比較を行う事で、世界で初めてジーナス統計による超新星残骸の構造評価を試みた。そして、両モデル間で構造の違いがジーナス数の変動の違いとして現れる事を確認した。本発表では、この解析手法の詳細と結果の解釈を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K16a HSC transient survey による rapidly evolving transients の統計的解析

反保 雄介, 田中 雅臣 (東北大), 安田 直樹, 鈴木 尚孝, 高橋 一郎, 諸隈 智貴, 姜 継安 (東京大), 富永 望, 山口 正輝 (甲南大), 守屋 堯 (国立天文台), 他 HSC Transient WG

PAN-STARRS1 や Dark Energy Survey といったサーベイ観測から、通常の超新星爆発と比較して、より短いタイムスケールで進化する rapidly evolving transient と呼ばれる天体が複数報告されている。超新星爆発と同程度の明るさではあるが、超新星爆発と比較して進化が速いことから、放出物質の総量が少ないと考えられ、超新星爆発の標準的なエネルギー源であるニッケル 56 の崩壊とは異なるエネルギー源の必要性が指摘されている。しかし、それらの天体の光度曲線の形状、絶対等級や色などの性質や、発生率については、依然として不明な点が多いままである。

我々は、2016年11月から2017年4月にかけて行われた、すばる望遠鏡の戦略枠観測 (SSP) による、主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を使った突発天体探査のデータから、約 60,000 個の transient 候補天体に対して rapidly evolving transient の探査を行った。解析では、各天体の g, r, i, z の 4 バンドの光度曲線に対してガウス関数でのフィットを行い、そのフィットされたガウス関数の半値全幅を用いて光度曲線の形状を評価することで、rapidly evolving transient と思われる天体を分類し、統計的解析を行った。

本講演では、rapidly evolving transient と判定された天体の光度曲線の形状、絶対等級、色といった個々の天体の性質を比較し、共通点や差異の由来を議論する。またこれらの天体の発生率、赤方偏移ごとの分布を上述の PAN-STARRS1 や Dark Energy Survey のサーベイ観測で得られた結果と比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K17a HSC transient survey で探る明るい超新星の光度分布

松田 将大, 田中 雅臣 (東北大), 安田 直樹, 鈴木 尚孝, 高橋 一郎, 諸隈 智貴, 姜 継安 (東京大), 富永 望, 山口 正輝 (甲南大), 守屋 堯 (国立天文台), 他 HSC Transient WG

重力崩壊型超新星のピーク時の絶対等級は -16 から -18 等程度であるのに対し、近年発見された超高輝度超新星はピーク時に -21 から -23 等もの明るさに達し、これら2つの種族の超新星の明るさにはギャップがあることが示唆されている。このギャップに対応する明るさをもつ超新星がこれまで数例報告されているが、超新星の幅広い明るさ分布をカバーする系統的な探査は行われておらず、超新星の真の明るさの分布はまだ明らかにはなっていない。

我々は2016年11月から2017年4月に、すばる望遠鏡の戦略枠観測 (SSP) によって主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた突発天体の探査観測を行った。この観測では、COSMOS領域 (Ultra-Deep layer 1.77平方度、Deep layer 5.78平方度) を約26等級の限界等級で反復観測しており、遠方の超新星を系統的に探査するのに適している。我々は、この観測データを用いて超新星と超高輝度超新星の明るさのギャップに相当する明るさを系統的に解析し、その中から赤方偏移の決定誤差が特に小さいもの (分光観測もしくはCOSMOS2015カタログの測光観測から推定されたもの) を選び出し、典型的な超新星との光度曲線の比較、光度分布の調査などを行った。

本講演では光度分布のギャップ部分に属する天体の分類や性質を示し、明るい超新星の event rate と真の光度分布について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K18a 中心エンジン駆動超新星エジェクタの3次元流体シミュレーションと明るい超新星の多様性

鈴木昭宏 (国立天文台)、前田啓一 (京都大学)

通常の超新星に比べ 10-100 倍程度の明るい可視光度で光る超高輝度超新星の正体は未だ謎のままである。そのエネルギー源の有力なシナリオの一つとして、中心に残されるコンパクト天体からのエネルギー注入がある。しかしながら、中心エンジンによって駆動される超新星エジェクタの多次元的な進化とその光度曲線および放射スペクトルへの影響はまだ十分に理解されているとは言えず、引き続き研究が必要な状況である。

今回我々は、中心にエネルギー源を持つ超新星エジェクタの3次元シミュレーションを行い、エジェクタの多次元的な進化について考察した。特に、通常の超新星の爆発エネルギー (10^{51} erg) と同程度のエネルギーを注入したモデルと 10 倍のエネルギーを注入したモデルについて計算を行ない、定性的に異なる力学的進化を辿ることが分かった。エネルギー注入の結果として自由膨張するエジェクタ中を伝播する衝撃波ができるが、後者のモデルでは衝撃波が比較的早い段階でエジェクタ表面に到達しブレイクアウトが起こるのに対し、前者のモデルでは衝撃波領域がエジェクタ中に留まったままになる。この違いは、超新星として観測される際のエジェクタの密度構造に反映されるはずである。講演では、シミュレーション結果を紹介するとともに、予想される超新星としての見え方の違いについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K19a 大質量星の最終進化の多次元シミュレーション

吉田敬 (東京大学)、滝脇知也 (国立天文台)、中村航 (福岡大学)、固武慶 (福岡大学)、梅田秀之 (東京大学)、高橋亘 (ボン大学)

超新星爆発の爆発機構を解明するためこれまでに多くの数値シミュレーションが行われ、超新星爆発に重要な物理過程が明らかにされてきている。その中で、爆発の素過程とともに爆発の初期条件としての親星の構造が注目されている。最近の研究では親星が持つ構造の非球対称性が超新星爆発の爆発に有利に働くことが示されている (e.g., Müller et al. 2016, 2017)。そこで、我々は大量星の最終進化の多次元シミュレーションを行うために超新星爆発計算用のコードに大量星進化に対応した核反応ネットワーク、状態方程式、ニュートリノエネルギー放出率計算を適用する仕様変更を行った。本研究ではこの多次元流体コードを用いて重力崩壊に至る直前 100 秒程度にわたる大量星進化の 2 次元流体シミュレーションを行う。そしてこれらの星における Si/O 層の対流構造と星の質量や overshoot の違いの対流構造に対する依存性について調べる。

本研究ではまず太陽金属量の $9-40M_{\odot}$ の星について水素燃焼から中心温度が $10^{9.9}$ K になるまで 1 次元の進化計算を行った。その中で、overshoot の扱いが異なる 4 通りのモデルについて計算した。次に、このモデルから 1000–10000km の範囲に広い Si/O 層が存在するモデルを質量または体積の重みをつけた 2 通りの方法で選択し、11 種類のモデルについて中心温度が 9×10^9 K、中心密度が 10^{9-10} g cm⁻³ になるまでの ~ 100 秒にわたる 2 次元大量星進化シミュレーションを行った。その結果、主に $20M_{\odot}$ 以上の初期質量で大きな質量の Si/O 層の領域を持つ星で、数 1000–10000km の領域において音速の ~ 0.1 倍程度の対流速度を持つ大規模な対流が起きることがわかった。このような対流速度の非球対称性が超新星の爆発に有利に働くことを期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K20a Confined CSM 付随の超新星爆発のミリ波放射に関する理論研究

松岡知紀, 前田啓一, Shiu-Hang Lee, 安田晴皇 (京都大学)

近年展開されている突発天体サーベイにより、大質量星は恒星進化の最終段階に多様なふるまいを遂げることが明らかになってきた。その一例に、confined circumstellar medium (confined CSM) と呼ばれる、半径が 10^{15} cm 以内の小さな領域内に $0.01 \sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{yr}$ の質量放出率に相当する高密度構造を伴った大質量星の超新星爆発が見つかっている。confined CSM を伴う場合、衝撃波による粒子加速や磁場増幅によって電波が放射されるが、同時に制動吸収による減衰を受ける。そのため観測が期待できる周波数帯は主にミリ波 ($\gtrsim 100$ GHz) 領域である。しかし、その放射強度はこれまで理論的に見積もられていなかった。

本研究では、confined CSM を形成した大質量星が起こした超新星爆発から期待されるミリ波の放射強度を理論的に予測する。星周物質が高密度であるため、電子の加速によるミリ波放射への寄与だけでなく、加速された陽子の非弾性衝突による二次電子や陽電子の生成の寄与も無視できなくなる。本講演では予想されるミリ波の光度曲線の振る舞い、及びそれに寄与する主たる要素について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K21a 衝撃波領域の構造を考慮した II_n 型超新星の光度曲線

津名大地 (東大 RESCEU)、樫山和己 (東大 RESCEU)、茂山俊和 (東大 RESCEU)

重力崩壊型超新星のうち、スペクトルの水素輝線が極めて狭いものは II_n 型超新星と分類されている。このスペクトルの特徴は星周物質との相互作用を示唆していて、吹き飛ばされた親星の外層 (イジェクタ) の運動エネルギーが星周物質との衝突によって熱エネルギーに変換され、これが放射として観測されていると考えられている。II_n 型超新星の放射の詳細について理論研究および観測との比較は過去にされてきたが、衝撃波で加熱された領域の構造について詳細に考慮されている研究は存在しない。また一部の II_n 型超新星では光度曲線が二山の構造になっているものが観測されているが、これまで構築されてきた光度曲線のモデルではこの観測事実をうまく説明できない。

衝撃波領域には星周物質が加熱された前方衝撃波由来の成分と、イジェクタが加熱されたより高密度な後方衝撃波由来の成分があり、二つの成分をしっかりと分解することは光度を正確に捉える上で重要である。本講演では、衝撃波領域の構造をきちんと分解して、簡単な輻射輸送計算を含めて新たに構築した II_n 型超新星の光度曲線のモデルを発表する。またこれらの光度曲線がイジェクタの質量・エネルギーや星周物質の密度などのパラメータによってどのように変化するか、そして観測されている様々な光度曲線を説明できるかを考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K22a 星周物質との衝突によって光る超新星の拡散近似を用いた輻射流体計算による研究

武井 勇樹, 茂山 俊和 (東京大学)

II型超新星の中でも水素の輝線幅が極めて狭いものはIIn型超新星と分類されている。IIn型超新星の大きな特徴は星周物質(CSM)の密度が極めて高いことであり、親星の質量放出率の高さと関連付けられる。CSM密度が非常に高いことから、爆発により吹き飛ばされた外層とCSMとが衝突すると相互作用が引き起こされ、加熱された領域が生じる(ショック領域)。IIn型超新星はこのショック領域からの輻射によって通常の超新星に比べて非常に明るく光り輝いてると考えられる。

本来この輻射はショック領域の内部構造に依存するが、これまでなされてきた理論研究ではショック領域の内部構造は分解されてこなかった(e.g., Blinnikov & Bartunov 1993; Moriya et al. 2013)。そこで我々は、衝撃波に挟まれたショック領域の内部構造を拡散近似を行なった輻射流体方程式を用いて解くことで詳細に光度を計算した。本講演では内部構造と光度の計算結果を示し、内部構造がどのように光度に影響を及ぼしているかについて議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K23a 高い偏光度を示す IIn 型超新星 SN 2017hcc の可視近赤外線観測

大坪一輝、山中雅之、川端弘治、中岡竜也、川端美穂、高木健吾、河原直貴、安部太晴（広島大学）、
秋田谷洋（埼玉大学）

IIn 型超新星とは周囲の星周物質と相互作用することで水素の狭い輝線が見られる超新星である。ある Luminous Blue Variable(LBV) のアウトバースト後に IIn 型超新星に進化した事例もあり、LBV が IIn 型超新星の親星である可能性が指摘されている。近年、SN 2006gy という極大等級が -22mag に到達するような極めて明るい IIn 型超新星が発見された。その光度から、親星の初期質量は $100M_{\odot}$ 程度にも達しているという説があり、通常の重力崩壊型シナリオでは説明が難しい。今回我々は広島大学かなた望遠鏡を用いて、可視近赤外線波長域で IIn 型超新星 SN 2017hcc の追観測を実施した。その結果、極大光度が -20.8mag と非常に明るいことが分かった。これは、これまでによく観測されている IIn 型超新星の中で 4 番目に明るく、総放射エネルギーは $3.6 \times 10^{50}\text{erg}$ に達する。更に、直線偏光度は極大 16 日前には 3.2 % と高い値を示し、その 43 日後には 1.4 % まで減衰した。これは ejecta と相互作用する星周物質の分布が非球対称である事を示唆する。この事から、膨張する ejecta から総放射エネルギーへの変換は、一部の相互作用領域に限定されると示唆される。また、極大から約 250 日後の後期スペクトルにおいては、幅の広い水素の輝線が見られ、内部 ejecta が大きな膨張速度を持つと示唆される。以上より、推定される爆発エネルギーは 10^{52}erg に匹敵する可能性がある。更に、後期スペクトルには Ib/c 型超新星で観測されるような高い $[\text{OI}]/[\text{CaII}]$ が認められ、FeII multiplet も見られた。以上より、SN 2017hcc は極めて爆発エネルギーの大きな重力崩壊型超新星である事を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K24a ダスト生成を伴う IIn 型超新星 KISS15s の発見と 3 年間の可視-赤外線追観測

小久保充 (東北大学), 諸隈智貴 (東京大学), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 守屋堯 (国立天文台), KISS メンバー

重力崩壊型超新星の中には、超新星イジェクタが濃い星周物質と相互作用することによって、長期に渡って非常に明るく輝く種族 (IIn 型超新星) が存在する。本講演では、木曾観測所 1.05-m シュミット望遠鏡を用いた超新星探査 Kiso Supernova Survey (KISS) によって 2015 年 9 月 18 日に発見された IIn 型超新星 KISS15s ($z = 0.038$, $M_{g,\text{peak}} \sim -19$ mag) について、発見後 3 年間にわたる可視-赤外線測光分光追観測の結果を報告する。KISS15s の可視連続光放射は発見後 500 日までは ~ 1 等級/年の割合で緩やかに減光し、その後に急減光を示した。H α 輝線は広輝線 (14,000 km/s)、中間幅輝線 (2,000 km/s)、狭輝線 (< 100 km/s) の 3 成分に加え、 $-5,000$ km/s 青方偏移した中間幅輝線成分が確認できた。さらに、WISE 衛星による W1 (3.4 μm), W2 (4.6 μm) バンドの撮像データ (全天撮像/半年) を確認したところ、KISS15s は発見の半年後から現在まで赤外線の増光を示していることが分かった。2.0-m なゆた望遠鏡を用いた J (1.2 μm), H (1.6 μm), K $_s$ (2.2 μm) バンド撮像データと組み合わせることで、後期の赤外線超過成分は $T \sim 1,200$ K のダスト黒体放射でよく説明できることが分かった。このような高温ダスト成分が超新星爆発後数百日のタイムスケールで増光した事実は、イジェクタ-星周物質の相互作用領域において放射冷却されたガスから新しいダスト粒子が (少なくとも) $\sim 3 \times 10^{-4} M_{\odot}$ 程度生成されたことを示唆する。可視-赤外線観測から求めた KISS15s の全光度から、親星の爆発直前数十年間の質量放出率は $\dot{M} \sim 0.4 M_{\odot}/\text{年}$ と推定される。これらの KISS15s の観測的特徴は SN 1988Z-like IIn 型超新星 (e.g., SN 2005ip, 2006jd, 2010jl) に共通の性質であり、この種の IIn 型超新星を生じさせる共通のチャンネルの存在を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

3月14日（木）午後（13:00-14:24）[B会場]

L01a	13:00	摂動分を除く太陽系惑星の近日点移動量の計算 藤原ケイ（）
L02a	13:12	X線天文衛星「すざく」による太陽活動極大付近における木星観測 沼澤正樹（首都大学東京）
L03a	13:24	広視野高速カメラ Tomo-e Gozen と「重ね合わせ法」の組み合わせによる高速移動微小 NEO サーベイ観測計画 奥村真一郎（日本スペースガード協会）
L04a	13:36	はやぶさ2搭載レーザ高度計 (LIDAR) の科学運用状況 野田寛大（国立天文台）
L05a	13:48	「あかり」中間赤外線分光観測による異なる母天体起源の惑星間塵の性質比較 高橋葵（総合研究大学院大学）
L06b	14:00	木星の偏光観測 III 池邊彩乃（兵庫県立大学）
L07b	14:00	惑星磁場を再現する3次元マクロ・スピン・モデル 中道晶香（京都産業大学）
L08b	14:12	10月りゅう座流星群のダスト・トレイル理論の予測と流星電波観測 石村周平（茨城大学）
L09b	14:12	回折格子直付けイメージセンサによる月面閃光の低分散スペクトル 柳澤正久（電気通信大学）

L01a 摂動分を除く太陽系惑星の近日点移動量の計算

藤原 ケイ

筆者は、「太陽黒点相対数と ”エルスト・ピサロ彗星と木星の相対位置 ”が連動している」可能性が高いことを先の大会で講演した（2017 秋、2018 春：133P/エルスト・ピサロ彗星） 具体的に書くと、「黒点は彗星が発生させ、そのなかで 133P が最も強く作用し、木星と外合のとき発生数が極大になる」ということである。

また、地球の気象では、「周期彗星と地球が内合のとき 竜巻等が多発している状況」を見出し、気象学会で講演した（2018 春）

これら「木星・彗星と太陽」、「彗星と地球」での関係を合理的に説明するには、「太陽に向う未確認の流れ」の存在が必須であると考えている。

そこで「未確認の流れ」が存在するのなら惑星軌道運動に対しても何らかの変化を与えているはずと考え、「近日点移動」がその一つかも知れないとして取り上げた。摂動によるものを除いた、いわゆる相対論的效果と言われる部分である。結果として、惑星軌道の微分方程式の、通常は中心力としての引力項 $\{-GM/r^2\}$ だけであるところに、微小の斥力項 $\{+6 \cdot (GM/c)^2/r^3\}$ を付加することで、よく知られた解と同一の結果を得た。

講演では背景および計算内容と、付加項の物理的解釈、「未確認の流れ」との関係などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a X線天文衛星「すざく」による太陽活動極大付近における木星観測

沼澤正樹、江副祐一郎 (首都大)、石川久美 (JAXA)、大橋隆哉 (首都大)、三好由純 (名古屋大)、木村智樹 (東北大)、内山泰伸 (立教大)

本講演ではX線天文衛星「すざく」による2012、2014年の木星観測の結果について報告する。近年のX線観測衛星の活躍により、太陽系天体からのX線放射が多数発見されている (Bhardwaj et al. 2007 PPS)。しかし、これらの放射メカニズムについては未知の部分が多い。木星は太陽系最大の惑星であり、数百木星半径にも及ぶ巨大な磁気圏とその内部約6木星半径には衛星イオからの火山ガスを源とするイオプラズマトーラスを持つ。木星X線の放射領域とメカニズムについては、Chandra や XMM-Newton などによる先行研究で太陽活動との関係を含めて議論されている。

我々は2006年の「すざく」による木星の観測で、世界で初めて木星の周りに広がった硬X線放射 (1–5 keV) を確認した (Ezoe et al. 2010 ApJ)。この放射の起源として、磁気圏内の高エネルギー粒子による太陽光の逆コンプトン散乱を提案している。我々は仮説検証のため、太陽活動が活発な2012、2014年に「すざく」で木星を約160 ks ずつ追観測し、データを解析した。結果として、両観測において2006年観測同様に、硬X線帯のイメージで木星の周りに広がったX線を確認し、同帯域のスペクトルがフラットなベキ関数で再現できることを確認した。広がった放射のX線光度は2006年観測比で2012年は変動無し、2014年は数倍程度と、太陽活動に対し単純には依存しないことがわかった。逆コンプトン散乱と同じく高エネルギー磁気圏粒子を起源に持つ木星シンクロトロン電波の変動が同程度かつ太陽活動に依存しないことが示唆されていることから、本結果は先の仮説を支持するものといえる。本講演ではこれら解析の詳細な結果と今後の木星X線観測の展望を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a 広視野高速カメラ Tomo-e Gozen と「重ね合わせ法」の組み合わせによる高速移動微小 NEO サーベイ観測計画

奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 柳沢俊史, 吉川 真 (宇宙航空研究開発機構), 酒向重行, 大澤 亮, 小島悠人 (東京大学), Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー

東京大学木曾観測所の広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen に「重ね合わせ法」を適用することにより、微小な高速移動天体の大量発見を可能にするための観測計画を進めている。地球に接近する小天体 (地球接近小惑星; NEO) は、地球に近づけば近づくほど明るくなる一方で移動速度が大きくなるため「トレイルロス」によって検出限界が浅くなり、大望遠鏡 + CCD カメラといった通常の観測手法では見逃してしまう。Tomo-e Gozen カメラはピクセルスケールが大きく、また高速読み出しが可能なのでトレイルロスの影響を受けにくく、移動天体に対しても 19 等という検出限界を達成する (2018 年秋季年会、小島他講演)。一方、ここで言う「重ね合わせ法」とは短時間露出の画像を様々な方向・様々な移動速度を仮定してずらしながら足し合わせるものであり、同様にトレイルロスの影響を受けずに深い感度を達成できる解析手法である。Tomo-e Gozen による高速撮像データは、この「重ね合わせ法」を適用するのに極めて適している。これら二つの要素を組み合わせる効果により口径 8m クラスの大望遠鏡を使用しても見逃してしまうような、高速移動する 20 等より暗い微小な NEO の大量発見を目指す。数十 m サイズの小天体に関するサイズ分布に制限を与えて太陽系小天体の軌道進化やその起源の解明に迫ることが本研究の目的である。Tomo-e Gozen の大容量データに対して重ね合わせ処理を可能にするために専用の FPGA ボードを導入し、専用のデータ処理パイプラインを構築する計画の進捗について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04a はやぶさ2搭載レーザ高度計(LIDAR)の科学運用状況

野田寛大、並木則行(国立天文台)、千秋博紀(千葉工大)、松本晃治、鶴田誠逸、浅利一善(国立天文台)、はやぶさ2 LIDAR サイエンスチーム

2014年12月3日に打ち上げられた日本の小惑星探査機「はやぶさ2」は2018年6月に小惑星リュウグウに到着して観測を開始し、2019年末まで科学観測を実施する予定である。探査機には、小惑星に対する探査機位置および小惑星の地形を同時に計測するためのレーザ高度計(LIDAR)が搭載されている。

探査機は小惑星から高度約20kmのホームポジションと呼ばれる場所から観測を行い、小惑星の自転により全球マッピングを行う。LIDARの受光望遠鏡の視野角が1.5mradと狭いことから、通常は探査機観測装置面の指向方向である赤道域を観測するが、探査機の姿勢を周期的に変化させるスキャン観測も数回行われ、画像によるものとは独立の形状モデルが作成された。また、赤道域を含む低緯度の緯度方向スキャンを高度約5kmから行い、赤道域付近に存在する大クレータの詳細な形状を得ることに成功した。

探査機のタッチダウンの際に目標となるターゲットマーカには再帰性反射シートが貼られているため、レーザ光が照射されると強い光が探査機に戻ってくる。LIDARの受光レベルと小惑星上の位置から、一つ目が投下された2018年10月25日以降の観測においてターゲットマーカを何度か捉えたことが分かり、探査機に対するLIDARの取付方向が最終的に確定する見込みである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L05a 「あかり」中間赤外線分光観測による異なる母天体起源の惑星間塵の性質比較

高橋葵、松原英雄（総研大、ISAS/JAXA）、大坪貴文（ISAS/JAXA）、左近樹（東大）、臼井文彦（神戸大）

太陽系内の惑星間空間には、シリケートや炭素質物質を主成分とする塵が薄く広がって分布しており、これを惑星間塵（Interplanetary dust; IPD）と呼ぶ。IPDは原始太陽系円盤内で微惑星に取り込まれた後、小惑星や彗星の一部として生き残り、衝突や昇華によって内部から惑星間空間に再放出されたものであると考えられている。したがってその性質は、母天体が形成された領域のダストの性質を反映しているという点において、原始太陽系円盤内の環境に関する情報を含む。母天体が異なるとIPDの空間分布が異なるため、異なる領域に存在するIPDの性質を比較することが重要である。我々は、IPDの性質を知る手がかりとして黄道放射スペクトルに見られる波長 $10\ \mu\text{m}$ 周辺のシリケートフィーチャーに着目し、その形状を様々な天域で比較した。

赤外線天文衛星「あかり」で取得した74方向の黄道放射のスリット分光スペクトル（波長 $5.4 - 12.3\ \mu\text{m}$ ）の全てにおいて、波長 $9 - 12\ \mu\text{m}$ で連続光に対する超過成分を検出し、その形状から各視線方向に含まれるIPDの性質を特定した。全天域における典型的なIPDの性質として、 $1\ \mu\text{m}$ 以下のサイズの結晶質シリケートを含み、特に特異な結晶形状を持つ Enstatite 粒子を多く含むことがわかった。また、高黄緯のIPDほど低い Forsterite/(Enstatite+Forsterite) 比、Olivine/(Pyroxene+Olivine) 比を示すことがわかった。本講演では、これらの結果とともに考えうる解釈の例を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L06b 木星の偏光観測 III

池邊彩乃、伊藤洋一、高橋隼（兵庫県立大学）

太陽系内のほとんどの天体は太陽光を反射することで輝く。反射した光の偏光を調べることで反射体の物性や形状を推定できるため、惑星や小惑星に対しては数多くの偏光観測がなされてきた。

木星に対しても可視光での偏光観測がいくつか行われている。南北の極の偏光度は約 5%で、偏光ベクトルは南北方向に分布する（Hall & Riley 1968）。この偏光は多重散乱によるものと多くの先行研究で結論づけられている（Hall & Riley 1968, Gehrels et al. 1968, Schmid et al. 2011, McLean et al. 2017）。一方で、面内部の偏光度は 0 から 2%程度、偏光ベクトルは東西方向に分布するという結果が得られている（Braak et al. 2002）。この先行研究では 1 次元のデータで議論していたが、本研究では 2 次元の偏光データで面内部での偏光の散乱メカニズムについて議論する。

我々は西はりま天文台の 2 m 反射望遠鏡「なゆた望遠鏡」に 4 つの偏光成分を同時に観測できる同時偏光撮像・分光装置 POL を取り付けて木星の偏光観測を行った。2015 年 4 月から 2017 年 2 月に B, V, R, I, 8890Å の 5 つの波長域で行った。一晚の観測時間は 3-5 時間である。木星の V バンド画像を解析した結果、偏光度は南北の極で約 8%、面内部で 0-2%程度であると分かった。偏光ベクトルは南北の極でほぼ南北方向に、面内部で東西方向に分布することが分かった。この結果はおおよそ先行研究と一致した。また、偏光ベクトルは位相角が同じであれば太陽の位置によって変化しないことが分かった。木星の偏光は 1 回または 2 回のレイリー散乱だけでは説明できないと考えられる。本講演では面内部での偏光の散乱メカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L07b 惑星磁場を再現する3次元マクロ・スピン・モデル

中道晶香（京都産業大学）、森川雅博（お茶の水女子大学）

様々な大きさや内部構造をもつ惑星たちはたいいてい活動的な磁場を持っている。地磁気に関しては、我々は以前、マクロな結合スピンモデル(中道、森、森川)を解析し、間欠的な反転ダイナミクスや素早い反転、スーパーカロンを説明して、地球ダイナモの基本を理解してきた。この講演では、このモデルをもっと一般化して、ほかの惑星に対しても統一的な物理を見出す。

特に注目するのは最近探査機ジュノーによって観測された木星磁場である。低緯度に磁場集中領域が存在したり、極の磁場が広がり、非双極成分は北半球に寄っている。これらの特徴は以前の2次元モデルでは再現できないため、今回3次元に拡張したモデル(國友、中道、原)を用いた。そのラグランジアンは、 N 個のマクロスピン s_i , ($i = 1, 2, \dots, N$) に対して $L = -\mu \sum_{i=1}^N (B \cdot s_i)^2 - \frac{\lambda}{2N} \sum_{i,j=1}^N (s_i \cdot s_j - N)$ となる。ここで、 μ, λ は、それぞれ、スピンの自転軸方向のベクトル B に揃う強度、スピン自身がお互いに揃う強度である。各スピンは3次元成分を持ち連続に運動する。これは、自転によって生成したテイラー柱に巻き付く電流が局所的に生成する磁場である。モデルの3次元性は、磁束の北半球集中を説明するために必須である。磁極反転の時に木星磁場の観測結果を再現する磁場分布を得たが、反転時以外にも観測されるのかにも興味がある。同じガス惑星である土星の磁場がきれいに双極的である理由も、スピンモデルで説明できる。天王星、海王星の磁場のように4重極が卓越する様相も、 λ が小さいとしてこの拡張されたスピンモデルで再現できる。さらに、我々は惑星磁場たちが持つ複数のスケールリングを見出した。拡張されたマクロスピンモデルを介して、惑星内部構造との関連を明確にする。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

L08b 10月りゅう座流星群のダスト・トレイル理論の予測と流星電波観測

石村周平, 野澤恵 (茨城大学), 渡部潤一 (国立天文台)

我々は茨城大学で流星電波観測 (HRO: HAM-band Radio Observation) を用いて10月りゅう座流星群 (ジャコビニ・チンナー流星群) を観測した。ジャコビニ・チンナー彗星は周期6年半で地球に接近する。最近では2018年9月に地球軌道に接近した。この10月りゅう座流星群は13年の周期で活動が活発になるとされている。この流星群は流星物質と呼ばれる塵を残す母天体 (彗星) が判明している流星群である。今回の流星群の発生は日本時間の朝7時から9時にピークがあるため日本では眼視観測はできない。そこで24時間天気に関係なく観測可能な流星電波観測を行った。またこの流星群はダスト・トレイル理論によって2018年の出現の予測されており、その予測が的中した形である。ダスト・トレイル理論とは彗星が残した流星物質がトレイル (帯) になり宇宙空間に残り続け、そのトレイルに地球軌道が近づくことによって流星群が発生するモデルである。流星電波観測とは、流星が発生した時に生じるプラズマ散乱を用いて電波の反射を受け取り観測する手法である。電波の送信局は福井県立大学の流星観測用の電波を使用しており茨城大学水戸キャンパスで受信している。周波数は53.7549Mhzである。本講演では10月りゅう座流星群のダスト・トレイル理論のピーク時刻と出現数の予測と実際の観測で一致するか確認した。結果は予測のピーク時刻より早い時間から流星の数は増え始めたが流星電波観測のピーク時刻と一致した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09b 回折格子直付けイメージセンサによる月面閃光の低分散スペクトル

柳澤正久, 柿沼文広 (電気通信大学)

メテオロイドの月への衝突による月面衝突閃光は、1999年のしし座流星群活動期に初めて観測されて以来[1,2,3]、今日では普通に観測されるようになった[4]。しかし、そのスペクトル情報は得られていない。フィルタを使った2色観測も始まったばかりである[5]。数日の観測で1回検出される程度の頻度の高い閃光は8等級より暗く、継続時間も0.1秒以下である。そのため小型望遠鏡による通常の分光観測では、暗すぎてスペクトル像が得られない。一方、大型望遠鏡は視野が狭く、月面上のどこでいつ起こるか分からない閃光を観測するには不向きである。広視野のものもあるが、閃光を逃さないようカメラの露光時間を読み出し速度(0.5秒以上)に合わせると、地球照や月の明るい部分からの迷光で画面が飽和してしまう。我々は回折格子を画像センサのカバーガラスに接着した分光動画カメラを製作した。センサはSONYのIMX174MM(CMOS, 11.3 x 7.0 mm)である。口径45 cm、F値4.5の望遠鏡からの収束光はそのまま70 grooves/mmのブレード型回折格子に入る。光は回折格子の溝が切った面から入射する。格子面とセンサ受光面の距離は約5 mmしかない。これにより、閃光や星の超低分散スペクトル像を得ることができる。スペクトル像が明るく、構造が簡単なのが長所であるが、像が写る場所により光が回折格子の異なった位置を通るため、注意深いキャリブレーションが必要である。このカメラにより幾つかの月面閃光のスペクトルを得た。連続スペクトルではないと言い切れるものはなかった。黒体放射を仮定すると殆どが約3000 Kを示した。参考文献:[1] Ortiz et al. 2000. Nature, 405, 921-923. [2] Dunham et al. 2000. Abstract No.1547, Lunar Planet. Sci. XXXI. [3] Yanagisawa and Kisaichi 2002. Icarus, 159, 31-38. [4] Suggs et al. 2014. Icarus, 238, 23-26. [5] Bonanos et al. 2018. Astronomy and Astrophysics, 612, id.A76.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

3月15日（金）午後（13:30-15:30）[B会場]

M01a	13:30	太陽フレアに伴うコロナ質量放出の可視性と統計的傾向	河村聡人（京都大学）
M02a	13:42	磁気ヘリシティの機械学習によるコロナ質量放出の発生予測	西塚直人（情報通信研究機構）
M03a	13:54	太陽高エネルギー粒子（SEP）の発生に関する統計的研究	木原孝輔（京都大学）
M04a	14:06	2017年9月10-11日の太陽プロトン現象と航空機高度での被ばく	片岡龍峰（国立極地研究所）
M05a	14:18	東アジアの新出史料に見る1582年3月の巨大宇宙天気イベント	服部健太郎（京都大学）
M06a	14:30	太陽の活動はダルトン極小期以降4回衰退した	杉谷康雄（）
M07a	14:42	噴出型プロミネンス内の速度場変化と磁場の関係性	金子岳史（名古屋大学）
M08a	14:54	太陽フィラメント噴出と太陽面磁場の関係に関する観測的研究	箕浦桜子（名古屋大学）
M09a	15:06	Comparison of Coronal Field Models Using a Flux Emergence Simulation as a Ground-truth Data Set	鳥海森（国立天文台）
M10a	15:18	圧力および重力効果を含む彩層・太陽コロナ磁場モデリング	三好隆博（広島大学）

3月16日（土）午前（9:30-11:42）[B会場]

M11a	09:30	太陽風の三次元磁気流体直接数値計算	庄田宗人（東京大学）
M12a	09:42	Radiative loss and temperature in magnetic chromosphere with 1.5D MHD simulation	Wang Yikang (The University of Tokyo)
M13a	09:54	Nature of Magnetic Reconnection in Solar Chromosphere: Steady or Time-Dependent	K. Alkendra, P. Singh (Kyoto University)
M14a	10:06	光球で起こるアネモジェットの数値的研究	古谷侑士（京都大学）
M15a	10:18	熱的磁化プラズマにおける磁場と粒子系の結合	柴崎清登（太陽物理学研究所）
M16a	10:30	Solar-C-EUVST (高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星) : 最新状況	清水敏文（宇宙航空研究開発機構）
M17a	10:42	次期太陽観測衛星 Solar-C EUVST を想定した電離非平衡プラズマ診断	今田晋亮（名古屋大学）
M18a	10:54	磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告（2019年春）	成影典之 (国立天文台)
M19b	11:06	宇宙天気ハザードマップ完成に向けた宇宙天気情報利用状況調査	塩田大幸（情報通信研究機構）
M20b	11:06	太陽フレア時の航空機被ばく警報システム WASAVIES	塩田大幸（情報通信研究機構）
M21b	11:06	マイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数と白色光放射発生との関係	鶴田康介（防衛大学校）
M22b	11:18	太陽フレアにおける H α 偏光の発生可能性についての観測的検証	川手朋子（宇宙航空研究開発機構）
M23c		Critical Parameters of an Active Region to Produce Eruptive Solar Flares and CMEs	Pei Hsuan Lin (Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M24c		多波長観測によるプロミネンスの温度診断 岡田翔陽 (京都大学)
M25c		H α 線と FeI 543.4 nm 線による太陽光球・彩層の2波長同時高速2次元分光 當村一朗 (大阪府立大学工業高等専門学校)
M26b	11:18	飛騨天文台 SMART/SDDI 高速フラット処理手法の開発 大辻賢一 (京都大学)
M27b	11:18	雲南天文台麗江観測所コロナ観測状況 萩野正興 (国立天文台)
M28b	11:30	太陽全球可視光画像における黒点自動検出による重心判別 堀川大地 (関西学院大学)

3月16日(土) 午後(13:30-15:30) [B会場]

M29a	13:30	「ひので」衛星による太陽表面のリム境界近傍におけるドップラー速度の観測 森塚章恵 (信州大学)
M30a	13:42	スペクトル線幅と非対称から探る太陽光球プラズマ乱流ダイナミクス 石川遼太郎 (東北大学/国立天文台)
M31a	13:54	黒点形成と太陽深部の磁場・熱対流構造の関係 堀田英之 (千葉大学)
M32a	14:06	太陽熱対流の非局所性とその輸送ダイナミクスへの影響 政田洋平 (愛知教育大学)
M33a	14:18	太陽表面における子午面還流の磁気要素パラメータ依存性と内部探査の可能性 飯田佑輔 (関西学院大学)
M34a	14:30	2017年アメリカ日食観測による太陽半径の精密測定 山村秀人 (NPO 花山星空ネットワーク)
M35a	14:42	飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験 山崎大輝 (京都大学)
M36a	14:54	撮像観測による太陽彩層微細構造の3次元速度場の解析 徳田怜実 (京都大学)
M37a	15:06	浮上磁場領域アーチフィラメントシステムの環境による時間発展の違いについて 町田亜希 (京都大学)
M38a	15:18	IRIS による Mg II hk 線観測と non-LTE 計算によるスヒキュールの物理量推定 鄭祥子 (京都大学)

3月17日(日) 午前(9:30-11:06) [B会場]

M39a	09:30	MHD 不安定性の臨界条件に基づいた巨大太陽フレア発生予測の試み 草野完也 (名古屋大学)
M40a	09:42	X線天文衛星「すざく」による大規模太陽フレアループ中のプラズマ元素組成比の測定 勝田哲 (埼玉大学)
M41a	09:54	MAXI-NICER 連携 (MANGA) による RS CVn 型星 GT Mus の巨大フレア観測 佐々木亮 (中央大学)
M42a	10:06	HeI 10830A 偏光分光観測によるフレアカーネルの磁場ベクトル測定 野澤恵 (茨城大学)
M43a	10:18	Dynamic Process of the Moreton wave on 2014 March 29 Denis Pavel Cabezas (Astronomical Observatory, Kyoto University)
M44a	10:30	太陽フレア中のプラズモイドの成長過程に関する観測的研究 石塚典義 (東京大学/国立天文台)
M45a	10:42	深層学習と数値計算を用いた微小フレアの検出およびエネルギー導出手法の開発 河合敏輝 (名古屋大学)
M46a	10:54	FOXSI-3 ロケットの軟 X 線撮像分光観測による太陽コロナの温度診断 石川真之介 (名古屋大学)

M01a 太陽フレアに伴うコロナ質量放出の可視性と統計的傾向

河村聡人 (京都大学)、柴田一成 (京都大学)

太陽フレアに伴うコロナ質量放出 (CME) は、太陽地球環境におけるもっとも大規模な擾乱であり、SOHO 衛星の LASCO 望遠鏡により長年観測されてきた。我々はその観測をもとに CME を統計的に研究している。

以前我々は黒点面積とフレアの X 線強度、観測された CME の有無から CME の発生確率について議論した (2015 春-M19a, M20a)。そして、CME の発生には大きな黒点ほどより大きなエネルギーの解放が必要であることを統計的に示した。

この度、我々は CME の速度について統計的に解析した。CME が持ちうる最大の速度はフレアエネルギーや黒点面積に依存するスケーリング測に従うと理論的にわかっている (Takahashi+2016)。しかし、この度の解析では、観測された CME の最大速度はこの理論的スケーリング則よりも制限されることがわかった。この黒点面積とフレアエネルギーを考慮した分析から示唆される、観測された CME の統計的性質を紹介し、その原因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a 磁気ヘリシティの機械学習によるコロナ質量放出の発生予測

西塚直人 (情報通信研究機構)、長谷川隆祥 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)、塩田大幸、久保勇樹 (情報通信研究機構)

太陽フレアは黒点周辺に蓄積された磁気エネルギーが突発的に解放されるときに発生する現象である。解放エネルギーは太陽フレアの X 線放射としてだけでなく、コロナ質量放出 (CME) を伴うこともしばしば観測されている。コロナ磁場はヘリシティ量から調べることができる。黒点周辺の飽和したヘリシティ中に逆極ヘリシティが入射される時、フレアがトリガーされることが明らかになってきた (長谷川ら 2017 年秋季年会)。また近年、太陽黒点画像データに機械学習を適用することにより、太陽フレアの予測精度を向上させることができることが確かめられた (西塚ら 2018 年秋季年会)。その一方で、CME 発生予測についてはまだ検討があまりなされていない。

本講演では、機械学習を用いた太陽フレア予測モデルを拡張することで、CME 予測モデルを開発した。機械学習部分はフレア予測と同様とし、学習データベースには CME 予測用に新たな特徴量 30 個を追加した。例えば、磁場の非ポテンシャル性を表すシア角・ディップ角、磁場のエネルギー入射を表すポインティング・フラックス、大規模な捩れを表すヘリシティ、自由磁気エネルギーなどである。またラベル添付には、NASA の CME カタログを用いた。2010-2015 年に CME は大小 11730 例観測されており、地球に影響する可能性の低いものを排除するため速度秒速 500km 以上、角度幅 30 度以上に条件を絞っても、1240 例 (全体の 10%、内 2% がハロー CME、3% が部分ハロー CME) あることが分かった。さらに CME と黒点領域とで対応つくのはその半数以下であり、多くの CME は背面や静穏領域で発生したり、発生箇所の不明なものが多い。本講演では黒点周辺で発生した CME に限定して機械学習を適用することで、CME 発生予測の精度や前兆現象について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a 太陽高エネルギー粒子 (SEP) の発生に関する統計的研究

木原孝輔, 黄于蔚 (京都大学), 西村信彦 (名古屋大学), 八代誠司 (米カトリック大学), 新田就亮 (ロッキード・マーティン太陽天体物理学研究所), 一本潔, 浅井歩 (京都大学)

太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) は、太陽フレアやコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) といった太陽の突発現象に伴い発生する。SEP は、高緯度を飛行する航空機における被曝や人工衛星の障害など、社会基盤に与える影響が大きく、宇宙天気分野における重要な研究対象である。SEP 研究は、太陽近傍での粒子加速から惑星間空間での伝播など、多くの専門分野にまたがり、共同研究が不可欠な分野である。

そこで、新学術領域「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成 (PSTEP)」の枠組みのもと、SEP に関するデータ解析ワークショップ^{*1}を開催した。本ワークショップでは、SEP 予報を主要テーマの一つとするために、SEP を解析の出発点とするのではなく、高速 CME を解析の出発点とした。CME の放出速度が 900km/s を超える 2006 年から 2017 年までの 197 例のイベントについて、太陽フレアから地球近傍での太陽風データまで、様々な観点から解析を行った。

解析の目的は、検出、フラックスやスペクトルとそれらの時間変動など、SEP の基本性質を決める要因は何か、を理解し、その予測モデルを構築することである。対象となる CME について、GOES, STEREO-A, STEREO-B で観測された SEP の発生時刻、継続時間、ピークフラックス、スペクトルインデックスなどを同定し、CME が発生した太陽面経度、CME の速度、フレア規模などとの相関を調査した。その結果、SEP の到来時刻が CME の発生経度と強い相関があることなどを確認した。本発表では、その他の統計解析の結果、および統計的傾向に従わない特異なイベントについて紹介する。(*1 <https://sites.google.com/view/pstep-cdaw/home>)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M04a 2017年9月10-11日の太陽プロトン現象と航空機高度での被ばく

片岡龍峰 (国立極地研究所), 佐藤達彦 (日本原子力研究開発機構), 三宅晶子 (茨城工業高校専門学校), 塩田大幸, 久保勇樹 (情報通信研究機構)

2017年9月10日のX8.2フレアに伴い、3000 km/s を超えるコロナ質量放出が西へ飛び、地上の中性子モニタでもカウントレートの増加が確認できる太陽プロトン現象が発生した。我々の開発してきた WASAVIES を用いることで、太陽プロトン現象による被ばく線量率は12km 高度において3マイクロ Sv/h と推定され、銀河宇宙線による被ばく線量率の半分以下であることがイベント発生直後に確認された。また同時に、この太陽プロトン現象のエネルギースペクトルは非常にソフトであることもわかり、コロナ質量放出の磁気流体シミュレーションを解析した結果、準平行衝撃波による粒子加速の影響と解釈した。本講演では、過去に発生した顕著な太陽プロトン現象に対する WASAVIES のパフォーマンスについても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a 東アジアの新出史料に見る 1582年3月の巨大宇宙天気イベント

服部健太郎（京都大学），早川尚志（大阪大学），海老原祐輔（京都大学）

過去の宇宙天気イベントの規模や発生頻度の検討は，電気インフラに依存した現代社会にとって喫緊の課題である．観測史上最大の宇宙天気イベントは1859年9月のキャリントン・イベントとされるが [1-3]，磁力観測や黒点観測の期間の制約から，それ以前の宇宙天気イベントについてはよく分かっていないのが現状である．オーロラ帯の低緯度境界と磁気嵐に伴う全球的な地磁気変動との間には良い相関があるという観測事実があり，オーロラ帯の時空間分布を調べることで磁気嵐の規模を推定することができる．今回，黒点観測開始以前の16世紀の1582年3月に発生した宇宙天気イベントについて，東アジアの文献の低緯度オーロラ記録のサーベイに基づく事例研究の結果を報告する．1582年3月のオーロラは，欧州と日本・中国における同時観測が報告されており，強い磁気嵐の存在が推定されていたが [4]，史料の記述の詳細，観測地点や磁気緯度についての検討が不足していた．本発表ではこの宇宙天気イベントについてサーベイを行い，既知の記録の分析に加え，日本と韓半島の新出史料を加えて分析し，当該イベントの規模推定を行う．また欧州の史料との比較から，この宇宙天気イベントに先立って別の宇宙天気イベントがあることが明らかになった．当時複数のCMEが地球に届き，当該イベントを起こしたCMEが先行CMEの存在によってgeo-effectiveになった可能性についても，キャリントン・イベントやハロウィーン・イベント [3, 5-6] との比較を通して紹介する． [1] Tsurutani, B.T., et al. 2003, J.Geophys.Res., 108, 1268. [2] Cliver, E.W., & Dietrich, W.F. 2013, J. Space Weather Spac., A31, 15. [3] Hayakawa, H., et al. 2018, Astrophys. J., doi:10.3847/1538-4357/aae47c [4] Willis, D.M., & Stephenson, F.R. 2000, Ann.Geophys., 18, 1. [5] Tsurutani, B.T., et al. 2006, Adv. Space Res., 37, 1583. [6] Shiota, D., et al. 2015, Space Weather, 14, 56.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M06a 太陽の活動はダルトン極小期以降 4 回衰退した

杉谷康雄 (フリー)

11 年前後の周期で盛衰を繰り返す太陽のサイクル活動の強さを、そのサイクルの始まりが分かった時点で予測する式を重回帰分析の手法を使って探してきた。使用データは、太陽黒点相対数の月平均値と 13 ヶ月移動平均値である。黒点相対数は、2015 年 7 月のデータベース更新以前の旧データを使用する。各サイクルの強さは、13 ヶ月移動平均値が最大になった時の値 (Y とする) と定義する。この Y の値を、 $y = a X_1 + b X_2 + c$ という一次式 y で近似して予測する。 X_1 と X_2 は予測しようとしているサイクルの一つ前のサイクルの黒点相対数を使って求めた変数 (内容は当日説明) である。 y はよく Y を近似している (注) が、いくつかの y が「外れ値」であることが分かった。どこから外れ値とするかという統計学的基準はないが、今、標準化残差の絶対値が 1.8 以上を外れ値とすると、(4、5、6)(13、14)(17)(23、24) の 8 個のサイクルの y が外れ値となった。私は、これらのサイクルの y が外れ値となったのは太陽活動の衰退が原因であると結論づけた。その理由は、全 24 サイクルで Y の値が小さいほうから 3 番目までのサイクルが、5、6、14 であるからである (5、6 はダルトン極小期)。すると次の 1~4 が言える。 1. 太陽活動は、ダルトン極小期以降 4 回衰退した。その衰退時期は上記外れ値サイクルを () で囲って示した。活動衰退は日常茶飯事の現象であると言える。 2. 各衰退時期の最初のサイクルでは、少なくともその極大期にはまだ衰退が始まっていない。衰退に先立って外れ値が現れるので、衰退は予測可能である。 3. 上記 2 は、衰退プロセスが始まってもすぐには衰退しない準備期間が存在することを意味する。 4. 衰退の度合いが極めて弱いものがある (サイクル 17)。 なお、衰退に規則性が存在する可能性があるため、その事についても当日触れたい。 (注) 外れ値を除いた、 y と Y との相関係数は 0.99 である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M07a 噴出型プロミネンス内の速度場変化と磁場の関係性

金子岳史、草野完也（名古屋大学）

プロミネンスはコロナ中に出現する低温高密度プラズマ雲であり、しばしば宇宙空間へ噴出し、コロナ質量放出を引き起こす。観測による先行研究では、噴出の前兆現象としてプロミネンス振動 (e.g. Isobe et al., 2007) や、プロミネンス内部の速度分散の上昇 (Seki et al., 2017) が報告されている。噴出はプロミネンスを支えるコロナ磁場のリコネクションや磁気流体力学不安定性によるものと考えられるが、コロナ磁場の直接観測が難しいこともあり、これら磁気的なメカニズムとプロミネンス内部の速度場変化の物理的関係性は解明されていない。

本研究では、放射冷却と熱伝導、重力を含む3次元磁気流体シミュレーションによって、プロミネンスの形成から噴出までの過程を再現し、プロミネンス内部の速度場とコロナ磁場の関係を調べた。本シミュレーションでは力学的に平衡なコロナ磁場の磁気中性線上にランダムに浮上磁場を導入した。まず、コロナ磁場と浮上磁場のリコネクションにより磁束管が形成され、さらに磁束管内で凝縮(熱不安定)が発生し、プロミネンスが形成される。プロミネンスは最終的にはトラス不安定の臨界高度に達して噴出する。磁束管の中心軸は噴出までほぼ等速で単調に上昇するが、プロミネンス内部には複雑な速度場が形成され、鉛直速度のヒストグラムは下降流から上昇流にかけて分布を持つ。シミュレーションで得られた鉛直速度の分散とその時間発展は、観測と定量的に整合した。磁場との関係を調べるため、磁力線に平行な速度成分と垂直な速度成分のヒストグラムを比較した結果、前者は下降流側に、後者は上昇流側に偏った分布を示した。この結果は、下降流成分は磁力線に沿った重力、上昇流成分はローレンツ力に起因することを示唆する。また、速度分散の変化は、磁力線垂直方向の方が磁力線平行方向よりも大きく、ローレンツ力の微小な変化が速度分散の上昇を引き起こしていることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a 太陽フィラメント噴出と太陽面磁場の関係に関する観測的研究

箕浦桜子, 草野完也, Sung Hong Park, K.D.Leka (名古屋大学)

太陽コロナ中で起きるフィラメント噴出は、しばしばコロナ質量放出 (CME) を形成し、地球で磁気嵐を引き起こす可能性がある。そのため、フィラメント噴出の条件を理解することは科学的にも宇宙天気予報の精度向上にとっても重要である。これまでの研究で、フィラメント噴出は光球面磁場と関連があることが示されてきた。S. L. Yardley et al. (2016) では、フィラメント噴出の前に flux cancellation が起きたことが報告されており、それによって消失した磁束のエネルギーが噴出のエネルギー源となった可能性を示している。また、A. A. Van Ballegoijen and P. C. H. Martens (1989) は、数値計算に基づいて、flux cancellation がフィラメント噴出のトリガとなるモデルを提案している。しかし、噴出に至るメカニズムについて、観測に基づく実証的な理解はまだ進んでいない。

本研究では、フィラメント噴出が起きる前の、光球面からのエネルギー供給・蓄積のメカニズムを理解することを目的としている。SDO/HMI のベクトル磁場データと京大飛騨天文台 SMART/SDDI のフィラメント観測データを用いて、2016年5月13日のフィラメント噴出イベントについて光球面磁場の詳細な解析を行った。その結果、フィラメントがある磁気中性線 (PIL) 上で小さな flux cancellation が複数起きており、その際に PIL に平行なベクトル磁場成分が一時的に増加していたことが分かった。さらに PIL をまたぐポテンシャルと逆向きの磁場成分も見つかった。これは、局所的な flux cancellation が、磁気リコネクションを通して磁束のねじれ (磁気ヘリシティ) を断続的に上空磁場へ供給したことを示唆している。Flux cancellation に伴うフィラメントへの磁気ヘリシティ供給と噴出イベントの関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09a Comparison of Coronal Field Models Using a Flux Emergence Simulation as a Ground-truth Data Set

Shin Toriumi (NAOJ), Shinsuke Takasao, Satoshi Inoue (Nagoya University), Mark C.M. Cheung (LMSAL), Chaowei Jiang (HITSZ)

Realistic reproduction of coronal magnetic field is critically important for the understanding of various coronal dynamics including flares and CMEs. To this end, an intensive workshop on the “data-driven” models, in which the evolving coronal field is computed by sequentially updating the photospheric boundary condition, was held as one of the Nagoya University ISEE/CICR workshops. Here we introduce our attempt to compare different coronal field models using a flux emergence simulation as a ground-truth data set. The series of photospheric magnetic and velocity slices from Toriumi & Takasao (2017)’s simulation was provided to the team, and the magneto-friction data-driven model (Cheung & DeRosa 2012), the MHD data-driven model (Jiang et al., 2016), and the non-linear force-free field model (Inoue et al., 2014) were performed to reconstruct the magnetic field. As a result, we found that all three models did not successfully reproduce the dynamically-evolving (i.e. non-force-free) ground-truth field, although the topology was similar to each other. The three models consistently showed an expanded flux-rope structure in the atmosphere. This is mainly because these models do not assume the physics of the thin, dense layer from the photosphere and chromosphere to the transition region. Therefore, the Lorentz force exerted by the emerging flux was not counteracted by the pressure gradient and gravity, which allows the field to expand rapidly and the helicity to propagate into the corona.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10a 圧力および重力効果を含む彩層・太陽コロナ磁場モデリング

三好隆博（広島大学）、草野完也（名古屋大学）、井上諭（名古屋大学）

太陽コロナにおけるプラズマ活動現象は、太陽コロナ磁場に蓄積された自由エネルギーに起因すると考えられる。したがって、太陽コロナ活動現象の物理機構の解明と予測には、太陽コロナ磁場の3次元分布の情報が必要不可欠となる。しかし、太陽コロナ磁場の高精度な直接観測は技術的に容易でない。そこで高精度かつ高分解能な観測が可能な光球面ベクトル磁場から太陽コロナ中の磁場分布を外挿する様々な手法が検討されてきた。

特に太陽コロナは低 β プラズマであるため、フォースフリー近似がよく成り立つ。それ故、光球面ベクトル磁場からフォースフリー磁場を再構成する数値手法が精力的に研究開発され、太陽コロナ磁場の一部観測を再現することが可能になった。しかし、太陽コロナの下層に位置する彩層や光球面では β が大きく、かつ重力の効果も重要であるため、磁場分布は一般にフォースフリーから外れると予想される。

そこで著者らは、光球面ベクトル磁場から彩層と太陽コロナを同時に含む太陽大気における非フォースフリー磁場を外挿する新たな磁気流体力学緩和法の開発を進めている。本研究では、温度の鉛直分布をあらかじめ設定することにより、高精度観測が困難な光球面における密度や圧力のデータを用いず、光球面ベクトル磁場のみから重力の効果も含む磁気静水圧平衡磁場を再構成することに成功した。特にノイズを含む光球面ベクトル磁場データからでも安定に数値解が得られるよう、風上型の高解像度解法を新たに開発した。数値実験の結果から、非フォースフリー磁場の構造は、局所的なスケールハイトや彩層の厚さなど、温度分布の特徴的なスケールに依存することが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11a 太陽風の三次元磁気流体直接数値計算

庄田宗人、鈴木建、横山央明 (東京大学)、Mahboubeh Asgari-Targhi (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

Parker Solar Probe が最初の近日点接近を終え、太陽近傍のその場観測が本格的に始動した。これに向けて太陽風の理論モデルを可能な限り現実的なレベルで構築し、観測に向けた理論的予測を整備する必要がある。現在の標準的な太陽風加熱・加速モデルである反射駆動型アルフベン波乱流モデル (Matthaeus et al. 1999) は、「アルフベン波の散逸効率が悪く必要とされる加熱量を供給できない」という致命的な問題点が指摘されており (van Ballegoijen & Asgari-Targhi 2016)、修正されなければならない。標準モデルは圧縮性波動を考慮しない遷減磁気流体 (reduced MHD) 方程式をベースとしていたが、ベータ値の低いコロナ・太陽風ではアルフベン波が非線形的に圧縮波と相互作用する (減衰不安定) ため、圧縮波まで考慮した通常の磁気流体方程式を直接数値計算する必要がある。さらにアルフベン波が駆動する乱流は磁力線に垂直方向にカスケードを引き起こす性質があるため、「磁力線に平行方向 (波の伝播方向) の一次元」+ 「磁力線に垂直方向 (波の崩壊方向) の二次元」の三次元系で数値計算を行う必要がある。その非常に高い数値計算コストから、これまで直接数値計算は行われずにいた。

我々は最新の数値計算スキームを取り入れた新たなコードを開発し、世界で初めて太陽風加速の三次元磁気流体直接数値計算に成功した。太陽風加速領域で減衰不安定に由来する大きな密度擾乱が生成され、さらに観測される密度擾乱とも整合的であった。また太陽風中の乱流は不均衡磁気流体乱流 (imbalanced MHD turbulence) で特徴付けられ、その結果外向きアルフベン波と内向きアルフベン波で構造の差が見られた。以上の結果は、太陽風が減衰不安定と不均衡磁気流体乱流が複雑に相互作用する乱流で駆動されることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12a Radiative loss and temperature in magnetic chromosphere with 1.5D MHD simulation

Yikang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo)

Classic static solar atmospheric model indicates higher temperature (around 6000 K) in the chromosphere while previous dynamic non-magnetic atmospheric model suggests that higher temperature in the chromosphere is not necessary for reproducing emission line. In addition, lower chromospheric temperature also appears in other non-magnetic chromospheric models (Kalkofen 2010). On the other hand, dynamic chromospheric model in magnetic region has not been well discussed before. There are advanced 3D radiative MHD simulations but they are too complex to reach a clear understanding of the underlying process. In our study, we carry on 1.5D MHD numerical simulation with realistic radiative loss introduced by Carlsson & Leenaarts (2012). In our simulation, we assume an expanding flux tube geometry mimicking the chromosphere above network region. Alfvén wave is initiated by transverse motion near the lower boundary which has a power spectra consistent with observation. Simulation result suggests that spatial distribution of radiative loss profile is consistent with classic model. However, time averaged temperature in the chromosphere is apparently lower than that in classic model. We find that as sudden increase of radiative loss occurs at shock front leads to enough radiative loss, low temperature region between shocks dominates most of the time which leads to lower time averaged temperature in the chromosphere.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13a Nature of Magnetic Reconnection in Solar Chromosphere: Steady or Time-Dependent

K. Alkendra, P. Singh (Kyoto University), Hiroaki Isobe (Kyoto City University of Arts), T. Sakaue, Akito D. Kawamura, K. Shibata (Kyoto University)

The solar chromosphere is fully collisional, gravitationally stratified and partially ionized plasma. There are numerous, inverse-Y shaped jets that are observed in the high-resolution observations of Solar Optical Telescope (SOT) onboard Hinode. Such chromospheric anemone jets are supposed to be formed in the solar chromosphere as a result of the magnetic reconnection between an emerging bipole and the ambient magnetic field. Since magnetic reconnection could occur in the solar chromosphere, the question arises whether and how the magnetic reconnection would occur in the solar chromosphere? How does the interplay between the magnetic field and the neutrals affect the reconnection scenario in the solar chromosphere? Based upon the observations and the simulations based understanding on the magnetic reconnection in solar chromosphere, we have developed a time-dependent, plasmoid-mediated, fractal-like reconnection scenario. In the talk, I would like to present my works on the magnetic reconnection in the solar chromosphere using the physics of partially ionized plasmas under the Magnetohydrodynamic (or MHD) framework.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M14a 光球で起こるアネモネジェットの数値的研究

古谷侑士（京都大学・理）、柴田一成（京都大学・理・天文台）

太陽大気ではX線ジェット、彩層ジェット、スピキュール等の様々な長さのジェット現象が様々な波長帯で観測されている。これらのジェット現象のうち、X線ジェット、彩層ジェットなどは足元で逆Y字型のループが光っており、これらは総称してアネモネジェットと呼ばれる。アネモネジェットには様々な長さのものが存在するが、それらを統合する理論モデルとして、磁気リコネクションによってジェットのエネルギーと足元のループを説明する Unified Model が提唱されている (Shibata 1999)。通常の電磁流体力学 (MHD) では特徴的な長さが存在せずスケール不変性があるため、現在の望遠鏡の空間分解能より小さい長さの Unified Model で説明できるジェットが存在すると期待できる。また、スピキュールのような現在アネモネジェットと分類されていないジェットについても、空間分解能が足りていないために観測されていないだけで、実際は足元にループが存在しており Unified Model で説明できる可能性がある (例えば Sterling and Moore 2016)。しかし、太陽大気下層 (光球・彩層) のような重力を無視できない環境では、特徴的な長さとしてスケールハイトが現れ MHD のスケール不変性が失われるため、これらの推測が正しいかどうかは単純にはわからない。

そこで、講演者らは Unified Model はどれくらい小さなジェットまで説明できるのか、またジェットがどのように上層へ伝搬していくかを 3次元 MHD シミュレーションにより数値的に研究している。シミュレーションの設定として、磁場形状と境界条件はコロナでの X線ジェットを再現した Wyper et al. (2018) を参考にした。それにさらに重力と輻射冷却を導入し、足元のループの長さをおよそ 50 km としたところ、ジェット現象を確認できた。本講演ではこれらの結果を踏まえ、ジェットが上層大気へ伝搬していく様子を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M15a 熱的磁化プラズマにおける磁場と粒子系の結合

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

熱的プラズマ中では、磁気モーメントを介して磁場と粒子系が強く結合している。粒子の運動に起因する磁気モーメント $M = - (P/B) \mathbf{b}$ (P はガス圧、 \mathbf{b} は磁場方向の単位ベクトル) は、磁場強度に反比例して磁場と逆方向を向いているので、熱的プラズマは非線形の反磁性体である。一方磁場 $B = \text{真空の透磁率} \times (H + M)$ でありまた M が B の関数なので、磁場は自己整合場である。これらのため磁性体中の古典電磁気学を熱的プラズマに適用する際には注意が必要である。まず透磁率が磁場に依存するので、 H と B を別々に扱う必要がある。また、空間に蓄えられる磁気エネルギーは、 $B^2 / (2 \times \text{透磁率})$ というわけにはいかず、変分で定義しなくてはならない ($U = H \cdot B$)。磁場に直交する電場が存在する場合、電磁エネルギー流束 (ポインティングベクトル $S = E \times H$) が発生し、運動量 ($G = S/c^2$) も伴う。磁性体中では磁気モーメントに伴うエネルギー流束や運動量が発生するが、これらは隠れた流束 / 運動量 (hidden flux / momentum) と呼ばれる。熱的プラズマの場合、 $E \times B$ ドリフトがこれらを担う。エネルギー流束は、熱運動する粒子群のエネルギー (磁場に直交する面内の運動エネルギー) がドリフトによって運ばれることに対応する。運動量は、熱運動の相対論的効果によって増加した質量がドリフト運動することに対応する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M16a Solar-C_EUVST (高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星) : 最新状況

清水敏文 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (名古屋大), 川手朋子, C. Quintero Noda (ISAS/JAXA), 一本潔 (京都大・国立天文台), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄, 久保雅仁, 鳥海森, K-S. Lee (国立天文台), 横山央明 (東京大), 渡邊恭子 (防衛大), 永田伸一 (京都大), 阿南徹 (NSO), 草野完也 (名古屋大), C. Korendyke, H. Warren (NRL), T. Tarbell (LMSAL), S. Solanki, L. Teriaca (MPS), F. Auchère (IAS), L. Harra (MSSL/UCL), A. Vincenzo (INAF), A. Zhukov (ROB), ほか Solar-C WG

高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST) のミッション化に向けて、現在科学的・技術的検討や国際調整を加速させている。本講演はこの1年における状況進捗を報告する。

Solar-C_EUVST ミッションコンセプトは、太陽上層大気形成の謎や大規模なフレア噴出発生謎の解明に迫ることを目的とし、高感度 EUV/UV 分光望遠鏡 (EUVST) を搭載した公募型小型衛星である。従来のコロナ分光観測に比べ約7倍高い解像度 (0.4 秒角) で、10-20 倍の有効面積により実現される高い時間分解能で、彩層から遷移層・コロナ、そしてフレアによる超高温プラズマまで広い温度帯 ($10^4 \sim 10^7$ K) を温度隙間なく分光観測して、太陽外層大気における物質やエネルギーの移動や散逸をとらえる。

2018年1月の公募機会に出した Solar-C_EUVST 提案は、宇宙科学研究所理工学委員会による審査の結果、次の検討フェーズに進めるべき計画の一つとして選定された (2018年7月)。現在、アイデア実現加速プロセスの一環として、国際審査の実施や技術的な課題検討等を進めている。EUVST は日本が望遠鏡構造体および主鏡部の開発を通じて主導し、米国と欧州諸国が装置一部を分担することで開発する構想である。2018年11月に米国研究グループは、NASA に対して米国参加の提案を行い、現在その結果を待っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17a 次期太陽観測衛星 Solar-C EUVST を想定した電離非平衡プラズマ診断

今田晋亮 (名古屋大学) Solar-C EUVST 国際ワーキンググループ

本講演では、次世代太陽観測衛星 Solar-C EUVST における重要な視点の一つである電離非平衡プラズマの診断能力について考察する。「ひので」衛星の観測が始まる以前は、太陽コロナ中ではプラズマ同士が十分に衝突するため、地球磁気圏尾部のような無衝突プラズマ環境とは違い、電離状態はほとんどの場合において平衡に達していると考えられてきた。「ひので」衛星の観測が始まり、これまでできなかった短い時間スケールの現象を議論できるようになった。その結果、電離が平衡でないプラズマのダイナミクスを診断する必要性が出てきた。そこで、これまでの「ひので」観測を用いて、どこまで電離非平衡プラズマを診断できるか、中でも大規模なフレア観測を用いて、再度検証する事を試みる。さらに、Solar-C EUVST のスペックで観測した場合、どの程度向上するか、実際に計画されている時間分解能、波長範囲を用いて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M18a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告 (2019年春)

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)、石川真之介 (名古屋大学)、萩野浩一 (東京理科大学)、三石郁之 (名古屋大学)、水野恒史 (広島大学)、篠原育 (宇宙航空研究開発機構)、下条圭美 (国立天文台)、高棹真介 (名古屋大学)、田辺博士 (東京大学)、上野宗孝 (神戸大学)、高橋忠幸 (東京大学カプリ IPMU)、高島健、太田方之 (宇宙航空研究開発機構)、他 PhoENiX ワーキンググループ

我々は、「磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解」を科学意義 (Science Goal) とし、太陽フレアにおいて「どこで」、「いつ」、「どの様に」電子の加速が起きているかを明らかにすることを科学目的 (Science Objectives) とした衛星計画 PhoENiX を推進している。PhoENiX で実施する観測は、太陽フレアに対する「軟 X 線硬 X 線域における集光撮像分光観測」と「軟ガンマ線域の偏光分光観測」である。X 線域の集光撮像分光観測では、加速の場所・タイミングの特定を行うとともに、加速に関連する現象の同定を行う。軟ガンマ線域の偏光分光観測では、加速電子の非一様性を調査する。太陽フレアに対するこれらの観測は、PhoENiX が世界初の試みであり、これらにより科学目的の達成を目指す。現在、我々は、次の ISAS 公募型小型計画の公募に応募すべく、科学検討、ミッション・システム検討を行うとともに、キー技術の開発を行なっている。特に、2018年9月に行なった太陽 X 線観測ロケット実験 FOXSI-3 の成功は (2018 年度秋季年会にて成影他が速報)、PhoENiX 実現に向けた技術実証だけに留まらず、X 線集光撮像分光観測の科学的価値も示した (2019 年度春季年会にて石川他が講演)。本講演では、PhoENiX ミッションの紹介とともに、本年度実施した検討の成果報告 (FOXSI-3 も含む) を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M19b 宇宙天気ハザードマップ完成に向けた宇宙天気情報利用状況調査

塩田大幸、石井守、中溝葵、埜千尋、津川卓也、久保勇樹、陣英克 (情報通信研究機構)

太陽活動を主な源とする「宇宙天気」は通信・放送・測位等の電波インフラの利用や人工衛星の運用に影響を与えたり、航空機乗務員の被ばくリスクを高めたり、電力網に被害を与えるなど我々の生活に深く関わっている。人類の社会インフラの発達によって、宇宙天気災害に対する脆弱性は日々高まっており、キャリントンイベント級の激甚宇宙天気災害がもし現在発生した場合、その被害は甚大なものになるとの試算もなされている。さらに近年、国際民間航空機関(ICAO)等航空業界の動向に代表されるように、宇宙天気の現業利用に向けた国際的な活動が活発になってきておりそのニーズは確実に増大している。その一方で、従来の我が国の宇宙天気の議論は学術的議論が主となり、社会ニーズと結びついていなかった。

新学術領域研究「太陽地球圏環境予測:我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成(PSTEP)」A01 予報システム班では、宇宙天気関連災害に対して必要十分な対策が取れるような指針を示すことを目的として、宇宙天気の実利用を担うユーザーに宇宙天気利用状況や、重大な影響が出始める現象のしきい値等についてヒアリングを実施した。ヒアリングで得られた宇宙天気現象の社会影響の大きさについての調査結果について、日本版宇宙天気ハザードマップとして文章化を進めている。また研究会を開催しこれらを研究者との間で共有する機会を設け、ユーザーと研究者の双方向コミュニケーションを促す活動を進めている。本講演では、激甚宇宙天気災害の発生についての議論を行うとともに、ハザードマップ執筆状況の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20b 太陽フレア時の航空機被ばく警報システム WASAVIES

佐藤達彦 (日本原子力研究開発機構)、片岡龍峰 (国立極地研究所)、塩田大幸、久保勇樹、石井守 (情報通信研究機構)、保田浩志 (広島大学)、三宅晶子 (茨城工業高等専門学校)、Park InChun, 三好由純 (名古屋大学)

宇宙飛行士や航空機乗務員の宇宙線による放射線被ばくが、近年、社会の大きな関心を集めている。通常その主な被ばく源は銀河宇宙線 (GCR) であるが、巨大な太陽フレアに伴って発生する太陽高エネルギー粒子 (SEP) も大きな被ばくを短時間にもたらす可能性がある。したがって、SEP 発生メカニズムの解明とその被ばく線量予測は、社会的ニーズに対応した宇宙天気研究の一環として、重要な研究課題の1つとなっている。

本発表では、宇宙線被ばくの概要について解説するとともに、科研費新学術領域研究「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成 (PSTEP)」の一環として実施している航空機被ばく警報システム WASAVIES の開発について紹介する。航空機高度における宇宙線強度は直接観測できないため、WASAVIES では、物理モデルを介して、地上の中性子モニターと静止衛星軌道の GOES 衛星で観測した宇宙線強度のデータを内挿することにより航空機高度の宇宙線被ばく線量をリアルタイムで推定する。太陽静穏時は、宇宙線強度の時間変化がそれほど大きくないため1日間隔でデータを更新、太陽フレアが発生して地上での宇宙線強度が有意に上昇した場合 (Ground Level Enhancement, GLE という) は5分間隔でデータを更新する。

情報通信研究機構では現在、リアルタイムの宇宙線観測データを用いた WASAVIES の運用を開始し、その結果をウェブページに公開する準備を始めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21b マイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数と白色光放射発生との関係

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

白色光フレアでは強い粒子加速が発生していることから、ループトップの磁場強度が強いと考えられる。先行研究(北川潤 2015 年、修士論文)においては、野辺山強度偏波計 (NoRP) のスペクトルより、白色光フレア (WLF) の折れ曲がり周波数が、非白色光フレア (NWL) のそれと比べて値が大きいことから、白色光フレアにおける強磁場の存在が示唆されていた。しかし、先行研究では解析イベントが 8 例しかなく、統計的に有意な結果が得られなかったため、今回我々は 2010 年 1 月から 2017 年 12 月の間に発生した M3 クラス以上のフレアについて、統計解析を実施した。上記期間に白色光データ (*Hinode*/SOT, *SDO*/HMI) と NoRP のデータが同時に得られていた 51 例のイベントについて、マイクロ波強度ピーク時における折れ曲り周波数を調べたところ、WLF (32 例) と NWL (19 例) で明確な違いは見られなかった。しかしながら、NoRP のデータだけでは放射場所が分からず、ループトップからの放射のみを取り出せていないことが結果に影響を与えている可能性が考えられた。

そこで今回は、野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) のデータを用いてループトップからのマイクロ波放射のみを取り出し、白色光の有無による折れ曲り周波数の違いが見られないかについて調べた。マイクロ波放射ピーク時における *SDO* /AIA 193Å と NoRH 17GHz、*RHESSI* 30 – 80 keV のイメージの重ね合わせを上記の 51 例に対して行ったところ、12 例のフレア (WLF : 7 例、NWL : 5 例) でループトップからのマイクロ波放射が観測されていた。これらのイベントの折れ曲り周波数を調べたところ、WLF で 1 例、NWL で 1 例のみ 17GHz よりも高くなっており、WLF と NWL で明確な違いは見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22b 太陽フレアにおける $H\alpha$ 偏光の発生可能性についての観測的検証

川手朋子 (宇宙科学研究所), 花岡庸一郎 (国立天文台)

本研究は太陽フレア中で発生しうる $H\alpha$ 直線偏光の起源と発生頻度を調査することを目的とする。我々は国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡の撮像偏光装置で得られた 71 個の $H\alpha$ フレア (うち 64 個は GOES フレア) について、 $H\alpha$ 増光箇所における直線偏光を調査した。その結果、一つのイベントにおいてのみ有意な偏光シグナルが確認された。太陽フレアにおける $H\alpha$ 線での直線偏光の統計研究は Bianda et al. (2005) によって行われているが、彼らの結果では 30 イベントの中で有意な偏光シグナルは見つからなかった。本研究において 1/71 のイベントで直線偏光が確認されたという結果は、 $H\alpha$ フレア増光箇所では直線偏光が発生する現象は非常に稀であることを示しており、Bianda et al. (2005) の結果と一致する。

我々は有意な直線偏光シグナルが確認された 1 イベントを、同時観測された極端紫外線・X 線・光球磁場データとともに詳細解析し、次の結果を得た。(1) 直線偏光度の最大は $1.16 \pm 0.06\%$ であり、偏光方向の平均は太陽の北から反時計回りを正として -142.5 ± 6.0 度であった。(2) 有意な直線偏光が確認された増光箇所は硬 X 線の増光箇所とは一致せず、偏光度の時間変化は軟 X 線・硬 X 線とも関連しなかった。(3) フレア領域の中で $H\alpha$ 線で最も明るいカーネル中には現れず、やや暗いカーネル中に現れていた。(4) 直線偏光が確認されたカーネルは大規模コロナループの足元と接続しており、偏光方向は足元におけるループの向きと一致した。(5) 軟 X 線ピーク直後から活動領域全体でコロナディミングが発生していた。

これらの観測的特徴は $H\alpha$ 直線偏光の起源を直接示しているものではないが、コロナ質量放出に伴う現象が偏光の発生において重要な役割を担っていることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M23c Critical Parameters of an Active Region to Produce Eruptive Solar Flares and CMEs

Pei Hsuan Lin¹, Kanya Kusano¹, Yuta Mizuno¹, Daikou Shiota¹, Satoshi Inoue¹, K. D. Leka^{1,3}, and Graham Barnes³

¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan

²National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 4-2-1, Nukui-Kitamachi, Koganei

³NorthWest Research Associates Boulder, CO, USA

Solar flares and coronal mass ejections (CMEs) are eruptive phenomena originated in active regions (AR) on the solar surface. However, it is still unclear what determines the capability of an AR to produce eruptive flares (flares with CMEs), and it hinders our ability to predict whether a CME will occur. In this study, we propose a new parameter r_m and test its ability to measure the possibility that a flare will be eruptive and produce a CME. The parameter r_m is defined by the ratio of the magnetic flux (having field-line twist higher than a threshold T_c) to the overlying magnetic flux. The value of r_m for each AR is estimated using nonlinear force-free field (NLFFF) extrapolation. Based on data obtained by the Solar Dynamics Observatory (SDO)/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI), we calculated the values of r_m for 29 ARs at 51 moments before they produced the major flare larger than M5.0 class. We find that the foot-point areas for field lines with twist larger than 0.2 can well represent the subsequent flare ribbons, thus we evaluate r_m for $T_c=0.2$ as the critical parameter for producing eruptive flares using nonparametric discriminant analysis (NPDA). The result shows that r_m is moderately able to discriminate ARs which have capability to produce eruptive flares that also produce CMEs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M24c 多波長観測によるプロミネンスの温度診断

岡田翔陽、一本潔、町田亜希、徳田怜実、黄于蔚（京都大学）

プロミネンスはコロナ中に浮かぶ安定な低温プラズマであり、長いものでは数か月に渡って存在する。この安定性は、プロミネンスにおいてエネルギー収支のバランスが成り立っていることを示唆する。しかし、プロミネンスの加熱機構を観測から特定するのは困難であり、放射以外の加熱機構（例：アルフベン波）がどの程度エネルギー収支に寄与しているかは未だによくわかっていない。この寄与を精度よく見積もるためには、観測から温度を正確に求め、それを放射平衡温度 4,400-8,300K（Heinzel+2014）と比較して議論する必要がある。

これまでの観測研究で、プロミネンスの温度は最高で 20,000 K（e.g, Park+2013）に達し、またコロナとの境界に近づくほど温度が低くなるプロミネンスも存在する（Zhang+1987）ことが示唆されてきた。しかし、高温のコロナとの境界でプロミネンスの温度が低くなることに対する物理的な説明はなく、そもそも観測から正しく温度が求まっていない可能性がある。

その原因として考えられるのが、光学的に厚い輝線が先行研究の温度診断に用いられていることである。プロミネンスの温度は、輝線が熱運動で広がっていることを利用してドップラー幅から求められるが、光学的に厚い輝線は opacity effect によっても広がるため、ドップラー幅の測定が困難になる。そこで我々は、この影響を調べることを目的として、飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡において光学的に厚い輝線（ $H\alpha$ と Ca^+K ）と薄い輝線（ $H\beta$ と Ca^+IR ）でプロミネンスを同時に観測し、得られる温度の比較を行った。その結果、光学的に厚い輝線と薄い輝線では、得られる温度が大きく異なることが分かった（ $\Delta T=5,000$ K）。本発表では、この結果を元に信頼できる温度診断手法を議論し、信頼できる温度と放射平衡温度の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M25c $H\alpha$ 線と FeI 543.4 nm 線による太陽光球・彩層の2波長同時高速2次元分光

當村一朗(大阪府大高専), 川上新吾(文科省), 廣瀬公美, 上野悟, 一本潔(京大・理・附属天文台)

多様な太陽活動現象の中で、フレアに代表されるような1秒スケールで時間変動する現象の解明を目指して、我々は京大飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡(DST)、水平分光器、イメージシフター、および高速度カメラを用いた高速2次元分光の研究を進めてきた。これまでに、 $H\alpha$ 線(1次)を用いてスリット方向約100秒角×スキャン方向約70秒角の領域を空間サンプリング0.64秒角、2秒ケーデンスで(當村他, 日本天文学会2017年春季年会)、同じく100秒角×76秒角の領域を空間サンプリング0.64秒角、1.4秒ケーデンスで(當村他, 日本天文学会2018年春季年会)、同じく200秒角×40秒角の領域を空間サンプリング0.32秒角、0.9秒ケーデンスで(當村・廣瀬, 大阪府大高専研究紀要第52巻, 印刷中)、それぞれ観測に成功してきたが、今回はそれらをさらに発展させて2波長同時の高速2次元分光観測を行った。用いた波長は $H\alpha$ 線(波長656.3 nm)とFeI 543.4 nm 線(および周辺の光球スペクトル線)の、いずれも4次スペクトルである。 $H\alpha$ で彩層の、FeI 543.4 nm 線で光球のダイナミクスを観測すると同時に、後者の周辺にはランデ因子の異なる光球スペクトル線が多数あることを利用して磁場に関する情報も得ることを意図した。観測は2018年11月1日から3日にかけてDSTで行い、スリット方向200秒角×スキャン方向64秒角の視野、空間サンプリング0.32秒角、2.8秒ケーデンスでダークフィラメントを観測した。太陽全体のアクティビティが下がっているため顕著な現象は捉えられなかったが、 $H\alpha$ でダークフィラメントの速度場が見られる一方、フィラメント下の光球でも速度場や線幅の変動が見られている。年会ではこれらの結果について詳しく報告するとともに、ダークフィラメントとその下の光球の速度場や磁場との関連についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26b 飛騨天文台 SMART/SDDI 高速フラット処理手法の開発

大辻賢一 (京都大学)

京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI では、液晶チューナブルフィルター TF40 を用いた高速チューニングによる $H\alpha$ 線近傍多波長観測を行っている。これは、 $2k \times 2k$ ピクセルの CMOS カメラを用いて $H\alpha - 9\text{\AA} \sim +9\text{\AA}$ の波長域を波長ステップ 0.25\AA 、12 秒ケイデンスで取得するというもので、取得データレートはキャリブレーション前の生データの状態で $3\text{Gbyte}/\text{min}$ と、大量のデータが時々刻々と蓄積されつつある。一方で、TF40 に起因するフラットパターンは、フィルター内部の 7 段の光学素子ブロックがそれぞれ生み出す干渉縞の組み合わせとなっており、必ずしも同じ波長の観測時に同じフラットパターンが再現されるわけではないことがわかっている。このため現状では、観測データそのものからフラットパターンを推測するという手法でキャリブレーション処理を行っているが、これにはマシンパワーが必要であり、得られた観測データの即時キャリブレーションというパイプライン処理のめどは立っていなかった。SDDI の目的は、地上観測と宇宙天気を繋げる上で重要な太陽面噴出現象のリアルタイム速度場観測であり、キャリブレーション処理がボトルネックとなっている現状は看過できないものとなっている。今回のポスター発表では、TF40 を用いた新たなキャリブレーションデータ取得手法とその結果について紹介する。新しい手法では、これまで各波長ごとにフラットパターンを取得していた代わりに、TF40 の 7 段のブロックのうち 1 つだけの印過電圧を変化させ、残り 6 段は固定させた。こうすることで、各ブロック固有のフラットパターンを分離させることに成功した。こうして得られたブロックごと、印過電圧ごとのフラットパターンを保持しておくことで、実際の観測時の TF40 の印過電圧の組み合わせに応じたフラットを掛け合わせて観測データに応じたフラットパターン合成を行い、リアルタイムのキャリブレーション処理が可能となった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M27b 雲南天文台麗江観測所コロナ観測状況

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

2009年に閉鎖した乗鞍コロナ観測所で使用されていたコロナ緑色輝線 (5303Å) 観測装置 (通称:YOGIS) は、中国雲南省麗江市の雲南天文台麗江観測所に移設されて2013年から定常観測を行っている。年間の観測日数は平均で100日程度で、この3年間で2万フレームの太陽コロナ緑色輝線全面像を取得している。この全面像の撮像間隔は約3分である。一方、部分像の撮像間隔は30秒に1枚程度である。また、この観測装置ではコロナ緑色輝線像の強度画像だけでなく、この波長付近 ($\pm 0.45\text{\AA}$) での速度場観測も行っている。これによりコロナループの振動などの解析も可能である。

我々は過去3年間のデータについて1フレームずつ、データクオリティの確認を行った。その結果、コロナの構造が確認できる全面像は凡そ6500フレームある。この中からGOES衛星のX線強度でCクラスの小さなリムフレアを発見した。このフレアはループの先端が明るさを増していき、リムからも離れていくことが確認された。このフレアは終盤にはカスプ状の形を示し、プラズモイドが放出される様子も撮像されている。これはコロナグラフが麗江観測所に移設された後にはっきりと確認された最初のフレアである。本稿においては麗江観測所の観測状況とこのフレアの詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28b 太陽全球可視光画像における黒点自動検出による重心判別

堀川大地、飯田佑輔、瀬田益道（関西学院大学）

太陽ダイナモ問題の解明には、Tilt 角（黒点の N 極と S 極を結ぶ線と赤道面のなす角）の緯度依存性である Joy's law の詳細検証が重要である。統計則である Joy's law の詳細検証には、コンピュータによる黒点自動検出が有効な解析手法となる。一方で、Joy's law が示す Tilt 角は 15° 以下であり、その検証には $2\text{--}3^\circ$ 程度 (5 万 km で 2,500km 程度) の高い精度での重心位置決定が必要である。しかし、黒点の自動検出における重心位置の決定精度は、ほとんど検証されていない。そこで本研究では黒点の自動検出コードを開発し、重心算出方法によるその位置の差を調べた。

解析には、2014 年 10 月に取得された SDO/HMI の 6178 可視光全球データを、1 枚/日で用いた。本研究における黒点検出方法を説明する。可視光画像において、ある閾値以下の暗い領域を黒点とした。まず、全球可視光画像において輝度分布ヒストグラムを作り、各画像毎に閾値を決定した。輝度分布ヒストグラムは、明るい表面对流と暗い黒点による 2 つのピークを持つ。これらピークの分離度が最大になるように閾値を求めた（大津の 2 値化）。次に、得られた黒点について、近接したものを 1 つの黒点群とした。それぞれの黒点に対して、重心と外接長方形の対角線の長さを求め、全ての黒点ペアに対し、重心間距離がそれらの対角線の和よりも小さい場合に 1 つの黒点群とした。検出した黒点・黒点群について、輝度による重み付けの有無での重心位置の差を調べた。その結果、黒点が小さい場合は両者にほとんど差は見られなかった。一方で、黒点が大きい場合は重心の計算手法によって有意な差が見られた。これらの結果は、Joy's law の詳細検証において、黒点算出方法について注意が必要であることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M29a 「ひので」衛星による太陽表面のリム境界近傍におけるドップラー速度の観測

森塚章恵 (信州大学), 勝川行雄 (国立天文台), 石川遼太郎 (東北大学/国立天文台), 大場崇義 (ISAS/JAXA)

太陽表面のドップラー速度は太陽面中心から太陽の縁(リム)にかけて赤方偏移しているように見える。これはリム赤方偏移と呼ばれる。太陽面内の波長偏移は、太陽面中心では粒状斑の垂直方向運動が原因となるが、リム近傍では水平方向運動の影響が大きい。リム赤方偏移は、表面の粒状斑対流の3次元的構造と視線方向の関係によって引き起こされると考えられているが、定量的に説明できるかは決着がつかない。リム赤方偏移の大きさは、太陽面中心からの半径に依存する関数として経験的に得られているが、リム境界まで分光観測を行いリム赤方偏移を調べたものはなかった。本研究では「ひので」可視光望遠鏡が観測した分光データを用いて、太陽面中心からリムにかけてのドップラー速度を求めた。「ひので」の高い空間分解能のおかげで、Fe I 630.15 nm 吸収線の輪郭をリム境界まで調べることができ、さらに、リム境界から外側約1秒角以内において、吸収線として見えていたFe I線が輝線として観測されている。そこで、吸収線と輝線のドップラー速度の差に着目して解析を行ったところ、輝線はリム近傍の吸収線の中心波長に対して200~500 m/sほど青方偏移していることが分かった。「ひので」の分光観測の波長校正の基準として太陽面で観測される吸収線波長の平均用いていることから、この結果は速度がほぼゼロである輝線に対する吸収線の赤方偏移を示していると考えられる。さらに、リム近傍で太陽面内の吸収線をバイセクター解析し、ドップラー速度の高さ構造を調べたところ、光球の下層部は上層部に比べてリム赤方偏移の影響が小さく、その速度差は最大で500 m/sにもなった。速度差はリムに近づくにつれて広がっていくが、リムの境界近傍では逆にその差がほぼなくなることが分かった。本講演では、リム近傍におけるドップラー速度の観測から推測される対流の3次元構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a スペクトル線幅と非対称から探る太陽光球プラズマ乱流ダイナミクス

石川遼太郎 (東北大学, 国立天文台), 勝川行雄 (国立天文台), 大場崇義 (ISAS/JAXA), 永岡賢一 (核融合研, 名古屋大学), 小林達哉 (核融合研)

太陽光球面静穏領域では粒状斑の対流運動によって、対流セル境界に沿った磁場構造が形成される。このような領域を分光観測した場合、ドップラー速度や明るさだけでなく、スペクトル線幅も対流運動と関連した空間分布を有している (Khomenko et al. 2010)。しかしながらこのような線幅の変化の要因は特定されておらず、1) 非熱的な乱流運動と、2) 視線方向のドップラー速度勾配の2つが主な候補として挙げられている。理論的には前者が対称的にスペクトルを広げるのに対して、後者はスペクトルを非対称に広げる。両者の寄与を定量的に切り分けることで、スペクトル線幅から非熱的な乱流運動を捉えることが可能になる。

本研究ではひので衛星による Fe I 6301.5 Å 線の分光データを使用し、バイセクター解析によりスペクトル線の非対称性と線幅の両方を解析した。これにより速度勾配によってスペクトル線幅が増大する傾向が確かめられた。線幅を広げている速度勾配としては、下降流レーンで見られる下層ほど下降流が強いものの他に、下層ほど上昇流が強いものも同程度存在していることがわかった。このような速度勾配は、平均値で規格化した連続光の明るさ I_c が 1.0 程度の領域に存在していた。また時間変化を調べたところ、これは消滅寸前の粒状斑や短寿命粒状斑の可能性を示唆していることが分かった。最後に太陽の標準大気モデルに速度勾配や乱流を加えて計算したスペクトル線を観測プロファイルと比較することで、視線方向のドップラー速度勾配と乱流による線幅増大の切り分けを行なったところ、1.0 ~ 2.0 km/s 程度の乱流が存在している可能性が高いことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M31a 黒点形成と太陽深部の磁場・熱対流構造の関係

堀田英之 (千葉大学)

これまでになく深い領域の中での太陽黒点形成の数値計算をおこない、太陽深部の磁場・熱対流構造が、表面での黒点形成にどのような影響を及ぼすかを議論した。黒点は、強磁場領域として太陽表面に現れる。基本的には正極、負極を一組としてペアで出現するが、二つの黒点の典型的な距離は 40,000 km ほどとなる。これまでに現実的な輻射磁気流体計算を用いて、黒点形成の物理機構が議論されてきたが、そのほとんどは 10 Mm 程度の深さの領域を用いて計算が行われており、最大の計算領域でも 30 Mm ほどしか用意できていない。実際の対流層の深さは、200 Mm ほどもあり、対流層のごく浅い部分のみを考慮した議論になってしまっている。本研究では、現実的物理を取り入れつつ太陽表面と深部を同時に取り扱うことのできる R2D2 コードを用いて、対流層の 7 割ほどを包括した深い計算領域を用意して、黒点形成を議論した。よく想定される磁束管のように磁場が存在する場合、トーラス型で存在する場合のそれぞれについて計算をおこなった。磁束管では実行した全ての実験において足元の距離が非常に広がってしまうことがわかったが、トーラス型ならば観測されるような黒点構造を実現可能であることを確認した。また、トーラス型でも対流層深部の熱対流状況によって、黒点形成が大幅に違うことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M32a 太陽熱対流の非局所性とその輸送ダイナミクスへの影響

政田洋平 (愛知教育大学)

太陽熱対流のマルチスケール描像や混合距離理論の正当性は光球や対流層浅部での対流スペクトルを調へることとして観測的に検証できるか、理論と観測の間には未だに大きな隔たりが存在している。特に問題になっているのが、巨大胞の存在か期待されるスケールにその証拠を見つけることができない点である (e.g., Hathaway et al. 2015)。混合距離理論は光球直下で約 100 m/sec の速度を持つ巨大胞の存在を预言するか、実際にはそれより 2 桁小さな対流速度しか観測できないと主張する研究結果も存在する (Hanasoge et al. 2012)。これらの観測結果は、対流層深部に対流の駆動スケールが存在しないこと、つまり太陽熱対流が局所的な super-adiabaticity ではなく、非局所的な太陽表面での冷却によって駆動されている可能性を示唆する (e.g., Spruit 1997; Cosette & Rast 2016 : CR16)。

太陽の内部輸送過程に対する理解を深め、その理解を太陽表面での観測的研究に繋げるために、現在我々は MHD 計算で太陽熱対流の非局所性を検証している。まず我々は、局所駆動の熱対流モデルと表面冷却が熱対流を駆動するモデル (非局所モデル) で、対流や生成される磁場構造にどのような違いが生じるのか調べた。その結果、局所モデルでは対流スペクトルが巨大胞スケールまで広がるのに対し、非局所モデルではおおよそ超粒状斑スケールにスペクトルのピークが現れることがわかった。これは過去の研究 (CR16) と整合的である。磁気エネルギーに注目すると、両モデルとも小スケールでは対流エネルギーより卓越するが、スペクトルのピークは局所モデルのほうが長波長側にシフトすることがわかった。本講演では、両モデルと勾配拡散型の理論輸送モデルとの比較や、輸送効率に対するプラントル数の影響等についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a 太陽表面における子午面還流の磁気要素パラメータ依存性と内部探査の可能性

飯田 佑輔（関学）

太陽表面における子午面還流の、磁気要素のサイズ、磁場強度、磁束量に対する依存性を調べた。

太陽全球スケールでの南北方向流れ場である子午面還流は、太陽活動周期の長さを決める上で重要な働きを持つ。しかし、太陽表面での子午面還流の速度振幅は 10m/s^{-1} 程度であり、太陽表面を覆う対流場のそれよりもはるかに小さく、観測データからの直接検出は困難であった。日本天文学会 2016 年秋年会では、我々が開発した磁気要素の自動追跡コードを利用した運動解析と、それによる子午面還流の直接検出を報告した。本発表では、より大規模なデータ解析を通じた、子午面還流の磁気要素パラメータ依存性を報告する。

本研究では、Solar Dynamics Observatory / Helioseismic and Magnetic Imager が 2011 年 2 月と 2013 年 6 月に取得した視線方向磁場データを、45 秒ケーデンスで用いた。それぞれ、約 53,000 枚と約 57,000 枚の $4\text{k} \times 4\text{k}$ 画像データを、磁気要素の自動追跡コードを並列化することで、それらの運動の南北異方性を求めた。

磁場画像 1 枚あたり約 8,000 個の磁気要素を検出し、おおよそ 9×10^7 個の運動情報を得た。その結果、子午面還流について「1. $5 \times 10^{17}\text{cm}^2$ 程度まではサイズが大きいほど速い、2. 10^{21}Mx 程度までは磁束量が大きいほど速い、3. 磁場強度に対しては有意な依存性は見られない」という結果を得た。これらの結果は、サイズが大きな磁気要素ほど、より深い太陽内部の速い子午面還流の影響を受けていると解釈される。さらに、これは表面磁気要素の運動情報から太陽内部の子午面還流に迫りうる新たな可能性を示す結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M34a 2017年アメリカ日食観測による太陽半径の精密測定

黒河宏企、山村秀人、永田利博、松本理、家邊国昭 (NPO 法人花山星空ネットワーク)、相馬充 (国立天文台)

太陽半径は、様々な方法によって測定されてその変動についても議論されているが、1970年以降の最近の結果を見ても、958.54秒角から960.62秒角の間で大きくばらついている (Emilio et al. 2012)。最近では人工衛星による水星や金星の日面通過の観測からも求められている (Hauchecorne et al. 2014) が、これらの間でもかなりの差異が報告されている。また、太陽半径の変動についても、太陽黒点数と良い相関 (Noel 2004) と逆相関 (Laclare et al. 1996) あり等、対立する結果が報告されており、今後の課題となっている。

太陽半径の経年変動を議論するためには、精度の高い同一の方法で測定を継続する必要があるが、この点で皆既日食は貴重な機会を提供する。太陽半径の測定には、太陽縁 (輝度減衰曲線の変曲点) の精密決定が必須であるが、皆既日食ではこれが可能であり、測定した第2・第3接触時刻を KaguyaProfile を元に計算 (太陽半径 = 6.96×10^5 km) した接触時刻と比較することによって精密に決定できる。また、大気圏外での観測では長期継続性に大きな問題があるが、皆既日食は平均して約1~2年ごとに観測可能である。

この目的のため、我々は星食観測用ビデオ撮像装置2台及び市販のデジタルカメラによるベイリービーズ単色像高速撮影システムを新たに開発し、昨年8月のアメリカ日食をオレゴン州セイラム市に遠征して観測した。当日は快晴に恵まれて、第2接触と第3接触の前後約10秒間にわたって高時間高空間分解の単色像撮影に成功した。本講演では、これらの画像解析方法と今回求められた太陽半径について報告すると共に、これまでの観測値との比較を行いながら、今回の観測解析方法が今後太陽半径の経年変化の観測に有効であることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a 飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験

山崎大輝、永田伸一、一本 潔 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope: SMART)/T4 では、波長中心 Fe I 6302.5Å に対して、 ± 160 , ± 80 mÅ の 4 波長点で、時間間隔 30 秒 ~1 分で偏光精度 3×10^{-4} の Stokes parameter (I, Q, U, V) を取得している (2013 年度春年会 A17C)。併せて、SMART/T4 のインバージョンコード開発も進められてきた (2013 年度秋年会 M23C, 2018 年度秋季年会 M18A)。インバージョンコード開発段階において、2016 年 9 月 6 日 UT05:24 付近の AR12585 の磁場データについて SMART/T4 と Solar Dynamics Observatory (SDO)/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) の比較を行った。この際、HMI と比較して T4 の黒点における Stokes Q/U のプロファイルが波長中心に対して顕著な非対称性を示すことを発見した。このことから、T4 の Stokes parameter 間での装置的なクロストークが疑われた。そこで、本研究では 2018 年 11 月に T4 の第一焦点より下流における偏光キャリブレーション実験を行った。この実験では、Stokes $\pm Q/\pm U/+V$ の既知偏光を入力とした観測を行った (直線偏光板: VLS-200-IR、円偏光板: HNC37R)。データ解析にあたっては、偏光板設置誤差 ± 0.5 度および偏光板の Mueller Matrix による補正も加味した。導出された T4 の偏光較正マトリックスより、Stokes V から I へ 11% 程度、V から Q へ 6% 程度、V から U へ 9% 程度、そして Stokes Q から V へ 4% 程度のクロストークがそれぞれ存在することが明らかになった。これらのクロストークは T4 光学系における、直線偏光軸の相対的な傾きにより説明されると考えている。本講演では、偏光キャリブレーション実験の概要および、偏光較正マトリックスの導出と偏光測定誤差の評価について報告する。また、クロストーク補正前後での Stokes parameter および、インバージョンされたベクトル磁場の変化についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M36a 撮像観測による太陽彩層微細構造の3次元速度場の解析

徳田怜実, 一本潔 (京都大学)

近年の高空間分解能の観測により、太陽の彩層中には幅 100 ~ 200km 程の微細な筋状構造がいたるところに存在し、それらがダイナミックに運動していることが分かってきた。また、この微細構造中には alfvén wave や kink wave などさまざまな種類の波も観測されている。これらの波の詳細な解析は、彩層プラズマの温度や密度などのパラメータを推定したり、光球から彩層、コロナにかけてのエネルギーの流れを理解したりするのに役立つ。

我々は 2018 年 7 月 16 日、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に取り付けられている撮像観測装置、狭帯域チューナブルフィルター (UTF-32) を用いてブラージュ領域の観測をおこなった。UTF-32 は 7 層の方解石や液晶可変遅延素子、1/2 波長板、直線偏光板のブロックからなる透過幅 0.25\AA ($H\alpha$ 6563\AA 付近) のフィルターで、出口に偏光ビームスプリッターを置くことで、波長中心 $\pm 0.5\text{\AA}$ の同時撮像が可能である。得られる画像はシーイングによる像の歪みが全く同じであるため、差分から得られるドップラーグラムはシーイングの影響が抑えられたものとなる。また我々は観測データに画像回復手法を適用することで、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の口径 60cm に対して、ほぼ回折限界の空間分解能 (~ 0.25 秒角) を持つ $H\alpha$ 画像およびドップラーグラムが得られた。このような、シーイングの影響を最大限抑えた高空間分解能の観測は、地上観測から彩層微細構造のダイナミクスを追うためには非常に重要である。

本講演では、この高分解能の観測によって得られた $H\alpha$ 画像やドップラーグラム中に見られる、彩層微細構造の振動や波についての解析結果を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M37a 浮上磁場領域アーチフィラメントシステムの環境による時間発展の違いについて

町田亜希、浅井歩、大辻賢一 (京都大学・理)

私たちは、磁気浮上に伴うアーチフィラメントシステムの速度場の時間発展について調査しており、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager) の $H\alpha$ データに対して Becker's のクラウドモデルを適用して速度の導出を行っている。前回 (町田ら、天文学会 2018 年秋季年会 M12a) は、2018 年 2 月 25 日から 27 日に観測されたアーチフィラメントシステムの解析から、数分～数十分のタイムスケールで間欠的に $10 \sim 30\text{km/s}$ 程度のブルーシフト現象が起きていることを報告した。この結果を踏まえて今回は、より大きな時間スケール (数時間～数日) でアーチフィラメントシステムの速度発展を追った。特に、出現場所がコロナホールの中か、外側の静穏領域かによるアーチフィラメントシステムの速度発展の仕方の差に注目した。これは、コロナホール領域の方が静穏領域に比べてコロナのガス圧が低く、アーチフィラメントシステムの浮上も早いと期待されることによる。そこで、出現場所の異なる浮上磁場領域のアーチフィラメントシステムを SMART/SDDI の観測データから複数選び、その速度の時間発展を浮上磁場領域の磁束の成長過程とも比較しながら調べた。本講演ではその結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a IRIS による Mg II hk 線観測と non-LTE 計算によるスピキュールの物理量推定

鄭祥子¹, 岡本文典², Petr HEINZEL³, Sonja JEJČIČ⁴, Stanislav GUNÁR³, 柴田一成¹ (¹ 京都大学,
² 国立天文台, ³ Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, ⁴ University of Ljubljana)

太陽の低温な光球と高温なコロナの間にある彩層では、スピキュールというジェット現象が普遍的に見られる。太陽大気のダイナミクスを理解するには、スピキュールの物理を解明することが重要であるが、観測からその物理量を導出するには大きな不定性がある。そこで我々は、IRIS 衛星が観測した彩層由来の Mg II hk 線と、一次元 non-LTE 輻射輸送計算による hk 線を比較することで、スピキュールの基本的な物理量の推定を試みた。観測データは、極域コロナホールのリム上空においてスリットがリムに垂直な方向に固定されたものを用いた。観測された線プロファイルは、リムに近い根元の方ではダブルピークを持ち、かつダブルピーク間の放射強度レベルが平らに近いものが支配的であり、リムから遠ざかるにつれてシングルピークを示す。一方、輻射輸送コードからは、太陽面に垂直で無限遠に広がる一様な平板プラズマが太陽面からの放射を受けているとして h/k 線プロファイルを計算し、この平板にランダムな視線速度 ($|V| < 25 \text{ km s}^{-1}$) を与えたものを視線方向に重ねた場合の変化を調べた。また、IRIS の装置に由来する線幅増大も取り入れた。以上の計算を、一様な平板の温度、圧力、厚み、乱流速度、動径速度を変えた様々なモデルに対して行った。その結果、視線方向に多数の平板を並べるほど h/k 線の幅が広くなること、視線方向速度を導入すると線幅がより大きくなり、放射強度レベルがより平らになりえること、装置由来の線幅増大を考慮すると線プロファイルがより平らになることが分かった。これにより我々は、観測されるスピキュールの根元の方は複数のスピキュールの重ね合わせで理解でき、先端に近づくにつれその数が少なくなるという描像を得た。観測との比較により、スピキュールの物理量について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M39a MHD 不安定性の臨界条件に基づいた巨大太陽フレア発生予測の試み

草野完也, Johan Muhamad, Sung-Hong Park, 井上諭 (名古屋大学), 伴場由美 (JAXA), 伊集朝哉 (国立天文台)

巨大太陽フレアの発生機構の解明は、太陽活動の理解と宇宙天気予報の高度化にとって重要な課題である。しかし、未だに十分な科学的理解が得られていないため、太陽フレアの発生予測は経験的な手法に依存する段階に留まっており、いつ、どこで、どれほどの規模の巨大フレアが発生するかを正確に予測することはできていない。我々は、系統的なシミュレーション研究 (Kusano et al. 2012) とダブル・アーク不安定性 (DAI) と名付けた新たな MHD 不安定性 (Ishiguro & Kusano 2017) の臨界条件に基づいた巨大太陽フレアの発生予測を試みている。これまでの研究によって、DAI は磁気中性線 (PIL) 上で発生する小規模な磁気リコネクションをトリガとして発生すると考えられている。そこで、SDO/HMI で観測されたベクトル磁場データに基づく非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) を用い、活動領域中の高自由エネルギー領域にある PIL 上の全ての点において、DAI を不安定化させるために必要なリコネクション領域の大きさ (r_c) とそれによって解放可能な自由エネルギー量 (E_r) を評価した。第 24 太陽周期において太陽中心子午線からの経度が 50 度以下の領域で発生した X2 クラス以上の全てのフレア (9 イベント) を解析した結果、全フレアで E_r は 10^{31} erg を上回ると共に、7 つのフレアで r_c がフレア発生の数時間から数十分前に 1Mm 以下に減少することを見出した。さらに、フレア初期に現れるフレアリボンの構造を SDO/AIA 1600Å の画像によって調べた結果、 $r_c < 1$ Mm となる PIL 領域を中心として初期リボンが現れることを見出した。これらの結果は、多くの巨大フレアがリコネクションをトリガとする DAI によって発生することを強く示唆すると共に、MHD 不安定性の臨界条件に基づく巨大フレア予測の実現可能性を意味している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a X線天文衛星「すざく」による大規模太陽フレアループ中のプラズマ元素組成比の測定

勝田哲 (埼玉大)、大野雅功 (広島大)、森浩二、別府達彦、金丸善朗 (宮崎大)、田代信、寺田幸功、佐藤浩介、森田佳恵、相楽ひかり、小川風太、高橋陽也 (埼玉大)、村上弘志 (東北学院大)、信川正順 (奈良教育大)、常深博、林田清、松本浩典、野田博文 (大阪大)、中嶋大 (関東学院大)、江副祐一郎 (首都大)、坪井陽子 (中央大)、前田良知 (JAXA 宇宙研)、横山央明 (東京大)、成影典之 (国立天文台)

2005~2015年に稼働したX線天文衛星「すざく」は、地球低軌道(地上高度約550km)を三次元空間固定姿勢で周回していたため、每周回、地球を観測する時間帯が数割含まれた。本来天体観測を目的とする「すざく」にとって、このような地球観測データは通常無視されてきた。しかし地球観測時には、地球大気に反射された太陽X線(高階電離したMg, Si, S, Ca, Fe等の輝線と熱制動放射由来の連続成分)および大気からの蛍光X線(中性N, O, Ar輝線)が、極めて強く検出される。そこで我々は、両成分を分光学的に区別できるX線CCDカメラ(XIS)を用い、蛍光X線解析に基づく超高層大気研究の新展開を模索してきた(e.g., 森田佳恵 2017年秋期年会講演 V310a)。

本研究では、もう一方の太陽X線反射成分に着眼する。大規模フレアが発生すると、太陽X線の総量、ひいては地球アルベド放射はフレア成分が卓越する。このため、太陽面を空間分離できないXISでも、実質的に太陽フレアからの放射のみを捉えることになる。そこで、XISが検出したXクラス以上の大規模フレア14イベント(X1.1~X17.0)をピックアップし、各フレアの元素組成比を測定した。その結果、全フレアの平均として、 $Si/H=1.8\times 10^{-5}$, $S/H=4.5\times 10^{-6}$, $Ca/H=4.0\times 10^{-6}$ を得た。Ca組成は過去のフレア時に計測された値と一致する一方で、Si, S組成は従来より有意に低い。本講演ではこの組成パターンを議論・解釈する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M41a MAXI-NICER 連携 (MANGA) による RS CVn 型星 GT Mus の巨大フレア観測

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

全天 X 線監視装置 MAXI(2–20 keV) で検出した突発現象を X 線検出器 NICER(0.2–12 keV) で追観測する MANGA(MAXI and NICER Ground Alert) が 2017 年 6 月から開始された (岩切ほか M07a 2018 天文学会秋季年会)。MAXI で検出される恒星フレアは 10^{34-39} erg であり、MANGA はこれまでに太陽フレアで得られた描像がどこまで一般化できるかを探ることができる。2017-07-17UT03:55 に MAXI が検出した RSCVn 型星 GT Mus からのフレアに対して、1.5 日後に NICER で追観測が行われた。観測時間は 3 日間、計 1.6 ksec であり、カウントレートは $140-300 \text{ count s}^{-1}$ と一般的な X 線フレアのそれに比べ 100–1000 倍の統計数であった。光度曲線の解析から、フレア継続時間は 2.4 日、総放出エネルギーは 5×10^{38} erg と過去最長級かつ最大級であった。MAXI のピークスペクトルは 1 温度、NICER のそれは 2 温度のプラズマモデルでよく再現された。ピークのエミッションメジャー (EM) は $20 (10-30) \times 10^{55} \text{ cm}^{-3}$ 、NICER の高温成分の EM は $10 \times 10^{55} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{55} \text{ cm}^{-3}$ と 1 桁にわたり減少した。その一方でピークの温度 (kT) は 6 (4–12) keV、NICER の高温成分の kT は 4–6 keV に分布し、明らかな冷却は見られなかった。NICER が 2017–11–18 から 3 日間観測した $\sim 43 \text{ count s}^{-1}$ のスペクトルも 2 温度プラズマモデルで再現され、高温成分の kT は 3.1 (3.0–3.2) keV とフレア中に比べて 1 keV 小さかった。以上より、フレアピークから 3.5 日後まで 4 keV 以上の高温のプラズマが常に存在することが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M42a Hel 10830A 偏光分光観測によるフレアカーネルの磁場ベクトル測定

阿南徹 (NSO), 米谷拓朗 (テクマトリックス株式会社), 一本潔, 上野悟 (京都大学), 塩田大幸 (NICT), 野澤恵 (茨城大学), 高棹真介 (名古屋大学), 川手朋子 (ISAS/JAXA)

2015年8月9日に発生したCクラスフレアのフレアカーネルに伴うHeI 10830Aの輝線とその偏光を京大飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて偏光分光観測した。この結果については、2016年秋の年会においてM07bで発表を行なった。その後、視点を変え再解析を行い、内容についても吟味しなおし、合理的な結果を得た上で、論文化し受理されたので、ここで発表を行なう (<https://doi.org/10.1093/pasj/psy105>)。

偏光メカニズムとしてゼーマン効果とパッシュェン=バック効果に加え、大気モデルとして1つの吸収成分、2つの速度の違った輝線成分を考慮することで、世界で初めて我々はフレアカーネルのHeI 10830A偏光スペクトルから磁場ベクトルを導出した。その結果、2つの輝線成分は磁場の方向、強度(1380 G)ともに、同時に測定された光球の磁場ベクトルと同様の値を持つことが明らかとなった。我々は、フレアによって生成された非熱的高エネルギー電子が彩層に突入し、彩層の低層部で散逸することで、高温プラズマが彩層の低層部に形成され、高温プラズマの周囲で衝突や放射による中性Heの励起が起こり、HeI 10830Aの輝線が彩層低層部から放射されたと解釈した。さらにHeI 10830Aの輝線が放射された大気層の密度と非熱的電子エネルギー分布のべき指数を仮定し、見積もられた非熱的電子エネルギー分布の低エネルギー側のカットオフ20-30 keVは、観測された硬X線スペクトルから見積もられた値と一致した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M43a Dynamic Process of the Moreton wave on 2014 March 29

Denis P. Cabezas, Ayumi Asai, Kiyoshi Ichimoto, Takahito Sakaue, Satoru UeNo (Kyoto University), José K. Ishitsuka (Universidad Nacional del Centro del Perú), and Kazunari Shibata (Kyoto University)

Shock waves associated with explosive events are fundamental physical processes in solar and stellar plasmas, whose properties and effects have widely been discussed in the framework of MHD theory. In the Sun's chromosphere a wavelike propagating disturbance, known as Moreton wave, occasionally happens in association with strong flares and coronal mass ejections. In this work we present a study of a Moreton wave that accompanied an X-class flare on 2014 March 29. This event was successfully detected in multiwavelength imaging in $H\alpha$ line by the Flare Monitoring Telescope (FMT) in operation at Ica National University, Peru. We made use of FMT wing ($H\alpha \pm 0.8 \text{ \AA}$) observations to investigate the dynamics of the Moreton wave. The Doppler analysis reveals a downward motion of the chromospheric material with a velocity of about 6 km s^{-1} , at the front of the Moreton wave. On the other hand, the estimated surface velocity of the Moreton wave ranges between $640 - 859 \text{ km s}^{-1}$. We also performed the temperature-emission measure analysis on this event, based on EUV data taken by the SDO/AIA. Considering these results and with the aid of the MHD linear theory, we discuss the characteristics of the shock front, such as the compression ratio and the Alfvén and the fast-mode Mach numbers. We also discuss the interaction of the shock front with the chromospheric plasma.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a 太陽フレア中のプラズモイドの成長過程に関する観測的研究

石塚典義 (東京大学/国立天文台), 原 弘久 (国立天文台)

太陽フレアは、磁気リコネクションによってエネルギーが解放される現象であると考えられている。しかし、フレアの時間スケールを説明する高速磁気リコネクションが起こる電流シートのサイズはフレアのサイズに比べて1m程度と小さい。Shibata & Tanuma (2001) では、プラズモイドの発生を通して、電流シートを段階的に薄くしていくことによって高速リコネクションを発現させ、太陽フレアの時間スケールを説明するモデルを提案している。このようなプラズモイドがどのような温度構造や密度構造を持っているかや、成長によってどのように変化するかを明らかにすることは、磁気リコネクションの物理過程の解明に重要である。そのため、太陽フレア中のプラズモイドの differential emission measure (DEM) を調べることにした。2010年8月18日に発生した太陽フレアでは、SDO/AIAの極端紫外線の各バンドにより、磁気リコネクション領域において電流シート状の構造が観測され、その中では数秒角程度のプラズモイドが列になって発生し、互いに衝突・合体し、鉛直方向に噴出する過程が観測された (Takasao et al. 2012, 2016)。Kumar & Cho (2013) では、AIAの観測値からこのプラズモイドのDEMを、温度軸で対数をとったときに単一のガウス関数で表されると仮定して推定したところ、ピーク温度は150–240万度で周囲のコロナよりも低温であるとされた。しかし、ようこう衛星によりX線で観測されたプラズモイドの温度は、600–1300万度であり (Ohyama & Shibata 1998)、大きく異なっている。フレアは活動領域で発生するため、そのDEMは複数の温度構造を持つとしたモデルの方が妥当である。本研究では、複数のガウス関数の和によってDEMを推定する Cheung et al. (2015) のコードにより、このフレアのプラズモイドのDEMを求め、最大のピークは1千万度付近にあることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M45a 深層学習と数値計算を用いた微小フレアの検出およびエネルギー導出手法の開発

河合敏輝、今田晋亮（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

太陽物理学における未解決問題の一つに、コロナ加熱問題がある。コロナを加熱するメカニズムとして有力な仮説が二つ存在し、それぞれ波動の散逸による加熱モデル、磁気再結合に伴う微小な爆発現象による加熱モデルである。後者の仮説に基づき、微小な爆発現象（ナノフレア）によってコロナがどれだけ加熱されているかを推定することは、コロナ加熱問題の解決にあたって重要な課題である。そこで、本研究の目的は、ナノフレアの検出とエネルギー導出を高い精度で行う手法を開発することである。まず、ナノフレアによって加熱されたコロナループを一次元流体シミュレーションによって再現する。続いて、シミュレーション結果とアトミックデータベース CHIANTI を用いて、コロナループのスペクトルの時間発展を取得し、それを衛星のフィルタに通すことで擬似的に観測する。様々なエネルギーおよび時間でフレアが発生するシミュレーションを多数（> 1000）実行し、それぞれについて擬似観測を行い、データセットを作成する。そして、シミュレーションにおけるフレアの入力と擬似観測の結果の対応を深層ニューラルネットワークに学習させる。それによって、衛星による観測結果から、発生したフレアの検出およびエネルギーの推定が可能となる。今回の発表では新たに、複数のフレアを各シミュレーションに導入し、検出と推定を行なった。評価については、シミュレーション内に注入したフレアの数通りに検出できるかどうか、検出できた場合、そのエネルギーを正確に導出できているかを考慮する。結果として、深層学習を利用しない既存の手法との比較から、既存の手法では検出・エネルギー導出が正しくできなかった微小なフレアであっても、提案した手法の場合、より正しく検出およびエネルギー導出をすることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M46a FOXSI-3 ロケットの軟X線撮像分光観測による太陽コロナの温度診断

石川真之介 (名古屋大学)、成影典之 (国立天文台)、川手朋子 (ISAS/JAXA)、高橋忠幸、古川健人 (東京大学 Kavli IPMU)、渡辺伸 (ISAS/JAXA)、L. Glesener、Athray P.、S. Musset、J. Vievering (ミネソタ大)、J. C. Buitrago-Casas、S. Krucker (カリフォルニア大パークレー校)、S. Christe、D. Ryan (NASA/GSFC)

我々は、2018年9月7日に太陽X線観測ロケット実験 Focusing Optics Solar X-ray Imager の3回目の打ち上げ (FOXSI-3) に成功した (2018年度秋季年会にて成影他が講演)。FOXSI は太陽の小規模なエネルギー解放や高エネルギー現象を捉えることを目的とし、過去2回の打ち上げでは高感度の硬X線観測により太陽コロナ中のわずかな超高温 (10 MK 以上) プラズマの評価を行ってきた (Ishikawa et al. 2014; 2017)。FOXSI-3 では新たに高速X線 CMOS カメラを用いて我々が開発した軟X線観測装置を搭載し、史上初めて太陽のほぼ全面にわたって 0.5 keV から 5 keV の軟X線領域においてX線光子一つ一つのエネルギーを検出する photon-counting の手法による撮像分光観測データを得ることができた。この観測により、従来行われていた極端紫外線の輝線を用いる手法や、広い波長域を積分したX線観測を用いる方法とは独立に、軟X線のエネルギースペクトルを用いることで太陽コロナの温度を評価できるようになった。熱平衡かつ電離平衡状態であればこれらのどの手法を用いても同一の温度が導かれることが理論的には期待されるが、太陽コロナを平衡状態とみなしてよいかどうかは必ずしも明らかでない。本公演では、FOXSI-3 により観測された活動領域、静穏領域、コロナホール各領域において、観測されたエネルギースペクトルと推定される温度について報告する。また、従来の手法により推定された温度との関係についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【N. 恒星】

3月14日（木）午後（14:24-15:00）[B会場]

N01a	14:24	長い周期を持つ OH/IR 星の VERA を用いた位置天文観測	中川亜紀治（鹿児島大学）
N02b	14:36	VERA 入来局単一鏡観測による OH/IR 星の H ₂ O 及び SiO メーカーのモニタリング	守田篤史（鹿児島大学）
N03b	14:36	恒星フレアにおける元素合成の可能性	關嵩覚（京都大学）
N04b	14:36	近赤外線高分散分光器 WINERED : 晩期型星の近赤外線高分散スペクトルを用いた元素のアバundance導出と発展性について	福江慧（京都産業大学）
N05c		極めて X 線活動性の高い G 型主系列星の研究	三石郁之（名古屋大学）
N06a	14:48	輻射輸送計算に基づく爆発直後の新星スペクトルの考察	田口健太（京都大学）

3月15日（金）午前（9:30-11:18）[B会場]

N07a	09:30	γ Dor 型変光星の内部自転を測る簡便な方法について	高田将郎（東京大学）
N08a	09:42	Do Kepler superflare stars really include slowly-rotating Sun-like stars ? - Results using Gaia-DR2 stellar radius data -	野津湧太（京都大学）
N09a	09:54	G, K, M 型星の恒星黒点の統計的性質とフレア活動性との関係	前原裕之（国立天文台）
N10a	10:06	惑星トランジットを用いた、空間分解された恒星黒点の面積の時間変化の推定	行方宏介（京都大学）
N11a	10:18	近赤外高分散分光による中期 M 型矮星の組成解析法の、連星を用いた検証	石川裕之（総合研究大学院大学 / 国立天文台）
N12a	10:30	金属欠乏星のリチウム線形成における彩層照射の影響	竹田洋一（国立天文台）
N13a	10:42	熱パルス AGB 星における炭素ダストの形成と磁気駆動風の持続性	保田悠紀（北海道大学）
N14a	10:54	共生星のアウトバーストとバルマー遮減率	安藤和子（岡山理科大学）
N15a	11:06	HSC-SSP DR1 を用いた L 型矮星の銀河系円盤鉛直方向のスケールハイトの導出	空華智子（国立天文台）

N01a 長い周期を持つ OH/IR 星の VERA を用いた位置天文観測

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

AGB 段階にあり非常に長い変光周期をもつ OH/IR 星に対する VERA を用いた位置天文 VLBI 観測の結果を報告する。OH/IR 星は初期質量 $1-8M_{\odot}$ の星の進化の末期にあたり、質量放出が非常に大きな時期を迎えた星と考えられている。中心星は周期的な変光を示し、惑星状星雲への進化の前段階にあると考えられている。星周はダストで覆われ赤外線領域で明るく、OH, H₂O, SiO メーザーをしばしば伴う。長周期変光星の進化過程については、小さな変光振幅を示す Semiregular 型から大振幅の Mira 型変光星へと進化し、その後 OH/IR 星へと進化すると考えられている。Semiregular 型と Mira 型では K バンド絶対等級-変光周期平面上で2つの異なる系列を示す事が知られており、進化過程との対応が示唆されるが、OH/IR 星については Mira 型星との類似性が強く、明確に区別されるような系列は知られていない。典型的な Mira 型星より周期が長い OH/IR 星についても観測例がほとんどないため、系列の確認は進んでいない。Engels et al. (2015) によると、1-6 年という非常に長い周期を持つ OH/IR 星が 20 個ほど知られている。我々はこうした星を用いて、周期が非常に長い領域での絶対等級-周期系列の有無を確かめるべく位置天文 VLBI 観測を開始した。星周ダストによる吸収のため可視光域では暗く、Gaia での観測が困難であるため、VLBI 位置天文は重要な手段となる。2017 年末から開始した OH/IR 星 NSV25875(周期 1748 日) の SiO メーザー VLBI 観測から、年周視差 0.38 ± 0.13 mas (距離 2.60 ± 0.85 kpc) が得られた。メーザースポットの固有運動 $(\mu_x, \mu_y) = (-0.97 \pm 0.55, -1.06 \pm 0.31)$ mas yr⁻¹ も得ることができた。本講演では、こうした結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02b VERA 入来局単一鏡観測による OH/IR 星の H₂O 及び SiO メーザーのモニタリング

守田篤史、中川亜紀治、田中理央、湯田晶斗、加世田大地 (鹿児島大学)、倉山智春 (帝京科学大学)

OH/IR 星は、質量が $1-8M_{\odot}$ の星の進化末期にあたる漸近巨星分枝星の一種だと言われており、脈動と質量放出が特徴である。質量放出率は、 $10^{-6}M_{\odot}$ から激しいものでは $10^{-4}M_{\odot}$ に及ぶ (te Lintel Hekkert et al.1994)。周囲は非常に厚いダストに覆われているため、可視光で暗く赤外線で明るい。また、約 100-3000 日の変光周期を持ち、星周には H₂O, SiO, OH メーザーが付随することがある。我々は OH/IR 星の中でも 1000 日を超える長い変光周期を持つ OH/IR 星に着目。変光周期が長く重い星は銀河面に多く存在しているため銀河の腕構造のトレーサーとなりうると考えている。変光周期が 1000 日を超えるような OH/IR 星の位置天文 VLBI 観測を行い距離決定することは、天の川銀河の構造解明においてもまた重要である。

我々は、2016 年に 1000 天体余りの OH/IR 星を選出し、2016 年 11 月から現在まで VERA 入来局単一鏡で H₂O 及び SiO メーザーのサーベイとモニタリングを行ってきた。Engles et al.(2012) では、OH/IR 星の OH メーザーの強度変化モニターから、変光周期を決定している。これを踏まえ、我々も OH/IR 星における H₂O もしくは SiO メーザーのモニタリングから、変光周期を決定したいと考えている。これまでのモニタリングの結果、変光周期 1380 日 or 1994 日の OH/IR 星 OH127.8+0.0 において SiO メーザーが変光周期と同じように長い周期性をもつ可能性が示唆された。また、変光周期 1750 日の OH/IR 星 OH141.7+3.5 における SiO メーザーの強度が 700 日以上時間をかけて緩やかに増光していく様子も確認できた。

本講演では、変光周期 1000 日を超える OH/IR 星モニタリングのこれまでの結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N03b 恒星フレアにおける元素合成の可能性

關嵩覚 (京都大学), 澤田涼 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 前原裕之 (国立天文台), 野津湧太, 幾田佳, 行方宏介, 野津翔太, 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

現在さまざまな場所でリチウムの存在量が観測されているが、それに対する理論的な説明は未だ与えられていないものが多い。それらに対する説明として、フレアによって水素やヘリウムが加速され大気中の粒子と反応することでリチウムが生成されるというモデルが提案されてきた (Ryter et al. 1970 など)。しかしこのモデルでは反応による二次粒子の効果を考えていない。一方で太陽フレアの X 線観測の結果が、フレアにおけるリチウム合成の可能性を示唆している (Forrest 1983 など)。さらには近年見つけてきたスーパーフレアという最大級の太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーのフレアの存在が、今まで考えられていた以上の元素合成反応が起こる可能性を与えている。またフレアが活発な星ではリチウム組成が多くなっているのではないかという提案もある (Honda et al. 2015)。

そこで本研究では、従来は考えられていなかった二次粒子の効果やリチウム以外の元素の合成、スーパーフレアの存在を考慮に入れたうえで元素合成計算を行っている。その結果としてフレアにおいて元素合成が起こっているのか、またそれが恒星の化学組成に対して寄与を与うるのかを評価する。我々はこれらの効果を厳密に考える前段階としていくつかの仮定を置いたテスト計算を行った。具体的には考慮する核種、反応を ^{12}C までの軽い元素とそれらが含まれる反応とし、計算の各タイムステップにおいてこれらの粒子は熱運動を行っているものとした。また密度の初期値として光球での典型的な値を用いた。本講演ではこのテスト計算の結果と今後の展望について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04b 近赤外線高分散分光器 WINERED : 晩期型星の近赤外線高分散スペクトルを用いた元素のアバundance導出と発展性について

福江慧, 近藤荘平, 鮫島寛明, 池田優二, 濱野哲史, 河北秀世, (京都産業大学), 松永典之, 谷口大輔, 小林尚人 (東京大学), 安井千香子, 辻本 拓司 (国立天文台), WINERED 開発チーム

京都産業大学神山天文台を中心とした「赤外線高分散ラボ (LiH)」によって開発された近赤外線高分散分光器 WINERED は、京都産業大学における北天での運用後に、チリの NTT を用いて南天での観測が行われている (2017 年秋期年会 N16a 等)。本装置は高分散 ($\lambda/\Delta\lambda > 28,000, 70,000$) かつ高効率 (スループット $> 50, 40\%$) な近赤外線波長域 ($0.91\text{--}1.35 \mu\text{m}$) のスペクトルを高いクオリティ ($S/N > 100$) で取得でき、恒星のアバundance導出も精度よく行うことが可能である。これまでに晩期型星の化学組成解析手法として (1) 鉄の組成の導出方法、(2) zYJ バンドの豊富な原子・分子ラインの吸収線の同定、(3) それらの初歩的な組成解析や Mn I の吸収線の超微細構造の影響について報告を行ってきた (2013 年秋季年会 N05a; 2015 年春季年会 N04a; 2017 年秋期年会 N18a)。しかし吸収線が浅い場合や、他の吸収線とのブレンドが大きい場合はラインごとに導出されるアバundanceの分散が大きくなるため、(a) 吸収線の深さが 5% よりも深く、(b) モデルスペクトルを用いてブレンドの影響の少ないラインを選択することとした。(a)(b) の基準を満たす Fe I の吸収線を用いて統計的な方法からマイクロ乱流を最適化させ、Fe I 以外の元素 (C, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Co, Ni) についても (a)(b) の基準を満たすラインを選択すると、文献値と 0.1 dex 程度で合致する結果が得られた。本発表ではこれらのアバundanceの導出結果について報告し、Mn I 以外の元素の吸収線における超微細構造の影響について議論する他、吸収線が浅く本数の少ないようなレアな元素のアバundance導出についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05c 極めて X 線活動性の高い G 型主系列星の研究

三石郁之, 高棹真介, 石原大助, 森鼻久美子 (名古屋大学), 國友正信 (東京大学), 田中佑希 (東工大)

恒星コロナは多様な磁気活動によって加熱を受けており、X 線観測はそれを顕著に捉えることができる手段の一つである。太陽型星の中には太陽フレアの $10 \sim 10^4$ 倍ものエネルギー規模のフレアを起こすことが観測から明らかとなり、近年そのような星の可視光観測が盛んに行え割れている。一方、磁気活動性により敏感なコロナの X 線観測はそれほど進んでいないのが現状である。そこで我々は可視光と X 線カタログのマッチングにより X 線で明るい太陽型 (G 型種系列) 星を探した。そして X 線光度が約 $10^{29} \text{ erg s}^{-1}$ を超え極めて活動性が高く、他天体からの混入の少ない銀緯の高い ($|b| > 10$ 度)、かつカタログにてバイナリでない 4 天体に着目した。このうち 1 天体は約 9 Gyr という年齢推定がなされている。その 4 天体に対して X 線分光解析を行ったところ、X 線光度が $10^{30} \text{ erg s}^{-1}$ に近づくにつれコロナ温度の上昇が緩やかになることが示唆された。我々はこの X 線光度・温度の関係の変化が意味することを太陽コロナ加熱理論に基づいて解釈することを試みた。その結果、X 線活動が極めて高い星は黒点のサイズ分布がハード (大きな黒点の割合が増加) になっている可能性が示された。またその 4 天体のうち 2 天体については複数衛星のデータを用いることで 20 年以上の光度変動の制限にも成功し、有意な変動がないという示唆が得られた。この結果は、X 線活動性が極めて高い星はその状態を長期間維持しうるということを示す初めての X 線観測である。本発表では観測の詳細とその解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N06a 輻射輸送計算に基づく爆発直後の新星スペクトルの考察

田口健太, 前田啓一 (京都大学)

新星とは白色矮星を主星にもつ近接連星系において最大5桁程度光度が突然増大する現象である。伴星からの質量輸送によって主星表面に堆積した水素を主成分とするガス層が高温・高密度になり熱核暴走反応を起こして増光を開始することが原因であり、その結果として輻射圧により堆積した水素層の膨張・流失が起こると考えられている (Prialnik 1986, Kato and Hachisu 1994, Hillman et al. 2014)。これまで多くの新星が可視分光観測されており、ほとんどが P Cygni 型の吸収線スペクトルを特徴とすることが分かっている。

ところが2011年、再帰新星 T Pyx が増光の発見からわずか4.4時間後に可視分光観測され、通常の新星とは大きく異なる輝線スペクトルを示すこと、その後は多くの新星で確認される P Cygni 型へ移行することが発見された (Arai et al. 2015)。このスペクトルの違いは、新星の増光開始直後の即時分光観測でしか得られない情報の存在、新星爆発前の系の情報を引き出すことができる可能性を示唆している。今後は京都大学岡山天文台せいめい望遠鏡による ToO 観測などにより、同様の増光開始直後の可視分光観測例が増えることが期待できる。

我々はこうした背景を踏まえ、新星の可視分光スペクトルの特徴と系の物理的状態との関係を調べるべく、輻射輸送計算コード CMFGEN (Hillier & Miller 1998) を用いたスペクトル計算を行っている。本研究では主星の光度・温度や主星周囲の物質の密度分布などをパラメータとして、1次元定常状態での輻射輸送・温度分布・電離平衡を自己無撞着に解いている。本研究で計算されるスペクトルを増光直後の新星スペクトルの観測と比較することで、分光観測結果から系を特徴づける物理量とその変化の仕方を推定することが期待できる。本発表では我々の計算の詳細を紹介し、その結果を既存の理論や観測結果と比較し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N07a γ Dor 型変光星の内部自転を測る簡便な方法について

高田 将郎 (東大理)

恒星の表面で検出される振動の情報からその内部構造を探る研究分野を星震学という。この分野は近年コーロ計画やケプラー計画といった宇宙探査機による観測のおかげで、特に観測面で飛躍的な発展を遂げた。最近の大きな話題の一つは、内部自転の問題である。恒星の自転が、その内部構造と進化に大きく影響しうるということは、古くから多く議論されてきたが、いまだに不確定な部分が多い。従って、もし星の内部が現実にもどのように回っているかがわかれば、この問題に対する重要な手がかりとなる。実際これまで星震学の手法により、低質量主系列星や赤色巨星の内部自転構造が明らかになってきている。共通する結果は、星の内側と外側で自転角速度の差が、考えられていたよりもはるかに小さいということである。これは角運動量が、中心から表面に向けて非常に効率よく輸送されていることを意味するが、具体的にどのような物理機構が原因なのかはわかっていない。今後の一つの方向は、他のタイプの星にまで研究対象を広げることである。

今回対象とするのは γ Dor 型変光星で、質量が 1.3 から 2.0 太陽質量程度の主系列星である。このタイプの変光星では、自転周期と振動周期がほぼ等しい (約 1 日の) ため、振動に対する自転の影響を摂動とみなすという (太陽型や赤色巨星で使えた) 手法が適用できない。そこで本研究では、摂動論とは異なる理論的枠組みを土台として、 γ Dor 型変光星の内部自転構造を推定する方法を提案する。これまでも同様の試みは存在するが、星ごとのモデルを仮定することなく、観測される振動周波数だけに基づいて、簡単に内部自転角速度 (の平均値) を見積もれることが、今回の方法の特徴である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08a Do Kepler superflare stars really include slowly-rotating Sun-like stars ? - Results using Gaia-DR2 stellar radius data -

野津湧太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学), Suzanne Hawley, James Davenport (University of Washington), 行方宏介, 幾田佳, 野津翔太, 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

私達は、Kepler 宇宙望遠鏡の測光観測データから、太陽型 (G 型主系列) 星においてスーパーフレア (最大級の太陽フレア (全エネルギー 10^{32} erg) の $10\sim 10^4$ 倍の規模の巨大フレア) 現象を多数発見し、その統計解析から自転の遅い太陽類似星でも最大 10^{35} erg 程度のスーパーフレアが発生する可能性を提起してきた。しかし、2018 年 4 月公開の Gaia 衛星 Data Release 2 (Gaia-DR2) の距離データで、Kepler 天体の大半で星半径が修正された結果、従来の Kepler データの解析では、太陽型星ではない星 (準巨星) が多数混入していた可能性が浮上した。

そこで本研究では、以前の研究で発見したスーパーフレア星から、Gaia-DR2 のデータで太陽型星でないと判定された 40% 超の星を除外し、より正確に太陽型星と言える星のみを用いて統計的探査を行った。その結果、以前の結果と比べ、自転周期 (\approx 年齢) の増加とともに、フレアエネルギーの上限値が連続的に減少する傾向が見え始めた。太陽類似星 (自転周期 25 日) では、その上限値は 5×10^{34} erg 程度となり、太陽においても、数千年に 1 回の頻度で $>10^{34}$ erg のスーパーフレアが発生する可能性が示唆された。一方、黒点面積の上限値は、自転が速い場合は概ね一定だが、自転周期約 12 日を超えると自転周期の増加とともに明確に減少すると分かった。太陽類似星では、黒点面積の上限値は太陽半球の 1% 程度となり、この面積の黒点の磁場エネルギーは、上述のフレアエネルギーの上限値に不足ない値である。そして、上述のフレアエネルギーと黒点面積の自転周期に対する依存性の違いは、スーパーフレア発生過程で黒点面積以外の物理量 (e.g., 黒点の構造) が影響している可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N09a G, K, M 型星の恒星黒点の統計的性質とフレア活動性との関係

前原裕之 (国立天文台), 野津湧太, 野津翔太, 行方宏介, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成, 山敷庸亮 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学)

晩期型主系列星における恒星フレアは、太陽フレアと同様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、熱や運動エネルギーの形で解放されることで生じると考えられている。先行研究 (e.g., Candelaresi et al. 2014) により、G, K, M 型星におけるフレアの発生頻度は、温度が低く自転周期が短い天体で高くなる傾向があることが知られている。

本研究では、Kepler field の G, K, M 型主系列星における黒点面積を、Kepler で観測された自転による変光の振幅と GaiaDR2 の星の温度・半径等のデータから見積もり、その統計的性質およびフレア活動性との関係を調べた。星の温度および黒点面積ごとにフレアの発生頻度分を調べてみると、温度が同じであっても黒点面積が小さくなるとフレアの最大エネルギーおよび発生頻度が下がる。一方、黒点面積が同じであれば温度が違ってもほぼ同じフレア発生頻度分布を示すことが分かった。さらに、 $> 10^{4.5}$ MSH (micro solar hemisphere; $1 \text{ MSH} \sim 3 \times 10^{16} \text{ cm}^2$) の面積を持つ巨大黒点の発生頻度と温度の関係を調べてみたところ、 $T_{\text{eff}} \sim 4500 \text{ K}$ (スペクトル型 K4-5V) で巨大黒点の発生頻度が最大になることが分かった。この傾向は 10^{35} erg 以上のエネルギーを解放するスーパーフレアの発生頻度と温度の関係に定性的には一致し、温度が違う星におけるスーパーフレアの発生頻度の違いは、巨大黒点の発生頻度の違いで説明できることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N10a 惑星トランジットを用いた、空間分解された恒星黒点の面積の時間変化の推定

行方宏介 (京大), James Davenport, Brett Morris, Suzanne Hawley (ワシントン大), 前原裕之 (NAOJ), 野津湧太, 野津翔太, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京大), 本田敏志 (兵庫県立大)

近年、太陽型星において、最大級の太陽フレアの10倍以上ものエネルギーのスーパーフレアが起きていることが発見された。スーパーフレア星には太陽黒点より1桁以上大きい巨大黒点が存在することから、スーパーフレア発生 の 解 明 に は、ど の よ う に し て 巨 大 黒 点 が 生 成 ・ 消 滅 す る の か ? を 明 ら か に す る こ と が 重 要 で あり、恒星黒点の面積の時間変化の調査が鍵であると考えられる。我々はこれまで、巨大黒点を持つ太陽型星の自転によって生ずる光度変化から、恒星黒点の面積の生成・消滅率は、太陽黒点の経験則と同じであることを発見した (Namekata et al. 2018 ApJ)。しかし、星全体の光度変化の情報だけでは、その黒点が複数黒点か? 単一の巨大黒点か? を区別することができず、恒星黒点の生成・消滅の物理過程を特定するには不十分であった。

このような状況の中、本研究では、系外惑星を持つ太陽類似星 Kepler-17 に注目した。Kepler-17 では、惑星トランジット中の小さな光度変化から、惑星軌道における恒星黒点の位置 (経度) を約 $0.2R_{\text{star}}$ (経度 12° 相当) の空間分解能で推定できる。これをトランジット (1.5 日) 毎に行うことで、ある程度空間分解された黒点群の面積の時間変化を追跡することができる。我々は、Morris et al. (2017) と同様の手法で、惑星トランジットモデルに基づいたマルコフ連鎖モンテカルロ法による黒点面積・経度の最尤推定を行った。結果、恒星黒点の磁束 $\sim 10^{24}$ Mx (太陽半球面積の4%に相当) に対し、生成・消滅率は $\sim \pm 10^{21}$ Mx \cdot h $^{-1}$ であり、我々の先行研究 (Namekata et al. 2018) と矛盾ないことがわかった。これは、太陽黒点と同じ物理機構で、恒星黒点の生成・消滅を説明できる可能性を強く支持するものである。本講演では、以上の詳細な結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11a 近赤外高分散分光による中期 M 型矮星の組成解析法の、連星を用いた検証

石川裕之 (総研大), 青木和光 (国立天文台, 総研大), 小谷隆行, (ABC, 国立天文台, 総研大) 葛原昌幸, 大宮正士 (ABC, 国立天文台)

近年、M 型矮星周りの系外惑星探査が活発である。これらの惑星の形成過程や内部構造を制限するため、中心星である M 型矮星の化学組成を決める必要がある。M 型矮星のスペクトルは FGK 型星に比べて暗く分子の吸収が激しいことから、中期・晩期 M 型矮星については、個々の原子の吸収線に基づく組成解析はほとんど行われて来なかった。我々は、それらの問題が比較的軽減される近赤外波長帯に存在する吸収線を用いることで、個々の元素組成の決定を試みている。

本発表では、可視光高分散分光観測に基づく高精度の化学組成が報告されている K 型星と連星をなす、中期 M 型矮星 2 天体の組成解析について報告する。有効温度が近く (共に約 3300 K)、伴星の金属量に大きな差がある (それぞれ約 -0.20 , $+0.29$ dex)、2 天体に対し、Calar Alto Observatory の 3.5m 望遠鏡に搭載された高分散分光装置 CARMENES で取得された近赤外スペクトル (9800-17500 \AA) を用いた。できる限り他の吸収線の影響を受けていない中性原子の吸収線を一本ずつ目視で選んで等価幅を測定し、恒星大気モデルに基づくモデルスペクトルから得られる等価幅と比較することで、7 種 (Fe, Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Ti) の元素組成を決めた。全体的な傾向はそれぞれの伴星 (K 型星) の化学組成に整合的な結果を得た。一方 Mg や Ti などの組成値が伴星の値から大きく外れており、天体由来よりは吸収線の等価幅測定に問題がある可能性を調査している。加えて、同様の解析の結果さらに低い金属量を示すバーナード星と、上記 2 天体とのスペクトルの比較を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a 金属欠乏星のリチウム線形成における彩層照射の影響

竹田洋一（国立天文台）

晩期 F 型の転向点付近の金属欠乏矮星は広い金属量範囲にわたってほぼ一定の表面リチウム量 ($A_{\text{sp}} \simeq 2.2$: Spite プラトー) を示すので宇宙の原初リチウム量を表すものと当初は思われたが、標準的宇宙論モデルの予測値より低く矛盾することがいわゆる宇宙リチウム問題である。ただその後の観測から Spite プラトーは一定ではなく金属量に応じたわずかな勾配を示すとわかり、また宇宙背景輻射の解析から初期宇宙リチウム量は精度良く決まっていると信じられているので、なぜ初期組成と食い違う分散の非常に小さいふるまいを示すのかが興味の対象になっている。以前竹田と比田井は広い金属量範囲 ($[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1$ から ~ -4) にわたる金属欠乏矮星で高励起の He I 10830 線の吸収線がほぼ一定の強度で見られることを報告した (Takeda & Takada-Hidai 2011)。これは非常に古い星であっても $T \sim 10^4\text{--}10^5\text{K}$ の高温大気が存在することを意味する。この高温彩層からの照射がリチウム組成決定にいかなる影響を与えるかを調べた。 $T_{\text{eff}} = 6250\text{ K}$, $\log g = 4.0$ で金属量を $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$ から -5 まで色々変えたモデルについて、温度 T_0 で光学的厚さ $\tau_0 (\ll 1)$ の高温層からの下向き熱的輻射を表面境界条件に取り入れた non-LTE 計算を行い、 $A_{\text{CMB}} = 2.64$ のリチウム組成に対する Li I 6708 線の等価幅を計算した。そしてそれを標準的な無彩層モデルで解析して組成 (A_{std}) を求めたところ、 (T_0, τ_0) を調整することで観測と良く一致する結果が得られることがわかった。たとえば ($\log T_0 = 4.5$, $\tau_0 = 10^{-3}$) では $A_{\text{std}} = 2.26, 2.16, 2.12, 2.11$ (それぞれ $[\text{Fe}/\text{H}] = -1, -2, -3, -4$) である。つまり彩層照射による過剰電離で等価幅は $\sim 1/2$ から $\sim 1/3$ に減少し、低金属量ほどより透明で彩層輻射は深く浸透するから効果は大きくなる。もっともこの解釈は Spite プラトーに適用されるもので、超金属欠乏領域に見られるプラトーの破れ (分散の大きい顕著な Li 欠乏) はまた別の問題である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N13a 熱パルス AGB 星における炭素ダストの形成と磁気駆動風の持続性

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)

熱パルス AGB 段階での質量放出は星表面の元素組成、形成されるダストの種類、サイズに影響する。その段階での質量放出はこれまでは形成されるダストに働く輻射圧により駆動されると考えられてきた (e.g., Kwok 1975; Fleischer et al. 1992) が、我々は磁気駆動機構でも熱パルス AGB 段階にて観測結果と矛盾のない星風が駆動されることを示した (保田他 2017 年秋季年会)。さらにそのモデルを炭素ダスト形成とダストに働く輻射圧を考慮したものへと拡張した。前回 (保田他 2018 年秋季年会) は IRC+10216 の星風特性 (質量放出率やガス速度) と炭素ダストの形成について調べた。今回は恒星進化モデルで得られた入力パラメータ (質量、半径、有効温度など) を用いて星風の安定期を調べ、その時期の星風特性、炭素ダストの形成量及びサイズを見積もる。

表面磁場を平均で 1 G とし、初期質量が 2.0 太陽質量、初期金属量が太陽金属量の場合以下の結果が得られた。進化に伴い質量が減少し、1.65 太陽質量まで減少した時点で C/O 値は 1 に達する。その後 1.50 太陽質量まで減少した時点で星風はほぼ持続的となる (外部境界付近で inflow はごく一時的にのみ発生する)。その後 1.39 太陽質量まで減少した時点から星風は持続的 (外部境界付近で inflow は発生しない) となり安定期に入る。これはダスト形成を考慮しない場合 (1.00 太陽質量) より早い段階である。その後ガス速度は増大していく。安定期での質量放出率は $1-2 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、ガス速度は $10-35 \text{ km s}^{-1}$ の範囲であり、電波観測から見積もられる値 ($2 \times 10^{-8}-3 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、 $4.0-28 \text{ km s}^{-1}$ 、Bergeat and Chevallier 2005) と同程度である。またその期間において ($3.4 \mu\text{m}$ で光学的厚さが 1 以上の) 光学的に厚いダストシェルは生成されず、ダストの平均サイズは $2-5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ となった。本講演ではこれらの結果を示し星風の持続性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N14a 共生星のアウトバーストとバルマー逓減率

安藤和子、田邊健茲、赤澤秀彦、福田尚也（岡山理科大学）

共生星 (Symbiotic Stars) は多くが M 型または K 型の巨星と白色矮星からなる連星系で、高温星のスペクトルと晩期型星のスペクトルを同時に示すことからこの名前がついている。このような天体は、両星が共通の大気に覆われているため、その構造を知ることは容易ではない。共生星は今までに約 200 個検出されている。2016 年以降、我々のグループはそのうち AG Peg, V694 Mon, CH Cyg, ならびに AG Dra のアウトバーストの分光観測を行うことができたので、それらの観測データを紹介します。特に、アウトバースト時に現れる Balmer 線の振る舞いをバルマー逓減率を用いて示す。ここでバルマー逓減率とはバルマー線のうち H_α と H_β の強度比 $I(H_\alpha)/I(H_\beta)$ である。これら 4 つの共生星のバルマー逓減率に関して共通に見られる特性は、時間とともに増大することである。その理由として考えられるのが、共生星の周囲に広がったガスとダストによる Rayleigh 散乱と考えられる。Rayleigh 散乱の断面積が波長の 4 乗に反比例することを用いれば、アウトバースト後のスペクトルの時間変化を説明できると考えられる。詳細は講演で述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15a HSC-SSP DR1 を用いた L 型矮星の銀河系円盤鉛直方向のスケールハイトの導出

空華智子 (国立天文台), 中島紀 (アストロバイオロジーセンター), 松岡良樹 (愛媛大学)

褐色矮星は、恒星と惑星の中間の質量を持つ天体である。その数は恒星の数に匹敵するほどといわれており、われわれの銀河系を構成する主要天体の一つである。しかし、褐色矮星は大変暗いため遠くの天体を検出することが難しく、これまで、銀河系内の褐色矮星の分布 (個数密度や光度関数、スケールハイトなど) を導出することは困難であった。銀河面に対して鉛直方向のスケールハイトを導出するためには、少なくとも、過去に導出された恒星のスケールハイト (~ 300 pc) ほどの距離まで褐色矮星のデータが必要である。唯一、ハッブル宇宙望遠鏡は 300 pc より遠くの天体まで観測することができるが、観測領域が狭いため、使用できる天体数はたかだか数十天体であった。すばる望遠鏡に搭載された超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は、他の観測装置に比べて、深く (~ 400 pc) 広く (1400 deg^2) 観測できるため、観測可能な体積が大きい。

そこで、HSC-Subaru Strategic Program Data Release 1 の i, z, y バンドのデータを用いて、L 型矮星の新規発見と、銀河系内の分布の導出を試みた。その結果、カラー ($i-z$ vs. $z-y$)、限界等級 ($z \leq 24$)、PSF などの制約条件の下で、3665 個の L 型矮星を検出した。また、これらのデータと銀河円盤の理論モデル “exponential disk model” を用いて太陽近傍の L 型矮星のスケールハイトを導出した結果、380 pc (90% 信頼区間: 340–420 pc) と見積もられた。これは、恒星のスケールハイト (~ 300 pc) に比べて大きく、恒星よりも広がった分布をしていることがわかった。本結果は、L 型矮星の年齢が M 型矮星に比べて古いという過去の運動学的研究を支持する結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成】

3月14日(木) 午後(13:00-15:00) [H会場]

P101a	13:00	Class 0 天体 MMS 5/OMC-3 におけるエンベロープ内の構造	松下祐子 (九州大学)
P102a	13:12	The Envelope-Disk-Outflow System in Massive Protostellar Source G339.88-1.26	Yichen Zhang (RIKEN)
P103a	13:24	On the Role of Turbulent Momentum Injection by Molecular Outflows in Orion A	田辺義浩 (茨城大学)
P104b	13:36	6.7 GHz メタノールレーザーが付随する大質量原始星に対する CH ₃ CN 熱的輝線放射観測	石川果奈 (茨城大学)
P105b	13:36	数値シミュレーションに基づいた大質量連星間距離の解析的な導出	原田直人 (九州大学)
P106b	13:36	RCrA における惑星質量天体/褐色矮星の近赤外測光探査観測	大朝由美子 (埼玉大学)
P107b	13:48	Class 0/I 低質量原始星コア L1527 のアウトフローの分子分布と速度構造	藤田孝典 (東京大学)
P108b	13:48	A Comprehensive Study of High-Mass Star-Forming Regions	Patricio Sanhueza (NAOJ)
P109b	13:48	TMC-1 におけるゼーマン分裂検出と磁場強度測定	中村文隆 (国立天文台)
P110a	14:00	BISTRO Project Status (5)	Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
P111a	14:12	星形成領域 NGC 1333 の磁場構造	土井靖生 (東京大学)
P112a	14:24	Study of effects of magnetic field in magnetized colliding molecular clouds.	Sakre Nirmal Deepak (Hokkaido University)
P113a	14:36	ホール効果をもたらす円盤成長の多様性	古賀駿大 (九州大学)
P114a	14:48	多相星間媒質における中性水素ガスの質量分配とその時間発展	小林将人 (大阪大学)

3月15日(金) 午前(9:30-11:30) [H会場]

P115a	09:30	Gaia DR2 に基づく Orion OB I アソシエーションの星形成史の解析	西亮一 (新潟大学)
P116a	09:42	低金属量大質量星形成における初期条件依存性について	福島肇 (京都大学)
P117a	09:54	低金属度ガスの電離度と磁気散逸率について	仲内大翼 (東北大学)
P118a	10:06	ダークマター・バリオン相対速度による初代星形成と星質量分布	沈有程 (東京大学)
P119a	10:18	始原ガス円盤分裂による多重星系形成可能性と数値計算法の不定性 (II)	島和宏 (京都大学)
P120a	10:30	星周円盤進化における磁気効果: ガス雲回転方向への依存性	平野信吾 (九州大学)
P121a	10:42	原始星コアの分子組成の多様性: 分子雲段階の物理パラメタへの依存性	相川祐理 (東京大学)
P122a	10:54	オリオン A 分子雲のメインフィラメント内外における高密度コアの質量関数	竹村英晃 (国立天文台)
P123a	11:06	ALMA Long Baseline による Face-on 大質量原始星候補天体の撮像観測 1: 回転降着エンベロープ	元木業人 (山口大学)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P124b 11:18 フィラメントから形成される分子雲コアの角運動量の時間発展 三杉佳明 (名古屋大学)

P125b 11:18 ALMA-IMF: ALMA Transforms our View of the Origin of Stellar Masses Patricio Sanhueza (NAOJ)

3月15日(金)午後(13:30-14:30) [H会場]

P126a 13:30 L1495 領域のフィラメント雲に埋もれた褐色矮星前駆体候補の高密度コア 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)

P127c NRO 星形成レガシープロジェクト 中村文隆 (国立天文台)

P128a 13:42 NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): ホットコアカタログの銀経 $20^\circ - 50^\circ$ への拡張 佐藤一樹 (東京大学)

P129a 13:54 ALMA Dust Polarization Study toward Prestellar and Protostellar Sources in Orion Satoko Takahashi (NAOJ)

P130a 14:06 Class I 低質量原始星天体 Elias 29 における 100 au スケールでの化学組成 大屋瑠子 (東京大学)

P131a 14:18 低質量原始星 IRAS 15398-3359 のアウトフローの化学組成 大小田結貴 (東京大学)

P132c B335 の原始星近傍ガスの物理・化学構造 今井宗明 (東京大学)

P101a Class 0天体 MMS 5/OMC-3 におけるエンベロープ内の構造

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

Orion molecular cloud-3 (OMC-3, 距離=388 pc, Kounkel et al. 2017) に存在する Class 0 天体である MMS 5 から低速度のアウトフローと高速度のジェットが存在することは知られている (Matsushita et al. accepted)。今回の発表では、ALMA Cycle3 での 1.3 mm 連続波と $C^{18}O$ $J=2-1$ 、 N_2D^+ $J=3-2$ の二つの輝線についての観測結果を報告する。 $C^{18}O$ は、円盤やエンベロープといった高密度ガスをトレースする。他方、 N_2D^+ は、進化の早期段階をトレースする。特に、 N_2D^+ は、冷たく高密度な領域にのみ存在するため、CO ガスが存在するような原始星からの輻射によって加熱された領域では観測されない。つまり、 $C^{18}O$ と N_2D^+ の分布を調べることはコアの進化段階を測る良い指標となる。今回の解析では、 $C^{18}O$ は 1.3mm 連続波のピーク値付近に存在し、 N_2D^+ は $C^{18}O$ と 1.3mm 連続波とは anticorrelation することが確認された。それに加えて、 N_2D^+ は、OMC-3 領域に見られるフィラメント構造に沿って存在することも確認された。 $C^{18}O$ は、連続波のピーク値周辺に存在し、すでに知られている東西方向に伸びるアウトフローとは異なり、南北方向に速度構造が見られた。このことから、原始星周りの円盤/エンベロープの回転構造を捉えたと考えられる。アウトフローの軸とは直行する方向に PV 図を作成したところ、回転で説明が可能な成分が見られた。連続波のピーク値における CO $J=2-1$ の PV 図からも同様に回転成分が見られ、回転の方向も一致する結果が得られた。また、line profile からはガス降着の兆候も見られた。エンベロープ内の構造として、ケプラー回転をしていると判断することは難しいが、角運動量を保存しながら回転しガスの降着を起こしていると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P102a The Envelope-Disk-Outflow System in Massive Protostellar Source G339.88-1.26

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

We present ALMA molecular line observations of the massive protostellar source G339.88-1.26. The observations reveal a highly collimated SiO jet extending from the 1.3 mm continuum source, which connects to a slightly wider but still highly collimated CO outflow. Rotational features perpendicular to the outflow axis are detected in various molecular emissions, including SiO, SO₂, H₂S, CH₃OH, and H₂CO emissions. Based on their spatial distributions and kinematics, we find that they trace different parts of the envelope-disk system. The SiO traces the disk and inner envelope in addition to the jet, the CH₃OH and H₂CO trace the infalling-rotating envelope outside of the disk, and the SO₂ and H₂S appear enhanced around the transition region between envelope and disk, i.e., the centrifugal barrier, as well as the outer part of the disk. Envelope kinematics are consistent with rotating-infalling motion, while those of the disk are consistent with Keplerian rotation. These results indicate that an ordered transition from an infalling-rotating envelope to a Keplerian disk through a centrifugal barrier, accompanied by change of chemical composition, is a valid description of this massive protostellar source. This implies that at least some massive stars form in a similar way as low-mass stars via Core Accretion.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a On the Role of Turbulent Momentum Injection by Molecular Outflows in Orion
A

田辺義浩, 百瀬宗武 (茨城大学), 中村文隆, 塚越崇 (NAOJ), 島尻芳人 (CEA), ほか星形成レガシーチーム一同

双極分子流は星形成初期に出現し、角運動量を外部へと逃がすことにより円盤形成を促進するとともに、放出されたガスが母胎分子雲にエネルギーを与えることで、分子雲乱流の駆動源となりうるということが指摘されている。これまでの比較研究から、近傍の小質量形成領域において、分子流のエネルギー放出率と分子雲乱流のエネルギー散逸率がほぼ同程度であることが示唆されている。一方で大質量星形成領域や巨大分子雲における分子流の分布や、それらが母胎分子雲に及ぼすフィードバックについては観測的に十分な情報が得られているとは言えない。

そこで我々は、最も近傍に存在する巨大分子雲であるオリオン座 A 分子雲に対し、野辺山 45-m 電波望遠鏡を用いて高感度サーベイ観測を行った。観測によって得られた広域で均質な ^{12}CO ($J = 1-0$) マップに基づいた系統的なアウトフローの抽出を試み、新検出 17 個を含む 44 個の分子流を同定した。 ^{13}CO ($J = 1-0$) のデータも使って推定した光学的厚みを考慮して全分子流のエネルギーと運動量を求め、母胎分子雲における乱流のエネルギー及び運動量との比較を行ったところ、分子雲のエネルギー及び運動量の放出率は分子雲乱流のエネルギー及び運動量の散逸率のそれぞれ 235% および 36% であった。分子流から放出されたエネルギーと運動量の全てが母胎分子雲の乱流へ変換されるわけではないため、分子流のみで全乱流を駆動することは難しいが、巨大分子雲オリオン座 A においても、分子流は乱流の駆動に寄与をすることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104b 6.7 GHz メタノールメーザーが付随する大質量原始星に対する CH₃CN 熱的輝線放射観測

石川果奈, 百瀬宗武, 米倉覚則 (茨城大学), 杉山孝一郎, 塚越崇 (国立天文台)

大質量原始星に付随する 6.7GHz メタノールメーザーに対して行なった熱的輝線放射観測について報告する。星形成領域に付随している 6.7GHz メタノールメーザーには、数十日から数百日で周期的な強度変動を示すものがあることが知られている (e.g., Goedhart et al., 2014)。この周期変動の要因として複数のモデルが提唱されている (e.g., Inayoshi et al., 2013; van der Walt 2011) が、その詳細は明らかにされていない。また、メーザーは非熱的輝線放射であるため、メーザーの付随する分子雲の物理状態 (温度や密度) を詳細に探ることは難しい。このためには、熱的放射の観測をする必要がある。過去に、メタノールメーザー 83 天体を対象とした、HCO⁺ (J = 1 - 0) と CH₃CN (J = 5 - 4, 6 - 5) での観測が行われており、分子雲の物理状態は導出されている (Purcell et al., 2006)。しかしメーザーの長期モニター観測はなされておらず、メーザーの周期変動の有無との関連を議論するには不十分である。そこで本研究では、この点の解明を目的に、野辺山 45m 電波望遠鏡にて CH₃CN (J = 5 - 4) を含む複数の熱的輝線を観測した。観測対象は日立 32m 電波望遠鏡モニター観測 (Yonekura et al., 2016) でメーザーの周期変動が確認された天体と確認されない天体を各 12 天体で構成した。CH₃CN は対称分子コマであり、隣接する周波数で検出される一連の K-ladder が示す輝線強度比から、Rotation Diagram を用いて回転温度と柱密度を正確に求めることができる。3 つ以上の遷移で輝線が有意に検出された 4 天体では、回転温度が (36 - 88) K、H₂ との存在比が 3×10^{-9} (Mendoza et al. 2018) と仮定すると、個数密度が $(2.6 \times 10^{23} - 1.1 \times 10^{24}) \text{ cm}^{-2}$ であることがわかった。講演では、この他の天体に対する観測結果や、メーザーの周期性の有無との関連について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105b 数値シミュレーションに基づいた大質量連星間距離の解析的な導出

原田直人, 平野信吾, 町田正博 (九州大学)

大質量近接連星は近年の重力波観測で見つかった連星ブラックホールの起源天体の候補として考えられている。その形成メカニズムとして低質量の連星系が降着によって質量を増やしていく状況を考えると、何らかの機構で降着ガスの比角運動量が十分に小さくならなければ、近接系が維持できない。角運動量輸送の機構としては磁気制動が考えられていて、Bonnell et al. (2018) は等質量で重心周りを等速円運動する連星を仮定することによって連星間距離を解析的に見積もった。先行研究は質量が 25 太陽質量以上で連星間距離が 10 太陽半径のオーダーの連星が容易に形成されると主張しており、大質量近接連星の形成における磁場の重要性が示唆されている。しかし、この研究では磁場の効果を単純なモデルを用いて評価している。

本研究では磁場による角運動量輸送の効果を数値シミュレーションによって計算し、得られた結果に先行研究の解析的手法を適用することによって連星間距離を調べた。一様磁場のもと一様回転している Bonner-Ebert 球の時間進化を 3 次元多層格子法を用いた磁気流体シミュレーションによって調べ、中心シンクを連星系と見なすことで、その質量及び角運動量から連星間距離を上述の仮定により導出した。その結果、100 太陽質量程度の分子雲から 10 太陽質量程度の連星系が 10AU 未満の連星間距離を持って形成されることがわかった。

本発表では大質量近接連星の形成において磁場の果たす役割を示すとともに、連星間距離を導出するプロセスの妥当性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106b RCrA における惑星質量天体/褐色矮星の近赤外測光探査観測

大朝由美子, 金井昂大 (埼玉大学)

近年の近赤外観測から、惑星質量を持つ天体には連星型(惑星)だけでなく、恒星の周囲を周回せず単独で存在する単独惑星質量天体が幾つかの領域で明らかになりつつある。しかし、惑星質量天体や褐色矮星は光度が非常に小さく観測が困難であるため、環境によらず初期質量関数(IMF)が普遍的なのか、質量が軽くなるほど天体数が一様に増加するか、など未解明の点は多い。我々は、太陽近傍($\leq 1\text{kpc}$)の多様な環境を持つ星形成領域、及び星形成が確認されていない分子雲において、超低質量天体の普遍性や IMF、環境による形成の差異等を探るべく、若い褐色矮星や惑星質量天体が十分検出可能な可視/近赤外探査観測プロジェクトを進めている。

本研究では、活発な星形成活動が知られているみなみのかんむり座分子雲領域(RCrA)を観測対象とした。RCrA領域は、Herbig Ae 型星やクラス 0 天体を含む中質量星形成領域(距離 $\sim 130\text{pc}$)であり、Upper Centaurus-Lupus OB アソシエーションによる HI シェルの影響を受けている可能性が報告されている。近赤外観測から褐色矮星が見つかったが、惑星質量天体や IMF の超低質量側については明らかではない。そこで、RCrA 領域における超低質量天体の分布を調べることを目的として、UKIRT3.8m 望遠鏡と WFCAM を用いた広域近赤外測光探査観測(13.7' 四方 $\times 4$)を行った。JHK3 バンドの 10 限界等級は従来より数等深く($J > 20$, $HK > 19$), $A_v \sim 41$ 等埋もれた天体まで検出し、二色図から赤外超過の見られる Class II 天体候補が数百天体同定された。年齢を 1Myr と仮定して進化トラックを基に質量を求めると、その大半が惑星質量天体候補であった。本講演では、最も分子雲密度が高い中心部領域に着目し、超低質量天体の IMF や、Spitzer 望遠鏡/IRAC で検出されている天体の測光値をあわせ SED による温度や円盤の可能性についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P107b Class 0/I 低質量原始星コア L1527 のアウトフローの分子分布と速度構造

藤田孝典, 大屋瑤子, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所)

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

L1527 ($d = 137$ pc) はおうし座にある Class 0/I の低質量原始星コアで、ほぼ edge-on の構造のエンベロープ・円盤が南北に伸び、アウトフローが東西方向に吹き出していることが知られている。我々は L1527 を ALMA Cycle 4 で観測し、アウトフローにおける分子の分布と速度構造について調べた。CS ($J = 3 - 2$), H_2CO ($2_{1,1} - 1_{1,0}$), SO ($3_4 - 2_3$), $\text{c-C}_3\text{H}_2$ ($2_{2,0} - 1_{1,1}$) の分子輝線を検出した。また、ALMA Band 4 の広い maximum recoverable size ($\sim 6''$) を活用することで東西に広がるアウトフローを捉えた。

観測の結果、CS 輝線がアウトフローキャビティの壁をよく捉えることがわかった。また、 H_2CO 輝線はアウトフロー、エンベロープガスの両方で見られた。一方で、SO 輝線はアウトフロー上で局所的に検出され、局所的な衝突を捉えているものと考えられる。 $\text{c-C}_3\text{H}_2$ 輝線はエンベロープガスで検出され、アウトフローには見られなかった。

CS 輝線の速度構造の解析の結果、今回の観測においてアウトフローが回転している様子は見られなかった。アウトフローの速度構造から、ガスの持つ比角運動量の上限值を $1 \times 10^{-3} \text{ km s}^{-1} \text{ pc}$ と見積もった。L1527 での数 100 au スケールの回転・落下エンベロープガスが持つ比角運動量は $9 \times 10^{-4} \text{ km s}^{-1} \text{ pc}$ と報告されており、アウトフローのもつ比角運動量はエンベロープガスと同程度かそれ以下であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P108b A Comprehensive Study of High-Mass Star-Forming Regions

Patricio Sanhueza (NAOJ), Fumitaka Nakamura (NAOJ), Fernando Olguin (National Tsing Hua University), Ken'ichi Tatematsu (NAOJ), Xing Lu (NAOJ)

We aim to understand how hot molecular cores fragment to form single or binary high-mass stellar systems. For this purpose, we will combine high-angular resolution observations at 100-200 AU scales (at ~ 230 GHz) with polarization observations at 500-1000 AU scales (250 GHz) to determine the relative balance between turbulence, gravity, and magnetic fields and to assess what control the different formation scenarios. We expect to reveal at which scales high-mass binaries form (core or disk fragmentation) and if magnetic field play any role in the process. For this, we have been awarded over 30 hrs of ALMA time to observe 31 high-mass star forming regions containing ~ 50 massive young stellar objects. Here we present some early results of the recently delivered data sets.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109b TMC-1 におけるゼーマン分裂検出と磁場強度測定

中村文隆、楠根貴成（国立天文台）、亀野誠司（国立天文台・JAO）、土橋一仁、下井倉ともみ（東京学芸大）、谷口琴美（Virginia 大）、水野いづみ（JCMT）

星形成過程は自己重力、磁場、乱流などの複合的な要因により支配されている。なかでも星形成領域の磁場強度の測定は非常に難しく、星形成におけるその力学的役割を定量的に議論するのは非常に困難である。この問題を解決するには、磁場強度を精確に測定する必要がある。しかしながら、星形成領域の磁場強度を精確に測ることは、技術的困難もあり、現状ではあまり進んでいない。星形成領域の磁場強度を測定する最も良い方法の一つは、分子輝線のゼーマン観測をすることである。特に、星が誕生すると予想される星なし高密度コアの磁場を測定するには、45GHz 帯の CCS 分子輝線のゼーマン分裂が最適である。

我々は、CCS のゼーマン分裂を検出するために、45GHz 帯の偏波観測が可能な受信機 Z45 を開発し、野辺山 45m 鏡を用いてゼーマン観測を行ってきた。以前の年会で、牡牛座分子雲領域の星なしフィラメントにある TMC-1 (CP) でのゼーマン観測の結果を報告してきた。今回は、解析結果をより精確にするために、右回りと左回りの円偏波のビームスクインの EL 依存性を取り入れてたりするなどし、解析し直した。その結果、ゼーマン分裂の分裂幅から、 $\sim 60\mu\text{G}$ の磁場強度が導出された。この値を使うと、TMC-1 の磁場は力学平衡の臨界値よりも数 10% 程度低い、magnetically supercritical な状態にあることが予想された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110a BISTRO Project Status (5)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian³, Yasuo Doi⁴, Saeko Hayashi¹, Charles Hull¹, Tsuyoshi Inoue³, Shu-ichiro Inutsuka³, Kazunari Iwasaki⁵, Yoshihiro Kanamori⁴, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Masato Kobayashi³, Takayoshi Kusune¹, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka⁴, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and the BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Osaka U., ⁶Hiroshima U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²U. Tsukuba, ¹³Kwansai Gakuin U., ¹⁴Astrobiology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make submillimeter linear polarization images of nearby star forming regions as one of the EAO/JCMT Large Programs, and it involves over 130 researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Vietnam and the East Asian Observatory. This paper reports an update of the research program including; a) new 850 micron polarimetry results of Oph C, B1 and NGC 5146, b) progress of the BISTRO2 observations, and c) initial comparisons between the results of different regions.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111a 星形成領域 NGC 1333 の磁場構造

土井 靖生 (東大総文), BISTRO チーム

NGC 1333 は、ペルセウス分子雲中に存在する活発な星形成領域である。この領域はしばしばペルセウス分子雲中のハブ-フィラメント構造の”ハブ”と捉えられ、 $\sim 1\text{pc}$ の領域中に複雑な分子雲の空間構造が見られる。我々は JCMT によるサブミリ波偏光観測プロジェクト BISTRO の一環としてこの領域の観測を行い、偏光 = 視線に垂直な磁場分布を 0.02pc (4000au) を切る空間分解能で、領域全体に亘り明らかにすることに初めて成功した。

領域全体の磁場分布は Planck により観測された大局磁場分布と概ね一致するが、内部ではより複雑な分布を示す。領域内にフィラメント状に伸びる分子雲構造は、磁場分布と平行又は垂直な分布を示すが、大局磁場及びフィラメント内の磁場方向に平行にも関わらず柱密度の大きいフィラメント構造も認められる。分子雲の磁力線に沿った圧縮に因るとするフィラメントの形成仮説と比較する際には、視線奥行き方向の構造を含めた解釈が必要となる可能性がある。我々の観測した偏光度はサブミリ波の強度から見積もられるガスの柱密度と反相関を示し、特に YSO 周囲の濃いガスクランプに対してはその値は 1% 未満となる。一般にこの関係は、濃いガス雲を見通す視線上の磁場がガス乱流で乱される等、非一様となることによる重ね合わせの効果と解釈されるが、我々の観測した磁場の方位角分布は YSO 周囲に於いても一様に良く揃った分布を示し、YSO 及び星周円盤の回転方向や、活発な双極分子流の顕著な影響は見られない。より空間分解能の高い干渉計による観測データ (Hull et al. 2014; 空間分解能 $< 700\text{au}$) が IRAS4A の砂時計構造に代表される YSO 周囲に付随した磁場構造を示すことと合わせると、YSO 周囲の磁場は我々の観測した $\geq 4000\text{au}$ のスケールでは一様であり、それより小さなスケール、恐らくは PPD サイズである 1000au 前後を境として様相が異なっていることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P112a Study of effects of magnetic field in magnetized colliding molecular clouds.

Nirmit Sakre, Asao Habe, Alex Pettitt (Hokkaido University)

We study the effects of magnetic field strength and its orientation on dense core formation in colliding molecular clouds with the goal of understanding massive star formation. We performed sub parsec ($\approx 0.015\text{pc}$) magneto-hydrodynamic (MHD) simulations of two unequal mass molecular clouds with turbulence and a cloud collision speed of 10kms^{-1} . We assume different global magnetic field cases with varying strengths in the range of 0.1 to $4.0\mu\text{G}$ and with three different orientations indicating parallel, perpendicular and oblique with respect to the collision axis. The weak magnetic field cases show a partial arc gas morphology in the shock region. The strong parallel magnetic fields also show similar morphology to the weak cases whereas the strong perpendicular and oblique magnetic field cases show a stronger influence of the magnetic field on the gas morphology in the shock region. Gas clumps with the density greater than $5\times 10^{-20}\text{gcm}^{-3}$ are identified as dense cores and are traced throughout the simulation to investigate effects of the magnetic field on the resulting core population. The core mass function (CMF) shows more massive core formation in the strong magnetic fields cases compared to the weak cases. The strong perpendicular and oblique magnetic field cases were more favorable for massive core formation compared to the other cases. We will discuss the implications of our results for massive star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113a ホール効果がもたらす円盤成長の多様性

古賀駿大 (九州大学), 塚本裕介 (鹿児島大学), 奥住聡 (東京工業大学), 町田正博 (九州大学)

分子雲コアの重力収縮過程では、磁場が重要な役割を果たすことが分かっている (e.g. Mellon & Li 2008)。分子雲コアは弱電離環境であるため、非理想電磁流体力学の効果である、ホール効果、オーム散逸、両極性拡散を考慮する必要がある。先行研究の多くは磁気流体シミュレーションを用いて、星形成過程での磁場のもたらす効果を調べてきた (e.g. Tomida et al. 2015, Tsukamoto et al. 2018)。非理想電磁流体力学の効果の強さは、ガス中に存在する荷電粒子の存在量に依存する。さらに、荷電粒子の存在量はダストサイズ分布と宇宙線強度によって決定される。ダストサイズ分布と宇宙線強度には、星形成領域ごとに不定性がある。しかし、多くのシミュレーションでは、ダストサイズ分布と宇宙線強度をある値で固定して行われている。

本研究では、非理想効果の1つであるホール効果に注目した。星形成過程でホール効果は、ポロイダル磁場に対してトロイダル方向にガスを回転させ、円盤のガスが持つ角運動量を変化させる。中心星の重力に対して遠心力で支えられている円盤は、ガスが持つ角運動量によってサイズが変わる。そのため、ホール効果を考慮すると、ダストサイズ分布と宇宙線強度が変化することで円盤のサイズが変わる可能性がある。そこで、ダストサイズ分布と宇宙線強度をパラメータとして、ホール効果によって誘起される落下するガスの比角運動量を求め、さらに形成される円盤のサイズを解析的に計算した。その結果、例えばダストサイズが $0.1\mu\text{m}$ と $0.025\mu\text{m}$ の場合では、円盤のサイズはそれぞれ 5au, 59au となり、ダストサイズが 4 倍違うとホール効果が誘起する円盤のサイズは約 10 倍変わることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P114a 多相星間媒質における中性水素ガスの質量分配とその時間発展

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

多相星間媒質の時間発展を記述する銀河スケールでのサブグリッドモデルの構築を目標に, 我々は超音速中性水素ガス流衝突シミュレーションを数 10pc 空間スケールで実行し, 形成される多相星間媒質の性質を調査している. 加熱・冷却過程を含むこの系が密度重み付けした実効的状态方程式においては等温に近しく表現できることなど, 研究の初期成果を 2018 年秋季年会 P119a にて報告した.

その後我々は, より長時間の進化・複数の初期条件を系統的に調査してきた. さらに圧縮層内部の質量分配がどのように時間進化するか明らかにすることがサブグリッドモデル構築には重要であるため, この点に着目した解析を進めた. その結果暖かい中性水素原子ガス (WNM) と冷たい中性水素原子ガス (CNM) との質量比が, 計算初期 (<400 万年) では 1:1 程度である一方, 後期 (>1000 万年) では 1:9 程度に到達することが明らかになった. 本結果は星形成に直結する CNM や分子雲形成には, 1000 万年程度の長期間の圧縮現象や銀河渦状腕のような大規模な質量集積が重要になり得ることを示唆する. また, 超新星残骸や電離領域の膨張に伴う超音速衝撃波の伝播イベント頻度が星間媒質中では 100 万年に 1 度程度であることを踏まえると, 銀河円盤全体を平均した典型的な WNM:CNM 質量比が 1:1 程度になっていることも示唆している.

さらにこの質量比の進化傾向は衝突流の衝突速度に依存しないものの, 10 万年刻みで短期間の時間進化を追うと計算初期の乱流種分布に依存していることが明らかになってきたので, これらの内容を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115a Gaia DR2 に基づく Orion OB I アソシエーションの星形成史の解析

西亮一，南祥平（新潟大），中村文隆（国立天文台）

我々は Gaia DR2 の位置天文情報を用いてオリオン領域の星形成についての解析を行い、空間的に広い領域に分布する前主系列星が固有運動平面においては非常にコンパクトに集まっており、固有運動平面での分類が有効であることを示した。その中には Orion OB I アソシエーションに付随すると考えられる中小質量の前主系列星も含まれる。Orion OB I アソシエーションの大質量星は通常複数のサブグループに分割され、それらの間に系統的な年齢差があると言われている。それは連鎖的星形成の結果とも考えられてきた。オリオン領域の大質量星はみかけが明るすぎるため、残念ながら Gaia DR2 にはほとんど載っていない。しかし、それに付随して形成されたと考えられる中小質量星を同定することによって、Orion OB I アソシエーションの星形成史を解析することは可能である。今回我々は、Orion OB I アソシエーションの星形成史についての解析を行った。まず、固有運動平面での選別および年周視差を用いた解析により、Orion OB I アソシエーションに関係すると考えられる前主系列星を選択した。そして、天球面での位置によってそれぞれのサブグループに付随する中小質量の前主系列星を同定し、それぞれのサブグループについて詳細に調べた。まず、H-R 図を用いた解析によりそれぞれのサブグループにおける星形成史の違いを調べた。その結果、星形成の開始時刻はどのサブグループでも数千万年前であり、違いは明確には認められなかった。しかし、星形成の終了時刻はサブグループによって異なり、およそ1千万年前に終了しているものから現在まで継続しているものまでの分布があることがわかった。このことがサブグループ間の大質量星の年齢差と関係していると考えられる。また、固有運動の分布と天球面上での位置の関係について詳細に調べた結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116a 低金属量大質量星形成における初期条件依存性について

福島 肇, 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学), 千秋 元 (ジョージア工科大), 吉田直紀 (東京大学), 仲谷峻平 (東京大学), Rolf Kuiper (チュービンゲン大学)

大質量星形成において、原始星質量の増加に伴い光度も大きくなるため、輻射フィードバックが質量降着へ影響を与える。銀河系における大質量星形成では、ダスト粒子が受ける輻射圧により質量降着が抑制される (Wolfire & Cassinelli 1987, Kuiper et al. 2010)。一方、ガス中にダスト粒子が含まれない初代星形成では、電離光子による HII 領域形成により質量降着が抑制される (McKee & Tan 2008, Hosokawa et al. 2011)。また、HII 領域形成は銀河系内の大質量星形成の最終質量にも影響することが示されている (Kuiper & Hosokawa 2018)。

本研究では、2次元輻射流体シミュレーションを用いて、これらの中間となる低金属量大質量星形成における輻射フィードバック効果を調べた。前回の年会において、 $Z \sim 10^{-2} Z_{\odot}$ において、質量降着を抑制する機構がダスト粒子への輻射圧から HII 領域形成へ切り替わることを示した。今回は、高密度コアの質量や回転速度などの物理状態が異なる初期条件について計算を行い、最終星質量を調べる。特に、質量降着率が $4 \times 10^3 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ を超える場合には、原始星は Kelvin-Helmholtz 収縮後に主系列星に達することなく半径膨張を起こす (Omukai & Palla 2003; Hosokawa et al. 2012)。この際、原始星の有効温度が低くなり星周囲での HII 領域形成が抑制されるが、光度は大きいため輻射圧は依然として有効である。この場合、 $100 M_{\odot}$ を超える大質量星は低金属量環境で形成されやすいことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117a 低金属度ガスの電離度と磁気散逸率について

仲内 大翼, 大向 一行 (東北大学), 須佐 元 (甲南大学)

磁場は磁気制動やアウトフローの駆動を通して星形成ガス中心部から質量や角運動量を持ち去り、原始星周りの降着円盤や連星系の形成過程に大きな影響を与える。しかし星形成ガスの電離度は非常に小さいので、磁場とガスの結びつきは弱く、磁場は星形成の過程で散逸する可能性がある。それ故磁場の影響を調べる際には、ガスの電離度を無矛盾に計算する必要がある。注意すべきことは、原始星が形成するような十分高密度では、各化学反応の順反応と逆反応が釣り合い、電離度は熱平衡値をとるということである。ところが通常用いられる化学反応ネットワークは逆反応をほとんど考慮していないので、高密度における電離度の値が熱平衡値と一致しないという矛盾点がある。そこで本研究では全化学反応について逆反応を考慮したネットワークを構築し、低金属度ガスの温度や電離度の進化を原始星が形成するような密度まで計算した。その結果、密度 $10^{14} - 10^{19} \text{cm}^{-3}$ における電離度の値が、従来計算されていたよりも2-3桁も大きくなることがわかった。これはそのような密度でリチウム、ナトリウム、カリウムといったアルカリ金属の電離が進むためである。本講演では得られた電離度をもとに磁気散逸率を計算し、その金属度依存性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118a ダークマター・バリオン相対速度による初代星形成と星質量分布

沈 有程 (東京大学)、金岡 慧 (東京大学)、平野 信吾 (九州大学)、梅田 秀之 (東京大学)

宇宙初期におけるダークマター・バリオン間の速度差が構造形成に及ぼす影響が、近年再認識された (Tselikhovich & Hirata 2010)。初代星形成において、ダークマターハロー内でのバリオンの重力収縮を抑制するため、星形成を遅らせる効果がある (Greif et al. 2011; Stacy et al. 2012)。この間にハローには大質量のバリオンが蓄えられ、最終的に重力不安定となった大質量ガス雲はフィラメント状に収縮した (Hirano et al. 2018; H18)。H18では、フィラメント状ガス雲の一部 (半径 10 [pc] 領域) における構造進化を最初の星形成から 4 万年間シミュレーションし、8 つの初代星が形成されることを示した。これらの一部が近接連星系を成すと、大質量 BH 連星に成長して重力波の起源天体となりうる。

一方、形成・観測可能性を議論するためには、ガス雲全体で形成される初代星の質量分布が必要となるが、先行研究は計算領域・計算時間が不十分であり、星形成を全て網羅できていなかった。本研究では、ジーンズスケール以上の密度上昇を抑えることで、計算コストの問題を解決した。H18 と同じフィラメント状ガス雲全域 (半径 100 [pc]) について、最初に形成した初代星からの輻射フィードバックが効き始める 10 万年間 (Figure 1 in Hirano & Bromm 2017) の初代星形成を調べた。先行研究と同じ 10 [pc] 領域では H18 より多い 10 数個の星生成を確認した。またフィラメント全体からは数 10 個の初代星 (Pop III.1 星) が形成されることがわかった。

講演では、得られた初代星の質量分布を示し、ダークマター・バリオン相対速度の影響のない標準的な初代星形成との違いについて議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119a 始原ガス円盤分裂による多重星系形成可能性と数値計算法の不定性 (II)

島和宏, 細川隆史 (京都大学)

初期宇宙における連星、あるいは多重星系の形成過程のひとつとして始原ガス円盤の重力不安定による分裂が注目されている。例えば、Regan & Downes (2018) ではいわゆるダイレクト・コラプスシナリオの文脈で、始原ガス円盤の分裂過程を様々な空間解像度の3Dシミュレーションで調べている。彼らはAMR法を用いるENZOコードに星形成をモデル化するためのシンク粒子をFederrath et al. (2010) に従って導入しているが、シミュレーションの解像度を高くするほどより多数のシンク粒子が形成される傾向となっており計算が収束していない。場合によっては100個近い大量のシンク粒子が円盤分裂の結果生じると主張した。

シンク粒子の導入は長時間進化を追うためには避けられないがその取扱には注意を要する。Reganの論文ではジーンズ長を最低でも32個の格子で分解して流体を計算しているのに対して、シンク粒子の半径は格子4個分としている。また、計算コストを減らすためにシンク粒子の形成条件を元のFederrath et al. (2010) からいくつか変更している。これら取り扱いの違いによって、非物理的な分裂を見ている可能性がある。

そこで我々はENZOコードに同様のシンク粒子法を実装し、シンク粒子の半径や形成条件をいくつか変化させ際に形成されるシンク粒子の個数がどの程度変化するか調べた。AMR法で重力不安定による円盤分裂をシンク粒子を用いて追跡する際、シンク粒子の半径がジーンズ長より小さく設定されている、かつその半径内のガスが重力的に束縛されているかどうかの条件をシンク粒子の形成条件に含めなかった場合に、シンク粒子の個数がオーダーで増えることを実際に確かめた。その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P120a 星周円盤進化における磁気効果：ガス雲回転方向への依存性

平野信吾, 町田正博 (九州大学)

ALMA 等による高分解能観測は原始星近傍の詳細な構造を明らかにし、従来のモデルでは説明のつかない報告がなされている。原始星をとりまく現象を理解するうえで、星形成ガス雲内の磁場は重要な要因の一つである。数値シミュレーションの初期設定として、磁力線はガス雲の回転軸方向に沿って配置されることが多かったが、この仮定は一般に成り立つものではない。磁力線方向と回転軸方向のなす角 (θ) を変化させると、角運動量輸送や円盤形成過程が変化する。前回の講演 (2018 年秋期年会・P144a) では、星周円盤形成とアウトフロー・ジェット駆動における影響について紹介した。

今回、パラメータ θ を変化させた複数のモデルに対して 3 次元非理想磁気流体シミュレーションを行い、原始星形成後 5000 年までのガス雲進化を調べた。これまで星形成の前期段階 (収縮期)・後期段階 (降着期) の一方に着目した数値計算がされていたが、星周円盤の形成過程における異なるパラメータ依存性が報告されていた。この計算設定により同一条件下での結果を比較することが可能となり、先行研究の依存性は、それぞれ星形成過程の異なる段階においてみられることを確認した。原始星星周円盤は全モデルで形成されたが、円盤の半径・質量は初期パラメータ θ によって変化する。またアウトフローが強く駆動されるためには θ はある程度小さい必要がある。

本公演では、星形成ガス雲における角運動量輸送の初期パラメータ θ に対する依存性を示し、原始星初期進化への影響について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P121a 原始星コアの分子組成の多様性：分子雲段階の物理パラメタへの依存性

相川祐理（東大天文）、古家健次（筑波大学計算科学研究センター）

近年、低質量星原始星コアの観測において、分子組成の多様性が見つかっている。重力収縮および原始星からの加熱により温度の上昇している (> 数 10 K) 中心領域では大型 (6 原子以上) 有機分子、不飽和炭素鎖分子などが観測されているが、これら輝線の強度比が天体ごとに大きく異なるのである。化学反応ネットワークモデルによると、大型有機分子の多くは CH_3OH 由来のラジカルの反応で生成され、 CH_3OH 自体はダスト表面での CO への水素付加によって生成する。一方、炭素鎖分子は、主に昇華した CH_4 の気相反応によって生成すると考えられる。よって原始星コアの組成の多様性は、初期組成、すなわち星形成前の分子雲段階での CO/CH_4 比に起因する可能性がある。例えば、紫外線の遮蔽が十分でない領域では炭素原子から CO への変換が遅くなり、相対的に CH_4 が多く、炭素鎖に富む原始星コアになると推測される。

そこで本研究では、分子雲段階における減光度、温度、および重力収縮開始までの時間によって CO/CH_4 比がどのように変化するか、さらに、この初期組成の違いが原始星コアの組成にどのような違いを及ぼすかを、化学反応ネットワークモデルを用いて調べた。その結果、原始星コアの組成の多様性をこれら分子雲段階での単純な物理パラメタの違いだけで説明するのは容易ではないことがわかった。まず、初期組成の影響は、重力収縮開始後の高密度下での化学反応で薄められる傾向がある。また、分子雲段階での温度は組成を大きく左右するが、温度の高いモデルでは CH_4 氷と CO 氷の両方が少なくなり、炭素鎖分子、大型有機分子ともに少ない原始星コアができる。(星間紫外線照射の) 減光度が低い分子雲では炭化水素が豊富になるが、炭化水素と OH ラジカルの反応などによって大型有機分子も生成される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P122a オリオン A 分子雲のメインフィラメント内外における高密度コアの質量関数

竹村英晃 (国立天文台 / 総合研究大学院大学)、中村文隆、石井峻 (国立天文台)、島尻芳人 (CEA)
ほか星形成レガシーチーム

星は分子雲の中にある、高密度コアで誕生する。したがって、分子雲内での高密度コアの分布や構造、物理状態を明らかにすることは星形成の過程を解明する上で非常に重要である。また、質量は星の基本的な物理量であり、星の初期質量関数と星の誕生現場である高密度コアの質量関数は密接な関係がある。高密度コアは大きさが 0.1 pc 程度、質量が $10M_{\odot}$ 程度、密度 10^4 cm^{-3} 程度と非常にコンパクトである。このような構造を十分な分解能で検出するには、高角分解能の分子輝線データが必要である。

我々は、野辺山 45m 鏡を用いて、最も近傍 (414 pc) にある巨大分子雲であるオリオン A 分子雲の広域マッピング観測を行い、 ^{12}CO ($J=1-0$)、 ^{13}CO ($J=1-0$)、 C^{18}O ($J=1-0$) の広域高分解能マップ ($\sim 21''$ 分解能 $\simeq 0.04 \text{ pc}$) を作成した。本研究では、高密度ガス ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) をトレースする C^{18}O ($J=1-0$) 輝線データを用いて、オリオン A 分子雲の高密度コア探査を行った。そして、階層構造解析ツールである Dendrogram を用いて、754 個の高密度コアを同定した。同定したコアのサイズ、線幅、質量の平均と標準偏差はそれぞれ $0.16 \pm 0.05 \text{ pc}$ 、 $0.36 \pm 0.15 \text{ km/s}$ 、 $5.6 \pm 9.1 M_{\odot}$ である。そして、高密度コアの質量関数は、 $3M_{\odot}$ 付近で折れ曲がり、それ以降の質量関数のべきは -2.54 ± 0.48 である。さらに、同定した高密度コアをメインフィラメントの内外に分けて物理量および質量関数に違いが見られるかどうかを調べた。その結果、メインフィラメント内のコアの方が密度が高く、ピリアル比が小さい傾向にあることがわかった。また、質量関数において、折れ曲がり以降のべきはほぼ同じであるが折れ曲がりの質量に違いが見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a ALMA Long Baseline による Face-on 大質量原始星候補天体の撮像観測 1: 回転降着エンベロープ

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) に位置する大質量原始星候補天体 ($\sim 10 M_{\odot}$) である。付随する水メーザージェットの 3 次元運動や平坦な赤外線 SED などから同天体はほぼ Face-on の質量放出/降着系を持っていると考えられている (Motogi et al. 2016; 2017)。今回我々は G353 に付随する Face-on 円盤の分解撮像を目的として ALMA Long Baseline を用いて 150 GHz 帯での高分解能観測 ($\sim 0''.05 = 85 \text{ AU}$) を行なった。その結果半径 250 AU 程度のコンパクトなダスト連続波源とそれを取り巻く半径 700 AU 程度の分子ガスエンベロープが検出された。本講演では後者の分子ガスエンベロープに着目して報告する。同エンベロープは光学的に厚いメタノール輝線群によって検出され、全ての輝線でほぼ同じ空間/速度構造を示した。連続波の中心に向けて放射が減少している傾向が見られたが、低周波では中心付近にメタノールメーザの放射が見られるため、150 GHz 帯で連続波が光学的に厚くなっていることが示唆される。南北方向に切った位置速度図は回転および降着の両方の兆候を示したことから、力学モデルの解析を行った結果、同運動が幾何学的に厚い回転降着エンベロープでよく再現できることが明らかになった。予想される比角運動量は $2.4 \times 10^{21} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 程度であり、回転降着流がダスト連続波源の半径で遠心力平衡に達していることが示唆される。メタノールの存在比またはダストパラメータを仮定して求めたエンベロープ質量の下限値は $10 - 20 M_{\odot}$ 程度であり、推定される降着率は $10^{-3} - 10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ となった。コアスケール以下での星形成効率を 50%程度とすると最終的な星質量は $15 - 20 M_{\odot}$ 以上と予想される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124b フィラメントから形成される分子雲コアの角運動量の時間発展

三杉佳明、犬塚修一郎、Doris Arzoumanian (名古屋大学)

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を説明する必要がある。

本研究では、角運動量保存を仮定することにより、フィラメント内の3次元速度場とコアの角運動量の関係を調べた。その結果、観測と整合的ないくつかの速度場モデルにより、コアの角運動量を説明可能であることがわかった (2018年秋季年会)。しかし、これまでは角運動量保存を仮定していたため、コアの角運動量の時間進化について解析してこなかった。したがって、本研究では Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いることにより、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を解析する。本講演ではこれらの結果について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125b ALMA-IMF: ALMA Transforms our View of the Origin of Stellar Masses

Patricio Sanhueza (NAOJ), Benjamin Wu (NAOJ,)Frederique Motte (Universite Grenoble Alpes), Adam Ginsburg (NRAO), Fabien Louver (Universidad de Chile), Fumitaka Nakamura, Ken'ichi Tatematsu, Xing Lu (NAOJ), Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications), Satoshi Ohashi (RIKEN), & ALMA-IMF Team

The study of massive protoclusters is a requirement to investigate the origin of the initial mass function (IMF) in the typical, extreme environments where high-mass stars are born.

Recent ALMA imaging of a young massive protocluster revealed the first definitive case of a core mass function (CMF) whose shape is different from the IMF. In contrast, the CMF shape in more evolved but still embedded massive clusters more closely resembles the IMF. This raises the intriguing possibility of CMF evolution with time. We aim to determine when and by which physical processes the CMF of massive protoclusters is reconciled with the canonical IMF.

We will investigate the CMF evolution of massive protoclusters with the 15 most massive pc² clouds at distances < 6 kpc. We present here the overall strategy and the early results on the dust continuum emission and the complex kinematics revealed by a network of filaments traced by N₂H⁺ J=1-0 and C¹⁸O J=2-1.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a L1495領域のフィラメント雲に埋もれた褐色矮星前駆体候補の高密度コア

徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 立原研悟, 宮本洋輔, 福井康雄, 犬塚修一郎 (名古屋大), André Phillippe (CEA), 西合一矢, 河村晶子, 立松健一 (国立天文台), 松本倫明 (法政大), 町田正博 (九州大), 富田賢吾 (大阪大), 谷口琴美 (バージニア大学), 神鳥亮 (アストロバイオロジーセンター), 高嶋辰幸, 大西利和 (大阪府大)

形成される星の質量等は星形成直前の状態にある分子雲コア (H_2 個数密度 $10^5\text{--}10^6\text{ cm}^{-3}$ 程度) の性質に強く依存すると言われており、その物理的性質を観測的に明らかにすることは、星形成の初期条件を探る上で重要かつ本質的な課題である。しなしながら高密度状態にある星なし分子雲コアはその寿命が極めて短く、同定には大規模で系統的な探査が必要となる。我々は大口径単一鏡や ACA (Atacama Compact Array) 等を用いた太陽系近傍の小質量星形成領域 (距離 $\sim 140\text{ pc}$) 分子雲コアのサーベイ観測を推進しており、これまで ACA で得られた 1.2 mm ダスト連続波の分布等を報告している (高ほか 2018 年秋季年会)。IRAM 30m 望遠鏡による 1.2 mm ダスト連続波観測より、おうし座 L1495 領域に存在する MC5-N という分子雲コアはコア自体の総質量が $\sim 0.2 M_\odot$ と非常に小さく、近傍星形成領域でよく報告されている典型的な幅 ($\sim 0.1\text{ pc}$) よりも優位に細いフィラメント雲に埋もれていることを見出した。さらにこのコアは ACA で観測した天体の中で最も強いダスト連続波強度を持ち、中心密度は $\sim 10^6\text{ cm}^{-3}$ に達していることがわかった。野辺山 45m 望遠鏡で得た N_2H^+ (1-0) と N_2D^+ (1-0) のデータより両者の柱密度比を導出すると、重水素濃縮度が $\sim 20\%$ と典型的な星なしコアと比べて有意に高く、進化の後期段階にあると考えられる。以上の結果を総合し、かつ近傍星形成領域の分子雲コアの典型的な星形成率 (20-40%) を仮定すると、褐色矮星もしくは超低質量星が形成される直前に近い分子雲コアを見出したと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P127c NRO 星形成レガシープロジェクト

Fumitaka NAKAMURA (NAOJ), Shun ISHII (NAOJ), Kazuhito DOBASHI (Gakugei Univ.), Tomomi SHIMOIKURA (Gakugei Univ.), Yoshito SHIMAJIRI (Sacley), Ryohei KAWABE (NAOJ), Yoshihiro TANABE (Ibaraki Univ.) Asha HIROSE (Gakugei Univ.) Shuri OYAMADA (Japan Women Univ.) Yumiko URASAWA (Niigata Univ.), Hideaki TAKEMURA (NAOJ), Munetake MOMOSE (Ibaraki Univ.), Koji SUGITANI (Nagoya City Univ.) Ryoichi NISHI (Niigata Univ.) Sachiko OKUMURA (Japan Women Univ.), Patricio SANHUEZA (NAOJ), Quang NYGEN-LUONG (Toronto), Takayoshi KUSUNE (NAOJ)

星形成レガシープロジェクトでは、近傍の星形成領域であるオリオン座 A 分子雲、Aquila Rift、M17 の広域観測を 2014 年から 2017 年にわたる 3 年間行ってきた。メンバーの献身的な努力により、今年 5 月に取得したデータ (^{12}CO ($J = 1 - 0$), ^{13}CO ($J = 1 - 0$), C^{18}O ($J = 1 - 0$), N_2H^+ ($J = 1 - 0$)) を一般公開を完了した。現在、取得データを用いた個々のサイエンスの検討が進んでいる。例えば、原始星アウトフロー探査と分子雲乱流の生成維持過程の定量的見積もり (Tanabe et al. 2019; Nakamura et al. 2019 in prep.)、大局磁場構造と分子雲の関係 (Kusune et al. 2019; Sugitani et al. 2019 in prep.)、星形成の母体となる高密度コアの同定 (Takemura et al. 2019 in prep.)、大質量星からの FUV 放射の影響 (Ishii et al. 2019) などが精力的に進められている。各領域で多数の原始星アウトフローの新検出に成功し、星形成過程におけるフィードバックの影響を精確に調べることが可能となり、個々の星形成領域の構造や星形成活動に関する新たな知見 (Shimoikura et al. 2019a, 2019b) も得られてきている。本論文では、解析の進捗について現状報告まとめて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : ホットコアカタログの銀経 $20^\circ - 50^\circ$ への拡張

佐藤一樹 (東京大学), 長谷川哲夫, 梅本智文, 阪本成一 (国立天文台), 齋藤弘雄, 久野成夫 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 他 FUGIN チーム

ホットコアは大質量星形成領域で観測されるコンパクトで温度の高い天体であり、COMs をはじめとする分子輝線が検出される特徴を持つ。大質量星形成の解明のためホットコアを統計的に研究を行うことは重要である。これまでホットコアのサーベイは連続波にもとづいて行われてきた。

FUGIN プロジェクトは CO の 3 輝線同時サーベイ観測であるが、帯域にはホットコアトレーサーとして知られる HNC, CH_3CN 輝線が含まれている。我々は C^{18}O 輝線とこれら 2 輝線をもとに連続波に基づかないホットコアサーベイを行っている。ホットコアトレーサー輝線ベースのホットコア無バイアスサーベイは世界初の試みである。FUGIN データより抽出した候補天体について野辺山 45m 鏡で HNC, CH_3CN に加え SO, OCS, HC_3N 輝線なども含めた確認観測を行いホットコアカタログを作成する。 $l = 10^\circ - 20^\circ$ ではサーベイから抽出した 64 候補天体について確認観測を行った結果、25 の分子輝線がコンパクトな広がりであるホットコアを同定した。

このサーベイを $l = 20^\circ - 50^\circ$ に拡張し統計的サンプルを約 3 倍に増やす。現在 291 の候補天体を検出しており、これらについて $l = 10^\circ - 20^\circ$ と同様に確認観測を行う予定である。 $l = 10^\circ - 20^\circ$ の解析結果を報告するとともに、 $l = 20^\circ - 50^\circ$ での拡張研究を速報する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P129a ALMA Dust Polarization Study toward Prestellar and Protostellar Sources in Orion

Satoko Takahashi (NAOJ/JAO), Kaho Morii (Kyushu Univ.), Tomohiro Yoshida (Kyoto Univ.), Masahiro Machida (Kyushu Univ.), Kohji Tomisaka (NAOJ), Paul T. P. Ho (ASIAA), Edward B. Fomalont (NRAO/JAO), Josep-Miquel Girart (CSIC-IEEC), and Kouichiro Nakanishi (NAOJ)

With the ALMA sub-milliarcsec angular resolution ($\theta \sim 0''.1$), we have performed linear polarization observations in the 1.1 mm dust continuum emission toward two prestellar, three Class 0, and two Class I sources embedded within the Orion Molecular Cloud-3. We detected polarized emission toward four protostellar (Class 0 and I) sources, while no polarized emission was detected toward two prestellar and one Class 0 sources due to the observational sensitivity limit. All the sources detected in the polarized emission show organized polarization E -vectors. Three of them (i.e., one Class 0 and two Class I sources) show 100 AU scale elongated disk-like structures with the polarization E -vectors aligned in their minor axes. Measured polarization fraction for all the three sources are within a few percent. Origin of the polarized emission could be explained by the self-scattering mechanism, or alternatively toroidal wrapping of the magnetic field lines. Our sample also includes variety of sources such as a Class 0 source showing complex field structures with a significantly high polarization percentages ($\gtrsim 10\%$), and a Class I protobinary system. In this talk, we will present observational results from individual sources, discuss origin of their polarized emission, and finally make comparisons among all the sample to see the correlation between the core evolution and dust polarization properties.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130a Class I 低質量原始星天体 Elias 29 における 100 au スケールでの化学組成

大屋瑶子, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理研), Ana López-Sepulcre (Université Grenoble Alpes)

若い低質量原始星天体では、数 1000 au スケールに広がるエンベロープガスの化学組成が多様性を示すことが、単一口径望遠鏡を用いた観測により報告されてきた。この化学的多様性を生む要因の一つとして、天体の母体となる分子雲における環境の違いが挙げられる。へびつかい座にある Class I 低質量原始星天体 Elias 29 (または WL 15; $d = 137$ pc) は、近傍にある 2 つの星 HD147889 (B2V), S1 (B3V) からの UV 放射を受け、分子雲コアの温度が比較的高いことが指摘されている。我々は Elias 29 を ALMA Cycle 2 で観測し、以下の分子輝線 (Band 6) について原始星付近での強度分布を調べた: CS, SO, SO₂, SiO, HCOOCH₃, (CH₃)₂O, CCH, c-C₃H₂。

前回の年会で、SO (6₇-5₆) 輝線が原始星の周囲 100 au での回転構造を捉えることを報告した。原始星に付随するこのコンパクトな成分では、SO₂ と SiO の輝線が検出されたが、一方で CS 輝線の強度は弱かった。LTE を仮定してこれらの分子の柱密度を求め、 $N(\text{SO})/N(\text{CS})$ 比は 273^{+1293}_{-164} と得られた。これは、SO 分子が豊富であることが知られる衝突領域 (L1157 B1) での結果と比べて、2 桁高い値である。加えて、本観測では HCOOCH₃, (CH₃)₂O, CCH, c-C₃H₂ の輝線は検出されなかった。これらの有機分子の水素に対する存在量の上限値は、 10^{-9} (HCOOCH₃, (CH₃)₂O), 10^{-11} (CCH, c-C₃H₂) 程度と見積もられた。

Elias 29 が SO, SO₂ に富み、有機分子に乏しいことの原因として、母体となった分子雲コアの温度の高さが考えられる。星なしコア時代に、外部からの UV 放射のためにダストの温度が 20 K 以上であった場合、気相中の C 原子, CO 分子, S 原子のダストへの吸着が抑制される。このため、ダスト表面での水素化による有機分子の生成が抑えられ、一方、気相では SO, SO₂ 分子の生成が進むと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P131a 低質量原始星 IRAS 15398–3359 のアウトフローの化学組成

大小田結貴, 大屋瑤子, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (筑波大学)

IRAS 15398–3359 は Class 0 の低質量原始星で、おおかみ座の分子雲 (Lupus 1; 距離 155 pc) に位置する。この天体は原始星近傍の数 1000 au スケールで炭素鎖分子に恵まれる Warm Carbon-Chain Chemistry (WCCC) 天体であり、その原始星近傍の化学組成やアウトフローの構造など、様々な研究結果が報告されている。我々は、ALMA Cycle 2 (分解能 $0.2''$) の観測で、円盤・エンベロープの詳細構造を調べた。SO の解析から原始星周りにケプラー回転する円盤構造を検出し、原始星質量が $0.007 M_{\odot}$ と見積もられることを以前の年会で報告した。このことから、形成されたばかりの原始星にも、すでに円盤構造が形成されていることを示した。

今回、私たちは、ALMA Cycle 2 (分解能 $0.2''$; Band 6) に加え、Cycle 3 (分解能 $0.5''$; Band 7) の観測データを解析し、原始星から数 1000 au スケールにわたる化学組成について調べた。 H_2CO ($5_{0,5} - 4_{0,4}$) と H_2CO ($5_{2,4} - 4_{4,3}$)、 H_2CO ($5_{1,5} - 4_{1,4}$) と H_2CO ($5_{3,2} - 4_{3,1}$) 輝線の強度から原始星付近の温度を見積もると、それぞれ 50 K と 60 K 程度であることがわかった。また、 H_2CO のオルソ/パラ比を求めると 2 であった。これらの分子輝線は原始星付近と、原始星から伸びるアウトフローに沿って約 500 au 程度北東と南西へ離れたある位置で局所的に強く見られる。北東側の分布は、速度構造からショックが起きている可能性が以前に報告されているが、そこでも比較的高い温度 (50 K) であった。 CH_3OH 、CS は H_2CO とほとんど同じ分布を示すが、CCH と $c-C_3H_2$ の分布はそれら 3 つの分子とは相異なる。CCH は、アウトフローとエンベロープの両方をトレースするのに対して、 $c-C_3H_2$ は青方偏移側のアウトフロー部分にのみ見られる。さらに DCN は他のどの分子とも異なり、原始星からアウトフローの内側にかけて分布する。これらの分布の相関関係について、統計的な解析の結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P132c B335の原始星近傍ガスの物理・化学構造

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

B335は有名な Bok globule で、他の原始星から孤立した単純な環境を持つため、星形成における理想的なモデル天体としてよく研究されている。B335のエンベロープガスは、50 から 1000 au スケールでほぼ自由落下に近い運動をしており、このスケールで明瞭な回転構造はみえていない。本研究では ALMA Cycle 4 による観測により、内側 10 au スケールのエンベロープの回転構造を検出したので、そこから明らかになった原始星近傍のガスの物理・化学構造について報告する。

2016年秋季年会 (P117a) で報告したように、B335はエンベロープの内側と外側で複雑な有機分子 (COMs) に富む hot corino 化学と、不飽和炭素鎖分子に富む WCCC (Warm Carbon-Chain Chemistry) を併せもつことがわかっている。原始星近傍でのエンベロープの速度構造を調べるために、内側で豊富な複雑な有機分子と hot corino 天体で豊富にみられる硫黄関連分子の輝線を 10 au の空間分解能で観測した。その結果、硫黄関連分子は内側エンベロープの中でも比較的広がって存在しており、複雑な有機分子は 10 au 程度の最も内側で回転していることがわかった。さらに、回転運動に起因する速度勾配は、落下運動の寄与の程度の違いのために、複雑な有機分子の中でもわずかに異なり、これらの分子の間で存在する領域に違いが見られることがわかった。このような分布の違いは、分子の生成過程を反映している可能性がある。SiO の輝線はエンベロープのさらに内側の領域から放射されていると考えられる。この輝線は飽和有機分子の速度幅の 10 倍程度の高速度成分をもち、アウトフローの根元または原始星表面に落ち込むガスなど、原始星に非常に近い領域に存在している可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

3月15日（金）午後（14:30-15:30）[H会場]

P201a	14:30	Class 0/I 段階でのペブル集積による巨大惑星の形成可能性	田中佑希（東京工業大学）
P202a	14:42	付着 N 体計算で探るダスト集合体の引張強度	辰馬未沙子（東京大学/国立天文台）
P203c		原始惑星系円盤での岩石微惑星形成過程に関して	長谷川幸彦（中部大学）
P204a	14:54	DMTau に付随した au スケールの原始惑星系円盤検出	工藤智幸（国立天文台）
P205a	15:06	光学的に薄い衝撃波による複合コンドリュール形成の可能性	荒川創太（東京工業大学）
P206b	15:18	非軸対称擾乱がストリーミング不安定性に及ぼす影響	加藤大明（愛知教育大学）
P207b	15:18	輻射輸送計算による V1094Sco の原始惑星系円盤構造の理解	高橋実道（工学院大学/国立天文台）

3月16日（土）午前（9:30-11:18）[H会場]

P208a	09:30	中心星質量の違いによる原始惑星系円盤進化の変化	中野龍之介（東京大学）
P209a	09:42	原始惑星系円盤乱流の圧縮性がダスト粒子運動に及ぼす影響について	櫻井幹記（名古屋大学）
P210a	09:54	非等温円盤における Type1 惑星移動の三次元線形解析	岡田航平（東北大学）
P211a	10:06	ダストからガスへの摩擦反作用が巨大惑星が作るダストリング構造に与える影響	金川和弘（東京大学）
P212a	10:18	CO ₂ 氷を考慮したダスト成長モデルによる HL Tau 円盤のサブミリ波偏光観測の再現	奥住聡（東京工業大学）
P213a	10:30	ミリ波散乱偏波で探る原始惑星系円盤のダストの構造	田崎亮（東北大学）
P214a	10:42	原始惑星系円盤におけるガス流によるダスト整列に起因するミリ波偏光予測	片岡章雅（国立天文台）
P215a	10:54	原始惑星系円盤 HD 163296 の ALMA ミリ波偏光観測で探るダスト分布	大橋聡史（理化学研究所）
P216a	11:06	アクションダークマターが原始惑星系円盤の偏光パターンに与える影響	当真賢二（東北大学）

3月16日（土）午後（13:30-14:18）[H会場]

P217a	13:30	サブミリ波偏光で探る原始惑星系円盤 AS 209 のダスト落下運動の観測的証拠	森智宏（東京大学）
P218a	13:42	みなみのかんむり座外縁部の classical T Tauri star の円盤のダスト進化	森野潤一（国立天文台）
P219a	13:54	Herbig Fe 星 HD142527 円盤の 3 ミクロン帯散乱光の輻射輸送計算	村川幸史（大阪産業大学）
P220a	14:06	Herbig Fe 星 HD142527 円盤散乱光の 3 ミクロン帯偏光分光観測	本田充彦（久留米大学）

P201a Class 0/I 段階でのペブル集積による巨大惑星の形成可能性

田中佑希 (東京工業大学), 塚本裕介 (鹿児島大学)

最近の理論的研究では、原始惑星系円盤内での惑星形成においてペブル集積というメカニズムが注目されている。この過程では、ペブルと呼ばれるセンチメートル程度のサイズの粒子が円盤内を移動し、これらが原始惑星に集積することで惑星成長が促進されると考えられている。

一方で最近の電波観測では、明瞭なギャップとリング構造を持つ非常に若い円盤が多く発見されており、これらのギャップ構造は円盤内にガス惑星が存在することによって形成されるという仮説が提唱されている。しかし発見されているギャップの半径は比較的大きいため惑星形成のタイムスケールは長く、若い年齢で遠方の軌道にギャップを生成するような惑星が形成可能かどうかはよく分かっていない。

ここでは class 0/I 段階での惑星形成に着目し、class 0/I 天体周りの重力不安定な円盤の解析モデルとペブル降着のモデルを用いて、円盤進化の初期段階における惑星形成の可能性について検証する。その結果、class 0/I 円盤の条件では質量降着率が大きいためペブル集積のタイムスケールは典型的な原始惑星系円盤での値と比較して短くなることが判明した。しかし、集積のタイムスケールは常にガス降着率に伴って減少するわけではないことも見出した。これらの結果をもとに、class 0/I 段階の間に巨大ガス惑星のコアを形成するのに必要な初期質量について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a 付着 N 体計算で探るダスト集合体の引張強度

辰馬未沙子 (東京大学/国立天文台), 片岡章雅 (国立天文台), 田中秀和 (東北大学)

惑星形成において、ミクロンサイズのダストがキロメートルサイズの微惑星に成長する過程は、直接付着合体成長や不安定性による濃集など諸説あり、未だ解明されていない。一方で、原始惑星系円盤で形成中の微惑星は直接観測することができない。そこで、太陽系内の最も始原的な天体であり、微惑星の残存天体だと考えられている彗星に着目する。彗星は微惑星と異なり、探査衛星による詳細な観測が可能である。近年、Rosetta ミッションによって、太陽系内の彗星の1つである 67P/Churyumov-Gerasimenko の引張強度が測定された。

そこで我々は、微惑星の引張強度から形成過程への制限ができるかどうかを探るため、ダストの直接付着相互作用 (Wada et al. 2007, ApJ, 661, 320) を考慮した N 体計算を用いて、ダスト集合体の引張強度を求めた。初期条件としてのダスト集合体は、形成過程を模擬して等方的かつ静的に圧縮したものを用いた (Kataoka et al. 2013, A&A, 554, A4)。数値計算の結果、引張の変位が増加するにつれて引張応力は徐々に増加し、ある時点で最大値をとることが見られ、すなわち引張強度が得られた。引張応力が最大となる付近で、ダスト内の粒子間接触の切断が発生し始めることも確認された。また、ダスト集合体の引張強度は体積充填率の 1.8 乗、構成粒子半径の -1 乗、構成物質の表面エネルギーの 1 乗に比例することがわかった。さらに、引張強度が粒子間接触の切断によって決まるという半解析的なモデルを用いることで、数値計算結果を再現することにも成功した。我々のモデルで彗星 67P の引張強度を再現するには、構成粒子半径がおよそ $3.3\text{--}220\ \mu\text{m}$ でなければならないことも明らかとなった。従来の惑星形成論では、構成粒子半径は星間ダスト半径の $0.1\ \mu\text{m}$ とされており、我々のモデルより求められた値はあまり現実的ではないことが問題である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P203c 原始惑星系円盤での岩石微惑星形成過程に関して

長谷川幸彦（中部大学）、小久保英一郎（国立天文台）

原始惑星系円盤においてシリケートダストモノマーから岩石微惑星の形成が可能な過程として、ダスト層の古典的な自己重力不安定、セキュラー重力不安定、ストリーミング不安定等が提案されている。これらの不安定による微惑星形成に必要な円盤のダスト・ガス面密度比は、円盤のガス面密度や温度の分布等のパラメータに依存する。円盤のダスト・ガス面密度比と微惑星形成過程は形成される微惑星の質量や分布等に影響するため、円盤と微惑星形成が可能な過程の関係について調べることは最終的に形成される惑星系の構造を知るために重要であると考えられる。本講演では原始惑星系円盤のパラメータと各不安定による微惑星形成の可能性の関係について調査した内容について発表する。ダストの主成分がシリケートである円盤の雪線よりも内側の磁気回転不安定不活性なデッドゾーンに注目し、シア不安定駆動ガス乱流によって円盤に鉛直な方向のダスト密度分布が決まる場合について考える。シア不安定の指標であるリチャードソン数の臨界値が円盤赤道面でのダスト・ガス密度比に比例するモデルを導入する。その結果、これまでは微惑星形成が難しいと考えられてきた原始惑星系円盤の典型的なモデルである最小質量円盤モデルでも、雪線内側の広い領域でセキュラー不安定による微惑星形成が始まる可能性があることが示唆された。また、円盤のパラメータによらず、古典的重力不安定によって微惑星形成が始まる可能性は最も低いことが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a DMTau に付随した au スケールの原始惑星系円盤検出

工藤智幸 (国立天文台)、橋本淳 (ABC)、武藤恭之 (工学院大学)、Hanyu Baobab Liu (ASIAA)、
Ruobing Dong (U. Victoria)、長谷川靖紘 (JPL)、塚越崇 (国立天文台)、小西美穂子 (国立天文台)

惑星形成において、惑星の構成要素であるダストが、微惑星へと成長する前に中心星へ落ちる「ダスト落下」が長年の問題となっている。近年の円盤観測で、ダスト落下を抑制していると思われるリング状円盤が中心星から距離数 10au の位置に発見されている。しかし、中心星から数 au 程度の地球型惑星形成領域においては、観測数が少なく、円盤の素性はあまり明らかになっていなかった。

我々は今回、年齢 300 ~ 500 万年の遷移円盤天体「DM Tau」について、ALMA band 6 (波長: 1.3mm) による、ダスト連続波と一酸化炭素輝線の高解像度観測 (空間分解能およそ 6au) を行った。この天体は、スペクトルエネルギー分布 (SED) の解析から、地球型惑星形成領域 (半径数 au) にダストが存在すると考えられている。しかしこれまでの電波干渉計の観測では、半径 20au 以内において、SED からの予測に反し、ダストが未検出であった。

今回の観測で、半径約 3 au の位置にあるコンパクトなダストリングの直接撮像に初成功した。一方で、ガス放射には中心星近傍にリング構造は存在しなかった。また、すでに存在が知られていた、中心星から約 20 au に位置するダストリング円盤では、弱い非軸対称性があることが新たに判明した。さらに、中心星から距離 60 au より遠方の領域に、淡く広がった円盤を検出した。太陽系の海王星軌道付近に相当する距離にある外側リングと、小惑星帯付近に相当する距離にある内側リングが同時に存在することから、DM Tau は今後、「原始小惑星帯」を持つ円盤の候補として、地球型惑星の形成現場を直接調べるための良いターゲットになると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205a 光学的に薄い衝撃波による複合コンドリュール形成の可能性

荒川創太, 中本泰史 (東京工業大学)

現在地球に落下してくる隕石の大半はコンドライトと呼ばれるタイプの隕石である。また、コンドリュールとは直径 1 mm 程度の球形の珪酸塩粒子であり、これはコンドライトの主要構成要素である。コンドリュールはその形状から、初期太陽系においてダスト粒子が熔融、結晶化することで形成されたと考えられている。

コンドリュールのうち数%のものは2つのコンドリュールが付着した状態で隕石中に存在しており、これらは複合コンドリュールと呼ばれる。複合コンドリュールの大半は、一方は球形を保持し他方は変形した状態で付着しており、これは結晶化したコンドリュールに固化していないコンドリュールメルトが衝突、付着することで形成されたことを示唆している (e.g., Arakawa & Nakamoto 2016)。従来、この衝突はコンドリュールメルトが融点以上の高温状態で発生したと仮定され、その際の限界付着速度は 1 m s^{-1} 程度と見積もられてきた (e.g., Kring 1991)。しかし、浮遊炉を用いたコンドリュールの結晶化実験から、宇宙空間に浮遊しているコンドリュールメルトは融点付近ですぐには結晶化せずガラス転移温度付近まで過冷却状態を保持することが明らかになった (e.g., Nagashima et al. 2008)。そして、この過冷却液滴の非常に高い粘性を考慮して限界付着速度を見積もると、1400 K 以下まで過冷却されたコンドリュールメルトは 1 km s^{-1} 程度の高速衝突においても付着できる可能性がある。

そこで我々は、原始惑星系円盤における光学的に薄い衝撃波による加熱でコンドリュールが形成され、さらに複合コンドリュールも形成されるというシナリオを提示する。コンドリュールのサイズ分布を考慮し、1次元衝撃波中でコンドリュールの速度、温度の変化を計算した結果、光学的に薄い衝撃波中では過冷却状態のコンドリュールメルトの一部が 1 km s^{-1} 程度の速度で衝突し複合コンドリュールを形成できる可能性が見出された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P206b 非軸対称擾乱がストリーミング不安定性に及ぼす影響

加藤大明, 政田洋平 (愛知教育大学)

惑星の種はキロメートルサイズの微惑星であり, 微惑星はミクロンサイズのダストの集積の帰結として原始惑星系円盤内に豊富に存在すると期待されている。しかし, 9桁ものスケールギャップが存在する「ダスト」から「微惑星」への進化過程は解明されておらず, 惑星形成論における「微惑星形成問題」と呼ばれている。

微惑星形成において重要な物理機構の1つが, ストリーミング不安定性である (Youdin & Goodman 2005)。これは, 摩擦で結合するダスト-ガスの2成分流体系で励起される不安定性であり, 平衡状態での2成分間の速度差に起因してダストの凝集を促進し, 非線形段階でダストクランプの形成を引き起こす (Johansen & Youdin 2007)。

ストリーミング不安定性を担うのは円盤子午面 (r - z 平面) 内のモードだと考えられており, 主に r - z 平面内でその進化が研究されてきた (r, ϕ, z はそれぞれ円盤の動径, 方位角, 厚み方向)。しかし, 最近, Schreiber & Klahr (2018) が r - ϕ 平面に限定した2次元シミュレーションで, 垂直方向の波が励起されない状況でもダストクランプが生じることを見出し, ダスト-ガス2成分流体系の非軸対称擾乱に対する応答に注目が集まっている。

そこで本研究では, ダスト-ガス2成分流体からなる円盤において非軸対称擾乱を考慮した線形解析を行い, 非軸対称性がストリーミング不安定性に及ぼす影響を調べた。その結果, (i) z 方向の波数が存在しない状況でも不安定な非軸対称モードが存在すること, (ii) その最大成長率は, 軸対称なストリーミング不安定モードより大きくなること, がわかった。本講演では, 解析結果の詳細を報告するとともに, 軸対称モードと非軸対称モードの物理的性質の違いや我々が解析で用いる近似の妥当性等についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P207b 輻射輸送計算による V1094Sco の原始惑星系円盤構造の理解

高橋実道（工学院大学/国立天文台）、武藤恭之（工学院大学）、塚越崇、橋本淳（国立天文台）

原始惑星系円盤の面密度分布や温度分布は、惑星形成環境を理解する上で重要となる。近年、ALMA 望遠鏡などで円盤の高分解能観測が行われ、リング構造などの詳細構造が多数発見されている。そのため、円盤の面密度分布や温度分布などの物理状態の理解がますます重要になっている。ここでは、T タウリ型星 V1094Sco の周囲の原始惑星系円盤の注目を。これは、近年リング構造が観測され、注目されている円盤である。本研究では、V1094Sco の周囲の原始惑星系円盤について、輻射輸送計算と ALMA Band 8 の観測の比較から、円盤の物理状態を調べた。その結果、円盤の面密度分布は、100 au 以内の光学的に厚い領域と、100-200au に広がる 10 g/cm^2 程度で光学的に薄い領域の二つの領域からなることが分かった。また、輻射輸送計算と観測からそれぞれ得られる SED の比較についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 中心星質量の違いによる原始惑星系円盤進化の変化

中野龍之介 東京大学

これまでに4000個を超える太陽系外惑星が発見されてきた。この中には地球の様な岩石惑星の発見も増えてきている。一方でこの様な惑星系が、どの様に誕生しさらに進化してきたのかは大きな不確定性要素がある。惑星系形成および進化を考える上で、初期段階にあたる原始惑星系円盤の時間進化の理解は本質的に重要である。円盤はダストとガスから出来ており、岩石惑星の形成進化はダストが中心的役割を果たすが、ダストの動力学や成長を解明する上で背景のガス成分の物理状態を理解することが不可欠である。円盤の散逸は中心星からの放射による光蒸発や磁気駆動円盤風に担われるが、これらが時間とともにどの様に寄与し、更に中心星質量の違いにより異なるのかは分かっていない。

本研究ではX線による光蒸発 (Owen et al. 2012) と磁気駆動円盤風 (Suzuki & Inutsuka et al. 2009) を考慮した、原始惑星系円盤のガス成分の動径方向1次元のシミュレーションを行い、中心星質量の違いにより円盤進化がどの様に異なるかを調査した。

最初に、円盤風のみでのシミュレーションで質量を変えたところ、パラメータには依存するが、各パラメータ毎に質量によるスケールを揃えると面密度の時間進化の形はほぼ変わらない事が分かった。次に、光蒸発の効果を取り入れた所、特に進化の後期 $10^6 - 10^7$ yr において散逸が強くなる事が分かった。

異なる中心星質量の場合に、円盤風と光蒸発による影響の比を考えると、重い中心星ほど光蒸発の影響が強く寄与した。これはX線の光蒸発の効果 (Preibisch et al. 2005) が中心星質量に対して約1.5乗とやや敏感に依存する為、小質量星では磁気駆動円盤風に対してその寄与が相対的に小さくなるのが原因と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209a 原始惑星系円盤乱流の圧縮性がダスト粒子運動に及ぼす影響について

櫻井幹記、小林直樹、白石賢二、岡本直也（名大）、石原卓（岡大）、古谷眸、梅村雅之（筑波大）

惑星形成の標準的シナリオでは、原始惑星系円盤中の乱流状態のガスによって運ばれる固体ダスト粒子 ($\sim \mu\text{m}$) が衝突・合体を繰り返して微惑星 ($\geq \text{km}$) に成長し、その後、重力による合体でサイズを増して惑星 ($\geq 10^3\text{km}$) に至ると考えられている。しかし、微惑星形成段階にはいくつかの未解決な問題が存在する。その問題の一つである衝突破壊問題は、ダスト粒子が高速で衝突すると付着せずに破壊されてしまうという問題である。この問題を考察するうえで、乱流中の慣性粒子（慣性を持つ粒子）の運動を理解することは重要である。

近年、Pan et al.(2015, ApJ) はマッハ数 0.1 の圧縮性乱流中で慣性粒子を追跡したデータを用いて、惑星形成分野で広く用いられている Völk モデルで予測されるダストの衝突速度は過大評価されていることを示した。また、Ishihara et al.(2018, ApJ) は非圧縮性乱流中の粒子統計のレイノルズ数依存性について調べ、慣性が大きな粒子の衝突に関する統計量はレイノルズ数に依らないことを示した。しかし、原始惑星系円盤乱流のマッハ数は 0.01 \sim 0.32 と見積もられているにもかかわらず、これらの統計量のマッハ数依存性については今まで定量的に調べられていない。そこで本研究では、非圧縮性乱流と圧縮性乱流の直接数値計算を行い、慣性粒子の分布や衝突・付着に関係する統計量を比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210a 非等温円盤における Type1 惑星移動の三次元線形解析

岡田航平（東北大学）、田中秀和（東北大学）

惑星落下問題は惑星形成論における未解決問題の一つである。惑星はガス円盤に密度波を励起しその反作用により惑星は恒星へ急速に落下するので、それが問題になっている。本研究では、新たに温度勾配を含めた三次元線形計算を行い、従来研究よりも正確に反作用のトルクを求めた。

これまで、惑星にかかるトルクの計算は線形計算と数値流体計算の両方により調べられてきたが、三次元の線形計算は等温円盤のみに限定されていた。これは円盤動径方向の温度勾配を含めた三次元線形計算は発散を含むためであった。この発散の問題ははまだ解決されておらず、最近行われている三次元数値流体計算の結果を線形計算で検証することができていなかった。

原始惑星系円盤と惑星の重力相互作用の三次元線形計算においては、円盤回転方向 (z 方向) の速度成分を持たない二次元的波と z 方向速度成分を持つ三次元的波を持つ三次元的波が存在する。このうち、三次元的波が温度勾配の効果で発散するのだが、三次元的波の惑星へのトルクの寄与はわずか数%程度と小さいことが従来研究で明らかになっている。そこで本研究では、寄与が小さいと考えられる三次元的波を無視することで温度勾配がある場合のトルクを近似的に求めた。実際、三次元流体計算において発散の兆候が見られないため、この近似は有効と期待できる。この近似のもと非等温円盤における Type1 惑星移動の三次元線形解析を行った。その結果得られたトルクは他の研究で行われた三次元数値流体計算の結果とよく一致した。これにより、この三次元数値流体計算は精度が高いことが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211a **ダストからガスへの摩擦反作用が巨大惑星が作るダストリング構造に与える影響**

金川和弘(東大), 武藤恭之(工学院大), 奥住聡(東工大), 谷川享行(一関高専), 瀧哲朗(国立天文台), 芝池諭人(東工大)

巨大惑星は円盤ガスとの重力相互作用によって原始惑星系円盤に惑星軌道に沿った低ガス密度領域(ギャップ)を形成する。ガスやサイズの小さいダストはこのギャップをすり抜け内側円盤に流れ込むが、比較的大きなダスト(典型的にはセンチメートルサイズのダスト)はギャップを通り抜けることができずその外縁部に集積する。その結果、ギャップの外縁部には高ダスト密度のリングができる。ダストは周囲の円盤ガスとの摩擦によって角運動量を失う一方で、周囲のガスはダストが失った角運動量を受け取る(ダスト反作用)。従来研究では見落とされてきたが、この高密度なダストリング領域ではダストからガスへの反作用の影響を無視できない。

本研究では、ガス-ダスト2流体の数値流体シミュレーションを行い、ダストからガスへの摩擦反作用が惑星が作るダストリング構造に与える影響を調べた。その結果、ダストの反作用はギャップの幅や深さといった構造にはさほど影響を与えないが、ギャップ外縁部のガス圧力勾配を緩やかにすることが分かった。ダストリング内のダストはガス摩擦による内側移動とガス乱流による拡散が釣り合った構造をとるが、ギャップ外縁部の圧力勾配の低下のためガス摩擦による内側移動が弱まり、ダストリングは乱流拡散によって外側に広がる。そのため、ダスト反作用を考慮しない場合に比べ非常に幅の広いダストリングが形成されることが分かった。本発表では、上記の数値流体シミュレーションの結果を紹介するとともに、リング内での惑星形成についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212a CO₂ 氷を考慮したダスト成長モデルによる HL Tau 円盤のサブミリ波偏光観測の再現

奥住聡 (東京工業大学), 田崎亮 (東北大学)

ミリ波・サブミリ波帯における原始惑星系円盤の偏光観測は、円盤内で成長したダスト粒子のサイズや構造などを探る新たな手段として注目されている。最近の ALMA 望遠鏡による観測では、偏光方向が円盤の短軸に沿うような放射成分が複数の円盤で検出されている (e.g., Stephens et al. 2017)。このような一様な偏光成分は、円盤のダストの最大サイズが $100 \mu\text{m}$ 程度であると仮定するとよく説明できる (Kataoka et al. 2015)。ところが、従来のダスト成長理論によると、 $100 \mu\text{m}$ のダストは円盤内での衝突合体により比較的短い時間で消失するはずである。なぜこのような比較的小さいダストが豊富に存在するのかについての理論的な説明が必要である。

我々は、上記の偏光観測が、原始惑星系円盤の外側のダスト粒子の成長が CO₂ 氷によって妨げられていることの証拠であるとする解釈を提唱している。円盤の十分外側ではダスト粒子は CO₂ 氷に覆われると考えられるが、CO₂ 氷は付着しにくいことが最近の実験からわかっている (Musiolik et al. 2016)。我々は、CO₂ 氷の低い付着力を考慮したダスト成長モデルを用いて、サブミリ波の一様偏光放射が見られる HL Tau 円盤の外側領域においてダストの成長が確かに抑えられることを示した (天文学会 2018 年春季年会 P207a)。今回は、ダスト成長計算と輻射輸送計算を組み合わせ、我々のモデルが HL Tau 円盤の一様偏光放射を再現するかどうかを調べた。その結果、ダストの構成粒子半径が約 $1 \mu\text{m}$ でかつ CO₂ 氷マントルを持つと仮定すると、モデルが確かに一様偏光放射を再現することを明らかにした。特に、ガス面密度が動径距離に依らないと仮定するモデルは、円盤の広い範囲にわたって一様偏光放射を再現する。本発表では惑星形成・円盤進化への示唆についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P213a ミリ波散乱偏波で探る原始惑星系円盤のダストの構造

田崎亮 (東北大学), 田中秀和 (東北大学), 武藤恭之 (工学院大学), 片岡章雅 (国立天文台), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤のミリ・サブミリ波の散乱偏波観測は、円盤ダストのサイズや構造を制限する新たな手法として注目されている。ダストの構造は微惑星形成過程を左右させる量であるため、ダストの構造を観測的に制限することは微惑星形成過程を理解する上で非常に重要である。これまでにミリ波散乱偏波とダストサイズの関係が議論されてきたが、ダストの構造が散乱偏波に及ぼす影響については調べられていない。

そこで、本研究では、ダストの構造が円盤からのミリ波散乱偏波に及ぼす影響について調べた。まず、ダストの散乱特性とミリ波散乱偏波の関係を、輻射輸送計算コード RADMC-3D を用いて調べた。ここでは、ダストの散乱特性をパラメータとして扱った。より具体的には、一回散乱アルベドの値と散乱偏光度の値を固定し、散乱の非等方性を変化させることで円盤から生じる散乱偏波の偏光度を調べた。その結果、散乱が前方散乱に集中するほど、観測される偏光度が小さくなる傾向が見られた。これは前方散乱が卓越することで、観測者方向への散乱強度が弱まる一方で、放射強度は熱放射で決まり散乱過程に依らないため、結果として偏光度が下がっていると解釈できる。次に、ダストの構造とダストの散乱特性の関係を調べた。ダストの散乱特性は修正平均場近似 (Tazaki & Tanaka 2018) を用いて計算した。その結果、ダストの構造を表すパラメータであるフラクタル次元が小さくなるほど、ダストの実効的な一回散乱アルベドが下がることが明らかになった。

以上の結果は、ALMA によって観測されているミリ波散乱偏波が、比較的高密度な構造をもつダストによって生じている可能性を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214a 原始惑星系円盤におけるガス流によるダスト整列に起因するミリ波偏光予測

片岡章雅（国立天文台），奥住聡（東京工業大学），田崎亮（東北大学）

原始惑星系円盤におけるダストの付着成長・移流過程は、惑星形成の第一段階として重要であり、観測的制限が求められている。ダストの成長・移流過程を調べるため、我々は原始惑星系円盤のミリ波偏光観測に着目した。原始惑星系円盤のミリ波偏光観測は、ALMA によってはじめて複数の天体で検出されるようになった。そのメカニズムはダスト熱放射の自己散乱や、磁場・輻射場などの外場によって整列したダストによる偏光が組み合わさったものだと考えられている。しかし、これらの理論では説明しきれない観測結果があることも指摘されている。

そこで我々は、原始惑星系円盤におけるガス流によるダスト整列の可能性を検討した。磁場および輻射場による整列と比較した結果、ダストの制動時間を表すストークス数が1程度であれば、原始惑星系円盤においてガス流によってダストが整列しうることがわかった。更に、ダストの整列方向はストークス数に強く依存することがわかった。ストークス数が1より十分小さいダストは方位角方向の偏光パターンを示すが、ストークス数が1に近づき動径方向に落下しているダストはスパイラル状の偏光パターンを示すことがわかった。このようなパターンは他の整列メカニズムや散乱からは予期されていないため、スパイラル状の偏光パターンを観測的に見つけることができれば、それは落下中のダストの直接的な証拠になると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P215a 原始惑星系円盤 HD 163296 の ALMA ミリ波偏光観測で探るダスト分布

大橋聡史 (理研) 片岡章雅 (国立天文台)

近年、ALMA による高空間分解能かつ高感度の観測が原始惑星系円盤に対して行われ、様々な構造が明らかになってきている。特に、HD 163296 や HL Tau のような複数のギャップ構造を持つ円盤が多く報告されており、その構造形成や物理状態を調べるのが重要となる。このようなギャップの起源はダストサイズ分布の制限から切り分けることが可能となる。そこで我々は HD 163296 のダスト分布をミリ波偏光に着目した (Dent et al. 2018)。この天体は ALMA Band 7 ($\lambda \sim 870$ ミクロン) による偏光観測が高分解能 (~ 0.2 秒角 = 20 AU) で行われており、ダストのサイズ分布を考慮した解析を行うことで、リング・ギャップ間のダストサイズの違いを観測的に制限できる可能性がある。そこで我々は RADMC-3D を用いた輻射輸送計算によるモデルとの比較を行った。観測の特徴として、1. 偏光ベクトルは円盤の短軸方向に沿う、2. ギャップ領域で偏光度が高くなっている ($P \sim 2-3\%$)、3. ギャップでの偏光度は長軸の方が短軸より 2 倍ほど高いことがわかった。偏光ベクトルが短軸と沿うことはダストの自己散乱で偏光していることを示し、ダストサイズが観測波長程度 (~ 100 ミクロン) と見積もられる。そこで、ダストサイズを 150 ミクロンで固定し、散乱を考慮した輻射輸送計算を行った結果、ギャップ領域で偏光度が高くなることも再現できた。さらに長軸と短軸との偏光度の違いもダストがガスのスケールハイトの $1/2$ 程度まで沈殿することで説明できることがわかった。

また、中心星付近の 30AU 以内では観測の偏光度がモデルに比べ低いことからダストサイズが 150 ミクロンよりも大きいかあるいは小さいことが示唆される。一方で、ギャップとリングでダストサイズに違いがなくても観測を再現できることから dust filtration の影響は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P216a アクシオンダークマターが原始惑星系円盤の偏光パターンに与える影響

當真賢二（東北大学際研）、藤田智弘（京大理）、田崎亮（東北大理）

ダークマターの正体を突き止めることは現代天文学・物理学における最大の問題の一つである。近年の素粒子物理のアプローチでは、ダークマターとしてアクシオン (axion like particles) が特に注目されている。アクシオンの許される質量の範囲は非常に広い。しかし $\sim 10^{-22}$ eV という非常に小さい質量の場合に、宇宙論におけるコアカスプ問題やサブハロー問題を解決しうると考えられている。その場合、量子論的不確定性が小さいスケールの構造の形成を妨げることになる。

我々は、そのようなアクシオンダークマターの兆候を原始惑星系円盤の偏光観測で捉えられる可能性があることを発見した。アクシオンは光子と相互作用し、2種の現象を引き起こす。1つは磁場中でのアクシオンと光子の変換であり、もう一つはアクシオン場中での光の複屈折である。我々は後者に注目する。それはファラデー回転のように、光子の直線偏光が回転する現象である。原始惑星系円盤の可視・近赤外の光は中心星の散乱光であり、その偏光は同心円状であるとわかっている。その偏光パターンが光子の伝播中に歪むとしてアクシオンの兆候を捉えることが原理的に可能である。

この方法を AB Aur の偏光観測結果 (Hashimoto et al. 2011) に適応したところ、 $\sim 10^{-22}$ eV の質量のアクシオンと光子の結合定数にこれまでで最も厳しい制限を課すことがわかった。他の偏光観測データの再解析やさらに感度を上げた観測によってアクシオンダークマターの兆候を捉えられるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P217a サブミリ波偏光で探る原始惑星系円盤 AS 209 のダスト落下運動の観測的証拠

森智宏 (東京大学)、片岡章雅 (国立天文台)、大橋聡史 (理化学研究所)、百瀬宗武 (茨城大学)、武藤恭之 (工学院大学)、永井洋、塚越崇 (国立天文台)

ALMA を用いたミリ波偏光観測により、原始惑星系円盤における偏光度、偏光ベクトルの空間分布を得ることが可能になってきた。この偏光はダストの磁場整列が主要な原因とされてきたが、近年、観測波長程度のサイズのダストによる自己散乱も重要な過程として偏光に寄与することが明らかになった。そのため、ALMA 偏光観測は、円盤ダストのサイズや組成を制限する強力な手法として有望視され、観測例が増加している。我々は複数のギャップ構造が観測されている原始惑星系円盤 AS 209 について、ALMA を用いて波長 0.89 mm で偏光観測を行った。そして、半径 0.5 秒角 (63 au) 以内の中心領域で偏光度 0.2%、0.5 秒角以遠の外側領域で 1–2% の偏光を検出した。これらの各領域について独立に偏光ベクトルの向きや偏光度の分布を解析し、偏光の原因を調べた。

その結果、まず中心領域においては円盤の単軸方向と偏光ベクトルの向きが誤差の範囲内で一致していることがわかった。これは、ダストの自己散乱モデルと整合的であり、ミリサイズオーダーのダストの存在を示唆する。同じ領域の偏光度は 0.2% で、他の天体と比較して有意に低い値であった。これは、観測波長の数倍程度大きい或いは小さいダストが偏光に寄与していることを意味する。

一方、外側領域における偏光ベクトルの向きは、同じ軌道長半径では常に偏光ベクトルが方位角方向を向いていることがわかった。さらに、得られた偏光ベクトルの角度は、各領域の楕円接線の方向に対して $\sim 6^\circ$ 傾いていることもわかった。これらの特徴は、ダストがガス流の抵抗を受けることによって整列するという理論予測と一致する。本観測の偏光ベクトルの解析から、ダスト落下の示唆を観測的に初めて得ることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P218a みなみのかんむり座外縁部の classical T Tauri star の円盤のダスト進化

森野潤一 (国立天文台)

ALMA を用いて、周波数 98/230/345 GHz 帯ダスト連続波で、classical T Tauri 星としては後期段階にあると推測される、みなみのかんむり座の 2 天体、RXJ1842.9-3532 (IRAS18396-3535)、RXJ1852.3-3700 (IRAS18489-3703) を観測した (cycle 3)。星形成の最終段階、すなわち、中心星への質量降着を終えつつある時期の、原始惑星系円盤のダストからのミリ波、サブミリ波の熱輻射をとらえた。三波長の観測から、ダスト分布及びダストサイズ分布を調べた。

星周円盤のダストリングは、それぞれ見かけ半径で、 $0.19'' \times 0.25'' = 25 \text{ times } 32 \text{ AU}$ と、 $0.30'' \times 0.36'' = 39 \times 46 \text{ AU}$ であった。

最も低い周波数の 98 GHz では、RXJ1842.9-3532 は、中空の円弧の一部 (arc 状) のダスト円盤をもつことが観測された。RXJ1852.3-3700 のダスト円盤は、全方向をおおってはいるものの、非等方のリング (円環) であった。

星周円盤の Rossby 波のような 方向の変化と解釈するなら、それぞれ、 $m=1$, $m=2$ のモードに対応する。また 345 GHz、230 GHz のダスト連続波の観測と分解能をそろえて比べると、輝度分布の違いが見られる。すなわち、周波数によって少なくとも 方向で非軸対称にダストの違いが示唆される。

空間分解しない全体のべき指数 はそれぞれ 2.13 ± 0.04 , 2.37 ± 0.04 (暫定値) であった。cm に近い、サイズの大きなダストが成長していることが分かった。

講演では、ダストの情報から惑星に至るプロセスを考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P219a Herbig Fe 星 HD142527 円盤の 3 ミクロン帯散乱光の輻射輸送計算

村川幸史 (大阪産業大学) 本田充彦 (久留米大学)

水氷は、原始惑星系円盤中において、豊富に存在する星間物質の一つであり、円盤中の化学進化や惑星形成を理解する上で注目されている。近年、高空間分解能撮像観測により、円盤中の氷の分布を調べる研究が行われるようになってきた。我々は、Subaru/IRCS を用いて、Herbig Fe 星 HD142527 の原始惑星系円盤に対して、 $3\mu\text{m}$ 帯分光偏光観測を行ってきた。この天体は、半径 170 AU 程の密度分布が非対称なドーナツ状の face-on 円盤を有し、 $3.07\mu\text{m}$ の水氷による散乱光の偏光成分を検出した。我々は、この結果に対して、3次元輻射輸送計算を行なった。ダストについては、化学組成をシリケート、有機物、水の混合物として、水の混合比を変え、粒子サイズ分布は、粒子半径の-3.5 乗に比例し、最大サイズを変えることで、上記観測結果の氷の吸収深さと偏光度を適合させた。本公演では、輻射輸送モデリングとその結果についての詳細を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a Herbig Fe 星 HD142527 円盤散乱光の3ミクロン帯偏光分光観測

本田充彦(久留米大学), 村川幸史(大阪産業大学), 寺田宏, 工藤智幸, 服部堯(国立天文台), 橋本淳(アストロバイオロジーセンター), 田村元秀(東大, アストロバイオロジーセンター), 渡辺誠(岡山理科大学)

我々のグループは Subaru/IRCS の新たな観測機能として追加された $3\sim 5\mu\text{m}$ 熱赤外帯 (L band, M band) における直線偏光観測機能 (撮像・低分散分光) を用いて、Herbig Fe 星 HD142527 円盤散乱光の3ミクロン帯偏光分光観測を行ったので、その結果について報告する。

この天体は先行研究から、半径 170AU ほどの密度分布が非対称なドーナツ状の Face-on 円盤を有していることが知られている。今回、Subaru/IRCS+AO188 を用いてこの円盤に対して中心星を通る PA=110 度の方向にスリットを設定し、東西方向に空間分解した 3 ミクロン帯偏光分光データを取得した。

その結果、円盤西側の内縁部分からの散乱光偏光スペクトルの取得に成功した。偏光度は約 5% 程度であり、偏光 PA=30 度程度と幾何学的配置から考えられる PA~20 度に近い値が得られた。また、散乱光強度スペクトル中に、水氷によると見られる $\sim 3\mu\text{m}$ 吸収が見られた。これは多色撮像による先行研究 (Honda et al. 2009) です でに報告されているが、再確認となる。

本講演ではこれらの観測結果の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P3. 星・惑星形成】

3月16日(土) 午後(14:18-15:30) [H会場]

P301b	14:18	Search for H α from Accreting Protoplanets with Subaru/SCEXAO+VAMPIRES	鵜山太智 (東京大学)
P302b	14:18	すばる望遠鏡・CIAOによるDE Tauの高解像度撮像観測	福島めぐみ (法政大学)
P303b	14:18	月食偏光の比較: 2014年10月8日と2015年4月4日	高橋隼 (兵庫県立大学)
P304a	14:30	若いトランジット惑星候補天体PTFO 8-8695bの可視赤外同時観測	谷本悠太 (東京大学)
P305a	14:42	多色カメラMuSCAT1,2を用いたウォームジュピターWASP-80bの大気観測	寺田由佳 (東京大学)
P306a	14:54	新たなトランジット惑星探索衛星TESS、始動: 惑星の発見確認と質量決定に向けた日本のTFOPの取り組み	成田憲保 (東京大学)
P307a	15:06	IRSF/SIRIUSを用いたTESS惑星候補のフォローアップ観測と測光解析パイプライン作成	森万由子 (東京大学)
P308a	15:18	IRSF/SIRIUSによるTESS惑星候補の発見確認観測 2: 観測成果	西海拓 (京都産業大学)

3月17日(日) 午前(9:30-11:30) [H会場]

P309a	09:30	原始惑星系円盤における周連星惑星の軌道不安定領域での軌道進化	山中陽裕 (京都大学)
P310a	09:42	惑星欠乏領域から示唆される巨大ガス惑星の形成過程	合田翔平 (大阪大学)
P311a	09:54	巨大氷惑星の自転軸傾斜角: 巨大衝突による自転軸変動	黒崎健二 (名古屋大学)
P312a	10:06	大気大循環モデルを用いた系外惑星の光度曲線解析による自転軸傾斜角推定 II	中川雄太 (東京大学)
P313a	10:18	MOA-2018-BLG-199/KMT-2018-BLG-0359Lb: M型星周りのスーパージュピター	鈴木大介 (宇宙航空研究開発機構)
P314a	10:30	MOA-bin-29Lb: M型星または褐色矮星周りを回る巨大ガス惑星	近藤依央菜 (大阪大学)
P315a	10:42	MOA-2013-BLG-551Lb:M型星に付随する低質量褐色矮星	宮崎翔太 (大阪大学)
P316a	10:54	畳み込みニューラルネットワークを用いた星像検出方法の検討	末松春乃 (大阪大学)
P317a	11:06	岡山188 cm望遠鏡を用いた長期視線速度観測によるプロキオンA周りの惑星探索	安田俊樹 (東京工業大学)
P318a	11:18	IRD 戦略枠観測: Search for Planets like Earth around Late-M Dwarfs – Precise Radial Velocity Survey with IRD	佐藤文衛 (東京工業大学)

P301b Search for $H\alpha$ from Accreting Protoplanets with Subaru/SCEXAO+VAMPIRES

Taichi Uyama (University of Tokyo), Barnaby Norris (University of Sydney), Olivier Guyon (University of Arizona, ABC, Subaru telescope), Motohide Tamura (University of Tokyo, ABC, NAOJ), Takayuki Kotani (ABC, NAOJ), SCEXAO/VAMPIRES teams

High-contrast imaging with adaptive optics and various imaging techniques enable to detect and characterize exoplanets and helps to discuss planet formation and evolution mechanisms. The Visible Aperture Masking Polarimetric Interferometer for Resolving Exoplanetary Signatures (VAMPIRES) is a new high-contrast imaging capability at the visible wavelengths equipped with Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics (SCEXAO) mounted on the 8-m Subaru telescope. This instrument allows a variety of imaging modes of polarization differential imaging (PDI), aperture masking, and spectral differential imaging (SDI) with a $H\alpha$ filter. Currently Subaru/SCEXAO+VAMPIRES is the only instrument that allows $H\alpha$ high-contrast imaging in the northern hemisphere. The $H\alpha$ SDI mode is a unique and useful way to promote characterizations of protoplanets; there is relationship between intensity of hydrogen emissions and mass accretion mechanisms and one can estimate physical parameters on mass accretion onto the protoplanet (e.g., LkCa 15b; Sallum et al. 2015). In this presentation, we introduce the $H\alpha$ observations and their reduction schematics with SCEXAO+VAMPIRES in detail.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P302b すばる望遠鏡・CIAOによるDE Tauの高解像度撮像観測

福島めぐみ(法政大学)、工藤智幸(国立天文台)、田中幹人(法政大学)

直接撮像法は、系外惑星観測の代表的な方法の一つである。明るさや色、スペクトルなどを直接画像から調べることができ、そこから温度や大気組成など、間接法では得にくい情報が得られることが最大の利点である。現在、惑星形成論において、広軌道(長周期)の惑星の起源についてはまだ不明な点も多く、間接法で得られた短周期惑星系の形成と、お互い情報を補い合うということでも重要な意義がある。

そこで我々は、直接撮像された若い星に対し、アーカイブデータから広軌道惑星候補の探査を試みた。おうし座DE星(DE Tau)は、スペクトルタイプ M3Ve、距離 127 ± 1 pc、年齢 0.4 Myr の T タウリ型星であり、2005年にすばる望遠鏡の近赤外線コロナグラフ撮像装置「CIAO」によって観測されていた。波長はHバンド(1.6 μ m)、角度分解能は 0.09" であり、総積分時間は 22 分である。

一次処理後に全フレームを足し合わせ、中心星を 180 度回転させて引き算したところ、ポジションアングル約 102 度、主星から約 3.48 " (約 442.7 AU) の位置に見かけ等級 20.9 等 (絶対等級 15.4 等) の惑星候補を発見した。Baraffe *et al.* (2003) のモデルを適用すると、この惑星候補の質量は 0.64 M_J と推測できる。

本公演では、この惑星候補の特徴について報告し、加えて、裏付けとなる固有運動測定に関する今度の展望について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P303b 月食偏光の比較: 2014年10月8日と2015年4月4日

高橋 隼, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学), 渡邊 誠 (岡山理科大学), 秋田谷 洋 (埼玉大学), 高木 勝俊, 川端 弘治 (広島大学), 伊藤 亮介 (東京工業大学), 大朝 由美子, 石橋 遥子 (埼玉大学), OISTER collaboration

月食中の月に2%–3%の直線偏光度が検出された例が過去に何度かある。Takahashi, et al. (2017) は2015年4月4日の月食の偏光分光観測と簡単な計算により、偏光は太陽光が地球大気を透過する際に生じたと考えた。すなわち、「垂直散乱強度に対する水平散乱強度の超過」と「何らかの大気特性の空間的非一様性」が組み合わさって偏光が生じたとした。しかし、大気非一様性の正体は分かっていない。複数回の月食の偏光観測結果を比較し、地球大気状態との相関を調べることで、月食の偏光を支配する大気非一様性の正体を絞り込むことができる。

我々は、光・赤外線天文学大学間連携のキャンペーン観測として、2014年10月8日の月食中の月を日本国内3地点から偏光撮像観測を行った。観測に用いたのは、北海道大学 1.6 m ピリカ望遠鏡/MSI、兵庫県立大学 60 cm 望遠鏡/POL、および広島大学 1.5 m かなた望遠鏡/HOWPol である。観測された偏光度は、Vバンド、Rバンドともに1%以下であった。2015年4月4日の月食では波長500–600 nmで最大2%–3%の偏光度が観測されており (Takahashi, et al., 2017)、2014年と2015年では偏光度がかなり異なる。

この偏光度の違いに、大気の空間的非一様性が関与した可能性がある。そこで、地球周回衛星 Terra/MODIS が取得したデータから、2回の月食イベント時の雲分布を抽出した。雲頂高度が7 km (スケールハイト) 以上の雲に限定して解析したところ、2014年に比べて2015年は雲分布の非一様性が大きかった。2015年の雲分布は、観測された偏光方位角とも整合的であった。これらの解析結果により、月食時の偏光は地球大気高層の雲の分布に依存している可能性があると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P304a 若いトランジット惑星候補天体 PTFO 8-8695b の可視赤外同時観測

谷本悠太 (東京大学), 山下卓也, 内山瑞穂 (国立天文台), 宇井崇紘, 大坪一輝, 川端美穂, 高木健吾, 中岡竜也, 森裕樹, 山中雅之, 川端弘治 (広島大学)

PTFO 8-8695b は年齢が 200 万年程度の T タウリ型星の周りにあるホットジュピターとして、トランジット法によりその発見が報告された惑星候補である (van Eyken et al. 2012)。この天体は非常に若い惑星候補であるため、惑星形成時の情報を残している、あるいは惑星形成に起因する何らかの現象が見られる可能性を持った興味深い惑星候補である。これまで様々なグループによる追観測が行われており、通常の惑星では見られないようなトランジットの形状と深さの変化が報告されてきた。こうした減光現象の解釈として、重力減光を起こす主星の周りにあり、歳差運動によって軌道が変化している惑星 (Barnes et al. 2013; Kamiaka et al. 2015)、極付近のホットスポット (Yu et al. 2015)、mass outflow を起こしている惑星 (Raetz et al. 2016; Johns-Krull et al. 2016)、ダスト雲 (Onitsuka et al. 2017) といったモデルが提唱されているが、未だその決着はついていない。

そこで我々は、減光現象の波長依存性からこの現象の成因を明らかにすべく、広島大学かなた望遠鏡に搭載された可視赤外同時カメラ HONIR を用いてさらなる追観測を行った。2014 年から 2018 年に渡る観測の結果、これまで報告されていた減光現象が、深さは先行研究に近いが位相のずれているものと、深さは浅いが位相は揃っているものの 2 つに分裂した後消滅したことを新たに確認した。本発表では、この事実も合わせて PTFO 8-8695 系の描像について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P305a 多色カメラ MuSCAT1,2 を用いたウォームジュピター WASP-80b の大気観測

寺田由佳, 福井暁彦, 成田憲保, 田村元秀, John Livingston, Jerome de Leon, 森万由子 (東大), 日下部展彦 (ABC), 渡辺紀治 (総研大), 西海拓 (京産大)

トランジット惑星は、厚い雲が無い場合、惑星大気の吸収の影響により減光率の波長依存性 (大気の透過スペクトル) を示すため、多波長でトランジット観測を行うことにより惑星の大気組成を調べることができる。

WASP-80b は有効温度約 4150K の K/M 型主系列星を公転周期約 3 日でまわる、トランジット巨大惑星である。これまでに発見されている K/M 型主系列星まわりの巨大惑星の数は少なく、特に WASP-80b は平衡温度が 800K と比較的低温のため、理論的にヘイズの存在が示唆されており、大気の特徴が注目されている。これまでに、Fukui et al. (2014) は近赤外域に比べて可視域での透過スペクトルが増大していることから、大気中のヘイズの存在の可能性を示唆している。一方、Parviainen et al. (2017) は可視域での減光の差は小さく、透過スペクトルはフラットであると報告しており、ヘイズによるレイリー散乱の効果は観測されていない。

しかし、これまでに行われた観測では、g-バンド (400-550nm) における減光率の誤差が大きく、このバンドでは弱い制限しかついでいない。もし、ヘイズが存在するならば、レイリー散乱の効果で g-バンドにおける透過スペクトルが他波長に比べて増大している可能性が考えられる。そのため、我々は岡山 188cm 望遠鏡/ MuSCAT、カナリア諸島 1.5m 望遠鏡/MuSCAT2 を用いて g-バンドを含む多バンドでのトランジット観測を行った。その結果、g-バンドでも透過スペクトルがフラットになる兆候が見られた。本講演では、上記の観測と解析の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P306a 新たなトランジット惑星探索衛星 TESS、始動：惑星の発見確認と質量決定に向けた日本の TFOP の取り組み

成田 憲保 (東大/JST/ABC/国立天文台)、佐藤 文衛、井田 茂、河合 誠之 (東工大)、福井 暁彦、Jerome de Leon、森 万由子 (東大)、西海 拓 (京産大)、ほか TFOP 参加メンバー

TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) は、2018 年 4 月 18 日に打ち上げられた NASA の新たなトランジット惑星探索衛星である。TESS は打ち上げ後に約 2ヶ月をかけて観測軌道に到達し、約 1ヶ月の試験観測の後、7月 18 日から本格的なサイエンス観測に移行した。TESS は黄道面に対する南天から観測を行っており、1年目に南天、2年目に北天の各 13 セクターをそれぞれ約 27 日間観測する。

TESS で発見された惑星候補は必ずしも本物の惑星ではなく、何割かの頻度で食連星の偽検出が混入している。そのため、発見されたトランジット惑星候補が本物の惑星かどうかを確かめ、その質量を決定することを目的とした追観測を行う TFOP (TESS Follow-up Observing Program) Working Group が公式に組織されている。

TESS は 8 月 22 日までセクター 1 の観測を行い、9 月 5 日には発見された惑星候補のリストの一部をアラートとして公開した。これらの惑星候補に対して TFOP による追観測が即座に行われ、 π Mensae c (Huang et al. 2018, Gandolfi et al. 2018) や LHS 3844 b (Vanderspek et al. 2018) の発見が 9 月 19 日までに報告された。11 月 30 日現在までに 164 個の惑星候補が公開されており、世界の TFOP メンバーによる精力的な追観測が行われている。

本講演では、TESS の観測計画と試験観測で確認された測光精度、報告されている惑星候補と初期に発見確認がなされた惑星系の概要、世界的な TFOP の仕組みと活動内容、そして日本の TFOP 参加チームによる今後の TESS との連携観測の展望について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P307a IRSF/SIRIUS を用いた TESS 惑星候補のフォローアップ観測と測光解析パイプライン作成

森万由子, 成田憲保, Jerome de Leon, 福井暁彦, 田村元秀 (東大), 西海拓 (京産大), 日下部展彦 (ABC), 森鼻久美子 (名古屋大)

トランジット系外惑星探索衛星 (TESS) のフォローアッププログラム (TFOP) の一環として、南アフリカ共和国にある 1.4m 望遠鏡 IRSF/SIRIUS を使った惑星候補トランジットの赤外多色測光観測を行い、そのための測光解析パイプラインを作成・整備した。

IRSF/SIRIUS を用いると、TESS に比べて高い空間分解能 ($\sim 0.453\text{arcsec/pix}$) により、TESS の測光アパーチャー内に複数の星がある場合に明るさの変化を起こしているターゲットを絞れる他、赤外領域の J、H、K_s バンドで同時測光することにより、トランジットの深さの波長依存性から、食連星による偽検出を排除することに役立つ。しかし、本来 SIRIUS はトランジット用の装置ではないため、得られた観測データから、トランジット解析用のデータや図に変換するための測光解析パイプラインを作成する必要があった。

我々の作成したパイプラインでは、視野内の検出可能なすべての星に関して測光を実行し、バンドごとのライトカーブを短い手順で作ることができる。それぞれの星とターゲットとの視距離・等級差も出力し、これは食連星の排除の計算に役立つ。また、トランジットによる星の明るさの変化と、その他の装置的な要因による変化の相関を判定し、簡単な一次モデルでフィットできるようになっている。このパイプラインにより効率的に解析を行えるようになり、観測後数日のうちに、求められるデータや図を TFOP チームに送ることができるようになった。本講演では、作成したパイプラインの詳細と実際の観測データへの適用例について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P308a IRSF/SIRIUS による TESS 惑星候補の発見確認観測 2:観測成果

西海拓 (京都産業大学), 成田憲保, Jerome de Leon, 森万由子, 福井暁彦, 田村元秀 (東京大学), 日下部展彦 (ABC), 森鼻久美子 (名古屋大学)

2018年4月にトランジット系外惑星探査衛星 TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) が打ち上げられ観測を開始した。TESS では惑星が恒星の前を通過すると減光する、トランジット現象を観測することによって系外惑星を発見している。しかし、この方法では一定の割合で惑星ではない食連星などの偽検出が発生する。この判別を行うためにはフォローアップ観測を行い、減光の波長依存性を詳しく調べる必要がある。

私達のグループは南アフリカ共和国にある 1.4m 望遠鏡 IRSF (InfraRed Survey Facility) と赤外 3 色 (J, H, Ks) 同時撮像装置 SIRIUS を用いてフォローアップ観測を行い、10/4-11/20 にかけて TESS の最初の観測領域であるセクター 1, 2 で発見された 35 個の惑星候補に対し、延べ 45 回のトランジットを観測した。

観測を行ったデータは専用パイプラインを用いて解析し、TOI125, TOI142, TOI157, TOI174, TOI178, TOI179, TOI193, TOI212 の計 8 個の惑星候補についてその観測結果を TFOP (TESS Follow-up Observing Program) に報告し、食連星の排除と惑星の発見確認に貢献した。

この中でも TOI125, TOI193 について、IRSF/SIRIUS での観測が食連星の排除に大きな貢献を果たした。TOI125 は主星が有効温度 5100K の K 型星で 3 つの惑星を持つ複数惑星系で、周期がそれぞれ 4.7 日、9.2 日、20.0 日であり、興味深いことに、どの惑星も約 2.8 地球半径であることが分かっている。また TOI193 については主星が 5400K の G 型星であり、短周期 (0.8 日) で 4.0 地球半径の惑星をもつ。

本講演では IRSF/SIRIUS での TESS フォローアップ観測の成果とこれらの惑星系の新知見について発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P309a 原始惑星系円盤における周連星惑星の軌道不安定領域での軌道進化

山中陽裕 (京都大学), 佐々木貴教 (京都大学)

連星周りでは単独星周りとは異なる惑星系が形成される可能性があるため、単独星のみならず連星周りの惑星形成を理解することは重要である。Kepler 宇宙望遠鏡によって、連星の近くを公転する周連星惑星が見つまっている。それらの惑星は、0.3 木星質量程度の惑星質量、およそ 1AU 以内の軌道長半径という共通した特徴を持っており、周連星原始惑星系円盤の遠方で形成した後、現在の軌道まで移動してきたと考えられる。また、連星の公転によって時間変動する重力場により、連星の近傍には力学的な不安定領域が存在し (Holman & Weigert, 1999)、実際の周連星惑星は、この不安定領域境界のすぐ外側に位置している。これらの惑星の軌道を再現する先行研究はいくつか行われてきたが、いずれの研究でも惑星の最終位置は実際の軌道より大幅に遠く、不安定領域境界付近の軌道の再現には至っていない (e.g., Thun & Kley, 2018)。一方、連星周りの原始惑星系円盤の内側には空隙が生じることが知られており (Artymowicz & Lubow, 1994)、惑星の軌道移動はこの円盤内縁で止まると推測される。円盤内縁が軌道不安定領域の中に位置している場合には、円盤ガスの散逸後に惑星軌道が不安定になる。軌道不安定領域では、惑星は連星から角運動量を受け取り、外向きに移動しようとする一方で、円盤のガス抵抗が惑星から角運動量を奪い内側へ落下させるように働く。そのため、円盤のガス抵抗が十分に強ければ惑星の軌道発散が抑えられ、円盤の散逸によるガス抵抗の減衰に伴って惑星が外向きに移動して不安定領域を脱出して境界付近の軌道が実現されると考えられる。以上のシナリオを検証するため、我々は連星の離心率と質量比をパラメータとして N 体計算を行った。結果、惑星の不安定領域内の軌道移動が可能な連星離心率の範囲は、実際の周連星惑星を持つ連星系と調和的であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P310a 惑星欠乏領域から示唆される巨大ガス惑星の形成過程

合田翔平, 松尾太郎, 芝井広, 住貴宏 (大阪大学)

太陽系外惑星の性質を統計的に理解することにより、惑星系の形成過程を明らかにすることが期待される。惑星系の重要なパラメータとして主星の金属量と惑星の質量がある。主星の金属量は、原始惑星系円盤における惑星の材料物質である微惑星の量を反映すると考えられている。金属量の高い主星の周りでは、コア集積により円盤ガスの散逸前までにコアの臨界質量に達するため巨大ガス惑星が形成されやすく、惑星の検出確率が主星の金属量と正の相関を持つ観測結果を説明できると考えられている。また、ボトムアップから惑星が成長するため、惑星質量が連続的に分布する傾向にあると予想される。他方、重力不安定による惑星形成は、原始惑星系円盤の質量と温度に依存するため、主星の金属量には強く依存しないと考えられる。また、ボトムアップからの形成でないため、惑星の質量分布も低質量から連続的に分布しないことが予想される。

以上を踏まえて、私たちは主星の金属量の高い領域と低い領域における惑星分布を統計的に明らかにし、惑星形成過程を理解することを試みる。ここでは惑星検出の選択効果を考慮した上で議論を進めるため、金属量の高い(あるいは低い)惑星サンプルに対して金属量の低い(あるいは高い)惑星検出の選択効果を掛け合わせて惑星分布が選択効果に依存しないようにデータセットを作成した。そのデータセットに対して混合正規分布モデルで分類を行なった結果、金属量の違いに関わらず4木星質量と30木星質量あたりを境に異なる集合として分布することがわかった。また、金属量の低い領域における惑星質量分布が低質量からの連続的なものではなく、高い領域のものと大きく異なることが分かった。本講演では、統計的解析の過程について述べ、解析から得られた惑星分布の結果に対して惑星の形成過程を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P311a 巨大氷惑星の自転軸傾斜角：巨大衝突による自転軸変動

黒崎健二，犬塚修一郎（名古屋大学）

太陽系内の惑星は固有の自転周期と自転軸傾斜角を持っている．巨大惑星に注目すると，木星，土星，海王星の自転軸傾斜角は 20° であるが，天王星は 98° 傾いており，他の巨大惑星と大きく異なっている．その大きな自転軸傾斜角から，天体の巨大衝突が原因であると考えられてきた．

巨大氷惑星の衝突計算はこれまで初期の自転速度が無視できるほど小さいことを仮定していた．初期自転周期が現在と同程度あった場合，受け取られる角運動量と初期の角運動量が同程度になる．このとき，衝突後に輸送される角運動量は初期に保持している角運動量の影響を無視できなくなるが，衝突に伴って水素エンベロープが流出することも予想される．しかし，初期自転速度を持っていた場合にどのような衝突条件であれば天王星で観測されるような自転軸傾斜角を再現できるかは，まだよくわかっていない．

本講演では，自転角運動量をもった天体への衝突現象と，それに伴う自転軸傾斜の変動角度を数値流体計算によって示す．衝突現象を数値流体計算によってあらわすために，Godunov 法を適用した Smoothed Particle Hydrodynamics (GSPH) を用いて計算をおこなった．計算の結果，初期に天体が自転していた場合でも大きな自転軸傾斜をもたらす衝突条件が存在することが確認できた．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P312a 大気大循環モデルを用いた系外惑星の光度曲線解析による自転軸傾斜角推定
II

中川雄太, 小玉貴則 (東京大学), 石渡正樹 (北海道大学), 河原創, 須藤靖 (東京大学), 高橋芳幸 (神戸大学), はしもとじょーじ (岡山大学), 倉本圭 (北海道大学), 中島健介 (九州大学), 竹広真一 (京都大学), 林祥介 (神戸大学)

表層に不均一性を持った惑星の反射光光度曲線の周波数変調からその自転軸傾斜角と自転周期を推定する手法が Kawahara (2016) によって提案されている。講演者らはこの手法が現実的に有効であるか、具体的には雲の効果を考慮しても自転軸傾斜角を推定できるかどうかを調べてきた。自転軸傾斜角のみ変更した地球について、大気大循環モデル DCPAM5 を用いて雲の形成・運動を表現した。さらに輻射輸送計算と組み合わせる惑星の散乱光度曲線を構成し、時間-周波数解析を行った。ここまでを前回の学会にて発表した。

今回我々は自転の方向 (自転軸傾斜角, 春分点経度)+自転速度の3パラメータがどれだけ正確に推定できるかを調べた。周波数変調のフィッティングには1. Kawahara (2016) の用いた手法、2. 時間-周波数領域での2次元分布を用いた方法の2通りを試みた。さらに現実の望遠鏡の口径を意識して、ショットノイズの影響も考慮した。

20m口径望遠鏡に相当するショットノイズを想定しアンサンブルでパラメータ推定を行った結果、パラメータ空間上で真の値以外に1割程度、偽の値を再現したクラスターが見つかった。これは Kawahara (2016) で周波数解析に用いられている pseudo Wigner distribution に特有の振動を拾ったゴーストだと考えられる。本講演では、pseudo Wigner distribution の特性に注目した方法と他の時間-周波数解析を用いた方法の2通りでより正確に自転パラメータを推定できるかを調べ、その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P313a MOA-2018-BLG-199/KMT-2018-BLG-0359Lb: M 型星周りのスーパージュピター

鈴木大介 (宇宙航空研究開発機構), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法は、氷境界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惑星検出手法である。惑星検出が主星の明るさに依存しないため、M 型星周りの冷たい惑星の探査を得意とする点において、他の観測手法に対して特に相補的である。本講演では、MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) と KMTNet (Korea Microlensing Telescope Network) によるサーベイ観測によって検出されたマイクロレンズイベント MOA-2018-BLG-199/KMT-2018-BLG-0359 の解析、結果について報告する。このイベントでは、レンズ星による ~ 100 日の増光のピーク直後に時間スケールの短い鋭い増光が観測された。光度曲線の詳細な解析の結果、惑星/主星の質量比が ~ 0.01 であることがわかった。さらに、有限ソース効果とマイクロレンズパララックス効果が検出されていることがわかり、主星と惑星の質量が ~ $0.4 M_{\odot}$ 、~ $4 M_{\text{Jup}}$ とそれぞれ求まった。このような M 型星周りのスーパージュピターは、これまでのマイクロレンズ観測から複数個検出されているが、標準的なコア集積モデルでの形成は難しいと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P314a MOA-bin-29Lb : M型星または褐色矮星周りを回る巨大ガス惑星

近藤依央菜 (大阪大学) MOA コラボレーション

本研究では2006年に起こった重力マイクロレンズイベントであるMOA-bin-29の解析を行った。我々、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループでは2.2平方度の視野を持つCCDカメラ(MOA-cam3)を搭載した口径1.8mのMOA-II望遠鏡を用いて、重力マイクロレンズ現象を利用した系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ現象とは、ソース天体の前をレンズ天体が横切る際に、ソース天体の光がレンズ天体の重力場によって曲げられることで、一時的に増光される現象である。特に、レンズ天体が伴星を持つ際、その伴星の重力による影響が現れるため特徴的な増光曲線を示す。その光度曲線をモデルフィッティングすることで、レンズ天体に関して、主星と伴星の質量比や、主星からの離角などのパラメータを得ることができる。本イベントはタイムスケールが短く、主星が軽いことを示唆している。また、詳細モデルフィッティングにより惑星質量比を支持する二つのモデルが見つかった。今回の解析では有限ソース効果のみが受かったため、銀河モデルを仮定したベイズ推定を行ってレンズ天体の質量や、地球からの距離などの物理量を推定した。その結果、本イベントは $\sim 0.12M_{\odot}$ のM型星または $\sim 0.04M_{\odot}$ の褐色矮星に $\sim 0.62M_{Jup}$ の巨大ガス惑星が付随する惑星系であることがわかった。どちらのモデルも惑星質量は変わらないが、主星質量に違いがあるということがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P315a MOA-2013-BLG-551Lb:M 型星に付随する低質量褐色矮星

宮崎翔太 (大阪大学)、住貴宏 (大阪大学)、永金昌幸 (大阪大学)、他 MOA コラボレーション

本講演では、2013年に発見された高増光率イベント MOA-2013-BLG-551 の解析結果を紹介する。まず、重力マイクロレンズ法で発見されるレンズ天体の物理量 (質量・距離) を一意に決めるためには、以下の高次の効果が光度曲線の解析で有意に受かる必要がある、有限ソース効果：ソース天体の大きさ (視半径) によって光度曲線がなまされる効果、パララックス効果：地球の公転運動によって引き起こされる視差が光度曲線に影響を及ぼす効果。有限ソース効果は、ソース天体の大きさを考慮しなければ説明できないような高増光率イベントで発見される事が多く、パララックス効果は地球の公転運動の影響を受ける比較的タイムスケールの長いイベントで発見される事が多い。本イベント MOA-2013-BLG-551 は、イベントタイムスケール $t_E \sim 100$ 日の高増光率イベントであるため、有限ソース効果とパララックス効果が同時に発見される事が見込まれる。光度曲線の詳細解析から、有限ソース効果とパララックス効果を発見する事ができたが、さらにソース天体に伴星が付随することで起こるソース天体の公転運動の効果 (ザララップ効果) も発見された。ザララップ効果により、フィッティングパラメータの数が多くなったことでパラメータ同士の縮退が生じてしまい、レンズ天体の物理量の不定性がかなり大きくなってしまった。我々は、観測されたフラックスと主系列星の質量光度関係から導かれるレンズ天体の物理量の制限をフィッティングプロセスに組みこむことで、最終的なレンズ天体の物理量の不定性に大きな制限を加える事ができた。以上の解析から、MOA-2013-BLG-551 のレンズ系は、 $\sim 0.5M_{\odot}$ の M 型星を $\sim 20M_{Jup}$ の低質量褐色矮星が周回している系である事がわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P316a 畳み込みニューラルネットワークを用いた星像検出方法の検討

末松春乃 (大阪大学), MOA コラボレーション

我々、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループでは、MOA-II 望遠鏡で重力マイクロレンズ現象を利用した広視野高頻度の系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ現象は、銀河中心方向の高密度領域においてもその起こる確率は 10^{-6} という非常に稀な現象のため、MOA グループは毎晩銀河中心方向の何千万個もの星をモニターしている。また、増光現象を捉えるために差分画像解析 (Difference Image Analysis ; DIA) 測光を用いている。DIA により発見された新しい重力マイクロレンズ現象の候補天体は、実際の重力マイクロレンズ現象ではない場合が多く、そのほとんどが埃やサチレーション、システムティックにより引き起こされた偽のシグナル (False Positive) である。実際の観測では、各イベントに対して DIA 画像と光度曲線を観測者が目視で確認しその判別を行っているが、何千もの候補画像を人力で判別するのは効率的ではない。

本講演では、我々が構築した畳み込みニューラルネットワークを用いて DIA 画像を分類するシステムを紹介する。DIA によって得られた候補天体の学習データをミニバッチを用いて学習し、各学習パラメータのファインチューニングを行うことで、テストデータのうち約 88 % を正しく分類することができた。その学習によって得られた、最適化されたフィルターを用いることで、数秒で百枚単位の画像の判別を行うことができるようになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P317a 岡山 188 cm 望遠鏡を用いた長期視線速度観測によるプロキオン A 周りの惑星探索

安田俊樹, 佐藤文衛 (東京工業大学)

Procyon (α Canis Minoris) は周期が 40.84 年 (Bond et al. 2015) の分光連星である。準巨星から主系列星に属する Procyon A (スペクトル型: F5) と白色矮星 Procyon B から構成されている。Procyon A の実視等級は 0.37 と非常に明るく、また太陽からの距離が 3.51 pc と極めて近いため、連星系であることが発見されて以降 (Bessel 1844, Schaeberle 1896)、Procyon は恒星物理学の研究対象となっている。100 年を超す長い観測の歴史を有する一方で、現時点で惑星発見の報告例はない。しかしながら、その近さと明るさの点から、Procyon は系外惑星探索の有望な対象といえる。

本研究では、岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES を用いて得られた長期に渡る視線速度データを使用して、Procyon A 周りの惑星探索を行った。始めに、Bayesian MCMC 法を用いて連星の公転軌道要素を再決定した。視線速度の観測点から Procyon B による寄与成分を除去した後の RMS が約 7.0 m/s となり、公転周期約 7 年以内に約 0.6 木星質量以上の惑星が存在しないことがわかった。また残差に対して周期解析を行った結果、周期数十日の視線速度変動の存在が示唆された。これは現在までに報告されている太陽型振動の周期 (約 15 分) や恒星活動に起因する周期 (約 10 日) とは異なるものである。恒星の視線速度を変化させる原因としては、惑星の公転運動の他に、恒星活動領域の恒星表面上の移動や機器等の系統誤差に起因するものが考えられる。本発表ではこれら視線速度変動の原因と惑星の検出限界について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P318a IRD 戦略枠観測 : Search for Planets like Earth around Late-M Dwarfs – Precise Radial Velocity Survey with IRD

佐藤文衛 (東工大)、大橋永芳 (NAOJ)、小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大)、田村元秀 (東大/ABC)、大宮正士、葛原昌幸、原川紘季、堀安範、小西美穂子、日下部展彦 (ABC/NAOJ)、青木和光、工藤智幸、上田暁俊、Sebastien Vievard (NAOJ)、西川淳 (NAOJ/総研大/ABC)、平野照幸 (東工大)、成田憲保、石塚将斗 (東大)、黒川隆志 (ABC/農工大)、芹澤琢磨 (農工大)、Klaus W. Hodapp、Shane Jacobson、Donald B. Hall (ハワイ大)、IRD-SSP チーム

すばる望遠鏡用に開発された赤外線ドップラー装置 IRD (Infrared Doppler) は、視線速度法による M 型矮星周りの地球型惑星探索を主な目的とした観測装置である。低質量 (太陽質量の数分の一から十分の一) の M 型星は軽い惑星からも相対的に大きな力を受け視線速度変化が大きくなるため、太陽質量程度の星に比べ軽い惑星を検出しやすいという利点がある。また、低温・低光度のためハビタブルゾーンが中心星近傍に存在し、ハビタブルゾーンにある地球型惑星を検出することが可能である。IRD は 2017 年 8 月のファーストライト以降試験観測を進め、現在約 2m/s の測定精度が達成されている。

このたび、IRD を用いたすばる望遠鏡の戦略枠観測が採択された。本戦略枠観測では、将来の詳細観測に向けて太陽近傍の M 型矮星周りにハビタブルゾーン地球質量 ($\sim 1-3M_{\oplus}$) を発見し、また、M 型矮星周りのスノーラインを含む領域における地球型惑星から巨大惑星までの分布を明らかにし、惑星形成と進化を包括的に理解することを目的としている。この目的のため、約 60 個の晩期 M 型矮星に対して集中的な視線速度モニター観測を行う予定である。本講演では、計画の概要と進捗、今後の展望等について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Q. 星間現象】

3月14日(木) 午後(13:30-15:00) [G会場]

Q01a	13:00	The molecular gas faced to HII regions show no sign of acceleration	福井康雄 (名古屋大学)
Q02a	13:12	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 巨大分子雲複合体 W43 における高密度ガスとミニスターバースト II	河野樹人 (名古屋大学)
Q03a	13:24	大質量星形成領域に付随する赤外線バブルの銀河円盤全域における系統的研究	花岡美咲 (名古屋大学)
Q04a	13:36	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河面における分子雲中の高密度ガス質量比の定量	鳥居和史 (国立天文台)
Q05a	13:48	銀河系中心アーク中の分子雲-分子雲衝突	坪井昌人 (宇宙航空研究開発機構)
Q06a	14:00	Sgr B2 分子雲複合領域における分子雲衝突と大質量星形成の詳細 II	榎谷玲依 (名古屋大学)
Q07a	14:12	銀河中心領域における分子ガスループ形成の3次元磁気流体シミュレーション	富吉拓馬 (千葉大学)
Q08a	14:24	乱流的星間雲の擬似観測で探るクランプ状 CO/CI 雲の研究	立原研悟 (名古屋大学)
Q09a	14:36	中間速度 HI 雲の重元素量	早川貴敬 (名古屋大学)
Q10b	14:48	Cloud-cloud collision の同定アルゴリズム (1)	藤田真司 (名古屋大学)
Q11b	14:48	銀河系中心 50km/s 分子雲のフィラメントとコアの統計的性質	上原顕太 (東京大学)

3月15日(金) 午前(9:30-11:30) [G会場]

Q12a	09:30	Molecular-cloud-scale multi-line imaging toward W3(OH) in the 0.8 mm band	西村優里 (東京大学 / 国立天文台)
Q13a	09:42	Molecular-cloud-scale chemistry: constraints of physical conditions from chemical models	原田ななせ (台湾中央研究院天文及天文物理研究所)
Q14a	09:54	C ₄ H の双極子モーメントの改訂および存在量異常の解消	小山貴裕 (東京理科大学)
Q15a	10:06	窒素含有炭素質物質の宇宙曝露実験計画	遠藤いずみ (東京大学)
Q16a	10:18	アモルファスダスト熱放射による AME 放射起源の検証: 遠赤外線からミリ波帯への物理モデルに基づいたアモルファス熱放射モデルの適応	梨本真志 (東北大学)
Q17a	10:30	原子ガス定量における低密度領域のダストの星間減光と放射の非相関性	佐伯駿 (名古屋大学)
Q18a	10:42	分子雲コア内のダスト整列の多波長偏光観測	神鳥亮 (アストロバイオロジーセンター)
Q19b	10:54	赤外線観測装置 MIRIS による銀河系内拡散光の観測と星間ダストサイズの制限	佐野圭 (関西学院大学)
Q20b	10:54	おうし座分子雲周辺におけるダストの光学的性質の変化	吉田悠人 (東京学芸大学)
Q21b	10:54	ALMA アーカイブデータを用いた小マゼラン雲 N66 領域の広域分子雲探査	徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)
Q22a	11:06	大マゼラン雲のスーパーバブル 30 Dor C: ALMA で探る付随分子雲	山根悠望子 (名古屋大学)
Q23a	11:18	HI ガス衝突による大マゼラン雲の大質量星形成	柘植紀節 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

3月15日（金）午後（13:30-15:30）[G会場]

Q24a	13:30	マゼラニックシステムの金属量の精密定量2 山本宏昭（名古屋大学）
Q25a	13:42	大マゼラン雲の超新星残骸 N63A に付随する分子雲と電離ガス 佐野栄俊（名古屋大学）
Q26a	13:54	フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡によるカメレオン座分子雲領域の星間物質と宇宙線の探査 林克洋（名古屋大学）
Q27a	14:06	銀河中心に位置する超新星残骸 Sgr A East の再結合優勢プラズマおよび中性鉄輝線の起源 小野彰子（奈良女子大学）
Q28a	14:18	近赤外 [Fe II]・H ₂ 輝線マッピングで探る超新星残骸 IC 443 における宇宙線加速 國生拓摩（名古屋大学）
Q29a	14:30	超新星残骸 IC 443 の過電離プラズマに対する低エネルギー宇宙線の寄与 平山ありさ（奈良女子大学）
Q30a	14:42	パルサー星雲の球対称時間発展モデル 石崎渉（東京大学）
Q31a	14:54	パルサーの「TeV ハロー」の検出可能性とその示唆 須藤貴弘（東京大学）
Q32a	15:06	超新星残骸内部のパルサー星雲による Knee 宇宙線の加速 大平豊（東京大学）
Q33b	15:18	すざく、Chandra 衛星を用いた星形成領域 RCW 38 の広がった X 線放射の解析 福島碧都（首都大学東京）
Q34b	15:18	すざく、XMM-Newton, Chandra 衛星によるベラパルサー星雲の大局的構造 金丸善朗（宮崎大学）

3月16日（土）午前（9:30-11:42）[G会場]

Q35a	09:30	超新星残骸の非熱的 X 線観測を用いた衝撃波近傍の拡散係数の推定 辻直美（立教大学）
Q36a	09:42	すざく衛星による TeV ガンマ線未同定天体からの中性鉄輝線の探査 周戸怜（大阪大学）
Q37a	09:54	GeV ガンマ線・熱的 X 線観測による超新星残骸からの宇宙線逃亡の研究 鈴木寛大（東京大学）
Q38a	10:06	超新星残骸衝撃波前駆体からの偏光 H α について 霜田治朗（東北大学）
Q39a	10:18	超新星残骸全球での宇宙線の加速と逃走のテスト粒子シミュレーション 上島翔真（青山学院大学）
Q40a	10:30	NuSTAR による超新星残骸 CTB37B 衝撃波面からの非熱的硬 X 線の発見 馬場彩（東京大学）
Q41a	10:42	超新星残骸の MeV 宇宙線と 6.4 keV 中性鉄輝線 牧野謙（大阪大学）
Q42a	10:54	すざく衛星を用いた超新星残骸 HB9 の高温プラズマの観測 斎藤真梨子（奈良女子大学）
Q43a	11:06	すざく衛星による W51 領域からの中性鉄輝線の発見 嶋口愛加（奈良女子大学）
Q44a	11:18	SS433 ジェット先端領域のファラデーモグラフィ解析 酒見はる香（九州大学）
Q45a	11:30	X 線天文衛星 XMM-Newton の回折格子分光装置 RGS による Cygnus Loop 南西部の精密分光観測 内田裕之（京都大学）

Q01a The molecular gas faced to HII regions show no sign of acceleration

Yasuo Fukui, Kengo Tachihara, Shinji Fujita, Akio Ohama, Atsushi Nishimura, Rei Enokiya, Hidetoshi Sano (Nagoya University), Kazufumi Torii (NAOJ), and Kazuki Tokuda (Osaka Prefecture University/NAOJ)

It is believed that HII regions accelerate the molecular gas and triggers star formation in the compressed layer (Elmegreen and Lada 1977). This process seems reasonable and is widely accepted in the literature. In order to quantify this process we examined the molecular gas immediately surrounding HII regions both for single and multiple O stars in young and old HII regions. They include N159E, RCW38, RCW32, M20, Oph North and M42 (Fukui et al. 2018a; 2016; Enokiya et al. 2018; Torii et al. 2017; Tachihara et al. 2000; Fukui et al. 2018b). The results, unexpectedly, show that no molecular gas has signatures of acceleration as a velocity shift greater than 1 km s^{-1} at a sub-pc scale. The apparent very small acceleration does not support the significant compression of molecular gas by HII regions. We present an interpretation that ionization by O stars is more rapid than acceleration. We discuss the implications of the interpretation on the theoretical studies, and suggest that gas compression leading to star formation is made not by HII regions but by the other mechanism(s) including cloud–cloud collision.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 巨大分子雲複合体 W43 における
高密度ガスとミニスターバースト II

河野樹人, 立原研悟, 藤田真司, 西村淳, 大浜晶生, 佐野栄俊, 花岡美咲, 福井康雄 (名古屋大), 鳥居和史, 梅本智文, 南谷哲宏, 松尾光洋 (国立天文台野辺山), 久野成夫, 栗木美香 (筑波大), 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 切通僚介, 大西利和 (大阪府大), 津田裕也 (明星大), FUGIN チーム

W43 は $l = 30^\circ$ の銀河面に位置する巨大分子雲複合体で、3 つの大質量星形成領域 W43 Main, G30.5, W43 South で構成されている。太陽系からの距離は 5.5 kpc で、天の川銀河の Scutum Arm の tangent 領域に位置することが示唆されている。年齢 10^5 - 10^6 年程度の OB 型星が 20 個以上含まれており、ミニスターバーストと呼ばれる爆発的な星形成の現場である。これまで我々は、FUGIN データを用いて、150 pc にわたる巨大分子雲の空間分布と 40 - 50 km s^{-1} にわたる広い速度幅の存在を明らかにした (河野他 2018 年春季年会)。今回、新たに局所的に C^{18}O 強度の強い W43 Main, G30.5, W43 South に対して、分子雲の詳細解析を行った。その結果、3 領域それぞれで速度幅 5 - 10 km s^{-1} , 質量 10^5 - $10^6 M_\odot$, 速度差 10 km s^{-1} の 2-4 つの速度の異なる分子雲が存在することがわかった。さらに、巨大分子雲全体で ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O } J=1-0$ の積分強度、輝度温度のヒストグラムを作成し、天の川銀河の他の大質量星形成領域 W51, M17 との比較を行った。解析の結果、W43 は ^{12}CO の積分強度で 200 - 400 K km s^{-1} のガスの存在量が多く、 C^{18}O の輝度温度が最も高いことがわかった。これは、W43 は $N(\text{H}_2) \sim 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ の低密度ガスが速度方向に広く分布し、 $N(\text{H}_2) \sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ の高密度ガスが局所的に存在することを示唆している。本講演では、これまでの解析結果から高密度ガスと局所的なミニスターバーストの起源として、渦状腕における巨大分子雲複合体内部での多数の分子雲の衝突・合体シナリオを提案し議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q03a 大質量星形成領域に付随する赤外線バブルの銀河円盤全域における系統的研究

花岡美咲、金田英宏、鈴木仁研、國生拓摩、大藪進喜、石原大助、河野樹人 (名古屋大学)

銀河系には、赤外線でシェル構造が見える天体が多数存在する。これら赤外線バブルは、中心付近に大質量星が存在して強い紫外線を出し、周囲の星間物質が加熱を受けて形成された構造であると考えられている。また、中心星は濃いガス雲に覆われ、直接観測することは難しく、星形成過程は未だ不明な点が多い。近年、Spitzer の観測から銀河系内側領域 ($|l| \leq 65^\circ$ 、 $|b| \leq 1^\circ$) で約 600 天体の赤外線バブルがカタログ化され、盛んに研究が進められている。Hattori et al. (2016) では、「あかり」の中間・遠赤外線観測から、内側領域における赤外線バブルの光度とシェル形状が求められ、大質量星形成が議論された。大質量星からの輻射や星形成過程は星間物質の性質に大きく影響を与えるため、赤外線バブル周辺の星間物質の調査は、星形成過程の理解において重要である。

本講演では、「あかり」の全天観測から新たに見つけた銀河系外側領域 ($|l| \leq 180^\circ$ 、 $|b| \leq 5^\circ$) の赤外線バブル (Hanaoka et al. 2018) と内側領域の天体について、「あかり」と Herschel、WISE の観測から、各天体におけるダストの空間分布を求め、星間現象が赤外線バブルの性質に与える影響を議論する。多環芳香族炭化水素 (PAH) と 3 温度のダスト放射のモデルを用いて各成分の分布を求めると、外側領域と比べて内側領域の天体は、高温ダストの分布がバブル中心から大きくオフセットした天体が多く、PAH 放射の表面輝度と低温ダストの放射特性の空間変動が大きいことが分かった。Hattori et al. (2016) で、分子雲衝突による高温ダストのオフセットが議論されたこと、さらに、PAH の生成と破壊、低温ダストの放射特性の変化を考慮すると、内側領域の天体は分子雲衝突により形成された可能性が高い。一方、外側領域の天体は分子雲衝突の影響が見えず、赤外線バブル周辺の星間環境 (Hanaoka et al. 2018) が与える影響が大きいと示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q04a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 銀河面における分子雲中の高密度ガス質量比の定量

鳥居和史 (国立天文台), 藤田真司, 西村淳, 河野樹人, 立原研悟, 犬塚修一郎 (名古屋大), 徳田一起 (国立天文台/大阪府立大), 松尾光宏, 南谷哲宏, 梅本智文, 宮本祐介 (国立天文台), 久野成夫, 栗木美香 (筑波大), 津田裕也 (明星大), FUGIN チーム

最近の観測から、分子雲中の密度 10^4 個/cm³ 程度の高密度ガスにおける星形成のタイムスケールはおおよそ一様に約 20Myr となることが示された。一方、このような高密度ガスの形成メカニズムは未だはっきりとしない。そこで本研究では、高密度ガス形成プロセスの解明を目指し、そのための基本的な量である分子雲中の高密度ガス質量比 (f_{DG} = 高密度ガス質量/分子雲質量) を銀河面の広域に対して定量した。野辺山 45m 電波望遠鏡銀河面 CO サーベイレガシープロジェクト FUGIN によって得られた $l = 10^\circ - 50^\circ$ の ^{12}CO , C^{18}O ($J=1-0$) 輝線のデータを用い、銀河回転の tangential 点から距離 $\pm 30\%$ に含まれる範囲について解析を実施した。この範囲において、FUGIN の CO データは、銀河のバー構造、複数の渦状腕とその中間領域 (inter-arm) を含んでいる。分子雲の質量は ^{12}CO から求め、高密度ガスの質量は C^{18}O から求めた。ここで、高密度ガスは、*Herschel* の観測が示した星形成の条件 ($A_V > 8$ 等) を満たす成分として同定した。解析の結果、対象領域全域における f_{DG} は 2.9% と与えられた。定常状態において f_{DG} は高密度ガスの形成速度を示すため、この結果は、分子雲中の星形成は、その時間の大部分を高密度ガスの形成に費やしていることを示し、そのタイムスケールは数 Gyr と推計される。また、この f_{DG} は、渦状腕では 4-5% と大きな一方、inter-arm およびバー構造では、0.1-0.4% と小さくなることが分かった。これは銀河の領域間で、高密度ガスの形成プロセスに大きな差があることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q05a 銀河系中心アーク中の分子雲-分子雲衝突

坪井昌人, 北村良実 (宇宙研), 上原顕太 (東大), 宮脇亮介 (桜美林大), 堤貴弘 (NRAO), 宮崎敦史 (日本宇宙フォーラム), 三好真 (国立天文台)

我々は野辺山 45m 鏡により行われた銀河系中心領域のサーベイ観測 (CS $J = 1 - 0$ 1999, SiO $v = 0$ $J = 2 - 1$ 2011) をもとに分子雲-分子雲衝突の候補天体と探査し, 銀河系中心アークの分子雲と銀河面に平行に走る分子雲リッジが重なる部分に衝撃波トレーサである SiO 輝線の強い天体を発見した (M0.014-0.054). 偶然にもこの天体は, 我々の 50km/s 分子雲研究を目的とした ALMA による多輝線撮像観測 (2012.1.00080.S. PI M.Tsuboi) のマッピング範囲にあったので, それを使い M0.014-0.054 を調べた.

高密度分子ガストレーサである CS $J = 2 - 1$, $H^{13}CO^+ J = 1 - 0$ 輝線などでは M0.014-0.054 全体が輝いている. いくつかのピークにおいては速度的に主成分から離れた孤立成分が検出され, PV 図上ではそ主成分と孤立成分をつなぐ "橋" の存在が見られる. これは予想された分子雲-分子雲衝突の特徴の 1 つである. また SiO, CH_3OH 輝線も広い範囲で検出され C ショックが通過したことを示している. SO $N, J = 2, 2 - 1, 1$ 輝線は "Hot Molecular Core (HMC)" のトレーサであるが M0.014-0.054 の東端に位置する強いピークでのみ検出された. このピークは 86GHz 連続波で検出されたが, $H42\alpha$ 再結合線は検出できなかった. したがって, この天体は分子雲-分子雲衝突で作られた HMC であると考えられる. $c-C_3H_2$, $HN^{13}C$ などの輝線は M0.014-0.054 全体で弱く検出されたが, C_2H , $HCOOH$, $HOCO^+$, $HC^{15}N$ などの輝線はこのピークで強かった. また大変弱いながらも CCS 輝線が検出され化学的に若い天体であることもわかった.

本公演では M0.014-0.054 の力学構造と化学的特徴の詳細について報告する予定である.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q06a Sgr B2 分子雲複合領域における分子雲衝突と大質量星形成の詳細 II

榎谷玲依, 福井康雄, 立原研悟, 林克洋 (名古屋大)

銀河系中心部は、分子ガスの温度・密度・速度分散・磁場強度などの点で円盤部とは星間物質の物理環境が大きく異なる (e.g. Morris & Serabyn 1996)。このような特異環境下における星形成を解き明かすことは、系外銀河における爆発的星形成の仕組みを理解する上でも非常に重要である。Hasegawa et al. (1994) は、爆発的星形成領域である Sgr B2 において $^{13}\text{CO}(1-0)$ のデータを用いて視線速度 45 km/s の Hole 分子雲と 75 km/s の Clump 分子雲を発見し、両者が相補的な空間分布を示すことから分子雲衝突によって大質量星の形成が誘発されたと主張した。一方で、Henshaw et al. (2016) は、 $\text{HNC}(4-3)$ のデータを用いた lbv の三次元キューブの可視化を行い、Hole と Clump は一体の分子雲であり Clump が Hole を突き抜けた証拠がないと主張している。

今回我々は、 $^{13}\text{CO}(2-1)$ 、 $\text{SiO}(5-4)$ 、 $\text{HNC}(4-3)$ などの最新のアーカイブデータを用いて、この領域における分子雲衝突の可能性を再調査した。その結果、1. CO などの光学的に厚い輝線では Hole と Clump が明瞭に区別できるが、高密度トレーサーでは二つがマージし hole が消失すること、2. Hole よりさらに低速度の 35 km/s 雲 (shell) と 60 km/s 雲の間に衝突の痕跡があることを見いだした。これらの結果は、以下の分子雲衝突シナリオで統一的に解釈可能である。高密度でコンパクトな 90km/s 雲と薄く広がった 35km/s 雲 (shell) がぶつかり、90km/s 雲が突き抜けた。衝突による運動量交換で 90km/s 雲は 60km/s に減速した。90km/s 雲の中でも特に密度が高かった部分 (Clump) は 75km/s にしか減速されておらず、同じ部分の 20km/s 雲は 90km/s 雲に引きずられ 45km/s まで加速された (Hole)。また、Sgr B2 内では星形成領域が南北に整列しておりこれは磁場を含めた衝突のシミュレーションによって再現可能であることがわかった。講演では、Sgr B2 領域の衝突の起源にも言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q07a 銀河中心領域における分子ガスループ形成の3次元磁気流体シミュレーション

富吉拓馬, 松元亮治 (千葉大学)

天の川銀河の中心部における低温高密度な分子ループの生成機構を解明するために3次元MHDシミュレーションを行った。この分子ループは「なんてん」望遠鏡によるCO輝線の観測によって発見された (Fukui et al. 2006) ものであり、太陽プロミネンスにおける reconnection-condensation model (Kaneko & Yokoyama 2015, 2017) を銀河に適用した2次元シミュレーションが行われている (Peng & Matsumoto 2017)。Reconnection-condensation model を用いた分子ループの形成は次のように説明される。アーケード状の磁場とその根元に差動回転を模した速度場を与えると、磁場がねじられて膨張する。この磁気アーケード内で磁気リコネクションが起き、磁気フラックスロープが形成される。このロープの底に暖かいガスが集まってきて冷却されることによって低温高密度なフィラメントが作られ、これが分子ループになる。2018年春季年会では Peng, 松元が3次元シミュレーションの結果を報告したが形成された低温高密度フィラメントの赤道面からの高さが低く、磁力線に沿う落下速度は亜音速だった。今回は磁気アーケード両端の回転速度差が大きく、磁気ロープの高さが100pc以上になる場合の計算結果を報告する。またシアリングボックス近似を用いた局所3次元MHDシミュレーションを行い、その結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q08a 乱流的星間雲の擬似観測で探るクランプ状 CO/CI 雲の研究

立原研悟, 早川貴敬, 井上剛志, 福井康雄 (名古屋大)

古くから星間雲の構造として、滑らかな密度分布を仮定し、分子ガス、原子ガス (Photo-Dissociated Region; PDR), 電離ガスが層状に分布する、平行平板モデルが受け入れられてきた。このモデルでは、 H_2 分子と CO 分子の解離エネルギーの違いから、いわゆる CO-dark 分子ガスが存在し、星間ガスの総量を見積もる際の問題になることが示唆されてきた。しかし中性炭素原子 [C I] 輝線の観測から多くの領域で CO と C I がよく混ざって分布していることが示され、また高分解能観測により、実際に数 1000 AU スケール以下の小分子雲が検出され、星間雲は非常に不均一かつ粒状の分布をしていることがわかってきた。これら小分子雲の運動は、観測される超音速の星間乱流をうまく説明できる。このような構造の起源として、ガス流の衝突面で圧縮された原子ガスの熱的不安定性による乱流的微小構造の形成が、井上ほか (2012 年) などの数値シミュレーションにより提案されている。

そこで今回、数値シミュレーション結果に対して擬似観測を行うことにより、雲の時間進化に伴って、 $C II/C I/CO$ の存在比が変化し、それらが輝線強度比に現れる様子を調べた。シミュレーションはガス流の異なる初期条件に対して行い、0.3-9 Myr までの進化を追った。その結果、比較的広がった $C II$ に対し、0.1 pc スケールの粒状に分布する $C I$, CO の構造が見られた。また CO 分子の存在比はおおよそ数 Myr で 10^{-4} 程度まで増加し、 $CO/[C I]$ 輝線強度比も増大するが、3 Myr 程度以下の年齢では、 $H I$ 質量が総質量の 70% 程度を占めていることがわかった。また粒状の構造によって紫外線が雲内部まで浸透することにより、CO-dark な分子ガスは微量であり、おおよそ数 % 程度であることが示された。これらは観測的結果と調和的であり、さらに詳細な $C I$ 観測により、PDR のより現実的なモデル化に繋がることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q09a 中間速度 HI 雲の重元素量

早川貴敬, 福井康雄, 古賀真沙子, 丸山将平, 岡本竜治, 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学), Robin Shelton (University of Georgia), Manami Sasaki (Friedrich Alexander Universität)

中間速度 HI 雲 (intermediate velocity cloud; 以下 IVC) は、中高銀緯に存在し、銀河回転に従わない $|V_{\text{LSR}}| = 20\text{--}100$ km/s の天体である。距離決定が難しいこともあり、その起源については確かなことはわかっていないが、銀河系外に由来する可能性が指摘されている。IVC の重元素量が太陽系近傍の値より小さいことは根拠の一つであるが、これまでに得られた値は背景星の吸収を測定した物であり、限られた点の情報に過ぎない。

今回我々は、*Planck/IRAS* による 353GHz のダスト光学的厚み τ_{353} データ (Planck Collaboration 2014) を使って、ガス-ダスト比から IVC の重元素量を推定することを試みた。

中高銀緯には太陽系近傍の低速度ガスが広く分布しており、当然、IVC の同一視線にも存在する。(1) IVC に隣接する参照領域を設定し、その中で HI 積分強度 $W_{\text{HI}-\tau_{353}}$ 相関関係を得る。参照領域には IVC が存在しないので、低速度ガスだけの相関関係 ($W_{\text{HI}}^{\text{local}}-\tau_{353}^{\text{local}}$) と見做すことができる。(2) IVC と同一視線上の低速度 HI 積分強度 $W_{\text{HI}}^{\text{local}}$ と (1) の相関関係から、IVC 方向の τ_{353} に対する低速度ガスの寄与 ($\tau_{353}^{\text{local}}$) を推定し、差し引く ($\tau_{353}^{\text{IVC}} = \tau_{353} - \tau_{353}^{\text{local}}$)。 (3) 太陽系近傍の重元素量を反映した $W_{\text{HI}}^{\text{local}}-\tau_{353}^{\text{local}}$ と、IVC の重元素量を反映した $W_{\text{HI}}^{\text{IVC}}-\tau_{353}^{\text{IVC}}$ の比較から、IVC の重元素量を推定する。

上記の方法によって、IVC86-36 の重元素量は $\sim 0.2Z_{\odot}$ 以下と推定された。また、講演では他の IVC の結果についても報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10b Cloud–cloud collision の同定アルゴリズム (1)

藤田真司, 堤大陸, 佐野栄俊, 榎谷玲依, 西村淳, 河野樹人, 立原研悟, 大浜晶生, 林克洋, 柘植紀節, 大河一貴, 福井康雄 (名古屋大), 鳥居和史 (NAOJ)

大質量星は星間物質及び銀河の進化を考える上で重要な存在であり、その形成過程の解明は天文学の大きな課題の一つである。近年、大質量星を生む高密度ガスの形成をトリガーするメカニズムとして、原子ガス雲または分子ガス雲同士の衝突 (cloud–cloud collision, CCC) が大きく注目されており、すでに 30 以上の領域で報告されている。しかしながら、3 次元 (位置–位置–速度) の観測データだけでは、奥行き方向の空間分布や垂直方向の運動情報といった不確定な要素が多く、CCC による高密度ガス形成を統一かつ定量的に理解するに至っていない。

我々は未発見の衝突現場が銀河系内には数多く存在していると予想し、星間ガスの膨大なデータからそれらを自動同定することで、CCC のパラメータと星形成の関係を理解することを目指している。そこでまず、衝突の傍証の一つとして知られる 2 つの雲の間の“相補的な空間分布 (complementary distribution)” (e.g., Fukui et al. 2018, ApJ, 859, 166) に着目した。この分布は、視線速度の異なる 2 つの雲が衝突することで、一方の雲が他方の雲に型抜きするため得られる。この分布を自動同定するために、まず 2 つの雲のそれぞれの空間分布に対してパターンマッチングをとり、“相補的な空間分布”を数値として算出するアルゴリズムを作成した。計算には、残差二乗和, 相互相関係数, 輝度勾配などを採用した。これまでに人の目で“相補的”であると判断された星形成領域の分子雲データにこのアルゴリズムを適用したところ、両者の結果は概ね一致した。本研究のアルゴリズムを、FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with the Nobeyama 45-m telescope (FUGIN) データなどに適用することで、無バイアスに CCC の現場を探すことが可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11b 銀河系中心 50km/s 分子雲のフィラメントとコアの統計的性質

上原顕太 (東京大学), 坪井昌人, 北村良実 (ISAS/JAXA), 宮脇亮介 (桜美林大学), 宮崎敦史 (NAOJ/JSF)

赤外線天文衛星 Herschel による銀河系円盤領域のサーベイ観測により, 分子雲で多くのフィラメント状構造が発見された. この観測から, 円盤部では星生成の源となる分子雲が, 普遍的にフィラメントの状態が存在しており, フィラメントの幅は星形成に関係なく ~ 0.1 pc 程度であることが明らかになった. そして, フィラメントの柱密度が $\sim 10^{22} \text{cm}^{-2}$ より大きい領域に原始星や高密度分子雲コアが存在していることが明らかになり, フィラメントの密度と星形成には密接な関係があることが分かってきている. 一方, 銀河系中心領域の CMZ では, フィラメント状構造は G0.253 + 0.016 で同定されているのみであった.

我々は ALMA 望遠鏡による高空間分解能・高感度の CS($J = 2 - 1$) 輝線の観測 (2012.1.00080.S, PI M. Tsuboi) から, 50km/s 分子雲 (50MC) で 27 本のフィラメントを検出した (2017 年春季年会 Q51b). これは, CMZ でも分子雲がフィラメント状構造で普遍的に存在することを強く示唆している. 今回, 同定した 27 本のフィラメントを詳しく解析した結果, 分子雲コアが存在しているフィラメントは $\sim 8 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$ の柱密度を有しており, 1 本を除きその全てが分子雲同士の衝突領域 (CCC 領域) に存在していることが明らかになった. コアの性質 (質量分布など) の差は, フィラメント上に存在するかどうかよりも, CCC 領域に存在するかどうかが大きく影響していることも示唆された. さらに, 50MC 内では, フィラメントと分子雲の衝突が起きていると思われる領域が確認された. 以上から 50MC においては, CCC が大質量星形成に多大な影響を与える重要なプロセスであると結論づけられる. 本講演では, フィラメントとコアに関する統計的な解析の結果について発表する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12a Molecular-cloud-scale multi-line imaging toward W3(OH) in the 0.8 mm band

西村優里 (東京大学、国立天文台)、渡邊祥正 (筑波大学)、原田ななせ (中央研究院)、吉村勇紀、河野孝太郎、山本智 (東京大学)

Understanding structures and chemical compositions of molecular clouds is of fundamental importance for extragalactic astrochemistry. To connect global molecular-cloud properties with spatially-resolved distributions of various molecular species, we have conducted the multi-line molecular-cloud-scale imaging toward the Galactic star-forming region W3(OH) in the 3 mm band, as reported previously (Nishimura et al. 2017 ApJ, 848, 17). It is revealed that the relation between the line critical density and the molecular distribution is not straightforward, i.e., not only excitation conditions but also chemistry must be considered to explain molecular distribution. It is also indicated that the gas in diffuse or translucent regime contributes to a larger fraction of the total line emission from the 9.0 pc square centered at W3(OH).

To test the high- J transition lines of fundamental molecular species as tracers of star formation activities, we have recently carried out another multi-line imaging in the 0.8 mm band toward the corresponding area of W3(OH) with James Clerk Maxwell Telescope. In the central hot core, the lines of CS (7-6), SO (8₇-7₇), ¹²CO (3-2), CCH ($N = 4-3$), CH₃OH (1_{1,1}-0_{0,0}), HCN (4-3), HCO⁺ (4-3), HNC (4-3), H₂CO (5_{0,5}-4_{0,4}), and some others were detected. In general, the high- J transition line of each species traces a more compact area around the central hot core than the lower- J transition in the 3 mm band. Molecular emissions in the 0.8 mm band seem to trace almost exclusively high density, except for the ¹²CO (3-2) emission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q13a Molecular-cloud-scale chemistry: constraints of physical conditions from chemical models

原田ななせ (中央研究院)、西村優里 (東京大学/NAOJ)、渡邊祥正 (筑波大学)、山本智 (東京大学)、相川祐里 (東京大学)、坂井南美 (理研)、下西隆 (東北大学)

With the development of high-capability (sub-)millimeter telescopes, it has become possible to conduct astrochemical observations in external galaxies to study their physical conditions. To understand how extreme activities in external galaxies affect the chemical composition, the chemical composition in nearby, relatively quiescent sources needs to be understood in the same spatial scale as observations in external galaxies. Such multi-species observations of Galactic molecular clouds are recently conducted in the 10-pc scale. In this work, we simulate molecular spectra with a grid of physical parameters to assess which physical parameters agree best with observed spectra of Galactic molecular clouds averaged in the 10-pc scale. Time-dependent chemical abundance model and radiative transfer model are used to simulate modeled spectra with varying density, temperature, cosmic-ray ionization rate, and visual extinction. Modeled spectra include species that are commonly observed in external galaxies such as HCN, HCO⁺, CCH, HNC, HNCO, *c*-C₃H₂, CS, SO, N₂H⁺, and CN. Our results show that physical parameters having good agreement with observations have the density of $n = (1-3) \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$, much less than the commonly-quoted critical densities of those species. The chemistry time with the best agreement is $t = 10^5 \text{ yr}$, much shorter than the lifetime of giant molecular clouds. This result may imply frequent turbulence resetting the chemistry time in molecular clouds.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14a C_4H の双極子モーメントの改訂および存在量異常の解消

小山 貴裕 (東京理科大学), 尾崎 裕測 (群馬大学), 住吉 吉英 (群馬大学), 荒木 光典 (東京理科大学), 高野 秀路 (日本大学), 南 賢明 (東京理科大学), 大杉 歩 (東京理科大学), 祖母井 杏耶 (東京理科大学), 久世 信彦 (上智大学), 築山 光一 (東京理科大学)

C_nH ($n = 2 - 8$) 分子は最も単純な炭素鎖分子のシリーズであり, 若い分子雲のトレーサーとして不可欠な化学種である。しかし, C_4H の星間空間での存在量が, しばしば異常な値を示すことが知られている。具体的には, 様々な天体で報告されている C_4H の柱密度は, シュミレーションの結果より一桁大きい。その原因は柱密度の解析に用いた C_4H の双極子モーメントの理論計算値にある。一般的な量子化学計算法では, 電子基底状態 $^2\Sigma^+$ の双極子モーメントは, 比較的小さな値 (0.87 D) となる。しかし, 基底状態のすぐ近くに大きな双極子モーメント (4.4 D) を持つ電子励起状態 $^2\Pi$ があり, これら二つの状態の混合が起こる。その結果, 基底状態は大きな双極子モーメントを持つことが予想される。より大きな双極子モーメントを用いると, 観測されたライン強度から, より小さな柱密度が導かれる。しかし, これまでこの混合を考慮した C_4H の双極子モーメントの量子化学計算は行われていなかった。そこで本研究では, この混合を考慮した多配置間相互作用法 (MRCI) を用いて C_4H の双極子モーメントの再計算を行った。計算の結果, 双極子モーメントは 2.366 D と求まり, 従来の 0.87 D より約 3 倍大きな値となった。改訂された双極子モーメントを用いて様々な天体における C_4H の柱密度を再計算した結果, これまで考えられていた値より約一桁小さいことが明らかになった。また, C_nH 分子について柱密度の対数を取ると, これらが一つの直線上に並んだ。ここから C_nH 分子が逐次的な生成反応で炭素鎖が伸長していった可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15a 窒素含有炭素質物質の宇宙曝露実験計画

遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬 (東京大学), 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)

有機物は現在の宇宙にありふれているが、その起源や、それらがどのように太陽系の生命の誕生に寄与したかについては未だ詳細はわかっていない。様々な天体物理環境で観測される未同定赤外バンドは、その担い手が有機物に関連すると考えられているため、宇宙における有機物の起源を考える上で重要な研究対象である。我々はこれまで、赤外特性が古典新星周囲の未同定赤外バンドを極めてよく再現する窒素含有炭素質ダストの合成に成功した(2018年春季年会 Q31a 参照)。また本研究で、古典新星で観測される未同定赤外バンドに特徴的な $8\mu\text{m}$ 付近の broad な構造を再現するには、窒素の混入が重要であることを見出した。これに関連し、我々は現在、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り付け機構 ExHAM を利用した、窒素含有炭素質ダストの宇宙環境曝露実験を計画している。窒素含有炭素質ダストの吸収スペクトル中に見られた broad な $8\mu\text{m}$ の構造は、炭素質コンドライト中の不溶性有機物 (IOM) の赤外特性にも見られることがわかっている。また、窒素含有炭素質ダストの N/C 比は不溶性有機物の N/C 比をほぼ一致する。これらのことから、窒素含有炭素質ダストは太陽系初期の有機物の起源を探る上で重要な物質であると言える。本宇宙曝露実験により、恒星を起源とするダスト及び有機物が、太陽近傍における宇宙環境暴露によって、獲得する物性を明らかにし、その中に太陽系初期の有機物と共通する性質を見つける。本講演では、これまで室内合成実験および物性分析の結果、新星周囲の未同定赤外バンドの担い手の最も有力な候補と考える窒素含有炭素質物質の性質とその宇宙曝露実験計画の最新の進捗状況を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a アモルファスダスト熱放射による AME 放射起源の検証：遠赤外線からミリ波帯への物理モデルに基づいたアモルファス熱放射モデルの適応

梨本 真志, 服部 誠 (東北大学), 山本 哲生 (北海道大学), F. Poidevin (Instituto de Astrofísica de Canarias, Universidad de La Laguna)

異常マイクロ波放射 (AME) が星間空間中で観測されている。微小粒子の超速回転によって生じる双極子放射 (スピニングダスト放射) がその放射機構として提案されているが、スピニングダスト放射の担い手が同定されておらず、AME の起源として決め手に欠ける。Jones (2009) は 1K 以下で普遍的に発現するアモルファス物質の熱的性質を説明する 2 準位系 (TLS) モデルに基づいたアモルファスダストからの熱放射で AME が説明でき得ると指摘した。2 準位間のエネルギー差は AME の周波数帯と一致しており、2 準位間の共鳴遷移放射が AME となり得る。そこで本研究では物理モデルから動機付けられた TLS モデルで記述されるアモルファスダストに注目し、遠赤外線からミリ波帯におけるダスト放射を TLS モデルでセルフコンシステントに説明可能か検証した。TLS と電磁波の相互作用を記述する Bloch 方程式を解いてアモルファス物質の複素誘電率を計算し、アモルファスダストからの放射強度を推定した。計算結果を QUIJOTE などによって得られた活発な AME 天体の一つである Perseus 分子雲の観測データと比較した。その結果、TLS モデルは観測データをよく再現できることがわかった。またアモルファスダストの形状は楕円体とし、一様磁場に対して完全に整列していると仮定し、アモルファスダストによる偏光放射の計算したところ、アモルファスダスト放射の偏光度はアモルファス物質の複素誘電率の実部に強く依存し、遠赤外線からサブミリ波帯に比べ、AME ピーク付近での偏光度の方が低くなり得ることを発見した。この結果は現在の AME 偏光観測の結果とも合致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17a 原子ガス定量における低密度領域のダストの星間減光と放射の非相関性

佐伯駿, 山本宏昭, 立原研悟, 林克洋, 福井康雄 (名古屋大学), 大朝由美子 (埼玉大学)

分子雲形成のシミュレーションによると、分子雲は 100 K 以下の光学的に厚く冷たい中性水素原子ガス (HI ガス) の中で形成されると考えられている (Fukui et al.2018)。光学的に厚い HI ガスの諸性質を観測的に明らかにすることは分子雲形成の理解を深める上で重要である。我々は分子雲形成領域として高銀緯分子雲ペガサス座ループに注目した (Yamamoto et al. 2006)。この領域において、星間水素の精密定量を行い、光学的に厚い HI ガスの性質を明らかにしてきた (佐伯他 2018 年秋季年会)。しかし、ペガサス座領域は J band の減光が小さいため、Okamoto et al. (2017) で用いられていたような J band 減光用いた τ_{353} と HI 積分強度 ($W(\text{HI})$) の非線形性の関係を導出することができず、Okamoto et al. (2017) で求められた値を元に解析を行っていた。今回、GAIA と Sloan Digital Sky Survey (SDSS) のデータを用いることでペガサス座ループの減光量を精密に測定し、この結果を用いて星間水素の定量を行った。0.46° × 0.46° のグリッドを用意し、その中にある星の g, r, i バンドの 2 色図を作成した。二色図上で、M 型星は赤化ベクトルとよく分離できており、M 型星の色超過から減光を求めマップを作成した。さらに GAIA データを使用し、ペガサス座ループの前景にある M 型星は除いた。この解析によりペガサス座ループにおいて $W(\text{HI}) = \tau_{353}^{1.25}$ という値が導かれ、これはペガサス座領域よりも密度の高いペルセウス座領域と同様の値となった。また、減光マップと τ_{353} の分布はよく似ていることがわかった。本公演では減光の導出方法の詳細と減光も含めた非線形性の関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q18a 分子雲コア内のダスト整列の多波長偏光観測

神鳥亮 (ABC), 田崎亮 (東北大学), 長田哲也 (京都大学), 田村元秀, 日下部展彦 (ABC), 富阪幸治, 齋藤正雄, 立松健一 (国立天文台), 中島康 (一橋大学), Jungmi Kwon (ISAS/JAXA), 松本倫明 (法政大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), IRSF/SIRPOL チーム

ダストによる星間偏光のメカニズムは半世紀以上にわたる謎とされてきたが、近年、輻射トルク理論が標準理論となりつつある。しかし、観測からの確認・制限は十分ではない。これまで主に牡牛座領域での観測がなされてきたが、対象が分子雲複合体ゆえの問題がある。それは、視線方向の偏光ジオメトリによる消偏光効果を排除できず、これとダストの偏光効率の低下との切り分けができないことである。そこで我々は、孤立した分子雲コア FeSt 1-457 の多波長偏光観測データ (可視: Subaru/FOCAS、近赤外: IRSF/SIRPOL、サブミリ波: APEX/PolKa) を取得した。近赤外偏光では、美しい直線的な偏光と減光の相関図が得られた (相関係数=0.79)。一方で、可視 (V バンド) では無相関、サブミリ ($870 \mu\text{m}$) では逆相関の偏光-減光関係が得られた。このことから、可視ダストならびにサブミリダストは、コア内で偏光していないことがわかった。近赤外線に感度のあるダストだけがコア内で偏光していること (ただし、確認された深さは $A_V < 25 \text{ mag}$ まで) が判明した。このことは、Serkowski 則のコア内での劇的な変化を示唆する。標準輻射トルクモデルコード (DDSCAT) を用いてこれらを説明する試みが進行中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q19b 赤外線観測装置 MIRIS による銀河系内拡散光の観測と星間ダストサイズの制限

佐野圭, 松浦周二 (関西学院大学), 大西陽介, 松原英雄 (東京工業大学), Woong-Seob Jeong, Jeonghyun Pyo, Il-Jong Kim, Hyun Jong Seo, Wonyong Han, DaeHee Lee, Bongkon Moon, Wonkee Park, Younsik Park, MinGyu Kim (KASI), 松本敏雄, 中川貴雄, 白旗麻衣, 新井俊明 (ISAS/JAXA), 津村耕司 (東北大学), 家中信幸 (東京大学)

銀河系内拡散光 (Diffuse Galactic Light : DGL) とは星間ダストによる星光散乱であり、紫外線から近赤外線にかけて観測される。DGL を観測することにより、ダスト粒子のサイズや反射能などの諸特性を調査することができる。中間赤外線で平坦な星間減光曲線からは、ミクロンサイズの大きな粒子が存在することが示唆されるが、DGL 観測から粒子サイズを制限するためには、これまでの研究よりも高い精度での多波長観測が必要である。そのために本研究では、韓国初の宇宙空間における赤外線観測装置 Multi-purpose Infra-Red Imaging System (MIRIS) の広い視野 ($3.67^\circ \times 3.67^\circ$) を利用し、近赤外線の2波長帯 $1.1 \mu\text{m}$ と $1.6 \mu\text{m}$ において高銀緯領域を撮像観測した。得られたデータに対して測光較正を行った後、画像上の点源を除去することにより、拡散光成分を抽出した。サンプル数の向上により、近赤外線 DGL は遠赤外線 $100 \mu\text{m}$ 放射と良い一次相関を示し、これまでで最も精度の良い結果が得られた。粒子サイズ分布を制限するために、減光曲線を再現するミクロンサイズの粒子を含むダストモデルと、含まないモデルを用いて DGL のスペクトルを予測した。その結果、観測された DGL のカラーはミクロンサイズの粒子を含まないモデルに近いことが分かった。本研究の光学的に薄い領域に比べて、平坦な減光曲線が観測された領域は光学的に厚いため、サイズ分布が領域の密度に依存することが示唆される。これは高密度領域ほどダスト粒子の成長が促進されるという理論的研究の結果とも矛盾しない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q20b おうし座分子雲周辺におけるダストの光学的性質の変化

吉田悠人、土橋一仁、下井倉ともみ、西浦慎悟（東京学芸大学）、上原隼（桐朋高等学校）、直井隆浩（情報通信研究機構）

本研究の目的は、分子雲表面でのダストの光学的性質の変化を観測的に捉えることである。ダストの光学的性質は、ダストの粒径分布や組成に依存する（e.g., Draine & Lee 1984）。密度の高い分子雲内では、ダスト粒子同士の衝突合体やガスの吸着によるマンツルの形成により、ダストの光学的性質が変化していることが予想される。実際に、このような変化は遠赤外線ダスト放射率の変化（e.g., Stepnik et al. 2003）や、ダストの性質の指標である R_V の変化（e.g., Kandori et al. 2003）として、太陽系近傍の分子雲で検出されている。これらの研究も含め、分子雲の内部の濃密な領域（分子雲コア）でダストの成長を捉えたとする観測例は幾つかあるが、希薄な星間空間と分子雲との境界領域でのダストの性質の変化を明らかにした研究例はまだ無い。

そこで本研究では、おうし座分子雲に対して可視光帯近赤外線での多波長測光観測を行い、分子雲表面でのダストの光学的性質の変化を調べた。可視光帯の観測には東京大学木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡と Kiso Wide Field Camera (KWFC) を利用し、おうし座分子雲とその周辺領域を含んだ 120 平方度に及ぶ広範囲を 4 バンド ($BVRI$) で撮像観測した。さらに、Two Micron All Sky Survey (2MASS) の 3 バンド ($JHKs$) のデータを活用することで、同分子雲を網羅する多波長色超過マップを作成した。 $E(R-I)$ 対 $E(B-V)$ 等の複数の色超過マップの相関を調べたところ、 A_V 換算で 0.60.8 mag を境に、色超過の比（赤化則）が有意に変化していることを見出した。これは、分子雲の外側と内側でのダストの性質に、明らかな違いが有ることを意味する結果であると考えられる。この講演では、研究の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21b ALMA アーカイブデータを用いた小マゼラン雲 N66 領域の広域分子雲探査

徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 後藤直, 後藤健太, 原田遼平, 杉内拓, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学)

小マゼラン雲 (SMC) は、銀河系から最も近い (距離 $\sim 60\text{kpc}$) 銀河の 1 つであり、銀河系と比較しても重元素量が $1/5$ 程度と少なく、そのような環境下における星形成や分子雲の性質を探る上で重要な実験場である。銀河北部に位置する N66 領域は小マゼラン雲において最も明るく大規模な H II 領域であり、大きさ $\gtrsim 10\text{pc}$ 、質量 $\sim 10^4 M_{\odot}$ の巨大分子雲の付随が NANTEN や ASTE 等の観測により確認されていることから、大規模な星団形成の初期段階状態にあると期待される。我々はその分子雲の詳細構造を探るため、ALMA Cycle 5 の ACA observatory filler programs として実行され、2018 年 9 月に公開された $^{12}\text{CO} (J = 2-1)$ のアーカイブデータ (2017.A.00054.S) を解析した。解析に用いたのは N66 領域周辺の $\sim 13' \times 5'$ の領域であり、再イメージング後の最終的な空間分解能と感度はそれぞれ、 $\sim 7''$ (SMC の距離で $\sim 2\text{pc}$)、 $\sim 0.1\text{K}$ (速度分解能 $= 0.2\text{km s}^{-1}$) であった。ACA 7m array の結果には、TP array のデータと比較すると、顕著なミッシングフラックスは確認されなかった。よって N66 領域の分子雲は、薄く広がったガス成分はほとんど存在せず、比較的コンパクトな構造で形成されていると言える。長さが 10pc 規模のフィラメント状分子雲が数本存在し、それらは H α 輝線および $24\mu\text{m}$ 放射で明るい場所に位置していることから、フィラメント状分子雲が星団形成において重要な役割を果たしたと考えられる。また、それらフィラメントからは独立したコンパクトな分子雲 (典型的なビリアル質量 $\sim 10^3 M_{\odot}$) が 10 個以上存在していた。これらの分子雲は本サーベイによって初めて検出されたものである。現在は活発な大質量星形成活動が見られなもも存在し、分子雲形成/星形成の極初期段階を探る上で重要な天体である可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22a 大マゼラン雲のスーパーバブル 30 Dor C : ALMA で探る付随分子雲

山根悠望子, 佐野栄俊, 長屋拓郎, 井上剛志, 犬塚修一郎, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 水野範和, 河村晶子 (NAOJ), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 大西利和 (大阪府立大学)

30 Doradus C は大マゼラン雲 (LMC) に位置する直径 ~ 100 pc のスーパーバブルであり, シェル西側でシンクロトロン X 線が明るいという特徴を持つ. これまで我々は ASTE ほかによる CO 観測 (空間分解能 $\sim 5\text{--}11$ pc) により付随する分子雲を特定し, その多くがシェル西側に位置することを明らかにしてきた (Sano et al. 2017; Yamane et al. 2018 in prep.). これらの分子雲はシンクロトロン X 線の分布と 10 pc のスケールで一致する. これは Inoue et al. (2009, 2012) で理論的に提唱された衝撃波星間ガス相互作用により, 分子雲周辺で乱流・磁場が増幅した結果であると解釈できる. 一方, 分子雲周辺での磁場増幅に伴うシンクロトロン X 線増光を捉えるには, sub-pc スケールの高分解能 CO 観測が必須である (e.g., RX J1713, Sano et al. 2013).

今回我々は, 新たに ALMA 12 m & 7 m アレイおよび TP による角度分解能 $\sim 3''$ (空間分解能 ~ 0.7 pc) の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 観測を行なったので報告する. 結果として, 直径 0.8–1.2 pc、質量 $\sim 30\text{--}300 M_{\odot}$ の分子雲を数十個特定した. これらは孤立して分布しており、広がった成分は確認できない. このことは, 30 Doradus C に内包される大質量星星団からのフィードバックや, 複数の超新星爆発衝撃波に曝されたため, 広がったガスが掃かれたと解釈できる. また, シンクロトロン X 線は, 分子雲周辺で有意に増光していることがわかった. 分子雲と X 線強度ピークのずれは ~ 1 pc である. これは RX J1713 で見られた傾向と概ね等しい (~ 1.2 pc, Sano et al. 2013). 以上の結果を踏まえ本講演では, スーパーバブル 30 Doradus C における衝撃波と星間ガスの相互作用について論じる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q23a H_I ガス衝突による大マゼラン雲の大質量星形成

柘植紀節、佐野栄俊、山本宏昭、田村陽一、立原研悟、井上剛志、福井康雄（名古屋大学）、戸次賢治（ICRAR/西オーストラリア大学）

大質量星を含む巨大星団の形成過程を解明することは、銀河進化や宇宙の構造形成を解明する上で不可欠である。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) の空間分布と速度構造の詳細解析、*Planck* 衛星による 353 GHz でのダスト放射の光学的厚みと H_I 強度の比較を行ってきた。その結果 LMC のディスク成分 (D 成分) に、相対速度約 -50 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、巨大星団が形成されたというシナリオを提唱してきた (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2018)。

今回、我々は新たに D 成分と L 成分の中間の速度をもつ H_I ガスを中間速度成分 (I 成分) と定義した。I 成分は L 成分と D 成分の衝突時の運動量保存則によって $\sim 20 \text{ km s}^{-1}$ 程度減速された成分であり、衝突による圧縮を最も受けている成分だと考えられる。また I, L 成分の質量はそれぞれ D 成分の 45%, 20% 程度である。

L, I, D 成分の境界から LMC 全面に分布する ~ 700 個の大質量星までの距離を計算したところ、I 成分との空間一致が最もよく、 ~ 450 個の大質量星が I 成分上、または境界から 20 pc 以内に位置していることがわかった。また、LMC 全面に ~ 700 個の星をランダムに分布させて L, I, D 成分の境界からの距離を計算した結果とは有意に異なることを確かめた。これは I 成分が少なくとも 65% 以上の大質量星の形成と物理的に関係していることを示唆する。また、主要な 20 個の星形成領域について物理量の計算を行ったところ、形成される大質量星の数は I 成分の質量と最も相関が良かった。本講演では LMC 全面の大質量星形成において H_I ガス同士の衝突による圧縮が重要な役割を果たしていることを論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q24a マゼラニックシステムの金属量の精密定量 2

山本宏昭, 古賀真沙子, 岡本竜治, 早川貴敬, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

大小マゼラン雲に付随するマゼラニックブリッジ、マゼラニックストリーム、リーディングアームは我々から最も近傍にある銀河間相互作用によって形成されたシステムである (Fujimoto & Sofue 1976 他)。近年、可視光や紫外線の吸収線の観測による金属量探査により、これらの起源が明らかになってきた (Fox et al. 2013 他)。しかし、マゼラニックシステム (MS) は差し渡し 200 度にわたる巨大なシステムであるにもかかわらず、吸収線の観測はわずか 10 点程度のみであるため、MS 全体にわたる金属量の詳細な分布は明らかになっていない。

我々は MS 全体の金属量分布を特定し、銀河間相互作用の実態を明らかにするため、中性水素原子 (HI) の 21cm 線と Planck/IRAS 衛星のデータから導出された星間ダストのパラメータ (光学的厚み: τ_{353} , 温度: T_d) を用いた解析を行ってきた (山本他 2018 年秋季年会等)。MS 方向には銀河系内 (GC) の成分が前景成分として存在する。HI は速度で分離できるが、 τ_{353} は視線方向の積分値であるため、MS 方向の GC 成分を精度よく差し引く必要がある。この差し引きを以下のように行った。1) MS 成分の周囲の GC 成分のみが存在する領域において、HI の積分強度 W_{HI} と τ_{353} の関係を T_d ごとに導出する。2) MS 方向の W_{HI} と τ_{353} の関係を T_d ごとに導出する。3) 2) に含まれる GC 成分が 1) の成分と同じ性質を持つと仮定し、2) の結果から 1) の結果を差し引くことで MS 成分の τ_{353} を導出する。この方法により求められた GC 成分と MS 成分の τ_{353} と W_{HI} について、 T_d が高い点のみを使用して原点を通る直線で fit し、それぞれの傾きの違いから MS の金属量を推定した。このような方法でマゼラニックストリームについて W_{HI} が 50 K km s^{-1} 以上の領域に対して解析を行い、金属量が太陽系近傍の $1/4$ から $1/10$ 程度であると見積もった。本講演ではこの結果も含め、精密定量の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q25a 大マゼラン雲の超新星残骸 N63A に付随する分子雲と電離ガス

佐野栄俊, 長屋拓郎, 山根悠望子, 柘植紀節, 井上剛志, 犬塚修一郎, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 松村英晃, 藤井浩介 (東京大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 他 N63A プロジェクトチーム

超新星残骸 (SNR) に付随する星間雲の特定は、衝撃波によるガス層の加熱/電離の理解のみならず、非熱的・熱的 X 線の放射機構や、宇宙線の起源を理解する上で本質的である。これまで我々は、銀河系内外の SNR における星間物質の精査を通して、星間雲の粒状分布や、光学的に厚い原子雲の存在が、これらの理解に欠かせないことを示してきた (e.g., Inoue et al. 2009, 2012; Sano et al. 2010, 2013; Fukui et al. 2012, 2017)。一方、SNR 中の電離ガスについては、中性星間雲 (水素分子・原子) に対する存在量が極めて少ないため取り扱ってこなかった。

N63A は、大マゼラン雲の HII 領域 DEM 243 内に位置するガンマ線 SNR であり、熱的 X 線・電波連続波で明るくという特徴を持つ (e.g., Dickel et al. 1993; Hughes et al. 1998; Campana et al. 2018)。衝撃波電離及び光電離起源の光学星雲が付随していることから、大量の電離ガスの存在が示唆される (e.g., Warren et al. 2003)。

今回我々は、ALMA 12 m アレイによる $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 観測を行なったので報告する (分解能 ~ 0.4 pc, Sano et al. 2018, arXiv:1809.0248)。分子雲は $0.4\text{--}1.5$ pc の粒状構造を示し、光学星雲に埋め込まれるように分布している。X 線の吸収柱密度は $\sim 1.5\text{--}5.3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ であり、分子雲方向の平均陽子柱密度よりも一桁以上小さい。これは X 線が分子雲の背面/前面双方から放射されていることを意味し、衝撃波に飲み込まれながらも生き残ったガス塊であることを示唆する。同領域からは非熱的 X 線や高温プラズマも検出されたことから、衝撃波相互作用による磁場増幅やガス加熱が起きていると考えられる。全星間陽子密度は $\sim 190 \pm 90 \text{ cm}^{-3}$ であり、電離ガスが支配的である。以上を踏まえ本講演では、N63A における衝撃波-星間雲相互作用と宇宙線加速について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡によるカメレオン座分子雲領域の星間物質と宇宙線の探査

林克洋, 山本宏昭, 佐野栄俊, 福井康雄 (名大理), 水野恒史 (広大理), 田島宏康, 奥村暁 (名大 ISEE)

宇宙線と星間物質の核子相互作用によって生じる GeV ガンマ線は、星間物質の熱的・化学的状态に依存しない星間ガスのよいトレーサーである。フェルミ衛星搭載の LAT 検出器は、その高い感度によって多くの拡散ガンマ線を捉え、銀河系内の星間物質や宇宙線の分布を明らかにしてきた。太陽系から ~ 150 パーセクの距離に位置し、原子・分子合わせて $10^4 M_{\odot}$ オーダーのガスをもつカメレオン座分子雲領域も、その一つである。これまでの LAT のデータを用いた解析では、領域内のガスを、21cm 線で検出される原子成分、一酸化炭素 (CO) でトレースされる分子成分、ダストの分布から推定した通常の電波観測でトレースできないガス、の 3 成分に分類し、それらの間に線形性を仮定してガンマ線との相関を調べることで、宇宙線スペクトルやガスの質量などを導出してきた (Ackermann+12, ApJ 755, 22; Planck Collaboration XXVIII, 2015)。しかしその解析では、原子ガスに対して一様なスピン温度が仮定されており、ガスの真の柱密度に対する不定性が残されている。一方本研究では、プランク衛星の観測によって得られたダストの光学的厚さ (τ_{353}) を利用し、 τ_{353} に対して線形および非線形な関係をもつトータルのガスの柱密度 (N_{H}) (e.g., Fukui+15; Okamoto+17) のモデルを立て、それらをガンマ線データと比較することで、ガスの柱密度の定量を行った。その結果、 τ_{353} に対して N_{H} が冪 ~ 1.3 乗に比例するモデルが最もガンマ線データをよく再現することを見出した。得られた柱密度から、CO と水素分子間の変換係数や宇宙線スペクトルを導出することに成功した。本講演では、これらの解析手法や物理量について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27a 銀河中心に位置する超新星残骸 Sgr A East の再結合優勢プラズマおよび中性鉄輝線の起源

小野彰子 (奈良女子大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内茂雄 (奈良女子大学), 小山勝二 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学)

Sagittarius (Sgr) A* は天の川銀河の中心に位置する超巨大質量ブラックホールである。現在の明るさは小規模な X 線フレアを含み $\sim 10^{33-35} \text{ erg s}^{-1}$ であるが、X 線反射星雲の観測から、Sgr A* は過去に $\sim 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ で明るい X 線フレアを起こしていたことも示唆されている (e.g., Koyama 2018, PASJ, 70, 1)。

Sgr A East は銀河中心に位置する超新星残骸である。Koyama et al. (2007, PASJ, 59, 237) では、そのスペクトルは 2 温度 ($\sim 1.2, \sim 6 \text{ keV}$) の電離平衡プラズマとべき型関数モデルで再現された。しかしながら $\sim 6 \text{ keV}$ という高温のプラズマは通常の超新星残骸では見られない。Sgr A* は Sgr A East の内部に位置しており、Sgr A* の過去の光が Sgr A East のプラズマ進化にも何らかの影響を与えた可能性が考えられる。

今年の春季年会では、「すざく」アーカイブデータを用いて Sgr A East の X 線スペクトル解析を行い、 $\sim 9 \text{ keV}$ に Fe の再結合連続線を発見し、Sgr A East が電離より再結合が優勢のプラズマ (RP) を持つこと、またプラズマには含まれない中性鉄輝線が存在することを明らかにした。今回、この RP と中性鉄輝線の起源を同時に説明するシナリオとして、Sgr A* の X 線フレアの照射による光電離を提案する。RP の形成に必要な Sgr A* の光度は $\sim 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ と見積もられた。RP の再結合タイムスケールから、Sgr A* は数 $10^3 \sim 10^4$ 年前に明るい X 線フレアを起こした可能性がある。一方、中性鉄輝線の形成に必要な Sgr A* の光度は $\sim 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$ と見積もられた。これは Sgr A* が現在の定常光度 $\sim 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$ より明るい小さなフレア状態の場合に説明可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q28a 近赤外 [Fe II]・H₂ 輝線マッピングで探る超新星残骸 IC 443 における宇宙線加速

國生拓摩、鳥居洋希、金田英宏、石原大助（名古屋大学）、永山貴宏（鹿児島大学）、尾中敬（東京大学）

近年の X 線・ γ 線観測により、銀河系内の宇宙線は超新星残骸の衝撃波領域で加速されることが明らかになりつつあるが、その具体的な加速メカニズムは十分に理解されていない。宇宙線の主成分である宇宙線陽子は、星間陽子との相互作用を通じて放射される γ 線により同定される。超新星残骸 IC 443 では、この宇宙線陽子を起源とした γ 線が見つかっており、宇宙線の加速メカニズムを明らかにする上で恰好のターゲットである。特に、IC 443 では衝撃波と周りの星間物質が強く相互作用しており、様々な物理状態の衝撃波や星間陽子が存在していると考えられる。このことから、IC 443 周辺の星間物質の物理状態を調べて γ 線観測と比較することが、IC 443 における宇宙線の加速メカニズムを理解する上で重要である。

我々は南アフリカ望遠鏡 IRSF に狭帯域フィルターを搭載し、IC 443 の広域 ($30' \times 35'$) にわたり [Fe II] 輝線 (波長 1.26、1.64 μm) と H₂ 輝線 (2.12、2.25 μm) のマッピング観測を行った。[Fe II] 輝線は、星間ダスト破壊を伴う、密度の低い領域を伝播する速い衝撃波 ($> 100 \text{ km s}^{-1}$) を捉える。一方、H₂ は速い衝撃波では解離されてしまうため、濃い星間物質により減速された遅い衝撃波 ($< 50 \text{ km s}^{-1}$) を捉えることができる。観測の結果、 γ 線が検出された IC 443 の南の領域では [Fe II]・H₂ 輝線が混在しており、衝撃波と相互作用する星間物質がクランピーな構造であることが示唆される。また、 γ 線強度のピーク付近では H₂ 輝線が卓越しており、宇宙線陽子のターゲットとなる星間陽子の数が多いことと矛盾しない。本講演ではこれらの [Fe II]・H₂ 輝線と γ 線の空間分布の比較をもとに、IC 443 における宇宙線加速のメカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q29a 超新星残骸 IC 443 の過電離プラズマに対する低エネルギー宇宙線の寄与

平山ありさ, 山内茂雄, 信川久実子 (奈良女子大学), 小山勝二 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学)

過電離プラズマは衝突電離よりも再結合の方が支配的な状態にあるプラズマである。超新星残骸におけるこのプラズマの形成過程は、熱伝導や断熱膨張による電子冷却説と外部の X 線や低エネルギー宇宙線の照射により電離を進める電離促進説とがあり、議論が続いている。

超新星残骸 IC 443 は初めて過電離プラズマが発見された超新星残骸である (Kawasaki et al. 2002, ApJ, 572, 897; Yamaguchi et al. 2009, ApJ, 705, 7)。私たちは、IC 443 が元素ごとに異なる電離状態にある事を示し、電離進行プラズマ状態から過電離プラズマ状態へと遷移したと結論づけた (平山他、2018 年日本天文学会春季年会発表)。スペクトルに Si、S、Fe の Ly α 輝線が明確に見えていて、電離の状態を示す初期電離温度は Si、S では ~ 1.5 keV、Fe では ~ 6 keV と高温である事が分かった。この高い電離状態のイオンは電離進行プラズマを持つ超新星残骸には見られないため、電離進行プラズマから過電離プラズマに遷移する間に電離状態を進ませるプロセスが必要である。また、IC 443 から中性鉄輝線を発見し、この起源は低エネルギー宇宙線陽子による可能性が高いことを示した (平山他、2018 年日本天文学会秋季年会発表)。

このような結果を踏まえ、低エネルギー宇宙線が IC 443 の過電離プラズマの形成に寄与していると考えた。本講演ではこのシナリオに基づいた定量的な評価の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30a パルサー星雲の球対称時間発展モデル

石崎渉, 浅野勝晃 (宇宙線研究所), 川口恭平 (宇宙線研究所)

回転駆動型パルサーは、自身の回転エネルギーを相対論的なプラズマ流として星間空間に放出している。これは、超新星残骸・星間物質との間で衝撃波を形成し、パルサー星雲と呼ばれるという広がった天体として輝く。パルサー星雲の空間的な構造の標準的描像を確立した研究に Kennel & Coroniti (1984)(以降、KCモデル)がある。彼らは、球対称・定常のもとで、相対論的な電磁流体力学の方程式を解き、その解を用いて非熱的粒子の輸送をモデル化し、星雲の放射モデルを構築した。KCモデルは、高周波の放射ほど放射領域が小さくなることを予言するが、X線と電波の放射領域の大きさが同程度であるパルサー星雲が発見されたことで、再考の余地があることがわかってきた。

我々は、パルサーの回転進化・周囲の超新星残骸の進化の効果を取り入れて、球対称・非定常な電磁流体力学の方程式を解くことで、KCモデルの定常の仮定がどれだけ正しいかを確かめた。さらに、放射冷却を考慮して星雲内の非熱的粒子のエネルギースペクトルを計算し、星雲からの放射を計算した。その結果、パルサー星雲における定常状態の仮定は、流体力学的な構造と放射モデルの両面で、非常に良い近似であることがわかった。本講演では、以上の結果に加え、パルサー星雲の放射スペクトル・表面輝度の時間進化についての計算結果、および中心天体がマグネターであった場合についての計算結果をあわせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q31a パルサーの「TeV ハロー」の検出可能性とその示唆

須藤 貴弘 (東京大学), Tim Linden, John F. Beacom (Ohio State University)

「TeV ハロー」はパルサー星雲の周囲 10 pc 程度の領域に広がる、新種のガンマ線源である。Milagro と HAWC により Geminga パルサーの周囲で検出されて以来、宇宙線陽電子の起源やパルサー星雲の進化の理解に重要な役割を果たす可能性が示唆されてきた。しかし、現在までに 4 個しか検出が報告されておらず、未だに多くが謎に包まれている。その性質を理解するためには、まずは多くの TeV ハローを見つけることが鍵である。

我々は、Geminga の TeV ハローが典型的なものだと仮定し、パルサー種族合成の標準的な手法を用いて、将来観測における TeV ハローの検出可能性を推定した。楽観的な見積もりでは、HAWC は今後 10 年程で計 60 個近くの TeV ハローを発見することが期待できる。更に HESS の銀河面サーベイで発見された未同定のソースやパルサー星雲として分類されているものの中に、多くの TeV ハローが含まれている可能性がある。

本講演では、これらの結果とその示唆を議論する。特に、従来の手法では制限をつけることが難しかった、パルサーが生まれる際の典型的な自転周期について、TeV ハローの観測から情報を得られることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a 超新星残骸内部のパルサー星雲による Knee 宇宙線の加速

大平豊（東京大学）、木坂将太（青山学院大学）、山崎了（青山学院大学）

地球に飛来する宇宙線のエネルギースペクトルは、宇宙線のエネルギーが 1 PeV あたりのところで折れ曲がり、そのエネルギーを knee と呼んでいる。knee までのエネルギーを持つ宇宙線は、我々の銀河内の超新星残骸で衝撃波統計加速によって加速されたというのが銀河宇宙線の標準モデルである。この標準モデルにしたがって knee のエネルギースケールを説明するためには、超新星残骸の衝撃波上流で磁場を 100 倍近くに増幅する必要があるが、それが本当に可能かどうかはわかっていない。また最近のガンマ線観測からは、若い超新星残骸でも宇宙線を knee まで加速していない証拠が得られており、銀河宇宙線の標準モデルがほころびを見せはじめている。

一方、パルサーのガンマ線観測の統計によると、ほとんどの重力崩壊型超新星爆発に伴って、Crab パルサーのような強い電子陽電子パルサー風を吹くパルサーが作られることが示唆されている。銀河宇宙線の標準モデルにはこのパルサー風やパルサー星雲の影響は考慮されていない。

本公演では、超新星残骸内に存在するパルサー星雲による宇宙線加速への影響をモンテカルロシミュレーションで調べた結果を報告する。パルサー星雲と超新星残骸下流領域は磁場が 100 マイクロガウス程度あることが観測から推測されている。超新星残骸の前進衝撃波で加速された 0.1 PeV の宇宙線は、この領域を往復運動することでエネルギーが約 2 倍になり、パルサー星雲が超新星残骸の逆行衝撃波によって圧縮されることによって 1 PeV まで断熱加速されることがわかった。この加速機構によって、超新星残骸の前進衝撃波上流の磁場を増幅することなしに、宇宙線を knee まで加速することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33b すざく、Chandra 衛星を用いた星形成領域 RCW 38 の広がった X 線放射の解析

福島碧都、江副祐一郎 (首都大学東京)、小高裕和 (東大)

大質量星は超新星爆発や星風を通じて周辺物質へ多大な影響を及ぼす重要な天体として知られている。優れた角度分解能を持つ Chandra 衛星はこうした大質量星の形成領域に広がった X 線放射が存在することを明らかにした (Ezoe et al. 2006, ApJ, 649 L123 など)。広がった放射の起源としては高速の星風が周辺物質と衝突した際の衝撃波による高温プラズマ放射などが考えられるが、未だその起源ははっきりしていない。RCW 38 (距離 1.7 kpc) は Chandra 衛星によって初めて非熱的な広がった X 線放射が報告された大質量星の形成領域である (Wolk et al. 2002, ApJ, 580, L161)。当時の観測によれば、この領域には起源は不明だが強力な磁場が発生しており、放射は高エネルギーに加速した電子からのシンクロトロン放射であることが示唆されていた。

我々は、優れたエネルギー分解能と低バックグラウンドを有する「すざく」衛星を用いて RCW 38 領域の広がった X 線放射の解析を行った。中心の半径 1.5 分角の領域のスペクトルから Chandra 衛星データを用いて点源成分の寄与を見積もり、広がった放射の制限を付けた。X 線背景放射については近傍領域の Vela Jr. オフセット観測を用いた。中心領域のスペクトルは点源の総和と熱的プラズマモデルで再現できた。0.2–10 keV での光度は点源、広がった放射がそれぞれ $(1.2 \pm 0.3) \times 10^{33}$ 、 $(7.1 \pm 2.3) \times 10^{31}$ erg/s であり、広がった放射の可能性を示唆する。後者の温度は 0.6 keV であり、吸収は $(2.3 \pm 0.2) \times 10^{22}$ cm⁻² と大きく、この領域では厚い分子雲ガスの影響を受けている可能性がある。一方でこの点源総和以外のスペクトルモデルには熱的放射とパワーローの組み合わせといった可能性もあり、議論の余地がある。本講演では「すざく」と Chandra 衛星のデータを組み合わせた解析手法および RCW 38 に付随する広がった X 線放射について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q34b すざく, XMM-Newton, Chandra 衛星によるベラパルサー星雲の大局的構造

金丸善朗, 本吉智哉, 森浩二 (宮崎大学), 勝田哲 (埼玉大学), 常深博 (大阪大学)

ベラ超新星残骸は年齢が約 11,000 年の重力崩壊型超新星の残骸である。地球からの距離はおよそ 290 pc であり、視直径が約 8 度と極めて大きいためその空間構造を詳細に観測することができる。超新星残骸の中心付近にはベラパルサーが存在し、その周囲にはおよそ 2 分角程度に広がるトーラスとジェットの構造を持つパルサー星雲が形成されている。今回我々は、すざく, XMM-Newton, Chandra 衛星による観測データを用いてベラパルサー星雲の大局的構造を調査した。すざくと XMM-Newton 衛星による硬 X 線画像からは、パルサー付近から弧を描きつつ南に 45 分角ほど延伸するフック状の構造が見てとれた。これは ROSAT 衛星により発見されていた同じく南に延びる軟 X 線フィラメントと同程度の大きさであるものの、空間的には一致していない。Chandra 衛星によるパルサー近傍の観測からは、このフック状の構造に繋がる放射がトーラスとジェット構造から連続していることがわかった。また、これらの構造に加え、およそ 2 度平方に等方的に広がる硬 X 線放射が存在することもわかった。本講演では、これらの大局的な空間構造とそれに伴うスペクトルの空間的変化の解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a 超新星残骸の非熱的X線観測を用いた衝撃波近傍の拡散係数の推定

辻直美, 内山泰伸, Dmitry Khangulyan, 日暮凌太 (立教大学), David Berge (DESY), Felix Aharonian (Max-Planck-Institut für Kernphysik / Dublin Institute for Advanced Studies)

Knee(数 PeV) 以下のエネルギーを持つ宇宙線の起源として、銀河系内の超新星残骸 (SNR) が有力候補であると考えられている。加速機構として広く受け入れられている衝撃波統計加速 (DSA) では、粒子は磁場との拡散を繰り返しながら衝撃波を往復することでエネルギーを獲得する。しかし、粒子の拡散について詳細は分かっていない。粒子の拡散運動を特徴付ける拡散係数は、被加速電子分布のカットオフ形状に影響を与える。したがって、電子分布のカットオフ部に対応するシンクロトロン X 線のカットオフ形状を測定することで、拡散係数の推定が可能である。また、磁場強度が単一の値ではなく、ガウス分布に従う場合、シンクロトロン放射スペクトルのカットオフ形状が少しフラットになる。本研究では、シンクロトロン放射が卓越する若い超新星残骸の X 線観測を用いて、スペクトルのカットオフ形状を詳細に調査した。拡散係数が一定、Kolmogorov 型、Bohm 型の三通りの場合について観測に適用したところ、SNR RX J1713.7–3946 では Bohm 型が最もらしいことが分かった。さらに本講演では、他の超新星残骸への適応結果と、カットオフ形状から推測される磁場強度の分布について、併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36a すざく衛星による TeV ガンマ線未同定天体からの中性鉄輝線の探査

周戸 怜、松本浩典、藤田裕、林田清、野田博文、米山友景 (大阪大)、信川久実子 (奈良女子大)

銀河宇宙線の起源の最有力候補は超新星残骸 (SNR) であるが、現状では SNR で knee エネルギーに達する明確な観測的証拠がないなど、SNR のみで銀河宇宙線の全てを説明することは出来ていない。一方、銀河面には数多くの TeV ガンマ線天体が存在し、おそらく銀河宇宙線と密接な関係があると考えられている。しかし、そのうち半数強は他波長に明確な対応天体がない未同定天体 (以下 TeV unID) である。ガンマ線の起源が陽子 (加速された陽子が星間物質と衝突したときに生じる π^0 粒子の崩壊) なのか電子 (加速された電子による星間光の逆コンプトン散乱) なのかも不明である。さらに、標準的な加速機構である衝撃波加速では低エネルギー粒子の一部を加速するので、低エネルギーの粒子も存在するはずであるが、それらを直接観測する手段がないために、加速粒子の総エネルギー量という基本的な物理量もよくわかっていない。一方我々は、いくつかの SNR から中性鉄の特性 X 線を発見した。中性鉄輝線は、星間物質中の中性鉄原子の、 ~ 10 MeV の陽子による内殻電離か、 ~ 20 keV の電子による内殻電離か、外部の X 線源による光電離が起源であると考えられる。我々は、鉄輝線の等価幅から、 ~ 10 MeV の陽子の内殻電離が起源であることを明らかにした。またこれは、低エネルギー宇宙線を観測するという意味を持つ。我々は、この手法を TeV unID に適用する。広がった鉄輝線放射に最も優れた感度を持つすざく衛星を用いて、TeV unID から中性鉄輝線を探索する。輝線を発見できれば、その等価幅から加速粒子を判別し、TeV unID の正体の手掛かりを得る。また、粒子が低エネルギーから高エネルギーへと加速される過程の解明を目指す。本講演では、HESS J1614-518 や HESS J1616-508 などの TeV unID の観測結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q37a GeVガンマ線・熱的X線観測による超新星残骸からの宇宙線逃亡の研究

鈴木寛大、馬場彩、小高裕和（東大理）、山崎了（青学大）、山口弘悦（ISAS/JAXA）、大平豊（東大理）

10^{15} eV以下の系内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以上まで加速された陽子が存在することがGeVガンマ線の観測から分かっている（e.g. Ackermann et al. 2013）。しかし、増幅されたSNRプラズマの磁場から加速された陽子がどのようにして逃亡し、宇宙線となるのかは未だに大きな謎だ。我々はSNRと分子雲との衝突がプラズマ磁場の一部を減衰させて加速陽子の逃亡を引き起こし、その副作用として分子雲との相互作用により熱的プラズマが急冷却し過電離状態となる、という仮説を提唱している（Suzuki et al. 2018）。この根拠は、分子雲と相互作用するSNRの多くが、逃亡しつつある陽子に起因するGeVガンマ線の放射とプラズマの急冷却の兆候の両方を示すことだ。

本研究ではこの仮説を定量的に検証するため、我々がプラズマのX線解析を行ったSNR HB 21とG359.1-0.5を含め、GeVガンマ線放射と過電離状態のプラズマの両方を示す既知のSNR全て（13天体）に対するX線・GeVガンマ線の文献データを用いた系統解析を行った。その結果、X線観測から見積もった「プラズマの急冷却からの経過時間」が長い天体ほど、GeVガンマ線観測から推測した「加速陽子の逃亡の進みぐあい」が大きい傾向を発見した。この相関は我々の仮説を支持し、X線観測により陽子逃亡のタイムスケールを測れる可能性を明らかにした。加えて、SNRサイズ・X線光度・GeVガンマ線光度と「プラズマの急冷却からの経過時間」との相関から、SNR進化における急冷却の時期の推定と分子雲中での陽子逃亡モデルの検証を試みた。本講演では、これらの結果を踏まえたプラズマの急冷却機構や陽子逃亡シナリオの可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a 超新星残骸衝撃波前駆体からの偏光 $H\alpha$ について

霜田治朗 (東北大学), J. Martin Laming (NRL)

超新星残骸 (SNR) 衝撃波は銀河宇宙線の主要な源の最有力候補と目されているが、その真偽に決着はついていない。宇宙線加速の標準的なシナリオでは、宇宙線は衝撃波面を横切り何度も往復することで、衝撃波加熱を繰り返し経験し加速していく (衝撃波統計加速)。とりわけ被加速粒子が銀河宇宙線の最高エネルギー $10^{15.5}$ eV に到達するには、波面を往復する宇宙線自身が衝撃波上流の背景プラズマへ反作用効果を及ぼし、磁場を増幅する必要がある。この時、上流のプラズマは宇宙線の反作用効果により加熱ないし乱流状態となる。この上流のプラズマは衝撃波前駆体 (shock-precursor) と呼ばれ、その形成が標準加速シナリオの主な予言の一つと考えられている。

この標準シナリオでは、 $10^{15.5}$ eV の達成のために、衝撃波の運動エネルギーの約 50 % に相当する宇宙線量が必要と推定される。Shimoda+2018 では、このように高い効率で宇宙線を加速する SNR 衝撃波の「下流」からは、 $H\alpha$ 輝線が偏光度 2–5 % で衝撃波面に「垂直」方向に直線偏光し観測されることを示した。本公演では、衝撃波前駆体の存在によって「上流」領域の衝撃波前駆体で放射される $H\alpha$ 輝線の偏光の理論計算について紹介し、「上流」からの $H\alpha$ 輝線の偏光は波面に「平行」となることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a 超新星残骸全球での宇宙線の加速と逃走のテスト粒子シミュレーション

上島 翔真 (青山学院大学), 大平 豊 (東京大学)

地球に飛来する宇宙線のエネルギースペクトルは、 10^8eV – 10^{20}eV の広いエネルギーにわたり非熱的な power-law 分布をしている。これにより、宇宙線は加速されて地球に飛来していることが示唆されている。また、宇宙線のエネルギースペクトルは、いくつかの折れ曲がりが存在しており、その中で、 $10^{15.5}\text{eV}$ 付近において knee と呼ばれる特徴的な折れ曲がりが存在する。この knee 以下のエネルギーを持つ宇宙線は銀河系内で加速されて地球に飛来していると考えられている。その中でも、超新星残骸での衝撃波が、 $10^{15.5}\text{eV}$ 以下のエネルギーの宇宙線の加速源として期待されている。

そこで本研究では、超新星残骸全球における宇宙線の加速と逃走に関してテスト粒子シミュレーションを行い、超新星残骸における最高エネルギーに関して調査した。本発表では、今回の計算の結果に関して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q40a NuSTAR による超新星残骸 CTB37B 衝撃波面からの非熱的硬 X 線の発見

馬場彩 (東京大学)、山崎了 (青山学院大学)

超新星残骸衝撃波面は、主要な銀河宇宙線起源だと考えられており、TeV 帯域まで加速された電子からのシンクロトロン X 線は加速領域の良いプローブになっている。実際 RX J1713.7–3946 や SN 1006 といった超新星残骸衝撃波面から X 線帯域に折れ曲がりのある非熱的放射が検出されており、最大エネルギーまで加速された電子からのシンクロトロン放射だと考えられている。今後は、特に最大加速エネルギーの高いサンプルの探査が重要である。

CTB37B は若い超新星残骸で、「すざく」衛星の観測で衝撃波部分から非常にハードな非熱的放射が発見されている (Nakamura et al. 2009)。「すざく」では非熱的放射の折れ曲がりが見つからず、より硬 X 線帯域での観測が必要とされてきた。

NuSTAR 衛星は 10 keV 以上の硬 X 線で集光察像を初めて可能にした。CTB37B 領域は、中心天体 CXO J171405.7–38103 の観測を目的に NuSTAR で 84.2 ks 観測された。「すざく」で拡がった放射が見つかった領域からは、15 keV くらいにまで伸びる硬 X 線放射を発見した。「すざく」と合わせた広帯域スペクトル解析では、スペクトルは単一のべき型ではなく、6–7 keV 付近にカットオフのあるべきが多感数でよく再現されることが分かった。本講演ではこの硬 X 線放射の起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q41a 超新星残骸の MeV 宇宙線と 6.4 keV 中性鉄輝線

牧野謙、藤田裕 (大阪大学)、信川久実子 (奈良女子大学)、松本浩典 (大阪大学)、大平豊 (東京大学)

超新星残骸 (SNR) 付近に分布するエネルギーが GeV 以上の宇宙線は、ガンマ線の観測などにより調べられてきた。一方、MeV エネルギーの宇宙線は電磁波で検出することが困難であった。しかし最近すざく衛星のデータの解析により、SNR 付近から 6.4 keV の中性鉄特性 X 線放射が検出された。これは SNR 付近に MeV 宇宙線が存在し、中性鉄と相互作用をしているとすると説明できる (Nobukawa et al. 2018)。また、MeV エネルギーの宇宙線密度が比較的高いことも示されている。

本研究で我々は、中性鉄輝線の原因となっている MeV 宇宙線の密度が、SNR からのガンマ線放射の原因となっている GeV、TeV 宇宙線のスペクトルとともに、標準的な SNR での宇宙線加速・逃走モデルの範囲で説明できるかどうか調べた。具体的には、GeV、TeV 宇宙線はすでに SNR から逃走しており、周囲の分子雲と相互作用をすることでガンマ線を放出する。一方、MeV 宇宙線は逃走前で SNR に閉じ込められており、SNR はその状態のまま分子雲に衝突したと仮定した。これにより MeV エネルギーの宇宙線密度が比較的高いことが説明できる。さらに SNR と分子雲との衝突後、MeV 宇宙線の一部は SNR から分子雲にしみ出し、そこで冷却しながら中性鉄と衝突することで中性鉄輝線を生成する。

我々は標準的な宇宙線加速・逃走モデルをこのシナリオに沿って改変し、標準的なパラメーターを用いて解析的な計算を行った。その結果、ガンマ線スペクトル、中性鉄輝線強度の両方について、問題なく説明できることがわかった。本モデルの特徴として、中性鉄輝線強度と MeV 宇宙線密度を関連付けるときに、分子雲の構造や分子雲中の宇宙線の拡散係数などの詳細の影響を受けないこと挙げられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q42a すざく衛星を用いた超新星残骸 HB9 の高温プラズマの観測

齋藤真梨子, 山内茂雄, 信川久実子 (奈良女子大学), 馬場彩 (東京大学), Pannuti, T. (Morehead state Univ)

超新星爆発の後に残される超新星残骸 (SNR) は X 線と電波の形態によって分類され、中心集中した高温プラズマと殻構造の非熱的電波が観測されるものは mixed morphology と呼ばれる。しかし、中心集中する高温プラズマがどのように形成されたのかは解明されていない。また、再結合優勢プラズマが発見されたものもあり (e. g., IC443 : Yamaguchi et al, 2009, ApJ, 705, 7)、mixed morphology SNR の X 線放射の構造やスペクトルを調査することは非常に興味深い。

HB9 は mixed morphology SNR であり、HEAO-2, ROSAT, ぎんが衛星による X 線観測が行われてきた。特にぎんが衛星による観測ではこの天体を含む領域から 1.5 keV 以上のエネルギーバンドで X 線が検出された (Yamauchi & Koyama 1993, PASJ, 45, 545-550)。その起源として近傍の電波銀河 4C+46.09, 銀河団ガス, HB9 の高温プラズマの 3 つが示唆されているが、決着はついていない。

本研究では、淡く広がった放射に感度の良いすざくを用いて HB9 を観測し、スペクトル解析を行った。全体のスペクトルは、 $kT \sim 0.7$ keV の 1 成分電離非平衡モデルで再現できた。2 keV 以上のエネルギーバンドに SNR 起源の X 線はほとんど見られなかった。本講演では解析により求められた元素組成比及びプラズマ温度の特徴から爆発のタイプについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q43a すざく衛星による W51 領域からの中性鉄輝線の発見

嶋口愛加, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学)

銀河宇宙線の加速源として有力と考えられているのが、超新星残骸である。高エネルギー粒子と分子雲の相互作用に伴う π^0 崩壊によって放射されるガンマ線を観測することで、加速された宇宙線の調査が行われてきた。しかしこの方法では、高エネルギー宇宙線の存在を示すことができるが、加速されている最中である低エネルギー宇宙線の情報を得ることができない。そこで、低エネルギー宇宙線が中性鉄を電離し、X線の波長域で中性鉄輝線を放射することに注目する。我々はX線天文衛星すざくの観測データを用いて、超新星残骸に付随する中性鉄輝線の調査を行っている。実際にいくつかの超新星残骸から中性鉄輝線が発見されており、低エネルギー宇宙線の存在の証拠を得ることができている (Nobukawa et al. 2018, ApJ, 854, 87 ; Saji et al. 2018, PASJ, 70, 23)。

W51 領域は、超新星残骸 W51C や星形成領域 W51B が位置する複合領域となっており、 π^0 崩壊によるガンマ線放射が観測されていることから (Abdo et al. 2009, ApJL, 706, L1)、宇宙線の加速が行われていることが期待される。また、すざくの観測データを用いて行った先行研究でも、粒子加速の可能性が示唆されている (Hanabata et al. 2013, PASJ, 65, 42)。そこで我々は中性鉄輝線に注目し解析を行ったところ、W51C の電波シェルが観測されている領域とそれに付随している分子雲の領域で中性鉄輝線を発見した。講演では、その結果と起源について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q44a SS433 ジェット先端領域のファラデーモグラフィー解析

酒見はる香, 町田真美, 大村匠 (九州大学), 出口真輔 (Radboud University), 宮下恭光, 高橋慶太郎 (熊本大学), 赤堀卓也 (NAOJ), 赤松弘規 (SRON), 中西裕之, 藏原昂平 (鹿児島大学), Jamie Farnes (Oxford e-Research Centre)

ジェット先端領域ではターミナルショックなどの衝撃波が形成されるため、超新星残骸以外の宇宙線粒子加速サイトとして有力視されている。宇宙線粒子の加速においては、磁場が重要な役割を果たしていると過去の研究により指摘されている。しかしながら、加速サイトの詳細な磁場構造は未だ明らかにされていない。そこで我々はマイクロエーサー SS433 と星雲 W50 に着目している。W50 は SS433 ジェット方向に延びた構造を持ち、その東西の端にジェットが到達していると考えられている。また近年は SS433 ジェットから初めて TeV ガンマ線が観測され、宇宙線粒子加速サイトとしてより注目を集めている。我々は ATCA (Australia Telescope Compact Array) の 1.3 – 3.0 GHz の偏波観測データを用いて W50 東端のファラデーモグラフィーによる磁場構造解析を行った。

ファラデーモグラフィーは、観測量である偏波強度を Faraday depth ϕ (磁場と電子数密度の積を偏波源までの距離で積分した値) 空間上の関数にフーリエ変換し、視線上の偏波源の情報を分離する解析手法である。今回は ϕ 空間上に偏波モデルを仮定し、逆フーリエ変換をして観測された偏波強度と比較する *QU-fitting* を実行した。その結果、ターミナルショックを含むフィラメント構造と、W50 表面に巻きつくらせん状構造を含むほぼ全ての領域で視線上に複数の偏波源が存在することを明らかにした。またこれらの偏波源を、銀河面に付随する偏波放射成分と W50 を起源とする偏波放射成分とに分離することに成功した。さらに銀河面に付随する成分は、 $\phi = 0 \text{ rad m}^{-2}$ と $\phi = 300 \text{ rad m}^{-2}$ の 2 種類に分けられることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q45a X線天文衛星XMM-Newtonの回折格子分光装置RGSによるCygnus Loop南西部の精密分光観測

内田裕之 (京都大), 勝田哲 (埼玉大), 常深博 (大阪大), 森浩二 (宮崎大), Liyi Gu (理研, SRON), Renata S. Cumbee (University of Georgia), Robert Petre (NASA/GSFC), 田中孝明 (京都大)

Cygnus Loop は年齢約 1 万年の重力崩壊型の超新星残骸である。親星が形成した恒星風バブルに衝撃波が衝突し、直径約 20 pc の巨大なシェルを形成している。我々は X 線天文衛星 XMM-Newton の回折格子分光装置 RGS を用いて、Cygnus Loop 南西のノット領域の精密分光観測を行った。X 線スペクトルのヘリウム様酸素輝線 (OVII $K\alpha$) の多重項分岐比は、この領域が通常の熱的プラズマの場合と異なる禁制線の強い (もしくは共鳴線の弱い) 状態にあることを示している。Cygnus Loop 南西ノットは分子雲との相互作用が示唆される領域であるため、我々はこの場所で高階電離したイオンと中性物質の相互作用による電荷交換反応が起きていると結論した。これは Cygnus Loop のシェルで示唆されていた電荷交換反応 (Katsuda et al. 2011) の、これまでで最も確実な証拠と言える。また、電荷交換反応を考慮するだけでは全波長域のスペクトルを説明することはできず、視線方向にイオン化した吸収物質が存在することも明らかになった。吸収体の起源については確実ではないが、プラズマ深さの見積もりから、Cygnus Loop シェルによる自己吸収を考えるのが尤もらしい。さらに我々は、この領域の星間物質が太陽組成より有意に低いことを明らかにした。このように X 線精密分光からは、既存の観測では得られない様々な新事実を多数引き出すことが可能である。本発表では研究の詳細を述べるとともに、2021 年度打ち上げの X 線分光撮像衛星 XRISM への展開についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

3月15日（金）午前（9:30-11:30）[F会場]

R01a	09:30	NRO レガシープロジェクト COMING(22) : Dust-to-Gas ratio を用いた近傍銀河における CO-H ₂ 質量変換係数 α_{CO} の導出 保田敦司 (筑波大学)
R02a	09:42	NRO レガシープロジェクト COMING (23) : 銀河間重力相互作用下における分子ガス中心集中度 三浦飛未来 (明星大学)
R03b	09:54	NRO レガシープロジェクト COMING (24): CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 比の変動が銀河内の分子ガス質量, 並びに Kennicutt-Schmidt 関係へ及ぼす影響 矢島義之 (北海道大学)
R04b	09:54	NRO レガシープロジェクト COMING(25) : エッジオン銀河における CO 輝線比 喜多将一朗 (筑波大学)
R05b	09:54	ALMA による NGC253 円盤領域の ¹² CO, ¹³ CO 輝線観測 小西諒太朗 (大阪府立大学)
R06a	10:06	棒渦巻銀河 NGC7479 における棒状構造のパターン速度の測定 田中隆広 (筑波大学)
R07a	10:18	強い棒渦巻銀河 NGC1300 における分子雲の性質 前田郁弥 (京都大学)
R08a	10:30	強い棒渦巻銀河 NGC1300 における星形成の抑制 羽部朝男 (北海道大学)
R09a	10:42	A fundamental test for stellar feedback recipes in galaxy simulations 藤本裕輔 (オーストラリア国立大学)
R10a	10:54	銀河の化学力学進化シミュレーションから探る軽い中性子捕獲元素の進化史 平居悠 (理化学研究所)
R11a	11:06	コンパクト銀河群環境下における矮小銀河光度関数の凹み 山野井瞳 (国立天文台)
R12b	11:18	Leo I 銀河群における矮小銀河の観測的性質及び超暗黒銀河の調査 望月知里 (日本女子大学)
R13b	11:18	GLADE-AKARI/FIS 近傍銀河カタログ : 開口測光・SED フィット 諸隈佳菜 (宇宙航空研究開発機構)
R14c		同一環境下にある Ultra-diffuse Galaxies の間欠的星形成の阻害要因について 2 釜谷秀幸 (防衛大学校)
R15c		Sculptor 矮小銀河の炭素・窒素の存在量から探る化学進化 本間英智 (国立天文台)
R16c		近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質 II. 星形成率、金属量との相関 隈井泰樹 (熊本学園大学)
R17c		Effects of Gravitational Softening on the Merging of Two Spherical Galaxies 穂積俊輔 (滋賀大学)

3月15日（金）午後（13:30-14:54）[F会場]

R18a	13:30	ALMA による超高光度赤外線銀河の空間分解した高密度分子ガス観測 今西昌俊 (国立天文台)
R19a	13:42	天の川銀河中心領域における磁気活動が励起するガス動力学の理解 柿内健佑 (名古屋大学)
R20a	13:54	銀河系面内のセファイドを利用した磁場構造解析 善光哲哉 (京都大学)
R21a	14:06	Dynamical Implication of Circular Velocity Curves of Galaxies Kodaira Keiichi (MPI for Radio Astronomy)
R22a	14:18	New approach to compute gravitational field of general object accurately Toshio Fukushima (NAOJ)
R23a	14:30	AFLAK:モジュール可視化環境による等価幅マップの生成 打木陸雄 (慶應義塾大学)
R24a	14:42	0.5~2 keV における X 線背景放射の性質と起源に関する研究 菊地貴大 (宇宙航空研究開発機構)

R01a NRO レガシープロジェクト COMING(22) : Dust-to-Gas ratio を用いた近傍銀河における CO-H₂ 質量変換係数 α_{CO} の導出

保田敦司, 久野成夫, 田中隆広, 渡邊祥正 (筑波大学), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾 (北海道大学), 宮本祐介, 金子紘之, Daniel Espada (国立天文台), 村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府立大学), 依田萌, 竹内努 (名古屋大学), 諸隈佳菜 (JAXA), 小林将人 (大阪大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 他 COMING

直接観測することが困難な低温の H₂ ガスの量は、比較的低密度の H₂ までトレースすることができる ¹²CO(1-0) の積分強度に CO-H₂ 質量変換係数 α_{CO} をかけることで求められている。 α_{CO} は銀河毎や銀河内でも値が異なることが報告されている一方、これまで H₂ ガス量を求める際に銀河に依らず α_{CO} を一定値 (天の川銀河での典型値 $\alpha_{\text{CO},\text{MW}}=4.35$) としてよく仮定されている。本研究では、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて行われた近傍銀河の CO マッピングサーベイ COMING および CO Atlas (Kuno et al., 2007) で得られた ¹²CO(1-0) 輝線データを用いて近傍銀河の α_{CO} 測定を行い、銀河毎、並びに銀河内の α_{CO} の傾向について議論する。本研究では kpc スケールの空間分解能で α_{CO} 測定が可能な、ダスト質量面密度と星間ガス質量面密度 (H_I+H₂) の比である Dust-to-Gas ratio (DGR) を用いた手法を採用した。星間ガス質量面密度は H_I 21cm 線および CO 積分強度を用いて導出した。ダスト質量面密度は赤外線 (70, 100, 160, 250 μm) のアーカイブデータと Spectral Energy Distribution (SED) fitting (Casey, C. M., 2012) から導出されたダスト温度分布を用いて算出した。最終的に 10 個の銀河で α_{CO} の測定に成功した。本研究でのサンプルの α_{CO} 平均は $1.6 [M_{\odot}\text{pc}^{-2}(\text{K}\cdot\text{km/s})^{-1}]$ であり、 $\alpha_{\text{CO},\text{MW}}$ よりも小さい傾向が見られた。また、銀河半径を R_{25} (B-band isophotal radius at 25 mag arcsec⁻²) で規格化した動径分布を用いて銀河中心部と外縁部でそれぞれ α_{CO} を測定した結果、銀河中心よりも外縁部の方が大きい傾向が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a NRO レガシープロジェクト COMING (23) : 銀河間重力相互作用下における分子ガス中心集中度

三浦飛未来、小野寺幸子(明星大学)、金子紘之(国立天文台野辺山宇宙電波観測所)、徂徠和夫(北海道大学/筑波大学)、久野成夫(筑波大学)、宮本祐介、Daniel Espada(国立天文台)、村岡和幸(大阪府立大学)、Pan Hsi-An(ASIAA)、他 COMING チーム

系外銀河において、恒星の原料である星間ガス、特に直接的な母体である分子ガスの性質を理解することは、銀河進化を解き明かすうえで重要である。そのため、銀河進化を促す過程のひとつである銀河間近接重力作用下で、分子ガスの分布や星形成率との関係がどのような影響を受けるのか知ることが本質的と言える。今までは分子ガスの撮像データ数が少なかったため、相互作用銀河内の分子ガス・星形成活動の、孤立銀河との系統だった比較が十分に行われていなかった。野辺山 45-m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を用いた近傍銀河の CO 撮像観測「COMING」プロジェクトは、相互作用銀河を含む 147 銀河のデータがあるため、相互作用銀河と孤立銀河における分子ガスの分布の比較が可能になってきた。

銀河間重力相互作用下における分子ガスは、過去の研究から各母銀河の中心へと輸送されることが知られている。これがどのようなスケールで生じるかを明らかにするため、今回我々は相互作用銀河の分子ガスと星の中心集中度を、 $R(K_s)$ バンドで 20 mag arcsec⁻² となる半径)と $R_{1/2}$ (R の 1/2) 以内の光度比、 $R_{1/2}$ と $R_{1/4}$ (同 1/4) 以内の光度比の 2 つとして定義、導出した。孤立銀河と比較すると、前者はほぼ同じであったのに対し、後者では相互作用銀河の方が分子ガスの中心集中度が高いことが明らかとなった。これらの結果から、重力相互作用は銀河円盤の内側から銀河中心部へのガス供給に影響すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03b NRO レガシープロジェクト COMING (24): CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 比の変動が銀河内の分子ガス質量, 並びに Kennicutt–Schmidt 関係へ及ぼす影響

矢島義之 (1), 徂徠和夫 (1,2), 宮本祐介 (3), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (4), 小松崎龍聖 (2) (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: 国立天文台, 4: 大阪府立大学)

一般的な円盤銀河で ^{12}CO 分子 (以降 CO) の $J=2-1$ 輝線と $J=1-0$ 輝線のスペクトルのピーク強度比は典型的に ~ 0.7 と報告されている (Leroy et al. 2013). このため, CO($J=2-1$) のデータのみ利用可能である場合, しばしば CO($J=2-1$)/CO($J=1-0$) 積分強度比を 0.7 と仮定し, 分子ガス質量や面密度などが求められている. しかし, この仮定がこれらの基本的物理量や Kennicutt–Schmidt (K–S) 関係へ及ぼす影響は議論されていない. そこで我々は野辺山宇宙電波観測所レガシープロジェクト COMING と近傍銀河の CO($J=2-1$) サーベイ HERACLES (Leroy et al. 2009) の共通サンプルである 21 個の銀河について, まず銀河全面の空間分解された, CO($J=1-0$) に対する CO($J=2-1$) のスペクトルのピーク強度比 $R_{2/1}^{\text{peak}}$, 及び積分強度比 $R_{2/1}$ を求めた. その結果, $R_{2/1}^{\text{peak}}$ の中央値は 0.47 ± 0.16 となり, Leroy et al. (2013) で報告された値 0.67 よりも小さくなった. $R_{2/1}$ の中央値は 0.58 ± 0.23 であったため, 少なくとも $R_{2/1}$ を 0.7 と仮定する従来の方法では多くの銀河で分子ガス質量を過小評価していると考えられる (各中央値の誤差は標準偏差を表す). 銀河内で $R_{2/1}$ の値が一定でないことで, 各銀河内の分子ガス面密度の分散は最大で 2.1 倍増加した. また $R_{2/1}$ を一定値とした場合, 銀河内における分子ガスの総質量は $\pm 30\%$ ほど過大/過小評価していることがわかった. さらに各銀河内で K–S 関係を作成し, その冪の変化を調べたところ, 銀河によって $0.55 \sim 26$ 倍程変化することがわかった. このように $R_{2/1}$ を銀河全体で定数とみなしてしまうと分子ガスの質量を取り違え, 銀河の場所ごとでの多様性や星形成との関係を見誤る潜在的な可能性がある.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04b NRO レガシープロジェクト COMING(25) : エッジオン銀河における CO 輝線比

喜多将一郎, 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 小松崎龍聖, 渡邊祥正 (筑波大学), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾, 梶川明祐実, 八嶋裕 (北海道大学), 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 依田萌, 竹内努 (名古屋大学), 村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府立大学), 諸隈佳菜 (JAXA), 小林将人 (大阪大学), Dragan SALAK, 野間勇斗, 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 他 COMING メンバー

COMING は野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた、近傍銀河の CO 多輝線同時撮像観測サーベイプロジェクトである。取得された $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ 輝線データを用いて、エッジオン銀河の CO 輝線比を導出した。エッジオン銀河は、我々に対して銀河円盤がほぼ真横を向いた銀河であり、視線方向距離が長いこと、光学的に薄い ^{13}CO , C^{18}O が検出しやすいというメリットがある。本研究では NGC891, NGC1055, NGC3079, NGC3556, NGC3628, NGC5907 の 6 天体について、複数の方法で CO 輝線比を求めた。銀河全体の $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$ は 0.12-0.044 であった。積分強度図上での各ピクセルでの値は 0.37-0.0073 のばらつきがあり、すべての銀河において中心部でその外側よりも比が下がる傾向がみられた。NGC891 に関しては、回転曲線を使って単位体積当たりの放射率の動径分布を求め、半径が大きくなるにつれて $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$ が下がっていくという Sakamoto et al.(1997) と同じ結果を確認した。これらの結果に対しては、ガス運動温度の上昇および分子雲の速度勾配の増加による ^{12}CO の光学的厚みの減少、 $^{13}\text{CO}/\text{H}_2$ 比の減少などが原因として考えられる。 C^{18}O に関しては、スタッキングにより 3 天体で $\text{C}^{18}\text{O}/^{12}\text{CO}$ が求められ、値は 0.021-0.0052 と得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05b ALMA による NGC253 円盤領域の ^{12}CO , ^{13}CO 輝線観測

小西諒太郎, 原田遼平, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/NAOJ)

系外銀河における星形成や進化などを調べるには、その銀河の各領域の温度や密度などの物理状態を知ることが必要不可欠となる。本研究の対象である NGC253 は星形成が盛んなスターバースト銀河あり、分子ガスが豊富であるためにミリ波/サブミリ波帯に存在する様々なラインで強い輝線強度を持つ。そのため中心領域はよく研究対象にされているが、円盤領域については、特に高分解能観測による研究はあまりなされていない。

本研究では、NGC253 の南側の円盤領域の ^{12}CO ($J = 1-0$)、 ^{13}CO ($J = 1-0$) を ALMA 望遠鏡で観測し (P.I. K. Muraoka, 2016.1.00215.S)、円盤領域の分子雲の分布を調査した。データの空間分解能は NGC253 の円盤領域を分子雲レベルまで空間分解することが可能な ~ 35 pc である。bar、bar-end の各領域において ^{12}CO と ^{13}CO を検出することができた。これらの観測よりガスの物理状態等を調べるため、 ^{12}CO と ^{13}CO の強度比を導出した結果、bar end から腕の領域の中では特に bar end 領域で ^{13}CO が相対的に高いことがわかった。これは本 ALMA 観測により同時に得られていた ^{12}CN と ^{13}CN 輝線から導出した強度比 (小西ほか 2018 年秋季年会) とも整合的である。このことより bar end 領域において、分子ガスの密度が高まっていると考えられる。

また、 ^{12}CO と ^{13}CO の空間分布より、中心領域から bar end 領域に向かって数 100 pc 規模で不連続な箇所を見出した。野辺山 45m 鏡によって得られた CO データ (Kuno et al. 2007) と比較すると、不連続な箇所が存在する速度帯 ($150\text{--}240\text{ km s}^{-1}$) のミッシングフラックスは $\sim 30\%$ 程度であり、あったとしてもそれほど顕著ではないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06a 棒渦巻銀河 NGC7479 における棒状構造のパターン速度の測定

田中隆広, 久野成夫, 渡邊祥正 (筑波大学), 廣田晶彦 (国立天文台), 徂徠和夫, 矢島義之 (北海道大学), 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 竹内努 (名古屋大学), Dragan Salak, 中井直正 (関西学院大学)

銀河における棒状構造 (bar) は星や星間ガスなどの疎密パターンで形成され, 銀河の回転速度とは異なるパターン速度で回転している. Bar のパターン速度は, 共回転半径や Lindblad 共鳴点などの決定に重要なパラメータであることや, 銀河内のダークマター分布の影響を受けることが理論的に予想されていることなどから, 銀河形成理論に対する観測的制限を与えられることが期待される. Bar のパターン速度を測定する手法はいくつか存在するが, それらは導出の際にいくつかの問題点を含む仮定を置いている場合があるため, より直接的な測定方法によってパターン速度を決定する必要がある. そこで我々は bar におけるガスの運動に着目し, より少ない仮定で直接的にパターン速度を測定する手法 (Kuno et al. 2000) を採用した. 銀河回転に従って運動するガスは bar に沿って発生する衝撃波によって角運動量が失われ, 銀河中心に向かうと考えられる. すなわち bar におけるガスの回転速度の下限值はパターン速度に対応する. したがって銀河円盤のポジションアングル (PA) と bar の PA がよく揃っているような銀河においては, パターン速度は bar 上での視線速度の下限值として直接観測可能である.

我々は本手法を適用可能な近傍棒渦巻銀河 NGC7479 について ALMA ACA による $^{12}\text{CO}(1-0)$ 輝線の観測を行い, bar のパターン速度を測定した. 銀河の距離に依らないパターン速度の評価方法である, 共回転半径 R_{CR} と Bar の長径の半分の長さ R_{bar} の比 $\mathcal{R} \equiv R_{\text{CR}}/R_{\text{bar}}$ は 1.1~1.4 であった. この値は NGC7479 の bar が fast-bar であることを示しており, 別の手法による先行研究の値と矛盾しない結果が得られた. このことから NGC7479 の bar はダークマターとの力学的摩擦によるパターン速度の減速の影響が比較的小さい状態である可能性が考えられる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07a 強い棒渦巻銀河 NGC1300 における分子雲の性質

前田郁弥, 太田耕司 (京都大学), 羽部朝男 (北海道大学), 藤本裕輔 (ANU), 馬場淳一 (国立天文台)

棒渦巻銀河の棒部では顕著なダストレーンが見られ星形成の母体となる分子ガスが豊富にあると思われるが、HII 領域は見られず、重い星の形成が抑制されていることが知られている。何が棒部での星形成を抑制しているのか長年の謎となっている。観測的に原因を明らかにするためには、まず棒部と腕部で分子雲の性質に違いがあるのか、普通の渦巻銀河の分子雲と比べて違いがあるのか検証することが必要である。

そこで本講演では、棒渦巻銀河 NGC1300 (距離 20Mpc) について、ALMA 望遠鏡を用いた CO(1-0) の観測結果について報告する。NGC1300 は棒部に十分な量の分子ガス ($\sim 10 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$) があるにもかかわらず、星形成効率が腕部と比べて 1 桁近く小さい、抑制が非常に顕著に表れている銀河であり、棒部の星形成抑制を調べるのに理想的な環境である (Maeda et al. 2018, PASJ, 2018 秋季年会)。今回の観測では、NGC1300 西側の腕部・棒部を約 40pc の分解能で観測した。その結果、ダストレーンに沿って 50~100pc の分子雲の検出に成功した。次に、典型的な渦巻銀河 M51 の分子雲を詳しく調べた Colombo et al. (2014) と同じ手法で NGC1300 の分子雲を同定し、その性質を調べた。その結果、NGC1300 の棒部と腕部では、速度分散、半径はほぼ同等であることがわかった。(中央値で $\sigma_v \sim 5 \text{ km s}^{-1}$, $R \sim 40 \text{ pc}$)。一方、棒部の分子雲質量 (中央値で $M_{\text{mol}} \sim 3 \times 10^5 M_{\odot}$) は腕部に比べて約 2 倍小さいことがわかった。さらに、腕部の分子雲に比べて棒部の方がピリアル比 ($\alpha_{\text{vir}} = M_{\text{vir}}/M_{\text{mol}}$) が大きい傾向にあることが判明した。この結果は、棒部の分子雲には重力的に束縛されていないものが多いことを示唆しており、これが星形成抑制の原因の一つであると考えられる。本講演では、これら分子雲の性質と抑制の原因について詳しく報告・議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R08a 強い棒渦巻銀河 NGC1300 における星形成の抑制

羽部朝男 (北海道大学), 藤本裕輔 (ANU), 前田郁弥, 太田耕司 (京都大学)

棒渦巻銀河の棒状部では分子ガスの量に対して星形成率が低い、すなわち星形成“効率”が低いことが近傍銀河観測から明らかになりつつある。棒状部では kpc スケールのガスの楕円運動が強いシアを生み出し、それが星形成効率の抑制に何らかの影響を与えていると考えられる。しかし星形成の現場である分子雲コアは 0.1pc 以下であり、分子雲でも 10pc 程度である。これらと kpc スケールのガスの楕円運動とは広いスケールの違いがあるため、我々は棒状部における低い星形成効率を本質的に理解できていない。そこで、理解のための第一歩として我々は分子雲に着目して棒渦巻銀河のシミュレーションを行い、kpc スケールのガスの楕円運動の影響下での分子雲の形成と、それらの性質や運動を調べている。その結果、棒状部では相対速度が非常に大きい分子雲衝突が起きていることを示した (Fujimoto et al. 2014ab, Fujimoto et al. 2016)。

棒状部における分子雲の激しい相対運動の理由やこの相対運動と星形成効率がどう関係するのか？ これらを明らかにするためには、星形成率が非常に低く、超新星爆発などの他の影響が極力ない、強い棒状構造を持つ棒渦巻銀河を調べることが最適である。そこで我々は近傍の棒渦巻銀河 NGC1300 に着目し、野辺山 45m や ALMA を用いた CO 観測を行い、分子雲の分布や性質を調べている (Maeda et al. 2018)。分子雲の相対運動を観測から直接求めるのは難しいため、並行して NGC1300 の星間ガス流体シミュレーションを行っている。棒状部では、強い楕円運動があるにも関わらず分子ガスが分布する結果を得た。これは CO 観測とも一致する (Maeda et al. 2018)。分子ガス分布は非常に細いフィラメント状となった。それらフィラメントで形成される分子雲を同定し、その性質や運動を調べた。本講演ではこれらのシミュレーションの結果を紹介し、星形成との関連について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09a A fundamental test for stellar feedback recipes in galaxy simulations

藤本裕輔, Mark R. Krumholz(ANU), Daniel T. Haydon, Mélanie Chevance, J. M. Diederik Kruijssen
(Universität Heidelberg)

Direct comparisons between high resolution galaxy simulations and high resolution observations are strong tools to investigate the cloud-scale physics of star formation and feedback in nearby galaxies. Here we carry out such a comparison for hydrodynamical simulations of a Milky Way-like galaxy, including stochastic star formation, H II region and supernova feedback, and chemical post-processing at 8 pc resolution. Our simulation shows excellent agreement with almost all kpc-scale and larger observables, including total star formation rates, radial profiles of CO, H I, and star formation through the galactic disc, mass ratios of the ISM components, both whole-galaxy and resolved Kennicutt-Schmidt relations, and giant molecular cloud properties. However, we find that our simulations does not reproduce the observed de-correlation between tracers of gas and star formation on $\lesssim 100$ pc scales, known as the star formation uncertainty principle. We conclude that the discrepancy is driven by insufficiently-strong pre-supernova feedback in our simulation, which does not disperse the surrounding gas completely, leaving star formation tracer emission too strongly associated with dense gas tracer emission, inconsistent with observations. This result suggests that cloud-scale de-correlation of gas and star formation is a fundamental test for feedback prescriptions in galaxy simulations, one that can fail even in simulations that reproduce all other macroscopic properties of star-forming galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R10a 銀河の化学力学進化シミュレーションから探る軽い中性子捕獲元素の進化史

平居悠 (理化学研究所), 和南城伸也 (Albert-Einstein-Institut), 斎藤貴之 (神戸大学)

軽い中性子捕獲元素 (Sr, Y, Zr など) の起源天体は未だ明らかではない。天の川銀河及び局所銀河群中の矮小銀河における金属欠乏星の観測から、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ で $[\text{Sr}/\text{Fe}]$ 及び $[\text{Sr}/\text{Ba}]$ に大きなばらつきがあることが知られている。近年の元素合成計算から、電子捕獲型超新星爆発などの軽い親星由来の超新星爆発は軽い中性子捕獲元素を合成できることが示されている。連星中性子星合体もこれらの元素の化学進化に影響する可能性がある。しかし、これらの天体が軽い中性子捕獲元素の進化に及ぼす影響は未だ明らかではない。そこで本研究では、矮小銀河の化学力学進化シミュレーションを行い、電子捕獲型超新星爆発及び連星中性子星合体由来の軽い中性子捕獲元素の進化を計算した。その結果、 $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -3$ では主に電子捕獲型超新星爆発が、より高金属量側では連星中性子星合体が軽い中性子捕獲元素の化学進化に寄与していることが示唆された。 $[\text{Sr}/\text{Ba}]$ 比を見ると、 $[\text{Sr}/\text{Ba}] \geq 1$ の星は、全体の2%程度であった。電子捕獲型超新星爆発はSrのみを放出するため、 $[\text{Sr}/\text{Ba}]$ 比の高い星の形成には電子捕獲型超新星爆発が大きく寄与している可能性が高い。これらの結果は、電子捕獲型超新星爆発が超金属欠乏星の軽い中性子捕獲元素の起源天体として有力であることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R11a コンパクト銀河群環境下における矮小銀河光度関数の凹み

山野井瞳, 八木雅文, 小宮山裕 (国立天文台) 幸田仁 (ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校)

銀河群や銀河団における銀河分布を統計的に表す手法の一つとして光度関数がある。銀河の光度関数は明るさごとにその個数を見積もった関数であり、明るい側の成分では銀河の形態やおかれている環境に依存してその形状を変えることが知られている。一方、絶対等級 -10 等付近までの非常に暗い側まで光度関数を求めた例はまだ少ない。その中で近傍の代表的な銀河団の一つであるかみのけ座銀河団の光度関数では、 $M_R = -12$ 等付近において特徴的な凹みが現れることが明らかにされている (Yamanoi et al. 2012)。さらに別の近傍銀河団の研究から、この凹みは銀河団によって現れたり現れなかったりすることがわかった。光度関数の凹みはその明るさの銀河が少なくなっていることを表していて、例えば明るい側 ($M_R = -18$ 等付近) で出る凹みは巨大銀河から矮小銀河への優勢種族の入れ替わりを示唆している。複数の銀河団でのみ確認される $M_R = -12$ 等の凹みの由来を探るためには、より多くの様々な環境下で光度関数を求めることが重要である。

我々はすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam(HSC) の g バンドで観測された近傍 ($0.005 < z < 0.015$) の5つのコンパクト銀河群について、それぞれの光度関数を求めた。HSCの広視野撮像データは個々のコンパクト銀河群の全体像を捉えており、複数の銀河群を探ることで統計的により有意な結果を得ることが期待される。5つの銀河群において $M_g = -13$ 等から $M_g = -12$ 等付近の銀河数が少なく、さらに暗い側にかけての光度関数の傾きは、凹みの確認できる銀河団よりも緩やかであることがわかった。本講演ではコンパクト銀河群の光度関数の暗い側の解析結果を紹介するとともに別の銀河団との比較や凹みの由来についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R12b Leo I 銀河群における矮小銀河の観測的性質及び超暗黒銀河の調査

望月知里（日本女子大学）、小宮山裕（国立天文台）、浜部勝（日本女子大学）

矮小銀河は、絶対等級が-18等より暗く非常に小さい銀河で、局部銀河群を構成する主要な銀河の種類である。これらについては既に多くの研究が行われており（Tolstoy et al. 2009, McConnachie 2012）、観測的性質は比較的良好に知られているが、他の銀河団・群では（特に暗い）矮小銀河の性質は未だよくわかっていない。主な理由として、他の銀河団・群ではあまりにも遠く暗くなるため、観測が困難になるということ、同時に、近傍だと見かけのサイズが大きく、広視野の観測が必要になることの2つが挙げられる。そこで、我々は、すばる望遠鏡のHyper Suprime-Camで撮影したLeo I銀河群（M96銀河群）のデータを用いて、矮小銀河の観測的性質を調べている。上記の理由から、局部銀河群以外の銀河群で矮小銀河のサンプル数を増やし、恒星の種族などの詳細な特性を調べることが重要である。さらに近年、超暗黒銀河（UDG）と呼ばれる非常に低い恒星密度を持つ銀河がかみのけ座銀河団で発見された（van Dokkum et al. 2015, Koda et al. 2015）ことも踏まえ、これらについての調査も重要である。これまでにLeo I銀河群の2度角×2度角の領域画像から目視で24個の矮小銀河の候補を発見し、GALFIT（Peng 2010）を用いて構造パラメータを測定した。これらのデータと、局部銀河群とその周辺の矮小銀河について得られたデータとを、全等級-有効半径、表面輝度-全等級、有効半径内の平均表面輝度-全等級の3種類のグラフに纏めることで比較検討した。結果これらの図において、Leo I銀河群で発見した矮小銀河候補は、局部銀河群とその周辺の矮小銀河とほぼ同じ分布をとり、有効半径はおおよそ1kpc以内に収まることがわかった。このことより、候補の全ては局部銀河群で見られるような一般的な矮小銀河であることが判明し、Leo I銀河群にはUDGはないと云う結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R13b GLADE-AKARI/FIS 近傍銀河カタログ：開口測光・SED フィット

諸隈 佳菜、大坪 貴文 (ISAS/JAXA)、土井 靖生 (東京大学)、竹内 努 (名古屋大学)、植田 稔也 (デンバー大学)

銀河における星形成を理解する上で、遠赤外線の情報是不可欠である。Spitzer, Herschel 衛星によって、特定の近傍銀河に対する詳細な遠赤外線観測は精力的に行われているが、無バイアスな全天サーベイ観測による、最新の近傍銀河カタログは、未だに“IRAS Revised Bright Galaxy Sample” (BGS, $60 \mu\text{m}$ のフラックスが 5.24 Jy より明るい銀河のカタログ, Sanders et al., 2003, AJ, 126, 1607) のままである。IRAS 衛星と比べて空間分解能・感度共に数倍向上した赤外線天文衛星, AKARI (Murakami et al. 2007, PASJ, 59, 369) の遠赤外線観測装置 (FIS; Far-Infrared Surveyor, $65 \cdot 90 \cdot 140 \cdot 160 \mu\text{m}$, Kawada et al., PASJ, 2007, 59, 389) の点源カタログは構築・公開済みであるが (Yamamura et al. 2010, VizieR Online Data Catalog, 2298), AKARI/FIS の PSF サイズよりも空間的に広がっていることの多い、近傍銀河に特化したカタログは存在しない。そこで我々は、AKARI/FIS による全天イメージングデータ (Doi et al., 2015, PASJ, 67, 50) を使って、近傍銀河の広がった放射を含む総フラックスを計算し、遠赤外線での近傍銀河カタログを構築している。測光対象の近傍銀河は、重力波の電磁波フォローアップのために構築された GLADE 銀河 (Dályá et al., 2018, MNRAS, 479, 2374) の中で、completeness が 100 % となる 37 Mpc よりも近傍の銀河 13,838 天体である。本講演では、測光方法・測光結果の検証 (IRAS BGS との比較)・SED フィットから導出される各種物理量の統計的性質を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14c 同一環境下にある Ultra-diffuse Galaxies の間欠的星形成の阻害要因について 2

釜谷秀幸, 佐々木秀幸, 磯川壮太 (防衛大学校)

Sandage and Binggeli (1984) は UDG(Ultra-diffuse Galaxies) が非常に低輝度の銀河であり、天の川銀河と同程度の大きさを持つ場合もあるが、その恒星数が天の川銀河の 1 % 程度であるために極端に暗いことをおとめ座銀河団領域で発見した。低輝度である理由は、例えば星間物質が速やかに失われ星形成効率が悪かったためであると考えられているものの、現状では諸説ある。このように極端な性質を持つ UDG の起源を詳らかにすることで銀河形成の素過程がよりはっきりとしてくると期待している。

最近の Toloba et al. (2018) による研究では、おとめ座銀河団に検出された 3 つの UDG に付随する球状星団の運動状態を調べ、UDG の力学構造を吟味した。Toloba 等の解析によると、3 つのうち VLSB-B と VCC615 はおとめ座銀河団内にあるにも関わらず自らが力学平衡にある。同一環境下で複数の銀河が力学的に安定した暗黒物質ハローを持つ UDG であったことは非常に興味深い。VLSB-D は銀河団からの潮汐力を強く被っていると論じられている。

前回の学会では、VLSB-B と VCC615 が安定した暗黒物質ハローを持つと、星形成活動とその後の超新星爆発などにより、星間物質のコロナ成分が広がって存在することとなり、星形成効率が悪さから、いったん広がったコロナ成分が放射冷却の後に密度の濃い星間物質として銀河本体へ再集積できることがシンプルな時間尺度の評価から分かることを発表した。今回は、このモデルに銀河団からの潮汐力による暗黒物質ハローの剥ぎ取りの効果を加味しモデル化した。講演では暗黒物質ハローの構造に制限を加えられることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15c Sculptor 矮小銀河の炭素・窒素の存在量から探る化学進化

本間英智 (国立天文台)

Sculptor 矮小銀河で観測された星の金属量分布, および元素組成 ($[C/Fe]$, $[N/Fe]$, $[\alpha/Fe]$) を化学進化モデルを用いて再現した結果について報告する。特に C, N, α 元素は、それぞれ小、中、大質量星が主な供給源であるため、各元素組成をモデルと比較することで各質量の星が化学進化にどの程度寄与してきたか詳しく調べることができる。これは Lardo et al. (2016) によって測定された Sculptor 矮小銀河の星の $[C/Fe]$ と $[N/Fe]$ の大量サンプルによって可能となった。我々の研究グループではこれまで、星の色等級図が示す星生成史に従って化学進化を計算し、矮小銀河の星の金属量分布と元素組成を再現するのに必要な化学進化過程について調べてきた。本研究では特に、矮小銀河の流体シミュレーションなどで示唆される、超新星ガスの優先的な流出が起きているか調べた。その結果、超新星ガスが優先的に流出するモデルでは星の $[C/Fe]$ と $[N/Fe]$ を過大評価するため、観測データを再現するためには超新星ガスと中小質量星由来のガスとで流出の程度に違いが無いことが分かった。この結果は、現在の元素組成である HII region の観測データを用いた先行研究からも示唆されていたが、星の観測データを用いたことで過去においても同様であることが本研究で示された。本講演では、我々の化学進化モデルによる計算結果を報告し、矮小銀河における重元素の流出過程について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R16c 近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質 II. 星形成率、金属量との相関

隈井泰樹 (熊本学園大学)

同じ光度で同じ Hubble type の銀河と比較して、中性水素 (HI) ガスの量が顕著に少ない銀河 (HI-deficient galaxy; HI-DG) について、我々は前回、それらの観測的特性を解明するために統計的調査を行った (日本天文学会 2017 年秋季年会 R21c)。今回我々は、特に HI-DG の星形成および金属量と関係する性質に注目して、様々な文献から近傍の観測データを収集・解析してその研究を進展させ、以下のような結果を得た。

(1) 個々の銀河の星形成率の、標準的な星質量-星形成率関係に対する残差 ($\Delta\text{SFR}(M_*)$) は、HI ガスの欠乏度 (HI-deficiency; $\text{Def}(\text{HI})$) や分子ガスと HI ガスの質量比 ($M(\text{H}_2)/M(\text{HI})$) とは負の相関を、冷たいガスの総質量と力学的質量の比 ($M_{\text{gas}}/M_{\text{dyn}}$) とは正の相関を顕著に示す。また、($\Delta\text{SFR}(M_*)$) は分子ガスの欠乏度 (H_2 -deficiency; $\text{Def}(\text{H}_2)$) とはほぼ無相関であるが、 $\text{Def}(\text{H}_2)$ と $\text{Def}(\text{HI})$ が共に大きな銀河での値は特に小さい。

(2) 各銀河のガス注の酸素の金属量に関する "effective yield" ($y_{\text{eff},\text{O}}$) は、 $\Delta\text{SFR}(M_*)$ と同様に $\text{Def}(\text{HI})$ や $M(\text{H}_2)/M(\text{HI})$ と負の相関を、 $M_{\text{gas}}/M_{\text{dyn}}$ とは正の相関を示す。また、個々の銀河の金属量の、一般的な星質量-金属量関係に対する残差 ($\Delta Z(M_*)$) はこれらの量との間に、 $y_{\text{eff},\text{O}}$ とは逆の傾向の相関を示す。 $\text{Def}(\text{H}_2)$ と $\text{Def}(\text{HI})$ が共に大きな銀河では $y_{\text{eff},\text{O}}$ の値は特に小さく、 $\Delta Z(M_*)$ の値は大きい。

(3) $\Delta\text{SFR}(M_*)$ は、 $y_{\text{eff},\text{O}}$ とは顕著な正の相関を、 $\Delta Z(M_*)$ とは緩い正の相関を示す。また $y_{\text{eff},\text{O}}$ と $\Delta Z(M_*)$ の間には顕著な相関は見られない。

本講演では、他の観測量との関係も含めてより詳しい結果を報告すると共に、これらの関係の起源についての議論も行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17c Effects of Gravitational Softening on the Merging of Two Spherical Galaxies

穂積俊輔 (滋賀大学), 岩澤全規, 似鳥啓吾 (理化学研究所)

従来、銀河の合体シミュレーションの多くは N 体計算で行われてきた。この計算方法では、 N 個の粒子でモデル化された各銀河に対して、粒子間距離 r の重力は $1/r^2$ に比例する純粋 Newton 力ではなく、たとえば、Plummer ソフトニングでは ε というソフトニング長を用いて $r/(r^2 + \varepsilon^2)^{3/2}$ に比例する重力で計算している。これによって、2つの粒子が接近したときに重力が数値的に発散しないようになるとともに、2体緩和の時間も長くなる。この重力ソフトニングは、銀河円盤のような回転で支配された冷たい系では銀河全体の力学に影響を及ぼすことが知られている (e.g., Earn & Sellwood, 1995, ApJ, 451, 533) が、楕円銀河のように速度分散で支えられたホットな系ではその影響は小さいと考えられている。

今回、我々は、重力ソフトニングを必要としない純粋 Newton 力で無衝突系を記述する、Self-Consistent Field (SCF) 法 (Hernquist & Ostriker, 1992, ApJ, 386, 375) を適用して楕円銀河のような球状銀河どうしの合体シミュレーションを行い、重力ソフトニングを必要とするツリーコードと結果を比較することでソフトニングの影響を調べた。その結果、Plummer ソフトニングを使ったツリーコードによるシミュレーションでは、大きな衝突径数の場合、 ε が大きくなるにつれて、銀河どうしの軌道の位相の進み方が速くなることがわかった。ツリーコードでは、2つの銀河が近づいて合体するときに、本来保存すべき角運動量が ε が大きくなるほど大きく増大していることが軌道の位相を進めている要因と考えられる。一方、SCF 法によるシミュレーションでは、角運動量は銀河の合体前後でも極めてよく保存されており、軌道の位相の進み方はツリーコードの最小の ε よりも遅くなっている。従って、SCF 法では、 $\varepsilon \rightarrow 0$ の純粋 Newton 力での銀河の合体をより忠実に記述していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R18a ALMAによる超高光度赤外線銀河の空間分解した高密度分子ガス観測

今西昌俊, 中西康一郎, 泉拓磨 (国立天文台)

赤外線光度が $10^{12}L_{\odot}$ を超える超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、塵に隠されたエネルギー源 (星生成、活動銀河中心核 AGN) によって暖められた塵からの熱放射によって明るく輝いている天体であり、ガスに富む衝突/合体銀河として観測される。ULIRG の隠されたエネルギー源を理解することは、宇宙で普遍的に生じている銀河合体によって、どのように星が生成され、また、超巨大ブラックホールへ質量が降着して母銀河に影響を与え得るかを解明する上で重要である。しかし、特に AGN は塵の奥深くに埋もれているため、(サブ) ミリ波のように、塵吸収の影響の小さな波長での観測が必要となる。我々は、ALMA サイクル0-4 で、高密度分子ガスをトレースする輝線を用いた ULIRG の観測から、(1)AGN は星生成銀河に比べて HCN/HCO⁺ 輝線強度比が高いことを確認し、(2) 他波長で AGN の兆候が全くない ULIRG において、(サブ) ミリ波観測で初めて、塵の非常に奥深くに埋もれた AGN の強い候補を見つけることに成功してきた。(サブ) ミリ波に基づく本手法の有効性を示してきたが、興味深い天体をいくつか選択して観測してきただけで、バイアスのない統計的な議論はできなかった。

ALMA サイクル5 では、赤外線の光量に基づく完全な ULIRG サンプル 26 天体 ($z < 0.15$) の、空間分解能 0.1-0.2 秒角での高密度分子ガスの観測を行い、以下の主な結果を得た。(1) 大部分の ULIRG で高密度分子ガス放射は空間分解され、中心核での回転遷移 $J=3-2$ での HCN/HCO⁺ 輝線強度比は、広がった星生成領域に比べて有意に高い。中心核に存在する AGN、及び、高密度/高温ガスの影響で説明できる。(2) 一部の天体は広がった局所領域で高い HCN/HCO⁺ 輝線強度比を示す。アウトフローに伴う衝撃波の影響かもしれない。(3) ULIRG では、分子ガス全体の質量は高密度ガスが支配している。(4) 振動励起された HCN の輝線が検出されたのは 20%以下である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R19a 天の川銀河中心領域における磁気活動が励起するガス動力学の理解

柿内健佑（名古屋大学／東京大学），鈴木建（東京大学），井上剛志（名古屋大学）

天の川銀河の中心部数百パーセクの領域は，濃密な分子ガスが幅広く集積している．これらの領域のガス運動は銀河回転に沿った円軌道では説明できない複雑な様相を示すが，その力学機構は未解明である．他方で，観測事実に基づく同領域近傍での磁場強度を考慮すると，磁場のエネルギーは星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵，あるいは上回る．これは，磁場が星間ガスの動力学を支配し得る重要な役割を担うことを示唆している．実際に，これまでの天の川銀河中心部における大規模磁気流体数値実験において，磁気活動が動径方向や鉛直方向の速度成分を励起することを明らかにしている (Suzuki et al. 2015, Kakiuchi et al. 2018)．しかし，これらの数値実験では計算を簡単にするためにガス温度を恒定的に固定しており，温度の時間進化，すなわちエネルギー方程式を解いていなかった．そこで，我々はより現実的な磁気活動の影響を明らかにするために，温度の時間進化を含めて数値計算コードの改良を行い，同じ初期条件において (i) 等温の場合と (ii) 温度の時間進化ありの数値シミュレーションを実施した．いずれの場合においても，磁気回転不安定性と磁気浮力不安定性 (パーカー不安定性) による磁場の増幅が観られたが，その詳細な状況は異なっていた．本講演では，磁場を介したガスの加熱が，磁場の増幅とガスの力学構造にどのような影響を与えるのかを紹介する．さらに，輻射によるガスの冷却，加熱，および，宇宙線によるガスの加熱の影響も論じる．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20a 銀河系面内のセファイドを利用した磁場構造解析

善光哲哉、栗田光樹夫、木野勝、長田哲也 (京都大学), 松永典之 (東京大学)、西山正吾 (宮城教育大学)、中島康 (一橋大学)

星間偏光はダストによる減光を積算したものであるため、銀河系内の磁場構造を知るには様々な距離の星の偏光を求め、トモグラフィー的な解析を行わなければならない。我々は古典セファイドと GAIA DR2 から距離の関数として偏光を求め、銀河系中心方向における大局的な磁場構造を推測した。

銀経 ± 10 度、銀緯 ± 0.5 度以内の 52 個のセファイド (Dékány et al.2015, Matsunaga et al.2016) に対して、南アフリカ天文台に設置した 1.4m 望遠鏡 IRSF と SIRPOL を用いて、約 8 分角の視野で近赤外偏光観測を行った。その結果 16 個のセファイドで高精度に偏光が求められた。セファイド周りのフィールド星に対して、 $H - K_S$ の色でヒストグラムを描くと 0mag から 2mag の間に分布し、セファイドの $H - K_S$ の赤化に対してかなり青いところに分布のピークを形成している。このピークは銀河バルジに相当すると考えられる。さらに、ほとんど赤化していないフィールド星に対して GAIA DR2 とマッチングを行い、距離を推定した。16 個のセファイドのうち、DR2 の星の近赤外偏光が多く求められた視野から 3 つ (セファイドの距離は 12 から 16kpc) を選んで議論を行った。

GAIA DR2 とマッチしたフィールド星は大部分が 3kpc 以下の距離で、これから前景の磁場情報を求めた。 $H - K_S$ のヒストグラムのピーク付近にあるフィールド星から、銀河バルジ 8kpc 程度の磁場情報、セファイドおよび、その ± 0.25 mag の範囲にある赤化した星からはさらに遠方の磁場情報を求めた。3 視野それぞれで、前景・銀河バルジ・遠方の偏光の差分を求めたところ、銀河面に良く揃った磁場が続いたのは 1 視野だけであった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R21a Dynamical Implication of Circular Velocity Curves of Galaxies

V. Kalinova (MPIfR), K. Kodaira (MPIfR, NAOJ, SOKENDAI)

Kalinova et al. 2017 (MNRAS, 469, 2539) derived circular velocity curves (CVC) for 238 galaxies from late- through early-type galaxies using integral-field spectroscopic data from CALIFA survey. They analyze the stellar kinematic fields of galaxies, fitting Jeans Axisymmetric Models and applying Markov-Chain Monte-Carlo method. The CVC profiles were classified through Principal Component Analysis and a clustering technique into 4 classes according to the two dominant components, regulating the amplitude and the inner-rise steepness of the profiles.

In the present work, we introduce quantitative parameters representing these profile characteristics and explore their relations to other galaxy parameters in a sequential manner, to obtain insights about the dynamical changes from low-mass to high-mass galaxies in a framework of merging-evolution scenario in Lamda-CDM universe.

All the present studies support a picture that the increasing mass-concentration in the inner part of a galaxy stellar system suddenly undergoes a dynamical structure change and produces an active massive nucleus which disperses angular-momentum-rich baryon to quench star-formation process.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a New approach to compute gravitational field of general object accurately

Toshio Fukushima (NAOJ)

We reviewed a recent progress in the computation of the gravitational field of a general object (Fukushima 2016a ,b, c, d; 2017a, b; 2018a, b). Among them, the most general method is realized by the regularization of the Newton kernels of the defining integrals of the field by the integration variable transformation to the local spherical polar coordinates (Fukushima 2016d, MNRAS, 463:1500–1517). If the object is of a certain simplified structure like being axially symmetric, and therefore is analytically integrable in one or two dimensions partially, useful is the employment of (i) the complete elliptic integrals, (ii) the split quadrature method, (iii) the double exponential rule, and (iv) the numerical differentiation: for an infinitely thin axisymmetric case (Fukushima 2016a, MNRAS, 456:3702–3714), for a general thick and axisymmetric body (Fukushima 2016c, MNRAS, 462:2138–2176; Fukushima 2017a, Comp. Phys. Comm., 221:109–117), for a general radially-unique finite object (Fukushima 2017b, AJ, 154:145), and for a spherical tesseroid (Fukushima 2018b, J. Geodesy, 92:1371–1386). Also, we developed a two-dimensional polygon method for an infinitely thin object (Fukushima 2016b, MNRAS, 459:3825–3860) and a recursive method for a rectangular prism with a vertical density profile following an arbitrary degree polynomial (Fukushima 2018a, Geophys. J. Int'l, 215:864–879). All these methods are capable to compute the gravitational potential, acceleration vector, and/or gravity gradient tensor accurately whether the evaluation point is inside, near the surface of, exactly on the surface of, and/or outside the object.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R23a AFLAK:モジュール可視化環境による等価幅マップの生成

打木 陸雄 (慶應義塾大学)、Malik Olivier Boussejra (慶應義塾大学)、松林 和也 (京都大学)、竹島 由里子 (東京工科大学)、植村 誠 (広島大学)、藤代 一成 (慶應義塾大学)

本発表では、AFLAK (Advanced Framework for Learning Astrophysical Knowledge) とよばれるツールを用いた、多波長データの解析手法について述べる。

本研究で扱うデータは、天球上の位置 (二次元) と波長の次元をもつ三次元の FITS ファイルである。従来は、このようなデータを IRAF 等のコマンドラインツールを用いて解析することか、研究者自らがプログラムを記述することが一般的であった。しかし、解析したいデータ量が膨大になり、解析の内容によっては処理が複雑になるなどの事情を考慮すると、このような手法は効率的であるとは言い難い。

そこで我々は、処理のプロセスをグラフ表現したビジュアルプログラミング環境を開発してきた。本ツールの特徴として、可視化された結果を参照したパラメタの即時的な微調整などの対話性や対象データや解析手法の再利用可能性、出自管理機能といったものが挙げられる。

本発表では、AFLAK を用いた、銀河の輝線や暗線の強度マップ (等価幅マップ) の生成過程を採り上げる。等価幅は星集団の年齢や金属量、中性水素ガス量などを推定する観測量であり、場所ごとの等価幅を表した等価幅マップは銀河の性質を調べる上で非常に有効である。本ツールにより、ユーザはインタラクティブな関連パラメタの微調整を行いながら、従来ツールを用いたものと同等の結果を容易に得ることができる。例えば、多数 (約一万天体) の銀河に対し、本ツールを用いて効率的にナトリウム D 線を検出し、中性ガスの降着が起きている銀河の発見やガスの量、形状の推定、銀河の進化過程との相関性の調査が容易になることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R24a 0.5~2 keV における X 線背景放射の性質と起源に関する研究

菊地貴大, 高久諒太, 山崎典子, 満田和久 (宇宙科学研究所), 山本亮 (産業技術総合研究所)

2-8 keV の帯域では、ベキ (~ 1.4) 状のモデルで様々な観測を説明することができている (Revnivtsev+2003)。*Chandra* の観測により約 85% が点源 (AGN, Galaxy など) に分解され、検出感度を高めることで最終的にはすべてに分解されると予想される (Luo+2017)。一方、このベキを 2 keV 以下へ外挿すると 0.5-2 keV の表面輝度の約 40% が点源だと期待される。そして、分解済みの天体のスペクトルからその約 75% が分解済みと考えられている。このエネルギー帯の未分解の点源には遠方の re-ionization に関わった天体も含まれると考えられている (Fialkov+2017)。OVII と OVIII の輝線が明確に存在し (McCammon+2002)、その起源は太陽風電荷交換反応 (SWCX) による放射と銀河ハローの高温物質であると考えられる (e.g. Yoshino+2009)。その熱的放射の連続成分を含めると表面輝度は背景放射の約 40% であり、残りの 20% の未知の放射の可能性を残している。空間的なパワースペクトルを用いてこれらの起源について考える研究もある (Cappelluti et al., 2012)。未分解の暗く広がった放射源の観測には、視野と有効面積を掛け合わせた量が大切になるが、分解済みの天体を視野から除くためには、点源がどの程度広がるかを表す PSF も重要になる。そのため、我々は *XMM-Newton* の *Chandra* Deep Field (CDF) における長期観測のアーカイブデータの圧倒的な統計精度とチャンドラの高い点源検出感度を再現した背景放射の成分分解を試みてきた。*XMM-Newton* の背景放射の研究にとって最難関の非 X 線イベント (Soft Proton Contamination や Non X-ray Background) を注意深く取り除き、信頼性の高いスペクトルを初めて得ることができた。その結果に基づいて、SWCX、銀河ハロー、2 keV 以上の放射に寄与する点源以外の起源の可能性について議論する

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【S. 活動銀河核】

3月16日(土) 午前(9:30-11:30) [F会場]

S01a	09:30	M87 活動銀河核ジェットにおける放射構造の一般相対論的理想電磁流体モデル 荻原大樹(東北大学)
S02a	09:42	偏光の一般相対論的輻射輸送計算による活動銀河核ジェットの構造解明 恒任優(京都大学)
S03a	09:54	セイファート銀河に強いジェットは存在するか? 米川信哉(東北大学)
S04a	10:06	The collimation structure of the relativistic jet of 3C273 revealed by GMVA+ALMA 沖野大貴(東京大学)
S05a	10:18	電波銀河 M87 におけるジェットと星間物質との相互作用 III 大曾根聡子(元産業技術総合研究所)
S06a	10:30	Herschel の観測データを用いた Cygnus A 電波ローブ東側ホットスポットの研究 砂田裕志(埼玉大学)
S07a	10:42	那須電波観測所におけるトランジェント天体の観測 大師堂経明((一社)電波天文学研究会)
S08b	10:54	MCMC 法を用いた FSRQ 型活動銀河核ジェットの SED 解析(2) 平出尚義(広島大学)
S09b	10:54	高赤方偏移 AGN に対する JVN 高感度少数基線を用いたフリンジ検出探査 古谷庸介(山口大学)
S10b	10:54	ガンマ線源の可視光変動観測による対応天体推定 森田雅大(東京大学)
S11b	11:06	1 型 Seyfert 銀河 NGC 5548 の X 線スペクトル変動の解釈 御堂岡拓哉(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S12b	11:06	Chandra 衛星による活動銀河 NGC 1068 中心核の X 線空間分解観測 中田諒(大阪大学)
S13b	11:06	SDSS 分光データを用いた輝線銀河における電離ガス領域の物理状態の調査 城知磨(愛媛大学)
S14b	11:18	中赤方偏移クエーサーの広輝線領域における [Mg/Fe] 組成比の導出 鮫島寛明(京都産業大学)
S15b	11:18	Subaru/Hyper Suprime-Cam を用いた赤方偏移 1 におけるクエーサーと赤い銀河のクラスタリング探査 佐藤真帆(東北大学)
S16c		近傍早期型楕円銀河 NGC3258 中心の巨大ブラックホール質量の測定 井口聖(国立天文台)

3月16日(土) 午後(13:30-15:30) [F会場]

S17a	13:30	セイファート銀河 NGC 1068 の VLBI 観測による中心核ブラックホール質量の推定 森島優菜(岐阜大学)
S18a	13:42	超巨大ブラックホールの活動と $M-\sigma$ relation への影響 福田晋久(首都大学東京)
S19a	13:54	CO 吸収線による超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における活動銀河核分子トラス内部構造の考察 大西崇介(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S20a	14:06	「あかり」による低光度赤外線銀河 LEDA 1712304 におけるダストに埋もれた活動銀河核の発見 土川拓朗(名古屋大学)
S21a	14:18	II 型 Seyfert 銀河 IRAS 05189-2524 中心核の ALMA 観測 馬場俊介(宇宙航空研究開発機構)
S22a	14:30	クランピートラスからの X 線スペクトルモデルのセイファート 1 型銀河への適用 小川 翔司(京都大学)
S23a	14:42	[O IV] 25.89 μm と nuclear 12 μm の光度比を用いた“塵に埋もれた”活動銀河核の診断法 山田智史(京都大学)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

S24a	14:54	The Covering Factor of Dust and Gas in Swift/BAT Active Galactic Nuclei	Kohei Ichikawa (Tohoku University)
S25a	15:06	mini-BAL クェーサー UM675 で見られる時間変動とその起源	石田大 (信州大学)
S26a	15:18	セイファート銀河の降着流における X 線放射領域形成の 3 次元大局的輻射磁気流体シミュレーション	五十嵐 太一 (千葉大学)

3月17日 (日) 午前 (9:30-10:30) [F 会場]

S27a	09:30	Does the mid-infrared-hard X-ray luminosity relation for active galactic nuclei depend on Eddington ratio?	鳥羽儀樹 (京都大学)
S28a	09:42	Transition of BH feeding from the radiatively inefficient regime into star-forming cold disk regime	Kohei Inayoshi (Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics)
S29a	09:54	臨界降着する狭輝線 QSO RX J0439.6 – 5311 の広帯域スペクトルのモデル化	久保田あや (芝浦工業大学)
S30a	10:06	HSC を用いた低光度活動銀河核の可視光度変光における母銀河の影響	木村勇貴 (東北大学)
S31a	10:18	「あかり」全天遠赤外線サーベイで迫るクェーサー母銀河の星形成時代	大藪進喜 (名古屋大学)

S01a M87 活動銀河核ジェットにおける放射構造の一般相対論的理想電磁流体モデル
荻原大樹、當真賢二 (東北大学)

活動銀河核ジェットにおいてシンクロトロン放射を担う加速電子の注入機構は未だ不明である。ジェットはブラックホールを貫く磁力線が降着流などの圧力によって収束され形作られると考えられている。ブラックホール近傍でジェット内の磁場は非常に強く、周囲のプラズマ粒子はジェット内に拡散し侵入することができない。また、当然、ブラックホールからも物質は供給されない。我々は、中心ブラックホールの視直径がジェット付随銀河の中で最も大きく、ジェット構造が最も詳細に観測されている M87 銀河のジェットに着目し、その特徴的構造から BH やその近傍領域の物理量に制限を与える研究を行ってきた (Takahashi et al. 2018, Ogihara et al. submitted)。最新の高感度電波観測により、超大質量ブラックホールが存在すると考えられている電波コアから約 10 ミリ秒角より先で、ジェットは三叉のフォーク構造を持つことが明らかになった。この放射構造は定常軸対称かつ電磁場のエネルギー密度が物質の静止エネルギー密度より十分大きいという条件下でのシンクロトロン放射強度分布計算モデルで再現される (2017 年春季年会講演番号 S04a)。しかし、このモデルではブラックホール近傍での注入機構の議論に必要な一般相対論的効果は考慮されておらず、また、上記の条件下では流体の速度を求めることができないためドリフト速度を与えていた。本研究では一般相対論的理想電磁流体の定常軸対称近似解を構築し、M87 ジェットの三叉構造を再現するジェット内密度分布を制限する。また、加速電子注入方法として考えられている円盤由来の高エネルギー光子の対消滅による電子陽電子対生成モデルについて、本研究の結果と比較し、三叉構造との関係性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a 偏光の一般相対論的輻射輸送計算による活動銀河核ジェットの構造解明

恒任優、嶺重慎(京都大)、大須賀健(筑波大)、川島朋尚(国立天文台)、中村雅徳(台湾中央研究院)

活動銀河核が持つジェットの噴出・収束機構は未だ明らかにされていないが、ジェット根元つまりブラックホール付近の磁場構造が重要な役割を握り、これが解明の鍵となる。シンクロトロン放射による電波は比較的透過性が高く、加えて高い偏光度を示すので、この未解明構造を知るツールとなる。特に地球規模の超長基線電波干渉計 Event Horizon Telescope を用いた観測プロジェクトを念頭に、予想される偏波イメージを理論計算することが喫緊の課題である。しかし観測データが乏しい現状も相まって輻射と偏光を同時に扱った先行研究は少なく、既存モデルは不確定な仮説と多数のパラメータを含み、観測データを一意に説明することができない。

本研究では3次元一般相対論的偏光輻射輸送計算コードを作成し、先行研究に従ってシンクロトロン放射の輸送係数を実装した上で、複数のジェットモデルについて計算を行った。これにより輻射の強度と偏光を同一の枠組で考え、観測結果と比較できる。用いたのは Force-Free 条件に従う2つの準解析モデルで、それぞれ降着円盤の回転に駆動されたジェット、ブラックホールの回転に駆動されたジェットに対応する。まず milli-arcsecond(mas) スケールでのイメージについて、先行研究と同様に Limb-Brightening (縁部増光) 構造を再現できた。同時に偏光分布についても観測との比較を行い、VLBI によるジェットの観測結果と概ね一致する結果が得られた。なお、流体計算 (GRMHD) モデルについても同様の計算を実行したので、mas スケールからブラックホール地平面スケールにわたって先の2モデルおよび既存のジェット下流 VLBI 観測との比較についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S03a セイファート銀河に強いジェットは存在するか？

米川信哉 (東北大理), 野田博文 (大阪大理), 浅野勝晃 (東大宇宙線研), 當真賢二 (東北大学際研)

活動銀河核 (AGN) には様々な種類があるが、その分類の1つとして電波の強弱がある。電波で非常に明るい AGN を radio-loud AGN、比較的低光度な AGN を radio-quiet AGN と呼ぶ。radio-loud AGN は全体の 10% を占め相対論的速度の噴出物 (ジェット) が観測されているが、radio-quiet AGN はジェットが非常に弱いと考えられている。しかしながら近年、radio-quiet AGN であるセイファート銀河の X 線の中に、ジェット放射と考えられる短時間変動成分が含まれていることが指摘されている (Noda et al. 2014 ;2016)。これが正しければ、セイファート銀河が強いジェットを持つことになる。本研究では、NGC 3227 の観測データを用いて、セイファート銀河の変動 X 線成分と電波成分を再現するシンクロトロン放射モデルを立てた。そしてそのモデルでシンクロトロン自己コンプトン散乱の放射強度を計算し、現在建設中で TeV 帯域を観測する CTA 望遠鏡で検出できることを示した。実際に CTA で検出できれば、セイファート銀河にも強いジェットが存在することになり、AGN の分類に革新をもたらすことになる。本発表では NGC 3227 のモデルを紹介し、セイファート銀河が強いジェットを持つ可能性について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a The collimation structure of the relativistic jet of 3C273 revealed by GMVA+ALMA

沖野大貴 (東京大学/国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 浅田圭一 (ASIAA), Jose L. Gomes (IAA), 秦和弘, 本間希樹 (国立天文台), 中村雅徳 (ASIAA), 他 GMVA+ALMA 3C 273 Collaboration

銀河中心領域から放出されてい相対論的ジェットは我々の宇宙の中で最も高エネルギーな現象の一つである一方、その形成やプラズマ粒子の加速機構など、未だに議論が続いている。今回我々はジェットの形に注目した。これまでの先行研究では M87 ジェットをはじめとするいくつかの銀河でその形が conical(円錐) から parabolic(放物線) に変化する結果が得られているが、それは観測機器の分解能の限界から近傍の低光度の AGN に限られていた。今回我々は、初めて ALMA が VLBI(超長基線電波干渉計) の観測局として加わった GMVA(The Global millimeter VLBI Array) の観測で得られた、クェーサー 3C273 のデータを解析した。この観測は角度分解能 $70\mu\text{as}$ を達成しており、それにより 3C273 の、よりコアに近い領域におけるジェットの幅を測定することが可能となり、そのジェットの形状が 10^5 乗シュバルツシルト半径で変化していることが確認された。これは M87 と非常に類似しており、ジェットの形状は低光度 AGN から活動的なクェーサーまで普遍的なものであることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a 電波銀河 M87 におけるジェットと星間物質との相互作用 III

大曾根聡子 (元産総研)

電波銀河 M87 は距離 16 Mpc と近く、ジェットが観測されている天体であり、電波から TeV ガンマ線まで広く検出されている。20 arc second 長のジェットは位置分解能 0.5 arc second の X 線衛星 Chandra で分解できている。これまで Chandra 衛星の積分時間 400 ks のアーカイブを用いて、X 線のエネルギースペクトル解析からジェットと星間物質との相互作用について報告してきた。コア、HST-1、knot D のエネルギースペクトルは電子のシンクロトロン放射でよく記述できるが、knot A は電子のシンクロトロン放射に加えて電子の熱的制動放射が必要であった。また、knot HST-1 からの電子の非熱的制動放射をシンクロトロン放射の観測量から計算し、Fermi 衛星で観測されている GeV ガンマ線への寄与を示唆した。これに対して、最近の研究では knot A について熱的放射は不要と報告された (Sun et al. 2018)。ただ、彼らの解析はバックグラウンドをジェット全体で取っている。ジェットに対するバックグラウンドは宇宙背景 X 線放射、検出器由来、M87 を中心とする Virgo クラスターのホットガスからなる。クラスターのホットガスは中心からの距離に依存しているため、バックグラウンドは中心からの距離に応じて取らなければいけない。今回は、2018 年 6 月までに公開されている積分時間 800 ks のアーカイブを用いて、この検証を行った。knot A は電子のシンクロトロン放射に加えて電子の熱的制動放射が必要であることを確認した。これまでの knot HST-1 からの電子の非熱的制動放射のフラックスは Fermi 衛星で観測されている GeV ガンマ線のフラックスに対し 5 桁も大きかったが、電子のエネルギースペクトルが GeV ガンマから TeV ガンマの間で折れ曲がる効果を取りいれて修正したところ、統計誤差の範囲内で一致した。非熱的制動放射のエネルギー損失の時間は長く、GeV ガンマ線のフラックスの変動が観測されていないことと一致する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S06a Herschel の観測データを用いた Cygnus A 電波ローブ東側ホットスポットの研究

砂田裕志 (埼玉大), 田代信 (埼玉大, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 中原聡美 (ISAS/JAXA), 紀基樹 (工学院大学), 小山翔子 (ASIAA)

白鳥座 A は典型的な FR-II 型の電波銀河であり、東西に広がった電波ローブの端に電波から X 線での観測でホットスポットが発見されている。ホットスポットでの磁場強度や加速電子のエネルギー分布を見積もるためには詳細な放射スペクトルを求めることが重要である。

特に赤外線から可視光の帯域はシンクロトロン放射の高エネルギー側のカットオフが表れるため、電子のエネルギー上限を見積もる際に重要な波長である。そこで私はこの帯域に感度を持つ Herschel に搭載された SPIRE と PACS による撮像データを解析し 350, 250, 160, 100 μm でのフラックスがそれぞれ $0.28_{-0.06}^{+0.05}$, $0.20_{-0.05}^{+0.05}$, $0.13_{-0.05}^{+0.05}$, $0.05_{-0.03}^{+0.03}$ Jy という結果を得て、この波長では顕著なスペクトルの折れ曲がりやカットオフがないことを確認した。また、この帯域でのエネルギースペクトルをべき乗分布でフィッティングしたところ光子指数は $1.3_{-0.3}^{+0.3}$ と求めた。得られた光子指数はすでにスペクトルの得られている $3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$ Hz での光子指数と矛盾しない。このような Herschel がおこなった電波ローブの観測は例が少ない。

本講演ではこの貴重な観測結果を用いて、Stawarz et al. 2007 によって検討されているホットスポットの放射モデルの検証と議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S07a 那須電波観測所におけるトランジェント天体の観測

大師堂経明, 坪野公夫 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 貴田寿美子 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICIT), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

那須電波干渉計は空間 FFT 型とよばれる独自のアイデアに基づいて作られた電波望遠鏡であり、現在、24 時間体制でトランジェント天体の観測を行っている。

那須電波干渉計では、東西方向に並んだ直径 20m の 8 基のアンテナが一体として機能する。つまり、

(a) 那須 8 素子電波干渉計 (1997 ~) 及び、早稲田大学 8 素子と 64 素子電波干渉計 (1980 ~ 2018) について (信号処理方式と歴史) (b) 電波観測の振幅 (Maxwell 方程式) とパワーの関係について (c) 1 つの星からくる電波 (振幅の平面波, + / - の波): 電波は時間的に戻せる (d) 観測方法: 那須 8 素子及び、早稲田大学 8 素子と 64 素子について (振幅位相についても、当然、たし算は、また元に戻せる) (e) 那須 160m (= 20m × 8 素子) 球面鏡は、細かい分解能が確保できる (天の川の星々のシャープな分類); 以前、1960 年頃、天文台 25m 赤羽 1.4GHz 球面鏡の観測 (天の川)

具体的には、テンプレートマッチングとよばれる最適フィルターの手法を用いて各時刻の信号出力の SNR が計算される。現在 1 mJy 程度の感度で電波天体を検出することが可能である。2015 年 6 月の V404 Cyg や 2017 年 4 月の CygX-3 のアウトバースト検出は、この手法により得られた成果である。今回は、主にデータ解析の手法や現在進めているその改良法について報告する。また、那須の空間 FFT 型電波干渉計の動作原理を発展させた超広視野高分解をもつ新型の電波干渉計の概念設計を進めているので、時間があればそれについても報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08b MCMC 法を用いた FSRQ 型活動銀河核ジェットの SED 解析 (2)

平出尚義、深沢泰司、植村誠、山田悠梨香 (広島大学)

活動銀河核は中心に超巨大質量ブラックホールを持つ天体であり、中心から光速近くまで加速されたジェットを放射しているものがある。このジェットの視線方向が地球を向く天体をブレイザーと呼び、特に光度の大きい天体を Flat-Spectrum Radio Quasars (FSRQ) と呼ぶ。FSRQ は遠くの天体まで見るとともに降着円盤からの放射も見えているので、ブラックホールの進化をジェットと降着円盤に関して調べることができる。FSRQ のエネルギースペクトル分布 (SED) を放射モデルで fit することで磁場やドップラー因子などのジェットの物理パラメータを推定することができる。従来は FSRQ の放射の理論式は複雑かつパラメータの多さから計算量が多く SED の fit が簡単ではないため、いくつかのパラメータを固定して主観的な推定を行っていた。そこで Finke.et.al(2016) で用いられた放射式の近似計算を用いて計算の高速化を行い、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) と呼ばれる乱数を用いてパラメータの確率分布を推定する方法で不定性を含めたジェットの物理パラメータを推定する。

対象天体は 3C279 で、この天体はたびたび多波長領域でフレアが観測されており、SED の時間変動が報告されている。これらのデータに対して SED を MCMC 法を用いて計算し、パラメータの時間変動を不定性を含めて議論を行った。秋の天文学会では、データ点が 3 点しかなくパラメータの変化を議論できなかったが、追加で Hayashida.et.al(2012) の多波長観測データを解析し静穏期のサンプル数を 3 倍以上にした。またフレア期においては Swift-UVOT, Swift-XRT, Fermi-LAT のデータを解析してサンプル時系列を増やし系統的なパラメータ変化を詳しく調査した。本講演では、静穏期とフレア期でのパラメータ変化を中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S09b 高赤方偏移 AGN に対する JVN 高感度少数基線を用いたフリンジ検出探査

古谷庸介，新沼浩太郎，藤沢健太（山口大学）

AGN の電波構造は宇宙初期と現在宇宙で異なるスケールをしている傾向にあり，高赤方偏移 AGN は低赤方偏移 AGN よりも 1000 倍以下のコンパクトな電波構造を持つ天体が多い傾向が示唆されている．理論的には AGN ジェット周辺的气体密度は赤方偏移に依存し， $(1+z)^3$ に比例して大きくなることから宇宙初期では周辺ガスによる閉じ込め効果によって AGN の電波構造や運動を制限していると考えられている．これらについて観測的検証を行うためには高い角度分解能によるコンパクトな電波構造の空間分解を行わなければならない．

しかしこれまでの研究では，VLBA で検出された赤方偏移 3 以上の約 150 天体のうち，数天体しかジェット構造を検出できていない．また，これらの天体は複数エポックに渡って観測が行われていることからジェットの固有運動や光度の赤方偏移依存性について統計的議論を行うことができると考えられるが，現状の空間分解されたサンプルはフラックスが 1 Jy 程度の明るい AGN だけを選択的に選出していることから観測的バイアスが存在すると考えられる．そのため，高赤方偏移 AGN ジェットの環境効果に対する統計的議論を行うためにはより暗い天体を含んだ天体選出が必要である．

そこで我々は，高赤方偏移 AGN ジェットへの環境効果について議論するため，VLBI 検出天体のサンプルを増やすことを目的とし，赤方偏移が 3 以上で VLBA アーカイブに未掲載の 522 天体を対象に，JVN の高感度な基線による 8.4 GHz でのフリンジ検出探査を行っている．今回の講演では，前回の秋季年会で報告した 69 天体に加え，73 天体についての観測結果を合わせた 142 天体についての検出状況について報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10b ガンマ線源の可視光変動観測による対応天体推定

森田雅大, 諸隈智貴, 土居守 (東京大学)

ブレーザーは、電磁波の中で最もエネルギーの高いガンマ線を放出する天体の一つである。ブレーザーは活動銀河核 (AGN) の中でもジェットを放出する方向が視線方向にほぼ一致する天体であり、ジェット由来の放射が強い。IceCube-170922A の放射源がブレーザー TXS 0506+056 であったように、IceCube 実験の検出する高エネルギーニュートリノの放射源の一つと考えられており、ジェットの放射機構の手がかりを得るのに適切な天体である。ブレーザーはこのジェット由来とされる光度変動を示すのが特徴的で、可視光域では数分から数時間に 0.1 等級以上の変動 (microvariability) や、数年単位で数等級の変動を示す。

Fermi ガンマ線天文衛星/Large Area Telescope(LAT) の 2008-2012 年の観測データをまとめた 3FGL カタログでは、全天で 3034 個のガンマ線源が検出されている。ガンマ線を放出する天体の種類としてブレーザー やパルサー、超新星残骸などがあるが、対応天体が同定されているもの (2024 天体) のうち約 86%(1735 個) がブレーザー として同定されている。しかし、未同定ガンマ線源も 1010 個に上り、ブレーザーの性質を統計的に知る為にも、これらの未同定ガンマ線源の対応天体を同定することが重要である。

本研究では特にブレーザー の microvariability に着目し、木曾シュミット望遠鏡/KWFC の g バンド (470 nm) における 1 時間間隔程度の高頻度観測データを用いて、各ガンマ線到来方向の誤差領域内に検出された天体の光度の時間変動解析を行った。本講演では、ガンマ線源の可視光対応天体の候補の推定結果をまとめるとともに、対応天体が同定されているものについてはその可視光度変動の性質についても論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11b 1 型 Seyfert 銀河 NGC 5548 の X 線スペクトル変動の解釈

御堂岡拓哉, 海老沢研 (東京大学, ISAS), 菅原泰晴 (ISAS), 水本岬希 (Duhram Univ.)

多くの 1 型セイファート銀河の X 線スペクトル中に、鉄 K 輝線が広がったような構造が観測されている。この構造を説明するために様々なモデルが提唱されているが、我々はその中でも、低電離の核部分と高電離の外層部分という内部電離構造を持つ部分吸収体が X 線源を部分的に覆い隠している、という「Variable Double Partial Covering (VDPC) モデル」を提唱している。このモデルでは、主なスペクトル成分は、空間的な広がりを持つ、power-law に従う連続成分、降着円盤からの黒体輻射、細い鉄輝線を伴う遠方からの冷たい円盤反射成分であり、これらは視線にある吸収体によって部分的に吸収される。我々は 20 以上の I 型セイファート銀河に対して VDPC モデルを適用し、観測された X 線スペクトル変動が、主に power-law 成分の強度と部分吸収率の変化のみで説明できることを示した (Iso et al. 2016)。

2013 年から 2014 年にかけて *XMM-Newton*, *NuSTAR* などによって 1 型セイファート銀河 NGC5548 の多波長観測キャンペーンが行われ、大量の高品質データが得られた。Cappi et al. (2016) は、2 年間にわたる X 線スペクトル変化に対し、二層の独立な部分吸収体を仮定したモデルを適用し、power-law 成分の photon index と片方の部分吸収体による部分吸収率との間に相関があると報告した。しかし、X 線放射機構に由来する photon index と遠方の部分吸収体が放射源を隠す割合が相関するのは物理的に不自然である。我々は、この相関はパラメータ縮退によるもので、VDPC モデルを用いると説明がつくのではないかと考えている。そこで、*NuSTAR*, *Suzaku*, *XMM-Newton* による NGC 5548 の観測データに対して VDPC モデルを適用し、0.3–78 keV の広帯域スペクトルフィットを行なった。本講演ではこれらの解析結果の詳細と Cappi et al. (2016) との比較結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S12b Chandra 衛星による活動銀河 NGC 1068 中心核の X 線空間分解観測

中田諒、林田清、野田博文、松本浩典、米山友景 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) の空間構造を明らかにするために様々な波長の精力的な観測が続けられている。基本的には、統一モデルの枠組みが広く受け入れられているものの、当初想定されていた単純なモデルでは説明できない結果も数多く報告されている。AGN の構造を詳細に調べるための最善の方法は空間分解であり、ALMA をはしめとする 0.1 秒角以下の角度分解能を示すサブミリ波観測により、核周円盤からトーラスに相当するサイズの分子の分布が明らかになりつつある。一方の X 線観測は、物質の状態が分子か原子かによらず、中心の巨大ブラックホール (BH) 近傍まで見通せる点で重要であるが、角度分解能の面では Chandra 衛星の 0.5 秒角を例外に、より長波長帯域の観測には及ばない。そこで我々は、X 線による AGN の空間構造の分解を目指し、より高い角度分解能の装置 (e.g. 多重像 X 線観測計 MIXIM; 林田他 2018) の開発を進めると同時に、Chandra 衛星による近傍 AGN のアーカイブデータを、サブピクセルの位置情報も利用しながら解析している。

本研究では、典型的なセイファート 2 型銀河 NGC 1068 に着目した。この天体は、200 pc 程度の広がりを持つ熱的な軟 X 線放射が、中心核から北東方向に分布することが知られていたが、我々は新たに、Si の He 状イオンの K 輝線および S の He 状イオンの K 輝線の分布も同じ傾向を示すことを確認した。さらに、10 分の 1 ピクセルのイメージを作成することで、より BH 近傍の、中心から半径 0.3 秒角 (約 22 pc) の範囲の領域と、その東西に位置する外側の領域の X 線スペクトルを比較した結果、中性鉄 K 輝線の等価幅に違いがあることを発見した。この中性鉄 K 輝線の分布を調べることは、中心核からの連続 X 線を使用した“トモグラフィ”に相当し、AGN 構造を詳細に調べる手がかりになると期待される。本講演では、これらの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S13b SDSS 分光データを用いた輝線銀河における電離ガス領域の物理状態の調査

城知磨, 長尾透, 寺尾航暉, 山下拓時 (愛媛大学)

電離ガス領域の物理状態を明らかにすることは、銀河形成・進化を理解する上で重要である。BPT 図と呼ばれる可視光輝線診断図 ($[\text{NII}]/\text{H}\alpha$ vs. $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$) を用いると、輝線銀河を AGN (Seyfert, LINER) と星形成銀河 (SF)、composite に分類することができる。本研究では、AGN の狭輝線領域 (NLR) や HII 領域の電子密度が BPT 図上でどのように分布するのか調査した。サンプルには、SDSS 天体のうち輝線幅の広いバルマー線がみられない銀河を選出している MPA-JHU カタログのデータを用いた。このカタログの輝線情報のうち $[\text{SII}]\lambda\lambda 6717, 6731$ の強度比を用いて、星形成銀河：91641 天体, composite：23549 天体, Seyfert：11791 天体, LINER：5479 天体 に対して電子密度を測定した。

各銀河種族の平均電子密度の測定結果は、 $n_e^{\text{Seyfert}} = 370 \text{ cm}^{-3}$, $n_e^{\text{LINER}} = 332 \text{ cm}^{-3}$, $n_e^{\text{composite}} = 251 \text{ cm}^{-3}$, $n_e^{\text{SF}} = 130 \text{ cm}^{-3}$ であった。AGN の NLR は HII 領域と比較すると高密度であることが確認できた。この結果は、中心核付近の高密度ガスが NLR 付近まで吹き出され、中心核からの紫外線放射により電離されているという描像と合致する。次に BPT 図を格子状に区切り、各領域の天体で平均電子密度を測定することで BPT 図上での電子密度分布を調べた。その結果、星形成銀河では電子密度が比較的一様であるのに対して、NLR では $[\text{NII}]/\text{H}\alpha$, $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$ の値が高くなるとともに高密度になる傾向が見られた。また、composite のうち $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$ が低く、 $[\text{NII}]/\text{H}\alpha$ が高い領域でも高い電子密度 (480 cm^{-3}) を示すことが分かった。本講演ではこれらの結果を報告し、電離領域の物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S14b 中赤方偏移クェーサーの広輝線領域における [Mg/Fe] 組成比の導出

鮫島寛明, 近藤壮平, 濱野哲史, 池田優二, 福江慧, 新井彰, 河北秀世, 大坪翔悟 (京都産業大学), 松永典之, 小林尚人 (東京大学), 安井千香子 (国立天文台)

宇宙論的タイムスケールにおける宇宙の化学進化の様子を調査することは、宇宙の星形成史を探る上で決定的に重要である。特に宇宙初期における鉄と α 元素の組成比の進化は星形成史を色濃く反映することが理論的に予測されており、観測による調査の重要性は論を俟たない。クェーサーは遠方であっても明るく、 α 元素の一つであるマグネシウムと鉄の一階電離輝線が (静止波長で) 紫外線領域に強く現れることから、宇宙論的化学進化の調査に最適な天体の一つである。我々はクェーサーの Fe II, Mg II 輝線強度から [Mg/Fe] 組成比を導出する方法を考案し、SDSS で取得されたクェーサー約 17,000 天体の可視光スペクトルの解析から赤方偏移 0.7–1.6 の範囲における [Mg/Fe] 組成比を求め、理論予測と見事に一致することを明らかにした (2016 年春季年会 Z102a; Sameshima, Yoshii & Kawara 2017, ApJ, 834, 203)。一方で、このような低赤方偏移では初期宇宙の星形成に関するパラメータに依らずモデルが縮退するため星形成史に制限を加えることはできず、より高赤方偏移における [Mg/Fe] 組成比を調査することが重要な課題であった。

本講演では、2018 年 3 月にチリの NTT 3.6 m 望遠鏡に近赤外線高分散分光器 WINERED を搭載して行った赤方偏移 ~ 3 のクェーサーの近赤外線分光観測の結果について報告する。可視光と異なり近赤外線では夜光や大気吸収の影響が輝線強度測定に影響を及ぼすため単純ではないが、高分散分光を行うことでそれらを分解および除去する工夫を凝らした点が特徴の一つである。導出した中赤方偏移における [Mg/Fe] 組成比と宇宙化学進化の理論モデルとの比較から、星形成史にどのような制限を加えることができるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S15b Subaru/Hyper Suprime-Cam を用いた赤方偏移 1 におけるクエーサーと赤い銀河のクラスタリング探査

佐藤真帆, 秋山正幸, Wanqiu He, 児玉忠恭 (東北大学), 長尾透 (愛媛大学), 西澤淳 (名古屋大学)

AGN のクラスタリング測定は、AGN の周辺環境を統計的に理解する重要な解析手法であり、AGN の付随する暗黒物質ハロー (DMH) の質量に制限を与え、銀河と超巨大ブラックホールの共進化やクエーサーのトリガー機構を紐解く鍵となる。AGN クラスタリング測定の先行研究によると、低赤方偏移 ($z < 2$) においてクエーサーは中程度の質量の DMH 内に住み、星形成銀河と同じような密度環境にいることが示唆されている。一方で高赤方偏移においてクエーサーの周辺に銀河集中がみられ、原始銀河団の良い指標とする研究も存在する。

そこで本研究はクエーサーの発現環境をより明らかにすべく、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam Strategic Program (HSC-SSP) Wide サーベイのデータを用いて、 $z \sim 1$ におけるクエーサー (SDSS) と赤い銀河との相互相関関数の測定を行った。今回得られたクエーサーと銀河の相互相関関数によると、 $z \sim 1$ におけるクエーサーは高密度領域のトレーサーとなる赤い銀河 ($\sim 10^{11} M_{\odot}$) と同程度の高い密度環境に住んでおり、比較的質量の大きい DMH 内に付随することが示唆された。また、よりクエーサーに近い小スケール ($< 0.1 h^{-1} \text{Mpc}$) においては存在する赤い銀河の数が減少するような傾向が見られた。Merger-driven クエーサーではそのような小スケールにおいてクラスタリングの超過を示すことが理論モデルにより予言されており (Hopkins et al. 2008)、それを支持するクエーサーの自己相関関数の観測結果も報告されているが、今回はそれらに一致しない結果が得られた。本講演では、 $z \sim 1$ の赤い銀河サンプルの構築について、およびクラスタリング解析の手法・結果について報告し、 $z \sim 1$ クエーサーの周辺環境について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S16c 近傍早期型楕円銀河 NGC3258 中心の巨大ブラックホール質量の測定

井口聖 (国立天文台)、善本真梨那 (山口大学)、津久井崇史 (総合研究大学院大学)、大西響子 (愛媛大学)、藤沢健太 (山口大学)

近年の観測的研究より、多くの銀河中心領域には巨大ブラックホール (SMBH) が存在し、母銀河の中心バルジと超大質量ブラックホールの質量には強い相関関係があることが明らかになってきた。この関係については母銀河と SMBH が互いに相互作用し共進化していることか?示唆されている。SMBH の成長メカニズムは未だ不明であり、SMBH 質量からアプローチをすることで、これらの理解と共に銀河進化のシナリオも解明されることが期待されている。そこで、我々は近傍早期型楕円銀河 NGC3258 に着目した。NGC3258 は Antlia 銀河団の中で最も明るい銀河であり、楕円体成分の速度分散は 257 km s^{-1} (Makarov et al. 2014) と大きく、SMBH の存在可能性が高い天体であると考えられる。本研究では、ALMA 望遠鏡のアーカイブデータから $12\text{CO} (J = 2-1)$ 輝線の 3 次元分子ガス運動を解析し、Hubble 宇宙望遠鏡の H-band 帯のアーカイブデータから銀河の総質量-光度比 (M/L) を一定とした上で 3 次元の銀河質量分布をモデル化し、双方の結果からマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いてさまざまな物理パラメータを推定した。その結果、半径約 $0.''25$ 内 (52pc 内) に約 $2 \times 10^9 M_{\odot}$ の質量が確認された。ALMA 望遠鏡の分解能が SMBH sphere of influence (SOI) の $1/3$ 倍に達しており、ケプラー回転が確認できたことから、NGC3258 の中心の重力源として SMBH の存在が必要であると考えられる。また、本研究で求められた質量は、M- 関係から推定される SMBH 質量の約 2.5 倍であった。

本講演では、これらの解析結果および導出された物理パラメータの検証について報告する。また、今後の検討課題についても議論をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S17a セイファート銀河 NGC 1068 の VLBI 観測による中心核ブラックホール質量の推定

森島 優菜、須藤 広志（岐阜大学）、谷口 義明（放送大学）、山内 彩（国立天文台）、中井 直正（関西学院大学）

Super Massive Black Hole (SMBH) の成長には、銀河合体に伴って SMBH 同士の合体が重要な役割を担っている可能性がある。この説に基づくと、銀河の中心核に複数の SMBH があるということになり、SMBH 周辺の分子ガス円盤が複数ある銀河も存在することが予想できる。水メーザーの VLBI 解析でそのような 2 つの円盤を検出できればこの説の検証になる。本研究で対象とするのは、強い水メーザーを持つ近傍のセイファート銀河 NGC 1068 である。NGC 1068 は電波の連続波で観測すると、S1, S2, C, NE など複数の成分から成り立っている。この中で水メーザースポットが確認されているのは S1 成分（中心核）と C 成分（ジェット）の 2 か所である。本研究では、この水メーザーについて、VLBA, VLA, Effelsberg 100-m 鏡等を用いて行われた VLBI のアーカイブデータを用いてマッピングを行った。まずは中心核である S1 成分の解析を行った結果、従来の研究結果と同様にほぼケプラー回転する円盤が検出された。円盤のサイズ、回転速度、SMBH 質量を算出した結果、それらの値は従来の研究結果と概ね一致した。また、円盤の中心から円盤の直径（約 2 pc）と同程度の広がりを持つ領域にもメーザースポットが新たに 50 個ほど検出された。これらが中心核からのアウトフローに伴って分布している可能性を検討する。今後は、弱い水メーザーが存在する C 成分でのメーザースポットの検出を目指して解析を進め、その分布や構造を調べ、C 成分の水メーザーはジェット起源なのか分子ガス円盤起源なのか検討を行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S18a 超巨大ブラックホールの活動と $M - \sigma$ relation への影響

福田晋久, 谷治健太郎, 政井邦昭

大半の銀河中心には超巨大質量ブラックホールがあり、その質量と母銀河の速度分散は相関をもつことが観測から示されている。 $M - \sigma$ relation と呼ばれるこの相関はブラックホールと母銀河の共進化を示唆しており、活動銀河核 (AGN) からのフィードバックを介して形成されたと考えられている。例えば、多くの近傍銀河で観測されている光速の 10-30% の速さの AGN 降着円盤風は、星間物質と相互作用して銀河規模のアウトフローを引き起こし、星間物質を系外に掃き出すことで相関を形成しうる。アウトフローが母銀河からガスを掃き出すには 10^{7-8} 年が必要と考えられるが、狭輝線領域の大きさの観測からは AGN の典型的な活動時間は 10^{4-5} 年と示唆される。AGN の活動時間が短い場合に、超巨大質量ブラックホールの質量と母銀河の速度分散がどのような相関をもつかは明らかでない。

本研究では、AGN の活動時間が短い場合のアウトフローの時間発展を流体計算を用いて調べ、アウトフローが星間物質をバルジ外に掃き出しうる超巨大質量ブラックホールの質量を求めた。計算結果から、大質量側の $M - \sigma$ relation から外れてそれ以下の質量では異なるべきに移行するある質量が存在することが分かった。講演では、計算結果を元にその質量を解析的に得るモデルを提案する。また、超巨大質量ブラックホールの質量と速度分散が小質量側でどのような相関をもつかを解析的に導き議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19a CO 吸収線による超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における活動銀河核分子トラス内部構造の考察

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄, 馬場俊介 (ISAS/JAXA), 道井亮介 (東大理, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 臼田知史 (国立天文台)

Active Galactic Nucleus (AGN) 統一モデルにおいて、分子トラスを見込む角度が AGN のタイプを分けると言われ、その内部構造の解明が極めて重要である。しかし、その内部構造は空間分解が困難であり直接観測がなされてこなかった。そこで我々は、超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 の AGN について、近赤外線領域における CO 分子の振動回転遷移 ($v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, 静止波長 $4.67 \mu\text{m}$) 吸収線の、6 年間の視線速度変動を調べ、ケプラー回転を仮定することで、分子トラスを構成する Clump の回転軌道半径 R_{rot} の上限がブラックホール質量 M_{BH} を用いて $R_{\text{rot}} \leq 1 (M_{\text{BH}}/10^9 M_{\odot})^{0.5} \text{ pc}$ と表せることを発表した (2018 年秋季年会)。

今回、我々は新たに、同じスペクトルの各吸収線を成分分離することで、これまで Clump のみの吸収によって生じると考えていた視線速度 $V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}} \sim -160 \text{ km s}^{-1}$ 、幅 $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ の吸収線成分に、同等の視線速度で、より速度分散の小さい成分が付随していることを見出した。Clump による吸収の励起温度が $T_{\text{ex}} \approx 280 \text{ K}$ であるのに対し、速度分散の小さい成分の励起温度は $T_{\text{ex}} \approx 50 \text{ K}$ 程度であった。両成分は視線速度が同等であることから、空間的に同じ領域に存在するはずである。それにもかかわらず、速度分散の小さい成分の励起温度が著しく低いため、この成分は Clump に比べて分子密度が低く、熱平衡に達していないガスによるものだと考えられる。Clump の回転軌道半径を考え合わせると、ブラックホールから 1 pc 程度の分子トラス内部構造が、高密度 Clump と、その間の低密度ガスによって構成されていることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20a 「あかり」による低光度赤外線銀河 LEDA 1712304 におけるダストに埋もれた活動銀河核の発見

土川拓朗、金田英宏、大藪進喜、國生拓摩、森鼻久美子、小林浩(名古屋大学)、山岸光義 (ISAS/JAXA)

銀河進化において、活動銀河核 (AGN) が銀河の星形成史に強く影響を及ぼしていることが、近年の研究で明らかになりつつある。特に、高光度赤外線銀河 (U/LIRGs) ではダストに埋もれた AGN が多数見つかり、赤外線光度が高い銀河ほど埋もれた AGN を持つことが分かっている。この結果は、銀河の星形成や AGN 活動、さらに AGN ダスト特性の間に密接な関係があることを示唆しているが、その関係性は十分に理解されていない。

そのような中、我々は赤外線天文衛星「あかり」の近・中間赤外線スリットレス分光観測により、低光度赤外線銀河 LEDA 1712304 から、ダストに埋もれた AGN を発見した。得られたスペクトルは高温ダスト (~ 500 K) の熱放射と多孔質シリケートダストの吸収モデルで再現でき、見かけの吸収の深さ $\tau_{\text{sil}} \sim 2.7$ と非常に深いシリケートダストの吸収を示すことが分かった。また、「あかり」や WISE、Spitzer、Herschel 衛星などのデータをもとに作成した近赤外線からサブミリ波にかけての spectral energy distribution (SED) は、3 温度のダスト放射モデルで再現でき、赤外線光度が $L_{\text{IR}} \sim 4 \times 10^{10} L_{\odot}$ と見積もられた。

LEDA 1712304 は深いシリケートの吸収を持つが赤外線光度が比較的低い、これまでに観測例の少ない珍しい銀河種族であることが分かった。我々はさらに、シリケート吸収フィーチャーの形状を中心波長やフィーチャーの幅として定量化を行い、他の ULIRGs とシリケートフィーチャーの比較を行った。その結果、他の ULIRGs とよく似たフィーチャーの形状をしていることが分かった。以上の結果をもとに、本講演では LEDA 1712304 における AGN と星形成活動の関係性や、AGN ダストトーラスの性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S21a II型 Seyfert 銀河 IRAS 05189–2524 中心核の ALMA 観測

馬場俊介、中川貴雄、磯部直樹、白旗麻衣 (ISAS)、道井亮介、大西崇介 (ISAS、東大理)

我々は、II型 Seyfert 銀河 IRAS 05189–2524 の中心核における ^{12}CO ($J = 6-5$) 回転輝線を ALMA を用いて観測したので、その結果を報告する。

我々はこれまで、活動銀河核 (AGN) トーラスを観測する目的で、近赤外線領域の CO 振動回転吸収線 ($v = 1 \leftarrow 0, \Delta J = \pm 1$) を、すばる望遠鏡や「あかり」衛星を用いて様々な銀河で観測してきた (Shirahata et al. 2013, Baba et al. 2018)。トーラスが edge on ならば、ダスト昇華層の熱放射を背景光として、トーラス内のガスを吸収線で選択的に観測できるはずである。実際、吸収で観測されたガスは高温 (数百 K) でありながら大きな柱密度 ($N_{\text{H}} \gtrsim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) を有しており、X 線で加熱されるような中心核近傍に存在することを示している。しかし、CO 吸収線は II 型 AGN でも常に観測される訳ではなく、トーラスの構造が単純でないことが示唆されていた。

IRAS 05189–2524 は CO 吸収線を示さない II 型 Seyfert 銀河の 1 つである。我々は、CO 吸収線の有無がトーラス構造の違いを反映している可能性を検証するため、この銀河の中心領域からの CO(6–5) 輝線を ALMA Cycle 4 にて空間分解能 $\sim 0''.04$ ($\sim 30 \text{ pc}$) で観測した。数百 pc のスケールでは、半径 $\sim 130 \text{ pc}$ 、速度 $\sim 10^2 \text{ km s}^{-1}$ で回転する、circumnuclear disk に相当する成分が得られた。中心数十 pc スケールでの輝線強度は、ダスト連続波ピークから北東・南西にそれぞれ $\sim 20 \text{ pc}$ ずれた 2 点でピークとなり、これらの点では速度の分散も周囲より 2 倍大きかった。2 点の方向は可視光で観測されたアウトフローの方向とほぼ垂直であり、これらがアウトフローと関連した構造であることを示唆している。

本講演では、CO 近赤外吸収線を示さない点を踏まえて、CO 電波輝線から核周辺の高温ガスの分布を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S22a クランピートーラスからのX線スペクトルモデルのセイファート1型銀河への適用

小川翔司, 上田佳宏, 山田智史, 谷本敦 (京都大学), 川口俊宏 (尾道市立大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は、中心の超巨大ブラックホール (SMBH)、降着円盤、それらを取り囲むトーラスから構成される。このトーラスは SMBH への質量供給源と考えられ、その構造を調べることは SMBH の成長を理解する上で重要である。近年、多波長観測結果から、クランプ状にガス・ダストが分布する「クランピートーラス」であることが示唆されている。しかし、その基本的な性質 (幾何構造やガス・ダスト比) は、未だによく理解されていない。

AGN の X 線スペクトルにみられる、SMBH 周辺物質からの反射成分に付随する幅の狭い Fe $K\alpha$ 輝線 (6.4 keV) は、ガス・ダスト両方を含めたトーラス構造を調べるのに有用である。特に、トーラスによる視線方向の吸収が見られない1型 AGN でさえも、この Fe $K\alpha$ 輝線を用いてトーラス構造を調べることができる。X 線においては、これまで現実的な幾何構造を考慮したモデルは少なかったが、最近、赤外線で解析に用いられているトーラスモデル (Nenkova et al. 2008) と同様の幾何構造をもつモデルが作成された (XCLUMPY; Tanimoto et al. 2019)。

まず我々は、XCLUMPY モデルを用いて、Fe $K\alpha$ 輝線の等価幅の、赤道面での水素柱密度、開口角、傾斜角に対する依存性を調べた。次に、このモデルを2つのセイファート1型銀河 (IC 4329A、NGC 7469) の広帯域 X 線スペクトルに適用した。これらの天体では、赤外線スペクトルからトーラス中のダスト分布が調べられており (Ichikawa et al. 2015)、我々の X 線の結果と直接、パラメータを比較することが可能である。本講演では、2天体の X 線スペクトル解析の詳細とともに、X 線と赤外線との比較結果とその示唆について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a [O IV] 25.89 μm と nuclear 12 μm の光度比を用いた“塵に埋もれた”活動銀河核の診断法

山田智史, 上田佳宏, 谷本敦, 鳥羽儀樹 (京都大学), 川室太希, 今西昌俊 (NAOJ)

超/高光度赤外線銀河 (Ultra/luminous Infrared Galaxies; U/LIRGs) は、星形成が活発であり、進化段階の銀河である。近傍では、U/LIRGs の多くはガスが豊富な銀河同士の合体によって生じている。これらの天体は、ガスやダストの効率的な角運動量損失により、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) を誘発するため、巨大ブラックホール進化の重要な役割を担う。特に合体の最終段階では、質量供給源である AGN のトーラスが全体を覆うほどに“塵に埋もれた”構造になると予測されている。しかし、中心核領域はガスやダストに覆われているため、これらの AGN を特定するのは困難であり、合体に伴う構造の進化については未だ解明されていない。

そこで我々は、[O IV] 25.89 μm と nuclear (subarcsecond-scale) 12 μm の光度比を用いた、埋もれた AGN の新しい判定法を導入した。これらは AGN の狭輝線領域とトーラスから放射されており、それぞれダスト減光を受けにくい。まず、X線衛星「すざく」によって追観測されている *Swift*/BAT カタログ天体のうち、トーラス吸収を受けた AGN (水素柱密度が $\log N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2} = 22\text{--}24$) の天体 (e.g., Kawamuro et al. 2016) を用いることで、散乱成分が小さい ($< 0.5\%$) AGN では一般の 2 型 AGN よりも [O IV] / 12 μm の光度比が小さいことが分かった。これは、この比が埋もれた AGN を特定する良い指標であることを支持している。さらに、我々はこの判定法を、AGN を持つ近傍の様々な合体段階にある U/LIRGs の 23 天体に適用した。その結果、合体の最終段階では AGN は埋もれている一方、初期段階や合体でない U/LIRGs では埋もれていないことが分かった。これは、銀河同士の相互作用が進むにつれて U/LIRGs が持つ埋もれた AGN の割合が大きくなることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S24a The Covering Factor of Dust and Gas in Swift/BAT Active Galactic Nuclei

Kohei Ichikawa, Claudio Ricci, Yoshihiro Ueda, and BASS team

We quantify the luminosity contribution of active galactic nuclei (AGN) to the $12\ \mu\text{m}$, mid-infrared (MIR; $5\text{--}38\ \mu\text{m}$), and the total IR ($5\text{--}1000\ \mu\text{m}$) emission in the local AGN detected in the all-sky 70-month *Swift*/Burst Alert Telescope (BAT) ultra hard X-ray survey. We decompose the IR spectral energy distributions (SEDs) of 587 objects into AGN and starburst components using AGN torus and star-forming galaxy templates. This enables us to recover the AGN torus emission also for low-luminosity end, down to $\log(L_{14\text{--}150}/\text{erg s}^{-1}) \simeq 41$, which typically have significant host galaxy contamination. We find that the luminosity contribution of the AGN to the $12\ \mu\text{m}$, the MIR, and the total IR band is an increasing function of the $14\text{--}150\ \text{keV}$ luminosity. We also find that for the most extreme cases, the IR pure-AGN emission from the torus can extend up to $90\ \mu\text{m}$. The obtained total IR AGN luminosity through the IR SED decomposition enables us to estimate the fraction of the sky obscured by dust, i.e., the dust covering factor. We demonstrate that the median of the dust covering factor is always smaller than that of the X-ray obscuration fraction above the AGN bolometric luminosity of $\log(L_{\text{bol}}/\text{erg s}^{-1}) \simeq 42.5$. Considering that X-ray obscuration fraction is equivalent to the covering factor coming from both the dust and gas, it indicates that an additional neutral gas component, along with the dusty torus, is responsible for the absorption of X-ray emission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S25a mini-BAL クェーサー UM675 で見られる時間変動とその起源

石田大, 三澤透, 伊東大輔 (信州大学), 堀内貴史 (国立天文台)

クェーサーの降着円盤から噴き出すアウトフローは、SMBHの成長や銀河間空間の化学進化に寄与するなど、クェーサー自身や周辺領域に影響を与えることが示唆されている。アウトフローがもたらす吸収線はその線幅に応じ、Broad Absorption Line (BAL) と Narrow Absorption Line (NAL) に分類される。両者の中間的な性質を持つ mini-BAL は、BAL のように時間変動を示すことからアウトフローに起源を持つ可能性が高く、また NAL のように詳細な構造を持つことから吸収線に対するモデルフィットが可能である。このように mini-BAL はアウトフローの時間変動を定量的に解析するための最適な対象と言える。

我々は mini-BAL クェーサー UM675 の詳細な変動傾向を調査した。UM675 は 1980 年代から繰り返し低分散分光観測が行われており、吸収強度が時間変動を示すことが知られていた。しかし低分散分光では mini-BAL の正確な吸収構造が失われ、物理量の推定は困難である。そこで、本研究では Keck/HIRES と Subaru/HDS で過去 3 回に渡って取得された高分散分光スペクトルに対するモデルフィットを行い、物理量の時間変化を調べた。線幅の広い broad 成分 (FWHM \sim 430 km/s) 1 本と、線幅の狭い narrow 成分 (FWHM $<$ 50 km/s) 2 本でフィッティングを行った結果、broad 成分は 3σ 以上で掩蔽率などが変化していたのに対し、narrow 成分についてはどの物理量も 2σ 程度以上の変動は示さなかった。また、両成分の変動の間には明確な相関は確認できなかった。時間変動を示した broad 成分に対しては、視線横断シナリオ、電離状態変動シナリオの 2 つの適応可能性を検討し、さらにアウトフローのガス密度、ガスの厚み、公転半径などをシンプルなモデルを仮定し評価した。時間変動しない narrow 成分についても考慮し、このクェーサーのアウトフローの性質を再現しうるモデルについて考察した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S26a セイファート銀河の降着流における X 線放射領域形成の 3 次元大局的輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一 (千葉大学) 加藤成晃 (理化学研究所) 高橋博之 (中部大学) 大須賀健 (筑波大学) 松元亮治 (千葉大学)

セイファート銀河の紫外線放射は超巨大ブラックホール周囲の光学的に厚い降着円盤が起源であると考えられる。他方セイファート銀河で観測される X 線放射領域については円盤コロナやブラックホール近傍の光学的に薄い高温円盤などが候補である。Noda et al. (2014,2016) はセイファート銀河の増光に伴って軟 X 線超過領域が出現することを見出した。光学的に薄い高温円盤からの放射は硬 X 線が卓越するため、軟 X 線超過領域は高温円盤が冷えることにより形成される可能性が考えられる。しかし、X 線放射の起源はまだよくわかっていない。

上記の問題を解決すべく本研究では、モーメント法に基づく輻射磁気流体コード CANS+R (Takahashi & Ohsuga 2013,2016) を $10^7 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホール周囲の降着円盤に適用した。ISCO (3 シュバルツシルド半径) で約 600 回転計算した結果、降着率がエディントン降着率の 10% 程度の場合、ブラックホール近傍の光学的に薄い高温 (10^{11} K) 円盤と遠方の幾何学的に薄い低温 (10^6 K) 円盤が共存し、その中間領域に $10^6 - 10^7$ K の領域が形成されることがわかった。軟 X 線放射はこの領域から放射されることが考えられる。ブラックホール近傍では磁気散逸による加熱のため高温状態が保たれ、この領域から硬 X 線が放射されると期待される。恒星質量ブラックホールの場合と比べて中間領域の輻射圧の割合が高く、円盤はやや幾何学的に厚くなるこがわかった。本講演では、観測されると期待されるスペクトルや円盤構造の時間発展やジェット・アウトフローの生成機構等についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S27a Does the mid-infrared–hard X-ray luminosity relation for active galactic nuclei depend on Eddington ratio?

Yoshiki Toba, Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.) Kenta Matsuoka Megumi Shidatsu, Tohru Nagao, Yuichi Terashima (Ehime Univ.), Wei-Hao Wang, and Yu-Yen Chang (ASIAA)

We revisit the correlation between the mid-infrared ($6\ \mu\text{m}$) and hard X-ray (2–10 keV) luminosities of active galactic nuclei (AGNs) to understand the physics behind it. We construct an X-ray flux-limited sample of 571 type 1 AGNs drawn from the *ROSAT* Bright Survey catalog. Cross-matching the sample with infrared data taken from *WISE*, we investigate the relation between the rest-frame $6\ \mu\text{m}$ luminosity (L_6) and the rest-frame 2–10 keV luminosity (L_X), where L_6 is corrected for the contamination of host galaxies by using the SED fitting technique. We confirm that L_6 and L_X are correlated over four orders of magnitude, in the range of $L_X = 10^{42-46}\ \text{erg s}^{-1}$. We investigate what kinds of physical parameters regulate this correlation. We find that L_X/L_6 strongly depends on the Eddington ratio (λ_{Edd}) as $\log \lambda_{\text{Edd}} = -(0.56 \pm 0.10) \log(L_X/L_6) - (1.07 \pm 0.05)$, even taking into account quasars that are undetected by *ROSAT* as well as those detected by *XMM-Newton* in the literature. We also add hyper-luminous quasars with $L_6 > 10^{46}\ \text{erg s}^{-1}$ in the literature and perform a correlation analysis. The resultant correlation coefficient is -0.41 ± 0.07 , indicating a moderately tight correlation between L_X/L_6 and λ_{Edd} . This means that AGNs with high Eddington ratios tend to have lower X-ray luminosities with respect to the mid-infrared luminosities. This dependence can be interpreted as a change in the structure of the accretion flow. (Toba et al. 2018, MNRAS, submitted).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S28a Transition of BH feeding from the radiatively inefficient regime into star-forming cold disk regime

Kohei Inayoshi (KIAA), Kohei Ichikawa (Tohoku University), Jeremiah Ostriker (Columbia University), Rolf Kuiper (University of Tübingen) and Luis Ho (KIAA)

We study the properties of rotating accretion flows onto supermassive black holes (SMBHs) in galactic nuclei using axisymmetric two-dimensional hydrodynamical simulations with radiation cooling and BH feedback processes. The simulations resolve hot gas bounded by the gravity of the central BH and accretion through a torus or disk, depending on the gas inflow rate from the Bondi radius. For lower Bondi rates ($\dot{M}_B \lesssim 10^{-3} \dot{M}_{\text{Edd}}$), where \dot{M}_{Edd} is the Eddington rate, the BH accretion rate is suppressed due to convective motion by several orders of magnitudes from the Bondi rate. Thus, the radiative luminosity results in as low as $\approx 10^{-10} - 10^{-7} L_{\text{Edd}}$, where L_{Edd} is the Eddington luminosity. For higher rates of $\dot{M}_B \gtrsim 10^{-3} \dot{M}_{\text{Edd}}$, the accreting gas cools and forms a dense geometrically-thin disk in the Bondi radius. Since the cold disk feeds the BH at the Bondi rate, the luminosity increases dramatically to $\approx 10^{-3} L_{\text{Edd}}$. The transition from radiative inefficient flows to cold disk accretion naturally explain the observed relation between the Bondi accretion rates and radiative luminosities for SMBHs in the local universe. In addition, the dense and cold disk formed in the nuclear region tends to be gravitationally unstable, which leads to active star formation. This suggests a possible explanation of the correlation between star formation rates and BH feeding rates in Seyfert galaxies, the origin of massive stars in the galactic nuclei and the remnant of post-AGN activity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S29a 臨界降着する狭輝線 QSO RX J0439.6 – 5311 の広帯域スペクトルのモデル化

久保田あや (芝浦工業大学), Chris Done (University of Durham)

AGN の広帯域スペクトル (SED) は optxagnf (Done et al. 2012) や agnsed (Kubota, Done 2018) などのスペクトルモデルによって定量的な評価が進んでいる。これらのモデルは Novikov-Thorne モデル (標準降着円盤) を仮定しており、エディントン限界光度 L_{Edd} を超えて輝く AGN については詳しい議論が難しい。しかし、高光度で輝く低質量のブラックホールと考えられる狭輝線セイファート 1 型銀河では、光度は時に $10 L_{\text{Edd}}$ にも達し、臨界降着を扱える観測スペクトルモデルが必要である。標準円盤では、降着円盤の局所温度 $T(r)$ は近似的に $T(r) \propto r^{-3/4}$ と記述できるが、臨界降着率を超えると、内側の放射効率が下がり、 $T \propto r^{-1/2}$ で表されるスリム円盤が実現されると考えられる。スリム円盤以外にも円盤風による放射効率の減少などのモデルが提唱されているが、今回は、スリム円盤モデルを採用し、 $r < r_c$ で実現する局所的なエディントン限界を考え、この範囲で局所温度が $T \propto r^{-1/2}$ に遷移すると仮定して、モデル化を行った。本モデルでは、臨界半径 r_c は Watarai et al. 2000 及び Sadowski 2011 による質量降着率と放射光度の計算結果を再現するように算出した。また $r > r_c$ では従来の SED モデルと同様に Novikov-Thorne モデルに従うものとし、放射成分としては agnsed モデルと同様に 3 領域 (外側から順に黒体放射領域, 低温コンプトン領域, 高温コンプトン領域) を採用した。これをエディントン比がもっとも高いと期待される狭輝線 QSO, RX J0439.6 – 5311 (Jin et al. 2017) の SED に応用した。モデルは SED をよく再現し、 $M = 6 \sim 13 \times 10^6 M_{\odot}$, $\dot{M}/\dot{M}_{\text{Edd}} = 10 \sim 2.3$ ($\eta \dot{M}_{\text{Edd}} c^2 = L_{\text{Edd}}$), $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}} = 4 \sim 2.3$ と推定された。 H_{β} のプロファイルから推定される質量は $3.9 \sim 9.4 \times 10^6 M_{\odot}$ であり、エディントン限界を超えて輝き、アドベクション、もしくは中心近傍の円盤風などによって放射効率が減少している可能性が高い。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S30a HSC を用いた低光度活動銀河核の可視光度変光における母銀河の影響

木村勇貴 (東北大学), 山田亨 (宇宙航空研究開発機構), 諸隈智貴 (東京大学), 安田直樹 (Kavli IPMU)

活動銀河核 (AGN) はあらゆる波長域で光度が時間変動している。特にクエーサーの変光調査によって明らかとなった「低光度ほど変光強度が強い」という性質は、既存の AGN 同定方法 (X 線や中間赤外線の色など) では取得が困難とされる低光度 AGN の同定に役立つ。これは種ブラックホールの形成の鍵となる矮小銀河内の AGN の発見にも期待されることから、変光による AGN 同定は非常に重要な手法と言える。しかし「低光度ほど変光強度が強い」という性質は、より低光度な AGN ($L_{bol} \leq 10^{45} \text{erg/s}$) に対してはまだ系統的に明らかにされていない。

そこで本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime Cam (HSC) 戦略枠プログラム (SSP) 観測による非常に広くて深い (COSMOS 領域 ~ 1.5 平方度, $i \sim 25.5 @ S/N = 5$) 多波長 (g, r, i, z -band) のデータを用いて変光調査を行った。COSMOS 領域では Chandra 衛星による非常に深い X 線観測 (e.g. $z=1$ で $L_{0.5-2\text{keV}} \sim 10^{42} \text{erg/s}$ の低光度 AGN を検出) もなされていることから、より低光度な AGN の多波長での変光の調査が今回初めて実現可能となっている。HSC-SSP の 3 年分 (2014 年から 2017 年, 各 band 8 epoch 以上) のデータを用いて変光天体を抽出し、その中で X 線で検出されている天体 (436 天体) を用いて、Structure Function による低光度 AGN の変光の性質の調査を行った。その結果、従来の「低光度ほど変光強度が強い」という性質は低光度側 ($L_{bol} \leq 10^{45} \text{erg/s}$) では見かけ上成立しないことが明らかとなった。一方で、我々の解析から、低光度 AGN の変光の特徴には母銀河の寄与の影響が強く存在し、この振る舞いは母銀河の寄与の光度と波長依存性を考慮することで「低光度ほど変光強度が強い」という性質を矛盾無く整合的に説明できることがわかった。

本講演では低光度 AGN の変光の性質、また観測される変光の特徴の母銀河による影響について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S31a 「あかり」全天遠赤外線サーベイで迫るクェーサー母銀河の星形成時代

大藪進喜, 金田英弘, 高橋百合野 (名古屋大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 山岸光義 (ISAS)

銀河の中心にある超巨大ブラックホール質量と、母銀河のバルジ星質量の間には強い相関があることが知られている。超巨大ブラックホールと母銀河が、何らかの関係を持って進化してきたことが示唆されるが、まだ詳細はわかっていない。そこで、まさに超巨大ブラックホールの激しい成長期であるクェーサーに対して、その母銀河の星形成性活動を明らかにすることが重要である。

そこで我々は、赤外線天文衛星「あかり」遠赤外線全天サーベイを用いることで、Sloan Digital Sky Survey クェーサーカタログから選択した赤方偏移 $z < 5$ のクェーサーについて、母銀河の星形成活動を調べた。一般的な星形成銀河では紫外光、水素再結合輝線、シンクロトロン放射を星形成率の指標として用いることも多いが、クェーサー母銀河ではこれらの放射は活動銀河核からの寄与が大きく星形成率の指標とはならない。一方で、遠赤外線は、クェーサーにおいても活動銀河核からの放射の寄与が小さく、信頼のおける星形成率指標となる。しかし、高赤方偏移クェーサーからの遠赤外線放射は暗いため、個々の画像からは検出が困難である。よって、多数のサンプル画像をスタックすることで浮かび上がらせる解析を行った。そして、各赤方偏移、クェーサー光度ごとに遠赤外線画像をスタックし、平均のクェーサー母銀河星形成率を求めた。その結果、同じクェーサー光度では、赤方偏位と星形成率も正の相関があることがわかった。また、同じ赤方偏移においては、星形成率とクェーサー光度の間に強い相関はないということがわかった。このことから、クェーサー母銀河の成長は、過去のほうが活発であったことが明らかになった。本講演では、以上の結果について報告するとともに、他波長で示唆されているクェーサーの共進化史との比較についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

3月14日（木）午後（13:00-15:00）[F会場]

T01a	13:00	Search for massive LAE overdensities traced by IGM to study their coorelation at $z\sim 2.2$ Liang, Yongming (Sokendai/NAOJ)
T02a	13:12	HSC-SSP サーベイ領域にある可視銀河団のX線フォローアップ計画 (2) 太田直美 (奈良女子大学)
T03a	13:24	HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (4) 吉田篤史 (名古屋大学)
T04a	13:36	XMM-Newton 衛星による重力レンズ天体 Eye of Horus 周辺の銀河団ガスの重力質量分布の測定 田中桂悟 (金沢大学)
T05a	13:48	サブハローのガス質量比測定を通じた A2319 銀河団の質量構造の研究 大谷花絵 (奈良女子大学)
T06a	14:00	近傍銀河団 IGR J17448-3232 の高温プラズマの調査 渡邊翔子 (奈良女子大学)
T07a	14:12	銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価 杉山剣人 (東京理科大学)
T08a	14:24	銀河団外縁部のエントロピーの平坦性に対するガス塊の寄与 上田将暉 (東京理科大学)
T09a	14:36	銀河団の基準 L_X-T , L_X-M 関係の再考 藤田裕 (大阪大学)
T10b	14:48	XMM 衛星データを用いた MCXCJ0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析 2 楊冲 (広島大学)

T01a Search for massive LAE overdensities traced by IGM to study their coorelation at $z\sim 2.2$

Yongming Liang (Sokendai/NAOJ), Nobunari Kashikawa (U. Tokyo/NAOJ), Zheng Cai (UCSC), Xiaohui Fan(U. Arizona), J. X. Prochaska (UCO/Lick), Masafusa Onoue (MPIA), Jun Toshikawa (ICRR, U.Tokyo), Kazuhiro Shimasaku (U. Tokyo), Rhythm Shimakawa (NAOJ), Masayuki Tanaka (Sokendai/NAOJ), Hisakazu Uchiyama (Sokendai/NAOJ), Kei Ito (Sokendai/NAOJ)

The correlation on the distribution between HI in the intergalactic medium (IGM) and galaxies now attracts great interests. In the MAMMOTH project, Cai+2016 found that Coherently Strong Lyman-alpha Absorption Systems (CoSLAs) can be ideal tracers for massive overdensities. We performed deep narrowband imaging on the 8.2-m Subaru Telescope with HSC to probe Lyman Alpha Emitters (LAEs) at $z\sim 2.2$ in the fields traced by such extreme group of HI absorbers. The CoSLAs are selected from QSO spectra of the complete SDSS-III/BOSS and SDSS-IV/eBOSS database covering over 10,000 deg², equivalent to a survey volume of ~ 1 cGpc³, which is one order of magnitude larger than current $z\sim 2$ galaxy surveys. Here we show our preliminary results that massive large scale structures are found in the first two observed fields. And we also find the first hint of a direct positive correlation between our LAEs overdensity sample and the optical depth of Lyman-alpha absorption, which is also supported by the cross-correlation analysis for the distribution of LAEs and QSOs with low/high optical depth subsamples. Such results approve that IGM gas tends to assemble in the regions where galaxies cluster together at large scale during the epoch of *Cosmic Noon*.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a HSC-SSP サーベイ領域にある可視銀河団のX線フォローアップ計画(2)

太田直美(奈良女子大), 三石郁之(名古屋大), 赤松弘規(SRON), 一戸悠人(立教大), 上田周太郎(ASIAA), 大栗真宗(東京大), 大谷花絵(奈良女子大), 岡部信広(広島大), 田中桂悟, 辻歩美(金沢大), 浜名崇(国立天文台), 宮崎聡(国立天文台), 吉田篤史(名古屋大), 他 HSC 銀河団コラボレーション

銀河団のX線観測から、高温ガスの温度・光度など銀河団質量を反映する測定量や力学的進化の指標となる形態の情報が直接的に得られる。現在、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた大規模な戦略的観測プログラム(HSC-SSP)が進められ、広い赤方偏移範囲における可視銀河団のカタログが構築されている。我々は、可視銀河団カタログ(Oguri et al. 2017)に基づいて、系統的なX線解析を行い、銀河団スケール則や力学的進化の調査を通じて今後の銀河団宇宙論に役立てることを目的として、X線フォローアップ計画を進めている。特に、高赤方偏移でかつ大質量の銀河団は希であり、そのような未開拓領域に対して新しい観測的制限を課すことができる。

今回は上述の可視銀河団カタログのうち、(1)リッチネス > 20 を持つ約40個の銀河団 ($0.1 < z < 0.8$) を対象としたXMM-Newton衛星アーカイブデータの解析、および(2)最近XMM-Newton衛星で取得したリッチネス > 40 を持つ10個の銀河団 ($0.8 < z < 1.2$) のデータ解析を行った。その結果、本サンプルの重心シフト測定から見積もられる規則型銀河団の割合は、X線や電波の銀河団サンプルと比べて低いこと、また銀河団スケール則のべきはself-similarモデルと測定誤差の範囲で一致する一方、同モデルから予想されるような光度温度関係の赤方偏移進化は見られないことがわかった。本講演では、このような結果に基づいて可視銀河団の性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T03a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団のX線フォローアップ計画 (4)

吉田篤史, 三石郁之 (名古屋大), 太田直美 (奈良女子大), 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 浜名崇 (国立天文台), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 一戸悠人 (立教大学), 上田周太郎 (ASIAA), 大谷花絵 (奈良女子大), 他 HSC 銀河団コラボレーション

Weak lensing は銀河団の暗黒物質の質量やその分布を力学平衡等の物理的仮定を介さず直接抽出できる唯一の手法であり、近年の銀河団研究において大きな成果を挙げている。現在進行中のすばる望遠鏡搭載 Hyper Suprime-Cam を用いた戦略的観測プログラム (HSC-SSP) による ~ 160 平方度領域をカバーした weak lensing 観測により $10^{14}h^{-1}M_{\odot} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\odot}$ の幅広い質量レンジで 65 もの weak lensing 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al. 2017)。そこで我々はこのサンプルを用いて銀河団スケール則などを調べることを目的に X 線天文衛星 XMM-Newton のアーカイブデータの系統的な解析を行なった。イメージ解析の結果、観測のあった 13 個のうち光子統計の悪かった領域を除いた全ての領域で weak lensing 質量ピークに対応する広がった X 線源を確認した。これらのサンプルの X 線光度と weak lensing 質量の関係をまとめたところ、X 線同定銀河団と比較して系統的に X 線光度が低いという示唆を得た (三石, 吉田他 日本天文学会 2017 年秋季, 2018 年春季, 秋季年会)。

今回、我々は X 線天文衛星 Chandra の全アーカイブデータも調査し、4 個のサンプルを追加した。そして、我々が観測提案を行なった XMM-Newton の新たな観測から 1 個のサンプルを追加した。これらのイメージ解析の結果、5 個全ての領域で質量ピークに対応する広がった X 線源を確認した。さらに、Chandra の高空間分解能を用いて、銀河団ガスの中心集中度やコア部分を調査し、その力学状態について議論した。本講演では、これら計 18 個のサンプルについて銀河団スケール則や力学状態の調査を元に、銀河団の統計的な性質について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a XMM-Newton 衛星による重力レンズ天体 Eye of Horus 周辺の銀河団ガスの重力質量分布の測定

田中桂悟，辻歩美（金沢大学），一戸悠人（立教大学），上田周太朗（ASIAA），江上英一（アリゾナ大学），大栗真宗（東京大学），太田直美（奈良女子大学），岡部信広（広島大学），田中賢幸（国立天文台），藤本龍一（金沢大学），Anupreeta More（IUCAA），Kenneth Wong（東京大学）

Eye of Horus は Subaru-HSC で発見された $z = 0.795$ に存在する重力レンズ天体であり，2つの背景銀河が手前の銀河によって同時に強い重力レンズ効果を受けている（M. Tanaka et al, 2016, ApJ, 826, L19）ため， $z \sim 0.8$ の遠い銀河でありながら，10 – 100 kpc の重力構造を精度良く決められる極めて珍しい天体である．現在詳細な質量分布のモデル化が行われているが，レンズ像は中心銀河のみならず周囲の重力ポテンシャルの影響を受けるため，銀河団スケールでの質量構造を把握する必要がある．Subaru-HSC による観測では，Eye of Horus を中心とする銀河団の他に ~ 2 分角離れた位置に $z = 0.758$ の銀河団が存在することがわかっているが（M. Oguri et al, 2018, PASJ, 70, S20），可視光の観測では銀河団中心，銀河団スケールにおける重力質量の決定に大きな不定性が存在するため，X線による銀河団ガスの観測が重要となる．

我々は XMM-Newton 衛星を用い，Eye of Horus 近傍の銀河団ガスの観測に初めて成功した．2つの銀河団に対してイメージフィットを行い，双方の表面輝度モデルを確立し，また2つの銀河団は放射領域が重なっているものの衝突銀河団ではないことを確認した．さらにスペクトルフィットの結果と合わせ重力質量を計算したところ，双方の銀河団の質量は誤差の範囲で同等であることが明らかになった．これは双方の銀河団のメンバー銀河の数がほぼ同数（ $N \sim 35$ ）であるという可視光での観測結果と矛盾しない結果である．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05a サブハローのガス質量比測定を通じた A2319 銀河団の質量構造の研究

大谷花絵, 太田直美 (奈良女子大学), 岡部信広 (広島大学), 上田周太郎 (ASIAA)

銀河団内に存在するサブハローの研究は、銀河団の構造形成史やダークマター粒子の性質の理解につながるため重要である。本研究の目的は、 $z = 0.0557$ に位置する近傍銀河団 A2319 の構造進化の様子を探ることである。特にサブハローのガス質量比の測定には、弱い重力レンズ効果解析と X 線観測の組み合わせが有効である。2018 年春季年会では、A2319 の半径 R_{500} 以内に存在する 2 つのサブハローのガス質量比の測定結果を報告した。

今回は上記の結果に加え、A2319 の半径 R_{500} の外側で同定された 4 つのサブハローについてガス質量比の測定を行ったが、A2319 内に存在する 6 つのサブハローのガス質量比は全て 0.003 以下の値をとることが分かった。この値は銀河群の典型値よりも小さく、サブハローのガスはストリップ効果を受けたことが考えられる。次に、ダークマターの質量分布との相関を調べるため、銀河団のメインハローが拘束している高温ガスからの X 線放射成分を double β モデルで近似し、差し引くことで輝度の残差分布を作成した。この解析から、銀河団中心部に存在するスパイラル構造の詳細なイメージが得られた。そこで、このスパイラル構造とサブハローの関係に着目し、スパイラルとサブハロー各々の領域のスペクトル抽出・フィットを行い、ガスの物理量を導出した。本講演では、以上の内容についての詳細な結果を報告し、それらを基に A2319 の構造進化についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T06a 近傍銀河団 IGR J17448–3232 の高温プラズマの調査

渡邊翔子, 山内茂雄 (奈良女子大), 赤松弘規 (SRON), 信川久実子 (奈良女子大)

宇宙最大の自己重力天体である銀河団は自身の形成時間の長さで中心部における密度から、銀河団高温プラズマ (ICM) が電離平衡状態であるとされている。一方、数値シミュレーションによると、衝突銀河団の衝突後のフェイズと場所によっては、ICM が電離非平衡状態になり得ることが報告されている (Takizawa 1999, ApJ, 520, 514; Akahori & Yoshikawa 2010, PASJ, 62, 335)。実際、衝突銀河団の観測データからも、衝撃波付近において ICM が電離非平衡状態である可能性が報告されている (e.g., Markevitch 2010, arXiv:1010.3660; Inoue et al. 2016, PASJ, 68, S23; Wang et al. 2018, ApJ, 856, 162)。しかし、相反する結果も報告されており (Russell et al. 2012, MNRAS, 423, 236; Hitomi Collaboration 2018, PASJ, 70, 9)、電離非平衡プラズマが銀河団に存在するかの議論は収束していない。

本研究では、XMM-Newton 衛星により観測された近傍銀河団 IGR J17448–3232 ($z = 0.055$, Barrière et al. 2015, ApJ, 799, 24) を対象に、ICM のプラズマ状態の調査を行った。Fe XXV と Fe XXVI の $K\alpha$ 輝線の強度比から ICM の電離状態を見積もったところ、ガス温度が 10 keV を超える銀河団中心部において、電離平衡状態で期待される値よりも Fe XXVI / Fe XXV 比が小さいことが分かった。この結果は、銀河団中心部の ICM のプラズマが電離非平衡状態であることを示唆する。一方で、銀河団外縁部の ICM のプラズマ状態は、電離平衡状態に近い結果を示す。本講演では、本天体における ICM の物理状態と dynamical な特性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T07a 銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価

杉山剣人, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団外縁部などの低輝度の広がった放射を観測する際、我々の銀河系や太陽系からの放射を正確に見積もる事が重要となる。特に、Yoshino et al. (2009) ではバックグラウンドの低いすざく衛星による様々な領域の観測から、太陽系近傍の 0.1 keV の放射や銀河系からの 0.3 keV の放射に加えて、一部の領域からは 0.8 keV 程度の放射 (1 keV 成分と呼ぶ) が検出された。この放射は銀河団外縁部の銀河団ガスからの放射とスペクトルが似ているため区別が困難である。

本研究ではロックマンホール領域のすざく衛星の 10 回の観測と、エネルギー分解能は悪いもののすざくと同様にバックグラウンドの低い *ROSAT* 衛星の 4 回の観測で得られたデータを用いて、我々の銀河系や太陽系近傍からの放射を見積もった。すざく衛星による観測では、Yoshino et al. (2009) で指摘されているように北側領域の 1 観測で 1 keV 成分が見られたが、南側領域の 9 観測では確認できなかった。*ROSAT* 衛星によるすざく衛星と同一の南北両領域の 4 観測からは、すざく衛星による観測で見られた北側領域と南側領域の差は必ずしも見られず、1 keV 程度の放射が時間変動している兆候が示された。また、同時に *ROSAT* 衛星の観測では中性酸素の輝線強度が観測時期によって大きく変動していることも確認された。*ROSAT* 衛星が運用されていた時期は、太陽活動が活発だった時期であることから、1 keV 成分や中性酸素の輝線強度の時間変動は太陽活動に由来する可能性がある。そのため、*ROSAT* 衛星のスペクトルを銀河団解析の際の前景放射の見積もりに利用することは適当でない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T08a 銀河団外縁部のエントロピーの平坦性に対するガス塊の寄与

上田将暉, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団のエントロピーは、重力による衝撃波加熱を仮定すると、半径の 1.1 乗に比例して上昇すると考えられた (Voit+05)。しかし、バックグラウンドの低いすざく衛星による観測の結果、 r_{500} より外側でエントロピーが平坦となることが報告された (e.g., Kawaharada+10)。この平坦性の原因の一つとして、ガス塊などの密度むらによりガス密度を過大評価することが挙げられている (e.g., Simionescu+11)。空間分解能の優れた衛星により、ガス塊を直接探査することができるが、その時には天球上でほぼ等方的に存在する遠方の活動銀河核と区別することが必要である。後者のスペクトルはガス塊とは異なり、ベキ型で高エネルギーまで伸びる特徴がある。

本研究では、空間分解能と有効面積に優れた *XMM* 衛星の公開データを用い、 $\log N - \log S$ とスペクトルからガス塊候補の探査を行った。すざく衛星と *XMM* 衛星の双方でピリアル半径程度まで行われた観測のうち、約 10 天体を対象とした。各銀河団の 0.5 – 2.0 keV, 2.0 – 10 keV の画像から X 線源を探査し、外縁部 ($r \geq r_{500}$) で検出された X 線源の放射強度と個数密度の関係を調べ、それを明るい天体の存在しない領域 (Lcockman hole, COSMOS 領域) の $\log N - \log S$ と比較した。その結果、どちらのエネルギー帯においても、比較領域に対して、銀河団外縁部の X 線源数に有意な超過は見られなかった。また、銀河団外縁部において検出された X 線源のスペクトルを足し合わせたところ、活動銀河核のスペクトルでおおむね再現でき、高温ガス由来と考えられる放射成分の光度の上限値は銀河団ガスの放射光度に比べ有意に低かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T09a 銀河団の基準 L_X-T , L_X-M 関係の再考

藤田 裕 (大阪大学), Han Aung, Daisuke Nagai (Yale University)

観測的には銀河団の X 線光度-温度 (L_X-T) 関係は $L_X \propto T^3$ でよく表されることが知られている。X 線を放出する銀河団ガスは、AGN 活動や超新星爆発による加熱 (feedback) の影響を受けているが、feedback がいないときに予想される関係 (基準関係) は $L_X \propto T^2$ であると多くの教科書には書かれている。しかし $L_X \propto T^2$ という関係は、銀河団がビリアル平衡にあるという実態に合わない仮定を使うなど、かなり簡略的に導出されたものであり、例えば銀河団の集中度が質量に依存するという効果は入っていない。

本研究では、銀河団の集中度の質量依存性を考慮した場合の基準 L_X-T 関係を、銀河団の fundamental plane を利用して解析的に求めた。その結果、 $L_X \propto T^{1.7}$ が正しい基準関係であることが分かった。この結果は宇宙論的な数値シミュレーションでも確かめられた。同様の考察を銀河団の X 線光度-質量 (L_X-M) 関係でも行ったところ、feedback がいないときの基準関係は従来言われていた $L_X \propto M^{4/3}$ ではなく、 $L_X \propto M^{1.2}$ であることがわかった。

銀河団の集中度の質量依存性は宇宙の階層的構造形成の結果として生じるものなので、もし基準関係が実際に $L_X \propto T^{1.7}$ や $L_X \propto M^{1.2}$ になっていることを観測的に確認できれば、階層的構造形成を確認できたことになる。しかし実際の銀河団は feedback の影響を受けているので、その効果を取り除く必要がある。そのための手法として、銀河団中のガスの割合の温度あるいは質量依存性の観測的な確認や、feedback の影響が比較的小さいとされる重い銀河団の統計的な観測を提案する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T10b XMM 衛星データを用いた MCXCJ0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析 2

楊冲, 深沢泰司, 岡部信広, 宮岡敬太 (広大理), 北口貴雄 (理研)

銀河団は質量が $10^{14} \sim 10^{15}$ 太陽質量にも達する、自己重力で束縛された系の中で宇宙最大の天体である。銀河団の観測的性質から、宇宙論パラメーターを制限することができる。宇宙の大規模構造の進化を理解するため、銀河団の衝突や合体を考察する必要がある。銀河団衝突を統一的に理解するためには、銀河、銀河団ガス、暗黒物質を直接観測する可視光、X線、弱い重力レンズ効果によるデータを組み合わせる多波長研究が必要不可欠である。我々は、衝突銀河団の解明を目指し、XMM-Newton 衛星の X線データと、すばる望遠鏡 HSC による銀河測光データと弱い重力レンズデータを組み合わせた多波長研究を現在遂行している。衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の利点は HSC-SSP サーベイおよび XMM-Newton のデータが両方あり、X線、銀河、重力レンズの情報が使える。MCXCJ0157.4-0550 は赤方偏移 0.1289 で、西の方はメイン銀河団で、北の方は銀河群である。中心部に動圧を受けている構造が見られる。特に等高線は密度分布を表し、勾玉状の構造があることが目で確認された。これは落ちてきているガス構造がモーメントムを持っていることを意味している。我々は、X線のソフトバンド (0.5-2.3keV) とハードバンド (2.3-7keV) の比率は温度のみに依存することから、温度マップを作成、密度マップと掛け合わせることで圧力マップを作成し、昨年度の春の年会で報告した。その後、contour binning アルゴリズムを利用し、衝突銀河団の各領域を分割した。各領域のスペクトルをフィットして、温度マップを作成した。本講演では、衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の分割した各領域状況を議論することにより、この衝突銀河団の状態について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

3月14日（木）午後（13:00-15:00）[C会場]

U01a	13:00	CMB 偏光観測実験 POLARBEAR の最新結果と Simons Array パイプライン開発の進捗 茅根裕司（カリフォルニア大学）
U02a	13:12	次世代 CMB 偏光観測実験への超分解分光の適応：必要性和 CMB 偏光装置の周波数応答測定装置の開発 服部誠（東北大学）
U03a	13:24	21cm 線の観測による原始磁場の新たな制限 箕田鉄兵（名古屋大学）
U04a	13:36	21cm 線観測によるボイド探査と宇宙論パラメータの制限 遠藤隆夫（名古屋大学）
U05a	13:48	大局的な宇宙磁場の分布 新井幸（お茶の水女子大学）
U06a	14:00	宇宙論的応答関数に対するシェルクロッシングの影響 西道啓博（Kavli IPMU/京都大学）
U07a	14:12	ビッグバン元素合成を用いて探る初期宇宙のクォーク質量変化 森寛治（東京大学）
U08a	14:24	A new light estimation of Dark Matter, Dark Energy and Ternary Space-Times, based on the special theory of relativity Fumitaka Inuyama (Kyushu Electric Power Co. retired)
U09a	14:36	統一理論 小堀しづ（）
U10b	14:48	粒子の質量と電磁気の質量の統一 小堀しづ（）
U11c		力の統一 小堀しづ（）

3月15日（金）午前（9:30-10:18）[C会場]

U12a	09:30	すばる HSC-Y1 cosmic shear B モードパワースペクトルを用いた背景重力波の制限 栗田智貴（Kavli IPMU）
U13a	09:42	Impact of Gravitational Lensing on Searches for Population III Pair-Instability Supernovae Kenneth Wong (Kavli IPMU)
U14a	09:54	M31 星に対する原始ブラックホールのマイクロレンズングへの波動効果の影響 杉山素直（Kavli IPMU）
U15a	10:06	深層学習を用いた重力レンズマップのノイズ除去 白崎正人（国立天文台）
U16c		弱い重力レンズ場バイスペクトルの効用についての再考 加用一者（東京工科大学）

U01a CMB 偏光観測実験 POLARBEAR の最新結果と Simons Array パイプライン開発の進捗

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大学), 高倉理 (Kavli IPMU), 田島治 (京都大学), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験は宇宙の開闢直後に起こったとされるインフレーションの検証と、ニュートリノ総質量の測定を目指した地上実験である。これらを実現するために、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光観測を、チリのアタカマ砂漠の標高 5,200 m で 2012 年から行っている。

POLARBEAR 実験は今迄、2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モードに焦点を当てた小角度スケール観測、それ以降は原始重力波起源 B モードに特化した大角度スケール観測を実施してきた。2014 年春季年会に於いて初年度のデータ解析による世界で初めての重力レンズ起源 B モードの自己相関スペクトル観測を報告して以来、様々な解析結果を報告してきた。本発表では 2014 年から実施している大角度スケール観測データによる原始重力波起源 B モード測定を含む、POLARBEAR 実験の最新結果について報告する。また POLARBEAR 実験のアップグレード計画である Simons Array の最新状況と、解析パイプライン開発の進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U02a 次世代CMB 偏光観測実験への超分解分光の適応：必要性和CMB 偏光装置の周波数応答測定装置の開発

服部 誠、岡田智香、官野史靖、沓間弘樹、梨本真志（東北大学）

CMB 偏光観測実験は、原始重力波起源の偏光 B モード検出を目指して、さらなる高精度観測の実現に向けて急速な進化を続けている。高精度化にとって最大の壁は、主に銀河系内星間物質など天体起源のミリ波放射のデータへの混入である。最近の我々の研究で、アモルファス物質の物理モデルに立脚した、星間ダストのミリ波放射モデルを構築した（梨本講演参照）。これによりアモルファス物質の物性物理変数とミリ波放射スペクトルの関係が明らかになった。このモデルによると、星間ダストのスペクトルモデルを記述する独立変数が 20 個程度あり、このモデルを制限するためには 20 個以上の独立な帯域での観測が必要となる。しかし、これだけ多くの独立な帯域を持った装置を開発するとは現実的ではない。そこで同一帯域内の独立な検出器素子間の周波数特性のバラツキを積極的に活かして実効的な帯域数を増やす超分解分光法の適応が有効である。我々は CMB 偏光観測実験の全検出器素子の周波数応答を測定する装置の開発を進めている。本講演では、超分解分光法の必要性和その実現の一步となる GroundBIRD 用の測定装置の光学設計を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U03a 21cm 線の観測による原始磁場の新たな制限

箕田鉄兵、田代寛之 (名古屋大学)、高橋智 (佐賀大学)

銀河や銀河団など様々な天体に磁場が付随している。これらの天体磁場の起源として、天体形成以前の初期宇宙で微弱な磁場が生成された可能性があり、様々な生成メカニズムが提唱されている。このような初期宇宙における微弱な磁場 (ここでは原始磁場と呼ぶ) は、CMB の観測などによって上限値が与えられていて、例えば Planck 2015 の結果によると 1Mpc のスケールでの磁場の強度が $B_{1\text{Mpc}} \lesssim 4$ ナノガウスとされている。上記の CMB による方法とは独立な手法を用いてより強い制限を得ることができれば、観測と整合的な磁場生成のモデルを峻別することが可能となる。我々は赤方偏移した 21cm 線のグローバルシグナルを用いて、原始磁場を制限する研究を行った。先行研究によって、大スケールな原始磁場が存在する場合は、磁場のエネルギー散逸を通して銀河間ガスが温められることが指摘されている。我々は、まず磁場の二点相関が波数の冪乗に比例するというモデルを仮定して、1Mpc での磁場強度とスケール依存性のパラメータを様々に変化させて、銀河間ガスの温度進化を計算し、21cm 線グローバルシグナルの観測による制限について考察した。21cm 線は中性水素原子から放出される電磁波であり、そのグローバルシグナルは、ガス温度が CMB 温度より低い場合には CMB に対する吸収線として観測され、そうでない場合には輝線として観測されるという性質がある。つまり、様々な波長で 21cm 線を観測することで、対応する赤方偏移におけるガス温度と CMB 温度の大小関係がわかる。例えば今年 2 月に発表された EDGES の結果によると、 $z=17$ の 21cm 吸収線が観測されたので、 $z=17$ での銀河間ガスは CMB よりも冷たかったと解釈できる。このことと、先ほど述べた原始磁場を考慮したガス温度の時間進化とを比較することにより、これまでで最も強い $B_{1\text{Mpc}} \lesssim 0.1$ ナノガウスという原始磁場の制限を得ることができた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U04a 21cm 線観測によるボイド探査と宇宙論パラメータの制限

遠藤隆夫, 田代寛之, 西澤淳 (名古屋大学)

宇宙大規模構造における物質の低密度領域、すなわちボイドはスタッキングした形状が球対称になると期待されており、Alcock-Paczynski テスト (AP テスト) と呼ばれる宇宙モデルの検証方法への応用が可能であると指摘されている (Lavaux & Wandelt, 2012)。本研究では、従来の銀河探査に代わり、中性水素を宇宙大規模構造のトレーサーとした場合のボイド探査の可能性及び宇宙論パラメータの制限を検討した。その際、宇宙論的流体シミュレーションのデータを利用し、中性水素由来の 21cm 線シグナルを理論予言し、ボイドの模擬探査を行った。その結果、望遠鏡の分解能やノイズ等の影響の無い理想的な状況下においては、中性水素の分布からボイドを特定し、宇宙論パラメータをバイアス無く制限することが可能であることを発見した。

2020 年代に稼働予定の SKA (Square Kilometer Array) では、中性水素から放たれる波長 21cm の電波を観測することにより、中性水素をトレーサーとした宇宙大規模構造探査を行うことが期待されている。本研究の結果は将来の SKA を用いた観測により、これまでとは独立に、宇宙論パラメータを制限する可能性を示唆するものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a 大局的な宇宙磁場の分布

新井幸, 森川雅博, お茶の水女子大学

あらゆるスケールの天体に磁場が付随し、それらは天体の大きさにスケールする。我々は2つのスケーリング則を見つけた。一つは磁場凍結収縮によるもので恒星起源であり、他方はダイナモ作用によるもので宇宙の全スケールに広がっている。主に後者を議論したい。

天体の多様性にかかわらず全領域でスケーリングする理由を、普遍的に存在する乱流のダイナモ作用であるという仮説を立てた。たとえ主成分が暗黒物質 (DM) であってもその乱流運動がバリオンの運動を引き起こし磁場が発生するだろう。まず暗黒物質を考え、それが自己重力系でありコルモゴロフ則が成立するなら、磁場 B は線形スケール r に対して $|B| = \sqrt{\mu_0 / (\Gamma G)} \epsilon^{2/3} r^{-1/3}$ とふるまう。ここで、 μ_0 は真空の透磁率、 Γ はダイナモ効率、 ϵ は乱流によって単位質量・時間あたり大きいスケールから小さいスケールへカスケードするエネルギーである。不思議なことに、 $\Gamma = 0.01, \epsilon = 3 \times 10^5 \text{m}^2/\text{sec}^3$ とすると、惑星を含めて観測データをフィットしてしまう。この理由を明確にするのが本研究の主題である。実際、領域を DM, ガス, ダストと3種に分け、個々に計算すると、観測データをより詳細に説明できることが分かった。また、ここから得られる個々の領域における ϵ はその天体形成のおおまかな時間尺度を導くことも報告する。また、普遍的スケーリングから外れる、AGN、小さな惑星・衛星が、それぞれ相対論的速度、化石磁場、という特性によっていることも報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U06a 宇宙論的応答関数に対するシェルクロッシングの影響

西道啓博 (Kavli IPMU/YITP), 樽家篤史 (YITP), Anaëlle Halle (MPA), Stephane Colombi (IAP)

揺らぎの摂動展開に基づく宇宙大規模構造の理論予言は、膨張宇宙における重力多体系の基礎方程式から第一原理的に導かれるほぼ唯一の解析的手法である。次世代の銀河サーベイでは、これまでにない小さな統計誤差で様々な統計量の測定が見込まれるため、これに匹敵する高精度の理論テンプレートの開発が急務となっている。

摂動展開の高次項の評価や、繰り込み手法の開発が進む一方で、近年、その根源的な問題点が浮かび上がってきた。すなわち、低赤方偏移（おおよそ $z < 1$ ）においては、揺らぎが1より十分小さい大スケールにおいても高次の寄与が爆発的に大きくなり、摂動の次数を上げると却って破壊的な結果を招くことが指摘されてきた。

我々は、異なるスケール間のモード輸送を数値化した応答関数を用いてこの問題を定式化し、これを初めて数値シミュレーションから評価することで、摂動展開の問題は小スケールから大スケールへのモード輸送（UV 結合）が高次摂動において急激に発展するところにあることを見出した。

この一つの物理的要因として、流体がシェルクロッシングを経験した後の複流領域のダイナミクスが考えられる。これを検証するために、我々は、まず単流領域での厳密解の知られている1次元空間のダイナミクスを考え、非摂動な解においてもやはり問題あるUV結合を確認した。また、adaptive smoothing法を用いて、シェルクロッシング領域の揺らぎを抑制することで、正しい解に近づくことを発見した。さらに、3次元の場合についても peak-patch理論に基づく近似理論である PINOCCHIO (PINpointing Orbit Crossing Collapsed Hierarchical Objects; Monaco et al. 2002) を用いて、ハロー領域の運動を抑制することでも同様な効果があることを示した。従って、適切に収束する摂動計算の実現には、シェルクロッシング後のダイナミクスの制御が鍵となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a ビッグバン元素合成を用いて探る初期宇宙のクォーク質量変化

森寛治 (東京大学)、日下部元彦 (北京航空航天大学)

現在のビッグバン理論の枠組みでは、宇宙誕生後数分から約 20 分間に水素・ヘリウム・リチウムが合成されたと考えられている。この予言は天文学的観測および宇宙マイクロ波背景放射の観測と定量的に比較され、リチウム 7 の存在量を除いて整合的な結果が得られている。

近年の天文学的・宇宙論的観測によって、ビッグバン元素合成によって作られた元素の原始存在量や、宇宙論的バリオン・光子比が精密に見積もられるようになった。こうした結果と理論的予言を比較することで、初期宇宙における標準模型を超えた物理を検証することが可能である。特に、もし初期宇宙においてクォークの質量が現在と異なった値を持っていた場合、元素の原始存在量に痕跡を残すはずである。本研究では、上記のような観測と理論の比較によって、クォーク質量の変化に制限を与えた。

クォーク質量変化とビッグバン元素合成の関連については先行研究でも調べられてきた。ところが、それらの研究では ${}^7\text{Be}(n, p){}^7\text{Li}$ 反応の共鳴エネルギーの移動の効果が無視されている。今回の研究では、特にクォーク質量の変化が負のとき、共鳴の効果によって反応率が有意に増大し、リチウム 7 の存在量を減少させることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a A new light estimation of Dark Matter, Dark Energy and Ternary Space-Times,
based on the special theory of relativity

Fumitaka Inuyama (Kyushu Electric Power Co., Thermal Power dept. retired)

In 2013, the European Space Agency calculated that the total mass-energy of the universe had a composition of 68.3 I have applied the special theory of relativity to three different space-times (where each of these systems has its own light velocity, c_1 , c_2 and c_3). System 1 space-time moves at velocity c_1 in System 2 space-time. System 2 space-time moves at velocity c_2 in System 3 space-time. Using the formulas for both the combined velocity and the increasing mass, I have calculated and estimated the baryons, the dark matter and the dark energy. System 1 space-time, another world has positive light velocity greater than that in the system 3 and dark matter. System 2 space-time, the illusive world has negative light velocity, dark matter and dark energy the increasing mass. The negative light velocity causes negative pressure in the system. System 3 space-time, our real world has positive light velocity, dark matter, dark energy and baryon the increasing masses. On the basis of these results, I then propose the ternary space-times universe. Certainly, as the multiverse are arranged in parallel, the multinary space-times are set in series.

The detailed analysis processes are shown on the internet web.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09a 統一理論

小堀しづ

1. 全ての物は電磁気でできている。2. ビッグバンの以前、電子のラブと陽子のラブは電磁気が集まりできた。ビッグバンで宇宙に放出した。電子のラブと陽子のラブは自転し磁気的光子を作り、公転し電気的光子を作る。3. 磁気的光子はコイル状に進む。反対方向に進むとき二重コイルのように重なり合って進む。かみ合って進む事により引力ができる。(特願 2006 - 124382) 4. 万有引力は、電子のラブと陽子のラブが1公転で作る磁気的光子のエネルギーです。5. 原子では電子のラブと陽子のラブが1自転で作る磁気的光子のエネルギーは $8 \times 10^{-38} \text{J}$ で、この磁気的光子のエネルギーが電子と陽子の間に働く力です。(2005-198056) 6. 原子核の中の陽子と中性子を引いているのは、軌道が等しく反対方向に回転する磁気的光子です。7. 中性子の陽子のラブと中性子の電子のラブの結合は、反対方向に回転する磁気的光子がつくる。8. 高エネルギー加速器で放出したクォークなどの電磁気は、陽子の中で、電磁気の軌道を回転している。よって、グルオンは存在しない。(特願 2017-034304) 9. 中性子から陽子に成るとき、電子のラブ+電子ニュートリノより軌道の小さい電磁気、が放出する。この放出する物が「ウィークボソン」です。10. 月と地球。太陽と惑星。ブラックホールと銀河。これらの間に働く力は軌道エネルギーです。軌道エネルギーとは、中心となる物の表面から出発する電磁気を作る軌道のエネルギーです。重力子はない。11. ダークマターは、 -273 の場に存在し、公転できず、自転のみしている電子のラブと陽子のラブです。12. ヒッグス粒子は、高エネルギー加速器の中の電磁気2個です。(特願 2018-148956)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U10b 粒子の質量と電磁気の質量の統一

小堀しづ

全ての物は電磁気でできている。全ての物には質量が存在する。故に電磁気にも質量が存在する。これを「粒子の質量と電磁気の質量の統一」と名付ける。「粒子の質量と電磁気の質量の統一」は次式が成立する。粒子として計算する場合・粒子の軌道 = $8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{粒子のエネルギー} \cdot \text{粒子の質量} = 9.628 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{粒子の軌道} \cdot \text{粒子の質量} = 1.111 \times 10^{-17} \times \text{粒子のエネルギー} \cdot 1 \text{個の粒子のエネルギー} = \text{粒子のエネルギー} \div \text{粒子の個数} \cdot 1 \text{個の粒子の軌道} = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div 1 \text{個の粒子のエネルギー} \cdot 1 \text{個の粒子の質量} = \text{粒子の質量} \div \text{粒子の個数}$ 電磁気として計算する場合・電磁気の軌道 = $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{電磁気のエネルギー} \cdot \text{電磁気の質量} = 1.370 \times 10^{-58} \text{Jm} \div \text{軌道} \cdot \text{電磁気の質量} = 1.111 \times 10^{-17} \times \text{電磁気のエネルギー} \cdot \text{電磁気1個のエネルギー} = \text{電磁気のエネルギー} \div \text{電磁気の個数} \cdot \text{電磁気の軌道} = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{電磁気1個のエネルギー} \cdot \text{電磁気1個の質量} = \text{電磁気の質量} \div \text{電磁気の個数} \cdot \text{クオークの電磁気の個数} = 6.248 \times 10^8 \text{個} \cdot \text{粒子の電磁気の個数} = \text{粒子のエネルギー} \div \text{電磁気1個のエネルギー} = \text{粒子のエネルギー} \div (1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道}) = \text{粒子のエネルギー} \div \{ (1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div (8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{粒子のエネルギー})) = \text{粒子のエネルギー} \div (1.423 \times 10^{-18} \times \text{粒子のエネルギー}) = 7.027 \times 10^{17} (\text{個}) \cdot \text{電子のラブと陽子のラブの軌道 (大きさ)} = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{電子のラブと陽子のラブのエネルギー} (特願 2016-026470)$

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U11c 力の統一

小堀しづ

素粒子の力の統一。・原子の陽子のラブと電子のラブの離れている軌道間の結合力は、自転軌道が同じで、反対方向に回転する磁気的光子がつくる。・原子の電子のラブの自転軌道は、公転軌道 $\times 3.14 \div 1$ 公転の自転数 = $1.058 \times 10^{-10} \text{m} \times 3.14 \div (7.96 \times 10^7 \text{回}) = 4.174 \times 10^{-18} \text{m}$ 、です。原子の陽子のラブの自転軌道は $4.174 \times 10^{-18} \text{m}$ です。磁気的光子のエネルギーは、 $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div (4.174 \times 10^{-18} \text{m}) = 2.954 \times 10^{-24} \text{J}$ です。反対方向に回転する磁気的光子がつくる。・原子核の中の陽子と中性子の結合力は、自転軌道が同じで、反対方向に回転する磁気的光子がつくる。陽子のラブと中性子の質量エネルギーはほぼ同じなので、自転軌道が同じで、反対方向に回転する磁気的光子がつくる。・中性子の陽子のラブと中性子の電子のラブの結合力は、反対方向に回転する磁気的光子がつくる。地表の力の統一。万有引力が地表の物と物を結ぶ力に成る原理。万有引力は、電子のラブが1公転で作る磁気的光子のエネルギーで、ボア磁子 \div 公転数 = $9.274 \times 10^{-24} \text{J} \div (7.96 \times 10^7 \text{公転}) = 1.165 \times 10^{-31} \text{J}$ 、です。原子の外側の電子のラブが作る同じ方向に回転する磁気的光子が重なり合い、強い引力を作る。宇宙の力の統一。月と地球。太陽と惑星。ブラックホールと銀河。これらの間に働く力は、中心の物質が作る軌道エネルギーが行う。中央の物質が作る軌道に存在できるものは、軌道に存在している物が持つ速度2と引力が、存在する軌道の速度2と引力に等しい物です。(特願 2018-148956)

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U12a すばる HSC-Y1 cosmic shear B モードパワースペクトルを用いた背景重力波の制限

栗田智貴, 秋津一之, 高田昌広, 日影千秋, 大栗真宗 (Kavli IPMU), Bob Armstrong (LLNL)

背景重力波 (Stochastic Gravitational Wave Background) は、インフレーションが予言する原始重力波をはじめ、宇宙ひもやブラックホール連星等が放出する重力波のうち波源が同定できないもの全てが成す重力波の総称であり、様々な物理と関わる最も重要なプローブの一つである。現在までに宇宙背景放射, Pulsar Timing Array (PTA), LIGO 等の観測が、それぞれの感度に対応したスケール (波長) の背景重力波を制限しているが、本研究は広天域銀河サーベイの観測を用いた新しい手法によって背景重力波を制限するものである。

銀河サーベイで得られる銀河像は、観測者との間に存在する非一様な物質分布 (密度揺らぎ) が起こす弱い重力レンズ効果によって系統的に歪められ、これは宇宙論的シアー効果 (cosmic shear) と呼ばれる。通常ではこのように密度揺らぎに起因する弱い重力レンズ効果のみを考えるが、背景重力波もまた同様に弱い重力レンズ効果を起こすことが知られている。特に cosmic shear の B モードパワースペクトルは、線形摂動の範囲においてスカラー場である密度揺らぎからは生じず、背景重力波からのみ生じるため、B モードパワースペクトルの観測データを用いることで背景重力波を主要項として直接制限することができる。

本研究では、すばる HSC の第 1 期カタログデータを使った cosmic shear の解析結果 (Hikage et al. 2018) において B モードパワースペクトルが検出されなかったことを用いて、現在の Mpc スケール程度の背景重力波に対して上限を与えた。現状の制限は他の観測より弱いものであるが、将来のサーベイ (full-HSC survey, LSST) では他の観測と同程度の制限が期待されることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U13a Impact of Gravitational Lensing on Searches for Population III Pair-Instability Supernovae

Kenneth Wong (Kavli IPMU), Takashi Moriya (NAOJ), Masamune Oguri (University of Tokyo), Stefan Hilbert (MPA), Yusuei Koyama (Subaru), Masaomi Tanaka (Tohoku University)

Superluminous supernovae have been proposed to arise from Population III progenitors that explode as pair-instability supernovae. Future near-infrared surveys with ULTIMATE-Subaru and WFIRST will be able to observe such PISNe at high redshifts ($z > 5$). We perform a mock transient survey to search for these rare objects to assess their detectability and how gravitational lensing by line-of-sight structure can aid in their detection. We find that a survey that targets massive galaxy clusters to take advantage of their lensing magnification properties can increase the number of detected sources beyond $z \sim 6$ by a factor of ~ 2 . At higher redshifts ($z > 7$), a blank field survey to 26.5 mag will not find any PISNe, and lensing magnification will be needed to unveil these objects.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14a M31星に対する原始ブラックホールのマイクロレンズングへの波動効果の影響

杉山素直, 栗田智貴, 高田昌広, 新倉広子 (Kavli 数物連携宇宙研究機構)

宇宙に存在する物質はハリオンの他に光で観測することのできない暗黒物質 (Dark Matter=DM) で構成されることかこれまでの観測から明らかになってきた。DM の候補物質の一つである原始ブラックホール (Primordial Black Hole=PBH) は、宇宙の初期に生成し得るブラックホールである。例えば、太陽質量より軽いブラックホールが観測的に発見できれば、原始ブラックホールの証拠であり、大発見の可能性もある。また、最近の LIGO 重力波源のブラックホール連星は原始ブラックホールが起源である可能性があり、活発な議論を巻き起こしている。DM に対する PBH の存在比は DM の構成を特徴付ける量であり、観測・理論からこの存在比に上限がつけられてきた。観測による PBH 存在比の制限の一つに Niikura et al.(2017) による研究がある。これは、もし天の川銀河およびアンドロメダ銀河のハロー領域に存在する DM の多くが PBH で構成されているとすると、コンパクトかつ重い天体である PBH がレンズ天体となって、アンドロメダ銀河の星に対して多くの重力レンズ効果を起こす。つまり、実際の重力レンズのイベント数を観測することで PBH の存在比に制限をつけることができる。上の研究では重力レンズのイベント数を理論的に計算する際に光を粒子として扱ったが、比較的軽い PBH が作る重力場の歪みの典型的な大きさ (シュヴァルツシルト半径) は光の波長程度になるため、光を波動的に扱い回折・干渉効果を考慮に入れて計算する必要がある。波動効果を取り入れると、レンズ天体の質量が軽すぎる場合に光の効果は弱くなるので、期待される重力レンズイベント数が小さくなって存在比への制限が弱くなる効果がある。本研究では波動効果を取り入れた理論的な数値計算を行うことで、Niikura et al. の観測への定量的な修正を行った。本研究ではその結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U15a 深層学習を用いた重力レンズマップのノイズ除去

白崎正人 (国立天文台), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU, CREST), 池田思朗 (統計数理研究所, Kavli IPMU, CREST)

すばる望遠鏡に搭載されている超広視野カメラ Hyper Suprime Cam (HSC) を用いた銀河撮像観測が現在進行中である。HSC 観測の主要科学目標の一つに、銀河像の弱い重力レンズ効果の精密測定がある。弱い重力レンズ効果とは、遠方天体の像が、天体と観測者の間の大規模構造により、わずかに歪められる効果である。個々の銀河の弱い重力レンズ効果は、銀河固有の形状と比べ 1 – 2 桁小さく、多数の銀河サンプルを用いた統計解析が肝要である。HSC 観測の初期データを用いた弱い重力レンズ効果の統計解析は順調に進められ、世界的トップクラスの成果が出始めている。

弱い重力レンズ効果の統計解析の強みは、視線方向にある大規模構造を無バイアスに探ることができる点である。ある種の統計解析に基づくと、弱い重力レンズ効果の観測量のみから、大規模構造の質量密度分布を天球面上で再構築することが可能である。再構築された物質分布 (重力レンズマップ) は、原理的に全ての大規模構造の情報を含み、宇宙論解析に極めて有用である。しかしながら、実際に観測で得られる重力レンズマップには、銀河固有の形状や形状測定の不完全性に起因するノイズが存在するため、角度分解能の高い重力レンズマップではノイズの影響が卓越してしまう。本講演では、この現状を打破するための方法として、深層学習 (deep learning) による画像解析を応用することを考える。深層学習の中でも、敵対生成ネットワーク (GAN: Generative Adversarial Networks) と呼ばれる手法を重力レンズマップに適応し、ノイズを含む入力画像から、ノイズのない真の画像を出力するように GAN を訓練する。得られた結果を概観し、深層学習を用いたノイズ除去の特徴について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U16c 弱い重力レンズ場バイスペクトルの効用についての再考

加用一者（東京工科大学）

弱い重力レンズ効果を通じて得られる密度場データは、すばる望遠鏡 HSC サーベイをはじめさまざまなプロジェクトで重要視され、広視野・高精度のものが得られつつある。これらのデータは主にパワースペクトルを用いて解析され、いくつもの重要な結果が得られている。一方で、弱い重力レンズ効果により検出できる長さスケールは比較的小さく、構造形成が進み非線形領域となるため、パワースペクトルだけでは場のもつ情報を十分に引き出せない。そこで、高次統計量を用いて場の情報をより得ようとすることは自然である。

高次統計量の一つの例はバイスペクトルである。これには、場の情報をより引き出し宇宙論パラメータへの制限を強める効用があることが知られている。しかし定量的にどの程度の効用があるのかについては、研究の間で整合性が取れていない。計算に必要な要素は、バイスペクトルの理論予言と、バイスペクトルの共分散行列である。非線形な場に関する統計量であるため、これらを計算するいくつかの手法にはそれぞれに不定性があり、そのために結論が食い違っているのではないかと考えられる。

本研究では、(1) 従来よりも高い質量分解能をもつシミュレーションを用いることで非線形性による不定性を低減し、(2) 現在矛盾する結果を生んでいる計算手法を相互に検証しあって、バイスペクトルの効用について調べた。その結果、バイスペクトルの効用は、一部の研究結果が示すような劇的なものではないことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

3月14日(木) 午後(13:00-15:00) [D会場]

V101a	13:00	Large Submillimeter Telescope (LST): 4) Recent Progress	川邊良平 (国立天文台)
V102a	13:12	LMT 50 m 鏡用 2 ミリ受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 IV:搭載試験観測	酒井剛 (電気通信大学)
V103a	13:24	DESHIMA: Summary of the First-light Prototype DESHIMA on ASTE	Akio Taniguchi (Nagoya University)
V104a	13:36	DESHIMA: Recent progress on the commissioning observations	塚越崇 (国立天文台)
V105a	13:48	野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子 MKID カメラの搭載試験	永井誠 (国立天文台)
V106a	14:00	南極望遠鏡用 500GHz 帯 2SB 受信機の間周波数 (IF) 帯域の広帯域化	佐藤雄登 (筑波大学)
V107a	14:12	NANTEN2 マルチビーム受信機の性能試験に関する報告	藤城翔 (名古屋大学)
V108a	14:24	FPC 製造技術を用いたミリ波サブミリ波帯周波数選択フィルターの開発	宇野慎介 (東京大学)
V109a	14:36	半導体基板上に実現するオンチップ広帯域バンドパスフィルターの設計	陳家偉 (東京大学)
V110a	14:48	広帯域フィードの開発 (XV)	氏原秀樹 (情報通信研究機構)

3月15日(金) 午前(9:30-11:30) [D会場]

V111a	09:30	SKA プロジェクトへの参加計画	小林秀行 (国立天文台)
V112a	09:42	SKA プロジェクトに向けた科学検討	赤堀卓也 (国立天文台)
V113a	09:54	SKA プロジェクトに向けた技術検討状況	河野裕介 (国立天文台)
V114a	10:06	Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2019	Alvaro Gonzalez (国立天文台)
V115a	10:18	ALMA band2 (67-116GHz) 用光学系コンポーネントの開発 (II)	金子慶子 (国立天文台)
V116a	10:30	Development of a D-band Dual-polarization Balanced Integrated SIS Mixer for Multi-beam Receiver Application	Wenlei Shan (NAOJ)
V117a	10:42	ALMA データ解析パイプラインとデータ解析ソフト CASA の開発 2	中里剛 (国立天文台)
V118b	10:54	FITSWebQL v4: JVO experience with Rust	Yuji Shirasaki (NAOJ)
V119b	10:54	DESHIMA: Calibration of the on-sky MKIDs response	竹腰達哉 (東京大学)
V120b	10:54	DESHIMA: A New Baseline Subtraction Method for Ultra-wideband Spectra	Akio Taniguchi (Nagoya University)
V121b	11:06	Robot Operating System を用いた NASCO 受信機システムの開発	逆井啓佑 (名古屋大学)
V122b	11:06	Robot Operating System を用いた電波望遠鏡/受信機の制御システムの開発	野田健矢 (名古屋大学)
V123b	11:06	大阪府大 1.85m 望遠鏡 230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線同時観測用導波管回路の進捗	増井翔 (大阪府立大学)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V124b 11:18 超伝導フィルタによる多輝線同時観測受信機 IF 系の小型化の検討 關谷尚人 (山梨大学)

V125b 11:18 テラヘルツ光子計数システムの実現に向けた SIS 検出器の開発 江澤元 (国立天文台)

V126b 11:18 1.6 K 下における誘電体物質のミリ波光学特性測定システムの構築 官野史靖 (東北大学)

3月15日(金)午後(13:30-15:30) [D会場]

V127a 13:30 CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念設計 II 関本裕太郎 (宇宙航空研究開発機構)

V128a 13:42 放射冷却を用いた LiteBIRD 衛星低温ミッション部熱設計の最適化 長谷部孝 (宇宙航空研究開発機構)

V129a 13:54 CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XII 永田竜 (高エネルギー加速器研究機構)

V130a 14:06 スケールモデルを用いた LiteBIRD Low Frequency Telescope の光学系評価試験 高倉隼人 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)

V131a 14:18 CMB 偏光観測実験 GroudBIRD 望遠鏡の検出器の応答性評価 沓間弘樹 (東北大学/理化学研究所)

V132a 14:30 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の観測開始に向けた準備状況 西野玄記 (高エネルギー加速器研究機構)

V133a 14:42 CMB 観測実験 Simons Observatory の開発状況 木内健司 (東京大学)

V134a 14:54 テラヘルツ光子の統計を用いた天体観測手法の開拓 松尾宏 (国立天文台)

V135b 15:06 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (18) 米倉覚則 (茨城大学)

V136b 15:06 JVN アンテナを用いたパルサー観測と FRB 探査 青木貴弘 (山口大学)

V137b 15:06 JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状 (その 2) 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構)

V138b 15:18 LireBIRD 搭載光学系の開発検討 2 鹿島伸悟 (国立天文台)

V139c 日韓 VLBI による、43GHz 帯偏波 VLBI 試験観測経過報告及び活動銀河核ジェット収束機構の研究 萩原喜昭 (東洋大学)

V140c 大学 VLBI 連携の現状と将来計画 藤沢健太 (山口大学)

V141c 野辺山 45 m 電波望遠鏡における主鏡の変形計測 (2) 橋本育実 (大阪府立大学)

V101a Large Submillimeter Telescope (LST): 4) Recent Progress

川邊良平、大島泰 (国立天文台)、河野孝太郎 (東京大学)、田村陽一 (名古屋大学)、他 LST 検討ワーキンググループ

50m クラスのサブミリ波単一望遠鏡 (Large Submillimeter Telescope, LST) 計画の進捗 (特に、国際協力、サイエンスの検討、および基礎開発) について報告する。欧州では、ヨーロッパ南天天文台 (ESO) を中心にして、LST と同様のコンセプトの 40m クラスサブミリ波単一望遠鏡 (Atacama Large Aperture Submillimeter Telescope, AtLAST) の検討が始まった。2018 年 1 月および 9 月に AtLAST ワークショップが開かれ、日本からも LST 検討ワーキンググループのメンバーが参加し、サイト、装置仕様、サイエンス、国際協力などの議論を行った。これまでの議論で、欧州 AtLAST, 日本 LST 双方の検討グループでは、協力して以下の方向を目指すこととした。1) 計画は統合し、50m クラスの広視野サブミリ波望遠鏡をチリ ALMA サイトに設置する、2) 広視野のイメージングスペクトログラフを搭載して、CO, [CII], [OIII] 輝線を用いた $z=1-10$ の宇宙探査をサイエンスの中核の一つに据え、また星間化学や銀河面サーベイ、時間領域サイエンスなど幅広いサイエンスの実現を目指す。また、韓国 KASI, 中国紫金山天文台、台湾 ASIAA などの研究機関との協力についても議論を行ってきており、2019 年 2 月には紫金山天文台での共同ワークショップを計画している。日本の大学研究者等の協力で進めるサイエンスケースの立案、また、LST に向けて進めている技術開発、特にイメージングスペクトログラフの基礎技術やミリ波補償光学の開発、可動主鏡構造を持つメキシコ 4600m 高地の LMT ミリ波 50m 鏡用の装置開発、観測経験の蓄積などについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102a LMT 50 m 鏡用 2 ミリ受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 IV: 搭載試験観測

酒井剛 (電気通信大学), 川邊良平, 大島泰 (国立天文台), 谷口暁星, 上田哲太郎, 田村陽一 (名古屋大), 田中邦彦 (慶應大), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), David Hughes, David Gale, David Sanchez, Arturo Gomez-Ruiz, Edgar Colin (INAOE)

メキシコの標高 4600 m サイトに建設された Large Millimeter Telescope (LMT) 50-m 鏡に波長 2 ミリ波帯のヘテロダイン受信機システムを搭載し、単一鏡としては世界最高感度の 2 ミリ波帯観測を実現する計画を推進している。2018 年 3 月に LMT 50-m 鏡に本受信機システムを搭載し、分子輝線観測によるファーストライトを実現した。2018 年 6 月には、光学系の改良 (ミラーの角度調整機構の取り付け) によって受信機のアライメントを補正し、2018 年 9 月 10 月に本格的な試験観測を実行した。望遠鏡搭載時の受信機雑音温度は ~ 60 K と、実験室での測定結果と変わらない値が得られている。

試験観測の結果、サブミリ波銀河 ACT J2019+0120 ($z=2.64$) からの CO $J=5-4$ 輝線とキューサー B0218+357 を背景光源とした CO $J=2-1$ 吸収線 ($z=0.68$) を明確に検出することができた。さらに、Orion-KL 領域に対して CS $J=3-2$ 輝線の OTF 観測を行い、 $10' \times 10'$ の領域のマップを取得するなど、今後のサイエンス観測に向けた観測システムの立ち上げを行うことができた。一方で、ベースラインのスタンディングや、受信機の振動など幾つかの課題も見つかった。今後、それら課題を解決するための改良を行う予定である。本講演では、搭載時の様子や、試験観測の解析結果 (能率など)、今後の予定について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a DESHIMA: Summary of the First-light Prototype DESHIMA on ASTE

A. Taniguchi, Y. Tamura, K. Suzuki, T. J. L. C. Bakx, T. Ueda (Nagoya University), T. Takekoshi, C. Kahwuy, T. Ishida, K. Kohno (University of Tokyo), A. Endo, S. Ikarashi, N. Llombart, D. J. Thoen, A. Pascual Laguna, S. Bosma, B. Mirzaei, O. Yurduseven, T. M. Klapwijk (TU Delft), K. Fujita, A. Kouchi (Hokkaido University), N. Shunichi (ISAS/JAXA), J. Suzuki (KEK), P. P. van der Werf (Leiden University), T. Oshima, S. Ishii, J. Maekawa, R. Kawabe, S. Asayama, T. Tsukagoshi, Y. Fujii, K. Ohtawara (NAOJ), M. Naruse (Saitama University), K. Karatsu, J. J. A. Baselmans, J. Bueno, V. Murugesan, S. J. C. Yates, R. Huiting, and P. J. de Visser (SRON)

We are developing an ultra-wideband imaging spectrometer in the sub/mm, DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper), employing an on-chip filter bank and microwave kinetic inductance detectors (MKIDs). DESHIMA will allow us to perform line survey observations with an unprecedented efficiency and will benefit a broad range in sub/mm sciences, such as redshift identification of high- z galaxies.

We overview the progress of the DESHIMA project so far. The prototype DESHIMA with instantaneous bandwidth of 45 GHz (covering 332–377 GHz with $N \sim 49$ filters) has been installed on ASTE in 2017. With recent progress of the data analysis (talk by Tsukagoshi), the calibration method (poster by Takekoshi), and the data reduction method (poster by Taniguchi), we confirm that the end-to-end spectrometer system has achieved photon noise limited sensitivity. The next upgrade of DESHIMA aims for an instantaneous bandwidth of 480 GHz (covering 240–720 GHz with $N \sim 500$ filters) and will be evaluated on ASTE in late 2019.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V104a DESHIMA: Recent progress on the commissioning observations

T. Tsukagoshi (NAOJ), A. Taniguchi, K. Suzuki, Y. Tamura, T. Ueda, T. Bakx (Nagoya Univ.), A. Endo, S. Ikarashi, D. Thoen, S. Bosma, N. Llombart (TU Delft), T. Ishida, T. Takekoshi, K. Kohno (Tokyo Univ.), K. Chin, S. Ishii, T. Oshima, J. Maekawa, R. Kawabe (NAOJ), J. Suzuki (KEK), M. Naruse (Saitama Univ.), K. Karatsu, V. Murugesan, S. Yates, J. Baselmans (SRON), P. van der Werf (Leiden University), and the DESHIMA collaboration

We are developing an ultra-wideband imaging spectrometer at millimeter/submillimeter wavelengths, DESHIMA (DEep Spectroscopic HIGH-redshift MApper), employing new superconducting millimeter wave electronics "on-chip filter bank" and microwave kinetic inductance detectors (MKIDs). The summary of prototype DESHIMA is given by T. Taniguchi in this meeting.

In this talk, we are going to report the progress on the commissioning observations with ASTE after our previous report (Taniguchi; ASJ meeting 2018 autumn). New results are summarized as follows. (1) The beam pattern is measured by observing Mars. We obtain a beamsize of $\theta = 31.4'' \times 22.8''$ and a main beam efficiency of $\eta_{\text{MB}} = 0.34$. These are predictable from the system design. (2) Deep and broadband spectra of IRC+10216 and VV 114 are constructed. The shapes of the spectra are consistent with those taken by heterodyne receivers. We evaluate the noise level and NEFD at each MKID from the spectra and find that those agree well with the sensitivity estimated from the system design. (3) We achieve to make wide-field maps of several molecular lines and continuum toward Orion and NGC 253.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子 MKID カメラの搭載試験

永井 誠 (国立天文台), 新田冬夢, 村山洋佑, Zhai Guangyuan, Pranshu Mandal, 鈴木隆司, 樋川遼太郎, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 南谷哲宏, 前川淳, 御子柴廣, 藤茂, 宮澤千栄子, 45m 運用メンバー (国立天文台)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。電波カメラの焦点面検出器は、ダブルスロットアンテナと結合された力学インダクタンス検出器 (MKID) である。2017 年度に製作した 109 素子の MKID について、実験室での光学性能評価 (村山ほか, 2018 年秋季年会 V117c) の後、野辺山 45 m 電波望遠鏡への搭載試験を行った。電波カメラとしては 2016 年末の試験 (永井ほか, 2017 年秋季年会 V107a) に続き 2 回目の搭載である。また、実験室におけるフーリエ変換分光計による測定により設計通り 100 GHz 帯に感度を持つ周波数特性を確認している。

搭載試験は 2018 年 5 月 10 日から 6 月 1 日にかけて行った。45m 鏡への搭載、焦点面温度 64 mK への冷却の後、実験室と同様に 101 個 (93%) の MKID 共振ピークを確認し、光学応答と雑音特性の測定を行った。望遠鏡を用いた測定は、5 月 18 日から計 11 日間にわたり、大気および月の仰角スキャン、惑星 (木星, 金星, 火星)、電波点源 (3C84) などのラスタースキャンを行った。本講演では、主に火星を用いて得られた感度、ビーム特性、効率について報告する。観測モニタや時刻同期機構などデータ取得システムの新機能についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106a 南極望遠鏡用 500GHz 帯 2SB 受信機の中間周波数 (IF) 帯域の広帯域化

佐藤雄登, 久野成夫 (筑波大学), 中井直政, 瀬田益道 (関西学院大学), 長崎岳人 (KEK), 関本裕太郎 (ISAS/JAXA)

星形成の母体となる分子雲の観測には輝線が用いられる。特に中性炭素輝線 $\text{CI}[^3\text{P}_1-^3\text{P}_0]$ (492GHz) と一酸化炭素分子輝線 $\text{CO}(J=4-3)$ (461GHz) は重要な輝線である。サブミリ波帯の大気透過率は周波数及び時間によって敏感に変化する為、輝線観測はシングルサイドバンド (SSB) モードでの観測が望ましい。サイドバンド分離方式 (2SB) では、アッパーサイドバンド、ローワーサイドバンドの入力信号の強度を半分にし、かつ 2 系統に分離させ、一方に 90° の位相差を与える。この動作をもう一度それぞれの系統に対して行うことでアッパーサイドバンド、ローワーサイドバンドを分離して SSB 受信することができる。CI と CO の同時観測も可能であるが、2 輝線の周波数差が 31GHz と大きい為、ヘテロダイン受信機では中間周波数帯域 (IF) の広帯域化が重要である。

南極用 30cm 可搬型サブミリ波望遠鏡は、超電導ミキサを用いた 500GHz 帯受信機を搭載し、CO ならびに CI での近傍分子雲の観測を行っている。元々の IF 出力帯域幅は、1st-Hybrid、超電導 Mixer、LNA (低雑音増幅器)、Circulator、2nd-Hybrid によって制限を受けており 4 – 8 GHz であった。そこで、CI と CO を同時 2SB 観測する為に試験的にローワーサイドバンド系統の LNA、Circulator、2nd-Hybrid を広帯域 (8 – 18 GHz) なものに交換し、CI と CO の同時観測可能な 16GHz を含む広帯域な IF 帯域を実現した。しかし、イメージバンド抑圧比は 10dB と、交換前の 20dB に比べて劣化し、受信機雑音温度の測定では、200K (SSB) と、交換前の 90K (SSB) よりも大幅に増加した。本公演では広帯域化によって起こる 1st-Hybrid と超電導ミキサのパフォーマンスの低下要因を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107a NANTEN2 マルチビーム受信機の性能試験に関する報告

藤城翔、大浜晶生、阪本茉莉子、野田健矢、松永健汰、逆井啓佑、佐伯駿、鈴木雅浩、堤大陸、西村淳、木村公洋、佐野栄俊、山本宏昭、立原研悟、福井康雄(名古屋大学理)、小林和宏(名古屋大学理装置開発室)、水野亮(名古屋大学 ISEE)、小川英夫(大阪府立大学)、藤井泰範(国立天文台)

我々は、4 m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で、南半球から観測可能な全天の約 70 % をカバーする超広域 CO 観測、NASCO(NANTEN2 Super CO survey as legacy) 計画を推進している。この計画を短期間かつ高精度で完遂させるため、我々は 115 GHz 帯 4 ビーム 両偏波 SSB 受信機と 230 GHz 帯 1 ビーム 両偏波 2SB 受信機を搭載した新たなマルチビーム受信機の開発を完了させた。本講演では、前回の報告(大浜ほか 2017 春季年会)以降に行った受信機設計の更新点や、名古屋大学で行った受信機の性能評価試験について報告する。

これまでの NASCO 受信機は熱流入が大きく、SIS 素子が 4 K まで冷却されないという問題が発生していた。そこで、クライオスタット内部の制御配線のフラットケーブル化や、電波窓への熱放射カットフィルター(Choi et al. 2013)の導入等の更新を行った。その結果全ての素子が冷却され、全システムでの信号検出に成功した。また、受信機制御システムを大きく更新し、SIS 素子や冷却アンプにかける電流・電圧等の自動チューニングシステムを開発した(逆井ほか 2019 春季年会)。その後、名古屋大学において、新たなシステムを用いた各種性能評価を行ったところ、各素子の雑音温度は 70 ~ 100 K であった。さらに、ビーム測定結果より求めた開口能率は、設計値が 69 % 程度であるのに対し、33 ~ 69 % 程度でビームごとにばらつきがあるあることがわかった。また、2018 年 12 月現在、チリ共和国へ受信機の発送を完了させた。2019 年 1 月よりチリ国内の実験室での受信機組み立て、動作確認と性能試験を行ったのち、NANTEN2 望遠鏡への搭載を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108a FPC 製造技術を用いたミリ波サブミリ波帯周波数選択フィルターの開発

宇野慎介, 竹腰達哉, 陳家偉, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰, 吉岡佳輔 (国立天文台)

我々はミリ波サブミリ波における広帯域多色カメラの開発を進めている。本カメラで計画している広帯域多色連続波を実現するうえで必要な光学フィルターの特性は、130–295GHz 帯の帯域幅をカバーし、かつカットオフが急峻なバンドパスフィルターである。本カメラに搭載するフィルターとして複数個のメタルメッシュフィルターの利用が検討されている。我々は、商用のFPC(フレキシブルプリント基板) 製造技術を利用したメタルメッシュフィルターの開発を行った。メタルメッシュフィルターに関してその設計技術と専用の製造装置が必要なためにコストや納期などの面から入手性が悪かったという状況が背景にあり、本開発は設計が比較的簡単に行えること、および商用の基板製造技術で製作できることを示して入手性を広く改善することを目的とする。まず汎用物理シミュレーションソフト COMSOL multiphysics を用い、導体のメッシュパターンに対する電磁波の透過率と反射率の周波数依存性を解析した。その結果、フィルターに最適であると期待されるパターンが、六角格子型のメッシュを最適な間隔で数層積層したものであると結論づけた。次にシミュレーション結果を元に回路基板同様の手法で複数のメッシュパターンについて設計と試作を行い、試作品の目視と THz-TDS を用いた透過率の測定によって評価した。今後は、今回のシミュレーションと測定結果の比較により判明した製造上の効果をメッシュパターン設計にフィードバックしてフィルターの最適化を行ってゆく予定である。本講演ではシミュレーションの結果、また試作品の目視確認と測定の結果等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109a 半導体基板上に実現するオンチップ広帯域バンドパスフィルターの設計

陳家偉, 竹腰達哉, 宇野慎介, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰, 川邊良平 (国立天文台), 小野哲, 吉岡佳輔, 酒井剛 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 美馬覚 (理化学研究所)

広い視野をミリ波サブミリ波帯で多色観測する連続波多色カメラは、広帯域で変動する周波数スペクトルを持つスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の観測やサブミリ波銀河のサーベイなどに必要不可欠である。しかし、焦点面を分割する方法や、ダイクロイックミラーなどで光学的に周波数を弁別する手法では、光学系が大型化し、冷却光学系を含む装置全体の巨大化が避けられない。近年、半導体プロセスの微細化に伴い、宇宙背景放射の精密観測を目指した開発では、焦点面で2色同時観測を目指した開発が進められている。一方、前述したサイエンスを実現するためには、3色以上の観測による物理量の推定が重要である。そこで我々は、1つの焦点面で3色以上の連続波観測が可能な多色カメラの実現を目指している。そのためには、非常にコンパクトなオンチップフィルターが、焦点面にあたる半導体基板上に必要である。そこで、以下の手順で半導体基板上に製作するオンチップフィルターを設計した。(1) 回路シミュレータ LTspice を用いて、目的とする中心周波数とバンド幅をもつバンドパスフィルター回路をインダクタとキャパシタで作成。(2) 電磁界シミュレータ Sonnet を用いて、半導体基板上でインダクタ、キャパシタと等価になる平面構造を設計。(3) 作成したフィルター回路と等価になるよう平面インダクタ、平面キャパシタ構造を組み合わせる。この手法で、中心周波数 150 GHz、バンド幅 40 GHz 以上のオンチップフィルターを設計した。設計したフィルターは、 $100\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ の範囲内に収まっており、コンパクトな構造となっている。今後は、より高い周波数のフィルターの設計を同様の手法で行う計画である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110a 広帯域フィードの開発 (XV)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛 (情報通信研究機構)

NICT 鹿島では広帯域測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) や SKA への応用を意識しつつ、VLBI による原子時計の精密周波数比較に使用する広帯域受信システム「Gala-V」を開発した。Gala-V の広帯域フィードは周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件を考慮し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch で最適化した。3.2-14.4GHz で受信可能としたので実際に使用する周波数配列は異なっている。プロジェクト開始時と今とで RFI 環境が異なってきたからでもあるが設計技術の向上の結果でもあり、1 本のフィードと受信機システムでメタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用したホログラフィなど幅広い利用が可能である。また現在、広帯域フィードとともに鹿島 34m アンテナおよび 2.4m の可搬型小型局 MARBLE で使用中の OMT は 3GHz 以下の RFI の遮断特性とリターンロスを改善しており、片側のポートは上限 17GHz 程度まで使用できる。2018 年 6 月に小型局の一つをイタリアに移設し、日本との間で周波数比較実験を開始した。34m の鏡面調整も終わり、目立ったトラブルもなく定常的に実験を続けている。

また 2018 年度から科研費 (研究代表: NICT 市川) により、この技術を応用して KEK の開発した水蒸気ラジオメータ「KUMODeS」の小型化・高機能化に向けた開発を始めた。MARBLE 同様に可搬性がよくロバストで使いやすいシステムを目指しており、気象予報以外にも VLBI での水蒸気遅延の補正に利用したいと考えている。

これら広帯域アンテナシステムの開発・実験状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V111a SKA プロジェクトへの参加計画

小林秀行、赤堀卓也、河野裕介（国立天文台水沢 VLBI 観測所）

本講演では、SKA 計画の進捗と日本の参加計画について報告する。

SKA 計画は、SKA1 計画として 15m アンテナ 133 台、13.5m アンテナ 64 台で 350-15GHz の観測周波数で、南アフリカに設置される SKA1-MID 望遠鏡、50 - 350 の観測周波数で 256 基の素子アンテナで構成されるステーションを 512 局で構成され、西オーストラリアに設置される SKA1-LOW 望遠鏡の 2 つの望遠鏡で構成され、HQ はイギリスに設置される。2020 年から建設が開始され、2028 年に完成する予定である。そのための各サブシステムの CDR が進められており、全体のシステム CDR は、2019 年の後半に行われる予定である。これを踏まえて、2020 年から建設が開始される。

この SKA 計画に日本が参加することを検討しており、国立天文台の SKA プロジェクトの設立を申請している。日本の具体的な貢献については、22GHz 帯受信機の製作、システムのインテグレーションと性能評価活動への貢献、VLBI 観測システムの製作、データ解析・アーカイブシステムのソフトウェア開発などの項目を検討している。またアソシエイトメンバとしての参加を検討している。講演では、日本の参加の形態、メンバー国との連携、それらを踏まえた研究の組織化などについて現状の検討状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112a SKA プロジェクトに向けた科学検討

赤堀卓也、小林秀行、河野裕介（国立天文台水沢 VLBI 観測所）

SKA (Square Kilometre Array) は、メートル波・センチ波帯域の次期国際大型干渉計計画である。我々は日本の SKA 計画への参加のための準備を進めている。この講演では国内外の科学検討状況について報告する。

国際的には、宇宙再電離のシグナルを捉えたのではないかとする世界初の報告 (Bowman ら 2018, Nature) や、20 イベントの FRB を ASKAP によって検出したとする報告 (Shannon ら 2018, Nature) があり、SKA の狙うサイエンスはますます注目を集めている。宇宙論分野では国際 SKA の科学検討部会が科学検討書を出版し (arxiv:1811.02743)、検討が進む。2018 年 7 月には、日本の VERA 望遠鏡が、高周波帯の科学・技術の実績や運用のノウハウなどが評価され、SKA パスファインダーに認定された。同年 11 月にはカナダの CHIME も認定され、SKA 時代のサイエンスの振興が図られている。

日本では、SKA 関連の国際会議の誘致が行われた。2018 年 5 月には宇宙磁場関係の国際会議と ASKAP POSSUM のプロジェクト会議が宮崎で開かれた。2018 年 12 月には宇宙再電離関係の国際会議と MWA のプロジェクト会議が名古屋で開かれた。SKA 協会の科学検討部会は現在、EAVN を使ったサイエンスの検討を進めている。2018 年 7 月に VLBI 懇談会と SKA 協会の共催で科学検討会議が開催された。これに先立って、SKA-VLBI のスペックシートを作成している。また、日本版サイエンスブックの PASJ レビュー論文化も継続している。2019 年 4 月 8 日から 12 日にかけて、イギリスにて SKA 科学の国際会議が開催される予定であるが、日本からも分野の調整を行いつつ 10 名弱が出席の予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V113a SKA プロジェクトに向けた技術検討状況

河野裕介、小林秀行、赤堀卓也（国立天文台）

Square Kilometre Array (SKA) 計画は、最終的に1平方キロメートル（百万平米）の集光面積を持つ、世界最大の電波望遠鏡を建設する計画である。宇宙の生命史に絡む複雑な分子輝線を探査することから、惑星系の探査、銀河進化と宇宙の構造形成、重力場での相対性理論を検証、ダークエネルギーの解明など、天文学の諸問題が解決できると期待されている。本計画は国際協力のもとで進められており、日本の電波天文コミュニティはSKA-JPを構成しKSP（Key Science Program）と言われる科学的課題を含めて様々な議論を行っている。またSKA-JPはEWG（Engineering Working Group）を構成し、SKAへの参加をにらんだ技術的視点からの議論を進めてきた。

国立天文台水沢 VLBI 観測所計画部門はSKAへの参入計画について検討している。SKAに貢献する技術に関する検討はEWGでの検討結果をふまえて現在のところSKA-VLBI、受信機、AIV（Assembly, Integration, and Verification）の3つの分野を集中的に進めている。

SKA-VLBIではビームフォームされた信号を記録しSKA外の電波望遠鏡と干渉計を構成し高感度で高分解能な観測データを提供する。日本の貢献としては、80Gbpsにも及ぶ広帯域データ記録装置の開発やVLBI観測スケジュール変換、SKA運用ソフトAPI開発、先行的VLBI試験評価などを現在考えている。

受信機分野では、現在のSKAではスコープ外のバンド5cの提案や、AIPプログラムのバンドBも検討している。

AIVでは、システム要求に対応したVerificationプランの策定がSKAの実現に置いて特に重要であり現行のSKAによる検討を踏まえてVerificationプランの検討を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2019

Alvaro Gonzalez, 深川美里, 伊王野大介, 浅山信一郎, 小杉城治, 鶴澤佳徳, 菊池健一, 平松正顕, 阪本成一 (国立天文台), ほか ALMA プロジェクトチーム

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: Cycle 6 observations started in early October 2018, just after the end of Cycle 5, with a near flawless transition between cycles, and the important milestone of having all antennas (66) available simultaneously for science observations. Data delivery continues to improve and approaches the target of 90% of data within 30 days of observations. In terms of published papers, ALMA has passed the milestone of 1000 publications.

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), together with support to the integration of band 5 receivers (EU project). Around 15 units of band 1 receivers have been produced towards the MRR meeting in 2019. For band 2 (67-116 GHz), the receiver optics components designed and fabricated by NAOJ show good performance and the fine tuning of the receiver noise temperature continues towards the target of holding the CDR in 2019. The ACA spectrometer is also progressing towards CDMR in Spring 2019.

Future Planning: ALMA is already planning important upgrades towards improved performance in the 2020s. Receivers with wider IF bandwidth and better sensitivity, longer baselines or multipixel receivers will allow to pursue new exciting science cases. Improvements in the archive will make the use of existing public data easier and more productive.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115a ALMA band2 (67-116GHz) 用光学系コンポーネントの開発 (II)

金子慶子, 坂井了, 大田原一成, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez(国立天文台)

国立天文台では、ALMA の将来開発を目的として、電波天文観測用広帯域受信機にもちいる光学系部品を開発をおこなっている。欧州南天天文台 (ESO) が主導で開発を進めている ALMA Band2 受信機は、67-116GHz の受信帯域をカバーし、帯域幅は観測周波数の 55 ~ 60 % となる。Band2 は光学系の観点から、誘電体レンズを使用してアンテナ副鏡から届く電波を受信機上のコルゲートホーンに集束させる。国立天文台では Band2 用光学系部品の設計評価をおこない、ESO における受信機開発に貢献している。本学会 2018 年秋季年会において、コルゲートホーンや OMT の個別部品の設計評価について報告した (V102a)。今回我々は、誘電体レンズ、コルゲートホーン、OMT を組み合わせ、光学系全体でのビームパターン測定をおこなった。その結果、開口能率が設計値と異なる結果となった。この原因は、誘電体材料の誘電率が、設計値と実測値の間に差があったためと考えられる。誘電体レンズは材料の誘電率をもちいてレンズ形状と反射防止膜形状を決定しているため、その要因は大きい。今回の測定結果をもとに、我々は再設計した誘電体レンズの製作を予定している。本発表では、光学系全体のビームパターン測定結果と、誘電体レンズの再設計について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V116a Development of a D-band Dual-polarization Balanced Integrated SIS Mixer for Multi-beam Receiver Application

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Akihira Miyachi, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa (NAOJ)

Multibeam superconductor-insulator-superconductor (SIS) receivers are powerful equipments in millimeter and submillimeter astronomical observation, which allow wide field-of-view (FoV) observation with high spectral resolution and high sensitivity. To build multibeam receivers is however not trivial because it is not practically feasible to assemble a large number of signal-pixel receiver modules on the focal plane due to losing of reliability by various complexities. A solution is combining multiple pixels into one integrated circuit, similar to the configuration of a camera. In this way the system becomes highly compact and robust because most of the signal and bias wirings are integrated in a planar chip and interfaces between pixels are avoided .

We have been conducting the integrated multibeam receiver development in NAOJ, and have designed and fabricated a dual polarization balanced mixer on a single chip operating at a frequency range of $125 - 163 GHz$ for the demonstration of the feasibility of this integration method. In 2018 spring annual meeting we have reported the low receiver noise ($< 50 K SSB$) and the low-level cross-polarization ($< -20 dB$) of this device. This time we will focus on the balanced mixing performance. Our test results show that a noise rejection ratio as high as $15 dB$ can be achieved with this integrated circuit. The high noise rejection ratio indicates that the balance of the mixer circuit, which is mainly determined by the uniformity of the circuit geometric dimensions, is better guaranteed by micro-fabrication techniques than in the non-integrated assemblies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a ALMA データ解析パイプラインとデータ解析ソフト CASA の開発 2

中里 剛, 川崎 渉, Renaud Miel, 西江 純教, 小杉 城治, 江澤 元, 吉野 彰, Daniel Tafoya, 宮本 祐介, 西合 一矢, 鳥居 和史, 前川 淳, 鎌崎 剛, 泉 奈都子, Andrea Silva (国立天文台) ほかパイプライン, CASA 開発チーム

Common Astronomy Software Applications (CASA) は ALMA および VLA 向けのデータ解析アプリケーションである。一方 ALMA データ解析パイプライン (パイプライン) はデータの性質や品質に基づいて処理パラメータを最適化しながら FITS イメージの作成までを一括して行う自動処理志向のアプリケーションである。パイプラインと CASA は Python 2.7 を基盤として対話型処理とスクリプト処理の両方をサポートする。これら 2 つのアプリケーションはいずれも国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および欧州南天天文台 (ESO) を中心とした国際協力により開発が進められている。その中で我々は、単一鏡モードで取得されるデータの解析機能を開発してきた。前回の発表 (2017 年秋季年会 V125a, V126a, 2018 年春季年会 V137a) 以来、我々は ALMA Cycle 5 および 6 に向けたリリースを完了した。これらはそれぞれの観測サイクルでデータ解析と品質保証に活用されている。現在は 2019 年 10 月開始予定の Cycle 7 に向けた開発が進行中である。また 2020 年の Python 2.7 サポート終了までに Python 3 に移行するための作業も進めている。さらに日本の開発チームは、CASA・パイプラインを野辺山 45m 望遠鏡と ASTE 望遠鏡のデータ解析に拡張するための開発も行っている。

本講演では Cycle 5 までのパイプライン運用状況と Cycle 6 における CASA・パイプラインの主な開発について報告し、Cycle 7 に向けた開発計画および Python 3 への移行を含む今後のリリースプランについて述べる。また野辺山 45m・ASTE 向けの開発状況についても簡単に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118b FITSWebQL v4: JVO experience with Rust

C. Zapart, Y. Shirasaki, M. Ohishi, Y. Mizumoto, W. Kawasaki, G. Kosugi, T. Kobayashi, E. Morita, A. Yoshino (NAOJ), S. Eguchi (Fukuoka Univ.)

We presents a new version 4 of FITSWebQL, which has been re-written in the **Rust** programming language on the server side (see <https://www.rust-lang.org/>). Compared with the previously used C/C++ language, Rust brings the following benefits: i) improved stability, ii) better memory management and so-called iii) “fearless concurrency”. In addition performance has also improved in some places, mainly thanks to better CPU load balancing of the Rust *rayon* data parallelism library as opposed to OpenMP in C/C++. The use of an integrated HTTP/WebSockets *actix-web* networking library available in Rust has made it possible to offer more responsive streaming downloads of partial FITS cut-outs.

On the client side the new version 4 introduces real-time streaming videos of FITS frequency channels when a user hovers a mouse over the frequency X-axis (also available via auto-play control buttons). Partially thanks to streamlined Rust memory management, the new version 4 supports previewing even 140GB-large FITS files in a web browser.

The standalone desktop version can be installed from the following GitHub repository:

https://github.com/jvo203/fits_web_ql

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V119b DESHIMA: Calibration of the on-sky MKIDs response

T. Takekoshi, C. Kahwuy, T. Ishida, K. Kohno (University of Tokyo), A. Endo, S. Ikarashi, N. Llombart, D. J. Thoen, A. Pascual Laguna, S. Bosma, B. Mirzaei, O. Yurduseven, T. M. Klapwijk (TU Delft), K. Fujita, A. Kouchi (Hokkaido University), N. Shunichi (ISAS/JAXA), J. Suzuki (KEK), P. P. van der Werf (Leiden University), Y. Tamura, A. Taniguchi, K. Suzuki, T. J. L. C. Bakx, T. Ueda (Nagoya University), T. Oshima, S. Ishii, J. Maekawa, R. Kawabe, S. Asayama, T. Tsukagoshi, Y. Fujii, K. Ohtawara (NAOJ), M. Naruse (Saitama University), K. Karatsu, J. J. A. Baselmans, J. Bueno, V. Murugesan, S. J. C. Yates, R. Huiting, P. J. de Visser (SRON)

We are developing an ultra-wideband spectroscopic instrument, DESHIMA, by integrating the on-chip filterbank and microwave kinetic inductance detector (MKID) technologies to investigate dusty starburst galaxies in distant universe at millimeter and submillimeter wavelength. On-site experiment of DESHIMA using the ASTE telescope was promoted in 2017, and we constructed a conversion model to estimate the line-of-sight brightness temperature from the frequency response of the microwave readout system for the MKIDs. Using skydip dataset under various precipitable water vapor (PWV, 0.4–3.0 mm, obtained by the ALMA radiometers), we obtained calibration model curves which converted the frequency response to the line-of-sight brightness temperature. We also estimated PWVs of each skydip data using the brightness temperature spectrum estimated using the calibration model in order to estimate calibration parameters iteratively. As a result of analysis, we obtained flux calibration errors of $1\sigma \sim 4\%$ typically, from the calibration model curves and estimated PWVs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120b DESHIMA: A New Baseline Subtraction Method for Ultra-wideband Spectra

A. Taniguchi, Y. Tamura, K. Suzuki (Nagoya University), T. Takekoshi (University of Tokyo), A. Endo, S. Ikarashi (TU Delft), T. Tsukagoshi (NAOJ), and the DESHIMA collaboration

We are developing an ultra-wideband imaging spectrometer in the sub/mm, DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper), employing an on-chip filter bank and microwave kinetic inductance detectors (MKIDs). In ASTE/DESHIMA commissioning in 2017, we have already achieved an instantaneous bandwidth of 45 GHz (Endo; ASJ meeting 2018 spring). In the reduction of such ultra-wideband time-series data, however, we find that the time variation of opacity, $\tau(t)$, is no longer constant over the waveband but has a frequency dependency like $\tau(\nu, t)$, from both observation and model. This makes spectral baseline strongly non-linear, which should fail the conventional baseline subtraction by a constant or polynomial function.

In this poster, we introduce a new spectral baseline subtraction method for such data. Using the ALMA atmospheric model, we express the frequency-dependent $\tau(\nu, t)$ by frequency-independent precipitable water vapor, $PWV(t)$, and fit baseline of each spectrum by estimating $PWV(t)$ and constant value, $C(t)$, instead of coefficients of a polynomial function. We demonstrate that this method clearly subtracts scanning effect compared to conventional method in a map cube of a Orion OTF observation. We also find that this method keeps continuum emission as $C(t)$, which may offer a new way of “spectral cleaning” for continuum observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V121b Robot Operating System を用いた NASCO 受信機システムの開発

逆井啓佑, 松永健汰, 阪本茉莉子, 野田健矢, 塩谷一樹, 近藤高志, 西村淳, 藤城翔, 佐伯駿, 鈴木雅浩, 堤大陸, 大濱晶生, 木村公洋, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 小林和宏 (名古屋大学 装置開発技術支援室), 上田翔汰, 小川英夫 (大阪府立大学), 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 藤井泰範 (国立天文台)

NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) は、NANTEN2 望遠鏡を用いた CO(1-0) 輝線の超広域サーベイ計画である。NASCO では、20 系統ある受信機を迅速にチューニングしまた安定して稼働させ、狭い光学経路に 5 ビームを通すためにビーム測定を行いながらアライメントを取る必要がある。さらには、全系統の評価機器を複数整備することは非現実的で、実験場所ごとに利用可能な計測器を用いて柔軟に評価する必要があった。

そこで我々はリモートかつ柔軟な受信機制御システムを、Robot Operating System (ROS) をベースとした制御システム NECST (野田他、本年会) を用いて実装した。本システムでは、装置部分の node を切り替え、ソフトウェアの大半を変更せず柔軟に評価機器の違いに対応できる。具体的には AD/DA ボードを用いた SIS 素子/HEMT のリモートチューニングシステムと、3 軸のステッピングモーターを用いた 3 次元近傍界ビーム測定システムを開発した。開発したシステムを用いることで、受信機のチューニングは 30 分程度、ビーム計測による受信機設置誤差の評価は 1 時間程度で実施可能だということを確認した。

SIS 素子の T_{RX} を個別に評価するための実験系、パワーメーターと分光計を組み合わせて 8 系統を同時測定できる統合試験系を、名古屋の実験室に構築し、評価を段階的に進めた。現在受信機は、統合試験を完了しチリ・アタカマへ向けて輸送中である。さらに今後は、サンペドロの TAO 山麓施設で名古屋と同環境で受信機組み立て、動作確認をし、2019 年 1 月に NANTEN2 サイトでのコミッショニングを予定している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V122b Robot Operating System を用いた電波望遠鏡/受信機の制御システムの開発

野田健矢, 西村淳, 近藤高志, 塩谷一樹, 逆井啓佑, 大浜晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 上田翔汰, 高嶋辰幸, 大西利和 (大阪府立大学)

電波望遠鏡/受信機の制御システムは、並列処理やネットワークプログラミングが必要な複雑なシステムである。我々は制御システム開発を効率化するため、近年開発が盛んなロボット用のソフトウェアプラットフォームの1つである Robot Operating System (ROS) を導入した。ROS では、プログラムは node と呼ばれる実行ファイルに分割され、複数の計算機に分散された node が相互に通信する事で並列分散処理を実現する。

ROS をベースに開発した制御システム NECST では、装置を制御する一連の操作やフィードバック処理等の各機能を細分化し個別の node として設計した事で、プログラムをシンプルに記述できデバッグが容易にできるようになった。NECST の NANTEN2 望遠鏡への実装では、総 node 数は 90 個で、命令指示から装置制御までに平均して 3 個の node を経由する。しかし、ROS はリアルタイム性を保証しておらず、通信による遅延が望遠鏡の駆動に影響を与えないか評価する必要があった。実機を用いた実験の結果、通信には同じ計算機のノード間で 0.8 ± 0.1 ms、計算機を跨いだノード間で 2.5 ± 0.1 ms かかる事が分かった。従って NANTEN2 で要求される時刻同期精度 10 ms を十分満たすことができる。また、開発したシステムを用いて望遠鏡の駆動試験を行った結果、天球の追尾精度が peak-to-peak で $\sim 2''$ 、速度 $70''/\text{sec}$ の OTF scan における追尾精度が $\sim 5''$ であり、NANTEN2 の科学観測に問題が無い事を確認した。

更に、NECST は僅かな変更で様々なシステムに移植が可能であり、これを用いた NANTEN2 NASCO 受信機の制御システムの開発 (逆井他、本年会) や、大阪府立大学 1.85m 望遠鏡の制御システムの開発が進行中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123b 大阪府大 1.85m 望遠鏡 230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線同時観測用導波管回路の進捗

増井翔, 上田翔汰, 原田遼平, 岡田望, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 徳田一起 (大阪府大/NAOJ), 木村公洋 (名古屋大), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez(NAOJ)

我々は国立天文台 野辺山宇宙電波観測所に設置された口径 1.85m 電波望遠鏡を開発・運用してきた。現在まで、星形成の母体となる分子雲をトレースする基本的な輝線である CO 同位体分子の観測を 230 GHz 帯にて行い (Onishi et al. 2013)、銀河面における分子ガスの詳細な分布を明らかにしてきた (Nishimura et al. 2015 等)。さらに、我々は現在、230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の同時観測及び、観測領域の拡張 (南天領域) を狙って、本望遠鏡を南米チリの標高 2,500m サイトへ移設すべく準備を進めている。

広帯域観測のための受信機システムとして、近年実用化された導波管型周波数フィルタ (Hasegawa et al. 2017) をさらに発展させた、220–345 GHz 4 帯域フィルタを開発中である。本フィルタは、200–260/280–350 GHz 広帯域 2 分配器 (Gonzalez et al. 2017) と、CO 輝線観測に最適な 220/230 GHz および 330/345 GHz 分離器を併せ持ち、低損失・高精度な観測帯域の切り分けを実現するものである。上記のフィルタを開発するためには、切削限界を考慮した広帯域 Branch line coupler の設計や、コンパクトかつ広帯域な High pass filter (Rosenberg et al. 2004) の設計が必要である。

3次元電磁界シミュレータを用いて、導波管回路の解析を行ったところ、230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線同時観測に有用な解析結果が得られた。本講演では、現在開発中の導波管回路の開発進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124b 超伝導フィルタによる多輝線同時観測受信機 IF 系の小型化の検討

關谷 尚人, 林 拓磨 (山梨大学), 小瀬垣 貴彦, 中島 拓 (名古屋大学)

異なる周波数の複数の分子スペクトルを同時に観測することは、分子ガス（分子雲）の化学反応や物理状態を調べるために非常に重要である。そのため、一度に広帯域にわたり分子の周波数スペクトルを観測できる受信機の開発が注目されている。名古屋大学ではこれまで 170-260 GHz の信号を 4 つの帯域に分割し、超伝導 SIS ミクサにそれぞれ出力するための導波管型マルチプレクサを大気ラジオメータ向けに開発した（中島他、2018 年秋季年会参照）。しかしながら、大気分子の周波数が近接する 246-254 GHz 帯の超伝導 SIS ミクサ後段の IF 系は非常に複雑になる問題があった。この IF 系は二つの帯域に分離し、それぞれ 2nd ミクサを通してから結合器で合成し 1 台の分光計に入力するため、分波器、二つの帯域通過フィルタ（BPF）、二つの 2nd ミクサ、結合器などを必要とし、分波器のアイソレーションの問題から信号の回り込みによる雑音の増加などが懸念される。これに対して我々は IF 系に適した超伝導デュアルバンド帯域通過フィルタ（DB-BPF）を新たに開発することによって IF 系を簡易に構成する方法を提案する。DB-BPF は二つの帯域の BPF を一つの素子として構成する技術である。それによって二つの帯域に分離する必要がなくなるため分波器や結合器が必要なくなり、2nd ミクサの数も減らすことができる。また、分光計に複数の分子スペクトルを配置するためには BPF の遮断特性を非常に急峻にする必要があるが、低損失と急峻な遮断特性を両立し、なおかつ DB-BPF を構成できるのは超伝導体を使ったフィルタだけである。DB-BPF の中心周波数は 8.36 GHz（比帯域幅 1.2%）と 11.1 GHz（比帯域幅 12%）であり、フィルタサイズは 9.45 mm×38.15 mm と非常に小型である。講演では超伝導 DB-BPF を用いた IF 系の構成や超伝導 DB-BPF の具体的な構成及び設計方法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V125b テラヘルツ光子計数システムの実現に向けた SIS 検出器の開発

江澤 元、松尾 宏 (国立天文台)、浮辺雅弘、藤井 剛、志岐成友 (産業技術総合研究所)

我々はテラヘルツ帯に感度を持つ光子計数型の検出システムを開発し、これを用いて「光子統計」という新たな観測手法の開拓に挑戦している。これは天体からの光子数の揺らぎを計測し、輻射源の物理状態の精密測定を目指す試みである。例えばテラヘルツ帯では光子統計が黒体輻射の温度で大きく変化するため、これが高精度の温度指標となる。

光子計数システムは、1 GHz の高速動作が期待される超伝導 SIS 直接検出器を採用し、高速のデータ処理システムと組み合わせて実現する。我々はこれに必要な 1 pA 程度の低リーク電流の SIS 検出器を、産業技術総合研究所の CRAVITY を用いて開発してきた。これまでに Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースの 3 μm × 3 μm の SIS 接合で、 $T \leq 0.7$ K の極低温下において目標とするリーク電流を達成した (江澤他、天文学会 2017 年秋季年会 V137b)。

この成果をうけて、我々は光子計数システムの実現を見据えた開発に着手した。これまでに開発した低リークの SIS 接合をベースに PCTJ (Parallel-Connected Twin Junctions) を構成し、ツインスロットアンテナと結合した検出器を設計、試作した。これは光子計数の実験室検証を意図したもので、中心周波数は 500 GHz、帯域は 4 GHz 程度である。これまでリーク電流 ≈ 1 pA ($T \leq 0.7$ K) を達成しており、雑音等価電力 $NEP = 6 \times 10^{-18}$ W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ が期待される。光子計数システムにおいては、読出しノイズを極限まで抑えるために検出器と初段の増幅回路を同一の極低温ステージに据え付ける。そのために大きな冷却能力が期待できる ⁴He 吸着冷凍器を用いるが、原理的にその冷却到達温度は ≥ 0.8 K 程度である。そこで低リーク SIS 検出器の動作温度を上げるべく、製造プロセスの最適化を行っている。講演では光子計数システムの概要、開発の進捗および成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V126b 1.6 K 下における誘電体物質のミリ波光学特性測定システムの構築

官野史靖（東北大学）、岡田智香（東北大学）、服部誠（東北大学）、木内健司（東京大学）、安達俊介（京都大学）、松尾宏（国立天文台）

我々は、宇宙マイクロ波背景放射観測に用いる望遠鏡内の迷光対策として、迷光を吸収するミリ波誘電体物質の開発及びミリ波での光学特性の測定を進めている。

迷光は、望遠鏡の壁などに反射して検出器に入射し、検出器の感度低下や系統誤差の原因の一つとなる。したがって、吸収体としての誘電体物質には、ミリ波帯にて1%以下の非常に低い反射率が求められる。現時点までの我々の光学特性測定結果から、誘電体物質のミリ波帯での光学特性には温度依存性があることが分かった。したがって、迷光吸収体としての性能を見定める上では、誘電体物質が実装される温度である1 K 付近で誘電体物質の光学特性を測定することが必要不可欠である。

そこで我々は、Martin-Puplett 型フーリエ変換分光計（MP-FTS）と、0.3K で動作する NTD Ge ミリ波ポロメータを用いた、1.6 K 下で試料の光学特性測定ができるシステムを構築している。本講演では、誘電体物質の測定例を示すとともに、1.6 K 測定システム構築の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念設計 II

関本裕太郎、堂谷忠靖、篠崎慶亮、高倉隼人、辻本匡弘、長谷部孝、満田和久 (JAXA)、永田竜、羽澄昌史、南雄人 (KEK)、宇都宮真、片山伸彦、桜井雄基、菅井肇、高倉 理、松村 知岳 (IPMU)、石野 宏和、魚住聖 (岡山大)、鹿島伸悟 (NAOJ)、小松英一郎 (MPA)、今田大皓 (LAL) 他 LiteBIRD phase A1 チーム他 LiteBIRD チーム

LiteBIRD 衛星は、CMB の偏光観測により、インフレーション起源の原始重力波を探索する JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA 戦略的中型ミッションの候補として 2020 年代半ばの打ち上げを目指して開発を進めている。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background、CMB) の偏光を、太陽・地球ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間かけて全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である渦巻き状の B モード偏光を、テンソル・スカラー比 r の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。

LiteBIRD は 2016 年 9 月より 2 年間、JAXA 宇宙科学研究所の概念設計フェーズ (pre-phase A2) にて、概念検討を米国 (焦点面検出器担当)、ヨーロッパ (高周波望遠鏡 HFT およびサブケルビン冷凍機担当)、カナダ (常温読出回路担当) と協力してすすめてきた。広帯域 (34 - 448 GHz) 観測による前景放射除去や系統誤差の検討について検討をおこない、B モード偏光を検出する十分な見込みを得ている。日本の担当する広視野の低周波望遠鏡 (low frequency telescope: LFT) (鹿島他本年会、高倉他本年会)、放射冷却と機械式冷凍機を駆使した冷却システム (長谷部他本年会)、LFT 用偏光変調器、低温 end-to-end 検証計画、衛星バスシステムについて、概念設計の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V128a 放射冷却を用いた LiteBIRD 衛星低温ミッション部熱設計の最適化

長谷部孝, 関本裕太郎, 堂谷忠靖 (JAXA/ISAS), 篠崎慶亮 (JAXA/RDD)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測衛星 LiteBIRD は、宇宙誕生の瞬間に急激な空間の加速膨張が起こったとするインフレーション仮説を検証するため、現在検討が進行中の科学衛星プロジェクトである。

LiteBIRD では、CMB 観測感度を極限まで高めるため、観測装置を 5K 以下の極低温まで冷却することが要求される。3 年の観測期間を達成するため、5K 冷却には液体ヘリウムのような冷媒を用いず、無寒剤の機械式冷凍機を用いる。衛星観測では冷凍機駆動を限られた電力のみで賄う必要があるため、冷凍機の冷却性能および搭載可能台数は厳しく制限される。LiteBIRD で用いる 5K 冷却用冷凍機の冷凍能力は 4.5K において 40mW である。

以上の背景から本研究では、放射冷却を有効活用した衛星熱設計について検討した。LiteBIRD は太陽地球 L2 軌道で観測を行うため、地球周回軌道と比較し天体からの熱輻射の影響を受けにくい。そのため、深宇宙自身を極低温熱浴として利用した放射冷却を積極的に活用する。従来の科学衛星では、放射冷却が利用されるのは衛星の最外層部だけであり、その内部に複層の冷却シュラウドを配置し、それらを予冷用冷凍機で段階的に冷却することで 5K 冷却を実現していた。LiteBIRD では、多層からなる断熱シールドを配し、シールドの両面を深宇宙に積極的にさらすことで、放射冷却を最大限活用する。これにより従来の熱設計に比べ、5K 冷却を実現するための冷凍機台数の削減、および冷凍機への熱負荷低減を実現する。

本研究では、シールド層数・形状・放射率の比較検討を行い、冷却性能が最も発揮される低温ミッション部熱設計の最適化を行った。その結果、展開が不要な放射冷却シールドを 4 層用いることによって、4.5K 冷却を 30mW 以下の冷凍機熱負荷で達成する設計解を得た。本講演ではその手法と結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XII

永田 竜 (KEK), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay), ほか Lite-BIRD Phase-A1 team

数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起こったか」の指標である。マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目的とし、2020年代半ばの打ち上げを目指す計画である。

原始重力波に由来する偏光信号は、既に観測で確認されている密度揺らぎ由来の偏光成分に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、その検出に向けた取り組みにおいては、高感度の装置を開発するだけでなく、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。今回の講演では、サイドローブを經由した太陽光のピックアップについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130a スケールモデルを用いた LiteBIRD Low Frequency Telescope の光学系評価試験

高倉隼人 (東京大学, ISAS), 関本裕太郎, 稲谷順司, 長谷部孝, 岡田則夫, 武田洋一 (ISAS/JAXA), 鹿島伸悟 (NAOJ), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay), 加賀亨 (岩手大学) ほか LiteBIRD Phase A1 チーム

LiteBIRD は、宇宙マイクロ波背景放射の偏光の精密観測により、インフレーション仮説の検証を目指す衛星計画である。日本が担当する Low Frequency Telescope (LFT) は、 $20^\circ \times 10^\circ$ の広い視野と 34–161 GHz の広い周波数帯域を持つ Crossed-Dragone 型望遠鏡である。LFT への主な光学的要求として、-56 dB の精度でビーム較正できる、ビームの扁平率を 15 %以下とする、といったものがあり、これまでに幾何光学と物理光学を駆使した設計が行われてきた (2018 年秋季天文学会 V126a, V127a)。

我々は、LFT がこれらの要求を満たしていることを検証するため、実機サイズでの試験の前段階として 1/4 スケールモデルおよび測定装置を設計・製作し、アンテナ放射パターンの評価試験を行った。試験では、焦点面に送信フィードホーンを置き、開口面の各位置における振幅と位相を測定して Fourier 変換することで、遠方界で -70° から $+70^\circ$ に対応する範囲のサイドローブレベルを 70 dB のダイナミックレンジで評価した。さらに、送信フィードホーンを焦点面上で動かすことで、LFT の視野全体のアンテナ放射パターンを遠方サイドローブを含めて測定した。測定結果はシミュレーションでの予測と良く整合した。本発表では、この測定結果の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131a CMB 偏光観測実験 GroudBIRD 望遠鏡の検出器の応答性評価

沓間 弘樹 (東北大・理研), 池満 拓司 (京大理), 石塚 光 (総研大), 内田 智久 (KEK・総研大), 大谷 知行 (理研), 岡田 智香 (東北大), 小栗 秀悟 (理研), 唐津 謙一 (TUDelft), 官野 史靖 (東北大), 木内 健司 (東大理), 小峯 順太 (京大理), 古谷野 凌 (埼玉大), 鈴木 惇也 (KEK), 関本 裕太郎 (JAXA), 瀬本 宗久 (埼玉大), 田井野 徹 (埼玉大), 田島 治 (京大理), 富田 望 (東大理), 永井 誠 (天文台), 長崎 岳人 (KEK), 成瀬 雅人 (埼玉大), 羽澄 昌史 (KEK・総研大), 服部 誠 (東北大), 本多 俊介 (京大理), 蓑輪 眞 (東大理), 美馬 覚 (理研), 吉田 光宏 (総研大・KEK), Ricardo T. Génova-Santos(IAC), Jihoon Choi(IFS), Kyungmin Lee(コリア大), Rafael Rebolo(IAC), Jose Alberto Rubiño-Martin(IAC), Eunil Won(コリア大)

インフレーション理論は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光マップに「Bモード」と呼ばれる渦巻き状の特徴的なパターンを作ることを予言している。GroundBIRD 実験は高速回転スキャンと超伝導検出器 Microwave Kinetic Inductance Detectors (MKIDs) により、数度から数十度の CMB 偏光を地上から観測する。本実験は2019年度にスペインのテネリフェ島テイデ観測所で観測を開始する。

本観測に向けた問題点として、望遠鏡内部の熱輻射シールドによる反射 (迷光) により検出器の感度の低下が引き起こる。これを抑えるために望遠鏡の熱輻射シールドや焦点面内部に黒体の設置を行なった。評価方法としては望遠鏡の窓から様々な強度の放射を入れ検出器の応答の測定を行った。これにより、黒体を設置する前よりも迷光の影響が抑えられていることを確かめた。本講演では、これらの光学評価試験の状況について報告するとともに、観測サイトでの観測立ち上げの進捗についての報告も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の観測開始に向けた準備状況

西野玄記 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 安達俊介 (京都大), 阿部倫史 (京都大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大), 鈴木有春 (LBNL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 田島治 (京都大), 高倉理 (Kavli IPMU), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 高田卓 (核融合件), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), 濱田崇穂 (東北大), 廣瀬開陽 (横浜国大), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研), 他 POLARBEAR コラボレーション

POLARBEAR-2 は、南米チリ・アタカマにおける宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測実験 POLARBEAR の受信機システムのアップグレード計画である。CMB における偏光成分を精密に測定することにより、宇宙誕生初期に生じたとされる原始重力波の痕跡の観測とそれを予言するインフレーション仮説の検証や、宇宙の大規模構造による重力レンズ効果の観測とそれに影響をもたらすニュートリノ質量に対してこれまででない精度の情報をもたらすことを目的としている。POLARBEAR-2 では、超伝導検出器素子数を現行実験の約六倍の 7,588 個に、さらに、90 GHz と 150 GHz の二つの周波数帯での同時観測を可能とする受信機システムを開発することで、統計感度の向上、並びに、前景放射の除去性能の向上を目指してきた。これまで、日本国内で統合試験が行われてきたが、2018 年度後半より、受信機システムの観測サイトへの輸送と観測サイトにおけるシステムの立ち上げを開始した。本発表では、POLARBEAR-2 計画の概要と観測開始に向けた準備の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133a CMB 観測実験 Simons Observatory の開発状況

木内健司 (東京大学), ほか Simons Observatory Collaboration

インフレーションはビッグバン以前に起こった空間の指数関数的膨張である。量子ゆらぎを引き伸ばし、ビッグバンに初期条件を与えることで、地平線問題等に説明を与えることができる。この時、同様に原始重力波が生まれる。原始重力波はやがて宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光分布に、特徴的な回転不変のパターン「Bモード」を作り出す。宇宙の大規模構造が作る重力ポテンシャルによる重力レンズもまた、「Bモード」を作り出す。すなわち、CMBのBモードを通して、宇宙誕生と、その後の発展、両方の情報を得ることができる。

Simons Observatory 実験は世界最大規模の望遠鏡群でBモードの精密観測を目指すものである。SO 実験は、特に重力レンズ由来の小さい角度スケールのBモード観測に注力する大口径望遠鏡 (LAT) と、原始重力波由来の大きな角度スケールのBモード観測を担当する小口径望遠鏡 (SAT) 群からなる。大口径望遠鏡は6mのCrossed Dragon型反射型光学系を有し、27 GHzから270 GHzまでの合計6周波数帯を30,000素子の超伝導転移端センサ (TES) で観測する。小口径望遠鏡群は42cmの屈折型光学系を有する望遠鏡3台からなり、合計30,000素子以上のTESを搭載しLATと同様に6周波数帯を観測する。大小の望遠鏡と60,000素子以上の超伝導検出器を組み合わせ、小角度スケールから大角度スケールまでの幅広い範囲を高精度で測定する。

本公演では、特に小口径望遠鏡の低温光学筒の開発状況を中心に、Simons Observatory 実験の最新の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V134a テラヘルツ光子の統計を用いた天体観測手法の開拓

松尾 宏, 江澤 元, 木内 等, 本間希樹 (国立天文台), 村田泰宏 (ISAS/JAXA), 浮辺雅宏, 藤井 剛 (産業技術総合研究所), 服部 誠 (東北大学)

将来のテラヘルツ天文学に、光子の統計的ふるまいを利用した新たな観測手法を提案する。これまで天体光子の統計が積極的に使われたのは、Hanbury-Brown と Twiss の強度干渉計のみである。我々は新たな観測手法として、(1) 強度干渉計を応用したテラヘルツ開口合成、(2) 光子統計を用いた天体観測の提案を行っている。

(1) 強度干渉計による開口合成画像の取得には強度相関による複素ビジビリティの取得が必要である。これを実証するため、テラヘルツ帯の光子バンチを用いた高精度の遅延時間計測を検証するための実験準備を進めている。テラヘルツ強度干渉計により、高感度高解像度の画像合成が安定に実現できることを示したい。将来構想として、アタカマ高地、南極高地、および宇宙空間から、超高解像度テラヘルツ干渉計の実現を目指している。

(2) 光子統計を用いた天体観測手法として、光子統計が光源温度の指標になることを実験的に示し、天体の放射機構を直接的に高精度で検証することを目指している。たとえば、宇宙マイクロ波背景放射の光子統計を測定することで、インフレーション宇宙からのスクイーズド光が観測できる可能性が指摘されている。

観測手法の要となるのが、テラヘルツ光強度の高速計測である。強度干渉計により遅延時間の高精度計測を実現するには、高時間分解能 (= 広帯域) の直接検出器が必要である。入射光子数が少ない場合、光子計数が可能となる。将来的には、宇宙空間からのテラヘルツ光子計数を実現することで、高感度の光子計数型テラヘルツ干渉計を実現するとともに、高解像度で見えてくる光子統計を用いた天体放射機構の解明が期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (18)

米倉 覚則, 齋藤 悠, 佐藤公紀, 会川 航平, 大島 理穂, 齋藤 偉, 百瀬 宗武 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 久野 成夫 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

茨城観測局 (日立 32-m アンテナ、高萩 32-m アンテナ) では、VLBI 観測運用を年間 1,000 時間程度 6.7 GHz、8.4 GHz、22 GHz において実施するとともに、6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測や、パルサーなどの時系列データ取得観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施している。

(1) 2018 年 8 月 30 日にアンテナ直近に落雷があった、高萩アンテナの AZ-補助モーター制御基板が故障し、制御架から AZ-補助モーターを駆動することができなくなった。現在修理中である。(2) 2018 年 9 月 28 日の保守作業中に高萩アンテナの AZ 駆動部に不具合が生じ、アンテナを駆動できなくなった。調査の結果、AZ 駆動用 DC モーター 2 台のうちの 1 台の制御装置の電源回路部分が故障していると判明した。製造メーカーは、交換部品が生産中止であるため修理できない、との回答であったため、独自に交換部品を手配した。納品され次第修理を行う予定である。(3) 6 GHz 帯の受信パワー監視装置に時々混入する強烈な (通常時の 100 倍に達するものもある) スプリアスの大半は、衛星携帯 Globalstar から地上局へのダウンリンク信号であることが判明した (6 GHz 帯は電波天文バンドでは無い点に留意)。(4) 単一鏡観測用サンプラー (日本通信機製 K5/VSSP32) にコム状 (周波数間隔 62.5 MHz) のスプリアスノイズが混入する問題、および、高萩-日立 2 素子干渉計用リアルタイム相関器 (エレクトクス工業製 OCTAD-C) が時々異常動作を示す問題については、OCTAD-C のサンプラ部から発生したノイズの RF 帯への混入が原因である事が判明し、サンプラ部を RF 帯の信号を扱わない観測室に移設し解決した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136b JVN アンテナを用いたパルサー観測とFRB 探査

青木貴弘 (山口大学)

国内の電波望遠鏡の一部は Japanese VLBI Network (JVN) の一局としておおよそ統一された記録システムを有しており、基本的には標本化周波数 1024 MHz、量子化ビット数 2 bit による帯域幅 512 MHz の観測を行っている。その記録系を用いたパルサー観測システムを構築し、これまでにいくつかのパルサーを観測した。

使用している電波望遠鏡は山口 32 m 鏡、山口 34 m 鏡、日立 32 m 鏡、高萩 32 m 鏡であり、右回り円偏波について 6 GHz 帯 (6600–7112 MHz) と 8 GHz 帯 (8192–8704 MHz) の二周波同時観測を実施している。データ解析には独自のソフトウェアを使用しており、解析に graphic processing unit (GPU) を使用することである程度的高速化を実現し、1 時間の観測データをおよそ半日かけて処理してシングルパルス探査を行う。これによって主な観測ターゲットをジャイアントパルスを放つパルサーに設定し、日本から観測可能な 10 個のパルサーに対してジャイアントパルス探査を実施したが、観測時間の短さから、これまでのところ Crab パルサーだけでのみ、ジャイアントパルスを検出している。

Crab パルサーの観測では、6 GHz 帯においては 1 時間あたり平均して 10 個程度ジャイアントパルスを検出できしており、8 GHz 帯においては平均数個検出できている。これによってスペクトル指数や DM (dispersion measure) のモニターを行い、実際にスペクトル指数はおおよそ -3 という結果を得ているものの、パルスによる分散が大きくジャイアントパルスの特殊性が色濃く表れている。パルスの周波数特性は放射領域を反映しており、今後のモニターによるサンプル増加によって、ジャイアントパルスの放射機構に迫れるだろう。またパルサー観測と併せて、fast radio burst (FRB) の探査のためのシステム改修も進めており、その進捗についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V137b JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状 (その 2)

村田泰宏、沼田健二、内村孝志、大西徹、関川純人、田淵豪、坪井昌人、戸田知朗、富木淳史、中原聡美、野中房一、長谷川豊、湯地恒次 (深宇宙探査用地上局 (GREAT) プロジェクト、宇宙航空研究開発機構)

深宇宙探査用地上局 (GREAT) プロジェクトは、現在長野県佐久市の臼田宇宙空間観測所で運用している 64m アンテナの後継の 54m アンテナを同市の美笹エリアに建設するプロジェクトである。深宇宙通信に対応するための X 帯送受信系および Ka 帯 (32GHz) 受信系の通信設備が整備されるが電波望遠鏡としての利用も期待される。2018 年春季年会においてこの建設プロジェクト開発計画を報告した。また、2018 年秋季年会に於いて、Ka および X 帯冷却受信機 (LNA) の状況を報告している (長谷川他)。

2018 年度は、アンテナの機器収納設備および全体システムの検証計画の設計審査 (CDR#2) が行われ、それを受け 2017 年度の基礎工事、Az レール工事、電力棟の建設に続き、2018 年度は、アンテナ本体および運用試験棟の建設が始まり、2018 年 12 月にはアンテナの構造部分がほぼ完成した。また、X 帯および Ka 帯の冷却受信機は製造も終了し、試験が開始されている。2019 年 4 月からは各機器の搬入が始まり、2019 年度下期からはいよいよ試験のため電波の受信を開始する。

DDOR による高精度軌道決定機能および測地 VLBI 観測のため、VLBI バックエンド (ADS-3000+) も納入され、現在臼田 64m アンテナに接続して試験を行っている。これらの装置により国内 VLBI ネットワークとの相互観測も可能としている。アンテナの性能検証のために、メーザー天体観測の重要性も認識され、その整備も行う方向となっており、各大学の天文の研究者との検討が進んでいる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V138b LireBIRD 搭載光学系の開発検討 2

鹿島伸悟 (NAOJ), 高倉隼人, 長谷部孝, 関本裕太郎, 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Universite Paris-Saclay), 他 LiteBIRD メンバー

我々は、インフレーションモデルの検証を目的に宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 観測衛星 LiteBIRD の開発を進めている。LiteBIRD 光学系に求められる仕様として重要なのが、キャリアレーション精度を決める「開口径」と全天掃引の効率に影響を及ぼす「広視野 (Wide FOV)」である。

前回は、広視野は達成しやすいが迷光が出やすいという問題を有するクロスドラゴン光学系においても、迷光を定量的に評価し、且つ迷光を減らす設計手法を確立したことにより、十分実用になるレベルまで迷光を少なくしたクロスドラゴン光学系が設計できたことを報告したが、あくまでも設計だけであり、製造性を十分考慮したものではなかった。そこで、LiteBIRD 光学系に必要な仕様や性能を評価関数としたモンテカルロ公差解析を行い、現行の製造能力でも問題無く製造できるかどうかの確認を行った。波面収差といった一般的な光学性能評価関数以外にも、feed とのカップリング効率に効くテレセン性 (像面への垂直入射性) や偏光特性を表す Mueller Matrix の非対角成分といったものも評価関数としている。その結果、最も性能に影響の大きいアライメント公差において、ティルト (傾き) で 0.2 度、シフト (横ずれ) で数 mm 以下に抑えれば問題無いとの良好な結果を得た。当然、アライメント公差解析だけではなく、面形状 (いわゆる面精度に) 関しても、新たな手法を導入して解析している。

本発表では、アライメント及び面精度の公差解析に用いる評価関数の設定やモンテカルロ解析の手法、及びそれによって得られた結果の解析手法等に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V139c 日韓 VLBI による、43GHz 帯偏波 VLBI 試験観測経過報告及び活動銀河核ジェット収束機構の研究

萩原喜昭 (東洋大)、河野祐介、鈴木駿策、秦和弘、小山友明、宇賀裕哉、松枝知佳 (国立天文台)、藤沢健太、新沼浩太郎 (山口大)、嶺重慎 (京都大)、米倉覚則 (茨城大)、笹田真人 (広島大)

我々研究チームは、国立天文台 VERA 望遠鏡 4 局の内、水沢局と入来局 20m 望遠鏡に設置されている、周波数 43 GHz (キカヘルツ) 帯受信機の左右両円偏波同時受信化を実施してきた。2018 年 3 月には同 2 局と、韓国 VLBI ネットワーク (KVN) の 3 局の 21m 望遠鏡を入れた計 5 局で干渉計フリンジ試験を行い、全ての基線で左右両円偏波同時にフリンジを検出することができた (日本天文学会 2018 年秋季年会講演)。目標は、活動銀河核の中心から数百シュハルトシルト半径以内の領域から噴出する電波シェットの磁場形状を、ジェットのより内部まで見通すことの出来るミリ波帯の 43 GHz 帯にて高空間分解能直接撮像することにより、シェットの収束過程とその根元の構造の関わりを調べることにある。そのために必要な機動力を備えた新たな偏波 VLBI 網を、我々がリードして東アジア地域に構築していきたいと考えている。本講演では主に、2018 年 3 月の試験観測の解析結果と 2018 年 12 月から 2019 年 1 月にかけて実施される予定の KVN との偏波 VLBI 試験観測の解析途中経過等を報告する。今後の研究計画、現在急速に発展する東アジア地域での VLBI 国際協力との連携、および科学観測の見直しなどに関する報告もする。(本研究は JSPS 科研費 JP15H03644 の助成を受けたものです。)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140c 大学 VLBI 連携の現状と将来計画

藤沢健太 (山口大学)、大学 VLBI 連携

6 大学および国立天文台が連携して VLBI 観測網 JVN を構築し、観測網運用及び研究を推進するのが大学 VLBI 連携である。JVN には口径 32m を超える望遠鏡が複数あり、そのうちの茨城局と山口局はそれぞれ茨城大学と山口大学によって運用されているという特長がある。研究面では 6.7 GHz メタノール・メーザの研究、活動銀河核の研究などで特色のある成果を挙げ、また大学における電波天文学の研究の発展に貢献している。

これまでの成果を踏まえ、大学 VLBI 連携では将来計画に関する議論を行ってきた。その成果をまとめて「センチ波帯における高解像度時間領域天文学の開拓」と題した研究計画書 (通称大学連携 white paper) を作成し、これを基本方針として研究を進めている。この計画では、次の 2 つの主研究課題を掲げている。(1) 少数基線高感度 VLBI を用いた中高輝度電波源の大規模サーベイ及び時間領域モニター、(2) 多様な時間スケールに及ぶ突発天体現象の高感度・高時間分解能 VLBI 観測体制の構築。

(1) の少数基線高感度 VLBI とは、茨城 - 山口基線を中心とした観測であり、コンパクトな天体のフラックス検出に特化した (非撮像) 観測である。観測から相関処理まで全て大学が主体となって大規模サーベイを行う点が特長である。科学研究面では大質量原始星周囲の熱的放射、活動銀河核ジェットとガンマ線放射の関連、銀河系内コンパクト天体などを主な対象とする。(2) は時間領域 VLBI 天文学の推進である。

現在、大学 VLBI 連携は国立天文台の A プロジェクトとなる準備を進めている。研究計画に大きな変更はないが、これを機に電波望遠鏡を持たないが科学研究の内容で協力できる大学なども含めた組織に発展することを計画している。また画像観測では、東アジア VLBI 観測網 EAVN へ参加して研究を発展する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141c 野辺山 45 m 電波望遠鏡における主鏡の変形計測 (2)

橋本育実、岡田望、千葉正克、大西利和、小川英夫 (大阪府大)、上田哲太郎、木村公洋、田村陽一 (名古屋大)、深作悠平 (筑波大)、神澤富雄、半田一幸、和田拓也、倉上富夫、南谷哲宏、川邊良平 (国立天文台)、他ミリ波補償光学開発チーム

主鏡面の変形はアンテナ性能に直接影響するため、大型電波望遠鏡を用いた観測において主鏡の変形の評価は非常に重要である。主鏡変形の要因としては、熱変形や重力変形 (静的要因)、風負荷や望遠鏡駆動による変形 (動的要因) などが挙げられ、静的要因に対しては解析的なアプローチが行われているが、動的要因に対しては解析的な評価が困難である。そこで、本研究では動的な運動のみを測定することができる加速度計を用いて、主鏡変形を評価することを目指している。今回我々は、ホモロガス変形法を採用し比較的柔軟な構造に設計されている野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて、2018 年春季より主鏡変形計測を行ってきた。

まず 45 m 鏡の主鏡バックアップストラクチャ内の左右方向に加速度計を設置し、望遠鏡駆動に伴い発生する振動の測定・評価を行った。その結果、観測時の主鏡の変位量や左右での振動の位相変化が明らかになり、加速度計を用いた測定が可能であることを示した (前年会)。

そこで今回、我々は加速度計の増設および主鏡の変形モード決定精度の向上を行った。加速度計を四個増設し、設置箇所は全部で左、右、天、地、45 deg(天と左の間点)、中心 (センターハブの真横) の 6 ケ所とした。また、温度計を設置することで加速度計の感度の温度変化に対応できるようにした。さらに風向風速を高速サンプリング (2.5 Hz) することで、風と主鏡変形の相関をより詳細に評価できるよう進めている。

本年会では、加速度計の増設および計測装置の敷設方法、最新の測定結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

3月14日(木) 午後(13:00-15:00) [E会場]

V201a	13:00	国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システム I 概要と設計 古澤久徳 (国立天文台)
V202a	13:12	国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システム II 運用 磯貝瑞希 (国立天文台)
V203a	13:24	明野・岡山 50cm 可視光望遠鏡の 2018 年度運用実績 伊藤亮介 (東京工業大学)
V204b	13:36	突発天体検知のための MITSuME 望遠鏡用自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化 庭野聖史 (東京工業大学)
V205b	13:36	深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの突発天体検知 飯田康太 (東京工業大学)
V206b	13:36	重力波データ可視化用ウェブ・アプリケーションの開発 (I) 江口智士 (福岡大学)
V207b	13:48	西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用 伊藤洋一 (兵庫県立大学)
V208b	13:48	「なゆた望遠鏡」の可視光分光器 MALLS のエシエル化と新 CCD カメラの開発 杉江祐介 (兵庫県立大学)
V209b	13:48	法政大学二連望遠鏡 HOTATE の観測システムの構築 (2) 堀川和希 (法政大学)
V210b	14:00	チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI) : システムコミッショニングとファーストライト 笹田真人 (広島大学)
V211b	14:00	TMT 高分散分光器 HROS の検討 青木和光 (国立天文台)
V212b	14:00	TMT 第一期観測装置 IRIS の開発 : 光学歪みの補正精度の検証 向江志朗 (東京大学)
V213a	14:12	超低面輝度の可視光天体の探査による新たな高エネルギー天文学の開拓へむけて 山崎了 (青山学院大学)
V214c		重力波源の電磁波対応天体、および、超低面輝度天体探査のための広視野可視光望遠鏡 TARGET の初期運用 坂本貴紀 (青山学院大学)
V215a	14:24	瞳収縮分光器の天体干渉計への応用 井戸雅之 (大阪大学)
V216a	14:36	InGaAs 近赤外線イメージセンサーの低ノイズ化と検証用エレクトロニクス 中屋秀彦 (国立天文台)
V217a	14:48	国産 1.3k × 1.3k InGaAs 赤外線検出器の鹿児島大学 1m 望遠鏡での試験観測 永山貴宏 (鹿児島大学)
V218c		可視分光器 Alpy600 の試験観測 田邊健茲 (岡山理科大学)
V219c		金属鏡望遠鏡の開発 浮田信治 (国立天文台)
V220c		木曾 105cm シュミット鏡/KWFC による広視野多色狭帯域撮像観測 西浦慎悟 (東京学芸大学)

3月15日(金) 午前(9:30-11:30) [E会場]

V221a	09:30	ULTIMATE-START: すばる望遠鏡レーザー補償光学の開発 (III) 秋山正幸 (東北大学)
V222a	09:42	ULTIMATE-START: 解析的 PSF 推定手法を用いたレーザー補償光学の性能評価 大野良人 (国立天文台)
V223a	09:54	ULTIMATE-Subaru: 広視野地表層補償光学システム (GLAO) の概念設計 美濃和陽典 (国立天文台)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V224a	10:06	The NIR Polarimetric Differential Imaging Mode of the Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics Jin Zhang (The University of Tokyo)
V225a	10:18	HSC+PFS サイエンスデータベース ver.2 の開発 山田善彦 (国立天文台)
V226b	10:30	最新の HSC データ解析ソフトウェアと SSP データリリースの現状報告 池田浩之 (国立天文台)
V227b	10:30	HSC-SSP データベースの高速化検討 瀧田怜 (NAOJ)
V228b	10:30	MOIRCS の Cold Stop 及び MOS Mask の改良とその効果 田中壺 (国立天文台)
V229b	10:42	SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: SCIP 光学構造系の開発進捗 原弘久 (国立天文台)
V230b	10:42	SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 高精度偏光分光装置 SCIP に搭載する回転波長板駆動機構の開発 久保雅仁 (国立天文台)
V231b	10:42	狭帯域チューナブル・フィルターを用いた観測実例 木村剛一 (京都大学)
V232b	10:54	太陽像によるシーイング観測の季節変化調査 宮良碧 (明星大学)
V233b	10:54	高速偏光変調との同期を実現した H2RG 赤外線カメラ (2) 太陽の偏光測定による機能実証 花岡庸一郎 (国立天文台)
V234b	10:54	惑星観測用補償光学系の開発の進捗状況 (4) 渡邊誠 (岡山理科大学)
V235a	11:06	TMT 計画 - 進捗報告 白田知史 (国立天文台)
V236a	11:18	TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造 その 1 齋藤正雄 (国立天文台)
V237c		高分散分光観測で挑む TMT 時代のサイエンスから要求される性能評価 三澤透 (信州大学)
3月15日(金) 午後(13:30-15:30) [E会場]		
V238a	13:30	SPICA (次世代赤外線天文衛星): ESA との共同による推進の本格スタート 金田英宏 (名古屋大学)
V239a	13:42	SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の開発状況 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構)
V240a	13:54	Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope (OST) Final Mission Concept 左近樹 (東京大学)
V241a	14:06	宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: プロジェクト進捗状況 佐野圭 (関西学院大学)
V242a	14:18	ソーラー電力セイル探査機 OKEANOS 搭載の小型赤外線望遠鏡 EXZIT: 概念設計の現状 津村耕司 (東北大学)
V243c		「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (11) 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)
V244b	14:30	宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 光学系性能評価 瀧本幸司 (関西学院大学)
V245b	14:30	SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の光学系公差解析 高橋葵 (総合研究大学院大学)
V246b	14:30	近赤外線高分散分光器 WINERED: データ解析パイプラインの開発 濱野哲史 (京都産業大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V247c		10 – 20 μm 帯でのスペース高分散分光観測の実現に向けた CdZnTe イメージンググレーティングの常温での絶対回折効率測定 前嶋宏志 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
V248a	14:42	JASMINE 計画の進捗状況 郷田直輝 (国立天文台)
V249b	14:54	小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 III 上田暁俊 (国立天文台)
V250b	14:54	実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析 3 鹿島伸悟 (国立天文台)
V251b	14:54	小型 JASMINE の高精度星像位置決定の実証実験 矢野太平 (国立天文台)
V252a	15:06	小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発 山田良透 (京都大学)
V253a	15:18	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における防振装置のための制御系の開発 藤井善範 (東京大学)

V201a 国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システムⅠ 概要と設計

古澤 久徳、磯貝 瑞希、巻内 慎一郎、田中 伸広、大倉 悠貴、高田 唯史（国立天文台）

近年、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) をはじめとする観測装置や観測プログラムの大規模化が進み、それらから得られるデータサイズも飛躍的に増大している。多くの観測計画が国際的な協力と競争の枠組みの中で行われるようになり、科学成果獲得のためには、適切な時間内に取得データを処理し研究に必要な情報を得ることがますます重要になっている。一方で、取り扱わなければならないデータサイズは生データの状態で数十テラバイトの規模、出力に至っては数十テラバイトからペタバイトの規模に及び、もはや個人研究環境で対応することは容易ではない。こうした状況において、大規模な観測データ解析のための共同利用計算機環境の提供が観測者から強く望まれてきた。

そこで、国立天文台天文データセンターでは2018年度から大規模観測データ解析に最適化した共同利用計算機システム（大規模システム）の構築を始めた。これまでも、我々は個々の観測者が小規模の観測データ処理を行うための環境を提供してきたが、各ユーザーが多コアを長時間占有することは想定されておらず、HSCなどの1観測プログラムで大きな計算機資源を要するデータ解析の要求に十分に対応できなかった。大規模システムはこうした要求に応えるため、1000コア以上を持つ計算機クラスターと高速な大容量共有ファイルシステムを接続し、バッチシステムによるジョブ管理を行うことで現行の共同利用環境で対応できなかった規模の解析を受け入れる。

初期運用の課題はHSCの戦略枠観測と一般共同利用観測のデータ解析を本システムで実行できるようにすることであり、2019年前半の初期運用試験を目指してハワイ観測所と共同でシステム構築や運用の準備を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V202a 国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システム II 運用

磯貝 瑞希、古澤 久徳、巻内 慎一郎、田中 伸広、大倉 悠貴、高田 唯史 (国立天文台)

国立天文台天文データセンターでは、ハワイ観測所すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (以下 HSC) など、解析処理に多くの計算資源を必要とする大規模観測データ用の解析システムを構築中である。本講演では、現在想定している運用方針について報告する。

本システムは、天文データセンターが共同利用計算機システムとしてサービスを提供している多波長データ解析システム (以下 MDAS) の一部として運用する予定であり、本システムの利用には MDAS のアカウントが必要である。よって、利用希望者はまず MDAS の利用申請を行い、アカウントを取得した後に本システムの利用申請を行う。なお、MDAS では 2018 年度より日本国の「非居住者」のアカウント取得と利用については、利用者に対する該非判定の手続きを実施している。HSC の共同利用観測者は観測プロポーザルの採択で審査を受けているはずであるため、原則受け入れられる見込みであるが、観測者が非居住者の場合は該非判定の対象となる。

本システムへのログインは、国立天文台内からは ssh による直接アクセスが可能であるが、台外からは MDAS が提供している VPN サービスを利用する必要がある。この VPN サービスについても、別途利用申請が必要である。本システムでの解析処理は、バッチシステム管理の元、ジョブを投入する形で行う予定である。ユーザはログインノードにログインした後にこのノードからジョブを投入し、実際の処理は計算機クラスターが行うことを想定している。

本システムの計算資源の多くを一定期間利用することを希望するユーザ向けに、利用者の需要とハワイ観測所の方針を加味して戦略的に計算資源を使うような手段を検討している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V203a 明野・岡山 50cm 可視光望遠鏡の 2018 年度運用実績

伊藤 亮介, 村田 勝寛, 河合 誠之, 谷津 陽一, 橘 優太郎, 森田 浩太郎, 白石 一輝, 大枝 幹, 飯田 康太, 庭野 聖史, 安達 稜 (東京工業大学), 黒田 大介 (京都大学), 前原 裕之, 柳澤 顕史, 花山 秀和 (国立天文台)

東京工業大学では明野観測所と岡山天体物理観測所にある 2 台の 50cm 可視光望遠鏡 MITSuME (Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) を運用している。2018 年度からは 2 台の望遠鏡を統括的に管理する新システムによる自動ロボット観測が開始され、従来のガンマ線バーストに対する即時観測に加え、より効率的な GROWTH や OISTER, J-GEM との連携観測や全天 X 線監視装置 MAXI で発見された天体の早期フォローアップ観測を実施している。これにより、GRB 181110A においては X 線検出後から約 1000 秒後に、可視光で急激に増光する現象を捉えることに成功した (Murata et al. 2018, GCNC 23415) ほか、25 件程度の GRB 観測を GCN circular に報告している。また、MAXI で発見された X 線新星 MAXI J1820+070 は増光初期から 3 色同時での短時間変動観測に成功するほか、光赤外線大学間連携を通じた多波長同時観測が実施されている。本講演では今年度行ったガンマ線バーストの残光観測や X 線連星の観測解析結果に加えて、他機関との連携観測の結果や解析環境の整備について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V204b 突発天体検知のための MITSuME 望遠鏡用自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化

庭野 聖史, 村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太郎, 河合 誠之, 谷津 陽一, 針田 聖平, 森田 浩太郎, 大枝 幹, 飯田 康太, 間宮 英生, 白石 一輝, 安達 稜 (東京工業大学), 下川辺 隆史 (東京大学)

重力波天体に象徴される突発天体は、いつどこで発生するか分からず、幅広い波長帯で発生直後の変動を捉えるためには、観測後直ちに詳細な位置を決定し、それを全世界へ速報することが重要である。東工大河合研究室の運用する MITSuME (Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) はそうした突発天体の追観測を主目的とした、可視光望遠鏡による観測システムであり、ガンマ線バースト監視衛星等からの速報の受信から、観測、解析までの殆どが自動化されていることが特徴である。しかしながら、現行の自動解析パイプラインは主に IRAF/pyraf を利用しているために、画像枚数の多い一次処理に於いて現代的な計算機を使用してもかなり時間を要する。この理由は IRAF の設計の古さに起因し、メモリ消費を避けるために不必要なデータ I/O が多発して、現在の計算機の実力を有効に活かしきれないところにある。IRAF を利用することで処理に時間が掛かることは世界中の他の研究チームに於いても問題とされており、ZTF 等、IRAF から脱却したチームも少なくない。そこで我々は、現行システムを代替するための新しい一次処理プログラムを作成した。これは NumPy、AstroPy、CuPy を利用しており、余計な I/O を省略し、画像処理を GPU 上で行うことで高速化している。その結果、処理の精度を保ちつつ、実行時間を 10 分の 1 以下まで減らすことに成功した。本講演では、こうした、現在までの研究の成果を報告し、今後の課題について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの突発天体検知

飯田 康太, 谷津 陽一, 伊藤 亮介, 村田 勝寛, 橘 優太郎, 河合 誠之 (東工大理), Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順 (東工大情報理工), 下川辺 隆史 (東京大)

新たな発見領域として注目を集める重力波天文学の要は、数百平方度にまたがる広大なエラー領域を自動的に掃天し、すぐさま候補天体を検出するデータ解析パイプラインも含めたロボティックなシステムである。この最終ステップである変動天体の検知には、従来“HOTPANTS”に代表される差分画像を用いた手法が広く利用されているが、光学系の収差や回折などによる“引き残し”が発生するため、最終的に人間の目による確認が不可欠である。引き残しの本質的な原因は、HOTPANTSのカーネル関数が比較的綺麗なガウシアン形のPSFしか再現できない点である。

本研究では、複雑な形のPSFを再現するため、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた識別器を提案する。我々はデータセットとして、2008年から2016年に渡って東工大 MITSuME 望遠鏡で撮影された天体画像171枚を用いた(template)。またそれらと同じ視野で、異なる時間に撮影された天体画像を同数用意した(science)。さらに、scienceには一画像につき30個の点源を人為的に付加し、突発天体を模擬した。学習プロセスでは、まずscienceの点源抽出を行い、星の中心から 20×20 ピクセルの領域をscience及びtemplateからそれぞれ切り出す。CNNを用いた識別器には、この $20 \times 20 \times 2$ のマトリックスを入力し、これが突発天体か定常天体かを確率で評価する。この識別器は、 $S/N=10$ の星に対して、およそ90%の識別精度を達成した。さらに、我々は様々な観点からこの識別器の性能を詳細に評価した。本講演では、その結果と問題点についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206b 重力波データ可視化用ウェブ・アプリケーションの開発 (I)

江口智士、柴垣翔太、端山和大、固武慶 (福岡大学)

恒星質量ブラックホール同士の合体 (GW150914) に伴う重力波の直接検出の成功により、重力波天文学が本格的に幕を開けた。重力波は非常に高密度な物質周囲の時空の情報を運ぶため、従来の電磁波観測では窺い知ることができなかったコンパクト星の物理やその成り立ちの解明に威力を発揮することが期待される。我々福岡大学では、数値シミュレーションと電磁波に重力波やニュートリノを加えたマルチメッセンジャー観測の両方を駆使し、超新星爆発のメカニズムを統合的に解明する研究を行っている。その一環として、日本の重力波望遠鏡 KAGRA で超新星イベントを効率よく検出する解析パイプラインと、KAGRA のデータをウェブ・ブラウザを用いて可視化・解析するシステムを開発している。本講演では、後者の “SuperNova Event Gravitational-wave-display in Fukuoka (SNEGRAF)” の開発状況を報告する。SNEGRAF は、JavaScript と Java サブレットを組み合わせたクライアント・サーバ型のウェブ・アプリケーションである。ユーザが用意した、時刻とそのときの h_+ および h_\times を列挙したテキスト・ファイルを読み込み、重力波の波形、スペクトログラム、パワー・スペクトルおよび KAGRA における signal-to-noise ratio を表示する。重力波波形およびパワー・スペクトルの表示部は対話的になっており、ユーザによる操作が可能である。この機能は Google Charts を用いた JavaScript で実装されているが、最新鋭のパーソナル・コンピュータであっても、JavaScript で重力波望遠鏡の実データをそのまま描画するには時間がかかり過ぎる。そこで、サーバ側で再帰的に重力波波形を間引く処理を行い、ユーザが要求した時間範囲に応じてブラウザ側で処理結果を切り替えることにより、Intel の Atom プロセッサのような非力な環境でも十分実用に耐えるようアルゴリズムを設計した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207b 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用

伊藤 洋一, ほか西はりま天文台スタッフ (兵庫県立大学)

西はりま天文台は、日本最大級の光学赤外線望遠鏡「なゆた望遠鏡」を主力機器として、教育研究活動と生涯学習事業を積極的に推進している。「なゆた望遠鏡」には、可視分光装置・近赤外線撮像装置・可視光同時偏光撮像分光装置などの装置がある。これらの装置は定常的に運用されており、晴れば毎晩、天文台スタッフが研究観測を行っている。また、東京大学が開発した狭帯域撮像分光装置 LISS も PI 装置として活躍している。さらに、ハワイ大学 2.2m 望遠鏡に搭載され多くの日本人にも使われた可視分光器 WFGS2 を、2017 年に西はりま天文台に移設した。現在はこの装置の改修を進めており、近い将来には「なゆた望遠鏡」の主力装置のひとつとなるだろう。

兵庫県立大学天文科学センターは、2016 年度から文部科学省の「共同利用・共同研究拠点」に認定された。これに伴い、共同利用観測を開始した。プロポーザルを年二回募集し、外部の研究者を含めたレフェリーの審査に基づき、年間 50 夜を共同利用観測に割り当てている。日本国内の大学や研究所からはもとより、海外からの応募もあり、「なゆた望遠鏡」を用いた観測の需要に適切に対処できていると考える。

講演では、共同利用拠点形成期のこの 3 年間の活動を総括する。共同利用観測をはじめとする研究観測の現状を述べ、併せて観測装置などの将来計画についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V208b 「なゆた望遠鏡」の可視光分光器 MALLS のエシエル化と新 CCD カメラの開発

杉江祐介、伊藤洋一、本田敏志、大島誠人 (兵庫県立大学)、中屋秀彦、鎌田有紀子 (国立天文台)、新井彰 (京都産業大学)

なゆた望遠鏡に搭載された MALLS は、可視光の中・低分散ロングスリット分光器である。我々は MALLS にエシエル回折格子を組み込み、波長分解能が 50000 程度の高分散分光観測ができるように改良を進めている。このためには広い波長範囲で高い量子効率を持った大フォーマットの CCD 素子が必要である。そこで我々は e2V 社から 261-84 という CCD 素子を購入した。この素子は 2000×4000 ピクセルで、波長 400 nm から 900 nm に渡って 80 % 以上の量子効率を実現している。この素子を搭載した観測装置は日本にはない。

今までにこの CCD 素子を収納するデュワーを製作し、真空・冷却試験を行った。デュワーへの冷凍機の取り付け方法は東京大学の観測装置 LISS を参考にした。製作したデュワーにおいて当初は十分な真空度と冷却温度が得られなかったが、熱伝達の経路を見直し、冷却時に 9.79×10^{-7} Torr の真空度を達成した。また、CCD チップの搭載場所で -102.9 を達成した。運用の際は -90 に温度コントロールする。CCD の駆動回路と読み出し回路は MESSIA6 + Mfront2 を使用する。読み出し回路は Linux で制御する。

まず 12 月に、デュワーに素子を組み込み正常に駆動することを確認する。一方で MALLS にエシエル回折格子を組み込み、エシエル化を試みる。そして MALLS に CCD カメラを搭載し、1 月に試験観測を行う。

本講演では、これまでに製作したデュワーの詳細と MALLS への組み込み方法、および読み出し回路の開発について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209b 法政大学二連望遠鏡 HOTATE の観測システムの構築 (2)

堀川和希、奥田航大、唐澤安曇、望月亮吾、田中幹人（法政大学）、八木雅文（国立天文台、法政大学）、岡村定矩（東京大学）

法政大学小金井キャンパスには口径 30 cm の反射望遠鏡と口径 13 cm の屈折望遠鏡を一つの赤道儀に同架した二連望遠鏡 HOTATE(HOsei Twin Astronomical TElescope) がある。HOTATE は現在、5 枚 (H、B、V、R、I) のフィルターに冷却 CCD カメラを用いた撮像観測のシステムが確立されており、変光星やトランジット法を用いた系外惑星の観測などの研究や教育に用いられている。しかし、2015 年 3 月設立時の目標である「遠隔観測化」は未だ完成していない。本講演ではそれに向けた現在実行中のプロジェクト（全天スカイモニターの実装、ポインティングの校正、各露出での大気透過率の導出、オートガイド機能の導入、撮影データのデータベース化）の報告を行う。

全天スカイモニターは遠隔観測時に観測地の詳細な天候を知る手段となる。現在は筐体の雨風対策を終え、遠隔で一眼レフカメラの操作が可能となっている。また、データベース化はユーザーの目的に適した検索を可能にする。今後の撮影されたデータも自動登録されることで、過去のデータの比較や解析に役立つ。現在は FITS のヘッダー情報を取り出して自動登録するプログラムの構築とユーザーインターフェース作成を CGI で行い、動作確認をしている。このデータベースを用いて、過去の多くのデータの比較から新天体などの発見も視野に入れている。そのための一次処理や測光、天体検出の自動化システムの構築はすでに完成している。それに加え、発見後の観測では大気状態の把握や正確なポインティング、長時間露出なども考えているため、各露出での大気透過率の導出やオートガイド機能の導入も検討している。オートガイド機能はシステムの性能評価をする段階である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V210b チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI) : システムコミッショニングとファーストライト

笹田真人、川端弘治、長嶋大樹、植村誠 (広島大学)、内海洋輔 (SLAC)、Liu Wei (PMO)、Yong-Qiang Yao (NAOC)、吉田道利 (NAOJ)

HinOTORI は広島大学宇宙科学センターと中国科学院国家天文台阿里観測所が共同で推進している天文台開発プロジェクトである。50cm 反射望遠鏡を用いて重力波の可視光対応天体の検出、観測を主目的としている。望遠鏡で集めた光をダイクロイックミラーで3バンドに分け、3台の CCD カメラを使うことで u , R_C , I_C バンドの3色同時撮像が可能となる。望遠鏡は標高 5100 メートルの場所に設置されているため大気透過率がよく、 u バンドにおいても良い感度での観測が期待できる。HinOTORI は、無人での自動観測を行うことを目標にしており、観測システムの構築が求められている。

広島大学のチームは 2018 年の 5 月と 10 月にチベット・阿里に訪問し、HinOTORI の観測システムやドームシステムの構築やネットワークの整備などを行った。HinOTORI の制御ソフトウェアはサーバー・クライアントモデルに基づき構築されている。装置と直接通信するソフトウェアの実行環境に応じて Linux / Windows のそれぞれのノード上にサーバーソフトウェアが走っていて、クライアントソフトウェアからの命令に応じて各種サブコンポーネントを制御する。これらの制御ソフトウェアを用いることで、HinOTORI による初の科学観測に成功し、リモートによる観測にも成功した。

本講演では HinOTORI 望遠鏡の性能と現在の進捗について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211b TMT 高分散分光器 HROS の検討

青木和光、表泰秀（国立天文台）、成田憲保（東京大学）、小谷隆行（ABC）

可視高分散分光観測は、恒星や星間物質の化学組成や運動の測定、太陽系外惑星の探査や大気組成の分析、高赤方偏移の QSO やガンマ線バースト残光の吸収線系解析など、幅広い分野で不可欠の手段として用いられている。観測には大口径望遠鏡の集光力が威力を発揮するため、地上大型望遠鏡には高分散・高効率の分光器の搭載が期待される。本講演・ポスターでは、TMT (Thirty Meter Telescope) の可視高分散分光器 HROS の検討状況を報告する。TMT の第二期装置の検討の一段階として、2018 年には White Paper が募集された。これにむけて国際協力で HROS による科学研究や装置の概念検討が行われた。4ヶ国 29 人の検討チームが作成・提出した White Paper では、多様な観測性能の要求にこたえることを目標に以下の特徴をもつ装置を提案した。(1) カバーする波長域は 310-1100nm, 波長分解能 R は 100,000, 50,000, 25,000、(2) ファイバーを用いた単一の天体の高波長分解能 ($R=100,000$) 観測および多天体観測 (20 分角 ϕ 内で最大 6 天体 $R=25,000$)、(3) 450nm より短波長域で高効率の分光観測 ($R \leq 50,000$) および長波長域で高波長分解能 ($R=100,000$) で安定性の高い分光観測性能。White Paper は TMT の科学諮問委員会で検討され、2018 年 11 月時点で検討チームが今後の検討・開発計画を提出する段階となっている。年会では検討の最新情報についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V212b TMT 第一期観測装置 IRIS の開発：光学歪みの補正精度の検証

向江志朗 (東京大学), 鈴木竜二, 早野裕 (国立天文台), Brent Ellerbroeck (TIO), Glen Herriot (NRC)

補償光学を用いた高精度アストロメトリにおいて、その精度を決定しているのは光学歪みの補正精度である。Thirty Meter Telescope では、第一期観測装置である近赤外線撮像分光装置 IRIS 及び補償光学システム NFIRAOS 起因の光学歪みに関して、 $10 \mu\text{arcsec}$ という極めて高い補正精度が要求されている。しかしながら、この精度で位置が分かっているキャリブレーション光源は存在しないため、キャリブレーション光源の精度に依らない補正手法が必要になる。そこで我々は self-calibration method による光学歪みの補正を検討している。この手法は、望遠鏡焦点面に展開したピンホールマスクを並行移動 (ディザ) させながら撮像し、測定位置の差分から光学歪みを抽出するものである。我々は、シミュレーションで NFIRAOS と IRIS の研磨誤差込みの光学系をモデリングし、ピンホールマスクのパラメータ (ディザ距離・ディザパターン・ピンホール数) が補正精度に与える影響を調べた。結果、補正対象の歪みのスケールより長いディザ距離をとり、ディザを含めたピンホール測定位置の分布が一様になるようにディザパターンとピンホール数を設定することで、残差 $\approx 4 \mu\text{arcsec}$ という高い精度で光学歪みの補正が可能であることが分かった。本講演では、上記の検討、さらには self-calibration method が感度をもたない高次の光学歪みによるアストロメトリへの影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213a 超低面輝度の可視光天体の探査による新たな高エネルギー天文学の開拓へむけて

山崎了, 坂本貴紀, 田中周太 (青学大), 太田耕司 (京都大), 藤田裕 (大阪大), 大平豊 (東京大), 勝田哲 (埼玉大), 川端弘治 (広島大)

可視光帯域で $32\text{--}34 \text{ mag/arcsec}^2$ 程度の超低面輝度の観測を、大学レベルの比較的規模の小さな望遠鏡を用いて行うことが可能となってきた。実際、米国の DragonFly 望遠鏡は、低面輝度の銀河観測を行い、銀河天文学の分野において次々と成果を挙げている (Abraham & van Dukkam 2004, PASP)。これを高エネルギー天文学にも展開し新たな分野を開拓することができるか検討している。主なターゲットは超新星残骸やパルサー星雲、Fermi バブル、天の川銀河の拡散放射、および星形成銀河の銀河風領域などからのシンクロトロン放射や、銀河団の逆コンプトン散乱放射である。これらの検出は、それぞれの天体での電子加速機構に対して新たな知見を与えてくれるかもしれない。特に、超新星残骸からの可視光シンクロトロン放射が検出されれば、宇宙線加速の理論に対して、さらには、銀河団の可視光逆コンプトン散乱放射が検出されれば、宇宙の大規模構造の形成過程等に対して多大な観測的貢献をすることができる。すでに我々はプロトタイプ望遠鏡を製作し試験観測を開始している。今後、設計通りの感度を達成できた場合は、望遠鏡を移設して本格観測を行いたいと考えている。可視光帯域での広がった天体の観測は宇宙線研究ではほぼ未開拓であったが、本研究ではそこに目をつけ、可視光帯域の観測を充実させることで、当該分野の観測的進展を加速させることを目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V214c 重力波源の電磁波対応天体、および、超低面輝度天体探査のための広視野可視光望遠鏡 TARGET の初期運用

坂本貴紀, 山崎敦義, 芹野素子, 山崎了, 田中周太 (青学大), 太田耕司 (京都大), 藤田裕 (大阪大), 大平豊 (東京大), 勝田哲 (埼玉大), 川端弘治 (広島大)

2017年8月17日に検出された GW170817 は最初の中性子星連星の合体イベントからの重力波であっただけでなく、r過程に伴う“キロノバ”と呼ばれる紫外、可視光、赤外線放射、さらには、相対論的なジェットからの放射がX線や電波で観測されるという、重元素合成に関する重要な知見、そして、重力波とガンマ線バーストとの関連が明らかになったという意味で画期的な大イベントだった。重力波検出器 LIGO と Virgo による第3期 (O3 run) の観測開始は2019年3月下旬の予定となっており、感度がさらに向上した LIGO-Virgo が提供する重力波のアラートには大きな期待が世界中の研究者から寄せられている。ただし、重力波源からの電磁波対応天体探査で大きなネックとなってくるのが、重力波のデータから提供される位置が数十平方度から数百平方度と非常に広い点にある。一方、超新星残骸やパルサー星雲などからの広がった非熱的な可視光放射を高い感度で探査できれば、電子加速機構に対して重要な結果をもたらす可能性がある。これらの目的を達成するため、我々は、 $2^\circ \times 3^\circ$ という広い空を一度に観測できる小型ロボット望遠鏡 TARGET (The AGU Robotic Gravitational-wave Electromagnetic Telescope) の開発を進めている。鏡筒は Officina Stellare 社の Veloce RH200 (口径 20cm, f/3)、そして CCD カメラは ATIK 社の ATK11000 (4007 x 2671 ピクセル, ピクセルサイズ 9 μm) を組み合わせる事で広い視野を実現している。赤道儀は高橋製作所の EM-400 Temma2、自動開閉小屋には Astro Haven 社のクラムシェル型のものを使用している。本講演では、望遠鏡の概要、および、現在進めている、テスト観測の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215a 瞳収縮分光器の天体干渉計への応用

井戸雅之, 松尾太郎, 伊藤哲司, 芝井広, 住貴宏 (大阪大学)

天体干渉計は、天体からの位相を計測するために、干渉計で発生する波面誤差を小さく抑える必要がある。また、主星の光を選択的に低減するナール干渉計において、高コントラストを得るために、波面誤差を低減させることが重要である。このような背景において、私たちは、瞳収縮分光器を天体干渉計の光結合へ応用し、連続的な分光スペクトルから波面を直接計測する方法を提案する。瞳収縮分光器は、主鏡相当の面を複数に分割し、分割された光を収縮させ、回折を利用することで、主鏡相当の分光像を検出器において取得することができる。宇宙望遠鏡に瞳収縮分光器を搭載する場合、連続的な瞳の分光スペクトルが得られるため、天体からの位相と干渉計で発生する波面誤差を分離することが可能である。したがって、サイエンスカメラにおいてサイエンス光の位相計測だけでなく、波面計測も同時に行うことができるため、将来のナール干渉計のような高コントラストの観測においても有用であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216a InGaAs 近赤外線イメージセンサーの低ノイズ化と検証用エレクトロニクス

中屋秀彦, 小宮山裕, 吉田道利 (国立天文台), 柏川伸成 (東京大学), 内田智久 (高エネルギー加速器研究機構), 川端弘治 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学)

近赤外線超広視野カメラ開発を視野に国産の InGaAs 近赤外線検出器の開発を行っている。これまでに、市販素子 (128x128x20um 画素) の低温駆動評価、低ノイズ化 (128x128x20um 画素) の検証、そして小画素大面積化 (1280x1280x15um 画素) の検証と行ってきた。大面積素子の製造自体は可能なことがわかったが、低ノイズ化との両立に問題が残る結果となっている。

低ノイズ化をさらに進めるため、より微細な CMOS 製造プロセスを用いた試作を行うことにした。これにより、1 電子あたりの出力電圧を大きく取ることができ低ノイズ化が期待できる。今年度は、128x128x15um 画素の小型素子の試作を行い、良好な結果が得られている。

また、モザイクカメラへの搭載を検討するための検証用エレクトロニクスの試作も行った。デジタル回路部は、今回は HSC で開発した GESi CA 基板の FPGA を書き換えることで実現した。アナログ回路部には、新たに小型 FPGA を搭載することで、デジタル回路部とアナログ回路部間のデータ転送速度を向上させ、少ない線数で多素子のデータを転送できるようにした。また、高精度 16bit 5M サンプル/秒の AD 変換器を採用し、オーバーサンプリングのオンボード演算にも対応させ、高ダイナミックレンジを実現している。今回の基本回路をスケールアップすることで超広視野カメラへ対応可能である。

本講演では、微細 CMOS 製造プロセスによる小型素子の評価結果など InGaAs 検出器開発の進捗報告と、モザイクカメラ対応の検証用エレクトロニクスについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217a 国産 1.3k × 1.3k InGaAs 赤外線検出器の鹿児島大学 1m 望遠鏡での試験観測

永山貴宏、出崎一成、須藤順平、川本莉奈（鹿児島大学）、中屋秀彦（国立天文台）、川端弘治（広島大学）

私たちは、浜松ホトニクス社と共同で天体観測用の大フォーマット赤外線検出器の開発を行っている。これまでに 1280 × 1280 画素 (15 μ m 画素ピッチ) の InGaAs 検出器の開発に成功し、2017 年秋期年会などで報告を行った。本講演では、この検出器の実際の望遠鏡での試験観測の結果について報告する。

試験観測は、この検出器のエンジニアリンググレードを鹿児島大学で開発中の近赤外線 JHK バンド同時撮像カメラの J バンド部分にインストールし、鹿児島大学 1m 望遠鏡に搭載して行った。視野の大きさと画素スケールは、11.1' × 11.1'、0.52"/画素である。望遠鏡搭載時の読み出しノイズは 44e⁻であった。試験観測として、オリオン星雲 M42 と球状星団 M13 の観測を行った。大気透過率、望遠鏡光学系、検出器量子効率なども含めた光学系透過率の実測値は 30.8%、また、180 秒積分、S/N=10 での限界等級は 15.5 等であった。

一方、明るい星を視野内に導入した場合、直後に観測装置の窓を塞ぎ、光路を遮っても、検出器のリセットの方法によっては、明るい星の残像が出るのが分かった。残像は検出器をアイドルリング中、常にリセット状態とすることで実用上、問題ない水準まで下がるが、検出器をアイドルリング中に常にリセット状態にした場合には、この検出器に特有の枠模様が出ることも分かっている。残像、枠模様が生じる原因は、現在、調査中であるが、観測方法を工夫して枠模様が再現するようにし、スカイ画像と一緒に差し引くことで目立たなくすることで、実用的な天体観測が可能であると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218c 可視分光器 Alpy600 の試験観測

田邊健茲、安藤和子、山村春香、松井瀬奈、福田尚也（岡山理科大学）

フランス・Shelyak 社の可視分光器 Alpy600 は、分光素子としてグリズムを用いているため、小型で軽量（すべてを含めて約 2kg）でありながら、かつて OAO188 センチメートル望遠鏡に取り付けられ、AGN などの分光観測を行ったいわゆる「新カセ」分光器を凌ぐ性能を持っていると考えられる。その構造ならびに使い方については前回の年会でその概要を報告した。今回はこの分光器を用いて、早期型星、輝線星、惑星状星雲、AGN などのスペクトルを求めてみた。試験的に用いた望遠鏡は Celestron 社の 20 センチメートル Schmidt Cassegrain 望遠鏡で、これに F6.3 となる Focal Reducer (Meade 社) を付けているが、これがないとスリットに焦点を結びにくい。また、使用した赤道儀は Vixen 社の SXD2 で天体の自動導入システムが使える。使用上の問題点としては、監視用 CCD と本体（スペクトル取得用）の CCD とのピントが少しずれているため、スリットへの星の導入には工夫がいる。試験的な観測の結果とともに遠隔操作システムについても発表する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V219c 金属鏡望遠鏡の開発

浮田信治・筒井寛典・神戸栄治・柳澤顕史・泉浦秀行 (NAOJ)、黒田大介 (京大)・松永典之 (東大)

アルミを用いた金属鏡天体望遠鏡製作の要素技術の開発について報告する。分光観測専用望遠鏡の主鏡面の結像性能はシーイングサイズと同程度の3秒角でよいと割り切り、主焦点から光ファイバーリンクを用いて分光器に直接入射する観測システムを構想した。するとアルミを用いた主鏡製作が選択肢のひとつとなる。従来の金属鏡の製作では柔らかいアルミを研磨して金属光沢を得るのは難しいとされ、硬いニッケルを無電解メッキしてそのニッケル面を研磨していた。我々は上質な金属光沢にはこだわらず、反射率はニッケルと同等の60%程度を想定し、直接アルミ面を研磨するアプローチを試みた。アルミ合金には優れた機械切削性を持つというガラスにはない特徴があり、軽量化を簡単に行うことが出来る。これにより望遠鏡本体や基礎部のコストも下がり、また既設50cmクラスの架台に2mクラス主鏡を搭載するシステムアップグレードも可能になる。

我々は直径2.1m・焦点距離3.5m・8分割鏡をデザインし、高精度に切削加工された(2 μ m rms, 5cm グリッド)軽量の(17 kg)パネル2枚を購入した。パネル支持は球面座と1軸ステージを組み合わせた簡素な3点支持法とした。切削加工による数cmスケールの周期的な凹凸パターンを除くためピッチ盤と耐水ペーパー(#2000-5000)や研磨剤(粒子径3 μ m)を用いた研磨を行った。Hartmann測定を行い、その解析から得られる鏡面形状を見ながら研磨を進め、0.5 μ m rms(結像性能約10秒角)の鏡面精度を得た。最終段階はピッチ盤にフェルト状のパフをつけて光沢研磨を行い反射率65%を得た。光ファイバーリンクは現状の結像性能に合わせてコア径200 μ mファイバー(12秒角相当)を用いて製作した。2枚の分割鏡の相互アライメントは、現状の支持構造で約15分間で5秒角のずれが発生するが、事前誤差測定によるlookup-table方式で補正を行い試験観測を進める予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V220c 木曾 105cm シュミット鏡/KWFC による広視野多色狭帯域撮像観測

西浦慎悟, 宮野彩, 根本明宗 (東京学芸大学・教育), 長谷川優子 (川口市立科学館)

KWFC (= Kiso Wide Field Camera) は、東京大学天文学教育研究センター木曾観測所で開発された可視光 CCD カメラである。8 枚の 2k×4k CCD チップ (4 枚の MIT 製 CCD と 4 枚の SITe 製 CCD) からなり、同観測所の木曾 105cm シュミット鏡に搭載されることで、約 2.2 度角四方 (約 0.95 秒角/pix) という超広視野撮像を実現した。我々は、近傍銀河内外と周辺領域に存在する HII 領域の性質や、銀河系内星雲における電離ガスの空間分布を調べるために、KWFC 用の $H\alpha + [NII]\lambda\lambda 6548, 6583, H\beta$, および $[OIII]\lambda\lambda 4959, 5007$ 輝線に、また、木曾観測所は $[SII]\lambda\lambda 6716, 6731$ 輝線に対応した狭帯域フィルター (それぞれ通称, N6590, N4873, N5013, および, N6750) を作成した。これら 4 つの狭帯域フィルターは、後退速度が $-300-2500 \text{ km s}^{-1}$ 、回転速度が 350 km s^{-1} までの近傍銀河内に存在し、内部運動が 30 km s^{-1} までの輝線源を、それぞれの帯域内に捉えることが可能である。

西浦 (2014, 日本天文学会 2014 年春季年会, V235c) および西浦ほか (2016, 日本天文学会 2016 年春季年会, V248c) では、N6590 および N5013 について報告した。本ポスターでは、これらに N4873 と N6750 の評価を加えて、1) KWFC について指摘されている、同一の CCD チップの上下部分の、照度に対する応答性の違いが、CCD チップやフィルターに関係なく、最大でも約 2.5-2.7% で、それに対する分散が 0.1% 以内であること、2) 一つの CCD チップ内に写った数十個の恒星の SDSS による測光値を内挿して求めた等級のゼロ点と、分光測光標準星から求めた等級のゼロ点との差は、N5013, N6590, N6750 画像では $\pm 0.06-0.07 \text{ ABmag}$ のランダム誤差内で一致しているが、N4873 画像では後者の方が -0.10 ABmag ほど系統的に明るいこと、が確認された。

ポスターでは、これら狭帯域フィルターの仕様や、限界輝度などの狭帯域画像の詳細な評価結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V221a 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 (III)

秋山正幸, 満田和真, 櫻井大樹, 大金原, 大本薫 (東北大), 美濃和陽典, 大屋真, 大野良人, 三枝悦子 (国立天文台), 山室智康 (オプトクラフト)

単一のレーザーガイド星を用いた波面測定では、有限の高度のガイド星からの円錐状の光路と無限遠に存在する天体からの円筒状の光路との差により、天体からの光路の大気揺らぎに測定できない成分が生じる。円錐効果と呼ばれるこの影響は、レーザーガイド星補償光学の補償性能を制約する大きな要因となっている。特に、高い波面補償精度が要求される可視光など短い波長域での補償光学において、十分な補償が実現出来ない大きな要因となっている。この円錐効果を低減するために複数のレーザーガイド星を用いて円筒状の光路をカバーして波面測定を行うレーザートモグラフィ補償光学が提案されている。我々は ULTIMATE-START (Subaru Tomography Adaptive optics Research experimenT) 計画としてすばる望遠鏡にレーザートモグラフィ補償光学を実現し、可視光での高空間分解能観測を実現するシステムの開発を進めている。レーザー光源については新規に設置する高輝度レーザーを4個のガイド星に分割する光学系の設計を進めている。また4個のガイド星からの波面測定を行う波面センサーユニットについてもシャックハルトマン型波面センサーでの光学設計を進めている。波面センサーにはローリングシャッター読み出しのCMOS型高速カメラを用いることを想定しており、データ取得試験と評価を進めている。波面センサーについてはプロトタイプ1台の実験室での立ち上げを進めている。本講演では計画全体の現状と各部分の要素開発の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a ULTIMATE-START: 解析的 PSF 推定手法を用いたレーザートモグラフィ補償光学の性能評価

大野良人 (国立天文台), 秋山正幸, 満田和真, 櫻井大樹, 大金原, 大本薫 (東北大学), 大屋真, 美濃和陽典, 三枝悦子 (国立天文台)

ULTIMATE-START は、現在すばる望遠鏡で稼働している補償光学システム「AO188」に、複数波面センサーと複数レーザーガイド星システムを用いるレーザートモグラフィ補償光学モードを搭載し、可視波長域での高空間分解能観測を実現するプロジェクトである。1つのレーザーガイド星を用いる従来の補償光学システムでは、有限の高度にあるレーザーガイド星の円錐状の光路と無限遠に存在する天体の円柱状の光路の違いが補償性能を制限する要因であった。レーザートモグラフィ補償光学では、複数のレーザーガイド星を用いてこの光路の違いの影響を抑え、補償性能を向上することで、従来補償光学では困難であった可視波長域での AO 観測を実現する。

本研究ではレーザートモグラフィ補償光学によって得られる PSF を解析的に推定することで、レーザーガイド星の天球面上での配置、シャックハルトマン波面センサーの素子数とピクセルスケールといったパラメータがレーザー補償光学の性能にどのように影響するかを調べ、各パラメータの最適化を行った。その結果、Median シーリングの条件において、波長 700nm で 5%程度が達成されることがわかった。K-band(2150nm) では、ストレル比 60%以上が達成されることが期待され、これは従来の AO188 のレーザーガイド星モードで達成されているストレル比 (30~40%) のおよそ 2 倍程度である。本公演では、解析的な PSF 推定手法の説明と、各パラメータの最適化の結果、レーザートモグラフィ補償光学で期待される性能の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223a ULTIMATE-Subaru:広視野地表層補償光学システム (GLAO) の概念設計

美濃和陽典, 岩田生, 大野良人, 小山佑世, 高遠徳尚, 田中壱, 服部堯, 早野裕, 吉田道利 (国立天文台), 秋山正幸, 児玉忠恭 (東北大), 本原顕太郎 (東京大), Francois Rigaut, Celine d'Orgeville, Visa Korhonen, Nick Herral, Gaston Gausachs, Jordan Davies (ANU), Shiang-Yu Wang, Chi-Yi Chou (ASIAA)

ULTIMATE-Subaru は、大気揺らぎの地表に近い層のみを補正する地表層補償光学 (GLAO) と広視野近赤外線観測装置を開発し、広視野に渡りシーイングを改善した高解像度の近赤外線観測を実現する装置計画である。本計画では、まず始めに、GLAO システムを望遠鏡に搭載し、既存の広視野近赤外線観測装置 MOIRCS の大幅な性能向上を行う。また、GLAO で得られる広視野を最大限に活用するべく、約 $14' \times 14'$ を持つ近赤外線撮像装置 (WFI)、及び多天体面分光装置 (M-IFS) を新たに開発し、カセグレン焦点に搭載する。これにより、ULTIMATE-Subaru は、HSC, PFS に続く、2020 年代後半から始まる 30m 級望遠鏡の時代におけるすばる望遠鏡の広視野戦略の基幹装置として、大規模サーベイ観測による科学的成果を上げることを目標としている。

本研究では、マウナケアにおける大気揺らぎプロファイルの統計データを用いた、シミュレーションによる GLAO 仕様の最適化、及び補正性能の評価を行い、メジアンシーイング条件において、視野直径 $20'$ のエリアに渡って、K バンド ($2.2\mu\text{m}$) で FWHM $\sim 0''.22$ の均一な星像が得られる事を示した。また、どのシーイング条件においても、GLAO により約 2 倍の星像サイズの改善が得られる事を示した。これらの結果をもとに、GLAO の仕様を最適化し、可変副鏡、波面センサー、レーザーガイド星システムといった主要サブシステムの概念設計を行い、2018 年 10 月に GLAO の概念設計レビューを行なった。本講演では、ULTIMATE-Subaru 計画の概要、科学目標、及び概念設計で得られた GLAO の性能評価、主要サブシステムの概念設計について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224a The NIR Polarimetric Differential Imaging Mode of the Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics

Jin Zhang (The University of Tokyo), Motohide Tamura (The University of Tokyo, ABC, NAOJ), Olivier Guyon (The University of Arizona, ABC, NAOJ), Tomoyuki Kudo (NAOJ), Julien Lozi (NAOJ), Barnaby Norris (The University of Sydney)

Young stars can form in gas-rich and dusty protoplanetary disks. The direct imaging of young planetary systems can reveal when, where and how the transition from the star formation to the planetary system takes place. The structures of planet-forming disks can be detected with the NIR polarized light.

We will combine high-precision NIR polarimetric differential imaging (PDI) with high-contrast imaging of Subaru Telescope to observe the formation and early evolution of planetary systems with very high sensitivity, to distinguish the scattering from the thermal emission, to map the planet-disk gravitational interactions, to measure the dust compositions of disks and to investigate the dust shells of evolved stars. The images of the inner regions of planetary systems related to habitable planets formation can be obtained with NIR PDI. By adding new optical components to the Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics (SCEXAO), we will develop two complimentary polarimetric imaging modes, including the spectropolarimetry mode with CHARIS and the fast switching PDI mode with a high-speed low-noise NIR camera. The double-difference technique and the triple-layer differential polarization calibration will be used to obtain the high sensitivity. We will report the details of the NIR PDI modes and the status of the new instrument.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V225a HSC+PFS サイエンスデータベース ver.2 の開発

山田善彦, 田中賢幸, 古澤久徳, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 瀧田怜, 高田唯史, 池田浩之 (国立天文台), 矢部清人 (Kavli IPMU) Ani Thakar, Sue Werner, Dmitry Medvedev (JHU) 他 HSC/PFS パイプライン開発・データ公開ソフトウェアチーム

国立天文台と Johns Hopkins University (JHU) を中心とするチームで、すばる望遠鏡主焦点に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) のデータ公開に向けた Science Database の開発を進めている。ユーザーが巨大な画像やカタログデータをダウンロードすることなく、サーバー上である程度の解析をおこなえることを目標として、HSC で運用してきた天体カタログ検索 (CAS Search) ・データ検索 (DAS Search) ・hscMap (画像ブラウザ) の機能をまとめて扱えるようなスクリプトを整備し、JHU で開発されている SciServer に含まれる Compute 等、国立天文台で開発したものと相補的なツールを取り入れた、統合環境のプロトタイプを作成した。これを 2017 年 11 月に PFS 共同研究者に公開し、操作性や研究に求められる機能について意見を募った。

パイプラインの開発も進んできたため、ユーザーの意見も取り入れて、実際のデータが出てきた時の最終版により近づけた ver.2 を開発することとした。初回のバージョンは 2 台のサーバーで仮想マシン等を使って様々なサーバープロセスを共存させていたが、サーバーの増強もし、開発中のパイプラインのデータモデルに基づいて得られる PFS のシミュレーションデータを組み入れて、より実際の形態に近いものとする。

講演では、これらの機能を提供するプロトタイプサーバー Ver.2 の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226b 最新のHSCデータ解析ソフトウェアとSSPデータリリースの現状報告

池田浩之, 古澤久徳, 田中賢幸, 高田唯史, 山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 大倉悠貴, 瀧田怜, 宮崎聡, 岩田生 (国立天文台), 他 HSCデータ解析ソフトウェアチーム

国立天文台では、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構など多数の国内研究機関やプリンストン大学及び台湾と共同で、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) の戦略枠観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を2014年3月より行っている。我々 HSC データリリースチームでは SSP 共同研究者向けにデータリリースを7度行っている。また、2015年11月までに SSP で取得されたデータを HSC データ用解析パイプライン (hscPipe) のバージョン4を用いて、データを処理し、世界公開を行ってきた。このバージョンでは、明るい天体周りのスカイ引きや、非常に暗い天体がうまく検出されていない場合がある等の改善の余地があり、データの科学利用にはそれらの特性に注意を払う必要があった。

そこで、我々は主にプリンストン大学のパイプライン開発チームと共同で hscPipe の改善作業を行った。この作業により、多くの問題を解決したパイプラインが完成し、それを用いて、SSP のデータの解析を更新し、共同研究者向けの S18A データリリースを後悔した。さらに、SSP サーベイ構成要素の一つである deep field では、複数の対外的な研究開発プロジェクトとの協力を進めており、SSP で取得された HSC データと、カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡で取得された u バンドデータ及び、VISTA (the Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) で取得された Y 、 J 、 H 、 K バンドのデータを組み合わせ、それら全てを hscPipe で検出・測光したカタログの作成を行っている。本講演では、旧バージョンと比較して改善された点を中心に最新の hscPipe と SSP のデータリリース状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227b HSC-SSP データベースの高速化検討

瀧田怜, 古澤久徳, 田中賢幸, 高田唯史, 山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 大倉悠貴, 池田浩之, 宮崎聡, 岩田生 (国立天文台), 他 HSC データ解析ソフトウェアチーム

我々は、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ (HSC: Hyper Suprime-Cam) を用いた戦略枠観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を 2014 年より行っており、得られたデータを HSC データ解析用パイプライン (hscPipe) で処理し、解析済みデータや天体カタログを SSP 共同研究者および一般利用者向けに公開している。このうち天体カタログを収めたデータベースはバックエンドとして PostgreSQL を用いているが、最新のデータでは天体数が 7 億超となっており単一のデータベースサーバでは検索にかかる時間コストが長いものでは 2 時間程度と非常に大きくなっていった。そこで検索効率を改善するために、データベースを複数の計算機に分散するシャーディングという手法に着目し、Citus (<https://www.citusdata.com>) を利用することにした。これは PostgreSQL の機能拡張として提供されており、ユーザー側は従来の SQL と同様の利用環境のままスケールアウトが可能である。我々は 8 台の計算機にデータベースを分散してパフォーマンスの試験を行った結果、メモリキャッシュのない状態では倍程度、キャッシュの乗った状態では最大で十倍程度の速度向上を確認している。より多くのサンプルを使ってシャーディングによる性能評価を行うために、共同研究者向けに試験を継続中である。また、カタログデータは 5000 個程度のカラムを含んでいるが PostgreSQL の 1 テーブルに作成できるカラム数の制限のために複数のテーブルに分割する必要がある、ユーザー側で JOIN をする等の工程が必要となっている。そこでこのような工程の軽減のために、よく利用されているカラムだけに絞った厳選テーブルの作成も行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228b MOIRCS の Cold Stop 及び MOS Mask の改良とその効果

田中 壘、服部 崇、Matthew Wung、田中 陽子 (Subaru Telescope)

すばる望遠鏡の近赤外撮像分光装置 MOIRCS について、2018 年に行った装置改良とその試験観測結果について報告する。

一つ目は Cold Stop の改良である。MOIRCS である特定の領域で観測される強い迷光成分の起源について、迷光遮断バツフルがない赤外副鏡特有の現象であることを 2010 年の学会で報告した。迷光には 2 つの起源があり、1) 副鏡の脇からフレネル回折で入り込む迷光、そして 2) 赤外副鏡に設置されているセンターコーンにより入り込む迷光があるが、特に後者はセンターコーンを持つ赤外副鏡に普遍的な迷光であり、その対策法の提供は重要である。今回、MOIRCS の Cold Stop にセンターコーンを隠すマスクを追加する工夫により、後者の迷光を除去する事を試みた。結果は良好で、明るい星に起因する迷光成分(2)が出る領域での完全な迷光除去に成功しただけでなく、一般の観測時においても、背景レベルが低くなった結果、 S/N が 10% 向上した。

もう一つは MOS マスクの素材変更である。これまで MOIRCS は通常のアلمホイルのマスクを使用してきたが、アルミ面による装置内反射のため、しばしば観測データにゴーストが見られた。これまで黒塗りマスクや Anodize Mask などを試験してきたが性能やハンドリングの問題などで実用的ではなかった。今回 Acktar 社から供給されている、クライオ環境仕様の Black Coat 付きアルミシートを試した。その結果反射抑制性能も素晴らしく、ハンドリングの面でも実用的であることが分かった。S18A 期から既に共同利用に提供され、良い結果を得ている。

ポスターでは、その他 S18AB 期に行った MOIRCS 試験観測の結果についても報告させて頂く予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229b SUNRISE-3 大気球太陽観測実験：SCIP 光学構造系の開発進捗

原 弘久、浦口史寛、勝川行雄、久保雅仁、都築俊宏、納富良文（自然科学研究機構 国立天文台）
大場崇義、清水敏文（JAXA 宇宙科学研究所）、岩村 哲（MRJ）

SUNRISE 大気球実験は、高度 35km 以上の成層圏を飛翔する大型気球に口径 1m の光学望遠鏡と複数の焦点面装置を搭載して行う、ドイツ主導の高解像太陽観測プロジェクトである。日本の太陽研究グループは、偏光分光観測装置 SCIP (SUNRISE Chromospheric Infrared spectro-Polarimeter) の開発を分担して、2021 年に飛翔予定となっている 3 回目の実験に初めて参加する。本講演では、SCIP の光学構造系（光学素子のホルダ・マウントや主構造）の開発進捗について報告する。SCIP は 770nm 帯と 850nm 帯の 2 波長帯で偏光分光観測を行い、気球高度ではほぼ無視できる大気揺らぎや 1m の望遠鏡口径を生かして、光球から彩層にわたって 0.2 秒角の解像力をもった太陽磁場・速度場データの取得を目指している。これを実現するには、光学系の性能を観測時の環境下で保証する構造を必要とする。構造起源の光学性能の劣化要因は、温度変化に伴う熱変形であり、設定温度範囲で光学性能を実現できるように光学構造系を設計している。光学素子とその熱膨張係数に近い金属製のフレクシャ構造をもつパッドで支えて、光学素子の熱変形を抑制している。また、熱変形の主要素となる光学素子間距離の変化を低減させるため、CFRP 表皮とアルミハニカムコアで構成される低熱膨張係数をもったパネルを主構造材とし、その上に光学素子を保持することとした。構造数学モデルによる強度解析に加えて、熱変形後の光学性能の劣化評価解析をインハウスで行い、機械環境条件下の強度耐性や運用温度範囲の光学性能が維持されることを確認した。このほか、パッド構造の接着による光学素子の変形量 ($< 4 \text{ nm RMS}$) や主構造材の運用時環境変化による熱変形量 ($< 1.5 \text{ ppm/K}$) の試作確認を経て、光学構造系の製造へと移行している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230b SUNRISE-3 大気球太陽観測実験：高精度偏光分光装置 SCIP に搭載する回転波長板駆動機構の開発

久保雅仁（国立天文台）、川畑佑典（東京大学）、清水敏文（ISAS/JAXA）、勝川行雄、納富良文（国立天文台）、石川真之介（名古屋大学）、一本潔（京都大学）、中山聡、山田琢也、田島崇男、中田森平（三菱プレシジョン）、中嶋義人、奥谷耕生（テクノクラフト）

大気球実験 SUNRISE-3 に搭載される近赤外線偏光分光装置 SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) は、0.2 秒角という高い空間解像度で太陽光球と彩層を切れ目なく磁場診断することで、3次元磁場構造の時間発展を定量的に捉えることを目指している。時間変化の激しい彩層の微細かつ微弱な磁場を観測するために、0.03% (1°) という非常に高い偏光精度と高速の偏光変調が必要である。この高精度偏光観測を実現する鍵となるのは、波長板を一様に高速回転させる偏光変調装置である。偏光変調装置から出力される撮像信号を用いてカメラを同期制御し、機上で偏光復調を行い偏光データを取得する。波長板が一様に回転しないと、偏光変調と復調で回転位相差が生じ、疑似偏光が生じる。観測ロケット実験 CLASP の回転駆動機構をベースに、CLASP より約 10 倍速い回転速度 (0.512 秒/回転) を達成する制御ソフトウェアの開発を行った。フライト実機に試験用の波長板を載せて、光学的に測定した偏光変調から回転角度誤差を導出して回転性能を評価し、SCIP で要求される 0.03%(1°) の偏光精度を実現できる回転性能を有することを実証できた。高精度な回転波長板駆動機構は海外でも高く評価されており、ドイツマックスプランク太陽圏研究所が SUNRISE-3 用に開発する紫外線偏光分光装置にも同じ駆動機構を供給することとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231b 狭帯域チューナブル・フィルターを用いた観測実例

木村剛一, 徳田怜実, 大辻賢一, 一本潔, 上野悟, 廣瀬公美 (京都大学), 萩野正興 (国立天文台)

我々は口径 32mm の狭帯域チューナブル・フィルターを開発してきた。このフィルターの透過波長幅は $H\alpha$ 線付近の波長で $1/4\text{\AA}$ であり、液晶遅延素子の遅延量を印加電圧によってコントロールすることで波長チューニングを行っている。このフィルターの特徴は次の4つが挙げられる。(1) 500nm-1100nm のあらゆる波長帯で観測可能。(2) 0.1 秒での高速チューニング。(3) 広視野。(4) 回転機構などの機械駆動機構の排除。

このフィルターを用いたこれまでの開発は以下の二つを行ってきた。1つは $1/8\text{\AA}$ でも観測できるように追加ブロックの開発を行った。このブロックは従来の $1/4\text{\AA}$ のフィルターの上方に設置でき、光軸調整が必要ないように治具を作成した。もう一つの開発はフィルターの下流側にビームスプリッターと2つのカメラを設置して二波長同時観測が可能になるような開発である。

本講演では、実際にこのフィルターを用いて京都大学飛騨天文台ドームレス望遠鏡で観測したデータを紹介し、観測に十分なパフォーマンスであることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232b 太陽像によるシーイング観測の季節変化調査

宮良碧, 浜屋ひかり, 小野寺幸子 (明星大), 萩野正興, 篠田一也 (国立天文台), 大辻賢一, 木村剛一, 仲谷善一, 一本潔 (京都大), 山本大二郎, 野澤恵 (茨城大), 三浦明則 (北見工大)

我々はこれまで太陽光球縁を用いてシーイングを導出する2つの手法を開発してきた。一つは大気擾乱により像がゆがめられ太陽光球の縁に凹凸が生じる。この凹凸のサイズを測定し、シーイングの評価とした。もう一方は大気擾乱による屈折率の変化が収差を生じさせる。この収差の測定は、周縁減光のモデルとガウス関数のコンボリューションで再現し、観測された像と比較することで評価した。京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡の $H\alpha$ 線像+ 3.5\AA を用いた測定では、前者は観測者の感覚に近いシーイングの時間変化を示す。後者も前者と良い相関関係を示した。

より正しい評価を行うためにシンチレーションモニターとの同時観測、およびスペckルマスキング法によるシーイングサイズとの比較を行った。その結果、両者とも我々の手法と正の相関関係を示した。この結果から我々の手法の正当性を示すことができた。本稿では国立天文台三鷹キャンパスの太陽フレア望遠鏡で観測された太陽光球像 ($H\alpha$ 線像+ 3.5\AA) に我々の方法を施し、季節変化を調査した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V233b 高速偏光変調との同期を実現した H2RG 赤外線カメラ (2) 太陽の偏光測定による機能実証

花岡庸一郎, 勝川行雄, 森田諭, 鎌田有紀子, 石塚典義 (国立天文台)

太陽の、特に近赤外域における偏光観測は、光球のみならず彩層の磁場の情報を得られる吸収線を利用できることなどから、先端的な磁場観測の手段として有望である。そこで我々は新学術研究「太陽地球圏環境予測」の中で、テレダイン社の H2RG 検出器 (2048×2048 画素) を用いた太陽偏光観測用赤外線カメラの開発を行ってきた。偏光観測では露出のタイミングを偏光変調装置と同期させる機能が必要になるが、我々はこれを MACIE ボード (Markury Scientific 社、SIDEAR-PC 間のインターフェースを担う) を導入して H2RG の高速モードで実装し、高いフレームレートでの偏光観測機能を初めて実現した (2018 年秋季年会で報告)。

そこで、我々はこのカメラを京都大学飛騨天文台のドームレス望遠鏡に取り付け、垂直分光器によるスペクトルで実際に太陽表面構造の偏光を測定することで、機能実証を行った。H2RG は 1 辺約 37mm であるので、偏光変調装置としてこれに対応する径 50mm の回転波長板を用意し、30~60 フレーム/秒 (波長板 1 回転当たり 16 フレーム撮像) で偏光データ取り込みを行った。太陽活動の極小期であるため、黒点のように強い偏光を示す構造が無い状態であったが、白斑や静穏領域のネットワーク構造を観測することで、偏光信号をとらえることができた。画素数が多いことで、スリット方向には $0''.11$ サンプルングで $3'.7$ の視野を確保する観測となっており、実観測において、広視野・高空間分解能を合わせて実現することが可能であることも実証している。一方、高速モードでの安定な動作が可能になったことにより、ノイズの様子など高速動作時の様々な特性も明らかになってきた。

年会では、太陽の偏光観測結果を具体的に示すとともに、高速モード時の特性についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234b 惑星観測用補償光学系の開発の進捗状況(4)

渡邊誠, 寺地慶祐, 石社裕章, 水小瀬ふうか, 山根大昌(岡山理科大学), 大屋真(国立天文台), 川端弘治(広島大学)

我々は北海道大学 1.6 m ペリカ望遠鏡に搭載する太陽系惑星観測用大気ゆらぎ補償光学系を開発している。この補償光学系は木星サイズ程度の視野(50 秒角)に渡って可視光 0.5–1.1 μm にて 0.4 秒角程度の分解能の達成を目標とし、地表層(高度 0 km)と高度 2.6 km にそれぞれ共役する 2 枚の 140 素子可変形鏡と 4 台の 11×11 素子の Shack-Hartmann 波面センサ(それぞれ視野 18×18 秒角)を持つ多層共役補償光学系である。波面測定の参照光源には面光源である惑星自身を利用し、木星などでは惑星表面模様を用いた相関追跡法にて波面測定する。

開発は当初の計画よりも遅れているが、これまでに装置エンクロージャーや主光学系、4 台の波面センサなど、ほぼすべての光学系・機械系の製作・組立が完了し、現在は制御ソフトウェアの製作・改良を進めつつ実験室にて閉ループ試験を行っている。本補償光学装置では装置視野上の様々な位置にある複数個の惑星表面模様を随時選んで波面参照光源に用いるが、高層ゆらぎに共役した可変形鏡では視野位置ごとに可変形鏡素子と波面センサ素子間の位置対応が異なる。そのため、波面センサ信号から可変形鏡の変形量を計算するためには、選んだ参照光源の位置ごとに異なる制御行列が必要となる。そこで、あらかじめ実験室にて様々な参照位置用の制御行列作成を行うための較正用光源として、グリッドパターンターゲットを用いて装置視野 60 秒角全面に渡って 2.7 秒角間隔でサイズ 1.4 秒角のドット模様のある面光源を作る望遠鏡ビーム模擬光源を製作した。また、当面の試験観測は広島大学 1.5 m かなた望遠鏡にて行うため、ペリカ望遠鏡とかなた望遠鏡の両方にて利用可能な装置取付治具も製作した。本講演では実験室における閉ループ試験の結果と試験観測の準備状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 家正則, 青木和光, チャップマン純子, 山下卓也, 齋藤正雄, 遠藤立樹 他 (国立天文台), Henry Yang, Ed Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Greg Fahlman 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、2017 年 9 月 28 日 (現地時間) にハワイ・マウナケア山頂域の保護地区利用許可 (CDUP) の再承認を得た。この承認に対する訴訟が 2017 年 10 月におこされ、ハワイ州最高裁判所にて審理されてきたが、ハワイ州最高裁判所は、2018 年 10 月 30 日、この訴訟について、判事多数による決定として同委員会による承認は有効であるとの判断を示した。この判決を受けて、TIO では TMT 評議員会の下に設けた Maunakea Site Access Committee (MKSAC) が中心となり、ハワイ州、ハワイ郡、ハワイ大学と具体的な手続き等について、調整を開始した。MKSAC に日本からは家がメンバーとして参加している。TIO としては、出来るだけ早い工事の再開を目指しているが、冬の悪天候を考慮し、本格的な工事は来春に再開になると考えている。

TMT の進捗状況としては、国内では主鏡材の製造と非球面研磨の加工が順調に量産され、海外への主鏡材の出荷も進んでいる。望遠鏡本体は詳細設計を終え、2018 年度から製造のための図面作成を進めている (齋藤講演)。第一期観測装置 (IRIS, WFOS) は、日本の分担箇所の設計・検討・開発を先端技術センターで進めている (IRIS : 向江講演)。第二期観測装置の検討も国際協力で行っている (HROS : 青木講演)。全国各地での一般講演会や、模型や主鏡分割鏡の展示、ウェブ公開などの広報普及活動も行っている。海外でもドームの製造準備 (カナダ)、主鏡研磨・主鏡分割鏡支持機構の量産に向けた試作 (米国・インド)、第三鏡の設計 (中国) などが進んでいる。

本講演では、TMT プロジェクトの現状と今後の展望について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造 その1

齋藤正雄、杉本正宏、寺田宏、楠本弘、稲谷順司、田澤誠一、林左絵子、中本崇志、小杉城治、白田知史（国立天文台）

TMT (Thirty Meter Telescope) 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。日本は望遠鏡本体構造とその駆動制御システムの製作を担う。2011 年度から開始した概念設計、基本設計を経て、2017 年度末までに 3 段階に分けた詳細設計審査会および設計安全審査会を実施した。2018 年度は製造の準備作業に加えていよいよ TMT 望遠鏡構造の製造が開始された。本公演はこれらを踏まえ、前回講演（2018 春季年会 V232a）以降の進展を発表する。安全審査会を実施して、実際にどのように安全を確保をするかの考え方、特に特別な保守項目における手順の作成について紹介する。また、望遠鏡の振動は Wavefront error を引き起こし、画像の質を低下させるが、その振動源の 1 つとしてケーブル巻取りがあげられる。振動を抑制するため TMT 用に新たに Az、El 巻き取りを設計し、スケールモデルの試作を行った。その試作機を実際に駆動させて加速度計などでその振動レベルを定量的に評価した。評価の結果、非常に厳しい TMT 要求を満足する見通しを得た。また、今年度進んだ各サブシステムとのインターフェース、および配線や配管などについて紹介する。配線・配管は望遠鏡構造と多サブシステムにまたがる、非常に複雑なものだが、どのような考え方で整理し、製造へ向けた活動が行われているか、その取り組みについても現状を述べる。さらに製造の第一歩として構造の一部について製造図面に着手したことを報告する。この製造図面が完成した部位については製造前準備審査が近日中に予定されており、それが完了すると材料調達および実際の加工・製造へと進む。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237c 高分散分光観測で挑む TMT 時代のサイエンスから要求される性能評価

LEE INSEOB、杉森加奈子、三澤透（信州大学）

大集光力を誇る TMT (Thirty Meter Telescope) の稼働とともに、2030 年代には多くの新しいサイエンスが拓かれるはずである。それはキューサー吸収線を用いたサイエンスに対しても「宇宙加速膨張の直接検証」、「微細構造定数の時間変動の検出」という形で当てはまる。いずれも 30 メートル級望遠鏡だからこそ実現の可能性が検討できる野心的なテーマである。

重力ポテンシャルが比較的浅く、宇宙膨張の効果を最も効率よく受ける銀河間物質は、柱密度が小さい中性水素の吸収線 (Ly α forest; $\log(N_{\text{HI}} \text{ cm}^{-2}) < 16$) として検出される。このような吸収線群を数十年の時間間隔を空けて複数回観測することにより、波長方向のわずかな変化を検出することができれば、宇宙膨張の直接検出につながる可能性がある。標準的な宇宙論モデルによると、 $z \sim 2$ を境に速度変化の符号が反転し、 $z \sim 4$ では $\Delta v \sim -0.5 \text{ cm s}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ となる (e.g., Liske et al. 2008)。一方、基礎物理定数の組み合わせである微細構造定数 ($\alpha = e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$) は、原子のエネルギー準位に影響を与えるため、キューサー吸収線として検出される様々な原子、イオンの吸収波長を考える上で重要である。微細構造定数の変化が吸収線の波長にどの程度影響を及ぼすのかの指標である q -value は、遷移ごとに大きさのみならず符号も異なるため、同じ吸収線系に属する複数の吸収線の相対位置を高精度で比較することにより、遠方宇宙において α が変動する可能性を検証できる。

そこで我々は、様々な波長分解能、S/N 比、ピクセルサイズをもつ 3 万本以上の疑似スペクトルを作成し、検出可能な最小波長シフトの評価を行った。検出精度は S/N 比に強く依存するが、波長分解能については $R > 30,000$ であればあまり依存しないことを確認した。その他得られた結果をまとめて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V238a SPICA (次世代赤外線天文衛星): ESA との共同による推進の本格スタート

金田 英宏 (名古屋大)、芝井 広 (大阪大)、小川 博之、中川 貴雄、松原 英雄、山田 亨、山村 一誠 (ISAS/JAXA)、尾中 敬、河野 孝太郎 (東京大)、他 SPICA チームメンバー

SPICA は、「あかり」、Spitzer、Herschel の成功を受けて、日欧を軸として推進しているスペース大型極低温冷却赤外線望遠鏡である。口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、高感度赤外線分光 (+ 撮像) 観測を行う。波長 12–350 μm を、日本が主導する中間赤外線観測装置 (SMI、磯部他の講演参照)、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) でカバーする。今後約 10 年かけて設計・組立・試験を進め、2030 年頃に打上げ、ノミナル 3 年、目標 5 年間の運用を行う計画である。ALMA、TMT、Athena などの他波長の大型望遠鏡との強力なシナジーが期待される。

2018 年 5 月の ESA の M5 一次選抜後、6–7 月に行われた技術成立性検討 (CDF Study) の結果を受けて、11 月には ESA 側でミッション定義審査 (MDR) を通過した。これを受けて 2019 年初頭には、欧州担当予定部分 (バス機器、望遠鏡光学系、その他) に関して複数の候補企業に検討を依頼する予定である。日本側では極低温冷却システム (PLM)、SMI、H3 ロケットなど、日本担当予定部分の検討を進め、ESA への情報提供を鋭意行うとともに、システムの全体設計にも深く関与している。最重要技術である JT 冷凍機に関しては、最終形態を模擬した直線型熱交換器の性能評価試験を進めている。その一方で、欧州も含めたサイエンス検討が組織化され、ESA 主導の SPICA 科学検討チーム (SST)、宇宙研が設置した SPICA 研究推進委員会、SPICA 観測系アドバイザリーボードが活動しており、2019 年 5 月には SPICA 科学コンファレンスが欧州で開催されるなど、ハードウェアの技術検討と並行して、サイエンス目的・目標、新しいサイエンスの検討が積み重ねられている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の開発状況

磯部 直樹 (ISAS/JAXA), 金田 英宏, 石原 大助, 大藪 進喜, 鈴木 仁研, 國生 拓摩 (名古屋大学), 川田 光伸, 和田 武彦, 大坪 貴文, 中川 貴雄, 松原 英雄, 権 静美, 長勢 晃一, 山岸 光義 (ISAS/JAXA), 津村 耕司 (東北大学), 左近 樹 (東京大学), 芝井 広 (大阪大学), Shiang-Yu Wang, 大山 陽一 (ASIAA), 他 SMI コンソーシアム

SPICA は、日欧が協力して開発を行う次世代の赤外線天文衛星である。2018年の5月に ESA Cosmic Vision の5番目のMクラスミッションの三つの候補の一つに採択された SPICA は、2021年の最終選抜に向けて、その開発活動を本格化させつつある。SPICA の三つの科学観測装置のうち、日本が開発を主導するのが、中間赤外線観測装置 SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) である。SMI は、低分散分光 LR (比波長分解能 $R = 50-120$, 波長帯域 $\lambda = 17-36 \mu\text{m}$, 視野 $10' \times 3.7'' \times 4$ スリット), 中分散分光 MR ($R = 1,300-2,300$, $\lambda = 18-36 \mu\text{m}$), 高分散分光 HR ($R = 28,000$, $\lambda = 12-18 \mu\text{m}$) の三つのスペクトルチャンネルと広視野カメラ CAM (中心波長 $\lambda = 34 \mu\text{m}$) を持つ。銀河での塵に隠された星生成や巨大ブラックホールの活動あるいは惑星系の形成過程の解明に、SMI は大きな威力を発揮すると期待されている。

SMI では、最終選抜に向けた主要な技術課題として、 $1\text{K} \times 1\text{K}$ Si:Sb 中間赤外線検出器の実証, HR の高分散分光の実現の鍵となる CdZnTe イメージングレーティングの開発, 自由曲面鏡を使った小型軽量の極低温光学系の開発, フィルター, プリズム, 極低温アクチュエータなどの光学系の重要要素の開発などを挙げている。日本国内の大学, ISAS, 台湾の ASIAA などが参加する SMI コンソーシアムが協力しながら、これらの開発を進めて行く。今回の講演では、これらの SMI の主要な技術課題の開発に向けた体制や、開発の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V240a Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope (OST) Final Mission Concept

左近 樹 (東京大学), Thomas L. Roellig, Kimberly Ennico-Smith (NASA Ames), 松尾太郎 (大阪大学), 池田優二 (photocoding), 山室智康 (OptoCraft), Origins Space Telescope (OST) MISC Team, OST STDT

Origins Space Telescope (OST) は、米国の 2020 年の decadal survey に向けて検討が進められている 4 つの大型旗艦ミッションの一つであり、冷却望遠鏡を用いた大型の遠赤外線ミッションとして、2016 年以降 STDT の枠組みで検討が実施された。2019 年 2 月の最終検討報告書完成に向けて、Concept 1 検討 (2017 年秋季年解で報告) に引き続き、詳細なコスト評価に基づき、2017 年 10 月以降、Concept 2 検討 (2018 年秋季年会で報告) が実施され、主鏡直径 5.9m の冷却遠赤外線望遠鏡ミッションとしての検討を実施した。さらに、Concept 2 検討の結果をベースに、2018 年 9 月以降に、更なる Descope Concept の検討と装置の最適化を実施し、最終報告書に記載する Baseline Concept および Upscope Concept を決定した。JAXA が NASA/Ames と共にリードしている中間赤外線観測装置 MISC は、Concept 2 において検討した 2 つの主要機能のうち、波長 3-20 μm をカバーし数時間から数日のスケールで <5 ppm の安定性を実現する MISC トランジット分光装置は Baseline Concept として、もう一つの波長 5-28 μm をカバーし撮像および低分散分光機能を有し OST にガイダーとしての役割を提供する MISC 広視野撮像分光装置は Upscope Concept とすることが決まり、その結果を受けて最終報告書の担当部の執筆を行った。本発表では、最終報告書に記載する MISC の Baseline および Upscope Concept における装置検討の概要と OST の検討の最新進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2：プロジェクト進捗状況

佐野圭, 松浦周二, 太田諒, 瀧本幸司, 橋本遼, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希 (関西学院大学), 津村耕司 (東北大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehye Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 Collaboration

宇宙背景放射は銀河系外から飛来するあらゆる光の足し合わせであり、個別に検出することが困難な宇宙初期の天体や銀河間物質を研究するために重要な観測量である。これまでの衛星やロケット実験 Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) による観測の結果、近赤外線における宇宙背景放射の輝度と非等方性は既知の系外銀河の足し合わせだけでは説明できず、未知の天体が銀河間空間に存在する可能性が高まっている。そこで新たな国際共同ロケット実験 CIBER-2 では、観測波長を可視光まで拡張するとともに検出感度を CIBER の約 10 倍に向上させ、宇宙背景放射の超過成分の起源解明を目指す。

CIBER-2 では、液体窒素温度に冷却した口径 28.5 cm の反射望遠鏡および $2k \times 2k$ の HgCdTe アレイ検出器によって、波長 $0.5\text{--}2.5\ \mu\text{m}$ において 6 バンドでの広視野 ($2.3^\circ \times 2.3^\circ$) 撮像観測および波長分解能 $R \sim 15$ での分光観測を行う。これまで日本グループは望遠鏡およびレンズ系を主とする光学系の開発を行い、2018 年はじめまでにほぼすべてのフライト用部品を打上げが行われる米国に輸送した。その後、国際研究グループは米国に集結し、光学系の性能評価と機械的な調整を進めてきた。現在、米国グループは検出器の調整を完了しつつあり、望遠鏡およびレンズ系に検出器を装着した観測装置全体での低温性能評価を行う段階にある。2019 年はじめには、較正用光源を用いて分光素子を含む機器全体の感度評価および較正を実施する。その後、観測装置をホワイトサンズ打上げ場に輸送し、観測を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V242a ソーラー電力セイル探査機 OKEANOS 搭載の小型赤外線望遠鏡 EXZIT : 概念設計の現状

津村耕司 (東北大)、松浦周二、佐野圭、橋本遼、前川群 (関学大)、高橋葵 (総研大)、臼井文彦 (神戸大)、大坪貴文、岩田隆浩、岡田達明、森治、中条俊大 (ISAS/JAXA)、ほか EXZIT/OKEANOS チーム

OKEANOS(Oversize Kite-craft for Exploration and AstroNautics in the Outer Solar system) とは、「はやぶさ」「はやぶさ2」に続く小惑星探査計画であり、ソーラー電力セイル探査機により木星トロヤ群小惑星を探査する。ISAS 戦略的中型計画の最終候補に残っている計画であり、2026年の打ち上げに向け開発を進めている。EXZIT(Exo-Zodiacal Infrared Telescope) とは OKEANOS に搭載予定の口径 10 cm の小型赤外線望遠鏡であり、地球から木星に向かうクルージング期間中に、(1) 黄道光トモグラフィによる惑星間塵の空間分布と組成の解明、(2) 黄道光の外からの世界初の宇宙背景放射観測による宇宙初期天体の探査、という2つの科学目標を掲げている。その達成のため、0.4-1.6 μm の波長帯を $\lambda/\Delta\lambda \sim 20$ の波長分解能で面輝度分光観測を行う。OKEANOS は外惑星領域に向かう惑星探査技術実証計画であるということから、科学観測装置の重量や通信速度に制限があること、スピン安定の探査機に装置を取り付けるため指向観測ができず、観測領域が常に動いてしまうことなどの制約条件がある。その様な条件下でも、自由曲面鏡を用いた小型堅牢な光学設計を採用すること、検出器前に設置したリニアバリアブルフィルター (LVF) により簡便に面輝度分光を実現すること、探査機上でピクセルビンニングをすることで感度向上とデータ量圧縮を行うことで、科学要求 (1日分の観測データ積算で $3 \text{ nW}/\text{m}^2/\text{sr}$ の感度) を満たす観測戦略を見出している。本発表では、EXZIT の概念設計や観測戦略検討の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243c 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (11)

山村一誠 (ISAS/JAXA)、「あかり」チーム

赤外線天文衛星「あかり」の取得した貴重なデータが天文学研究に有効に活用されるよう、我々は衛星運用終了後も引き続きデータ処理・解析・アーカイブ活動を行っている。あらかじめ処理・校正を施したデータプロダクトを作成公開することにより、観測装置や衛星に関する詳細な知識が無いユーザーでも、必要なデータを検索・閲覧し、ただちに科学的解析に取りかかることが可能になり、「あかり」データのより広い天文学研究への利用が促進される。

本活動は、2013年4月より続けられおり、これまでに、全天サーベイ観測からカタログ、イメージマップを作成・公開し、また観測プロポーザルに基づく指向観測データについては、ほとんどの観測モードで処理済みのイメージおよび分光データを作成、公開することが出来た。これらのデータは、研究者の「あかり」データ利用の敷居を下げるだけでなく、当初の観測提案とは異なった視点からの科学研究を促すことにもなっている。

本講演（ポスター）では、前回報告（2018年春季年会）以降の活動を中心に、公開されたデータの内容、公開状況、利用状況を紹介し、「あかり」データの科学研究への効果的な利用方法について議論する。また、今後の「あかり」データアーカイブの整備・利用促進の方向性についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2：光学系性能評価

瀧本幸司, 松浦周二, 佐野圭, 太田諒, 橋本遼, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希 (関西学院大学), 津村耕司 (東北大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 collaboration

ロケット実験 Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) やこれまでの衛星観測により、宇宙赤外線背景放射には既知銀河からの放射以外に、宇宙再電離期の初代星や銀河ダークハロー浮遊星といった未知天体からの放射が含まれている可能性が示唆された。その未知成分の起源を解明するため、新たな国際共同ロケット実験 CIBER-2 では、感度が CIBER の 10 倍である冷却望遠鏡をロケットに搭載し、観測波長を可視域まで拡張した空間ゆらぎ・放射スペクトルの高精度測定を行う。

日本グループは主に光学系 (望遠鏡・レンズ系) の開発・性能評価を担当している。望遠鏡の光学測定ではハコゲン光源とコリメータおよび市販の可視光カメラを用いて焦点面での視野内の点像形状や像面湾曲を調べた。測定結果を光線追跡シミュレーションと比較することで、主副鏡のミスアライメントを検知・修正した。打ち上げ時の振動対策として制振合金 M2052 製ダンパーを主鏡支持部に設置したところ結像性能の劣化が見られたが、原因特定と対策および再調整の結果、当初と同等の性能が得られた。その後、レンズ系単体の常温結像特性を確認し、望遠鏡と結合させて光学系の組立を終えた。今後は光学系をロケット筐体でもあるクライオスタットに組み込み、液体窒素温度に冷却し実機の赤外線検出器を用いて結像性能や測光性能を試験する。この低温光学試験に向け、日本グループは米国での試験を実施するだけでなく、主副鏡やレンズ系に温度勾配が生じた場合の結像性能や、レンズがバレルの急激な熱収縮により破壊されないような冷却速度をシミュレーションによって予測した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V245b SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI の光学系公差解析

高橋葵 (総研大、ISAS/JAXA)、大西崇介 (東大、ISAS/JAXA)、黒田幸 (名大)、磯部直樹、和田武彦、中川貴雄、松原英雄 (ISAS/JAXA)、金田英宏、石原大助 (名大)、他 SMI コンソーシアム

次世代赤外線天文衛星 SPICA に搭載予定の中間赤外線観測装置 SMI は、低分散分光 (LR; $\lambda = 17 - 36 \mu\text{m}$, $\lambda/\Delta\lambda = 50 - 120$)、中分散分光 (MR; $\lambda = 18 - 36 \mu\text{m}$, $\lambda/\Delta\lambda = 1300 - 2300$)、高分散分光 (HR; $\lambda = 12 - 18 \mu\text{m}$, $\lambda/\Delta\lambda = 28000$) の3つの分光チャンネルと1つの広視野撮像チャンネル (CAM) を有する。SMI では遠方の暗い天体のスペクトルまで高精度で観測することを目指すため、高い感度を保証する必要がある。感度を劣化させる主要な要因の1つとして、望遠鏡と SMI の間の光学アライメント誤差による結像性能の悪化が挙げられる。システム全体の観点から考えて、このアライメント誤差に由来する波面誤差として $0.22 \mu\text{m}$ (rms) 以下であることを要求している。

この要求を満たすために必要な望遠鏡と各チャンネル間の光学アライメント精度を知る目的で、我々は MR、LR、CAM の3チャンネルについて光学系公差解析を進めている。これまでに、望遠鏡と各チャンネル間のアライメント誤差が結像性能にどのような影響を及ぼすかを調査した。この際、望遠鏡焦点面を基準とする直交座標系3軸方向の位置ずれおよび各軸周りの回転、計6自由度を考慮した。各チャンネルで1自由度ずつ個別に評価した解析によると、望遠鏡と MR の間の光軸方向の相対位置ずれが最も強く光学性能に影響し、全ての視野および波長で波面誤差要求を満たすためには $10 \mu\text{m}$ 以下のアライメント精度が必要となることがわかった。次いで望遠鏡と MR の間の光軸と垂直方向の相対位置ずれについては、 $20 \mu\text{m}$ 以下の精度でのアライメントを必要とすることが明らかとなった。本講演では、これまでの公差解析の結果と今後の予定を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246b 近赤外線高分散分光器 WINERED: データ解析パイプラインの開発

濱野哲史, 近藤荘平, 鮫島寛明, 池田優二, 福江慧, 新井彰, 河北秀世, 大坪翔悟, 竹中慶一, 渡瀬彩華, 村井太一 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之 (東京大学), 安井千香子 (国立天文台)

WINERED は「赤外線高分散ラボ (Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy)」(京都産業大学神山天文台を中心に東京大学他が参加) によって開発された近赤外線高分散分光器であり、高波長分解能 ($R \equiv \lambda/\Delta\lambda = 28,000, 68,000$)・高 S/N (>500) という高精度なスペクトルを $0.91\text{--}1.35\ \mu\text{m}$ の広い波長カバレッジで取得できる。現在 WINERED はビジター装置としてチリ・La Silla 天文台の NTT 望遠鏡 (口径 3.58m) に搭載され、多岐にわたるターゲットの観測を進めている。

データ量が増加の一途をたどる現代の観測天文学において、研究の効率化・データの高品質化のために装置特性を考慮したデータ解析パイプラインは必須のツールである。WINERED では、データに含まれる情報量の多さに加えて、赤外線では大気吸収線や夜光が問題となるため、高精度かつ効率的な解析パイプラインが必要となる。われわれは、光学素子に由来する検出器面上でのスペクトルの歪みや観測中の気温変化に伴ってスペクトルに生じる波長シフトといった WINERED データ特有の性質を考慮した解析パイプラインソフトを独自に開発した。このパイプラインによって解析をほぼ自動的に行うことができ、最短で観測終了後翌日には生データから抽出した高品質なスペクトルデータをユーザーに提供できる。また、パイプラインはデータのクオリティや解析パラメータなどをまとめたレポートも自動生成するなど、ユーザーが効率的にサイエンス研究を進められる情報を提供する。本講演では、WINERED データ解析のために開発したパイプラインソフトの概要について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V247c 10–20 μm 帯でのスペース高分散分光観測の実現に向けた CdZnTe イメージングレーティングの常温での絶対回折効率測定

前嶋宏志，道井亮介 (東京大学, ISAS/JAXA)，中川貴雄，權静美 (ISAS/JAXA)

分子線が集中する中間赤外線の高分散分光観測 ($\lambda/\Delta\lambda > 20,000$) は原始惑星系円盤の雪線検出などの研究で有用であるが，大気吸収が強い波長域が多く，宇宙機での観測が必要となる．宇宙機搭載可能なコンパクト分光器の実現には，イメージングレーティング (IG) が有力である．IG は回折面を屈折率 n の物質で満たした回折格子のことで，同じ波長分解能の古典回折格子に比べ $1/n$ サイズに小型化できる．

10–20 μm 帯用の IG の材質としては，高透過率・高屈折率の CdZnTe が適する (Sarugaku et al. 2017)．なお，コーティング未実装の CdZnTe 製 IG は高波長分解能・高相対回折効率の達成が確認されている (Ikeda et al. 2015)．また，前回 (前嶋ら 2018 春季年会 V227a) は CdZnTe 基板へのコーティング試験の結果を報告し，コーティングを施した CdZnTe 製 IG の予想絶対回折効率はピーク波長で $\sim 65\%$ だと見込んだ．

我々は CdZnTe 製 IG に，前回報告した入射面/回折面への反射防止/反射コーティングを施し，常温での絶対回折効率を測定した．効率測定は京都産業大学の設備を使用した．この測定実験では，赤外レーザー光を IG と金ミラーへ入射させ，その回折光と反射光の強度比を効率として計算した．実際の運用では観測波長 10–20 μm 帯で極低温環境 ($< 10\text{ K}$) を想定しているが，今回は実験の簡単化のため，波長 $\sim 4.5\ \mu\text{m}$ ，常温環境下 ($\sim 293\text{ K}$) で測定した．実験の結果，波長 $4.5\ \mu\text{m}$ でのピーク効率は $\sim 45\%$ であった．これは，分光素子として実用的な値に達しているが，個別要素から予想される効率 ($\sim 65\%$) よりは低い．本ポスターではその原因についても考察する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a JASMINE 計画の進捗状況

郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 三好 真, 辰巳大輔, 馬場淳一, 宇都宮 真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎, 亀谷 収, 浅利一善 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 片坐宏一 (宇宙研/JAXA), 西 亮一 (新潟大), 中須賀真一 (東大工), ほか JASMINE ワーキンググループ同

超小型位置天文観測衛星の Nano-JASMINE は、打ち上げに関しては、海外の小型ロケット会社による打ち上げの調整等を進めている。一方、小型 JASMINE は、星の位相空間中の 5 次元データをカタログとして提供し、銀河系と巨大ブラックホールの進化を結びつける銀河系中心核バルジの解明を主な科学目標とする。具体的には、バー・バルジ構造の解明につながる中心核ディスク構造の解明、巨大ブラックホールの進化と銀河系中心の活動の解明につながる重力場の構築、恒星の 5 次元データから解き明かす銀河系中心核の過去の解明を目指す。その他、中心核バルジでの星団形成、重力レンズ天体や高速度星の探査等の科学目標もある。そのため、銀河系バルジの星に関して、我々が用いる H_w バンドで 12.5 等級以下の 7000 個程度に対して年周視差を 25μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 25μ 秒角/年以内) で測定する。さらに、12.5 等級から 15 等級までの 6 万個以上のバルジ星に対して、 125μ 秒角/年 以内の固有運動精度で測定する。小型 JASMINE は、宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションに応募中で多段階の審査を受けている。現在は、宇宙研のプリプロジェクト候補選考審査/計画審査を通過し、開発フェーズが Pre-Phase A2 に進むとともに宇宙研内で所内準備チームが立ち上がっている。宇宙研による次の審査を受けるため、科学目標の拡張の検討、およびデータ解析や重要な要素技術の実証等を進めつつ、国際協力の拡大も行っている。以上の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V249b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 III

上田暁俊、間瀬一郎、宇都宮真、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝、井上登志夫、辰巳大輔、三好真 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、片坐宏一 (宇宙研)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE プロジェクトでは、小型 JASMINE の実現に向け、要素技術の検討や開発を推進している。概念設計は終了し、超低膨張ガラスと同程度の CTE を持つ材料 (スーパーインバー改) を企業と開発し、その材料で STM を作製した。完成した STM の、現段階での振動試験は完了した。今年度は、熱構造関連では、熱数学モデルの構築、熱真空試験事前解析を行う。また、フィルタの成膜設計は終了したため、評価用テストピースの作製を行い、光学特性の評価を行う。迷光処理材は、企業との共同研究において、開発を進めている。望遠鏡ジオメトリの計測は、フォトグラメトリの手法で行う予定であり、その方法の検証と高精度化を並行して進めている。講演では、小型 JASMINE の要素技術開発進捗について、報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V250b 実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析 3

鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 辰巳大輔, 三好真, 井上登志夫, 宇都宮真, 間瀬一郎, 郷田直輝 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), 片坐宏一 (JAXA/ISAS)

小型 JASMINE では、非常に厳しい星像中心決定精度である $20\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためにはノイズとなる迷光を十分に低減させなければならぬが、そのためのシステムからの要求は $5[\text{photon}/\text{sec}/\text{pix}]$ という非常に小さなものとなる。これを実現するためには十分な長さのフードや多数のバップルも必要であるが、何より重要なのが、できるだけ半球反射率が小さくランバート散乱特性を持つ内面処理である。現在ノミナルとしているのは炭素を含んだ導電性繊維からなる「植毛」であり、半球反射率は実測し、垂直入射時は 0.3% 程度、70 度以上の斜め入射時でも 1% 以下という良好な値を得ている。散乱特性に関しては、インハウスで開発した簡易測定器の結果より大凡ランバート散乱であることは分かったため、これまでの迷光計算では「完全ランバート」として計算を行って来た。

開発ステップが進み、より精度の良い迷光計算が必要なフェイズに入ったため、外部メーカーに正確な散乱特性実測を依頼し、その結果を BRDF データとして解析ソフトに取り込んで再度迷光計算を行った。BRDF を用いた計算は時間がかかるため、まずはバップルフード単体でランバート散乱との比較検討を行い、やはり必要と判明したため、1ヶ月以上かけて全系での迷光計算を行い、PST(Point Source Transmission) カーブを求めた。

本発表では、PST カーブを元に、周回平均・起動平均を考慮した実際の迷光量を計算する方法とその結果に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V251b 小型 JASMINE の高精度星像位置決定の実証実験

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 三好 真, 辰巳大輔, 宇都宮 真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 片坐宏一 (宇宙研/JAXA), JASMINE ワーキンググループ一同

位置天文観測衛星、小型 JASMINE は 20 マイクロ秒角レベルの高精度で星の位置を測定する計画である。本衛星のミッションでは、同一の星を多数回繰り返し測定する事によりそれらのデータから系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成されることになっている。我々は、地上での実験室における実験や数値シミュレーションを用いて星像の高精度位置決定が確かにできている事を示してきた。これまで実証してきたものは 1 列にならんだ擬似星像の 2 星間の距離、すなわち 1 次元方向のみに着目した原理的な実証である。今後は 1 次元に限定し、コントロールされた状況での実証のみならず、より一般的な状況での実証とするため、1 次元に限定せず、2 次元面に存在する星像の位置から高精度位置決定ができるかの実証をおこなうための方法を検討するとともに、さらにはその準備状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V252a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 郷田 直輝, 矢野 太平, 吉岡諭 (海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大)

小型 JASMINE は、2018 年夏にプリプロジェクト候補選定審査を通過し、ISAS の Pre Phase A2 になった。秋に CML4 確認会を経て、Pre Phase A2 予算の執行開始を待っている段階である。2019 年内には Phase A (プリプロジェクト) への昇格を目指している。

位置天文観測は、データ解析のウエイトが非常に大きい。ミッション定義フェーズに上るにあたり、ソフトウェア開発の WBS を作成したところまでは、2017 年春の学会で報告した。その後、アジャイル開発の手法を取り入れて WBS を見直し、他のハードウェアコンポーネント同様、開発仕様書の作成を行い、その上で、WBS を詳細化した。end 2 end のサブスケールシミュレーションを実施して、解析も含めてたフィージビリティを確認することが、Phase A 以降の準備として求められている。そのため、小スケールでデスクトップ PC で動作させることが可能であり、フルスケールに拡張可能な設計を持つソフトウェアの開発を進めている。

スペースプロジェクトは長期間にわたるため、作ったものがすぐに役に立たなくなるリスクを避けるため、ISO/IEC/IEEE 15288:2015 や ISO/IEC 12207 に従った開発手法を取り入れ、十分にシステム化されたものに行なければならない。そのため、ソフトウェア開発に関して協力をしていただけそうなメーカーと有識者をあつめ、組織化を進めている。現在、ソフトウェア仕様書がほぼ出来上がった状態であり、これから実装とテストを進めてゆく。

本講演では、その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V253a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における防振装置のための制御系の開発

藤井善範(東京大学), 高橋竜太郎, 正田亜八香, 阿久津智忠, 佐藤直久, 石崎秀晴, E. N. T. SanMartin, M. Barton, 平田直篤, 麻生洋一, R. Flaminio(国立天文台), 奥富弘基(総研大), L. Trozzo, F. P. E. Arellano, 宮本昂拓, 牛場崇史, 三代浩世希, 山本尚弘, 宮川治, 上泉眞裕, (東大宇宙線研), 和泉究(宇宙研), 都丸隆行(高エネ研), on behalf of the KAGRA collaboration

重力波は光速で伝播する時空の歪みであり、コンパクト連星の衝突合体といった激しい天体現象が起こった際に放出される。重力波による時空を歪みは非常に小さいため、その直接検出は困難であったが、2015年に米国の重力波望遠鏡 Advanced LIGO により、ブラックホール連星の衝突合体からの重力波が初観測された後、複数の重力波の直接検出がなされ、現在、重力波による新たな天文学が拓かれようとしている。その重力波を捉えるため基線長 3km のレーザー干渉計からなる大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の組立てが、現在岐阜県の神岡鉱山地下にて進んでいる。レーザー干渉計検出器においては、重力波の到来によって時空が歪むと鏡の位置が変化するため、これに伴うレーザー光の位相の変化を干渉計から読み取ることで重力波の検出するが、一般に重力波により生じる時空の歪みは非常に小さいため、干渉計を構成する鏡自体が地面振動などの外乱を受けてしまうと重力波を検出することはできない。そこで KAGRA ではこの地面振動からの雑音を低減するために、干渉計を構成する鏡を防振装置より懸架し制御を行い、外乱による振動の鏡への伝達を抑える。

KAGRA では、地面振動雑音の低減のため、地面と防振装置の相対変動を読み取るセンサーとともに慣性センサーを用いて制御を行う。本講演では、KAGRA の防振装置における慣性センサーを用いた地面振動雑音低減のための制御の概要と、その性能試験の現状と結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V3. 観測機器】

3月16日(土) 午前(9:30-11:30) [D会場]

V301a	09:30	軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (8) 森浩二 (宮崎大学)
V302a	09:42	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 32:現在の到達点と今後の開発 鶴剛 (京都大学)
V303a	09:54	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 34:PDD 構造を持つ X 線 SOI 検出器のピクセル内での性能評価 佳山一帆 (京都大学)
V304a	10:06	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 35 : ビームラインを用いた Double-SOI 型素子によるサブピクセルレベルの X 線応答評価 大野顕司 (東京理科大学)
V305a	10:18	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 36:Double-SOI 構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器における電荷損失の原因の調査 根岸康介 (東京理科大学)
V306a	10:30	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 37: Double SOI 構造を持つ新型検出器の放射線耐性評価 鍵田敬吾 (東京理科大学)
V307b	10:42	小型衛星計画 FORCE 用の X 線反射鏡開発の現状 松本浩典 (大阪大学)
V308b	10:42	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 33: 回路配置を改良したシングル SOI 型素子のサブピクセル応答評価 行元雅貴 (宮崎大学)
V309b	10:42	すぎく衛星搭載X線 CCD カメラ「XIS」の昼地球観測時のバックグラウンド推定の新手法とその適用効果の評価 森浩二 (宮崎大学)
V310b	10:54	X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 用試作 miniCCD における CTI モデル 信川久実子 (奈良女子大学)
V311b	10:54	X 線天文衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 地上校正試験用 X 線発生装置の開発 天野雄輝 (京都大学)
V312a	11:06	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 III 佐藤浩介 (埼玉大学)
V313b	11:18	Super DIOS 衛星搭載 X 線望遠鏡の検討 (2) 三石郁之 (名古屋大学)
V314b	11:18	重力波に対応した X 線放射の監視観測のための MAXI の運用状況 杉崎睦 (東京工業大学)
V315c		MAXI/GSC を用いた CALET-CGBM のエネルギー応答関数の相互較正 松川昌平 (青山学院大学)
V316b	11:18	超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (II) 山岡和貴 (名古屋大学)

3月16日(土) 午後(13:30-15:30) [D会場]

V317a	13:30	すぎく衛星搭載 XIS 応答関数の Si-K 吸収端付近残差の解消 (2) 岡崎貴樹 (大阪大学)
V318a	13:42	X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X 線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC)
V319a	13:54	X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 III 石崎欣尚 (首都大学東京)
V320a	14:06	X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置の開発の現状 富田洋 (宇宙航空研究開発機構)
V321a	14:18	X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 用試作 miniCCD の評価 岩垣純一 (大阪大学)
V322a	14:30	SMILE-2+:2018 年豪州 MeV ガンマ線気球観測フライトモデルの性能評価 中村優太 (京都大学)
V323a	14:42	SMILE-2+ 2018 年豪州 MeV ガンマ線気球観測における天体解析 吉川慶 (京都大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

V324a	14:54	南極周回気球による硬 X 線偏光観測実験 X-Calibur の 2021 年将来フライトへ向けて	田村啓輔 (名古屋大学)
V325c		硬 X 線偏光観測実験 X-Calibur の 2018-2019 年気球フライトに向けた準備状況	高橋弘充 (広島大学)
V326a	15:06	X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (3)	三石郁之 (名古屋大学)
V327a	15:18	X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (4)	清水貞行 (名古屋大学)
3月17日(日) 午前(9:30-11:42) [D会場]			
V328a	09:30	FOXSI-3 ロケット搭載 CdTe 半導体硬 X 線検出器における一様性の評価およびモンテカルロ・シミュレーションによる検出器応答の構築	古川健人 (東京大学)
V329a	09:42	太陽 X 線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況 (2)	坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構)
V330a	09:54	炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 II	粟木久光 (愛媛大学)
V331a	10:06	ピンホールを用いた宇宙科学研究所 X 線ビームラインのスポットサイズの測定	鈴木瞳 (首都大学東京)
V332c		Lobster Eye 光学系の GEANT4 シミュレーション	李晋 (青山学院大学)
V333a	10:18	多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発の現状-微小ピクセルサイズの効能とスケラブルな計画立案-	林田清 (大阪大学)
V334a	10:30	可視光用 2.5 ミクロンピクセル CMOS センサーによる X 線偏光検出	朝倉一統 (大阪大学)
V335a	10:42	新しい信号処理回路を用いた X 線、ガンマ線半導体検出器の研究開発	河村天陽 (Kavli IPMU)
V336a	10:54	超小型衛星用スタートラッカの開発と軌道上実証	間宮英生 (東京工業大学)
V337a	11:06	紫外線広視野サーベイのためのキューブサットの開発 II	谷津陽一 (東京工業大学)
V338a	11:18	重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT ³ フライトモデル製作状況 (3)	澤野達哉 (金沢大学)
V339a	11:30	さそり座 X-1 の X 線モニタリングに特化した超小型衛星プロジェクト構想	榎戸輝揚 (京都大学)
V340c		突発天体速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況	渡辺智也 (青山学院大学)

V301a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (8)

森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉大学), 中島真也 (理研), 久保田あや (芝浦工業), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科), 内山泰伸 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/IPMU), 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 松本浩典, 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 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), 岡島崇, 森英之 (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域X線を 10 秒角にせまる空間分解能で撮像分光する小型衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。特に 10 keV 以上の硬X線帯域で達成する過去最高の角度分解能により、既存の衛星と比較して1桁以上高い硬X線感度を達成する。FORCEの主たる科学目的は、宇宙のあらゆる階層において未だ見つかっていない「ミッシングブラックホール」を探索し、それをプローブとすることで宇宙の進化を解明することにある。一方で、FORCEは迷光を抑えた望遠鏡デザイン、超低バックグラウンドを実現する検出器により、広がった硬X線天体にも高い感度を有する。これにより、超新星残骸や銀河団からの非熱的放射・高温成分の検出や空間分布の測定が可能になり、見逃がされていた宇宙の加速現場を捉える。現在我々は、2019年度末の提案を目標とし、新しい視点での国際協力の検討とミッション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、サブシステム開発およびサイエンス検討の進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 32:現在の到達点と今後の開発

鶴 剛, 田中孝明, 内田裕之, 奥野智行, 原田颯大, 佳山一帆 (京都大学), 川入祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 中西駿太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専), 松村英晃 (IPMU), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 日田貴熙, 福田昂平, 谷口健太郎, 團野明日馨, 阿萬聖哉 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鎌田敬吾, 林田光揮, 田中圭太, 古知武, 辻川貴也, 鴫田翔哉 (東京理科大)

次世代広帯域 X 線撮像分光 FORCE 衛星に搭載予定の X 線 SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器「XRPIX」の開発の現状と今後の見通しを述べる。SOI ピクセル検出器は SOI 半導体プロセスを応用した日本独自の検出器であり、一体型でありながら厚い空乏層と高速の CMOS 回路を同時に実現可能である。私たちは、X 線 CCD に匹敵する高い撮像分光能力を持った上で、各ピクセルに閾値回路とトリガ出力機能を備えることで、 $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現する。今年度は、センサ領域と回路層の容量カップリングを削減した 2 種類のセンサ構造を開発し、特に PDD (Pinned Depleted Diode) と呼ぶ構造では、トリガ機能を用いた読み出しにおいて、 6keV X 線に対し 200eV (FWHM) を切るエネルギー分解能を達成し、FORCE 衛星の要求を満たした。この原稿を書いている段階で、 1.5keV X 線に対するトリガ読み出しにも成功している。X 線入射からトリガ出力までの時間遅れとそのジッタ (時間分解能) や、ビームラインやマルチコリメータを用いたサブピクセルレスポンスの評価も進行中である。また、X 線性能向上に加え、衛星搭載品として実用性を高めるために、XRPIX 素子内蔵の AD 変換回路の設計も進めている。講演ではその他の項目についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V303a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 34:PDD 構造を持つ X 線 SOI 検出器のピクセル内での性能評価

佳山一帆, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 原田颯大, 奥野智行, 天野雄輝 (京都大学), 常深博 (大阪大学), 平賀純子, 吉田将之, 鎌田恭彰, 佐久間翔太郎, 由比大斗 (関西学院大学), 松村英晃 (IPMU), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, Sumeet Shrestha, 中西駿太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴, 福田昂平 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鎌田敬吾 (東京理科大)

我々が開発を進めている X 線 ピクセル検出器「XRPIX」は、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。XRPIX は各ピクセルにトリガ回路を実装することで、 $10 \mu\text{s}$ 以下の時間分解能を実現した。

最新の素子である「XRPIX6E」は、センサ層と絶縁層の界面に固定電位層を持つ PDD (Pinned Depleted Diode) 構造を採用した厚さ $200 \mu\text{m}$ のセンサー層をもつ素子で、 6.4 keV の X 線に対して 150 eV (FWHM) のエネルギー分解能をもつ。従来型素子では、性能がトリガが出てからの露光時間に依存し、その時間が短いほど性能が悪くなっていた。我々は同じピクセル内でも、X 線の入射位置によって電荷収集にかかる時間が異なることが原因であると考えている。XRPIX6E でも同様の問題が生じているのかを調べるために、我々は $4 \mu\text{m}$ 径の穴が $108 \mu\text{m}$ ピッチで空いたマルチコリメータを素子の前に設置して X 線を照射する実験を行った。この実験で、1 ピクセル $36 \mu\text{m}$ 角の素子に対してさらに細かいピクセルスケールで性能を測定することができる。本講演では、マルチコリメータ実験で XRPIX6E のサブピクセルレベルでの分光性能や電荷収集効率を評価した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 35 : ビームラインを用いた Double-SOI 型素子によるサブピクセルレベルの X 線応答評価

大野顕司, 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 鍵田敬吾, 林田光揮, 田中圭太, 古知武, 辻川貴也, 鴫田翔哉 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 奥野智行, 原田颯大, 佳山一帆 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 福田昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK 素核研), 岸本俊二 (KEK 物構研)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」の搭載に向けて、SOI 技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、高比抵抗の Si センサ層、絶縁酸化膜の SiO₂ 層、CMOS 回路層の一体型検出器である。各ピクセルに閾値回路を備えることで、高い時間分解能 (数 μ s) を実現する。XRPIX の開発における主要な問題の 1 つは、センサ層と回路層との間の電氣的干渉であり、これは検出器の応答に問題を生じさせた。すなわち、検出効率が不均一であり、画素境界での電荷収集効率が低いことである。我々は干渉を低減するために、SOI 構造の絶縁酸化膜層に薄い Si 層 (Middle Si : Double-SOI 構造) を導入した。この Middle Si 層は、センサ層と回路層を分離するための電氣的シールドとして機能する。

本研究では、KEK-PF にて、 $4 \mu\text{m}\phi$ のピンホールで絞った単色の X 線ビームを Double SOI 構造の素子 XRPIX6bD と XRPIX6C (ピクセルサイズ : $36 \mu\text{m}$ 四角) に照射しサブピクセルレベルでの検出器応答を評価した。その結果、ピクセル中心では、FWHM 150 eV@ 6 keV と良い分光性能であったが、ピクセル境界にて電荷損失をしており分光性能の悪化を引き起こしていることが分かった。本講演では、Double-SOI 検出器のサブピクセルレベルでの検出効率と電荷収集効率の均一性の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 36:Double-SOI構造を導入したX線SOIピクセル検出器における電荷損失の原因の調査

根岸康介, 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 鍵田敬吾, 林田光揮, 田中圭太, 古知武, 辻川貴也, 鴫田翔哉 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 奥野智行, 原田颯大, 佳山一帆 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 福田昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK 素核研), 岸本俊二 (KEK 物構研)

我々は次世代のX線天文衛星「FORCE」搭載を目指し、SOI技術を用いた新たなX線撮像分光器「XRPIX」を開発している。XRPIXはX線が入射したピクセルのみを読み出すことで、数 μs の高い時間分解能を実現可能である。先行研究より、ピクセル回路層とセンサー層との間で電氣的な干渉が生じ、分光性能が劣化することが明らかになった。そこで干渉を抑えて分光性能を向上させるために、回路層とセンサー層との間の絶縁層に新たに中間Si層を静電シールドとして挟み込むDouble-SOI構造を導入した。今回我々はこのDouble-SOI構造を導入した新たなXRPIXにサブピクセルスケールで照射位置を変えながら単一エネルギーのX線を照射し、電荷収集の一様性を評価した。その結果ピクセル境界付近ではエネルギースペクトルの形状がピクセル中心と比べて大きく変化し、波高値が減少していることが分かった。この結果はピクセル境界付近で電荷損失が起きていることを示唆している。この原因を明らかにするために、我々はセンサー層内の電場構造と電荷輸送過程についてTCADを用いて2次元シミュレーションを行った。また、シミュレーションでは絶縁層内の中間Si層の配置やセンサー層内の不純物プロファイルを詳細に組み込んだ。本講演では、Double-SOI構造を持つXRPIXのピクセル境界付近の電荷損失の原因の調査結果について詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 37: Double SOI 構造を持つ新型検出器の放射線耐性評価

鎌田敬吾, 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 大野顕司, 古知武, 田中圭太, 鴫田翔哉, 林田光揮 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 奥野 智行, 原田颯大, 佳山 一帆 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 福田 昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK 素核研), 岸本俊二 (KEK 物構研), 濱野毅, 北村尚 (放医研)

我々は次世代のX線天文衛星「FORCE」への搭載を目的とし、SOI技術を用いたX線半導体検出器「XRPIX」の開発を行なっている。半導体検出器を軌道上で運用した際、宇宙線による放射線損傷により性能が経時的に悪化するため、地上において、損傷による性能の変化を定量的に評価しておく必要がある。我々はこれまでに、XRPIX2bにて陽子線損傷実験を行い、軌道上約10年に相当する1kradでは性能に変化が見られないこと、~5kradまで損傷が進むと絶縁層にホールが溜まることで引き起こされる「TID効果」によりエネルギー分解能に最大16.4%の悪化が見られることを突き止めた。XRPIXは更なるエネルギー分解能向上のため、センサー層、回路層の境界の絶縁層に、Si層を追加したDouble SOI構造を持つXRPIX6Cと呼ぶ新たな素子を開発した。そこで、我々はDouble SOI構造を持つXRPIX6Cに対しても、TID効果などによる性能劣化の度合いを定量的に評価するために、2018年9月より放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置(HIMAC)を用いて陽子線損傷実験を行っている。これまでの結果、軌道上約10年に相当する1kradに対し、いずれも上限値であるがゲインとエネルギー分解能が、それぞれ最大でも1.5%と2.9%変化することを確認している。本発表では、HIMACにおける実験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V307b 小型衛星計画 FORCE 用の X 線反射鏡開発の現状

松本浩典 (大阪), 粟木久光 (愛媛), 田村啓輔 (名古屋), 岡島崇, 森英之 (NASA/GSFC), 森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉大学), 中島真也 (理研), 久保田あや (芝浦工業), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科), 内山泰伸 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/IPMU), 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 他 FORCE WG

FORCE 計画では、エネルギー $E = 1 - 80$ keV の X 線を過去最高の角度分解能 ~ 15 秒角で撮像分光する。これにより、例えばまだ観測されていない“ミッシング”ブラックホールを発見し、それにより銀河の星形成を解明することなどを目的とする。FORCE 計画を実現するには、高角度分解能かつ大面積の硬 X 線望遠鏡を実現しなければならない。それには、厚さ 0.4 mm 程度以下の薄板で、サブミクロンの形状精度、オングストロームレベルの表面粗度を持つ反射鏡基板を開発することが鍵である。現在のところ、NASA/GSFC で開発が進められている、シリコン結晶を利用した薄板基板が有力候補である。これまでのところ、軟 X 線 ($E < 10$ keV) に対しては、2 回反射 1 ペアで数秒角の角度分解能を達成できている。我々は、このシリコン結晶薄板に多層膜を成膜したものに、高平行度を誇る SPring-8 BL20B2 において硬 X 線のペンシルビームを照射し、硬 X 線に対する角度分解能を測定する実験を行ってきた。本講演では、FORCE 用 X 線反射鏡の開発の現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308b SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 33: 回路配置を改良したシングルSOI型素子のサブピクセル応答評価

行元雅貴, 日田貴熙, 西岡祐介, 森浩二, 武田彩希, 福田昂平, 谷口健太郎, 團野明日馨 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 原田颯大, 奥野智行, 佳山一帆 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 大野顕司, 鎌田敬吾 (東京理科大学)

我々は、次世代のX線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いたセンサ・読み出し回路一体型の検出器であり、厚い空乏層と回路の高速化を両立している。XRPIX では、センサ層へ印加する逆バイアスが読み出し回路に及ぼす影響を抑えるために、センスノードの周囲に Buried P-Wells (BPW) を形成して電位を固定している。一方で、BPW 面上にないトランジスタが逆にセンサ層に影響を及ぼし、電場構造を歪めることで、電荷収集効率の低下を招くことが先行研究からわかっていた。それを踏まえて開発した XRPIX2b では、トランジスタを BPW 付近にまとめることで、電荷収集効率の向上を実現した。ただし、依然として、ピクセル中心と比較してピクセル境界の電荷収集効率が低いことが問題であった。そこで我々は、トランジスタを BPW 面上にほぼ完全に収めた XRPIX6H を新規開発した。今回、我々は XRPIX2b、XRPIX6H を用いてビームの照射位置を変えながらスペクトル測定を行い、両素子のサブピクセル応答を測定し比較した。XRPIX2b は $30\mu\text{m}$ 角、XRPIX6H は $36\mu\text{m}$ 角のピクセルサイズをもつため、ビームはコリメータで絞ることで実効径を $\sim 6\mu\text{m}$ として照射した。測定の結果、XRPIX6H ではピクセル境界の電荷収集効率が改善されていることがわかった。本講演ではこのサブピクセル応答測定の結果と、それを再現するための電場構造のシミュレーションの取り組みについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309b すざく衛星搭載X線 CCD カメラ「XIS」の昼地球観測時のバックグラウンド推定の新手法とその適用効果の評価

森浩二, 別府達彦, 金丸善朗, 本田大悟, 坂田美穂 (宮崎大学), 勝田哲 (埼玉大学), 村上弘志 (東北学院大学)

すざく衛星に搭載されていたX線 CCD カメラ「XIS」では、閾値を越えた波高値を持つ画素を中心とした 3×3 画素から入射X線のエネルギーを構築していた。電荷雲の拡がり画素のサイズと同程度であり、隣接する画素に電荷が漏れ出たとしても周囲1画素を見れば十分だからである。XISではこれら 3×3 画素の波高値情報に加え、周囲16画素の「閾値を越えていたか否かを示すフラグ」「閾値を越えていない波高値の総和」についても地上にデータを落としていた。この周囲16画素の情報を使うと、機上ソフトウェアがこのX線イベントに対して推定したバックグラウンドの妥当性が検証できる。ここでいう波高値とは機上ソフトウェアが推定したバックグラウンドを差し引いた後の値であり、「閾値を越えていない波高値の総和」はバックグラウンド推定がうまくいっていれば平均してゼロのはずである。実際に、通常観測時ではこの値は平均してゼロであった。ところが、すざく衛星が昼地球を観測している間は、機上ソフトウェアではバックグラウンドの更新を停止するため、昼地球のデータでは「閾値を越えていない波高値の総和」はゼロではない。つまり、バックグラウンドがこの間は適切ではなく、スペクトルにその影響が出ていることになる。そのバックグラウンドの1画素あたりの差分は、「閾値を越えていない波高値の総和」を、「閾値を越えていたか否かを示すフラグ」から計算できる閾値を越えていなかった画素数で割ることで見積ることができる。我々はこの手法を実際の昼地球観測時に得られたデータに適用して、スペクトル形状が回復することを確認した。本講演では、この手法の詳細と適用効果の評価について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310b X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 用試作 miniCCD における CTI モデル

信川久実子 (奈良女子大), 岩垣純一, 岡崎貴樹, 米山友景, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大), 中嶋大 (関東学院大), 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 富田洋 (ISAS/JAXA), 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大), 信川正順 (奈良教育大), 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 XARM Xtend team

我々は X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend 用に、裏面照射型 (BI) CCD 素子の開発を行っている。X 線 CCD の性能評価における重要な指標の 1 つは、一回の転送で電荷を失う割合を示す電荷転送非効率 (CTI) である。CTI が大きいと、ゲインやエネルギー分解能が悪くなってしまう。Xtend 用 CCD 素子では、CTI を改善するため電荷転送路へのノッチ導入を行った。その有効性検証のため、mini CCD を用いて評価試験を行ってきた (本年会、岩垣講演)。mini CCD では、通常の BI 素子だけでなく、電極面だけを処理した素子 (NT 素子) も用いて CTI の評価を行った。「すざく」XIS および「ひとみ」SXI 用 CCD 素子では、CTI は転送速度によって変化すると考えることで、失われる電荷量を説明できた (Ozawa et al. 2009, PASJ, 61 S1; Nobukawa et al. 2014, NIMA, 765, 269)。しかし mini CCD でこの仮説を当てはめると、NT 素子の結果は説明できなかった。そこで、CTI が転送速度ではなく転送領域 (蓄積領域、撮像領域) によって変化するモデルを新たに構築した。新しいモデルは NT 素子と BI 素子の両方の CTI を説明できることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311b X線天文衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 地上校正試験用 X線発生装置の開発

天野雄輝, 内田裕之, 田中孝明, 尾近洗行, 佳山一帆, 鶴剛 (京都大学), 林田清, 松本浩典, 野田博文 (大阪大学), 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 中嶋大 (関東学院大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 内山秀樹 (静岡大学), 平賀純子 (関西学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学), 他 XRISM Xtend チーム

2021 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する、軟 X 線撮像装置 (Xtend) は X 線ミラー (XMA) と X 線 CCD カメラ (SXI) の組み合わせにより、38 分角の広視野で、0.4–13 keV のエネルギーバンドの X 線を撮像分光する。現在、SXI チームは衛星に搭載する CCD 素子 (FM 素子) の製作を行っており、FM 素子の地上校正試験を 2019 年に予定している。我々はこの試験で用いる X 線発生装置の開発を行った。地上校正試験では、FM 素子のゲインやエネルギー分解能の測定、応答関数の構築などを予定している。これを出来るだけ短時間で精度よく行うためには、強度と単色性の高い X 線を安定に出せる装置が必要である。そこで我々は 1 次 X 線源として、市販の X 線管を用い、2 次ターゲットを ZrO_2 (O-K α 0.52 keV)、LiF (F-K α 0.68 keV)、Al (Al-K α 1.5 keV) とし、高エネルギー側を補完する放射線源として、 ^{55}Fe (Mn-K α 5.9 keV)、 ^{57}Co (14.4 keV) を設置した。また、試験時間短縮のための工夫として、装置外部からの操作により、校正試験系の真空状態を維持したまま、選択的にエネルギーの異なる単色 X 線を出せるようにした。本講演では、校正試験の目的と X 線発生装置の概要を説明するとともに、実測した装置の性能について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312a 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 III

佐藤浩介(埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也(首都大)、山崎典子、満田和久、石田学、前田良知(ISAS/JAXA)、田原譲、三石郁之(名古屋大)、藤本龍一(金沢大)、鶴剛(京大)、太田直美(奈良女子大)、大里健(東大)、中島真也(理研)、藤田裕(大阪大)、永井大輔(Yale大)、吉川耕司(筑波大)、河合誠之(東工大)、旧 DIOS ワーキンググループ

2020年代初頭打ち上げ予定のX線分光撮像衛星(XRISM)や2030年代初頭に稼働する欧州のAthena衛星により高エネルギー天体のエネルギー空間での高分解と空間的な微細構造の解明が可能となるものの、宇宙の構造形成の解明のためには、宇宙の大規模構造に沿って分布すると考えられてるダークバリオンの分布と量の観測が不可欠である。我々は高いエネルギー分光能力と広視野を用いて空の広い領域を観測し、中高温銀河間物質(WHIM)のX線観測を通してダークバリオンを定量的に決定することを目的にSuper DIOS衛星計画の検討を開始している。

我々は、Super DIOSのサイエンス要求を宇宙論的シミュレーションをもとに検討を行なっている。特にWHIMの定量的な評価のためには、銀河や銀河団からの放射との区別等の評価が必須であり、シミュレーションデータをもとに観測器に対する要求やデータ解析手法の検討を行なっている。並行してSuper DIOS観測器系の技術検討も行っており、広視野かつ高空間分解能(~ 10 秒角)のX線望遠鏡、及び約3万画素かつ高いエネルギー分光能力(~ 2 eV)のTESマイクロカロリメータとその読み出し技術の検討や開発を行なっている。また、ガンマ線バーストモニタの衛星搭載と高速衛星姿勢制御の技術の検討も行なっている。本講演では、Super DIOSのサイエンス検討状況や技術立証の見通しについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313b Super DIOS 衛星搭載 X 線望遠鏡の検討 (2)

三石郁之, 大塚康司, 清水貞行, 竹原佑亮, 石原雅士, 吉田篤史, 山口友洋, 叶哲生, 立花健二 (名古屋大学)

ダークバリオン探査ミッション DIOS を引き継いだ Super DIOS 計画 (大橋ほか、佐藤ほか、日本天文学会 2018 年春・秋季年会) では、小型衛星の枠組みを取り外し、従来の焦点距離 700 mm を数 m 程度にまで伸ばし、角度分解能を 300 秒角から 10 秒角程度まで向上させた望遠鏡開発の検討を進めている。これまで我々は光線追跡シミュレーションにより、口径 1,000 mm, 焦点距離 3.5 m を仮定し、広がった天体への感度の指標となる有効面積 \times 視野としては DIOS ミッションと同程度 ($\sim 200 \text{ cm}^2 \text{ deg}^2 @ 0.6 \text{ keV}$) が実現可能であること、反射面形状が円錐近似では目標分解能の達成が難しいことを定量的に示した (大塚ほか、日本天文学会 2018 年秋季年会)。

今回我々は要求性能を満たす望遠鏡の実現を目指し、超精密金型のナノレベルの構造を、電気化学反応により金型表面にめっきし、脱型することで超高精度に転写することができる電鍍技術に着目し、設計・製作に着手した。電鍍技術を利用することで、理想二次曲面の反射面形状、二枚の反射鏡の組み合わせ精度向上のための二段一体構造、さらには複数枚の反射鏡をならべるさいに生じる配置誤差を抑えるための全周構造の実現が見込める。まずはダイヤモンド工具を用いて理論面粗さ 4 nm (PV) の加工条件にて、ニッケルリンおよびアクリル製金型を試作した。加工精度の評価は金型と同程度の表面形状を持つ平板サンプルに対して実施し、1 μm スケールの表面粗さは各々 1-2 / 2-3 nm (rms) 程度であった。また、その表面には加工時の周期的な切削痕が残り、結像性能を 5-6 分角 (FWHM) に制限してしまうことも分かった。そこで我々は加工工具の変更や研磨工程を加えることで、加工痕の軽減を図った。本講演では評価の詳細や開発の現状、国際協力の検討についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314b 重力波に対応したX線放射の監視観測のためのMAXIの運用状況

杉崎睦、河合誠之(東工大)、三原建弘、中平聡志(理研)、根来均、中島基樹(日大)、芹野素子、坂本貴紀、杉田聡司、吉田篤正(青学大)、上田佳宏(京大)、他MAXIチーム

2015年に米国の重力波検出器LIGOによって連星ブラックホールの合体と考えられる重力波が検出されて以降、重力波観測は天体観測研究に劇的な変化を生じさせている。2017年8月17日に観測された中性子星合体と考えられるイベントGW170817は、LIGOに加えて欧州のVIRGOのデータと合わせて位置が数度の精度で決定した。1.7秒後に同方向からショートガンマ線バーストが受かり、更に地上の望遠鏡で可視光対応天体が発見され、重力波と電磁波の連携観測が実現した歴史的なイベントになった。GW170817は、その後も多波長で観測が続けられており、中性子星の状態から合体後の元素合成に至るまで非常に多岐に渡る研究が行われている。LIGO/VIRGOは2019年3月より新たな観測運用(O3 run)を始め、これに日本のKAGRA実験も加わる計画である。

国際宇宙ステーション全天X線監視装置MAXIは、2009年に軌道上で運用を始めて以降、GSC(ガススリットカメラ)を用いて約90分の軌道周期毎にほぼ全天をスキャン観測している。本公演では、MAXIの重力波イベントに対する追跡準備状況を報告する。中性子星合体がLIGO/VIRGOの検出限界の距離で起きた場合、90分以内であればX線アフターグローが検出されることが期待される。しかし、GW170817では、イベント6時間後に最初の上限を与えたものの、直後の4周回は対象が視野にあった時間に宇宙ステーションが荷電粒子レートが高い高緯度帯にいたため、ガスカウンターを停止していた。また、9年間の稼働を経た現在、12台のガスカウンターの内3台は、炭素芯線が消耗して破断した部分があると考えられ、機能を制限して使っている。このため、全天観測の一部は感度が数倍悪くなっている。これらの現状を踏まえ、O3に向けた観測運用の最適化を図っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V315c MAXI/GSC を用いた CALET-CGBM のエネルギー応答関数の相互較正

松川昌平, 坂本貴紀, 吉田篤正, 芹野素子, 手塚晃 (青学大), 山岡和貴 (名古屋大), 中平聡志 (理研), 高橋一郎 (IPMU), 石崎渉, 浅野勝晃 (ICRR), 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介 (早稲田大), 清水雄輝, 田村忠久 (神奈川大), Sergio Ricciarini (Univ of Florence), Mike L. Cherry, 川久保雄太 (LSU), 他 CALET コラホレーション

CALorimetric Electron Telescope (CALET) は、宇宙電子線・ガンマ線観測装置であり、2015年8月に打ち上げられ、現在も国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームで観測を続けている。CALET はガンマ線検出器 CALET Gamma-ray Burst Monitor (CGBM) を搭載している。CGBM は観測するエネルギー帯域が異なる Hard X-ray Monitor (HXM) と Soft Gamma ray Monitor (SGM) から構成されており、両方を組み合わせて 7 keV 20 MeV までの広いエネルギー帯を観測することができる。HXM は、7 keV といった低エネルギー側まで見ることができるが、使用している LaBr₃(Ce) シンチレータ結晶の低エネルギー側での入力エネルギーに対する検出器の出力チャンネルが線形からずれる傾向があることがわかっており、現状の応答関数はこの非線形性が考慮されていない。また現在の応答関数による低エネルギー側の有効面積は過小評価される傾向があることが実際のガンマ線バースト (GRB) のスペクトル解析からわかっている。今回は前述した問題を改善した応答関数を構築するため、低エネルギー側に応答があり、かつ同じ ISS に搭載されている MAXI-GSC と CGBM で同時に検出した GRB を用いて 20 keV 以下の低エネルギー側の応答関数の較正を行った。用いた GRB は GRB160101A と GRB180809A である。本公演では相互較正の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316b 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (II)

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

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

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V317a すざく衛星搭載XIS 応答関数のSi-K 吸収端付近残差の解消(2)

岡崎貴樹、林田清、米山友景、野田博文、松本浩典、常深博(大阪大学)、森浩二(宮崎大学)、辻本匡弘、前田良知、海老沢研(ISAS/JAXA)、中嶋大(関東学院大)

X線天文衛星「すざく」に搭載されているX線 CCD カメラ「XIS」で観測されたX線スペクトルには、Si-K 吸収端 (1.839 keV) 付近に天体由来とは考えられない約 10%の残差が生じるという問題があった。残差は表面照射 (FI) 検出器である XIS0,3 と、裏面照射 (BI) 検出器 XIS1 で符号が逆で、また、ピークエネルギーも異なる。2017 年春季年会および 2018 年春季学会で報告したとおり、我々は、波高 (PHA あるいは PI) -エネルギー (Ex) 関係が Si-K edge を境に不連続になる応答関数を導入することで、残差を大幅に解消することに成功した。このような不連続が起こる原因として、空乏層中の X 線吸収位置から電極までのパスにおける電荷損失を示唆した。

応答関数作成ソフトウェア「xisrmfgen」に関して、以上の改良を施すとともに(HEASoft 6.25 として HEASARC より公開中) 複数の観測データに適用し、パラメータの最適化をはかってきた。しかし、BI 検出器の X 線スペクトルに関して、残差は完全には解消しなかった。そこで、我々は、BI 検出器の量子効率モデルに着目、モデルに考慮されていた BI 検出器の不感層素材由来の Hf-M 吸収端と Si-K 吸収端の深さを調整することで、残差を FI 検出器なみに削減することに成功した。講演では、Si-K 吸収端付近残差解消のまとめを報告するとともに、Si バンドでの X 線スペクトル情報を有効に使用できることで得られるメリットを、具体的な観測データで例示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V318a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状

林 多佳由, 岡島 崇, Yang Soong, 森 英之, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Marshall Sutton, Marton Sharpe, Larry Lozipone, Sean Fitzsimmons, Tony Baltusis, Dan Dizon, Richard Kelley, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 石田 学, 前田 良知, 飯塚 亮 (ISAS/JAXA), 石崎 欣尚 (首都大), 藤本 龍一 (金沢大), 林田 清 (大阪大)

我々は NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で、X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載する、X 線望遠鏡 (XMA) を開発している。XMA は XRISM の 2 つの観測システム (Resolve, Xten) で X 線の集光、結像を担う。設計上、XMA とひとみ衛星の軟 X 線望遠鏡 (SXT) はほぼ同等であり、150-300 μm 厚の反射鏡のペアを同心円状に 203 層並べた構造をしている。SXT からの主な設計変更点としては、視野外からの X 線が最内反射鏡で反射されて検出器に届く成分 (迷光) を抑制するため、反射膜を持たない反射鏡基板を最内反射鏡のさらに内側に配置したことがあげられる。一方で、設計とは無関係に様々な改良を進めている。主だった点では、反射鏡面形状と反射鏡アライメント機構の高精度化がある。SXT では半径 180 mm 付近の反射鏡面形状が極端に悪かった。XMA では反射膜を成膜する際の雛形に、円錐形に曲げた 250 μm 厚のガラスシートを採用した。ガラスシートの径は可変なので、形状悪化の原因となっていた反射鏡基板との径の違いを軽減でき、反射鏡面形状が改善された。アライメント機構に関しては、メーカーを変更し、反射鏡を支持する溝位置の標準偏差を 1.1 μm 以下に抑えた。これらの結果、1/4 口径、反射鏡 10 ペアのみでの評価ではあるが、4.5 keV の X 線に対して、Half-Power Diameter で 0.88 分角の結像性能を達成した。これは、XMA の要求性能 (1.7 分角) や SXT の性能 (1.2 分角) を大きく上回っている。本講演では、XMA の、SXT からの主な変更点と講演までの開発状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 III

Y. Ishisaki, R.L. Kelley^A, H. Akamatsu^B, H. Awaki^C, T.G. Bialas^A, G.V. Brown^D, M.P. Chiao^A, E. Costantini^B, J.-W. den Herder^B, M.J. Dipirro^A, M.E. Eckart^A, Y. Ezoe, C. Ferrigno^E, R. Fujimoto^F, A. Furuzawa^G, S.M. Graham^A, M. Grim^B, T. Hayashi^A, T. Horiuchi^H, A. Hoshino^A, Y. Ichinohe^J, R. Iizuka^H, K. Ishibashi^I, M. Ishida^H, K. Ishikawa^H, C.A. Kilbourne^A, S. Kitamoto^J, S. Koyama^J, M.A. Leutenegger^A, Y. Maeda^H, D. McCammon^K, I. Mitsuishi^I, H. Mori^A, S. Nakashima^L, T. Ohashi, T. Okajima^A, S. Paltani^E, F.S. Porter^A, K. Sato^N, M. Sawada^A, H. Seta, Y. Shibano^H, P.J. Shirron^A, G.A. Sneiderman^A, Y. Soong^A, A.E. Szymkowiak^O, Y. Takei^H, T. Tamagawa^L, M. Tsujimoto^H, C.P. deVries^B, S. Yamada, N.Y. Yamasaki^H, S. Yasuda^H, N. Yoshioka^H (首都大^A, NASA^A, SRON^B, 愛媛大^C, LLNL^D, U-Geneva^E, 金沢大^F, 藤田保健衛生大^G, JAXA^H, 名古屋大^I, 立教大^J, U-Wisconsin^K, RIKEN^L, 東北大^M, 埼玉大^N, Yale-U^O)

X線分光撮像衛星 XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission; 「ひとみ」代替機として計画が始まった XARM より改名) に搭載される *Resolve* は、50 mK の極低温で動作する 6×6 のマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 m の多重薄板 X線望遠鏡から成り、日米欧で開発を進めている。NASA 担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキ、X線望遠鏡については 2017 年より FM 製作を開始、FM センサ評価においては「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本では 2018 年 9 月のメーカー審査を経て、液体 He デュウ、機械式冷凍機、冷凍機ドライバの FM 製作を開始した。それ以外の電源装置、SpaceWire ルータ、波形処理装置の機器についても基本設計を完了、長納期部品の調達を開始した。この講演では *Resolve* の開発の現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V320a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟X線撮像装置の開発の現状

富田洋 (ISAS/JAXA), 林田清 (大阪大学), 森浩二 (宮崎大学), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 中嶋大 (関東学院大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

ひとみ衛星 (ASTRO-H) のリカバリミッションとして 2021 年度の打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載の軟 X 線撮像装置 (Xtend) は X 線ミラー (XMA) と検出器部 (SXI) の組合せで視野 38 分角、0.4–13keV エネルギーバンドをカバーする。本発表では Xtend の開発状況を SXI を中心に報告する。

SXI は ASTRO-H 搭載品をベースとするが、ASTRO-H での問題点等を踏まえて仕様・設計に以下の変更がある。(1) CCD。エネルギー分解能向上、遮光対策、歩留まり改善 (パッケージ変更) を実施。(2) CCD 駆動回路。ASTRO-H で発生した起動時のアナログスイッチの異常対策。(3) ベントパイプ。太陽光侵入を防ぐため ASTRO-H では排気用パイプの内部を黒色化したが、メッキ剥がれが問題となったため XRISM ではパイプの曲げ回数を増やすことで対応。(4) 衛星システムレベルでの変更。可視光侵入対策要求 (遮光) を追加し、太陽 X 線の散乱光対策として設計を変更。

2018 年 11 月時点では CCD は FM の製作を行っており、SXI 本体は長納期部品の調達を開始して、詳細設計段階にある。年会発表では上記を踏まえた設計・製作・試験状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V321a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Xtend 用試作 miniCCD の評価

岩垣純一, 野田博文, 林田清, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 米山友景, 松本浩典 (大阪大), 信川久実子 (奈良女子大), 中嶋大 (関東学院大), 金丸善朗, 佐藤仁, 西岡祐介, 森浩二 (宮崎大), 下井建生, 富田洋 (ISAS/JAXA), 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大), 尾近洸行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 信川正順 (奈良教育大), 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 Xtend team

我々は 2021 年度打ち上げ目標の X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載の軟 X 線撮像装置 Xtend の開発を進めている。Xtend の X 線 CCD カメラ用 CCD 素子の仕様は、基本的に「ひとみ」軟 X 線撮像装置 SXI のものを踏襲するか、可視光に対する遮光性能と軌道上での放射線損傷も考慮したエネルギー分解能の向上を目指し、(1) 可視光遮断層におけるヒンホール数の削減、(2) 電荷転送路へのノッチ導入による電荷転送効率の上昇という改善を施す。

これらの方策の有効性を検証するため、フライト用大型素子からピクセル数を 1/20 に減らしパッケージも変えた mini CCD を製作し、大阪大学にて評価試験を行なった。2018 年天文学会秋季年会 (V309b) では、裏面照射 (BI) 型 mini CCD の電荷転送非効率 (CTI) が 3×10^{-5} よりも大きいという報告を行なったが、今回はその原因を探るために、電極面だけを処理し表面から X 線を照射する mini CCD (Non-thinning: NT) 素子も製作し、大阪大学にて評価した。本講演では、多数の NT 素子と BI 素子の実験結果、およびそれらを比較し、CTI に寄与する複数の成分について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V322a SMILE-2+:2018年豪州 MeV ガンマ線気球観測フライトモデルの性能評価

中村優太, 高田淳史, 谷森達, 水村好貴, 竹村泰斗, 川慶 小野坂健, 齋藤要, 阿部光, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 水本哲矢, 園田真也, 古村翔太郎 (京大), 黒澤俊介 (東北大 NiCHE), 身内賢太郎 (神戸大), 澤野達哉 (金沢大), 濱口健二 (メリーランド大), 窪秀利 (京大), 小財正義 (JAXA), 莊司泰弘 (阪大)

数百 keV から数十 MeV までの MeV ガンマ線帯域は核ガンマ線の帯域であり、短寿命核からの放射では超新星爆発による元素合成の現場を直接捉えることができ、 10^5 - 10^7 年程度の寿命を持つ長寿命核からの放射では銀河系内における物質拡散の様子を捉えることができる。しかし、宇宙線と筐体との間の相互作用による高い雑音量と MeV 帯域で用いられてきた統計的撮像手法のために COMPTEL 以後、MeV ガンマ線観測は停滞している。COMPTEL で用いられているコンプトン法を例にとるとコンプトン反跳電子の運動方向を取得しないために入射光子の再構成が不完全であることが統計的撮像手法に頼らなくてはならない原因となっている。しかし、飛跡検出器をコンプトン散乱の散乱体として用いれば反跳電子の運動方向が求まり、完全な再構成が可能となる。我々の SMILE 計画では高い雑音除去能力と一光子毎の到来方向決定能力を兼ね備えた次世代 MeV ガンマ線望遠鏡としてガス飛跡検出器とピクセルシンチレータアレイを組み合わせた電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) の開発を進めている。2018 年 4 月に豪州にて気球高度での ETCC の天体撮像能力の検証を目的とした気球観測実験 SMILE-2+ を実施し、上空 39 km 付近にて約 26 時間の水平浮遊に成功した。本講演では SMILE-2+ で用いたフライトモデルの性能の実測値とシミュレーション値の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323a SMILE-2+ 2018年豪州 MeV ガンマ線気球観測における天体解析

吉川慶, 谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 竹村泰斗, 中村優太, 小野坂健, 斎藤要, 阿部光, 水本哲矢, 窪秀利, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 中増勇真, 谷口幹幸 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学), 小財正義 (ISAS/JAXA), 荘司泰弘 (大阪大学)

数百 keV から数 MeV までのガンマ線帯域は、電子・陽電子対消滅線や放射性同位体からの核ガンマ線が観測できる唯一のエネルギー帯域である。これを利用して、元素合成の現場の直接観測や物質拡散のトレースが可能であり、宇宙物理におけるさまざまな重要問題の決着が期待できる。しかし、撮像技術による不明確な系統誤差と、観測器筐体と宇宙線の相互作用による多量の雑音が原因で、高感度観測を困難であり、また、地上実験により算出した予想感度と上空での実際の検出感度が一致しないという問題が生じていた。そこで、我々は入射光子の到来方向を2角で測定できる電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡を開発してきた。MeV ガンマ線帯域で世界初となる Point Spread Function の厳密な定義をし、地上での予想と上空での実際の検出感度の一致、イメージング分光による高感度化を目指している。我々は地上での較正実験を行い、さらに上空での観測実験として、2018年4月にオーストラリアにて気球実験を行った。望遠鏡装置は健全に動作し、予定通り、かに星雲を約5時間、銀河中心領域からの電子・陽電子対消滅線を8時間以上の観測に成功した。また、初期解析の段階で銀河中心領域方向から、511 keV 付近に約 3.5σ の超過が確認できた。本講演はこの気球実験における天体解析の結果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324a 南極周回気球による硬X線偏光観測実験 X-Calibur の2021年将来フライトへ向けて

田村 啓輔(名古屋大学)、高橋 弘充、内田 和海、深沢 泰司、水野 恒史(広島大学)、北口 貴雄、玉川 徹、早藤 麻美(理化学研究所)、周 圓輝、堤 まりな、内山 慶祐(東京理科大学)、林田 清、松本 浩典、常深 博(大阪大学)、榎戸 輝揚(京都大学)、前田 良知、石田 学、斎藤 芳隆(宇宙科学研究所)、宮澤 拓也(沖縄科学技術大学院大学)、栗木 久光(愛媛大学)、郡司 修一(山形大学)、Henric Krawczynski、Brian Rauch、Manel Errando、Richard Bose、Paul Dowkontt、Garry Simburger、Dana Braun、Quin Abarr、Andrew West、Lindsey Lisalda、Victor Guarino(ワシントン大学)、Fabian Kislak(ニューハンプシャー大学)、岡島 崇、David Stuchlik、James Lanzi、Scott Heatwole、Zachary Peterson、Joe McGee、Tom Gadson(NASA)、Mark Pearce、M ozsi Kiss、Nirmal Iyer、Rakhee Kushwah、Felix Ryde、Theodor-Adrian Stana(スウェーデン王立工科大学)

X-Calibur 実験は日米瑞の国際協力によって、南極周回気球を用いて行う硬X線偏光観測実験である。この実験では、多層膜を用いた硬X線望遠鏡を用いることで小型な検出器で低バックグラウンドを達成し、高感度な観測を実現させる。2018年12月にInFOC μ S気球実験用の望遠鏡を用いて南極でのフライトを予定しているが、我々はさらなる性能の改善を目指しており、2021年に予定している次期観測計画では、FFAST衛星用に開発された硬X線望遠鏡を用いる。これは「ひとみ」衛星用に開発された硬X線望遠鏡と同型であり、InFOC μ S用硬X線望遠鏡と比較して、大きな有効面積、広いエネルギー域、高い空間分解能を持つ。年会では、この硬X線望遠鏡の詳細と、望遠鏡の性能の向上がX線偏光観測に与えるインパクトについて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325c 硬X線偏光観測実験 X-Calibur の2018-2019年気球フライトに向けた準備状況

高橋 弘充、内田 和海、深沢 泰司、水野 恒史（広島大学）、北口 貴雄、玉川 徹、早藤 麻美（理化学研究所）、周 圓輝、堤 まりな、内山慶祐（東京理科大学）、林田 清、松本 浩典、常深 博（大阪大学）、榎戸 輝揚（京都大学）、田村 啓輔（名古屋大学）、前田 良知、石田学、斎藤 芳隆（宇宙科学研究所）、宮澤 拓也（沖縄科学技術大学院大学）、粟木 久光（愛媛大学）、郡司 修一（山形大学）、Henric Krawczynski、Brian Rauch、Manel Errando、Richard Bose、Paul Dowkontt、Garry Simburger、Dana Braun、Quin Abarr、Andrew West、Lindsey Lisalda、Victor Guarino（ワシントン大学）、Fabian Kislak（ニューハンプシャー大学）、岡島 崇、David Stuchlik、James Lanzi、Scott Heatwole、Zachary Peterson、Joe McGee、Tom Gadson（NASA）、Mark Pearce、Mozsi Kiss、Nirmal Iyer、Rakhee Kushwah、Felix Ryde、Theodor-Adrian Stana（スウェーデン王立工科大学）

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量（磁場や幾何構造など）が得られる強力な観測手段である。電波や可視光では広く利用されているが、X線やガンマ線など高エネルギー帯域では、いまだ観測天体は数天体に限られている。そこで我々は日米瑞の国際協力で、X-Calibur 気球実験を推進している（PI: Henric Krawczynski）。X-Calibur は、硬X線望遠鏡によって天体信号を集光することで、従来のコリメータ型の偏光計よりも小型な検出器で低バックグラウンドを達成し、高感度な偏光観測を実現させる。偏光計は、コンプトン散乱の際に光子は偏光方向と垂直に散乱されやすい（クライン-仁科関係）ことを利用する。2018年12月に約2週間の南極周回フライトを計画しており、観測天体は質量降着型パルサー Vela X-1 で、磁極からの放射機構のより詳細な理解を目指している。本講演では、現在進行中の南極でのフライト準備状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (3)

三石郁之, 田原譲, 二村泰介, 清水貞行, 竹原佑亮, 山口友洋 (名古屋大), 玉川徹, 早藤麻美, 北口貴雄 (理研), 周圓輝, 内山慶祐 (東理大), 郡司修一 (山形大), 岩切渉 (中央大), 深沢泰司, 水野恒史, 山本龍哉 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 林田清 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されているが、可視光や電波に比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。2014年に公募された NASA 小型衛星計画 (SMEX) の枠組みで、NASA マーシャル宇宙飛行センター (NASA/MSFC) がイタリアグループと共同で提案した高感度 X 線偏光観測衛星 IXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) が採択され、2021年の打ち上げが決まった。これにより、2-10 keV 帯域の軟 X 線偏光観測が実現することとなり、世界的に機運が高まりつつある。

IXPE 衛星には日本から、国際協力の枠組みで、ハードウェア提供を含む貢献が決まっている (玉川ほか, 三石ほか, 2017年秋季年会, 2018年春・秋季年会)。提供するハードウェアは、理化学研究所が開発した、X 線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイルと、名古屋大学が開発した受動型熱光学素子である X 線望遠鏡用サーマルシールドである。すでにエンジニアリングモデルを納品しており、偏光計や望遠鏡の単体試験が進行中である。また、ターゲット選定を含むサイエンスワーキンググループ活動も活発化しており、日本グループは全テーマを網羅的にカバーし、積極的に進めている。第一回 IXPE 国際サイエンス集会にも参加し、そのプレゼンスを示した。本講演では、IXPE 衛星計画の現状、および日本グループの参加状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327a X線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発(4)

清水貞行, 二村泰介, 竹原佑亮, 山口友洋, 田原謙, 三石郁之, 田村啓輔, 大西崇文, 立花一志 (名古屋大学), 玉川徹 (理研)

NASA/MSFC が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げが予定されている。我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡の軌道上での温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体はシールド本体のアルミ薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属枠からなる。IXPE ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、初の国内産ポリイミドフィルムの使用を予定している。

これまで我々はエンジニアリングモデルユニットの設計・製作・評価工程の確立までを終え、2018 年 5 月に NASA/MSFC に納品した (三石他, 二村他, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2018 年春・秋季年会)。納品後も、特にアルミ膜質のさらなる向上を目指した条件出しや評価方法の検討は継続的に進め、より緻密な薄膜構造の実現に成功した。また原子状酸素への耐性評価方法の検討も同時に進め、照射試験を実施中である。これらに加えアルミの特性 X 線 (1.5 keV) を用いたポリイミドフィルムの透過率測定も実施し、面内の一様性も調査中である。現在は NASA/MSFC にてエンジニアリングユニットを用いての望遠鏡単体評価試験が進められ、これに伴いフライトモデルユニットへの設計・製作・評価工程の検討にも着手している。本講演では、フライトモデルユニット開発の現状や開発スケジュールについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328a FOXSI-3 ロケット搭載 CdTe 半導体硬 X 線検出器における一様性の評価およびモンテカルロ・シミュレーションによる検出器応答の構築

古川健人、高橋忠幸、武田伸一郎 (東京大学 Kavli IPMU)、渡辺伸 (JAXA/ISAS)、石川真之介 (名古屋大)、萩野浩一 (東京理科大)、成影典之 (NAOJ)、Lindsay Glesener (ミネソタ大)、ほか FOXSI-3 チーム

我々は太陽コロナにおける小規模なエネルギー解放や粒子加速・プラズマ加熱現象を調査することを目的として、Focusing Optics X-ray Solar Imager (FOXSI) 実験を海外の複数の機関と進めており、2012, 2014 年に続き第三回打ち上げ (FOXSI-3) を 2018 年 9 月に成功させた。FOXSI 実験は X 線集光系と低ノイズ・高精細な半導体 X 線撮像素子を用いた観測を通じて、太陽コロナにおける高エネルギー現象の高感度・広ダイナミックレンジな活動診断を行う (初期観測成果について石川他が講演予定)。我々は現在、太陽コロナ活動の定量的診断における系統誤差を低減するため、CdTe 半導体両面ストリップ検出器 (CdTe-DSD) の検出器応答の精緻化に取り組んでいる。FOXSI 用 CdTe-DSD は $60 \mu\text{m}$ のピッチ幅を持つ両面ストリップ型の 2 次元撮像素子である。このスケールにおける検出器応答の重要な要素として、検出器全面での検出効率、およびスペクトルの一様性とトリガー効率の低下が挙げられる。 $60 \mu\text{m}$ 四方の領域におけるエネルギースペクトルを比較することによって、数十 μm のスケールで結晶の一様性について調べることが可能となった。また、応答関数にトリガー効率の低下を含めるため、モンテカルロ法を用いた検出器のシミュレーションを行った。トリガー効率に寄与する要素として、ウェイトティングポテンシャルの形状などに起因する複数チャンネルへの電荷分散や電極による吸収を取り入れた。本講演では一様性とトリガー効率の低下という観点から改良した検出器応答について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V329a 太陽 X 線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況 (2)

坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至, 山田純平, 井上陽登, 萩原拓, 山内和人 (阪大工), 香村芳樹 (理研 SPring-8), 末松芳法, 成影典之 (国立天文台), 石川真之介 (名大 ISEE)

太陽フレアにともないコロナ中で発生する粒子加速過程の理解を目指し、軟 X 線コロナを秒角程度の角分解能と従来にない低散乱特性をもって撮像できる、高精度斜入射 X 線ミラー (Wolter I 型) の国産開発研究を進めている。国内に蓄積している高精度表面創成技術に用いられる研磨・計測機器のアクセスを可能とするため、ミラーは、円環の一部を切り出したセグメント型形状としている。このようなセグメント・ミラーに対して、空間周波数帯ごとの形状誤差許容値の設定、それを達成するための研磨工程 (決定論的研磨と平滑化研磨の組合せ) の策定と加工、および SPring-8/BL29XUL の平行 X 線を用いた結像性能の評価、のサイクルを通じ、研磨・計測技術を着実に蓄積している。昨年度までに、研磨・計測機器に正対し、加工・計測が比較的容易な円環最下部のほぼ水平な領域について、集光プロファイルのコアサイズが HPD で 0.2 秒角 (FWHM は 0.1 秒角)、off-axis 角 10 秒角の位置での散乱光レベルが集光ピークの 3×10^{-4} (いずれも 8 keV X 線で計測) という、極めて高精度の Wolter 表面を創成した。

これに続き、ミラー有効面積の拡大に向けて、加工・計測に特に技術的困難が予想される、傾斜を持った円環側面 (傾斜角 10° 程度) に対する加工試作および SPring-8 での結像性能の評価を今年度実施した。この傾斜領域の加工では、Meridional 方向の焦点距離が 50mm ほどずれている非点収差が認められたが (サグ量で設計値から約 1 nm のずれに対応)、集光コアサイズは 0.4 秒角 HPD 程度に収まっており、良好な結像性能を確認している。講演では主にこの傾斜領域に対する加工・X 線計測結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330a 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 II

粟木久光, 吉田鉄生, 相田望 (愛媛大学), 松本浩典, 米山友景, 井出峻太郎 (大阪大学), 三石郁之, 大塚康司, 清水貞行, 田村啓輔, 中澤知洋 (名古屋大学), 石田 学, 前田良知, 中庭望 (ISAS/JAXA)

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は、炭素繊維と樹脂から構成される複合材料であり、強度を密度で割った比強度が大きく、軽量・強度が要求される航空・宇宙関連分野で構造系部材としてよく用いられている。熱膨張率など CFRP の物理特性は望遠鏡の大型化軽量化に適したものであり、CFRP の成型性の良さから、我々は宇宙観測用望遠鏡の候補として Wolter 1 型形状をもつ反射鏡の開発を進めてきた。反射鏡の開発は、CFRP 基板成型、基板上への反射面形成、反射鏡の位置決め of 3 つの開発要素から成り、現在、基板上への反射面形成法として、レプリカ法に代わる超薄板ガラスを用いる方法を開発している。

この方法では、平滑な面 ($\sigma \sim 0.4 \text{ nm}$) を持つ $50 \mu\text{m}$ 厚の超薄板ガラスを CFRP 基板に接着剤を用いて固着する。レプリカ法よりも容易に反射面を形成できるという利点があり、超薄板ガラスを接着する際に工夫することでプリントスルーと呼ばれる CFRP の持つ繊維構造の表出を抑制することが可能となる。試作品を可視平行光源を用いて評価した結果、 $40 \sim 50$ 秒角を達成した。本講演では、X 線評価試験の結果も踏まえて、この手法の現状と課題について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V331a ピンホールを用いた宇宙科学研究所X線ビームラインのスポットサイズの測定

鈴木 瞳, 中庭 望, 浅井 龍太, 武尾 舞, 大橋 隆哉 (首都大), 石田 学, 前田 良知, 中坪 俊一 (宇宙研)

X線望遠鏡の地上での性能評価は、天体からのX線を模した平行光を用いることが理想であるが、実際の較正施設ではビームラインの長さ、X線光源のスポットサイズは有限のため、完全な平行光を得ることはできない。スポットサイズが小さいほどより高い平行度での較正試験をすることができるため、我々は(株)リガクと共同で、20 keV以下の低いエネルギーバンドでX線発生装置のスポットサイズを小さくすることを試みてきた。その結果を承けて2016年度に宇宙科学研究所X線ビームラインに導入された新たなX線発生器のスポットサイズを測定し、得られる平行度の見積ったので報告する。光源の測定には、宇宙科学研究所先端工作室にて製作した直径0.1mm(厚さ0.2mm ステンレス)のピンホールを用いた。ピンホールを通すことで上下左右反転した像を得ることができ、検出器-ピンホールとピンホール-光源の距離の比から実際のスポットサイズを求めることができる。測定は(1)大出力用(最大300mA)の normalsize フィラメント、(2)より小さなスポットサイズを実現する finesize フィラメントを用いて行い、finesizeの方はバイアスをかけることによるスポットサイズの変化も見た。結果、normalsizeはCu-Kでのスポットサイズは2.83mmであることがわかった。finesizeはバイアス800をかけることでバイアス0の場合に比べてスポットサイズが63%程度にまで小さくなりその時のCu-Kでのサイズが0.80mmであることがわかった。光源から27.4m離れた標準的な望遠鏡の設置位置では、これは6秒角に相当する。これより宇宙科学研究所X線ビームラインのビーム平行度はFORCEやS-DIOSなどで計画されているX線望遠鏡の結像性能(それぞれHPDで~15秒角と~30秒角)より十分小さいことが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332c Lobster Eye 光学系の GEANT4 シミュレーション

李 晋, 坂本 貴紀 (青学大), 澤野 達哉, 米徳 大輔 (金沢大), 三原 建弘 (理研)

ロブスターアイ光学系とは、甲殻類の目の構造を真似た光学系であり、多数の光を反射する長方形の筒が放射状に並んだ構造をしている。1970年代にアリゾナ大学の Roger Angel によって X 線望遠鏡としての応用が提案された。X 線は屈折をせず、非常に浅い角度でしか全反射しないので、集光させることが難しく、今までの軟 X 線用の望遠鏡では、狭い視野での高感度の観測が主流であった。しかしながらロブスターアイ光学系を用いれば、軟 X 線領域において、比較的高感度で広視野の観測ができ、また、小さく軽いため、軟 X 線での高視野サーベイを目的とした衛星ミッションでの利用が検討されている。しかしこの光学系はまだ実際に宇宙空間で用いられたことはないため、今後予定されている軟 X 線を用いた集光実験と平行して、シミュレータの開発も重要となってくる。そのため、我々は GEANT4 を用いて、Photonis 社製のロブスターアイを仮想空間内に作成し、様々なモンテカルロシミュレーションを行った。X 線の反射の物理過程は、cosine 社の X-ray tracer というツールキットを用いて GEANT4 に組み込んだ (<https://xraytracer.com>)。まず、シミュレーターが正しくできているかの確認として、1 keV の平行光を、作成したロブスターアイに入射した。その結果、その集光した像が Angel(1979) で示されているような、中心、十字、そして散乱成分となっている事を確認した。ロブスターアイ製造時に起こる一部の穴径の違いにより、集光の仕方がどのように変わるか調べるため、実際のロブスターアイの穴のずれなどをなるべく忠実に再現して、同様のシミュレーションを行った。本講演では、シミュレーションによって得られたロブスターアイ光学系の特性について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a 多重像X線干渉計 MIXIM の開発の現状-微小ピクセルサイズの効能とスケラブルな計画立案-

林田清、花坂剛史、朝倉一統、米山友景、野田博文、井出峻太郎、岡崎貴樹、石倉彩美、服部兼吾、松本浩典、常深博（大阪大学）、粟木久光（愛媛大学）、中嶋大（関東学院大）

我々は、格子とピクセル検出器という単純な構成で実現する X 線干渉計、多重像 X 線干渉計 (MIXIM; Multi Image X-ray Interferometer Module (Mission)) を発案し、その開発をすすめている (Hayashida+2016、2018)。2018b 年会では、ピクセルサイズ $4.25\ \mu\text{m}$ の可視光用 CMOS 検出器を X 線検出に利用した実験で、サブ秒角の像幅を達成したことを報告した。今回、ピクセルサイズ $2.5\ \mu\text{m}$ の CMOS 検出器を導入し、放射光施設 SPring8 BL20B2 における実験を再度行った。格子のピッチは $9.6\ \mu\text{m}$ 、 $4.8\ \mu\text{m}$ 、開口率は 0.2、0.5 の計 4 種類を利用している。検出器のピクセルサイズが小さくなったことにより、像幅はより小さくなるとともに、干渉縞のコントラストが大幅に向上した。偏光検出性能も向上している（朝倉他、2019a 年会）。格子と検出器を 1 基の光学台に設置し角度応答を測定するとともに、エネルギー依存性とバンド幅の測定も行った。あわせて、X 線天体観測に向けて、ワイヤマーク、マイクロリメータという新案機構を導入し、その有効性を実験的に確認した。

平行して、ミッション検討をすすめている。MIXIM 発案の出発点は、超小型衛星のサイズで Chandra 衛星に匹敵するサブ秒角の撮像を行うことであった。原理的実証という点では、これを達成しつつある。一方で、MIXIM の特徴として、格子・検出器間距離 z をパラメータとして、様々なスケールのミッションが可能となる点がある。MIXIM-S、P、Z、L と称する 4 種類の実現形態に関して、今後の見通しを紹介する。 .

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334a 可視光用 2.5 ミクロンピクセル CMOS センサーによる X 線偏光検出

朝倉一統, 林田清, 川端智樹, 花坂剛史, 米山友景, 岡崎貴樹, 井出峻太郎, 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大), 粟木久光 (愛媛大), 中嶋大 (関東学院大)

X 線天文学において、偏光度測定は天体の磁場構造や降着円盤の構造を明らかにする上で重要な手段として、期待されている。様々な偏光測定方法が開発されている中で、軟 X 線から硬 X 線にまたがるバンドで有効なのが K 殻光電吸収の際の光電子放出方向の異方性を利用する方法である。CCD などのピクセル型検出器を利用した場合、光電子が隣り合う 2 ピクセルに跨り信号を発生するダブルピクセルイベントに着目し、縦に広がったイベント数と横に広がったイベント数の比から X 線偏光を検出できる。

我々は、微小ピクセルの検出器を必要とする多重像 X 線干渉計 MIXIM (Multi Image X-ray Interferometer Modules) の基礎実験のためにピクセルサイズ $4.25 \mu\text{m}$ の可視光用 CMOS センサーを導入し、これが X 線検出に利用できることを見出した。放射光施設 SPring8 BL20B2 における偏光 X 線照射実験で、モジュレーションファクター $M=3.56\pm 0.98@12.4 \text{ keV}$ 、 $24.5\pm 2.0@24.8 \text{ keV}$ という結果を得たことは、2018 年秋季年会 (V320b) で報告している。今回、さらに小さなピクセルサイズ $2.5 \mu\text{m}$ の可視光用 CMOS センサーを導入し、このセンサーが常温で約 $170 \text{ eV}@5.9 \text{ keV}$ のエネルギー分解能で X 線を検出できることを見出した。SPring8 BL20B2 における偏光 X 線照射実験も行い、2018 年 10 月の実験では 12.4 keV と 24.8 keV の単色 X 線に対して $M=7.63\pm 0.07$ 、 15.5 ± 0.4 という結果を得た。これにより過去最高の位置分解能で X 線偏光検出が実現できた。M 値は偏光検出専用の検出器に比べ高いとはいえないが、干渉計の高い角度分解能と組み合わせることで近傍活動銀河核のトーラスの構造を偏光パターンを通して解明できるなど、将来的な成果が期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a 新しい信号処理回路を用いたX線、ガンマ線半導体検出器の研究開発

河村天陽 (東京大学 Kavli IPMU), 織田忠 (東京大学 Kavli IPMU), 武田伸一郎 (東京大学 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA), 池田博一 (JAXA), 高橋忠幸 (東京大学 Kavli IPMU)

我々は、小型衛星を含めたX線、ガンマ線観測の将来ミッションに向けて、10 keV から数 100 keV のX線、ガンマ線を 100 μm の位置分解能でイメージングする半導体検出器の開発を進めている。検出器は、テルル化カドミウム (CdTe) の上面と下面のそれぞれに、ストリップ電極が 128 本ずつ、250 μm ピッチで、互いに交差する方向に並べた両面ストリップ型検出器 (CdTe-DSD) である。我々は新たに、信号処理として荷電増幅型の前置増幅器、ポールゼロキャンセレーション回路、整形増幅器、比較器、ピークホールド回路、ウィルキンソン型 AD 変換器を備えた 64 チャンネル読み出しの ASIC を、回路レベルで設計し開発した。同時に、検出器基板の設計も手がけた。特に整形回路は、トリガー生成用と AD 変換用の二種類を有し、ベースライン調整の便宜を図ってトリガー生成用の信号も AD 変換できるようにした。ASIC の雑音性能について、シミュレーションでは 5 pF の負荷で 31 e^- を達成しており、そのような低雑音特性を実現するため、現在 ASIC 内のパラメータの最適化を行っている。また、4 個の ASIC を CdTe-DSD に接続して線源のスペクトルを測定し、すべてのチャンネルから正常なスペクトルを取得できることを確認した。本講演では、ASIC 開発を軸に、CdTe-DSD の開発状況について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V336a 超小型衛星用スタートラッカの開発と軌道上実証

間宮英生、小澤俊貴、谷津陽一、河合誠之（東工大理学院）、菊谷侑平、佐々木謙一、新谷勇介、小泉翔、増田雄斗、岩崎陽平、渡邊圭、松永三郎（東工大工学院）、下川辺隆史（東大情報基盤センター）、工藤裕（天の技株）

地上への検出速報を実現するには機上でのデータ解析、特に天球座標と取得画像の対応付けが必須である。この技術は衛星の姿勢技術に用いるスタートラッカとほとんど同じ技術であることから、近年世界的な盛り上がりを見せる超小型衛星の産業利用を目指して、超小型スタートラッカのプロトタイプ開発と軌道上実証を行う。

本年度4月に搭載品の引き渡しを終えて衛星組み込みの上でシステム試験を行ってきた。フライトは1月下旬の予定であり、打上げが順調であれば、民生CMOS画像センサの軌道上校正データ等の情報を取得できる。本講演ではこれらフライトオペレーションの状況報告と可能であれば初期観測成果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337a 紫外線広視野サーベイのためのキューブサットの開発 II

谷津陽一, 間宮英夫, 小澤俊貴, 河合誠之 (東工大理), 新谷勇介, 菊谷侑平, 松永三郎 (東工大工), 富永望 (甲南大), 田中雅臣 (東北大), 諸隈智貴 (東京大), Shouleh Nikzad (JPL/Caltech) Pavaman Bilgi, Shrinivas Kulkarni (Caltech), 武山芸英, 江野口章人 (株式会社シェネシア)

我々は、世界初の超広視野近紫外線観測を行い、紫外線を起点とした時間領域天文学を切り開くために超小型の宇宙望遠鏡を開発している。紫外線は地上からの観測が困難であるためにほとんど未踏の領域である一方、重力崩壊型超新星のショック・ブレイクアウトや潮汐破壊現象、さらに連星中性子星合体からの早期放射などの検出が期待されている。開発コンセプトは「広く浅く」であり、およそ 100 平方度を深さ 20 等級 (AB) で 1 時間でカバーする。この衛星で発見される天体は例外なく明るいため、地上観測ネットワークとの連携を重視し、衛星機上で即座に簡易解析を行い、その位置情報をすぐさま地上に転送し多波長での追観測を行う。

本年度は、望遠鏡システムの実装設計と、衛星システム設計を進めた。紫外線を透過するため、光学系には CaF_2 と熔融石英を用いているが、とくに CaF_2 は劈開性があるため割れやすく、打ち上げに耐える支持構造が要求される。我々は光学系のプロトタイプを製造し、この機械環境試験・温度環境試験を実施した。また、これらを組み合わせた光学系は焦点位置の温度変化が極めて大きいことが判明したため、メカニカルステージによる焦点補正を行うことにした。衛星のシステム設計については、2018 年度に打ち上げ予定の革新的衛星技術実証一号機搭載実験装置 DLAS のコマンド・データハンドリング系を流用する。衛星構体・熱設計は新規開発となるが、これ以外の搭載コンポーネントは基本的に市販品を用い短期開発を実現する。本講演では、搭載装置の開発状況と、「新世代の Cubesat 科学衛星」を意識して開発している衛星システムについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V338a 重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT³ フライトモデル製作状況 (3)

澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 吉田和輝, 加川保昭, 太田海一, 鈴木大智, 宮尾耕河, 渡辺彰汰, (金沢大学), 三原建弘 (理研), 高尾祐介 (立教大学), 池田博一 (ISAS/JAXA)

我々は超小型衛星を用いた重力波天体の X 線対応天体の検出と、位置・時刻情報の地上速報による重力波天文学への貢献を目指す計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。この衛星には 2 つのミッション機器を搭載する。ひとつは 1 次元コーデッドマスクを用い 15 分角の位置決定精度で突発天体を検出する X 線撮像検出器 T-LEX、もうひとつは無機シンチレーターによる広視野ガンマ線検出器 KGD である。これまでバス系について、熱構造モデルの製作、熱真空試験・振動試験の実施により構体の剛性が想定する H-IIA 相乗りの条件を満たし、ほとんどのコンポーネントの温度条件を満たすことを確認したことを踏まえ、フライトモデルの構造設計を進めている。一方、熱真空試験により熱構造モデルの条件下では T-LEX の温度環境が最適動作環境でない +10°C 程度であったため、T-LEX の熱設計について最適化が要求されている。このため、最適な動作環境である -10°C ~ 0°C を満たすための T-LEX の構造の材質や形状の見直しを行った。また、T-LEX からダウンリンクする観測データについて、通信レートなどの運用上の制約条件の下で、観測結果について科学的議論が可能な範囲で成果を最大化するためのデータリダクション・ビニングを検討し、ライトカーブと天空画像を作成するオンボードソフトウェアの実装を行った。本講演では、これらの研究開発状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339a さそり座 X-1 の X 線モニタリングに特化した超小型衛星プロジェクト構想

榎戸輝揚 (京大理), 北口貴雄 (理研), 岩切渉 (中央大), 小高裕和 (東京大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 高橋弘充 (広島大), 伊藤洋介 (大阪市立大), 南部陽介 (大阪府立大), 小嶋康史 (広島大)

ブラックホールや中性子星の連星合体に伴う重力波が検出され、対応天体の電磁波フォローアップは世界中で盛んに行われている。こういった突発的な重力波源に加え、形状が球対象からわずかに歪んだ高速自転する中性子星からの定常重力波は、LIGO チームによっても盛んに探査されている。このような定常重力波は、中性子星の自転周期などの多数のパラメータを仮定し、パルス波形を畳み込むマッチトフィルター法を用いて探査がなされている。しかし、パラメータ空間は広く、莫大な計算リソースを必要とするのが問題であった。そこで我々は、定常重力波源の有力な候補と考えられている全天で最も明るい X 線源「さそり座 X-1」を占有観測できる超小型の X 線衛星を開発し、自転周期を長期モニタリングすることで、重力波探査の計算時間を桁で減少させ、重力波天文学に貢献できるプロジェクトを構想している。「さそり座 X-1」の中性子星は、伴星から質量降着を受けてスピニングアップし、数百 Hz という高速で自転していると考えられている。この中性子星は磁場が弱くパルスが微弱なためコヒーレントな自転周波数は観測できないが、X 線の時間変動に現れる双子の準周期変動の差分周波数が自転周波数に対応すると指摘されている。そこで、既存の大型衛星では観測が難しい、こういった X 線源の時間変動やスペクトル変化を長期モニタリングできる小型衛星を、2017 年に国際宇宙ステーションに搭載された NICER X 線望遠鏡の技術基盤をもとに検討している。このような自由度の高い小型の X 線観測が実現すれば、LSST の時代において多数発見されるであろう突発天体の X 線フォローアップなどにも威力を発揮できると期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V340c 突発天体速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況

渡辺智也、児玉太志、段毛毛、合摩裕貴、坂本貴紀、芹野素子（青山学院大学）

AGU Remote Innovative Cubesat Alert system (ARICA) は民生用通信端末を用いて突発天体のための速報システムを構築し、機上運用実証を行う 1U CubeSat プロジェクトである。現行の突発天体の速報システムでは、地上局を多数設置する、または、莫大な通信コストがかかる方法がとられており、大学の研究室などで進行する小規模プロジェクトでの利用は難しい。そこで我々は、比較的安く手軽に利用できる 2 つの民生用通信端末に注目した。また、小規模プロジェクトで宇宙空間での運用実証をするために、コスト、実現性を考慮し、超小型衛星 CubeSat の導入に至った。

本プロジェクトでは、1U CubeSat に、民生用通信端末を用いた速報システムと、GAGG シンチレータを用いたガンマ線検出器を搭載する。運用期間は数ヶ月を想定しており、その間に、天体の検出から速報までにかかる通信遅延時間、アップリンクコマンドの成功率、実行までの遅延時間等の検証を行う。速報システムに用いる通信端末に関しては、イリジウム社が提供する Short Burst Data(SBD)、Global Star 社の Eye Star の 2 端末を候補として挙げている。

現在プロジェクトは EM 開発のフェーズにあり、通信システムの構築を主に行っている。まずは、先に述べた 2 つの端末のうち、より利用実績のある SBD の速報システムの作製及び、地上での通信性能評価試験を行った。また、この通信試験の結果データを、機上運用時のデータと見立て、解析するソフトウェアの開発も行った。本発表では、以上の試験結果を受けた端末の評価、解析ソフトの開発状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W. コンパクト天体】

3月14日(木) 午後(13:00-15:00) [A会場]

W01a	13:00	中性子星低質量 X 線連星の長期変動について 浅井和美 (理化学研究所)
W02a	13:12	降着リング歳差運動モデルによる超軌道周期 X 線光度曲線の再現 井上一 (明星大学)
W03a	13:24	星風降着 X 線連星系の進化計算 鷹野重之 (九州産業大学)
W04a	13:36	X 線衛星「すざく」と NuSTAR 衛星を用いた、ガンマ線連星 LS5039 からのパルス探索 米田浩基 (東京大学)
W05a	13:48	NuSTAR と XMM-Newton を用いたマグネター SGR 1900+14 の X 線観測 丹波翼 (東京大学)
W06a	14:00	中性子星フレアに伴う定常電波放射の抑圧 山崎翔太郎 (東京大学)
W07a	14:12	電波カタログを用いたパルサー探索 隈本宗輝 (熊本大学)
W08a	14:24	強磁場激変星うみへび座 EX における再結合優勢プラズマの発見 迫聖 (奈良教育大学)
W09b	14:36	2017 年 11 月に Crab pulsar で生じた glitch 前後の MAXI ガススリットカメラによる X 線パルス観測 大枝幹 (東京工業大学)
W10b	14:36	パルサーの距離情報を用いた天の川銀河内電離ガス密度分布推定 亀谷収 (国立天文台)
W11b	14:36	カイラル MHD における不安定モードの成長率 小島康史 (広島大学)
W12b	14:48	強磁場激変星 反射 X 線モデルの V1223 Sagittarii への適用 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC)
W13b	14:48	全天 X 線監視装置 MAXI-GSC を用いた視野外ガンマ線バーストの解析 西田宏幹 (青山学院大学)
W14b	14:48	W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 小野宏次朗 (九州大学)
W15c		2nd Gaia data release を用いた種族 II 矮新星探索 大西隆平 (京都大学)

3月15日(金) 午前(9:30-11:30) [A会場]

W16a	09:30	X線新星 MAXI J1810-222 の発見と MAXI/GSC が検出した 2018 年度後半の突発現象 根来均 (日本大学)
W17a	09:42	X 線新星 MAXI J1820+070 の X 線・可視光モニタ観測 (II) 状態遷移の観測 志達めぐみ (愛媛大学)
W18a	09:54	IRSF1.4m 望遠鏡による X 線新星 MAXI J1535-571 の近赤外線追観測 II 村田勝寛 (東京工業大学)
W19a	10:06	X 線新星 XTE J1859+226 のアウトバーストにおける X 線照射効果の時間変化 木邑真理子 (京都大学)
W20a	10:18	MAXI/GSC と Swift/BAT を用いたマイクロキューサー GRS 1915+105 の長期間の状態遷移の解析 白石一輝 (東京工業大学)
W21a	10:30	近傍銀河 NGC 4945 で発生した X 線ランジェント天体 井出峻太郎 (大阪大学)
W22a	10:42	銀河系中心巨大 BH を巡る星 S0-2/S2 の研究 3 : すばる視線速度モニター観測 2018 の解析状況 西山正吾 (宮城教育大学)
W23a	10:54	超高光度 X 線源 IC342 X-1 の可視光・X 線同時観測スペクトルの解析 森田貴士 (京都大学)

(次頁に続く)

【W. コンパクト天体】

W24b	11:06	State Transitions of A New X-ray Outburst: MAXI J1727-203	Sili Wang (Tokyo Institute of Technology)
W25b	11:06	MITSuME 望遠鏡による MAXI J1820+070 の可視光放射の変動の解析	安達稜 (東京工業大学)
W26b	11:06	Blue Compact Dwarf 銀河 IZw18、VIIZw403 に存在する ULX の X 線観測	古市拓巳 (大阪大学)
W27b	11:18	X 線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した 2 次元数値実験 III	中村賢仁 (九州産業大学)
W28b	11:18	磁気回転不安定性の飽和値の解像度依存性 II	町田真美 (九州大学)
W29b	11:18	宇宙ジェットに適した二温度磁気流体計算コード開発: 衝撃波加熱の分配	大村匠 (九州大学)
W30c		超臨界降着流の大域計算	北木孝明 (京都大学)

3月15日(金) 午後(13:30-15:30) [A会場]

W31a	13:30	円盤降着流における相対論的輻射性衝撃波の構造	福江純 (大阪教育大学)
W32a	13:42	輻射輸送を考慮した降着円盤の鉛直構造	松本花観 (大阪教育大学)
W33a	13:54	輻射圧駆動降着円盤風のモデル	竹田奈央 (大阪教育大学)
W34a	14:06	輻射圧で駆動される降着円盤風と特異点の性質	遠峰勇佑 (大阪教育大学)
W35a	14:18	降着円盤における重力波	北野萌音 (大阪教育大学)
W36a	14:30	X 線連星のハード状態における熱駆動型円盤風	都丸亮太 (東京大学/Kavli IPMU)
W37a	14:42	X 線放射輸送コード MONACO への一般相対論的効果の導入	會澤優輝 (東京大学)
W38a	14:54	超臨界降着流を伴うブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの質量降着率依存性	川島朋尚 (国立天文台)
W39a	15:06	中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度 X 線源の X 線パルスの計算	井上壮大 (筑波大学)
W40a	15:18	ボルツマン方程式を解く一般相対論的磁気流体コードによる超臨界降着流シミュレーション	朝比奈雄太 (京都大学)

3月16日(土) 午前(9:30-11:06) [A会場]

W41a	09:30	ショートガンマ線バーストに付随する初期 X 線放射の指数関数的減光と時定数-光度相関	加川保昭 (金沢大学)
W42a	09:42	ショートガンマ線バーストの残光における吸収と減光の系統的解析	吉田和輝 (金沢大学)
W43a	09:54	光子のエスケープを考慮した相対論的輻射媒介衝撃波の解から探る衝撃波ブレイクアウトに伴う放射	伊藤裕貴 (理化学研究所)
W44a	10:06	非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーション	富田沙羅 (青山学院大学)
W45a	10:18	ブラックホール近傍ではじめから効率のよい磁気リコネクションについて	小出眞路 (熊本大学)
W46a	10:30	相対論的磁気流体風の乱流磁場による加速について	田中周太 (青山学院大学)

(次頁に続く)

【W. コンパクト天体】

W47a	10:42	相対論的衝撃波での超高強度電磁波放射による粒子加速 岩本昌倫 (東京大学)
W48a	10:54	中心天体からのエネルギー供給を受けたフォールバック降着流の運動と中性子星の多様性 岩田朔 (東京大学)
W49c		ガンマ線バースト残光光度曲線からジェットの構造を得る逆問題の研究 高橋和也 (京都大学)
PDL01	11:06	Multi-frequency radio observations of a new outburst from the recently reactivated transient magnetar XTE J1810-19 Eie Sujin (NAOJ / University of Tokyo)
PDL02	11:06	マグネター XTE J1810197 の突発 X 線増光の MAXI による発見と NuSTAR によるフォローアップ 河合誠之 (東工大)
3月16日(土) 午後(13:30-15:18) [A会場]		
W50a	13:30	<i>Swift</i> /BAT による GW150914 の電磁波上限値の見積りと視野外天体の位置決定の可能性 富樫拓也 (青山学院大学)
W51a	13:42	J-GEM による重力波電磁波対応天体フォローアップ観測体制の構築 笹田真人 (広島大学)
W52a	13:54	ブラックホール-主系列連星の金属量依存性と Gaia での観測可能性 衣川智弥 (東京大学)
W53a	14:06	パルサーのスピンダウン率を用いた超低周波重力波の検出可能性 久野晋之介 (熊本大学)
W54a	14:18	Ultra-stripped SN のイベントレイトと、連星中性子星の形成に至る連星進化 聖川昂太郎 (東京大学)
W55a	14:30	連星中性子星合体における自由中性子放射の輻射輸送シミュレーション 石井彩子 (東京大学)
W56a	14:42	輻射輸送計算に基づいた GW170817 の放出物質のパラメータ推定 川口恭平 (東京大学)
W57a	14:54	Kilonova 光度曲線への不安定核の核異性体の影響 藤本信一郎 (熊本高等専門学校)
W58a	15:06	RXTE 衛星が捉えた X 線バースター EXO 1745-248 のスーパーバースト終了直後の強い輝線構造 岩切渉 (中央大学/理化学研究所)

W01a 中性子星低質量 X 線連星の長期変動について

浅井和美、三原建弘、松岡勝 (理研)

中性子星低質量 X 線連星 (NS-LMXB) には、質量降着率の変化が反映されたさまざまな光度変化がある。その中で、アウトバーストについてのみ、降着円盤の不安定性で説明されるが、その他についてはその特徴および原因は、よくわかっていない。Kotze & Charles (MNRAS,2010,402,L16) では、20 個の NS-LMXB の XTE/ASM の 13 年間の観測結果をもとに、連星周期よりも長い超周期の光度変化の原因として、11 年周期の太陽活動の変動と同じような変動が NS-LMXB でも起きている可能性を提案している。我々は MAXI/GSC による 10 年の長期光度曲線を調べ、この論文でサインカーブ的な変動の代表として取り上げられている 4U1636-536 と GX9+9 については、ベースラインとなる光度が大きく変動しており、単純なサインカーブ変動のみでは説明ができないことを見つけた。そこで、XTE/ASM と MAXI/GSC を合わせて、40 個以上の NS-LMXB の 20 年以上の光度変化を調べた。まず、定常的に明るい天体と transient 天体に大別した。さらに、前者を、Z ソースに代表されるほとんど変動のない天体と、明るい Atoll に代表される、サインカーブ的な変動とベースラインの変動を合わせた変動をもつ天体に分類した。サインカーブ的な変動は、その変動の周期や振幅から、電離した降着円盤の不安定性で説明できると考えられる。また、transient 天体の方は、その活動期 (アウトバースト) が数十日続く天体 (1608、Aql) と、活動期が 10 年以上続く天体 (HETE1900、CirX-1、GX1820) に区分した。どちらにも共通している活動開始時の急激な増光は、降着円盤の不安定性によるものと考えられる。しかし活動期中でも HETE1900 のようにアウトバーストが観測されているものもあり (Simon 2018,MNRAS,477,67) 同じく「降着円盤の不安定性」が原因だとしても、不安定性を起こしている場所などが異なっているのではないかと思われる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W02a 降着リング歳差運動モデルによる超軌道周期X線光度曲線の再現

井上 一 (明星大学理工学部)

X線パルサー、SMC X-1、LMC X-4、Her X-1は、それぞれ56日、30日、35日程度の超軌道周期を示すことが知られている。これら3つのX線パルサーにつき、超軌道周期で折りたたんだX線光度曲線(MAXIのアーカイブデータ処理)を、「降着リングが歳差運動しており、中心の中性子星からのX線がそのリング物質で電子散乱を受け、視線上の電子柱密度の時間変化によって、超軌道周期変動がおこる」と考えるモデル光度曲線で再現を試みたところ、統計的に十分許容できるフィット結果を得た。相手の星からの降着物質は、中性子星の重力場中に、単位質量当たり一定の角運動量を持って流入してくると考えられ、流入直後には、まずは、その流入角運動量で決まる円軌道のまわりに幾何学的に太いリングができることを想定している。X線光度曲線を再現する最適パラメーターからは、リング物質は、リング断面の電子散乱に対する光学的厚みが1~2程度、温度は $10^5 \sim 10^6$ K程度、そして、中心X線源からのX線照射により、いわゆるイオン化パラメーター ξ が $10^2 \text{ erg cm s}^{-1}$ 程度になっていることがわかった。そして、これらのパラメーターから、リングに物質がたまっている時間スケールはおよそ 10^6 s であることが得られ、それは、リング内で角運動量が輸送され、リングから降着円盤が広がる時間スケールとも一致することがわかった。相手の星から流入した物質は、 10^6 s 程度、リングの状態で滞在し、その間に、リング内で角運動量が輸送されて降着円盤が伸展し、相手の星からの流入物質が、降着リング、降着円盤を経て、中性子星に到達する定常的な流れが成立すると考えられる。降着リングの歳差運動が安定と考えられることについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W03a 星風降着 X 線連星系の進化計算

鷹野重之（九州産業大学）

中性子星を含む連星系のうち、OB 型星を含む近接連星系では、ドナーとなる OB 型星からの星風の一部が中性子星に降着することで、X 線連星として観測される。この際に中性子星とドナーとの間の質量交換を通して、連星軌道の進化が起こる。同時に、星風が星間空間に角運動量を持ち去ったり、潮汐力による角運動量輸送が起こったりすることなどによっても軌道は進化する。軌道が進化することにより、降着する星風質量も変化し、系の X 線輝度も変化すると考えられる。一方、中性子星は降着による角運動量輸送を受けるほか、様々な要因を受けてスピン進化する。スピンの高速となると、プロペラ効果により星風降着が妨げられ、X 線輝度が減少する効果なども考えられる。本研究では、連星進化計算を行うと同時に、磁気双極子放射や降着による磁場進化などの物理過程などの中性子星周辺での物理過程も解くことにより、中性子星のスピン進化も計算する。このような計算を、観測される X 線連星の X 線輝度・軌道周期・スピン周期と比較し、頻度分布を考慮することで、中性子星の初期状態や、X 線連星の進化過程などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W04a X線衛星「すざく」とNuSTAR衛星を用いた、ガンマ線連星LS5039からのパルス探索

米田浩基 (東京大/Kavli IPMU), 牧島一夫 (東京大/理研), 松元崇弘 (東京大), 榎戸輝揚 (京都大), 中澤知洋 (名古屋大), 馬場彩 (東京大), 高橋忠幸 (Kavli IPMU)

ガンマ線連星とは、X線からTeVガンマ線の帯域にかけて放射を起こす、コンパクト星と大質量星からなる連星系である。これまでに、6つのガンマ線連星が見つかってきたが、1天体を除いて、コンパクト星が中性子星なのかブラックホールなのかは判明しておらず、放射機構は未解明のままである。したがって、コンパクト星の正体を観測的に明らかにすることは、ガンマ線連星の研究において極めて重要である。

我々は、軌道周期が約3.9日と短く、これまで軌道周期全体に渡って観測がよくされてきたLS5039をターゲットとし、X線帯域での周期解析を行った。まず、2007年9月にX線衛星「すざく」で約500 ks観測した公開データを用いて、10-30 keVで周期解析を行ったところ、周期8.96 s付近にパルスの兆候を発見した(2017秋天文学会W109a 松元講演)。次に、連星運動によるパルス到着時間の変動の効果を補正して、 Z^2 テストを用いた周期解析を行ったところ、より有意度の高いパルス信号が検出された。さらに、2016年9月にNuSTAR衛星で約350 ks観測した公開データを用いて、「すざく」で見つかった周期付近で周期解析を行ったところ、誤検出確率 4×10^{-4} 程度の有意なパルス信号が検出された。さらに、解析から得られた連星運動パラメータを元にコンパクト星の質量を計算すると、 $1.3-2.2 M_{\odot}$ となり、LS5039が中性子星を含むことを強く支持している。以上の結果を踏まえて、LS5039の放射機構について、マグネター連星の可能性も考慮しながら、議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W05a *NuSTAR* と *XMM-Newton* を用いたマグネター SGR 1900+14 の X 線観測

丹波翼, 馬場彩, 小高裕和 (東大理), 榎戸輝場 (京大理)

マグネターは、 10^{14-15} G という極めて強力な双極子磁場をもつ中性子星パルサーであり、主に X 線帯域で輝く。マグネターからの放射の特徴の 1 つに、100 keV 以上にまで伸びるハードテイル挙げられる。その光子指数は ~ 1 と他の天体に比べて硬く、光子分裂など強磁場の磁気圏に特有な物理現象が関わると考えられている (Baring & Harding 2001)。そのため、マグネターの放射メカニズムを解明する上で、ハードテイルを含めた X 線観測は非常に重要である。

SGR 1900+14 は、 6×10^{14} G という非常に大きな双極子磁場をもつマグネターとして知られている。*Suzaku* の観測により、この天体は ~ 0.5 keV の黒体放射成分と光子指数 ~ 1 のべき成分をもつことが示されている (Enoto et al. 2010)。しかし、*Suzaku* は硬 X 線領域の感度が十分でないため、その詳細な解析が不可能であった。

我々は 2016 年 10 月 20 日に SGR 1900+14 を、*NuSTAR* と *XMM-Newton* でそれぞれ 123 ks, 23 ks 同時観測し、0.1–70 keV で有意な信号を捉えた。スペクトル解析により、ハードテイルの光子指数を 1.21 ± 0.06 ($\chi^2/\text{dof} = 1.18$) と初めて正確に決定した。また、2016 年 10 月の自転周期を $5.22669(3)$ s と求め、それを用いて自転周期の位相に着目した詳細な解析を行った。その結果、自転周期で畳み込んだパルス波形が 10 keV 以下では正弦波であるのに対し、10 keV 以上では正弦波からずれていることがわかった。同時に、自転周期の位相により光子指数が 1.1 \sim 1.4 の範囲で変化することを発見した。こうした観測結果は、マグネターのハードテイルが一般的な天体の放射とは異なる性質をもつことを示唆する。本講演では、このようなハードテイルの特徴的なふるまいと強磁場下の放射との関連性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W06a 中性子星フレアに伴う定常電波放射の抑圧

山崎翔太郎 (東京大学), 木坂将大 (青山学院大学), 寺澤敏夫 (国立天文台), 榎戸輝揚 (京都大学)

近年, 電波パルサー (電波パルスを放射する回転駆動型中性子星) とマグネター (バーストする強磁場中性子星) の間に明確な境界が存在しないことを示す観測的証拠が増えてきている. これはすなわち, 電波パルスとバースト活動両方を併せ持つ中性子星種族が潜在的に多いことを意味する. この場合, 電波パルス放射の振る舞いから, 謎の多いバースト機構解明への手掛かりが得られる可能性がある.

我々は, 中性子星フレア (ショートバースト) の理論モデルを構築し, フレア時に放出されるプラズマ流が電波パルス放射に与える影響を考察した. フレアの誘因となるのは, 星近傍での磁気エネルギー散逸による電子陽電子対プラズマ (fireball) の生成と考えられる. 我々は, fireball が光速で膨張し, 高密度のプラズマが電波放射領域を覆う結果, GHz 域の電波放射が典型的にオーダーで 100 秒の間抑圧されることを解析的に示した. 一方で fireball プラズマの一部は, 磁気ループを介して星表面を加熱し, 温度の非一様性 (hot spot) を生む. この hot spot から期待される, 熱的な X 線放射がショートバーストの起源となり得る. これらに加え, 膨張する fireball 成分からの直接放射が予想される. 本講演では, 直接放射のスペクトルや継続時間とその検出可能性についても議論する.

我々の説によれば, 電波パルスはフレア発生とほぼ同時に吸収され, 電波が抑圧される時間スケールは, フレアのエネルギーにより一意に決まる. したがって, 今後の電波観測により, 一般に X 線での検出が難しい, エネルギーの小さなフレアの発生頻度を制限できる可能性がある. 最後に, バースト活動を示す電波パルサー J1119-6127 へのモデル適用と, 時間が許せば, 電波放射回復後, 電波パルスが fireball プラズマの「レンズ」により増幅される, “plasma lensing” の可能性についても議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W07a 電波カタログを用いたパルサー探索

隈本宗輝 熊本大学

パルサーとは、強磁場を持ち高速回転する中性子星である。中性子星は、太陽程度の質量で半径が10kmの非常にコンパクトな天体である。現在パルサーは、銀河面を中心に2659個発見されているが、非常に強い重力場を持つため謎の多い天体である。中性子星の状態方程式やパルサーの放射メカニズムは未だに解明されていない。また、パルサーを研究することで、一般相対論の検証やパルサータイミングアレイによるnHz重力波の検出に役立つこととなる。さらに、パルサーは他の中性子星やブラックホール、白色矮星などと連星を組んでいることが多い。その物理を解明し、銀河中心における環境を説明する手助けにもなりうる重要な役割を持っている。そのためには、安定した固有運動の少ないパルサーを多く観測する必要があるが、そのようなパルサーは少ないことが問題視されている。

そこで、私たちはパルサーの持つ2つの特徴に着目し、電波サーベイカタログからパルサー候補を選定する。まず1つ目に、パルサーは急なスペクトルを持つことがあげられる。加速機構は未解明ではあるものの、シンクロトロン放射をしていることがわかっている。2つ目に、点源であることを利用する。サーベイのようなイメージング観測において、パルサーは他の銀河などに比べてコンパクト性が高くなる。

以上の2つのパラメータを利用して、電波カタログの中から新たなパルサー候補となる37天体を選別した。さらに、私たちはオーストラリアのParkes64m望遠鏡を利用して、既にこれらの確認のためのタイミング観測を行っている。幾つかの天体で非常にパルサーである可能性の高い天体を観測したので、その結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W08a 強磁場激変星うみへび座 EX における再結合優勢プラズマの発見

迫聖、信川正順(奈良教育大学)、政井邦昭(首都大)

激変星は白色矮星を主星とし、主に晩期型主系列星を伴星とする近接連星系である。特に白色矮星の磁場が強い強磁場激変星 (mCV) は、伴星からの降着物質が磁場に沿って白色矮星表面に落下し、降着柱を形成する。その際に生じる衝撃波により、降着柱では $kT > 10$ keV の高温プラズマが形成される。このプラズマは高密度のために、電離平衡状態であると考えられ、これまでの X 線観測でも電離平衡状態として研究されてきた (e.g. Hayashi & Ishida 2014)。しかし、我々は mCV の 1 つである、うみへび座 EX (以後, EX Hya) のすざくアーカイブデータを解析したところ、完全電離した Fe の再結合連続 X 線 (以後, RRC) を検出した (天文学会 2018 年秋季年会 W42a, 迫講演)。これは EX Hya のプラズマには、従来考えられていた電離平衡状態よりも多くの完全電離した Fe が存在することを示唆しており、再結合優勢状態にあることが考えられる。

そこで、本研究では、再結合優勢プラズマモデルを用いたスペクトル解析を行った。その結果、電子温度 $kT_e = 17$ keV の電離平衡状態の高温成分と、 $kT_e = 8.7$ keV、電離温度 $kT_i > 30$ keV の過電離状態の中温成分、 $kT_e = 2.4$ keV、電離温度 $kT_i = 2.9$ keV の過電離状態の低温成分、の 3 つのプラズマで再現することがわかった。この事実は、温度の高いプラズマからの強い X 線放射を受けて、低い温度成分が光電離をされていると考えて矛盾がない。実際、この光電離により中温、低温成分の電離状態が影響されるかを計算したところ矛盾がない結果であった。本講演では、これらの詳細について報告し、EX Hya の過電離プラズマの起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W09b 2017年11月にCrab pulsarで生じたglitch前後のMAXI ガススリットカメラによるX線パルス観測

大枝 幹、杉崎 睦、河合誠之(東京工業大学)

パルサーとは、数ミリ秒から秒の周期で coherent な変動を示す天体で、強磁場の中性子星が高速回転しており、自転周期に応じた周期性を示しているものと考えられている。回転駆動型のパルサーでは、磁気双極子輻射で回転エネルギーを徐々に失うため、緩やかにスピンドウンしていく。しかし、Crab pulsar を含む若いパルサーでは、稀に glitch と呼ばれる突発的な短時間のスピニアップを起こすことが知られている。glitch の原因として、中性子星内部の超流動体と外殻の間の「滑り」が考えられているが、そのメカニズムは分かっていない。輻射は外殻と結びついていると考えられ、実際に glitch で電波パルスの波形に変化があったという報告はない。

2017年11月7日に、電波による日々の観測で、Crab pulsar で glitch が観測された。これは1968年にCrab pulsar が発見されて以来25回目の glitch であるが、変動幅は過去最大を記録した。我々は、電波でモニターされているCrab pulsar の周期変化のデータを用いてMAXI GSC(ガススリットカメラ)のスキャン観測で得られたイベントデータを時系列解析し、2-20keVのエネルギーバンドで glitch 前後でのパルス波形の変化の有無について調べた。その結果、少なくとも glitch から5日後と glitch 前のパルス波形には変化がないことが確認できた。またMAXI GSCは前回2011年11月10日に起きた glitch も観測しており、本公演ではそれらのデータ解析結果も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W10b パルサーの距離情報を用いた天の川銀河内電離ガス密度分布推定

亀谷 収 (国立天文台)

パルサーは、距離については長年 Dispersion Measure を使った測定に基づいて推定されていた。しかし、その後、パルサーの相対 VLBI 観測やパルサータイミング観測によってパルサーの距離が近年正確に求められる例が増えている。その方法によって求められたパルサーと地球間の電離ガスの分布をパルサーの Dispersion Measure のデータと正確な距離の情報から求める研究をこれまで天文学会年会で発表してきている。日本天文学会 2012 年春季年会および秋季年会の講演では、その当時までに出版された 47 個のパルサーのデータを用いて、パルサーと地球間の電離ガスの平均密度の情報を求めた。更に 2016 年春季年会および 2017 年春季年会においては、パルサーの視差データが 86 個へと増えたことから、これまでのデータを洗い直して、天の川銀河内の密度分布、これまで考えられた密度モデルの信頼性等について、報告した。

今回は、Deller 達がその後 57 個のパルサーの Parallax を測定して発表した情報を使って、更に解析を進めた結果、天の川銀河内のパルサーの分布と密度分布についての新しい描像について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W11b カイラルMHDにおける不安定モードの成長率

小嶋康史, 三浦 優里 (広島大)

カイラルMHD(Chiral Magneto-Hydro-Dynamics)とは、左と右向きのカイラル性の数密度(化学ポテンシャル)の不均衡から生じる、磁場に沿って流れる電流($\vec{j} \propto \vec{B}$)を考慮した磁気流体力学である。通常のオームの法則($\vec{j} \propto \vec{E}$)と異なり、指数関数的に磁場が増大する不安定性があることが知られている。このような電流は天文学ではダイナモ理論で馴染みがあるかもしれないが、近年、初期宇宙、中性子星(マグネター)やクォーク・グルーオンプラズマ(重イオン衝突実験)において、その発現の可能性が論じられおり、いくつかの数値シミュレーションも行われている[Rogachevskii + (2017 ApJ); Schober + (2018 ApJ); Del Zanna + (2018 MN); Masada + (2018 PRD)]。

本研究では復元力として圧力や磁気張力がある状況下で、その成長率にどのような影響が及ぼされるかを検討した。摂動としての平面波が一様な背景磁場中を通過するとして、線形分散関係式を調べることで不安定モードの成長率を見積もった。同時に、通常のMHD波(Alfven波と磁気音波)がどのように変更を受けるかを調べた。結果は方向性や音速、Alfven速度の大きさにより、その単純な表現は容易でないが、波が伝搬できない幾何学的状況を除いて、「成長率が抑えられるものの、不安定モードが存在する」という、大雑把な結論を得ている。詳細はポスターにて発表予定。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W12b 強磁場激変星 反射 X 線モデルの V1223 Sagittarii への適用

林 多佳由 (NASA's GSFC), 北口 貴雄 (理研), 石田 学 (ISAS/JAXA)

強磁場激変星 ($B_{\text{WD}} > 10^5 \text{ G}$) からの X 線には、衝撃波によって生成されるプラズマからの熱的放射と、これが白色矮星表面で反射された成分が主に存在する。熱的成分のスペクトルは、プラズマの流体力学モデルとプラズマコードから、我々を含む多くの研究者によって詳細にモデル化されている。一方で、強磁場激変星に固有の事情を反映した反射スペクトルの詳細なモデルは、我々が 2018 年に初めて完成させた。このモデル化ではモンテカルロシミュレーションを用いて、流体力学モデルによる強磁場激変星プラズマの温度、密度分布から算出されたスペクトルと強度の X 線を、対応する高さから球体の反射体 (白色矮星) に照射した。照射された X 線は白色矮星で、散乱、吸収、再放射を経験し、その一部は白色矮星から再度、放射 (反射) される。反射成分は主に、蛍光鉄輝線や様々な輝線の Compton shoulder、20-30 keV の Compton hump に現れ、白色矮星半径に対するプラズマの高さや、プラズマ流と視線方向の角度などの情報を与える。我々はこの反射モデルを強磁場激変星の熱的モデルとともに、典型的な強磁場激変星、V1223 Sagittarii のすざく衛星と NuSTAR 衛星のデータに適用した。結果、プラズマ流と視線方向の角度の平均値は $55 \pm 3 \text{ deg}$ で、自転に伴い振幅 $18 \pm 3 \text{ deg}$ で変動していることが解った。これはつまり、白色矮星の自転軸と視線方向の角度が $\theta_{\text{spin}} = 55 \text{ deg}$ でプラズマ流が緯度 $\theta_{\text{lat}} = 9 \text{ deg}$ の位置にあるか、または逆に、 $\theta_{\text{spin}} = 9 \text{ deg}$ 、 $\theta_{\text{lat}} = 55 \text{ deg}$ であることを意味する。これらの自転軸は、可視光や赤外の観測から求められている、軌道傾斜角 $17\text{-}47 \text{ deg}$ と一致しておらず、軌道傾斜角と自転軸が傾いていることが観測的に初めて示唆された。本講演では反射モデルの詳細と V1223 Sgr への適用の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W13b 全天X線監視装置 MAXI-GSC を用いた視野外ガンマ線バーストの解析

西田 宏幹, 坂本 貴紀, 芹野 素子, 吉田 篤正, 杉田 聡司 (青山学院大学), 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 (Monitor of All-sky X-ray Image ; MAXI) は国際宇宙ステーションに搭載されており、Gas Slit Camera (GSC) という 2-30keV のエネルギー帯に感度を持つ大面積の比例計数管が計 12 台取り付けられている。

ガンマ線バースト (GRB) は、短時間で大量のエネルギーを放出する天体現象であり、発生時には多くの X 線やガンマ線が観測される。また、重力波の発生時にも GRB を観測したとの報告があり、重力波の発生と同時にどのような電磁波が放射されているのかは興味深い。しかし、GRB 等の継続時間の短い天体現象が、瞬間的に全天の約 2% の視野しか持たない GSC の視野内で発生する確率は低い。そこで今回、GSC をより GRB の解析に利用できないかという観点から、GSC の視野外で発生した GRB に着目した。

エネルギーの高い X 線やガンマ線の中には、MAXI の光学系を透過して GSC の全面で検出できるものもあるが、天体像を作らないため、通常の解析では天体現象として扱われない。したがって、まだ多くの解析されていない GRB 等のイベント、すなわち視野外 GRB が存在すると予想される。本研究では、まず GRB 発生時刻周辺のライトカーブを作成し、GSC が観測した GRB を視野内・視野外を問わず洗いだした。各 GRB について SN 比を計算したところ、 5.0σ 以上で 220 個の GRB イベント候補を検出していた。このうち視野内と視野外両方で検出された GRB130505A を解析したところ、GSC の光学系を透過して検出できた高エネルギー成分と、透過できなかった低エネルギー成分があることが解り、視野外で発生した GRB の検出が確認できた。本発表では、GRB130505A の解析結果や、GSC の視野外 GRB に対する感度について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W14b W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算

小野宏次朗、大村匠、町田真美、酒見はる香（九州大学）、朝比奈雄太（京都大学、NAOJ）

電波星雲 W50 は、超新星残骸 (SNR) シェルと W50 中心に存在する X 線連星 SS 433 から噴出するジェットが、SNR を突き破って伸びた構造の複合体と考えられている。宇宙ジェットの生成や伝播には磁場の寄与を無視することはできず、実際に活動銀河中心核のジェットの磁場は多数報告されている。近年、SS 433 ジェットの先端と考えられる W50 東端領域の磁場解析も行われ、ジェット軸に沿った成分と衝撃波に平行な成分が観測されている (Sakemi et al. 2018)。

W50/SS 433 の成因を探るために、SNR 内で生成したジェット伝播の流体計算が行われている (Goodall et al. 2011)。しかしながら、W50/SS 433 は観測で示されるように磁場構造を持っているため、磁気流体計算によって形成起源を調べることが必要である。そこで我々は W50/SS 433 の構造形成メカニズムを検証するため、ジェットにはトロイダル磁場を、背景にはジェットと平行な一様磁場を仮定し、SNR シェルとジェットの共進化を追った。

2次元円筒座標系において点源爆発を起こし、SNR を膨張させた後に中心からジェットを注入した。その結果、SNR 内部の高密度な接触不連続面は、ジェット貫通後にジェットのバックフローと増幅した磁気圧によって外側に押し出されることが分かった。また、シンクロトロン放射強度を計算したところ、ジェットのターミナルショックや中心付近の接触不連続面では高くなることが確認された。

上記の結果に加え、注入するジェットのエネルギーやプラズマ β に関するパラメータサーベイを行った結果についても合わせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W15c 2nd Gaia data release を用いた種族 II 矮新星探索

大西隆平, 小路口直冬, 磯貝桂介, 木邑真理子, 若松恭行, 野上大作, 加藤太一 (京都大学)

矮新星は、主星が白色矮星であり伴星が晩期型主系列星である近接連星系である。連星系は重力波放射などによって角運動量を失うため、伴星がロッシュローブを満たしているとき伴星から主星へ質量が輸送される。それによって矮新星は、質量比と軌道周期がともに小さくなる方向に進化する。種族 II 矮新星は金属量が少ない天体であり、そのため伴星の密度が大きく、通常の矮新星とは異なる進化経路を辿ることが理論的に示されている。進化経路を観測的に確かめるためには、多くの矮新星について軌道周期と質量比を求めることが重要である。

静穏状態の分光観測や食の観測から軌道周期と質量比を推定することができるが、静穏状態の矮新星は暗いため多くの矮新星に適用することはできない。一方質量比については、スーパーアウトバースト中の測光観測から推定する手法が我々の研究で確立されてきた (Kato, T., & Osaki, Y. 2013, PASJ, 65, 115)。この手法は、2017年3月にスーパーアウトバーストを起こした種族 II 矮新星 OV Boo の測光観測から種族 II 矮新星の場合でも適用可能であることが確かめられている。

種族 II 矮新星であるかどうか知るためには、分光観測によりその金属量を測定するのが良い。しかし、矮新星の数は非常に多いので、すべての矮新星を調べることは困難である。一方、地球から見た空間速度が大きい天体は、銀河形成の初期に生まれたハロー天体であると考えられ、金属量が小さいと予想される。2nd Gaia data release により多くの天体のパララックスと固有運動が調べられている。この2つのパラメータからそれぞれの天体の空間速度を推定することで、多数の種族 II 矮新星候補を見つけることに成功した。本講演ではこの手法の詳細を紹介し、これら天体の特徴について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W16a X線新星 MAXI J1810–222 の発見と MAXI/GSC が検出した 2018 年度後半の突発現象

根来 均, 中島基樹, 丸山和貴子 (日大), 岩切 涉 (中大), 川久保雄太 (青学), 河合誠之 (東工大), 三原建弘, 松岡 勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI が 2018 年度後半に発見/検出し、速報した突発現象について報告する。2018 年 12 月 1 日に、軟 X 線新天体 MAXI J1810–222 を発見し、The Astronomer's Telegram (ATel) に報告した (Negoro+, ATel. #12254)。同天体は、11 月の初めから非常に緩やかに増光していた可能性が高く、11 月末頃から 2-4 keV の X 線イメージでも確認できるようになった。エネルギースペクトルは、0.34-0.36 keV の黒体放射が 0.7-0.8 keV の光学的に薄いプラズマからの放射で表せ、光度が 10^{35} erg/s 以下の比較的近傍 (1-2 kpc 以下) の中性子星連星系などの可能性がある。しかし、このような特徴を持った突発天体は、MAXI はこれまでに検出したことがなく、新種の天体の可能性もある。太陽角が 30 度以下のため、Swift, NICER の追観測ができず、NuSTAR に ToO 観測を申請した。講演では、これらの追観測の結果を含めて報告する。

また、我々は、ブラックホール候補天体 MAXI J1820+070 (Negoro+, ATel #12057), Swift J1858.6–0814 (Negoro+, ATel #12163) の活動や、Be X 線バイナリパルサー A 0535+26, GRO J10087–57 のアウトバースト (Nakajima+, ATel #12092)、UX Ari の長期フレア (Iwakiri+, ATel #12248) についても速報した。一方、11 月 3 日には、MAXI J1724–298 も検出したが (Negoro+, ATel 12117)、Swift/XRT の追観測では確認できなかった。また、同期間では 2 つのガンマ線バースト GRB 180923A, 181011A を検出し、GCN に報告している (Maruyama+, G 23257; Kawakubo+, G 23327)。講演ではこれらの速報についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W17a X線新星 MAXI J1820+070 の X 線・可視光モニタ観測 (II) 状態遷移の観測

志達めぐみ (愛媛大学)、中平聡志 (理化学研究所)、村田勝寛、安達稜、河合誠之 (東京工業大学)、上田佳宏 (京都大学)、根来均 (日本大学)

MAXI J1820+070 は 2018 年 3 月に MAXI によって発見されたブラックホール候補天体であり、発見後約 2 週間にわたって増光を示したのち、徐々に減光した。その間、X 線スペクトルの形状はほとんど変化せず、MAXI/GSC と Swift/BAT で得られた広帯域 X 線スペクトルは、 ~ 50 keV 付近にカットオフを持つ、べき型の形状を示した。この結果から、MAXI J1820+070 は、この期間常に low/hard 状態にあったことが示唆される (志達 他、日本天文学会 2018 年秋季年会; Shidatsu et al. 2018, ApJ, 868, 54)。その後、6 月末に再増光し、7 月前半に 2–20 keV で約 2 Crab にまで達したのち、再び減光し始めた。この間に、X 線スペクトルの形状は急変し、標準円盤からの軟 X 線放射の卓越する high/soft 状態に遷移した。発見直後の増光と 6 月末の再増光を比較すると、1–100 keV のピーク光度はほぼ同じ ($\sim 2 \times 10^{38}$ erg s $^{-1}$) であった。放射効率が常に一定であったと仮定すると、この結果は、low/hard 状態から high/soft 状態への遷移は質量降着率のみでは決定されないことを意味する。アウトバースト中の各時期に得られた MAXI/GSC と Swift/BAT の同時スペクトルに対して、標準円盤からの放射とそのコンプトン散乱成分からなるモデルを適用したところ、high/soft 状態の時期には標準円盤の内縁半径が一定に保たれていることがわかった。この結果は、同状態では標準円盤がブラックホールの最内縁安定円軌道まで安定に伸びていたことを示唆する。また、X 線と可視光強度の強度比とその長期変化から、high/soft 状態および状態遷移中の可視光フラックスは降着円盤外縁部からの熱放射で説明でき、low/hard 状態においてはジェットからの放射成分が寄与している可能性が高いことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W18a IRSF1.4m 望遠鏡による X 線新星 MAXI J1535–571 の近赤外線追観測 II

村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太郎, 森田 浩太郎, 安達 稜, 杉崎 睦, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東京工業大学), 永山 貴宏 (鹿児島大学), 森鼻 久美子 (名古屋大学), 杉田 聡司 (青山学院大学)

MAXI J1535–571 は、2017 年 9 月 2 日に全天 X 線観測装置 MAXI によって見つかった X 線新星であり、発生後の X 線状態遷移からブラックホールと考えられている。我々は、発生 7 日後から、南アフリカの IRSF 1.4 m 望遠鏡を用いて、近赤外線 $J(1.25 \mu\text{m})$, $H(1.63 \mu\text{m})$, $K_s(2.14 \mu\text{m})$ バンドでの三色同時観測をおこなってきている。特に、発生から 1 ヶ月間は、短時間変動の有無を調べるため、10 秒積分で約 3 時間の連続観測を複数回おこなった。これらのデータの解析から、少なくとも発生 15 日後に、近赤外線の全バンドで、数十秒の早い変動と数十分の遅い変動の二種類の短時間変動があることがわかった。早い変動成分の色は観測中に大きな変化がないことから、この変動が単一の放射成分に起因することが示唆される。観測された早い変動のカラーは $A_V \sim 8 - 10$ のダスト減光で赤化した冪乗則のスペクトル放射に整合的であり、ジェットからのシンクロトロン放射が早い変動の放射起源と考えられる。一方で、遅い変動は、降着円盤からの多温度黒体放射、または照射円盤放射に起因する可能性がある。2018 年春季年会では、発生から 1 ヶ月間のデイスケールの近赤外線の明るさの変動について報告した。本発表では、近赤外線の短時間変動を中心に報告し、その放射起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W19a X線新星 XTE J1859+226 のアウトバーストにおける X線照射効果の時間変化

木邑真理子 (京都大学), Chris Done (Durham University)

ブラックホール X線新星は、ブラックホール(主星)と低質量星(伴星)から成る近接連星系であり、主星の周囲には降着円盤が形成されている。この種の天体は、110年に一度の割合でアウトバーストと呼ばれる急激な増光現象を引き起こし、X線から赤外線に至るまで、広範囲の波長域で増光が観測される。このアウトバーストの光度曲線の特徴は、円盤不安定モデルに円盤外側での X線照射の効果を加えたもので説明できると考えられている。X線照射とは、円盤外側が円盤内縁部から放射される X線によって温められる効果であり、X線光度が大きい X線新星では顕著であると考えられている。しかし、この効果を観測データから評価する試みは未だ発展途上であり、理論予測との比較もできていなかった。

そこで今回、私達は、X線新星 XTE J1859+226 の 19992000 年にかけてのアウトバースト時に取得された多波長スペクトルの同時観測データを、現実的な X線照射の効果を検討したスペクトルモデル (Shidatsu et al. 2016) を用いて解析した。また、理論から予測される X線照射の効果との比較も行った。結果、アウトバースト初期のスペクトルはモデルで仮定している典型的な X線照射で説明でき、理論予測ともほぼ一致しているが、アウトバースト後期のスペクトルは、特に紫外線領域と可視光領域でモデルから大きく外れる成分があり、典型的な X線照射では説明が難しいとわかった。この結果は、円盤内側と外側の質量降着率が異なる可能性を示しており、私達は、アウトバースト後期では、伴星による潮汐力が円盤外側に及ぼす効果が大きいのではないかと示唆した (Kimura & Done 2018)。本講演では、この解釈も含めて詳細な議論を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W20a MAXI/GSC と Swift/BAT を用いたマイクロクェーサー GRS 1915+105 の長期間の状態遷移の解析

白石一輝、橘優太郎、河合誠之（東京工業大学）

ブラックホール連星には、光速に近い速さのジェットを放出するマイクロクェーサーと呼ばれる天体がある。GRS 1915+105 は代表的なマイクロクェーサーであり、1992年にGRANAT/WATCHで発見されて以来26年間X線で活動的な天体である。この天体の短時間変動を調べた研究では、数秒から数時間の時間スケールで14の異なる変動があることがわかった。しかしながら、その14の異なる変動間の遷移や数ヶ月や数年の時間スケールに対する研究はほとんど行われていない。全天X線監視装置MAXIは2009年以来この天体のX線放射をモニターしているが、2015年4月前後でその光度曲線に変化がみられた。そこで、我々はMAXI/GSCとSwift/BATの9年にわたる観測データを用いてX線光度曲線と時間変動性を調べ、当該ブラックホール連星の状態遷移をよく表すHardness-Intensity Diagram (HID)を作成した。その結果、GRS 1915+105のX線光度変動は長期的にHID上で少なくとも3つのBranchに分類できることがわかった。我々は、HID上の特徴から3つのBranchをDiagonal Branch、Soft Branch、Faint Branchと名付け、さらに各BranchのX線放射機構に対する考察を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W21a 近傍銀河 NGC 4945 で発生した X 線トランジェント天体

井出峻太郎、林田清、久留飛寛之、米山友景、野田博文、松本浩典（大阪大）

NGC 4945 は近傍 (3.953 Mpc) に位置するセイファート 2 型銀河である。すざく衛星はこの天体を 2005 年から 2010 年の間に計 7 回観測している。我々は、このうち 2010 年 7 月に実施された 3 回の観測において、中心核から南西約 3 kpc (2.6 分角) の位置 (RA, Dec)=(196.322, -49.501) に新天体を発見した。発見の経緯と、初期解析の結果は、2014 年秋季年会で久留飛他 (発表番号 J105b) により発表した。

今回、すざく衛星の観測データを、新天体が出現した領域への NGC 4945 中心核からの信号の漏れ込みと、その領域に含まれる定常成分を考慮して、詳細に解析した。新天体の X 線スペクトルは、単一のべき関数モデルでは再現できず、降着円盤黒体放射モデルでよく説明出来た。2010 年 7 月 4-5 日の観測では最大光度 $(9.4_{-0.30}^{+0.21}) \times 10^{38}$ erg/s (0.3-10.0 keV)、内縁温度 $1.10_{-0.03}^{+0.03}$ keV、最内縁半径 $72.6_{-7.50}^{+8.36}$ km 程度となり、2010 年 7 月 26-27 日には光度は $(8.3_{-0.21}^{+0.33}) \times 10^{38}$ erg/s と減光し、内縁温度は $1.00_{-0.03}^{+0.03}$ keV、最内縁半径は $83.3_{-10.1}^{+11.4}$ km となり、内縁温度が低下していく様子が測定された。さらに一ヶ月後の観測ではイメージ上では新天体は確認されず、上限値 2.4×10^{38} erg/s を得るに留まった。このスペクトル変動は、銀河系内で発生したブラックホール新星に類似しており、我々はこの新天体を恒星質量ブラックホール連星系と推定している。すざく衛星の観測データに加え、Chandra 衛星、XMM-Newton 衛星による NGC 4945 のアーカイブデータも網羅的に調査し、この新天体の過去の X 線光度の上限値を求めた。本講演ではこれらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W22a 銀河系中心巨大BHを巡る星 S0-2/S2 の研究3: すばる視線速度モニター観測 2018 の解析状況

西山正吾 (宮城教育大), 斉田浩見, 大神隆幸 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), R. Schödel (IAA-CSIC), F. Najarro (Centro de Astrobiologia), 濱野哲史 (京都産業大), 五林遥, 大橋遥介, 小山晃徳, 唐朋央, 雨宮竜登 (宮城教育大), 岩松篤史, 高橋美月 (東北大), 大宮正士 (NAOJ/ABC), 長田哲也, 長友竣, 善光哲哉 (京都大), 田村元秀 (東京大/ABC), 美濃和陽典 (NAOJ)

S0-2/S2 は、銀河系中心の巨大ブラックホール (SMBH) 候補である Sgr A* を、約 16 年の周期で周回する。この星は 2018 年に SMBH に最接近するため、SMBH の重力による相対論効果の検出が期待されていた。そこで我々は 2014 年から、S0-2/S2 の視線速度モニター観測を開始した。Subaru/IRCS と AO188/Laser guide star system を用いた近赤外線高分散分光観測により、S0-2/S2 の視線速度の高精度測定が可能であることを確認してきた (Nishiyama et al. 2018, PASJ, 70, 74)。

本講演では、私たちが行った 2018 年視線速度モニターの観測状況と解析の現状を報告する。2018 年には、すばる望遠鏡の Intensive program に採択され、高い頻度の視線速度モニター観測を予定していた。悪天候や地震、装置の不調などによりデータの数と質は期待を大きく下回ったが、視線速度の最大時や最小時、そして SMBH 最近点付近のデータを取得することができた。これらの結果は Keck/Gemini 望遠鏡の観測結果とよく一致するものの、VLT を用いた観測結果 (Gravity Collaboration, 2018, A&A, 615, L15) とは系統的にずれていることがわかった。すばる望遠鏡の最新の解析結果とともに、他のグループとの collaboration の状況、将来展望についてお話しする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W23a 超高光度 X 線源 IC342 X-1 の可視光・X 線同時観測スペクトルの解析

森田貴士 (京都大学)、上田佳宏 (京都大学)、志達めぐみ (愛媛大学)、Sergei Fabrika (ロシア特別天体物理観測所)

超高光度 X 線源 (Ultraluminous X-ray sources; ULX) は、近傍銀河の中心核以外の場所で散見される、ひじょうに高い X 線光度 ($> 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$) を示す天体である。X 線パルスが見つかった天体 (中性子星) を除き、その起源の有力な説は、恒星質量ブラックホール ($\lesssim 30 M_{\odot}$) への超臨界降着である。実際、理論シミュレーションから予言される X 線スペクトルは、よく観測結果を再現する (Kawashima et al. 2012)。また、可視光スペクトルには幅の広い輝線が存在し、超臨界降着による円盤風の証拠と考えられている (Fabrika et al. 2015)。しかし、これまで ULX の多波長同時観測はほとんど行われておらず、可視連続成分の起源や、降着円盤の全体像の理解はまだ不十分である。

我々は 2016 年 10 月、ULX IC342 X-1 の「すばる」望遠鏡と *Swift* 衛星による可視・X 線同時観測を行った。X 線スペクトルは、2012 年に取得された *XMM-Newton*・*NuSTAR* 同時観測のデータと酷似していたため (Shidatsu et al. 2017)、それらも利用して広域スペクトル解析を行った。その結果、X 線は降着円盤からの熱的成分とそのコンプトン散乱成分で、可視光は円盤外縁部での X 線の再放射成分でよく再現できることが分かった。本講演では、これらの結果をもとに、IC342 X-1 の系全体の構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W24b State Transitions of A New X-ray Outburst: MAXI J1727–203

Sili Wang, Nobuyuki Kawai (Tokyo Institute of Technology), on behalf of MAXI team

MAXI J1727–203 is a new transient X-ray source. The outburst was first observed by MAXI at the beginning of June 2018. Later, NICER and Swift operated observations in X-ray bands while GROND and ULTRACAM/NTT also observed the source in optical bands. The observations in broad energy range enable MAXI J1727–203 to be a ideal target to understand radiation processes in transient binaries. In this poster, we will present our studies of MAXI J1727–203 based on MAXI and NICER observations. During the two-month outburst, state transitions from hard to soft and back to hard have been seen. The spectral fittings indicate that the disk component experienced a less-variation evolution, and suggest that the variation of X-ray states was mainly caused by non-thermal emission. Assuming that the less-variation innermost disk radius as inner stable circular orbit of the accretion disk, we are able to obtain the black hole mass as a function of distance. Further we can discuss luminosities at different phases compared with Eddington limit.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W25b MITSuME 望遠鏡による MAXI J1820+070 の可視光放射の変動の解析

安達稜、村田勝寛、橘優太郎、伊藤亮介、谷津陽一、河合誠之(東京工業大学)、花山秀和、堀内貴史(国立天文台)、志達めぐみ(愛媛大学)、MITSuME チーム、光赤外線大学間連携メンバー

MAXI J1820+070 は2018年3月11日に全天 X 線監視装置 MAXI によって発見された X 線連星である。この天体は、MAXI での発見の約5日前の3月6日に増光し始めた可視光天体 ASASSN-18ey に同定された。その後の追観測によって、この天体がブラックホール X 線連星である事が示唆されている。MAXI J1820+070 は4月初めに X 線での明るさがピークに達した後、およそ100日間かけて減光すると、7月上旬に再増光し、low/hard 状態から high/soft 状態へ遷移した。その後減光し、10月の初めに low/hard 状態に遷移している。

我々は、MITSuME 明野、岡山 50cm 望遠鏡によって MAXI の発見の翌日から6ヶ月に渡る長期間の観測を行なってきた。g', Rc, Ic の可視光3バンドで、10秒間露光(約17秒ごと)での撮像を一晩当たりおよそ4時間行っており、数十秒から数ヶ月スケールでの明るさの時間変化を調べることが可能である。数ヶ月に渡る長期ライトカーブでは MAXI での発見からおおよそ15日後に可視光での明るさがピークに達し、X 線でも同じタイミングでピークに達している。その後、X 線で再増光し、high/soft への状態遷移を起こした際には、可視光でも再増光している。その後の low/hard への状態遷移の際も、可視光で増光していることが分かった。また、少なくとも MAXI での発見の47日後には、17秒以下と数時間の二種類の時間尺度での変動が存在することが分かった。本講演では、これらの変動成分の色を調べて、放射の起源について議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W26b Blue Compact Dwarf 銀河 IZw18、VII Zw403 に存在する ULX の X 線観測

古市拓巳、林田清、米山友景、野田博文、松本浩典(大阪大学) 中嶋大(関東学院大学)

Blue Compact Dwarf (BCD) 銀河は、若い星を多数含む矮小銀河で、重元素比が太陽の 50 分の 1 から 10 分の 1 程度と低いことが知られている。BCD における ULX の出現頻度は、銀河の質量や星形成率で規格化すると通常銀河やスターバースト銀河に比べ極端に大きいことが分かっている。また、BCD のような重元素比が低い環境では恒星質量ブラックホールの質量上限値が上昇するという理論的予想もある (e.g. Belczynski et al 2010)。我々は、代表的な BCD である IZw18 と VII Zw403 に関するすざく衛星、XMM-Newton 衛星、Chandra 衛星による X 線観測データを解析した。IZw18 に関しては、2000 年 2 月から 2014 年 10 月までの計 5 回の観測で、常に 10^{39} erg/s 台の X 線光度をもつ天体があり、ULX と分類できる。X 線スペクトルは、べき関数型モデルや降着円盤黒体放射モデルで近似することができ、光子指数は 2~2.5、内縁半径は数 100km である。この ULX の長期時間変動に加え、BCD 全体の X 線スペクトルを積分することで、 10^{39} erg/s 以下の X 線天体の光度関数についても調べ、通常銀河のそれと比較する。

一方、VII Zw403 のすざく衛星による観測は 2013 年 12 月に行われ、その観測結果は既に Brorby et al. 2015 に報告されており、過去の観測に比べて 7~130 倍明るくなった 1 天体が ULX として検出されている。今回、Chandra 衛星、XMM-Newton 衛星の過去の観測データを用い、この ULX 以外の X 線天体の積分強度についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W27b X線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した2次元数値実験 III

中村賢仁(九州産業大), 町田真美(九州大), 横山央明(東京大), 松元亮治(千葉大)

ブラックホール X 線連星のアウトバースト時に観測されるハード-ソフト状態遷移について、熱伝導を考慮した 2 次元数値実験を実施している。初期ガストラスから幾何学的に厚い高温降着流へと構造が変わってから、制動放射による冷却を計算する。適当な初期ガストラス密度を選ぶと、赤道面に低温降着円盤が形成される。熱伝導を考慮する場合、高温コロナと低温降着円盤の間に、中間温度・中間密度となる領域が形成される。この中間領域の温度と数密度は、一例として温度は $3 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} \text{K}$ 、数密度は $4 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 程度である。

今回、初期密度を変えながら数値実験を行い、熱伝導を考慮するか否かにより、低温降着円盤が形成される条件がどのように変わるかを調べた。初期密度が低いほど、輻射冷却率が小さくなり、低温降着円盤は形成されにくくなる。熱伝導を考慮すると、低温降着円盤を形成できる初期密度の最小値は 1 桁大きいものとなった。また初期密度を高くすると、大きな質量の低温降着円盤が形成され、中間領域も形成されるが、低温降着円盤と中間領域の質量の比が大きくなり、相対的に中間領域の影響は低められた。

低温降着円盤及び中間領域の初期ガストラス密度依存性について調べる数値実験結果をもとに、中間領域の温度及び数密度、中間領域及び低温降着円盤が存続するための条件について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W28b 磁気回転不安定性の飽和値の解像度依存性 II

町田真美 (九州大学)、川島朋尚 (国立天文台)、工藤祐己 (鹿児島大学)、松本洋介、松元亮治 (千葉大学)

X線連星や活動銀河中心核の様々な活動性は、降着円盤が解放する重力エネルギーを主要なエネルギー源としている。重力エネルギーを抜き取るための粘性の起源は、差動回転するプラズマ中で成長する磁気回転不安定性 (MRI) によって生成される磁気乱流であると考えられている。降着円盤の鉛直重力を考慮した場合の MRI の飽和値は、円盤のスケールハイトが乱流の最大スケールを決めるため、長波長モードが乱流により壊れにくくなり、大局的な磁場構造を生成・維持できると考えられている。しかし、空間5次精度、時間3次精度を担保する CANS+ を用いた数値計算により、鉛直重力を考慮した大局的な計算であっても、空間解像度を上げることにより、磁気エネルギーの飽和値が低下することが示された (町田ら、2017年春季年会)。この結果は、MRI による小スケールの乱流成長をトレースすることが可能になり、小スケールでの磁気散逸が大きくなったためである。つまり、空間精度を高次精度化したことと、全周を計算領域に含む大局計算の2つが揃ったことにより、方位角メッシュ数増加に伴う磁気エネルギーの減衰が顕著に現れ始めた。しかし、この傾向は、MRI の最大成長波長を分解するスケールに達したところで終わり、長波長モードが復活すると期待している。

そこで、我々は、これまでの計算の中で特に、空間解像度の低かった方位角方向の空間解像度に対する磁気エネルギーなど、物理量の依存性を調べている。これまでの計算から、一般的な MHD コードで採用される2次精度に換算すると400メッシュに相当する方位角方向に256メッシュ用いた計算まで磁場飽和値の低下傾向は続いている。本年会では、現在実行中の方位角方向メッシュ数を512とした場合の結果を中心に、結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W29b 宇宙ジェットに適した二温度磁気流体計算コード開発：衝撃波加熱の分配

大村 匠, 町田 真美 (九州大学), 中村賢仁 (九州産業大学), 工藤祐己 (鹿児島大学), 朝比奈雄太 (京都大学), 松元亮治 (千葉大学)

光学的に薄く、電子とイオンの衝突頻度が少ないプラズマは、電子とイオンの熱エネルギーが大きく異なる二温度プラズマであることが知られている (Mahadevan & Quataert 1997)。輻射は電子が担っていることから、数値実験と観測結果との比較を行う上で、電子温度は必要不可欠な物理量である。二温度プラズマにおける電子温度の時間発展を追う有用な手段として、磁気流体 (MHD) 方程式に電子とイオンそれぞれのエネルギー方程式を追加した二温度 MHD シミュレーションがある (Chael et al. 2018ab)。この二温度 MHD 計算では、散逸によって生じた熱エネルギーを電子とイオンへ分配する必要がある。しかしながら、特に、衝撃波によって生じる散逸エネルギーの配分比がいかんにして決定されるのか、その詳細な機構には未だ不明な点が多い。プラズマの運動エネルギーの大部分をイオンが担っているため、第ゼロ近似としては、衝撃波でイオンのみが瞬間的に加熱されると考えてよい。その後、電子はイオンとの衝突を経て平衡状態へと移行する。しかし、磁場を考慮した場合、電子も衝撃波によって瞬間的に加熱される (e.g, Matsukiyo 2010)。このような例として、銀河団衝突の X 線観測が報告されている (Akamatsu et al. 2017)。我々の注目している宇宙ジェットは、伝搬に伴い多数の衝撃波が形成される。そのため、衝撃波での熱配分比を取り入れた数値実験を行う必要がある。以上の背景を踏まえ、我々は衝撃波による散逸エネルギーの配分率をパラメータとして与えるモジュールを作成した。テスト計算の結果、電子とイオンとの比熱比が異なることで、例え衝撃波の散逸エネルギーを等分配した場合でも、電子とイオンの温度分布に違いが生じることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W30c 超臨界降着流の大域計算

北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (中部大学), 川島朋尚 (国立天文台)

超臨界降着流と呼ばれる質量降着率が非常に高い降着円盤ではアウトフローや対流が生じるため、多次元流体シミュレーションによる研究が行われている (Ohsuga et al. 2005)。この超臨界降着流は、超高光度 X 線源のようなエディントン光度以上で輝く明るいコンパクト天体現象を説明する有力モデルとなっている。

Kitaki et al. (2018) では超臨界降着円盤の構造を詳細に解明した。この研究では、注入するガスの初期角運動量を先行研究 (Sądowski et al. 2015, Takahashi et al. 2017) より非常に大きくとったため、ブラックホール近傍での質量噴出率 (アウトフローレート) が、円盤の質量降着率に比べて十分無視できることを初めて明らかにした。特にアウトフローはコンプトン散乱を通して観測スペクトルにも影響を与えるため、より現実的な計算を行うには、初期角運動量を光子補足半径でのケプラー回転より十分大きくとる必要があることを示唆した。

近年の数値計算において、粘性は陰解法を用いて解かれている。しかし、巨大な行列反転に時間がかかるため、計算領域を広げることには適していない。また、粘性を陽解法で解く場合も、厳しい拡散数の条件により、時間幅 Δt が大きく刻めず、非常に計算時間がかかる問題があり、大きな初期角運動量で計算することは困難であった。

そこで我々は、これまで速度の微分で与えられてきた粘性テンソルを、粘性テンソルが従う方程式 (Israel et al. 1979, Shibata et al. 2017) に置き換えることで、より計算時間が短くなる陽解法を実装した。その結果、ガウシアン型の速度場の崩壊や、クエット流などのテスト計算を安定に解くことができ、また解析解を十分再現できていることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W31a 円盤降着流における相対論的輻射性衝撃波の構造

福江 純 (大阪教育大)

特殊相対論的な領域における相対論的輻射性衝撃波について、単純な1次元の場合と厚みが変化する円盤降着流の場合を調べたので、その結果を報告する(それぞれ、MNRASへ投稿中)。

まず1次元流においては、光学的に厚く平衡拡散近似を仮定し、(1)質量保存の式、(2)運動量保存の式、(3)輻射流束のあるエネルギー保存の式、(4)輻射拡散の式、が衝撃波条件の基本方程式となる。ガス圧が優勢な場合、非相対論では圧縮率は最大で4倍だが、相対論的になると(衝撃波前面が相対論的な場合はもちろん、前面が非相対論的な流れでも通過後が相対論的になると)、圧縮率は4倍を超えることがわかった。前駆領域の拡がりも非相対論的な場合より大きくなる。また前面のマッハ数には上限が生じる(流速も音速も光速のオーダーが上限のため)。輻射圧が優勢な場合、やはり相対論的になると圧縮率は非相対論の7倍を超えることがわかった。

つぎに円盤降着流においては、上記に加え、(5)鉛直方向の静水圧平衡の式も使って衝撃波条件などを求める。円盤衝撃波では、表面密度が1次元衝撃波の密度のような働きをする。すなわち、円盤衝撃波では、円盤が膨らむため密度は減少することがあるが(相対論的効果で増加することもある)、面密度自体は衝撃波後面でつねに増加する。そして、非相対論では面密度は4倍(ガス圧)あるいは7倍(輻射圧)が上限となるが、相対論的では圧縮率はもっと増加できることがわかった。また前駆領域の幅はマッハ数が大きいほど広がることがわかった。

講演では主に相対論的輻射性円盤衝撃波について紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W32a 輻射輸送を考慮した降着円盤の鉛直構造

松本 花観、福江 純（大阪教育大学）

ブラックホールに落ち込むガスによって、ブラックホールのまわりにブラックホール降着円盤が形成される。降着円盤のガスがブラックホールに落ちていく過程で膨大なエネルギーを放出する。このような大量のエネルギーを放出するブラックホール降着円盤では、しばしば輻射圧が重要になり、鉛直方向の構造を解くためには輻射輸送を解くことが必要になっている。

過去の研究では、Hubeny らのグループが、星の大気モデルを援用して、さまざまな天体における降着円盤の大気構造を精力的に調べている。ただし、最終的な放射スペクトルに力点がおかれていたため、鉛直方向の具体的な構造や、粘性の性質による違いなど、まだ十分に示されてはいない。

そこで今回は、降着円盤の鉛直方向の輻射輸送を考慮して、ガス圧や輻射圧など鉛直構造について調べた結果を報告する。

一般的にガス密度は円盤面近傍で高くなるため、標準モデルで輻射圧が優勢な領域でも赤道面近傍ではガス圧が優勢であり、逆にガス圧が優勢な領域でも表面近傍では輻射圧の方が高くなる。またアルファモデルで、粘性がガス圧に比例する場合と全圧に比例する場合を比べると、赤道面近傍の構造はあまり変わらないが、表面近傍では構造が大きく変わり、後者の方が前者よりガス圧が大きく下がることわかった。また後者の方が円盤全体の厚みも少し大きくなることもわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W33a 輻射圧駆動降着円盤風のモデル

竹田 奈央、福江 純（大阪教育大学）

強い光を放つ降着円盤や AGN でのアウトフローやジェットなどの現象は相対論的な運動であり、このような現象において、周辺を取り巻くガスは輻射力の影響を強く受けることになる。つまり、相対論的輻射輸送効果が非常に重要な問題になるといえる。しかし、非相対論領域における輻射輸送は多くの研究が行われているのに対し、相対論領域における輻射輸送の問題は、モーメント定式化が不完全であり、その性質もよく分かっていないことが多い。そこで、相対論的輻射輸送方程式に立ち戻り、相対論的領域の性質を調べている。

これまでに、幾何学的に薄い標準円盤からの輻射圧駆動風に対して、平行平板流における相対論的輻射輸送について、中心天体からの重力場を考慮に入れ、相対論的輻射輸送方程式と相対論的流体力学方程式の逐次近似を用いて計算を行っている。これは、初期値として速度場をあたえ、これをもとに相対論的輻射輸送方程式を数値的に解き輻射場を得て、これを運動方程式に代入し速度場を求め、再び速度場から輻射場を求めるといった逐次近似を用いたものである。

本研究では、この手法を超臨界降着円盤表面からの輻射圧駆動風に適応し、平行平板近似のもとで同様な計算を行った。平行平板流について扱った場合に比べ、円盤中心に近い位置での運動の乱れは見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W34a 輻射圧で駆動される降着円盤風と特異点の性質

遠峰 勇佑、福江 純（大阪教育大）

ブラックホール周辺の降着円盤では、しばしば輻射圧で駆動する降着円盤風が存在しており、連続光で駆動される降着円盤風については、光学的に薄い場合（Icke 1989; Tajima & Fukue 1996, 1998）や厚い場合（Fukue 2002, 2004; Fukue & Akizuki 2006, 2007）など多数の先行研究がある。ただしこれらの先行研究では、輻射場を解いていなかったり、簡単のためにガス圧を落として特異点を解いていなかった。そこで今回は、非相対論的で鉛直方向の流れという状況のもとで、中心天体の重力とガス圧を考慮し、輻射圧で駆動される降着円盤風の特異点解析を行って、赤道面から無限遠まで繋がる遷音速解を求めたので、その結果を報告する。

本研究では、輻射場の取り扱いについては、（１）断熱近似（輻射力は一定）（２）平衡拡散近似（輻射温度とガス温度は等しい）（３）非平衡拡散近似（輻射温度とガス温度は異なる）など、いくつかの場合について調べ、それぞれでの特異点の性質について解析を行い、遷音速解の計算を行っている。

まず（１）断熱近似の場合、輻射圧の項を標準降着円盤のエディントン光度比に依存する定数として与え、輻射流体の基礎方程式から得られた風方程式について解析することで、特異点の位置とタイプそして遷音速解を求めた。降着円盤の重力場の性質から、ある半径で異なる高度に２つの特異点が存在し、上空は saddle、低空は center となることがわかった。この center 型の特異点のため、パラメータによっては、円盤面まで繋がる遷音速解があったりなかったりする。またエディントン比が大きくなると、降着円盤の光度が大きな領域上空では特異点がなくなり、超音速解のみになる。講演ではその他の場合についても特異点解析の結果を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W35a 降着円盤における重力波

北野 萌音、福江 純 (大阪教育大学)

ブラックホールに落ち込むガスやチリが、ブラックホールのまわりに形成する円盤を、ブラックホール降着円盤という。この降着円盤は、鉛直方向に成層構造をなしているため、重力と浮力の作用によって重力波が生じる。降着円盤の振る舞いを調べるに当たって、このような振動は重要になってくる。

従来も、ガス圧が優勢で鉛直方向に等温のような単純な場合に対しては、降着円盤の振動は調べられている(たとえば、Fukue and Okada 1990)。しかし鉛直方向に等温でない場合や輻射圧が効いてくる場合など、一般的な場合に対してはまだ十分に調べられているとはいえない。そこで今回、輻射圧や輻射輸送を考慮し、鉛直方向にいろいろな構造をもつ降着円盤に対して、重力波振動を調べたので、その結果を報告する。

重力波振動のプラントバイサラ振動数は、重力加速度と物質分布の積で与えられる。中心天体の重力による降着円盤の鉛直方向の重力場は、円盤面で0で $z \sim r/\sqrt{2}$ でピークとなり、さらに上空では減少する。そのため、プラントバイサラ振動数も円盤面では0になり、大気上層で増加する傾向となる。ただし鉛直方向の物質分布によって、いろいろな変化をすることがわかった。たとえば、等温大気の場合、大気が無限に広がっているので、プラントバイサラ振動数は重力場のピーク付近で最大となる。しかし、等温でない場合は一般に降着円盤の大気は幾何学的に薄いため、表面近傍で重力波振動が大きくなる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W36a X線連星のハード状態における熱駆動型円盤風

都丸 亮太 (東京大学, IPMU), 大須賀 健 (筑波大学), Chris Done (Durham University), 高橋忠幸 (IPMU, 東京大学)

近年の X 線観測により、低質量 X 線連星のスペクトル中に高電離イオン (主に Fe XXVI , Fe XXV) からの青方偏移した吸収線が見つかっており、降着円盤から円盤風という形でプラズマが外向きに噴出していることがわかってきている。このような円盤風の駆動機構はまだよくわかっておらず、大きな問題となっている。駆動機構として考えられているのが、円盤を貫く磁場による磁気駆動と、円盤表面のガスが、中心天体近傍からの X 線照射で加熱されて吹き出す熱駆動がある。これまでは、磁場構造が変化することで、円盤風とジェットが切り替わるということが考えられてきた。なぜなら、円盤からの放射が主となるソフト状態では吸収線が観測されるもののジェットは観測されず、反対に逆コンプトン散乱が主となるハード状態ではジェットだけが観測されるからである。しかし、磁場の形状や磁気駆動の寄与に関しては不明である。

我々は磁場を含まない、熱駆動に放射力を組み込んだ放射流体シミュレーションにより、ソフト状態において、観測の吸収線から推定された柱密度、速度を得ることに成功し、観測される円盤風は熱-放射駆動型円盤風で矛盾がないことを示した (2018 年秋季年会)。今回我々は、X 線連星のハード状態で吸収線が観測されないという観測事実を熱駆動モデルで説明できるか否かを検証することを目的とし、ハード状態の連続スペクトルにより光電離されるプラズマの加熱冷却率を組み込み、流体シミュレーションを行った。この結果、ハード状態では、円盤風が発生するものの、硬 X 線により完全電離されてしまうことがわかった。これは吸収線が観測されない事実と合致する結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W37a X線放射輸送コード MONACO への一般相対論的效果の導入

會澤 優輝, 小高 裕和, 馬場 彩 (東京大学), 川島 朋尚 (国立天文台)

ブラックホール連星 (Black Hole Binary; BHB) は、恒星質量ブラックホールと恒星の連星系であり、ブラックホールに降着する物質が重力エネルギーの解放によって数千万度まで加熱されて X 線を放出する。この X 線のライトカーブやスペクトル、偏光から BHB 周辺の構造を推定することができる。

降着系のブラックホール近傍は特に強重力環境にあるため、重力赤方偏移や光路の曲がりなどの一般相対論的な効果を考慮したモデリングが必要だ。また、降着系の幾何構造を考慮した上で、X線放射を生み出す逆コンプトン散乱を計算することは難しく、正確に扱うためにはモンテカルロシミュレーションが必須である。我々は、X線の放射輸送を計算するモンテカルロシミュレーションのコード MONACO (Odaka et al. 2011, 2014) を拡張することで、一般相対論効果と降着系の幾何構造を考慮した降着流のデータ解析モデルを構築し、観測データから物理量を決定できるようにすることを目指している。現在、カー時空での光路の追跡と光路長の計算を行うコードの設計および実装、検証を完了し、MONACO への組み込みを行なっている。本講演ではコード開発の現状と計算結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W38a 超臨界降着流を伴うブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの質量降着率依存性

川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (中部大学)

超高光度 X 線源は、系外銀河の中心核以外の領域で観測される非常に明るい X 線点源である。超高光度 X 線源の見かけの X 線光度は $10^{39} \text{erg s}^{-1}$ 以上であり、恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超えている。この高光度を説明する中心エンジンは、中性子星か恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流 (降着率がエディントン限界を超える降着流)、あるいは中間質量ブラックホールへの亜臨界降着流の 3 種類が考えられている。X 線パルスが検出されている超高光度 X 線源は中性子星であると考えられるが、これまでにパルスが観測された超高光度 X 線源はわずか数個である。大部分を占めるその他数 100 個の超高光度 X 線源の中心天体を推定するためには、パルスの有無以外から中性子星とブラックホールを判別する方法を見出す必要がある。

そこで、我々は輻射スペクトル形状からブラックホールと中性子星を判別できるか否かを明らかにするために、超臨界降着流を伴うブラックホールおよび中性子星の一般相対論的輻射輸送計算を実施している (2018 年秋季年会)。今回、我々は質量降着率をパラメータとし、光度と輻射スペクトル形状に与える影響を調べた。その結果、中心天体が中性子星の場合、質量降着率の上昇に従って光度が上昇すると、輻射スペクトルがソフトになることがわかった。光度が同程度の状況で比較すると、中心天体が中性子星の場合の輻射スペクトルは、中心天体がブラックホールの場合と比べ低エネルギー側で明るくかつ hard tail 成分が弱いこと、すなわち有意にソフトであることが判明した。講演では、パラメータサーベイを行った結果について詳しく報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W39a 中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度X線源のX線パルスの計算

井上壮大, 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (国立天文台)

超高光度X線源(ULX)とは、光度が恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超えている非常に明るいX線源である。ULXの中心天体として、恒星質量ブラックホールと中間質量ブラックホールが考えられていたが、近年、パルスが検出されたことによって一部のULXの正体が中性子星であることが濃厚になった。中性子星の質量は太陽と同程度なので、ULXの大光度を説明するためには超臨界降着(エディントン降着率を超える降着)が必須である。

川島らは、中性子星の磁極付近に形成される柱状の降着流(降着柱)の輻射流体力学シミュレーションを実施し、超臨界降着が実現可能であることと、降着柱の側面がエディントン光度以上で明るく輝くことを示した(Kawashima et al 2016)。しかしながら、この降着柱側面からの放射が、どのような光度曲線を作り出し、観測されたX線パルスを説明できるか否かについては検証されていない。

そこで我々は、Ray-Tracing法を用いて降着柱側面からの放射による見かけの光度を計算した。一般相対論効果による光の軌道の湾曲、およびガスの落下運動によるドップラー効果によって観測者と反対側の降着柱からの放射が強まる。一方で、重力赤方偏移によって降着柱全体の見かけの光度が低下する。中性子星の自転を考慮して光度曲線を計算した結果、川島らによる降着柱モデルが、観測されたX線パルスを大まかに再現できることがわかった。講演では磁軸の傾きや viewing angle による光度曲線の変化についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W40a ボルツマン方程式を解く一般相対論的磁気流体コードによる超臨界降着流シミュレーション

朝比奈雄太 (京都大学), 高橋博之 (中部大学), 大須賀健 (筑波大学)

ボルツマン方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体 (GR-RMHD) コードによる超臨界降着流の計算結果を報告する。この計算手法は、輻射輸送方程式を解いて輻射場を正しく求めるもので、従来の手法とは質的に異なるものである。流束制限拡散近似や1次モーメント (M1) 法を用いた研究により (Ohsuga et al. 2009, Takahashi et al. 2016)、ブラックホール近傍のジェットの形成や降着流の構造に輻射が重要な役割を果たしていることが示されてきた。しかし、それらの近似解法は光学的に薄い領域で計算結果の信頼性が落ちてしまう等の問題を抱えている。そこで我々はより正確な輻射場を得るためにボルツマン方程式を解く GR-RMHD シミュレーションを実施した。本発表では M1 法と我々の解法との比較を行う。

まずは各解法で得られる輻射場の違いを明らかにするために、磁気流体の物理量を固定した輻射輸送計算を実施した。流体場は M1 法を用いて計算された GR-RMHD シミュレーションの結果を用いた。降着流から放射された輻射は回転軸方向に伝搬するが、M1 法では円盤の光球面付近を正しく解くことができないため、回転軸方向への輻射フラックスを過大評価する傾向がある。また、回転軸付近では輻射の非物理的な衝突により、回転軸方向の輻射フラックスが増大した。我々の解法を用いることにより、これらの現象が抑制されることを示した。本発表では流体と磁場、輻射場を全て同時に時間発展させる GR-RMHD シミュレーションの結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W41a ショートガンマ線バーストに付随する初期X線放射の指数関数的減光と時定数-光度相関

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉 (金沢大学), 木坂将太, 山崎了 (青山学院大学)

ショートガンマ線バースト (SGRB) はガンマ線バーストの分類の1つであり、継続時間が2秒以下のものを指す。SGRBにはプロンプト放射の後に100秒程度の軟X線放射 (Extended Emission) が付随するものもあり、2つの放射エネルギーは同等であると報告されている (Perley et al. 2009)。また、SGRBの起源は連星中性子星、あるいは中性子星-ブラックホール連星の合体と考えられており、重力波イベント GW170817 (Abbott et al. 2017) のように強い重力波放射の同時観測も期待されている。特に Extended Emission は緩やかな時間変動からプロンプト放射よりも等方的な放射と考えられるため有力な電磁波対応天体の一つである。一方で Extended Emission の放射起源は未知のため、この理解は連星合体後の進化のみならず重力波源の同定においても重要となる。

我々は Swift 衛星の XRT で観測された赤方偏移が既知である 28 個の SGRB の Extended Emission のライトカーブに対し、指数関数的な減光モデルを適応した。その結果、全てのイベントに対し減光時定数 20 – 200 sec で上記のモデルが適応可能であることが分かり、また Kisaka et al. (2017) でのべき関数モデルと比較したところ、より系統的に X 線の減光を記述しうることが示された。より適切な減光モデルにより見積られた X 線ライトカーブの放射エネルギーとプロンプト放射のエネルギーを比較したところ、プロンプト放射が 10 – 1000 倍のエネルギーを持つ結果となった。さらに、指数関数減光モデルのフィットで得られた光度 $norm$ と時定数の間に強い相関を確認した。本講演ではこれらの解析結果と考えられる物理モデルについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W42a ショートガンマ線バーストの残光における吸収と減光の系統的解析

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達哉, 有元誠, 加川保昭 (金沢大学)

ガンマ線バーストの残光はバーストが起きた周辺環境や母銀河の化学進化を理解するための重要なプローブとなる。一般的に継続時間の長いロングガンマ線バースト (LGRB) は星形成が活発な領域、一方で継続時間が短いショートガンマ線バースト (SGRB) は星形成の不活発な楕円銀河や渦巻銀河のはずれで起きると考えられている。これまで LGRB の残光については系統的な解析がなされ、可視光の減光や X 線の吸収から見積もられる星間微粒子や星間ガスの量や比について、よく知られた天の川銀河や小マゼラン雲などとの比較が報告されている (Covino et al. 2014)。一方、SGRB について可視光の減光と X 線の吸収の振る舞いを系統的に調べた研究はこれまでなかった。

我々は Swift 衛星の X 線望遠鏡 (XRT) で観測された赤方偏移が測定されている 29 個の SGRB の残光について系統的にスペクトル解析を行った。シンクロトロン放射モデルを仮定し母銀河における X 線の吸収量を見積もると、水素柱密度換算で中心が $10^{21.4 \pm 0.1} \text{ cm}^{-2}$ の対数正規分布に従うことが分かった。また 29 個の SGRB の内、地上の可視光望遠鏡でも残光が観測された 9 つのイベントについて、可視光と X 線のスペクトルを同時フィッティングすることで可視光の減光量を見積もった。その結果、7 イベントは減光が見られず残りの 2 イベントは LGRB と同等の減光量であることが分かった。本講演ではこれらの解析結果とそれを満たす GRB の周辺環境について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W43a 光子のエスケープを考慮した相対論的輻射媒介衝撃波の解から探る衝撃波ブレイクアウトに伴う放射

伊藤裕貴 (理化学研究所), Amir Levinson (テルアビブ大学)

ガンマ線バーストを引き起こしている相対論的ジェットの内には、周辺物質との相互作用や中心エンジンの活動に起因した衝撃波が普遍的に存在していると考えられている。このような衝撃波は一般に相対論的な伝搬速度を持っており、光学的に厚い光球面の内側の領域においては光子とプラズマの相互作用が散逸過程を担っている(相対論的輻射媒介衝撃波)。光学的に厚い領域で発生した衝撃波は、光球面を突き破る衝撃波ブレイクアウトの際には衝撃波遷移領域内の光子を解放するため、ガンマ線バーストの放射に多大な影響を与えると考えられている。しかし、遷移領域から光子がエスケープする場合の相対論的輻射媒介衝撃波の散逸構造を調べた研究は存在していないため、その詳細はよく分かっていないのが現状である。

そこで本研究では、光子のエスケープを考慮した相対論的輻射媒介衝撃波の定常解を構築した。手法としては、輻射輸送はモンテ=カルロ法を用いて計算し、その結果に基づいてプラズマの空間分布に反復的に修正を加える事によって定常解へと収束させている。2017年春季年会において我々はエスケープを考慮していなかった場合の相対論的輻射媒介衝撃波の解について紹介したが、本講演ではエスケープが衝撃波の構造に与える影響及び、解放される光子のスペクトルについて紹介する。主な結果としては、エスケープがある場合はプラズマ間の相互作用によって生じるサブショックが現れ、その強度はエスケープするエネルギーが大きくなるほど強くなることが明らかになった。また解放される光子のスペクトルは非熱的であり、エスケープを考慮しない相対論的輻射媒介衝撃波の遷移領域におけるスペクトルから大きく変化しないことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W44a 非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーション

富田 沙羅 (青山学院大学), 大平 豊 (東京大学)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的衝撃波下流での、被加速粒子のシンクロトロン放射によるものと考えられている。残光の観測は、下流の広い放射領域で、磁場が星間磁場を衝撃波圧縮した値より約 100 倍大きいと示唆している。つまり衝撃波圧縮の他に磁場の増幅機構が必要だと考えられるが、未解明である。一様媒質中での相対論的衝撃波の Particle-in-Cell (PIC) シミュレーションにより、衝撃波面近傍のワイベル不安定性で生成された磁場は、観測を説明するほどの広い放射領域を占めることができないことが分かっている。しかし現実の衝撃波が伝搬する星間空間は、非一様である。そこで我々は、非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波の PIC シミュレーションを行った。その結果、下流を伝搬する音波が形成され、下流で温度非等方性が一様な場合よりも高い値で維持されていた。今回の計算時間内では、この温度非等方性から励起されるワイベル不安定性による有意な磁場増幅は確認できなかったが、一様な場合よりも磁場が下流で強く維持されることがわかった。衝撃波面で増幅された後の下流磁場が時間と共に減衰してくると、下流でのワイベル不安定性による磁場増幅は効果的になる。ここで増幅される磁場は、GRB 残光の観測を説明しうることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W45a ブラックホール近傍でのはじめから効率のよい磁気リコネクションについて

小出眞路（熊本大学），小出美香（崇城大学），森野了悟（RKK コンピューターサービス）

回転するブラックホール（BH）のまわりの降着円盤とエルゴ領域をつなぐ磁力線があると反平行磁場が自発的に形成されることが電気抵抗をゼロとした一般相対論的磁気流体力学（理想 GRMHD）数値計算により示されてきた (e.g. Koide 2006; McKinney 2006)。反平行磁場のあるところでは磁気リコネクションが起こる。ブラックホールまわりの磁気リコネクションは、例えば活動銀河核からの高エネルギーフレアに伴うノット放出 (Acciari et al. 2009) を引き起こしている可能性がある。

我々は有限な電気抵抗を含む一般相対論的磁気流体力学（抵抗性 GRMHD）の数値計算を行い、BHまわりの磁気リコネクションの発生を調べてきた。基本的な機構を明らかにするために、Schwartzschild BH のまわりに分割単磁極型の初期磁場を設定して計算を行なっている。前回の天文学会では磁気リコネクション率は 10^{-2} （は電流シートの厚みをアルベン速度で割った時間）程度の時間までは磁気リコネクション率がべき関数的に時間発展することを報告した。このときのべき指数は磁気レイノルズ数の $1/3$ 乗に反比例し、テアリング不安定性のラザフォード段階（Rutherford regime）では説明できない。ただ、このときの結果は磁気レイノルズ数が 2×10^2 以下の場合に限られ、より大きな磁気レイノルズ数での計算が必要であった。今回、磁気レイノルズ数が 10^3 よりも大きい場合の数値計算を行い、磁気リコネクション率の時間発展のべき指数はほぼ 1 という結果を得た。このことから今回の抵抗性 GRMHD 数値計算で見られる磁気リコネクションは、テアリング不安定性のラザフォード段階であることが分かった。ブラックホール近傍のテアリング不安定性による磁気リコネクションが磁気リコネクション率の低い線形段階を経ずにいきなりラザフォード段階から始まることの一般性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W46a 相対論的磁気流体風の乱流磁場による加速について

田中周太 (青山学院大学)

宇宙において、活動銀河核に見られる超光速現象やガンマ線バーストのコンパクトネス問題、相対論的高温天体であるパルサー星雲など、様々な天体が相対論的流れの存在を示唆している。これらの相対論的な流れの加速機構については、駆動源となるブラックホールや中性子星の回転エネルギーを磁場を介して引き抜く、磁気駆動型の加速機構が主流である。磁気駆動モデルは、熱駆動もしくは輻射駆動モデルに対して、エネルギーの引き抜きに関しては具体的な描像が解明されつつあるが、加速の効率と輻射の効率についての問題を伴う。

磁気駆動モデルにおける加速と輻射の効率問題は「磁気エネルギーを流体の加速もしくは、熱に交換することが理想磁気流体条件下では困難である」と言い換えることができる。相対論的磁気流体の磁化率をどのように下げかという問題について近年議論されているのは、理想磁気流体条件の放棄、である。つまり、磁場の散逸を考慮することで効率良いエネルギー転換を考える。過去の研究では磁気流体の大局的な揃った磁場を散逸する機構が考えられてきたが、それに対して我々はこれまでの研究で、大局的磁場が乱流磁場となる効果取り入れた相対論的磁気流体風の減速のモデルを構築した。本研究では、我々の大局的な磁場を乱流磁場にする効果とその散逸が散逸する効果を含めたモデルを、相対論的磁気流体風の「加速」に適用する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W47a 相対論的衝撃波での超高強度電磁波放射による粒子加速

岩本昌倫 (東京大学), 天野孝伸 (東京大学), 星野真弘 (東京大学), 松本洋介 (千葉大学)

高エネルギー宇宙線の起源は未解明であるが、近年のガンマ線や X 線での観測により、活動銀河核やガンマ線バーストといった高エネルギー天体で生成されていると考えられるようになった。このような天体が相対論的衝撃波を形成し、粒子を加速して高エネルギー宇宙線を生成しているというのが有力な説だが、その具体的な粒子加速機構は明らかになっていない。最近では、Hoshino (2008) が、衝撃波面でのシンクロトロン・レーザー不安定 (Hoshino & Arons 1991) により励起された大振幅電磁波が、衝撃波上流で航跡場加速 (Tajima & Dawson 1979; Chen et al. 2002) を引き起こすことを 1 次元 Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションを用いて示した。現実に即した多次元系では電磁波の励起の可否自体が不明だったが、我々の最新の研究により 2 次元系でも航跡場加速を引き起こせるほどのコヒーレントな大振幅電磁波が励起されることがわかった (Iwamoto et al. 2017; 2018)。これらの研究では、電子・陽電子プラズマを考えており、コヒーレントな大振幅電磁波の励起過程に焦点を合わせていたが、この研究成果に基づき、電子・イオンプラズマ中での数値計算を新たに行った。その結果、背景磁場が十分に強い場合、電磁波強度が 1 次元系に匹敵するほど増幅されることがわかった。さらに、大振幅電磁波が航跡場を励起し、航跡場が崩壊する過程で電子・イオンがともに加速されることがわかった。本講演では、この数値計算結果に基づき、2 次元系の相対論的衝撃波における航跡場加速およびそれによる宇宙線生成の可否を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W48a 中心天体からのエネルギー供給を受けたフォールバック降着流の運動と中性子星の多様性

岩田 朔, 茂山 俊和, 檜山 和己 (東京大学)

10 太陽質量より重い星は進化の最後に重力崩壊型超新星爆発を起こし、中心にはコンパクト天体が形成される。その際、星の外層は爆発エネルギーを受け取って放出されるが、一部の物質は十分なエネルギーを受け取ることができず、中心天体の重力に引かれてやがてフォールバック降着が起こると考えられている。一方、中心天体が高速で自転する中性子星の場合、磁気双極子放射によって自転エネルギーを解放することで戻ってくる物質に対してエネルギーを供給し、再び外側へ押し戻すことができる。中性子星から球対称で時間のべき乗に従った量だけエネルギーが供給される場合には、降着物質の運動は自己相似解で記述することができる (Shigeyama & Kashiyama 2018)。それによると断熱指数が $4/3$ 以下の時には臨界降着率が存在し、それ以上の降着率では解がない。しかし、実際には磁気双極子放射は球対称ではなく、さらに条件次第では自己相似解の形から Rayleigh-Taylor 不安定性が生じることが予想されている。

そこで、本研究では中性子星からのエネルギー供給を受けたフォールバック降着流の運動について2次元の流体計算を実行し、球対称自己相似解との比較を行う。さらに、降着物質が中心天体に到達するかどうかの臨界降着率を求め、降着率が臨界降着率を超えた時にどのように物質が中心天体に向かって流れるのか調べる。そして、中心天体が強い磁場を持つマグネターになるのか、非熱的放射が見られない Central Compact Object になるのか、パルサーになるのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W49c ガンマ線バースト残光光度曲線からジェットの構造を得る逆問題の研究

高橋和也(京大基研)、井岡邦仁(京大基研)

ガンマ線バーストの残光光度曲線はジェットの構造を大きく反映する重要な観測量である。中性子合体からの重力波放出に付随したと思われるガンマ線バースト GRB170817A は、そのガンマ線の暗さ、電波から X 線の残光の立ち上がりの遅さなど、典型的なガンマ線バーストと異なった特徴を有しており、角度方向に構造を持ったジェットを off-axis から見た場合にこれらを説明できる可能性が示唆されている。従来の研究では、ジェットの構造を表すエネルギー分布およびローレンツ因子分布の関数形を仮定し、関数に含まれるパラメタを観測された残光光度曲線に合うように調整している。本研究では、従来のアプローチとは異なり、関数形を仮定することなく残光の光度曲線からジェットのエネルギー構造を逆問題として解く手法を提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

PDL01 Multi-frequency radio observations of a new outburst from the recently reactivated transient magnetar XTE J1810-197

Sujin Eie (NAOJ/UTokyo), Toshio Terasawa, Mareki Honma, Takuya Akahori, Tomoaki Oyama (NAOJ), Teruaki Enoto (Kyoto Univ.), Yoshinori Yonekura (Ibaraki Univ.), Mamoru Sekido, Kazuhiro Takefuji (NICT), Hiroaki Misawa, Fuminori Tsuchiya (Tohoku Univ.), Takahiro Aoki (Yamaguchi Univ.), and Shota Kisaka (Aoyama Gakuin Univ.)

Magnetars are thought as being young neutron stars with extremely strong magnetic fields, displaying intense short bursts, pulsations and outbursts in X-ray, but the fundamental physics is still in mystery. Very recently, XTE J1810-197 re-activated after 10 years of its quiescent state, showing strong radio flare which was firstly detected on 8 December 2018 (MJD 58460, ATel #12284). We organized ToO observations in Japan with wide frequency coverage (0.3, 2, 6, 8 and 22 GHz from Iitate/Tohoku, Kashima/NICT, Hitachi/Ibaraki, and VERA/NAOJ observatories), simultaneous as much as possible, on MJD 58466, 58470, 58490, 58492, 58504, and 58530. While we have processed data so far only partially, we have successfully identified pulses from this magnetar: At 6 and 8 GHz the pulse intensities were so strong that the profile of each single pulse was visible with strong time variability. The pulse intensities at other frequencies were relatively weak (2 and 22 GHz), or only the upper limit has been obtained at 0.3 GHz. The pulse frequency spectra are now being made and will be presented. We will compare our new results with those from the previous outburst in 2006 - 2008, and discuss physical implications for magnetar physics.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

PDL02 マグネター XTE J1810-197 の突発 X 線増光の MAXI による発見と NuSTAR によるフォローアップ

河合誠之 (東工大), 三原建弘 (理研), 根来均 (日大), E. V. Gotthelf, J. P. Halpern, J. A. J. Alford (Columbia), S. Dai, S. Johnston (CSIRO), M. E. Lower, M. Bailes, S. Osłowski (Swinburne), F. Camilo (SARAO), H. Miyasaka (Caltech), ほか MAXI チーム

“マグネター” XTE J1810-197 の 2018 年末のアウトバーストの MAXI による検出に始まる X 線観測について報告する。XTE J1810-197 は、周期 5.5 秒の孤立 X 線パルサーであり、回転エネルギーの減少では説明できないほど強い X 線放射を示すことから、マグネターに分類される。このような X 線パルサーは、AXP (Anomalous X-ray Pulsar) と呼ばれるが、多くの AXP が定常 X 線源であるのに対し、この天体は通常は微弱な X 線源であり、稀に X 線アウトバーストを起こすトランジェント天体である。この天体に 2003 年に X 線アウトバーストを起こして、マグネターであることが明らかになったが、そのアウトバースト期間にこの天体が電波パルサーとしても活動していることがわかった。このことは、それまでマグネターが電波パルスを示さないことをマグネター説が仮定する強磁場によって説明されていたことと矛盾するため、この天体は、マグネターの放射機構や正体に関して根本的な疑問を投げかける、重要な天体と考えられる。2018 年 12 月 8 日に 10 年ぶりにこの天体から電波パルスが検出されたことが報告された (ATel #12284)。全天 X 線監視装置 MAXI のデータをさかのぼって調べると、その 10 日前の 11 月 28 日には既に X 線の増光が始まっていたことがわかった。ついで、硬 X 線望遠鏡 NuSTAR によって詳細観測が行われた。スペクトルは黒体放射とべき乗則成分の和で表現される。また、電波と X 線のパルス位相差は 2003 年と変わらない。これらの観測結果とその物理的意味を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W50a *Swift*/BAT による GW150914 の電磁波上限値の見積りと視野外天体の位置決定の可能性

富樫拓也, 坂本貴紀 (青学大)

2015年9月14日、初の重力波イベント GW150914 が検出された。ブラックホール連星とその合体が存在する直接的な証拠であり、重力波天文学の始まりとなった。GW150914 の到来方向からの電磁波が、*Fermi* 衛星 GBM 検出器で検出されたと報告があり、この電磁波の起源がブラックホール連星の合体ならば、大方の予想を裏切る検出である。一方で *INTEGRAL* 衛星 SPI-ACS 検出器では有意な信号の検出はなく、その為 GW150914 の電磁波対応天体は依然、混沌とした状態にある。本研究では、*Swift* 衛星 BAT 検出器によって GW150914 の電磁波上限値を見積った。まず、重力波検出前後の BAT の光度曲線 (LC) を4つのエネルギー帯域 (15-25, 25-50, 50-100, 15-100 keV)、5つの時間スケール (64, 128, 256, 512, 1024 ms) で調査した。重力波検出の前後 30 秒において有意な信号がないと結論付けた。上限値の見積りでは、重力波発生位置が BAT の視野外であった為、Swift Mass Model (SwiMM) というモンテカルロシミュレータを利用した視野外イベントの解析法を開発した。電磁波上限値は、 $8.3 \times 10^{-7} \text{ erg cm}^{-2}$ (25-100 keV) と見積った。これは *Fermi* 及び *INTEGRAL* の各報告と無矛盾である。

SwiMM の更なる利用法として BAT の視野外で発生したイベントの位置決定について考察した。BAT の視野外でイベントが検出された場合、*Swift* 衛星内部の構造物によって入射 X 線の遮蔽が起こり、BAT には構造物を反映した影が検出される事が予想される。SwiMM の利用により、遮蔽物の影から電磁波の入射方向の見積りが可能となる可能性がある。本講演では、LC の解析及び電磁波上限値の見積りの詳細と、BAT の視野外イベントの位置決定の可能性について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W51a J-GEM による重力波電磁波対応天体フォローアップ観測体制の構築

笹田真人、川端弘治(広島大学)、内海洋輔(SLAC)、伊藤亮介(東工大)、吉田道利(NAOJ)、J-GEM Collaboration チーム

J-GEM (Japanese collaboration for Gravitational-wave Electro-Magnetic follow-up) は重力波天体の電磁波対応天体の検出・観測を目的とした、国内大学・機関に所属する望遠鏡によって構成される。一部の重力波放出現象では電磁波の発生が予想され、可視光を含む電磁波望遠鏡によるフォローアップ観測が必要不可欠である。J-GEM では重力波放出を伴った突発天体を観測することで、重力波放出現象の物理機構の解明を目指す。

重力波望遠鏡の観測では、重力波放出天体の位置決定精度が10平方度以上と悪く、電磁波対応天体の秒角精度の同定が難しい。J-GEM では観測視野が広い可視光望遠鏡によるサーベイ観測と狭い望遠鏡によるポインティング観測を行うことで、可視光対応天体の早期検出を目指している。重力波放出現象は銀河に付随することが期待でき、重力波が到来した確率の高い領域に存在する銀河を複数の望遠鏡で網羅的に観測することで、電磁対応天体の検出を目指している。そのため、J-GEM ではLIGO-Virgo チームによって提供される重力波到来領域の3次元確率マップをもとに、200 Mpc を超えてコンプリートネスが高い銀河カタログ GLADE より候補銀河リストを作成し、複数の望遠鏡で候補母銀河を観測することで重力波対応天体の検出を行う。さらには観測された画像をサーバーにアップロードすることで一括管理し、各望遠鏡によって観測された情報の共有することで、できるだけ素早く対応天体の同定を行う。2018年12月に行われるLIGO/Virgo チームによるエンジニアリングラン(ER13)を目指して、ダミーアラートによるテスト観測も実施した。本講演では重力波フォローアップ観測体制の概要とともに、観測実施状況も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W52a ブラックホール-主系列連星の金属量依存性と Gaia での観測可能性

衣川智弥（東京大学）、山口正輝（甲南大学）

LIGO による重力波観測によって、この宇宙には 30 太陽質量相当の重いブラックホールが多く存在することが明らかになった。これらの重いブラックホールの形成において、初代星や低金属量星が注目されているが、ブラックホール自体は金属量についての情報を持たないため、現在の重力波観測では金属量とブラックホール形成を制限することは難しい。そこで我々は位置天文衛星 Gaia と Gaia により観測されうるブラックホール-主系列連星に注目した。伴星である主系列星は分光観測により、金属量を測れるため、ブラックホールの母天体の金属量を推察できる。本研究では、太陽金属量と 10 分の 1 太陽金属量の連星進化計算を行い、Gaia でどのようなブラックホール-主系列連星が観測されうるかを見積もり、金属量ごとのブラックホール質量分布の違いを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W53a パルサーのスピンドウン率を用いた超低周波重力波の検出可能性

久野晋之介、米丸直之、隈本宗輝、高橋慶太郎 (熊本大学)

$1\mu\text{Hz} \sim 1\text{nHz}$ の低周波重力波はパルサー・タイミング・アレイ (PTA) という手法を用いて検出が可能である。パルサーは安定した周期でパルスを放射しており、パルスの到来時刻を予測できる。しかし、重力波が存在すると、パルスの到来時刻が予測からずれる。PTA ではそのずれを高精度で観測し、 $1\mu\text{Hz} \sim 1\text{nHz}$ の重力波を検出することができる。この重力波が超大質量ブラックホール連星から放射されると仮定すると、軌道半径は milli-pc スケールの連星の公転周期に相当する。

軌道半径が milli-pc の超大質量ブラックホール連星は、連星の進化の最終段階に当たる。初期段階の超大質量ブラックホール連星の軌道は、星の散乱や周りのガスの摩擦によって軌道角運動量が輸送されるにつれて縮む。軌道半径が数 pc になると、軌道角運動量の輸送は効果的でなくなる。しかし、2つの超大質量ブラックホールが、重力波放射のみで合体するのはハッブル時間を超えてしまう。これは "the final parsec problem" と言われており、初期段階の連星の重力波の観測が重要となってくる。

そのような重力波は、パルサーのパラメータの補正をする際にパルサーのスピンドウン率に吸収されてしまう。先行研究ではスピンドウン率の統計的な性質を調べることで、既存の PTA では検出できないとされていた $\ll 10^{-9}\text{Hz}$ の重力波の感度を見積もった。本研究では、パルサーの分布モデルを考慮して重力波の感度を見積り、ブラックホールの質量について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W54a Ultra-stripped SN のイベントレイトと、連星中性子星の形成に至る連星進化

聖川昂太郎、衣川智弥、吉田敬、梅田秀之(東京大学)

2017年に連星中性子星合体由来の重力波 GW170817 が検出された。重力波は強い重力場中での物理現象を探る手段として重要視されており、代表的な波源である連星中性子星に関する知見を深めることは重要な課題である。その形成過程において二度の超新星爆発が生じるが、その際に連星が解離してはならない。しかし通常の重力崩壊型超新星爆発の場合、爆発の非対称性により生じるキック速度が大きいため、爆発後に連星系を保つことが困難である。そこで連星相互作用により通常の超新星爆発では達成できない程に外層を削り取られた (0.2 太陽質量以下) ultra-stripped supernova (USSN) が注目されている。Tauris et al. 2015 によると、このように外層を剥ぎ取られた星が爆発する場合、二つの要因により爆発のキック速度は小さくなる。一つ目は、外層の束縛エネルギーが小さいため、非対称性が成長するよりも早くに比較的弱いショックが外層を吹き飛ばしてしまうから。二つ目は、吹き飛ばされた ejecta が軽いため、それらから原始中性子星にはたらく重力が弱いからである。このように連星中性子星形成に至る最終段階として USSN が必要とされているが、これまで直接観測されていなかった。ところが最近、ejecta が 0.01 太陽質量程である USSN、iPTF 14gqr の観測が報告された。本研究では大質量星連星の population synthesis を行い、これと同等の ejecta 質量を再現する USSN の発生頻度を見積もった。更に、USSN の観測可能性についても議論する。連星進化を決定づけるパラメータの中で、例えば共通外層状態を経た後の軌道長半径を決めるパラメータなどは、流体計算が困難であるために、大きな不定性が存在する。このようなパラメータについて、観測されている連星中性子星の軌道周期、離心率の分布の再現性を定性的に計算、比較することによって制限をつけた。更に、連星中性子星の形成、合体頻度も見積もった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W55a 連星中性子星合体における自由中性子放射の輻射輸送シミュレーション

石井彩子 (東京大学), 茂山俊和 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学)

2017年8月, 初めて連星中性子星合体からの重力波および電磁波放射が同時に観測された. このイベントでは合体から約10時間後に電磁波観測が開始されたため, 合体から数時間後のごく初期の放射については観測されていない. また, 従来のキロノバモデルでは, 観測開始直後(合体から約1日後)の放射の青色成分を十分に説明しきれていないという問題点もある. このモデル計算と観測結果の違いを明らかにするためには, 数値シミュレーションを用いてより初期段階の放射を再現することが必要となるが, これはまだ実現されていない. 合体直後は中性子星の温度が高く, 合体時に生成される鉄より重い元素(特にランタノイド)について非常に多くの遷移を考慮しつつ輻射輸送計算を行う必要があり, これが難しいためである.

一方で, 初期の電磁波放射に関する先行研究として, 合体後の中性子星の最外層では自由中性子が存在しており, それらのベータ崩壊によって合体から数時間後に放射が起こるといったシナリオが提案されている (Metzger+ 2015). 合体時に形成される衝撃波により加熱された領域では, 原子核はばらばらになり自由中性子が生成され, その後の断熱冷却が速い最先端部では核融合反応が進まず, 自由中性子が放出される. 我々はこのシナリオに基づき, 1次元相対論的流体計算により中性子星合体におけるショックブレイクアウトを再現し, 陽電子捕獲, 電子捕獲, および元素合成反応を計算し, 最終的に放出される自由中性子の量およびそれらがベータ崩壊を起こした時に見られる放射を簡単に見積もった (Ishii+ 2018). しかし, そこでは自由中性子の空間分布や放出された物質の速度, 温度分布などを考慮せず, 不透明度についても組成から見積もった平均値を適用していたため, 本研究ではより正確な見積もりのためにこれらを考慮した上でモンテカルロ法を用いた輻射輸送シミュレーションを行う.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W56a 輻射輸送計算に基づいた GW170817 の放出物質のパラメータ推定

川口恭平(東京大学), 田中雅臣(東北大学), 柴田大(マックスプランク研究所・ポツダム, 京都大学)

2017年8月17日、中性子星同士からなる連星の合体からの重力波が検出され(GW170817)、同時に、幅広い波長域での電磁波対応天体が観測された。特に近赤外線から可視光域で観測された光度曲線は、連星合体時に放出される物質を起源として光る kilonova と呼ばれる現象の理論的予測と合致することが明らかとなった。現在、GW170817 に付随した kilonova は多成分の放出物質起源によるものであるとする解釈が有力であるが、一方で光度曲線から示唆される放出物質の質量や速度などが、これまでの連星合体の数値相対論シミュレーションの結果と一部整合しないなど、その放出物質の起源はまだ明らかにはなっていない。

それら多成分の放出物質を考慮した多くの研究では kilonova の方向依存性や異なる放出成分間での輻射輸送による効果が考慮されていない。我々は前回の研究で、これらの効果を正確に考慮して予測できる輻射輸送計算コードの開発に成功し、数値相対論シミュレーションの予言するセットアップの元で GW170817 の観測データの再現可能であることを示した。

今回はさらにこの研究を進め、方向依存性や異なる放出成分間での輻射輸送の効果を考慮した上で、GW170817 に付随した kilonova を説明できる放出物質のパラメータ領域を探る研究を行なった。具体的には、上記輻射輸送計算を放出物質のパラメータ領域について系統的に行い、ガウス過程回帰をベースにフィットすることで、幅広い放出物質のパラメータ領域で光度曲線を予測できるモデルを構築した。さらにこのモデルに基づいて、GW170817 に付随した近赤外線から可視光域の観測データから放出物質のパラメータ推定を行った。本講演ではこの結果と解釈について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W57a Kilonova 光度曲線への不安定核の核異性体の影響

藤本 信一郎 (熊本高専), 橋本 正章 (九州大学)

高密度連星合体に伴う Kilonova の (合体後数時間から数日における) 主要な熱源は 2nd peak 核へと崩壊する (安定核近傍の) 不安定核である (Metzger 等 2010). これらの核のいくつかには, β 崩壊半減期が大きく異なる核異性体 (isomer) が存在する. 例えば ^{125}Sn の基底状態, isomer の半減期はそれぞれ 9.6 日, 9.5 分である. 基底状態と isomer 間の励起エネルギーは 0.028MeV であるから, 数億 K 以上の状態では, 基底状態の ^{125}Sn は isomer に励起して, 半減期 9.5 分で ^{125}Sb に β 崩壊する. 従って isomer を考慮すると数億 K 以上の状態での半減期が実質的に数桁短くなり, 崩壊熱進化および Kilonova の光度曲線が変化することが予想される.

本研究では, 2nd peak 近傍核の isomer の Kilonova 光度曲線への影響を調査した. 基底状態とは半減期が大きく異なり, かつ励起エネルギーが 2MeV 以下である 9 核種 ($^{121,125,123,127}\text{Sn}$, $^{128,129}\text{Sb}$, $^{129,131}\text{Te}$, ^{134}I) の isomer を考慮し, 崩壊熱の時間発展を見積った. ただし上記 9 核種が常に isomer に励起されていると仮定した. 膨張速度 v_{ex} , 初期状態 (90 億度) の電子比 Y_e および放出質量 M_{ex} をパラメータとした等速密度進化モデル (Rosswog 等 2017) を用いて, 高密度連星合体放出ガスの物理量の時間発展を見積もった. M_{ex} は $0.03M_{\odot}$ に固定し, $v_{\text{ex}}/c = 0.05, 0.1, 0.2$ (c は光速) の 3 通り, $Y_e = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ の 5 通りに対して, isomer を考慮・未考慮の 2 つの場合に組成・崩壊熱進化を計算し, 以下のことを示した; (1) GW180718 で観測された Kilonova の Blue 成分に対応する $Y_e = 0.2 - 0.3$ の場合, isomer を考慮した上記 9 核種の組成が大きく, 合体から数時間から数日あたりの崩壊熱が減少する (特に $Y_e = 0.25$ の場合, 1 桁程度減少). (2) 主に $^{125,127}\text{Sn}$ の isomer の崩壊熱進化への影響が大きい. (3) (本研究では未考慮の) 基底状態・isomer 間の遷移を考慮しても結果は定性的には変わらないと予想される.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W58a RXTE 衛星が捉えた X 線バースター EXO 1745–248 のスーパーバースト終了直後の強い輝線構造

岩切渉 (中央大学/理研), 芹野素子 (青山学院大学), 牧島一夫 (東大/理研), 三原建弘 (理研)

中性子星の低質量 X 線連星系で起きる X 線バースト中では、高温かつ陽子に富んだ環境が実現されているため、陽子捕獲と β^+ 崩壊を繰り返す速い陽子の捕獲過程 (rapid proton capture process: 以下 rp 過程) による元素合成が起きているのではないかと考えられている。しかし、これまでに数多くの X 線バーストが検出されている一方で、rp 過程による重元素合成が起きている直接的な証拠は得られていない。そこで今回我々は、X 線バースターで稀に発生する、継続時間が数時間にも及び、通常の I 型 X 線バーストに比べて解放されるエネルギーが約千倍ほど大きいスーパーバースト現象に着目し、米の RXTE 衛星の公開データを用いて、スーパーバースト直後の X 線スペクトルにおいて重元素の崩壊に関連した構造が見られないかを調査した。その結果、EXO 1745–248 で発生したスーパーバーストの終了から約半日後の RXTE 衛星の観測データに、 ~ 6.5 keV 付近に広がった、等価幅にして ~ 2.8 keV という大強度の輝線構造を発見した。さらに RXTE 衛星による 2000 秒の観測時間の中で、連続成分の強度は変わらずに、輝線構造の強度のみが 20% ほど減少しており、17 時間後に行われた次の観測では確認されなかった。輝線構造が見られる 5 - 9 keV の帯域での光度曲線は有意に減衰しており、定数 + 指数関数で再現すると、その時定数は ~ 1 hour であった。スーパーバーストの直後に観測されたことと、急激に減衰しているという二点を踏まえると、この輝線構造は、rp 過程によって生成された不安定核の電子捕獲による崩壊との関連が考えられる。観測されたエネルギー帯域から単純に類推すると、主な起源は陽子過剰核の ^{55}Co 、放射が中性子星表面から出ていると仮定して、重力赤方偏移を考慮すると、 ^{61}Cu , ^{62}Zn が推察される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【X. 銀河形成】

3月15日（金）午前（10:18-11:30）[C会場]

X01a	10:18	Early dust enrichment in a Y-dropout galaxy at $z = 8.312$ revealed by ALMA observations of the far-infrared [O III] and dust emission 田村陽一（名古屋大学）
X02a	10:30	SHELLQs IV: クエーサー光度関数の決定/ $z = 7.07$ の新天体発見 松岡良樹（愛媛大学）
X03a	10:42	Detections of [OIII] $88 \mu\text{m}$ in Two Quasars in the Reionization Epoch Takuya Hashimoto (Osaka Sanyo University NAOJ)
X04b	10:54	$z \sim 4-6$ における AGN の電離放射と宇宙再電離への寄与 下館果林（東京大学）
X05b	10:54	ALMA Reveals an Extremely Compact Submillimeter Galaxy in the Early Universe 小山紗桜（新潟大学）
X06b	10:54	銀河の空間分解と星形成率の位置依存性 近藤千紘（名古屋大学）
X07b	11:06	The Subaru HSC Low-redshift Galaxy Clustering with Photometric Redshift 石川将吾（国立天文台）
X08b	11:06	HSC 撮像・SDSS 分光データで探る、銀河の衝突・合体によるクエーサー活動への影響 中野すずか（愛媛大学）
X09b	11:06	Investigation on Local Interacting Galaxies through Analysis of Star Formation Histories Kiyooki Omori (Nagoya University)
X10b	11:18	VLA-COSMOS 領域におけるクラスターリング進化 河野海（名古屋大学）

3月15日（金）午後（13:30-15:30）[C会場]

X11a	13:30	初代銀河の多波長輻射特性 II: 金属輝線強度と銀河進化の関係 荒田翔平（大阪大学）
X12a	13:42	すばる HSC によって発見された最遠赤色クエーサー候補の分析 加藤奈々子（愛媛大学）
X13a	13:54	Panchromatic Analysis for Nature of High- z galaxies Tool (PANHIT) 馬渡健（東京大学）
X14a	14:06	高精度初代銀河形成シミュレーション：初代星による多重超新星爆発の影響 安部牧人（筑波大学）
X15a	14:18	宇宙論的シミュレーションにおける銀河形態の ISM モデルに対する依存性 井上茂樹（Kavli IPMU/東京大学）
X16a	14:30	輝線赤方偏移測定についての将来展望：ALMA vs. JWST 井上昭雄（大阪産業大学）
X17a	14:42	Exploration of High Redshift Galaxies with Subaru/HSC CHORUS Survey 伊藤凌平（東京大学）
X18a	14:54	宇宙再電離期における暗いクエーサー周囲の電離状況 石本梨花子（東京大学）
X19a	15:06	紫外線スペクトルスロープ β と $H\beta$ 輝線等価幅を用いた星形成銀河の電離光子脱出率への制限 山中郷史（大阪産業大学）
X20a	15:18	Photometric and Spectroscopic Properties of Ly α Blobs at $z = 5-7$ Identified with Subaru HSC Haibin Zhang (The University of Tokyo)

（次頁に続く）

【X. 銀河形成】

3月16日(土) 午前(9:30-11:18) [C会場]

X21a	09:30	初代銀河におけるブラックホールの質量成長と超大質量ブラックホール形成 鄭昇明 (東北大学)
X22a	09:42	星間ガス中を運動する MBH へのガス降着及び力学摩擦過程に関する研究 豊内大輔 (京都大学)
X23a	09:54	準解析的モデルによる AGN 自己相関の研究 大木平 (Kavli IPMU)
X24c		Transonic outflow モデルにおける銀河風の遷音速および常亜音速流の存在可能性 永野裕太 (筑波大学)
X25a	10:06	星形成銀河からのアウトフローによる質量流束 五十嵐朱夏 (筑波大学)
X26a	10:18	$z = 5-6$ における星形成銀河のアウトフロー 菅原悠馬 (東京大学)
X27a	10:30	LAE fraction at $z \sim 3-6$ down to $M_{1500} \simeq -16.5$ mag probed by MUSE Haruka Kusakabe (The University of Tokyo)
X28a	10:42	赤方偏移 4 から 5 における原始銀河団とその周囲の大規模構造 利川潤 (東京大学)
X29a	10:54	Discovery of a $z = 4.7$ radio galaxy without an ultra-steep spectrum 山下拓時 (愛媛大学)
X30a	11:06	HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ における proto-Brightest Cluster Galaxy 探査 伊藤慧 (総合研究大学院大学 / 国立天文台)

3月16日(土) 午後(13:30-15:06) [C会場]

X31a	13:30	$z = 2.53$ の原始銀河団コアにおける星形成銀河の内部構造とその進化 鈴木智子 (東北大学/国立天文台)
X32a	13:42	$z \sim 2$ における原始銀河団コアの探索とメンバー銀河の性質 安藤誠 (東京大学)
X33a	13:54	ALMA twenty-six arcmin ² survey of GOODS-S at one millimeter (ASAGAO): Source catalog and number counts 廿日出文洋 (東京大学)
X34a	14:06	High-resolution mapping of molecular gas in starburst galaxies at $z \sim 1.6$ with ALMA Silverman, John (Kavli IPMU)
X35a	14:18	The star formation properties of merging galaxies at $z < 2.5$ and separations 3-15 kpc Andrea Silva (NAOJ)
X36a	14:30	低周波数観測が示唆する近傍銀河の物理的性質 吉田俊太郎 (名古屋大学)
X37a	14:42	Comparison of cosmological simulations and deep submillimetre galaxy surveys 青山尚平 (Academia Sinica (IAA))
X38a	14:54	Physical Properties of Emission-Line Galaxies with New Numerical Galaxy Catalogue (ν^2 GC) 小倉和幸 (文教大学)
X39c		可視面分光データで探る、銀河を構成する星の平均年齢分布 村田一心 (法政大学)

X01a Early dust enrichment in a Y-dropout galaxy at $z = 8.312$ revealed by ALMA observations of the far-infrared [O III] and dust emission

田村陽一, 竹内努, 浅野良輔, 須永夏帆 (名古屋大学), 馬渡健 (東京大/ICRR), 橋本拓也, 井上昭雄 (大阪産業大), E. Zackrisson, C. Binggeli (Uppsala), L. Christensen (Copenhagen/DARK), 松田有一, 松尾宏 (NAOJ), 清水一紘 (大阪大), 岡本崇 (北海道大), 吉田直紀, 甘日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 李民主 (MPE), 澁谷隆俊 (北見工業大), 谷口義明 (放送大), 梅畑豪紀 (理研), 太田一陽 (Cambridge)

We present the results from ultraviolet-to-far infrared (IR) spectral energy distribution (SED) modeling of a Y-dropout Lyman break galaxy at $z = 8.3118 \pm 0.0003$, MACS0416_Y1, in which we have recently detected the [O III] 88 μm line and rest-frame 90 μm dust continuum emission using ALMA. The observed 850 μm flux density of $137 \pm 26 \mu\text{Jy}$ corresponds to a de-lensed total IR luminosity of $L_{\text{IR}} = (1.7 \pm 0.3) \times 10^{11} L_{\odot}$, yielding a large dust mass of $4 \times 10^6 M_{\odot}$. The SED modeling where the [O III] emissivity model is incorporated suggests the presence of a young ($\tau_{\text{age}} \approx 4 \text{ Myr}$), star-forming ($\text{SFR} \approx 60 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$), moderately metal-polluted ($Z \approx 0.2Z_{\odot}$) stellar component with the mass of $M_{\text{star}} = 3 \times 10^8 M_{\odot}$. The SED fits reasonably account for the far-IR dust emission *if the dust mass pre-exists*, while it is yet to be assessed. An analytic dust mass evolution model with a single episode of star-formation reproduces neither the metallicity nor the dust mass in $\tau_{\text{age}} \approx 4 \text{ Myr}$. We find that a passively-evolved stellar component with $M_{\text{star}} \sim 3 \times 10^9 M_{\odot}$ and $\tau_{\text{age}} \sim 0.3 \text{ Gyr}$ reproduces the metallicity and dust mass without any substantial change in the SED shape, suggesting the presence of such a mature stellar component as the origin of dust.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a SHELLQs IV: クエーサー光度関数の決定 / $z = 7.07$ の新天体発見

松岡良樹 (愛媛大学)、Michael A. Strauss (Princeton U)、柏川伸成 (東京大学)、他 44 名

ビッグバンのおと 10 億年頃までの初期宇宙は、天文学の最後のフロンティアの 1 つである。「晴れ上がり」によって中性化した宇宙は、暗黒時代を経て生まれてくる何らかの初代天体からの強い放射によって、再び電離される。2000 年以降、この時代 (赤方偏移 $z \geq 6$) に 10 億太陽質量にも達する巨大ブラックホール (クエーサー) が相次いで発見され、大きな注目を集めることとなった。わずか 10 億年の間にこれほど大質量のブラックホールを作ることは一般には不可能であり、その形成の物理は未解明のままである。またブラックホールの成長に伴う高エネルギーのクエーサー放射は、宇宙再電離の有力な起源候補ともされるが、実際どれだけの電離光子密度を供給できるのかは分かっていない。これらの問題を解決するためには、なるべくビッグバンに近い時代まで遡ってクエーサーを検出し、その光度関数を正確に求めることが決定的に重要であるとされてきた。

私たちは 2014 年以降、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による SSP データを基礎として、初期宇宙のクエーサーに対する前例のない大規模探査を行ってきた。本講演ではその集大成として、2 つの大きな成果について報告する。1 つ目は、赤方偏移 $z = 6$ におけるクエーサー光度関数の決定である。光度関数は静止系紫外光度 -25 等付近から暗い側に向けて急激に水平化し、質量 / 放射効率の低い巨大ブラックホールの存在数が比較的少ないような進化の様子を示している。また光度関数の積分から、クエーサーは宇宙再電離を引き起こし得ないことも明らかとなった。2 つ目は、 $z = 7.07$ にあるクエーサーの発見である。この天体は人類の知る 3 番目に遠いクエーサーであるのみならず、既知の最遠クエーサー群に比べてブラックホール質量が 10 分の 1 程度しかなく、大量のガスに覆われた兆候も見られ、形成後の活発な成長途上にある天体を初めて捉えたものと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a Detections of [OIII] 88 μm in Two Quasars in the Reionization Epoch

Takuya Hashimoto^{1,2}, Akio K. Inoue¹, Yoichi Tamura³, Hiroshi Matsuo^{2,4}, Ken Mawatari⁵, and Yuki Yamaguchi⁵ (¹ Osaka Sangyo University, ² NAOJ, ³ Nagoya University, ⁴ SOKENDAI, ⁵ The University of Tokyo)

We present our recent results of Hashimoto et al. (2018c). With the Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA), we report detections of the far-infrared (FIR) [OIII] 88 μm line and the underlying dust continuum in the two quasars in the reionization epoch, J205406.48-000514.8 (hereafter J2054) at $z = 6.0391 \pm 0.0002$ and J231038.88+185519.7 (hereafter J2310) at $z = 6.0035 \pm 0.0007$. The [OIII] luminosity of J2054 and J2310 are $L_{[\text{OIII}]} = 6.8 \pm 0.6 \times 10^9 L_{\odot}$ and $2.4 \pm 0.6 \times 10^9 L_{\odot}$, corresponding to $\approx 0.05\%$ and 0.01% of the total infrared luminosity, respectively. Combining these [OIII] luminosities with [CII] 158 μm luminosities in the literature, we find that J2054 and J2310 have the [OIII]-to-[CII] luminosity ratio of 2.1 ± 0.4 and 0.3 ± 0.1 , respectively, the latter of which is the lowest among objects so far reported at $z > 6$. The high (low) luminosity ratio in J2054 (J2310) would be due to its stronger (weaker) UV stellar radiation field as implied from the high (low) dust temperature heated by star-formation activity, 50 ± 2 K (37 ± 1 K), which is estimated from the FIR spectral energy distribution.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X04b $z\sim 4-6$ における AGN の電離放射と宇宙再電離への寄与

下館果林 (東京大学)、他 HSC project 319

ビッグバン後、宇宙の膨張とともに中性化した銀河間物質は、 $z\sim 6-10$ で再び電離した。この宇宙再電離は宇宙初期の電離放射により引き起こされたと考えられるが、その電離放射源の正体は明らかになっていない。最近まで、再電離への寄与は星形成銀河がもたらす電離放射が主で、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は個数密度が少なくほとんど寄与しないものと考えられていた (e.g. Masters et al. 2012)。しかし暗い AGN が観測されるようになり、AGN が再電離に大きく寄与している可能性が指摘された (Giallongo et al. 2015)。一方で暗い AGN の測定誤差 (特に系統的誤差) は大きく、AGN の正確な寄与はわかっていない。

本研究では COSMOS 領域における $z\sim 4-6$ の AGN 紫外光度関数を求める。AGN 候補天体は HSC-SSP 探査で得られた $z\sim 4-6$ のドロップアウトカタログ (Ono et al. 2018) から次の2つの条件をもとに選択した。1つ目の条件は HST ACS の I バンドデータで点源であることとした。2つ目の条件は多波長測光データ ($0.4\mu\text{m}-8.0\mu\text{m}$) (Laigle et al. 2016) を用いた SED フィッティングから、AGN の特徴的なスペクトルが見られることとした。ここでは銀河・AGN フィッティングコードである CIGALE (Noll et al. 2009) を用いた。このようにして得られた AGN 候補天体から紫外光度関数を求めた。これに過去の研究で得られた電離光子脱出率 (Grazian et al. 2018) を合わせて水素原子の電離率 (Γ_{-12}) を計算した。その結果 $z\sim 4$ で $\Gamma_{-12}\sim 0.17$ となった。この値は、電離背景放射に対し AGN が $z\sim 4$ において $\sim 20\%$ 程度寄与することを意味する。当日は $z\sim 5-6$ の結果についても電離背景放射に対する AGN の寄与を議論する。特に $z\sim 6$ の結果から宇宙再電離に対する AGN の寄与について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X05b ALMA Reveals an Extremely Compact Submillimeter Galaxy in the Early Universe

小山紗桜 (新潟大学), 伊王野大介, 但木謙一, 泉拓磨, 川邊良平, 松田有一, 中西康一郎, 植田準子, 道山知成, 安藤未彩希 (国立天文台), Yun M.S., Wilson G.W. (University of Massachusetts), Aretxaga I., Hughes D. (INAOE), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 五十嵐創 (University of Groningen), 李民主 (MPE), 田村陽一 (名古屋大学), 斉藤俊貴 (MPIA), 梅畑豪紀 (理研)

遠方宇宙には爆発的に星形成を行なっている銀河 (サブミリ波銀河: SMG) が存在する。その中でも特に活発に星形成を行うものは $1000 M_{\odot}/\text{yr}$ を超える星形成率を示し、近傍宇宙の星形成銀河の性質とは大きく異なる。SMG の性質について理解を深めることは、衝突合体や宇宙の大規模構造に沿った質量降着など、銀河がどのようにして質量を獲得し成長していくのか、銀河の形成・進化を理解する上で重要である。しかし、星形成のプロセスや空間分布の詳細については、ALMA でようやくその描像が明らかになりつつあるが、まだ未解決問題として残っている。この問題を解決するためには、SMG を非常に高い分解能で観測し細部を研究する必要がある。

本研究では、COSMOS 領域に存在する SMG AzTEC8 について、ALMA を用いて $<0.05''$ という高解像度でダストの観測を行い、AzTEC8 の空間構造を解明することを目的とした。その結果、星形成を行っている領域は数百 pc と非常にコンパクトであり、銀河の中央付近には複数のクランプが存在することがわかった。また、各クランプでは Maximum Starburst ($\sim 1000 M_{\odot}\text{yr}^{-1}\text{kpc}^{-2}$) に近いスピードで星形成が行われていることもわかった。本講演では、これらの一連の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X06b 銀河の空間分解と星形成率の位置依存性

近藤千紘, 下山響, 依田萌, 竹内努 (名古屋大学)

銀河の星形成率はその形態や環境によって異なり、同一の銀河内でも位置によって星形成率は変化する。またダストもその種類、量、サイズ分布が位置によって異なり、その依存性も星形成率やスペクトルエネルギー分布 (SED) に反映される。一方、銀河全体で積分した物理量間の関係、いわゆるスケーリング則も多様なものが知られており、これを規定する素課程の解明が待たれている。本研究では、近傍銀河のサンプルを空間分解し、星形成率の位置依存性を求めた。この星形成率マップを元に、銀河の星質量との関係、減光量と星形成率の関係、そして星質量と減光量との関係を求めた。これらは先行研究では銀河のグローバルな関係として求められていたものである (e.g., Brinchmann et al. 2004; Takeuchi et al. 2012; Garn & Best 2010)。

この結果から、グローバルなスケーリング則の出現する空間的スケールに与えられる制限について議論する。近傍銀河のサンプルは Herschel Reference Survey (HRS; Boselli et al. 2010) および DustPedia (Clark et al. 2018) から、紫外線から赤外線までの観測バンドがなるべく揃っており、face-on に近い銀河をセレクトすることで構成した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07b The Subaru HSC Low-redshift Galaxy Clustering with Photometric Redshift

石川 将吾 (国立天文台)、柏川 伸成、利川 潤 (東京大学)、田中 賢幸、浜名 崇 (国立天文台)、内山 久和 (総合研究大学院大学) HSC-SSP Project 179 members

銀河は宇宙の大規模構造を構成する最小単位であり、銀河の分布は直接観測することができない背後のダークマター分布をよくトレースすることが知られている。本研究では、現在すばる望遠鏡により行われている超広視野撮像カメラ (HSC) による戦略的宇宙探査計画 (HSC サーベイ) により取得されたデータをもとに、 $0.3 < z < 1.4$ に存在する銀河とその形成現場であるダークマターハロー (DMH) との共進化やそのバリオン物理依存性について調べた。

5色の深い撮像データと Bayesian 統計により推定された高精度な撮像赤方偏移 (Tanaka et al. 2015)、また HSC サーベイの広大な探査領域により、我々は $0.3 < z < 1.4$ に存在する 6,039,024 天体もの大規模銀河サンプルの構築に成功した。これは他の大規模撮像サーベイ (e.g., Dark Energy Survey) と比較しても膨大な過去最大の銀河サンプルであり、これを用いて我々は高精度なクラスタリング解析/halo occupation distribution 解析により銀河の存在する DMH の性質、またその赤方偏移依存性や銀河のバリオン物理依存性について明らかにした。

DMH 内で最も大きい中心銀河の周りに存在する衛星銀河は $M_* \sim 10^9 M_\odot$ のような低質量であっても $0.3 < z < 1.4$ においては総存在量の高々20%程度であり、一方で高質量銀河は $z \gtrsim 1$ においては急速に、 $z < 1$ においては緩やかに減少していくことが判明した。また DMH 内における銀河形成効率を DMH 質量の関数として表した星・DMH 質量比は Behroozi et al. (2018) による大規模数値シミュレーションと比較したところ低質量側においては良く一致したが、一方で高質量側ではシミュレーション予測からの微弱な超過が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X08b HSC 撮像・SDSS 分光データで探る、銀河の衝突・合体によるクエーサー活動への影響

中野すずか, 松岡良樹, 石野亨, 佐衛田祐弥, (愛媛大学)

クエーサーや活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) がどのように発現するのかは、未だ解明されていない問題である。現在では有力な仮説の1つとして、銀河が衝突・合体する際に、銀河中心のブラックホールが周囲の大量のガスを飲み込むことでクエーサーや AGN が発現するとされている。このためクエーサーの母銀河の詳細な解析が、クエーサー発現のメカニズム、銀河衝突・合体によるクエーサー活動への影響を探る上で重要となってくる。しかし、クエーサーの中心核からの放射が卓越しているため、そのままでは母銀河の形態をみるのが難しい。

我々はこの問題に取り組むため、 $z < 1$ の SDSS クエーサー 748 天体に対し、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の撮像データを用いて、個々のクエーサー母銀河の衝突・合体の兆候の有無について調べた。PSF モデルとセルシックモデルを組み合わせたモデルで、クエーサーと母銀河の分離を行い、母銀河のみの画像を作成した。作成した画像から、衝突・合体の兆候があるものとならないもので分類することで、 $z < 1$ のクエーサーと母銀河の関係について調査した。さらに、衝突・合体の兆候の有無によって SDSS のスペクトルにどのような違いが現れるのかについて調査した。本講演では、これまでに得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09b Investigation on Local Interacting Galaxies through Analysis of Star Formation Histories

Kiyoaki Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

Galaxy interactions are a very fundamental process when discussing galaxy formation and evolution, but many processes that occur during interactions are not fully understood, and quantitative studies are not trivial. This work aims to aid our understanding of galaxy interactions by investigating properties of local interacting galaxies. In particular, this work focuses on the star formation histories of interacting galaxies, so we can draw a more detailed picture of a galaxy's evolution. In this stage of the work, local interacting galaxies from SDSS Data Release 14 within redshift $0.005 < z < 0.1$, identified through the Galaxy Zoo Project (Darg et al. 2009), were analyzed. Using the SED fitting code FIREFLY (Wilkinson et al. 2017), the quantitative formation histories of each galaxy were obtained. By analyzing the star formation history in conjunction with galaxy properties such as galaxy colour and merging stage, more detailed histories of interacting galaxies were able to make clear. It can be seen that galaxies that seem to be showing visual characteristics of ongoing merging are, in general, bluer in colour and undergoing recent strong bursts of star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10b VLA-COSMOS 領域におけるクラスタリング進化

河野海, 竹内努 (名古屋大学)

銀河は、初期揺らぎから形成されたダークマターハローが更に衝突合体を繰り返して成長した高密度領域中で形成されたと考えられている。ダークマターハローと天体形成との関連については、銀河の相関関数とバイアスパラメータに対する解析から示唆を得ることができる。また、銀河と活動銀河核のクラスタリングの比較から、銀河中心に存在するブラックホール成長の環境への依存性を明らかにすることができる。

本研究では、VLA-COSMOS サーベイ (Smolčić et al. 2017) によって得られた $0.1 < z < 5$ における星形成銀河と活動銀河核サンプルに対して、銀河種ごとに角相関関数の導出と、その赤方偏移依存性を調べた。その結果、近傍の角相関関数の強度 A については、 $\log A_{\text{SFG}} = 2.5$, $\log A_{\text{AGN}} = 2.3$, バイアスパラメータは、 $b_{\text{SFG}} = 1.6$, $b_{\text{AGN}} = 2.0$ であり、高赤方偏移側ではバイアスに増加傾向がみられた。また、活動銀河核については降着モードについても分類して解析を行った。本公演では加えて、これらの天体を起源とする宇宙電波背景放射のモデル化に対する結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X11a 初代銀河の多波長輻射特性 II: 金属輝線強度と銀河進化の関係

荒田 翔平 (大阪大), 矢島 秀伸 (筑波大), 長峯 健太郎 (大阪大)

宇宙初期の銀河 ($z > 6$) から放射される $[\text{OIII}]_{88}$ や $[\text{CII}]_{158}$ などの金属輝線はサブミリ波長帯にあり、近年 ALMA 望遠鏡を用いて次々と検出され始めている。金属輝線は初代銀河の性質を調べるうえで有用なプローブであるが、その強度と銀河進化の関係は未だ明確になっていない。我々は宇宙論的流体計算と多波長輻射輸送計算を組み合わせ、 $z = 6 - 15$ の銀河進化と輻射特性を調べた。初代銀河では超新星爆発フィードバックにより星形成が間欠的に進む。それに伴い、 $z < 10$ では電離光子の脱出率が $1 - 60\%$ の間で変動することが分かった。電離領域の大きさが変化することで金属輝線強度も変動する。ハロー質量が $10^{11} M_{\odot}$ ($10^{12} M_{\odot}$) の銀河ではスターバーストフェイズにおいて $L_{[\text{OIII}]} \sim 10^{41}$ (10^{43}) erg s^{-1} となり、これは近年の ALMA 観測で見つかった $z > 7$ の星形成銀河をよく再現する。また、 $\lesssim 10^{-4} \text{ mJy beam}^{-1}$ の高感度な $[\text{CII}]$ 観測によって $\sim 20 \text{ kpc}$ に広がった中性ガスの分布をトレースできることが分かった。今回の我々のシミュレーションにより、 $[\text{OIII}]$ と $[\text{CII}]$ の観測を組み合わせる事によって星間ガスの多相構造やスターバーストフェイズからアウトフローフェイズへの遷移過程を明らかに出来ることが示された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X12a すばる HSC によって発見された最遠赤色クエーサー候補の分析

加藤奈々子, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

赤色クエーサー (red quasar) とは、ダストに覆われて赤く見えるクエーサーのことで、その起源は未だ明確にされていない。クエーサーを発現させた銀河の衝突・合体に伴い生成されたダストが晴れ上がる過程が赤色クエーサーとして観測されるとも考えられるため、赤色クエーサーの起源を明らかにすることは、クエーサーやその母銀河の進化を理解する上で重要である。これまでに赤色クエーサーは、ダストによる減光の影響が少ない赤外線や電波、X線による選出で発見されてきたが、 $z \sim 6$ を超えるような高赤方偏移帯では見つかっていない。もし高赤方偏移帯に赤色クエーサーが存在していれば、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成などを探る上でも有用なツールとなり、新たな知見を得られることが期待される。

我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略的サーベイデータを用いて、高赤方偏移クエーサーを探索するプロジェクト (Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars : SHELLQs) を推進している。この探索により、80 天体以上の高赤方偏移 ($z > 5.7$) クエーサーが現在までに発見されてきた。そこで我々は、SHELLQs で見つかったクエーサーから赤色クエーサー候補を選出するため、WISE データとのマッチングを行った。また、WISE で検出された SHELLQs クエーサー 3 天体を赤色クエーサー候補とし、クエーサーと銀河のテンプレートを用いた SED フィッティングを行った。本講演では、この解析から得られた最新の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a Panchromatic Analysis for Nature of High-z galaxies Tool (PANHIT)

馬渡健 (大阪産業大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 山中郷史 (大阪産業大学), 橋本拓也 (大阪産業大学), 田村陽一 (名古屋大学)

We have developed a new SED fitting tool which are specialized for frontier redshift galaxies. It is a common case for high-z galaxies that the available data are restricted to rich optical to near-infrared photometry and few far-infrared (FIR) data deep enough to detect the faint object (e.g., HST/WFC3 + Spitzer/IRAC + ALMA). In such situation, one cannot perform a complicated modeling of dust emission in FIR regime unlike low-z cases (e.g., da Cunha et al. 2008). We then adopt simple treatment for the dust emission using empirical LIRG templates (Rieke et al. 2009). Instead, we adopt a sophisticated and physically motivated modeling for stellar and nebular emission parts in rest-frame UV-to- optical regime. Our new code fits not only broad band photometry but also spectral emission line flux. There is an option of two-components-fit, where we can fit observed SED with two templates with different physical properties. The new code, PANHIT, is now in public. In this presentation, we show details of our modeling and its application to the high-z frontier galaxies (Hashimoto et al. 2018a,b, Tamura et al. 2018, Mawatari et al. in prep).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14a 高精度初代銀河形成シミュレーション：初代星による多重超新星爆発の影響

安部牧人、矢島秀伸 (筑波大学)、Sadegh Khochfar (University of Edinburgh)、Claudio Dalla Vecchia (Instituto de Astrofísica de Canarias)、大向一行 (東北大学)

現在の標準パラダイムである階層的構造形成シナリオによれば、初代銀河は初代星を形成したミニハローの合体を経て形成される。従って、初代銀河の性質は初代星の超新星爆発 (SN) によるフィードバックや重元素放出、輻射フィードバックなどの効果を反映したものになると考えられる。これらの効果を詳細に議論するため、我々は個々のミニハローを分解した高精度の宇宙論的流体力学計算を実行し、赤方偏移 9 における質量 $10^{8-9} M_{\odot}$ の初代銀河の形成過程について調べた。初代星の初期質量関数 (IMF) として Salpeter-like IMF を仮定したところ、超新星爆発は core-collapse SNe (CCSNe) が支配的となり、SNe によって吹き飛ばされた metal-rich なガスは ~ 100 Myr のタイムスケールでリカバーされ、初代銀河は赤方偏移 $\sim 12-15$ の時期に種族 II の星形成を開始することがわかった。一方、top-heavy IMF では pair-instability SNe (PISNe) の発生率が高くなるため、初代銀河中の星形成やガスのリカバーを妨げ、結果として種族 II の星形成開始時期が遅れることを示した。また初代星が放射する紫外線 (Lyman-Werner photon) は、近傍の初代星形成を抑制し、超新星爆発のフィードバックが非効率となるため、初代銀河の gas fraction を増加させる効果があることがわかった。講演では、本研究の初代銀河形成モデルについて紹介するとともに、*James Webb Space Telescope (JWST)* などの次世代観測機器を用いた初代銀河の観測可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15a 宇宙論的シミュレーションにおける銀河形態のISMモデルに対する依存性

井上 茂樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構 / 東京大学)

遠方宇宙の形成期の円盤銀河では、ジャイアントクランプと呼ばれる巨大な星団を保持している銀河が観測されている。しかし、宇宙論的シミュレーションによる再現においては結果は研究ごとで様々である。例えば、多くの銀河でクランプ構造は形成され、十分に重いものは銀河中心に落ちるまで円盤内に存在し続けるとする結果 (Mandelker et al. 2017 など) が報告されているが、その一方で、クランプ構造は星からのフィードバック効果によって成長を阻害され、潮汐作用によってすぐに崩壊するとする研究 (Genel et al. 2016 など) や、クランプ構造は星形成率の分布や紫外線強度の分布においてのみ存在するように見えるだけであるとする研究 (Buck et al. 2016) なども報告されている。こうした宇宙論的シミュレーションにおける結果の相違は、シミュレーション中の超新星爆発などのフィードバック効果の強さによって生じていると考えられてきた。

しかし宇宙論的シミュレーションの多くでは星形成ガスにISMモデルを適用し、人為的に状態方程式を与えているものも多い。本研究では銀河形態やクランプ形成の、ISMモデルへの依存性を調べた。結果、クランプ構造の形成は仮定されたISMモデルに大きく依存することが分かった。しかし、銀河全体の星形成率、星質量、円盤の角運動量などはこうしたISMモデルにはほとんど依存せず、どの場合でも観測に概ね一致する銀河を再現する。つまり、現在のシミュレーションの正当性の根拠となっているこれらの観測値との一致性においては、どのISMモデルも棄却されず、どのモデルが適切であるかが検証されていないことを意味している。今後の宇宙論的シミュレーションにおいては、クランプ構造の存在度などを用いて、個々の銀河の形態までも一致させるように、フィードバックおよびISMモデルを決定する必要があると思われる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16a 輝線赤方偏移測定についての将来展望：ALMA vs. JWST

井上昭雄（大阪産業大学）

最遠方の天体の観測は、それ自体がシンプルにフロンティアに行くものであるのに加えて、その時代までに観測可能なほど明るい天体が形成しているということの直接証拠となるため、宇宙の構造形成論に制限を課することができる点で重要な意義を持つ。一般的に遠方天体を発見する手法としてライマンブレイク法が確立しており、ハッブル宇宙望遠鏡を用いた深宇宙探査により赤方偏移 $z \sim 10$ の銀河候補がすでに多数報告されている。しかし分光確認されるまではこれらの天体はあくまで「遠方銀河候補」であり、輝線検出や $\text{Ly}\alpha$ ブレイクの検出によって分光赤方偏移が確定して初めて「遠方銀河」と認定されることになる。私たちのグループは、このような遠方銀河候補の $[\text{O III}] 88\mu\text{m}$ 輝線観測を ALMA で進めており、幸いにも、輝線赤方偏移の最遠方記録を更新した (Hashimoto et al. 2018)。さて本講演では、ALMA は果たしてどのくらいの赤方偏移まで $[\text{O III}] 88\mu\text{m}$ 輝線を検出できるのか検討した結果を報告する。併せて、JWST による紫外線の輝線検出と比べてどちらが有利なのか検討した結果も報告する。仮に星形成率を $(20/\mu) M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ の銀河を想定してみる。ここで、 μ は重力レンズ効果による増光率とする。観測時間は 10,000 秒と仮定する。この場合、ALMA は赤方偏移 $z = 20$ 程度まで $[\text{O III}] 88\mu\text{m}$ 輝線を $S/N > 5$ で検出できることが分かった。また、JWST/NIRSpec による $[\text{C III}] 1909$ 輝線検出もほとんど同じような感度を達成できることが分かった。一方、ALMA は空間分解能および波長分解能で JWST に比べて大きなゲインがある。したがって、ALMA では、輝線検出に加えより詳細な形態運動学も可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X17a Exploration of High Redshift Galaxies with Subaru/HSC CHORUS Survey

Ryohei Itoh, Masami Ouchi, Haibin Zhang, Akio K. Inoue, Ken Mawatari, Takatoshi Shibuya, Yuichi Harikane, Yoshiaki Ono, Haruka Kusakabe, Kazuhiro Shimasaku, Seiji Fujimoto, Ikuru Iwata, Masaru Kajisawa, Nobunari Kashikawa, Satoshi Kawanomoto, Yutaka Komiyama, Chien-Hsiu Lee, Tohru Nagao, and Yoshiaki Taniguchi

We present the Ly α luminosity function (LF) derived from 34 Ly α emitters (LAEs) at $z = 7.0$ on the sky of 3.1 deg^2 , the largest sample compared to those in the literature obtained at a redshift $z \gtrsim 7$. The LAE sample is made by deep large-area Subaru narrowband observations conducted by the Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS) project. The $z = 7.0$ Ly α LF of our project is consistent with those of the previous DECam and Subaru studies at the bright and faint ends, respectively, while our $z = 7.0$ Ly α LF has uncertainties significantly smaller than those of the previous study results. Exploiting the small errors of our measurements, we investigate the shape of the faint to bright-end Ly α LF. We find that the $z = 7.0$ Ly α LF shape can be explained by the steep slope of $\alpha \simeq -2.5$ suggested at $z = 6.6$, and that there is no clear signature of a bright-end excess at $z \simeq 7$ claimed by the previous work, which was thought to be made by the ionized bubbles around bright LAEs whose Ly α photons could easily escape from the partly neutral IGM at $z \simeq 7$. In our program, we have identified a remarkable overdensity at $z = 7$ (z7OD), whose three brightest members are already spectroscopically confirmed as LAEs at $z = 6.936$, 6.922 , and 6.931 . We discuss the future observation plans to reveal the nature of the z7OD and its role in understanding the topology of the cosmic reionization.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X18a 宇宙再電離期における暗いクエーサー周囲の電離状況

石本梨花子 (東京大学)、柏川伸成 (東京大学)、松岡良樹 (愛媛大)、尾上匡房 (MPIA)、泉拓磨 (国立天文台)、ほか HSC project 93 メンバー

宇宙再電離は銀河間空間の電離状態が大きく変わる初期宇宙の一大イベントであるが、いつ、何か、どのように引き起こしたのか、は完全に理解されていない。観測的に宇宙再電離を定量化する手法の1つにクエーサーのスペクトルの near-zone size を測る方法がある。これはクエーサー近傍の電離バブルの半径だと考えられるが、クエーサーの光度と周囲の中性度に依存し、同時にクエーサーの年齢にもよる。これまでの研究では比較的光度の高いクエーサーについてのみ、この near-zone size が測られてきた。

われわれは、すばる望遠鏡で新たに見つけた、これまでよりも暗いクエーサーのスペクトルを用いて near-zone size の測定を行った。まずは、静止系赤方偏移が精度よく決定されているサンプルについて near-zone size を測定し、クエーサーの明るさや赤方偏移の依存性を調べ、先行研究と比較した。同時に LyA でしか赤方偏移が決定していないサンプルについても、誤差は大きいものの平均的な静止系赤方偏移との差異からおおよその near-zone size を測定した。本講演では、これまで調べられてきた明るいクエーサーの周囲の環境や年齢との差異について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a 紫外線スペクトルスロープ β と $H\beta$ 輝線等価幅を用いた星形成銀河の電離光子脱出率への制限

山中郷史 (大阪産業大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 山田亨 (宇宙航空研究開発機構), 岩田生 (国立天文台), Erik Zackrisson (Uppsala University), Genoveva Micheva (AIP), 久保真理子 (国立天文台), 馬渡健 (宇宙線研究所), 橋本拓也 (大阪産業大学), 大塚拓也 (東北大学), 木村勇貴 (東北大学)

宇宙再電離とは過去に宇宙を満たしていた中性水素ガスが再び電離された現象のことを指し、およそ赤方偏移 6 までに完了したとされている。宇宙再電離に寄与した天体を明らかにすることは、銀河の形成と進化という観点からも非常に重要である。鍵となるパラメータの 1 つが、星形成銀河から電離光子 ($\lambda_{\text{rest}} < 912\text{\AA}$) がどの程度脱出したのかを表す電離光子脱出率である。電離光子脱出率は銀河から放射された電離光子を直接検出することで見積もることができる。しかし、電離光子は銀河間物質中の中性水素ガスによって大きく吸収される。このため、赤方偏移 5 以上の銀河については電離光子を直接検出することが不可能であるとされている。宇宙再電離期の銀河について電離光子脱出率を見積もるためには、直接検出以外の手法を確立する必要がある。

電離光子脱出率を見積もる新しい手法として β -EW($H\beta$) 法が Zackrisson+13 にて提唱された。本手法を James Webb Space Telescope と組み合わせることで、宇宙再電離期における星形成銀河の電離光子脱出率を間接的に見積もることが可能となる。そこで我々は、電離光子が直接観測されている赤方偏移 3 の星形成銀河に対して適用し、本手法の妥当性を検証した。Keck/MOSFIRE を用いた分光観測により複数の天体から輝線を検出し、6 天体からは $H\beta$ 輝線を検出した。撮像観測データと合わせることで、紫外線スペクトルスロープ β と $H\beta$ 輝線等価幅を見積もった。本講演では、 β -EW($H\beta$) 図を示し、その結果と今後の展望について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20a Photometric and Spectroscopic Properties of Ly α Blobs at $z = 5 - 7$ Identified with Subaru HSC

Haibin Zhang, Masami Ouchi, Ryohei Itoh, Takatoshi Shibuya, HSC CHORUS and Project 190 members

Ly α blobs (LABs) are very luminous ($\log(L_{\text{Ly}\alpha}/[\text{erg s}^{-1}]) \gtrsim 43.4$) and spacially extended Ly α emitters (LAEs). We have analyzed the HSC CHORUS narrowband imaging data with the HSC SSP broadband imaging data, and newly identified 2 LABs at $z = 4.9$ and 7.0 , the latter of which marks the most distant extended Ly α source found to date. We combine our 2 LABs and the previously-known 5 LABs at $z = 5.7$ and 6.6 with the HSC data, and study statistical properties of the LABs at $z = 5 - 7$. We conduct careful point spread function (PSF) matching, and obtain the surface brightness profiles of Ly α emission. Our two-component exponential profile fitting shows that the best-fit parameters of the core and halo radii fall in the extrapolation of the Ly α radius-luminosity relation found in the diffuse Ly α halos of LAEs ($\log(L_{\text{Ly}\alpha}/[\text{erg s}^{-1}]) \sim 42 - 43$) identified by VLT/MUSE surveys. We find that our LAB at $z = 4.9$ has a strong CIV1548 emission line indicative of AGN. Spectroscopic data of our LABs exhibit a velocity gradient in Ly α , while the AGN LAB presents a large velocity width of Ly α emission. We compare these photometric and spectroscopic results with the numerical simulations, and discuss physical origins of the extended Ly α emission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X21a 初代銀河におけるブラックホールの質量成長と超大質量ブラックホール形成

鄭昇明 (東北大学)、細川隆史 (京都大学)、大向一行 (東北大学)

近年数多くの遠方クエーサーが観測され、宇宙が始まって7億年の時点ですでに $10^9 M_{\odot}$ を超える超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することがわかってきた。これらの SMBH の形成過程については未だ統一した見解が得られていない。有力な形成シナリオの一つとして、重たい種 BH ($\sim 10^5 M_{\odot}$) から出発する Direct Collapse (DC) モデルがある。我々はこれまで、DC モデルの予言する重たい種 BH が実際に初期宇宙において形成しうることを流体計算を用いて示した。このような BH は星形成銀河の近傍 (0.1 - 1 kpc) で形成されることもわかった。今回、我々は形成された BH が周囲のガスを降着することによりどのように質量成長するかを数値計算を用いて調べた。

計算の結果、形成された種 BH は近傍にある星形成銀河の中心に落ち込んでゆくことがわかった。中心に落ち込むタイムスケールは銀河周辺のガスや星との相互作用の強度によって決まる。具体的には星やガスとの力学的摩擦により運動エネルギーを失い、中心へ落ち込んでゆく。一度中心に落ち込んだのち、種 BH は銀河内に豊富に存在するガスを効率よく降着し、成長できると考えられる。本講演では BH の質量成長について長時間計算した結果を紹介する。特に種 BH が観測された SMBH に成長できるかを議論する。また、種 BH からのフィードバックが銀河の成長とどのように結びついているかについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X22a 星間ガス中を運動する MBH へのガス降着及び力学摩擦過程に関する研究

豊内大輔 (京都大学), 杉村和幸 (東北大学), 仲谷 峻平 (東京大学), 細川隆史 (京都大学), Rolf Kuiper (Tübingen Univ.)

現在計画中の次世代宇宙重力波望遠鏡 LISA では、銀河中心に存在する massive black hole (MBH) 連星からの重力波の観測が期待されている。そのような MBH 連星は銀河合体時に2つの銀河から持ち込まれたそれぞれの MBH が星間ガスからの力学摩擦によって銀河中心まで落ちていくことによって生まれると考えられている。MBH 連星の形成はこれまで銀河スケールの流体シミュレーションによって調べられてきたが、解像度が十分でなく、BH へのガス降着とそれに伴う輻射フィードバックの効果が十分に扱うことができていなかった。

本研究では詳細な2次元輻射流体シミュレーションを行い、銀河合体時を想定した dusty で高密度の星間ガスの中を移動する MBH へのガス降着および力学摩擦過程について調べた。結果として、ガス降着に伴う輻射フィードバックによって BH の進行方向前面に dense shell が形成され、その shell が BH を重力的に前方に加速させることがわかった。これはつまり星間ガスとの相互作用では MBH の軌道を減衰できないことを意味している。また星間ガスの金属量が増えると、dense shell に含まれる質量が小さくなり、結果として BH の前方への加速度が弱くなることもわかった。本発表ではこれらの輻射流体シミュレーションの結果に基づき、銀河中心 MBH 連星形成に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X23a 準解析的モデルによる AGN 自己相関の研究

大木平 (カブリ IPMU), 白方光 (北海道大学), 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), 石山智明 (千葉大学)

銀河の質量と、その中心に存在する超大質量ブラックホール (SMBH) の質量の間の強い相関関係は、両者が影響を与え合いながら成長してきたことを強く示唆している。しかし、SMBH の質量成長が、銀河の諸特性とどのように関係しているかは明らかになっていない。SMBH の成長における銀河の役割を明らかにすることができれば、宇宙論的な枠組みのもとで銀河と SMBH の形成・進化を統一的に理解することができる。活動銀河核 (AGN) のクラスタリングは、SMBH の形成過程や AGN 発現過程の観測的制限の一つであると考えられている。本研究では、SMBH へのガス供給過程として様々な過程を考慮した準解析的銀河形成モデルを構築し、AGN のクラスタリングを観測と比較することで、SMBH の成長において重要な過程は何かを検証する。

我々は、銀河同士の合体時及び、銀河円盤が力学的に不安定である時に、スターバースト、銀河中心へのガス供給が起きると仮定した。また、ガス降着によるブラックホール成長のタイムスケールは、ガスの角運動量損失のタイムスケールで制御されると考えた。我々のモデルは、 $0 \lesssim z \lesssim 6$ に渡り、観測される X -ray AGN の光度関数をよく再現する。このモデルを用いて、 X -ray AGN の自己相関関数を、赤方偏移ごと、AGN 光度ごとに調べた。その結果、モデルから予言される自己相関関数は、 $0 \lesssim z \lesssim 3$ に渡り、観測される X -ray AGN の自己相関をよく再現することが分かった。さらにモデルを解析した結果、質量差のある銀河の合体 (minor merger) が SMBH への支配的なガス供給過程であることがわかった。

以上の結果から、銀河と SMBH の共進化において、minor merger が重要な過程の一つであるといえる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24c Transonic outflow モデルにおける銀河風の遷音速および常亜音速流の存在可能性

永野裕太, 森正夫 (筑波大学), 新田伸也 (筑波技術大学)

銀河風はエネルギーやガスの輸送、銀河内での重元素循環や銀河間空間の重元素汚染といった、銀河の形成進化や銀河間空間の進化に対して重要な役割を担っている。我々は、現実的なダークマターハロー (DMH)/超大質量ブラックホール (SMBH) 重力場の下での銀河風の遷音速加速過程の研究を行ってきた (Tsuchiya et al. 2013, Igarashi et al. 2014, 2017)。その加速過程は超新星や恒星風などによって供給される熱エネルギーと銀河中心の SMBH や DMH による重力ポテンシャルの大小関係を表す無次元パラメーターによって決定され、遷音速流が最大エントロピーもしくは最小エネルギーの解であることを示した。

また我々は、銀河風の解析解の線形安定性について調べ、DMH の密度分布に依らず、常亜音速解は物理的には不安定であるが摂動の成長時間が宇宙年齢よりも長く実質的には安定であるという結果を得た (永野ら 2018 年秋季年会 X38a)。本研究では、常亜音速流の吹出す速度について、赤方偏移や DMH の密度分布、銀河の質量に対する依存性について解析を行った。その結果、赤方偏移が小さくなるにつれて常亜音速流として銀河風が吹出すことが難しくなり、低質量の銀河においてその条件はより厳しくなっていくことを示した。本講演では、行った解析とその結果の詳細を報告し、アウトフローが銀河の進化に及ぼす影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25a 星形成銀河からのアウトフローによる質量流束

五十嵐朱夏、森正夫 (筑波大学)、新田伸也 (筑波技術大学)

銀河から星間ガスが流出する銀河風は、銀河内外の進化過程に影響を与える重要な現象である。近年、金属の吸収線を用いた銀河からのアウトフローの観測的研究によって、銀河風の速度が星質量や星形成率と相関を持つことが明らかになってきた (Martin 2005; Weiner 2009; Martin 2012; Rubin et al. 2014; Heckman et al. 2015, 2016; Sugahara et al. 2017 etc)。銀河進化史を検討する上で、銀河風の質量流束 (ガス流出量) は重要な物理量であるが、観測的にそれを求めることはガス柱密度の大きな不定性を常に伴っている。

今回構築した球対称定常遷音速銀河風モデルでは、そのような不定性はなく、観測されたアウトフロー速度などの情報から質量流束を算出することができる。本研究では、Heckman et al. (2015, 2016) による 39 個の星形成銀河のアウトフロー速度観測から質量流束を算出した。その結果、質量流束と星形成率との比 (MLF) は、大質量銀河に比べて低質量銀河で大きいことがわかった。これは、低質量銀河では星形成に使われた量よりも多くの星間ガスが流出することを示す。また、得られた MLF を準解析的モデルや宇宙論的シミュレーションから予想される MLF と比較する。さらに、今回の結果から、星形成銀河で観測されるアウトフロー速度に放射冷却が与える影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26a $z = 5-6$ における星形成銀河のアウトフロー

菅原悠馬、大内正己、播金優一 (東京大学)、Nicolas Bouché、Jérémy Blaizot (CRAL)、Peter D. Mitchell (Leiden)

星形成銀河のアウトフローは星形成フィードバックを起こす主要因の一つであると考えられており、銀河進化を理解するための鍵である。アウトフローの重要な性質の一つであるアウトフロー速度は、これまで $z \lesssim 4$ の銀河について数多く調べられてきた。しかし、アウトフロー速度の決定には深い分光データと銀河の正確な赤方偏移が必要であり、これらを $z = 5-6$ で得ることは難しい。本講演では、これまでに得られた Keck 望遠鏡の深い可視スペクトルと、ALMA の [CII]158 μm 輝線観測で決定された赤方偏移を用いることで測定した、 $z = 5-6$ において星質量 $M_* \sim 10^{10.1} M_\odot$ を持つ星形成銀河のアウトフロー速度を報告する。まず銀河の可視スペクトルを合成して信号雑音比の大きなスペクトルを作成し、合成スペクトルの SiII λ 1260, CII λ 1335, SiIV λ 1394, 1403 吸収線を curve-of-growth に基づくプロファイルでフィッティングした。次に吸収線の深さが中心の深さの90%となる位置でアウトフロー最大速度 (v_{max}) を定義した。得られた v_{max} の大きさは平均的に $v_{\text{max}} = 760_{-100}^{+140} \text{ km s}^{-1}$ であり、低電離な吸収線と高電離な吸収線から求められたアウトフロー速度は、エラーの範囲内で一致した。 $M_* \sim 10^{10.1} M_\odot$ の銀河を比較すると、今回測定した $z = 5-6$ の v_{max} が $z \sim 0$ の v_{max} よりも2倍以上大きく、 $z \sim 2$ と同程度となる赤方偏移進化が見られた。また、星質量から推定したハローの回転速度 v_{cir} を使って v_{max} と v_{cir} の関係を調べた。その結果、 v_{cir} と v_{max} は $z = 0$ から6にわたって強い正の相関を示し、その関係は FIRE シミュレーションの予測とよく一致した。この正の相関はアウトフロー速度がハローの回転速度と物理的に関係していること、そして v_{max} の高赤方偏移への進化が v_{cir} の増加によって説明されることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27a LAE fraction at $z \sim 3-6$ down to $M_{1500} \simeq -16.5$ mag probed by MUSE

Haruka Kusakabe^{1,2}, Jeremy Blaizot³, Thibault Garel², Johan Richard³, Roland Bacon³, Hanae Inami³, Bruno Guiderdoni³, Takuya Hashimoto^{4,5}, and Alyssa Drake⁶. 1: The Univ. of Tokyo, 2: Observatoire de Genève, 3: CRAL, 4: Osaka Sangyo Univ., 5: NAOJ, 6: MPIA

The redshift (z) evolution of Ly α emitter (LAE) fraction among galaxies, $X(\text{LAE})$, has been used to probe the evolution of the HI gas fraction of the intergalactic medium (IGM) at the end of reionization. $X(\text{LAE})$ has been found to increase from $z = 3$ to 6, and to decrease at $z > 6$. However, uncertainties in the measurement of $X(\text{LAE})$ are still matters of debate (e.g., Stark et al., 2011; Tilvi et al., 2014; De Barros et al., 2017). In the last ASJ meeting (X42a), we have shown our $X(\text{LAE})$ with Ly α equivalent width larger than 25 Å and UV magnitude (M_{1500}) of -21.75 to -18.75 mag at $z \sim 3-6$ with MUSE data (e.g., Bacon et al., 2017; Inami et al., 2017). It is consistent with those in De Barros et al. (2017) and Haro et al. (2018) at $z \sim 4-6$, while it is lower than that in Stark et al. (2011) at $z \sim 4-5$. Recently, we find that the discrepancy does not arise from a difference in M_{1500} distribution between the samples. It possibly arises from the difference in the methods including completeness correction. In this talk, we discuss the possible origins of such discrepancy and interpret our $X(\text{LAE})$. We also show our $X(\text{LAE})$ as a function of M_{1500} down to an unprecedented depth, ~ -16.5 mag. We compare it with a cosmological galaxy evolution model in Garel et al. (2015) and discuss the implications for reionization.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X28a 赤方偏移 4 から 5 における原始銀河団とその周囲の大規模構造

利川潤 (東京大学)、Matthew A. Malkan (カリフォルニア大学)、柏川伸成 (東京大学/国立天文台)、Roderik Overzier (ブラジル国立観測所)、内山久和、石川将吾、伊藤慧 (国立天文台)、太田一陽 (京都大学)

銀河は周囲の環境からも強く影響を受けながら進化することが知られている。また、その環境自身も初期宇宙の僅かな密度ゆらぎから、近傍宇宙で見られる銀河団のような高密度環境へと大きく変化していく。従って、銀河進化と宇宙の大規模構造の形成を統一的に調べる必要があり、銀河団はこの2つの現象を繋ぐ重要な研究対象である。近傍の完成した銀河団のみならず、遠方宇宙に存在する形成途中の原始銀河団を観測することも、銀河進化と構造形成の関連性を理解するためには不可欠である。本研究では、Toshikawa et al. (2016, ApJ, 826, 114) で同定された原始銀河団候補のうち、特に赤方偏移 4 と 5 の候補に対して分光追観測を Keck/DEIMOS を用いて行い、 $z = 4.898, 3.834, 3.721$ の3つの原始銀河団を発見した。特に $z = 3.721$ の原始銀河団は既に発見されている $z = 3.675$ の原始銀河団と同じ天域に存在し、両者の距離はわずか $\Delta z = 0.05$ の原始銀河団ペアであることがわかった。宇宙の大規模構造の中でも超銀河団のような非常に稀な領域であると考えられる。この2つの原始銀河団のメンバー銀河の3次元分布を調べると、片方は円盤状に銀河が分布しているのに対して、もう一方はフィラメント状に分布していた。これはそれぞれが銀河団形成の異なる段階であることが原因ではないかと考えている。発見された他の2つの原始銀河団についても、小さな銀河グループが原始銀河団に付随していることが見つかった。本講演では原始銀河団銀河の3次元分布やさらに大きなスケールでの構造の観点から原始銀河団の特徴を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29a Discovery of a $z = 4.7$ radio galaxy without an ultra-steep spectrum

Takuji Yamashita¹, Tohru Nagao¹, Hiroyuki Ikeda², Yoshiaki Ono³, Masayuki Akiyama⁴, Yuichi Harikane³, Kohei Ichikawa⁴, Masaru Kajisawa¹, Chien-Hsiu Lee⁵, Yoshiki Matsuoka¹, Tomoki Morokuma⁶, Mana Niida¹, Kazuyuki Ogura⁷, Masafusa Onoue⁸, Masayuki Tanaka², Yoshiki Toba⁹, Hisakazu Uchiyama¹⁰, and the WERGS collaboration (¹ Ehime U., ² NAOJ, ³ ICRR/U. of Tokyo, ⁴ Tohoku U., ⁵ NOAO, ⁶ IoA/U. of Tokyo, ⁷ Bunkyo U., ⁸ MPIA, ⁹ Kyoto U., ¹⁰ Sokendai)

We will present the discovery of $z = 4.7$ radio galaxies without using the ultra-steep spectrum (USS) method, but using the Lyman break technique with Subaru HSC images for HSC counterparts of VLA FIRST sources. HzRGs are essential objects to study radio luminosity functions in the early universe, which allow us to understand the cosmic evolution of AGNs and galaxies. However, HzRGs are declined to high- z , and thus the number of known HzRGs are quite small. Moreover, our method does not require the ultra-steep spectral indices in the radio and provide us more uniform radio galaxy sample in high- z universe. Our survey for HzRGs, part of a Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS) project (Yamashita et al. 2018), employed the Lyman break technique for HSC counterparts of FIRST radio sources. The follow-up optical spectroscopy with Gemini/GMOS presents a clear Lyman alpha emission line and a Lyman break feature at $z = 4.7$. This discovery of the non-USS HzRG demonstrates the feasibility of our on-going survey for HzRGs without the bias of radio spectral indices.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X30a HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ における proto-Brightest Cluster Galaxy 探査

伊藤慧 (総合研究大学院大学/国立天文台), 柏川伸成, 利川潤 (東京大学), 田中賢幸, 久保真理子, 石川将吾 (国立天文台), 尾上匡房 (MPIA), 内山久和, Yongming Liang (総合研究大学院大学), 他 HSC-SSP Project96

Brightest Cluster Galaxy (BCG) は銀河団中における特異的に明るい銀河である。近傍宇宙においては他の銀河に比べて異なる性質を持つことが知られており (e.g., Bernardi et al. 2007)、銀河の環境効果を理解する上で BCG の形成プロセスは重要な問題である。また、近傍では星形成を行っていないと考えられているが、高赤方偏移では星形成を活発に行っていることが明らかになっている (e.g., Webb et al. 2015)。われわれは HSC-SSP の 5 色撮像データから選択した $z \sim 4$ のライマンブレイク銀河を基に検出した 179 個の原始銀河団候補 (Toshikawa et al. 2018) を対象とした proto-BCGs 候補の探査を行った。本研究では原始銀河団メンバー銀河の中で静止系紫外の波長において特異的に最も明るい銀河を proto-BCG として定義した。その結果、63 天体を選択した。われわれはこれらの天体と他の一般的なフィールド銀河の静止系紫外の色 ($i - z$) とサイズを比較した。その結果、proto-BCG 候補とその周りの原始銀河団銀河はフィールド銀河と proto-BCG を持たない原始銀河団のメンバー銀河に比べて $i - z$ で統計的に有意に赤いことがわかった。また、proto-BCG 候補とフィールド銀河の撮像画像に対して stacking 法を用いることで平均的な表面輝度分布を得た。これらの画像に対して GALFIT を用いて有効半径を求めたところ、proto-BCG の半径はフィールド銀河に比べて約 16% 大きいことが明らかになった。本講演においてはこれらの結果の解釈、及びそれに基づく BCG の進化プロセスへの示唆を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31a $z = 2.53$ の原始銀河団コアにおける星形成銀河の内部構造とその進化

鈴木智子 (東北大学/国立天文台), 美濃和陽典, 小山佑世 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 林将央, 嶋川里澄, 田中壱, 但木謙一 (国立天文台)

$z > 2$ では、銀河団や原始銀河団のような高密度環境においても活発な星形成が行われており、環境効果を理解する上では重要な時代となっている。高密度環境に特有の物理過程によって、そこに属する星形成銀河の構造の進化は一般フィールドのそれとは異なってくる可能性も考えられるが、 $z > 2$ ではその構造の環境依存性についてはまだ十分には調べられておらず、結論には至っていない。また、星形成銀河の構造の進化を捉えるためには星だけではなく星形成領域の構造を捉えることが重要となる。本研究では、すばる望遠鏡の IRCS と AO188、そして狭帯域フィルターを用いて、 $z = 2.53$ の原始銀河団コアに属する星形成銀河についてその星の連続光と $H\alpha$ 輝線領域を高い分解能で捉える観測を行なった。スタッキング解析によって、星質量で分けられたふたつのサブサンプルについて星の連続光と $H\alpha$ 輝線それぞれの空間分解された画像を得た。さらに、ハッブル宇宙望遠鏡で得られた $F814W$ の画像 ($\lambda_{\text{rest}} \sim 2300 \text{ \AA}$) と $H\alpha$ 輝線の画像を用いることで、半径方向のダスト減光量の変化を調べた。これを用いて減光補正をした星形成率と星質量のプロファイルを比較したところ、 $\log(M_*/M_\odot) \sim 10 - 11$ の星形成銀河については、その星形成領域は星質量の分布よりも広がっているという結果が得られた。この結果は、銀河の構造が内側から外側へと成長していることを意味する。さらに、同じ観測手法を用いて調べられた同時代の一般フィールドの星形成銀河に対する結果と比較すると、環境に対する依存性は見られないということが分かった。これらの結果は、 $z = 2 - 2.5$ では原始銀河団コアのような非常に高密度な領域であっても、星形成銀河の構造の進化は内的な物理過程によって支配されているということを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32a $z \sim 2$ における原始銀河団コアの探索とメンバー銀河の性質

安藤誠, 嶋作一大 (東京大学)

銀河の星形成や形態の進化は, 周囲の銀河数密度をはじめとした「環境」に依存することが知られている. 環境依存性は $z < 1$ においては銀河団において特に顕著である. 環境依存性がいつ・どこで・どのように生じたのかを明らかにするには, 銀河の星形成活動が活発であった $z \gtrsim 2$ に存在する原始銀河団を調べるのが重要である. 多くの先行研究では, 10 Mpc 程度の広い領域にわたる銀河の数密度超過に基づいて原始銀河団が同定されているが, このやり方では環境依存性が最も強いと思われる原始銀河団の中心部 (コア) を見つけ出すことが難しい. そこで本研究では, 銀河団をホストしているダークマターハロー (DH: ダークマターの virial system) の質量進化に着目し, $z=0$ までに銀河団程度の質量に成長できるような十分重い ($\gtrsim 2 \times 10^{13} M_{\odot}$) DH を原始銀河団のコアと定義し, このコア領域の探索を行った.

こうした非常に重い DH は, 大きな星質量を持つ銀河をホストしていることが予想される. そこで本研究では, COSMOS 領域の銀河カタログ (Laigle+16, ApJ, 224, 24) を用いて, $1.5 < z < 3.0$ において上記の質量の DH の大きさに相当する範囲に非常に重い銀河 ($\log(M_*/M_{\odot}) > 11$) が複数存在する場所を探し出し, 原始銀河団コアとみなした. これらのコアに対して clustering 解析を行い DH 質量を推定した結果, 十分な質量を持つことが確かめられた. またコアに所属する銀河のうち, 星形成を止めた銀河の割合を調べたところ, field 領域と比べて数倍程度高いことがわかった. さらに, 所属銀河と field 銀河の質量関数を比較したところ, コアのほうが重い銀河の比率が相対的に高い傾向が見られた. 本講演ではこれらの結果に加え, コアと AGN や QSO などの空間分布の比較結果についても議論する.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X33a ALMA twenty-six arcmin² survey of GOODS-S at one millimeter (ASAGAO): Source catalog and number counts

B. Hatsukade, K. Kohno, Y. Yamaguchi, H. Umehata, T. Wang, Y. Yoshimura, S. Fujimoto, N. Hayatsu, M. Ouchi, W. Rujopakarn (U. Tokyo), Y. Ao (PMO), I. Aretxaga, D. H. Hughes (INAOE), K. I. Caputi, S. Ikarashi (U. Groningen), J. S. Dunlop (U. Edinburgh), E. Egami (U. Arizona), D. Espada, D. Iono, R. Kawabe, Y. Matsuda, K. Nakanishi, T. Suzuki (NAOJ), R. J. Ivison (ESO), T. Kodama (Tohoku U.), M. Lee, Y. Tamura (Nagoya U.), K. Ohta, Y. Ueda (Kyoto U.), W.-H. Wang (ASIAA), G. W. Wilson, M. S. Yun (U. Massachusetts), and ASAGAO team

ASAGAO is a deep ($1\sigma \sim 61 \mu\text{Jy beam}^{-1}$) and wide area (26 arcmin²) survey on a contiguous field at 1.2 mm with ALMA. By combining with ALMA archival data, we obtained a deeper map ($1\sigma \sim 30 \mu\text{Jy beam}^{-1}$ for a deep region, synthesized beam size $0.59'' \times 0.53''$), providing the largest sample of sources (25 sources at $\geq 5\sigma$, 45 sources at $\geq 4.5\sigma$) among ALMA blank-field surveys. The number counts shows that $52_{-8}^{+11}\%$ of the extragalactic background light at 1.2 mm is resolved into discrete sources at $S_{1.2\text{mm}} > 135 \mu\text{Jy}$. We create infrared (IR) luminosity functions (LFs) at $z = 1-3$ from the 5σ sources with K_S -band counterparts, and constrain the faintest luminosity of the LF at $2.0 < z < 3.0$. The LFs are consistent with previous results based on other ALMA and SCUBA-2 observations, which suggest a positive luminosity evolution and negative density evolution with increasing redshift. We find that obscured star-formation of sources with IR luminosities of $\log(L_{\text{IR}}/L_{\odot}) \gtrsim 11.8$ account for $\approx 60-90\%$ of the $z \sim 2$ cosmic star-formation rate density.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34a High-resolution mapping of molecular gas in starburst galaxies at $z \sim 1.6$ with ALMA

J. Silverman (Kavli IPMU), E. Daddi (CEA-Saclay), W. Rujopakarn (Chulalongkorn Univ.), A. Puglisi (CEA-Saclay), A. Renzini (INAF-Padova), G. Rodighiero (Univ. Padova) and FMOS-COSMOS

Starburst galaxies provide excellent laboratories to study the physical conditions of the interstellar medium most conducive to rapidly forming stars, particularly in a gas-rich regime at high redshift. Locally, galaxy mergers are well understood to induce gas inflow to the nuclear region thus resulting in a central starburst and, in some cases, an accreting supermassive black hole. Such mergers are major events in the life cycle of most massive galaxies through which they rapidly build up their stellar mass. Are such phenomenon as effective at high redshift where most of the constituent galaxies have significantly higher gas fractions? To answer this question, we have been carrying out an investigation with ALMA of the molecular gas content, as traced by the CO 2-1 and 5-4 transitions, of 12 starburst galaxies at $z \sim 1.6$. Our program is establishing the gas content, star formation efficiency (i.e., gas depletion timescale), and role of mergers in driving galaxies to such extremes from the more typical star-forming population (Silverman et al. 2015, 2018a,b). We will report on our ALMA program including observations of CO 5-4 at higher spatial resolution (0.1-0.3") on 1 - 2 kpc scales where we detect individual components of a major merger in one case (PACS-787) and two other starbursts being closer to final coalescence. We find rapid consumption of molecular gas in starbursts with an efficiency (depletion time) that increases (decreases) in a continuous fashion with the boost in star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X35a The star formation properties of merging galaxies at $z < 2.5$ and separations 3-15 kpc

Andrea Silva (NAOJ), Danilo Marchesini (Tufts University), John Silverman (IPMU), Rosalind Skelton (South African Astronomical Observatory), Daisuke Iono (NAOJ), Nicholas Martis (Tufts University), Z. Cemile Marsan (York University), Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Gabriel Brammer (Space Telescope Science Institute), Jeyhan Kartaltepe (Rochester Institute of Technology)

We present a study of the influence of galaxy mergers at $0.3 < z < 2.5$ on star formation. Mergers are selected from the CANDELS/3D-HST catalog using the algorithm developed in Lackner et al 2014. The galaxy nuclei have projected separation between 3-15 kpc. We found no significant difference between the star formation activity in merging and non-merging galaxies and found that only 9% of the merging galaxies are starbursts based on their position in the star formation main sequence. The lower-mass members in the mergers have higher sSFR than their high-mass counterparts suggesting that merging has a more dramatic impact on the star formation activity in the low-mass companions. This sample of mergers is likely still in a early stage and are yet to reach the maximum level of star formation activity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X36a 低周波数観測が示唆する近傍銀河の物理的性質

吉田俊太郎, 竹内努 (名古屋大学), Luca Cortese, Barbara Catinella, O. Ivy Wong (ICRAR, UWA)

多波長観測による系外銀河の研究は新たな時代を迎えている。現在オーストラリアの Murchison Widefield Array (MWA) (Lonsdale et al. 2009; Tingay et al. 2013) やオランダの Low Frequency Array (van Haarlem et al. 2013) によって 100 [MHz] 程度の低周波数帯でこれまでにない高精度での観測が行われている。このような低周波数領域では熱的放射の影響がほとんど無視できるために、シンクロトロン放射や自由自由放射といった非熱的放射が支配的である。特にシンクロトロン放射は理論からそのフラックス強度 $F(\nu)$ が $F(\nu) \propto \nu^\alpha$ ($\alpha = -0.8$) という周波数依存性を持つことが知られており、低周波数帯での観測による恩恵が大きい。本研究はこのシンクロトロン放射が銀河内星形成や銀河進化とどのように関連しているのか、またこの放射機構から理解できると期待される銀河内宇宙線電子や銀河内磁場の性質の解明を目標としている。データサンプルについては MWA のプロジェクトの 1 つである GaLactic and Extragalactic All-sky MWA Survey (Wayth et al. 2015, Hurley-Walker et al. 2017) によって得られた系外銀河の電波カタログ、星形成やダストの研究が既に広く議論されている 323 個の近傍銀河が記載された Herschel Reference Survey catalog (Boselli et al. 2010) を用いた。これらのサンプルについて星形成活動率の指標となる全赤外線光度とシンクロトロン放射の強度を示す低周波数帯 (151 [MHz]) での電波光度の相関を調べたところ、銀河の形態、即ち早期型と晩期型によって異なる 2 つの相関系列を持つことが確かめられた。これらの異なる系列は形態による星形成率の違いだけではなく、前述したシンクロトロン放射の発生機構の違いにも影響を受けている可能性がある。また、この相関図は銀河の系統的進化を示しているとも考えられ、銀河進化解明の手がかりとなることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X37a Comparison of cosmological simulations and deep submillimetre galaxy surveys

青山尚平, 平下博之 (Academia Sinica), Chen-Fatt Lim(国立台湾大学), Yu-Yen Chang, Wei-Hao Wang (Academia Sinica), 長峯健太郎 (大阪大学), Kuan-Chou Hou (Ben-Gurion University of the Negev), 清水一紘 (大阪大学), STUDIS collaboration

高解像度シミュレーションにおいて、銀河におけるダストの存在は極めて重要である。ダストは水素分子 (H_2) の生成触媒になるだけでなく、紫外線を吸収して赤外線として再放射するので、銀河における星形成を理解する上でも、観測データから正確な星形成率の推定するためにも不可欠である。我々は、Aoyama *et al.* (2018a) において、Hirashita (2015) によるダストの two-size component モデルを採用して宇宙論的シミュレーションを行い、近傍銀河におけるダスト-金属比やダストの動径方向分布などの観測結果を説明できることを示した。このシミュレーションではダストの成長過程である accretion やダスト相互作用である coagulation と shattering、超新星爆発起源の衝撃波による破壊の効果などを考慮し、各々のガス粒子において大小のダストの質量の時間進化を計算できるようになった。この研究には SPH シミュレーションコード "GADGET3-Osaka" [Springel *et al.* (2005) の改良版] を用いている。

また、我々は宇宙初期の密度ゆらぎを初期条件とする宇宙論的シミュレーションを行い、スナップショットを post-process することにより赤方偏移が $0 \lesssim z \lesssim 4$ の銀河の luminosity function、ダスト温度、 $IRX-\beta_{UV}$ 関係を求め、STUDIES の観測結果と比較した。これらの観測量は $z \lesssim 1$ ではシミュレーションで説明できるが、 $2 \lesssim z \lesssim 4$ の赤方偏移の領域では高輝度天体とその観測量は説明できないことが分かった。しかし AGN を導入することにより説明可能になることもしました。本発表ではシミュレーションの分解能の影響も評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X38a Physical Properties of Emission-Line Galaxies with New Numerical Galaxy Catalogue (ν^2 GC)

小倉 和幸, 長島 雅裕 (文教大学), 嶋川 里澄, 林 将央, 小山 佑世, 小野寺 仁人 (国立天文台), 大木 平 (カブリIPMU), 白方 光 (北海道大学), 小林 正和 (呉高専)

我々は、準解析的銀河形成モデル, “New Numerical Galaxy Catalogue” (ν^2 GC, Makiya et al 2016; Shirakata et al. 2018) を用いて輝線銀河の統計的性質を調査している。輝線に着目することで、限られた赤方偏移範囲の銀河を、狭帯域フィルター (NB) を用いた撮像によって広視野に渡って観測することができるため、輝線銀河は銀河が作る構造のトレーサーとして有用な天体である。 ν^2 GCは、高精度の N 体シミュレーションと現象論的銀河形成モデルとを組み合わせ、広い赤方偏移範囲 ($0 \leq z < 6$) において、連続光の光度関数や中性水素の質量関数、そして宇宙の星形成史など銀河の様々な統計的性質をよく再現したモデルである。 ν^2 GCを用いた輝線銀河の研究の第一歩として、 $H\alpha$ 輝線銀河 (HAEs) の性質を調査した。銀河の $H\alpha$ 光度は、10 Myr の平均星形成率から、ケース B 再結合を仮定して計算した。その結果、HSC-SSP の NB 撮像観測で得られた $z \sim 0.4$ の $H\alpha$ 光度関数 (Hayashi et al. 2018) をよく再現できた。また、 $H\alpha$ 輝線の等価幅や観測の限界等級等を考慮した HAE サンプルを構築し、その空間分布を調査した。

準解析的モデルの強みは、 $(400 \text{ Mpc})^3$ に及ぶ広大な共動体積を活用し、輝線銀河をはじめとする天体が宇宙の構造をどのようにトレースできるかが議論できることにある。これにより、将来の探査観測において、観測の広さ・深さに応じてどのような構造が観測されるかも議論できる。この強みを活かした輝線銀河モデルの展望について、主に $H\alpha$ 光度関数と銀河の空間分布に着目して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X39c 可視面分光データで探る、銀河を構成する星の平均年齢分布

村田一心 (法政大学), 植村千尋 (総合研究大学院大学)

本研究では銀河の面分光サーベイのアーカイブデータを利用し、銀河を構成する星の平均年齢の空間分布を求めた。星の平均年齢の空間分布は銀河の形成史を調査する上で広く使われている。なぜなら、年齢の分布がわかれば銀河がどこから形成されたのかがわかるためである。典型的な銀河は中心ほど年齢が高く、中心から外側にかけて形成されていったことを示唆する。一方、中心の年齢が外側より若く、中心だけ「若返った」銀河も多数存在することが報告されている。しかし星の平均年齢を求めることは一般に難しい。なぜなら、よく使われている Dn4000 やバルマー吸収線といった年齢を測る指標は、明るさに重みがかかるため、高光度を放射する若い星にバイアスされるためである。

そこで本研究では、可視スペクトルへの種族合成モデルのフィッティングを行い、明るさに重みのかかった年齢だけでなく、質量に重みがかかった年齢も求めた。可視面分光サーベイ・MaNGA データから星形成銀河を 24 天体選出し、銀河中心から半径 1kpc 以内の平均年齢と、銀河全体での平均年齢を求めた。その結果、次のような知見を得た。明るさに重みのかかった年齢を用いた場合、中心での星形成率の面密度が大きいほど中心/全体の年齢比が減少し、中心での年齢が全体よりも若い銀河は 4 天体存在した。ところが質量に重みをかけた年齢を用いると、このような相関は見られず、上記 4 天体の中心年齢も全体より高かった。その他の 20 天体についても、中心の方がおよそ 20% 年齢が高かった。この結果は、一見中心が若返っているように見える銀河も含め、中心から先に構造が形成されていることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

3月16日(土) 午後(13:30-15:18) [G会場]

Y01a	13:30	ビッグデータからみる天文分野における興味関心の調査	山道千賀子(大阪教育大学)
Y02a	13:42	日本におけるアストロツーリズムの可能性についての基礎調査 II	縣秀彦(国立天文台)
Y03a	13:54	すばる望遠鏡 HSC の大規模データを使った市民天文学	白田-佐藤功美子(国立天文台)
Y04a	14:06	人工衛星の太陽反射光を使った「レイリー散乱の教材」	大西浩次(長野高等専門学校)
Y05a	14:18	研究データを使った教育コンテンツのカリキュラムに沿った天文関連講座への実装対応	玉澤春史(京都市立芸術大学)
Y06a	14:30	ケプラー方程式による惑星軌道計算	佐々井祐二(津山工業高等専門学校)
Y07a	14:42	映像・音声でよみがえった緯度観測所の平三郎とクモの糸	馬場幸栄(一橋大学)
Y08c		理科を専門とする教員養成系学部学生における天文学に対するイメージ調査	西浦慎悟(東京学芸大学)
Y09b	14:54	天体の日周運動と年周運動の理解を促進する教材の開発(5) - 天体の運動の空間的な理解を促進する教材の開発	関谷忠宏(上越教育大学)
Y10c		「福井県における星空調査」デジカメ星空診断の地域への展開	小野間史樹(星空公園)
Y11c		全天モニタ画像用投影法変換ツールの開発	小澤友彦(国立天文台)
Y12b	14:54	夜空の明るさ自動測定に向けた検討結果	柴山万優子(星空公園)
Y13b	14:54	長野県星空継続観察「長野県内の系統的な夜空の明るさ測定」	衣笠健三(国立天文台)
Y14c		白色光太陽データによる黒点相対数と蝶型図の1918年から100年間の再現	竹澤弘貴(武蔵野大学)
Y15c		何だかよくわからない細長い天体の発見	八木雅文(国立天文台)
Y16b	15:06	木村榮記念館サイトにおける緯度観測所ガラス乾板写真の公開	馬場幸栄(一橋大学)

Y01a ビッグデータからみる天文分野における興味関心の調査

山道千賀子、福江 純（大阪教育大学）

効果的な天文教育・天文普及を行うためには、天文分野における人々の興味関心を調査する必要がある。一般的にはアンケート調査が行われるが、従来のアンケート方式では日常的な人々の興味関心をデータとして得ることは難しく、対象も条件付きになってしまう。そこで鶴原(2018)では、Twitterをビッグデータとし、一般層が天文用語に反応する条件を調査した。そして、新規層を獲得するためのマーケティングに活用できる調査結果となった。ただし、Twitterは利用者の年齢層に偏りがあり、またサービスが浸透してまだ日が浅いため、時系列調査するには有効なデータ数が限られている。

そこで本研究では、長年にわたって多くの人に使われているGoogleの検索エンジンに注目し、Googleトレンドを用いて調査を行った。時系列調査から天文用語の今後の動向を予測し、興味関心の度合いを調査することで、日本における天文分野への興味関心はどれほどか、新規層が天文分野に定着しているのかといったことを明らかにした。

Googleトレンドを用いた今回の調査結果から、個々の天文イベントは認知されているが、天文分野のトレンドが減少・平行な傾向にあることから、分野への繋がりは薄いことが伺えた。イベントの一時的な興味関心を獲得できているとしても興味関心を持った新規層がさらに次の活動へ移り、定着しているとは言い難い結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a 日本におけるアストロツーリズムの可能性についての基礎調査 II

縣秀彦（国立天文台）、荒井誠（電通）ほか宇宙ツーリズム推進協議会一同

2017年11月に設立された宇宙ツーリズム推進協議会（非営利の任意団体）は、2018年度の観光庁「テーマ別観光による地方誘客事業」に選定され、星空観光（アストロツーリズム）等に関する観光客ニーズと地域特性・課題について調査した。本マーケティング調査は、次の4種類の調査活動から成り立っている。(1) 一般生活者対象ウェブ調査/ (2) ツアー・イベント参加者対象アンケート調査/ (3) 宇宙ツーリズム推進協議会会員団体（35団体）へのニュース調査/ (4) 成功事例6例の詳細ヒアリング調査 このうち主に(1)の概要を本講演において紹介し、今後のアストロツーリズムについて考察する。

調査は2018年9月7 - 27日に、全国に居住する15-69歳の男女10,391名（A群）を対象に一次調査を実施し、その母数から、自発的な天文・宇宙経験のある人（学校での体験を除く）500名（B群）、経験は無いが関心を示す人500名（C群）をそれぞれ抽出し、二次調査の母集団とした。一次調査の結果、プラネタリアムの観覧を含め天文・宇宙体験のある人は約850万人、今後、参加が見込まれる人は約4千万人であることが分かった。つまり、国民の約半数は天文・宇宙に何らかの関心を持つとも考えられる。C群では今後、「星空を見るための旅行への参加」期待は36

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a すばる望遠鏡 HSC の大規模データを使った市民天文学

白田-佐藤功美子, 田中賢幸, 小池美知太郎, 内藤誠一郎, 山岡均, 柴田純子 (国立天文台)

2017年2月に公開された、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) の第1期データを用いて、衝突銀河の分類に市民が参加する「市民天文学」プログラムを構築している。市民が科学的活動に参加する citizen science (本プログラムでは和名を「市民天文学」とする) は、科学研究と市民参画・普及のハイブリッドからなるため、研究者、ウェブ開発者、広報普及担当者からなるチームです。本プログラムでは、衝突合体によって銀河が成長してゆくという銀河進化論を、観測データから検証することを科学的目的とする。銀河の形の判別は不定性が大きいため、多くの人の目での判別を統計的に解析するための市民参加型のプログラムが有用となる。似たような研究は他の望遠鏡によるデータでも行われているが、広さや深さの観点から HSC のデータは圧倒的に優れており、淡く広がった潮汐相互作用の痕跡を探るには最良のデータであり、HSC データでしかできない解析とサイエンス結果が期待される。

本プログラムでは、インターネットを通じて市民がデータ分類に参加するタイプの市民天文学を日本に定着させるため、独自のウェブサイトを開発している。そのため、(1) 2018年3月に公開した、HSC 画像を誰でも手軽に楽しめる「HSC の画像ビューア」の魅力を活かし、(2) 衝突銀河の分類にむけて、参加者が3段階のチュートリアルを通じて答え合わせをしながらすすめられ、(3) 分類時にゲーム要素を取り入れた、ウェブデザインにした。チュートリアルは、日本科学未来館「ともにつくるサイセンタン」プログラムの一環として、未来館における複数のイベントや展示室でのタッチパネルにて収集したデータをもとに作成した。

本講演では、チュートリアルなどウェブ作成時の工夫点や、進捗状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a 人工衛星の太陽反射光を使った「レイリー散乱の教材」

大西浩次（国立長野高専）

大気分子による光の散乱現象（レイリー散乱）は、「なぜ空が青く見えるのか」・「なぜ夕日が赤く見えるのか」などを説明する天文学や地球科学のテーマとして良く出てくる。そのためか、（小中学生向けの）レイリー散乱の原理を説明する演示実験や定性的な実験教材が数多く提案されている。その一方で、レイリー散乱の法則を定量的に、あるいは具体的に確かめるような教材は少ない。

著者は、天文部の部活動のテーマとして、系外惑星での生命の兆候を探る手法のデモとしての、地球大気のオゾンによる可視光吸収（シャピュイ（Chappuis）帯=500nm-700nm で中心波長が約 600nm）による吸収の検出を目指して学生達と観測や解析を行ってきた。このオゾンの検出として、人工衛星の太陽光の反射光の色変化に注目し、デジタルカメラによる RGB の 3 色測光の観測を行なった。この過程で、この人工衛星の太陽光の反射光の色変化が、オゾン層の上を通過した光線に対しては、大気が厚くなるにつれて非常に良いレイリー散乱（波長の 4 乗分の 1 に比例する減衰）の法則にしたがって、光度減少率が決まってることを確かめることが出来た。

そこで、本研究では、人工衛星の太陽光の反射光の色変化の観測から、レイリー散乱の公式を定量的に確かめる手法を確立した。この簡単な手法で、標準大気モデル(1976)による大気の厚さと実測値を比較することで、大気モデルの違いをある程度区別できる精度が出る事がわかった。

本講演では、市販のデジタルカメラによる人工衛星の撮影手順とすばる画像解析ソフト Makali'i（マカリ）による色変化の解析の方法、更に、それらのデータからレイリー散乱の法則をどのように確認するかについて紹介し、レイリー散乱の定量測定教材を提示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y05a 研究データを使った教育コンテンツのカリキュラムに沿った天文関連講座への実装対応

玉澤春史（京都市立芸術大学）、鴨部麻衣（京都大学）

大学などに所属する研究者が研究データを含め自らのもつ知見を小中高校に出向いて伝える出前授業や一般市民向けの各種講座は、単発の特別授業のほかに通常授業などのなかにくみこまれる場合もあり、この場合はすでにあるカリキュラムと整合性をとった上での授業展開が必須である。京都大学花山天文台では、2015年より来台者参加型体験学習のコンテンツとして、花山天文台で取得した黒点スケッチのデータによるバタフライダイアグラム作成「みんなで作るバタフライダイアグラム」を行っているが、2017年より依頼により学校や一般講座での展開も行っている。作業であるため一定の時間をかけるが、限られた時間内で行い、かつカリキュラムにそった内容を行うためには、提供側と講座側の綿密な連携が必要である。2018年10月、星のソムリエ京都による「星空案内人養成講座」のうちの、天文・宇宙に関する基礎知識を学ぶ担当回の一部としてワークショップを行った。また、今後も2019年初旬に予定されている京都工学院高校での実施は高校地学カリキュラムとの整合性をとって実施する予定である。「主体的、対話的で深い学び」(いわゆるアクティブラーニング)の教材として研究データを活用することは有意義である反面、すでにあるカリキュラムとどのように整合性をとっていくかが課題であり、ワークショップだけでなく講義全体、また授業や講座全体の構成ともバランスを取る必要がある。本講演では実際の現場での対応と、その反応の分析について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06a ケプラー方程式による惑星軌道計算

佐々井祐二（津山高専）

2018年7月31日に火星が地球に最接近し、大きな話題となった。会合周期は約2年2ヶ月ではあるが、近日点側と遠日点側とで違いがある。これはケプラーの第2法則（面積速度一定の法則）から定性的には理解できるが、初学者にとってはどうやって計算するのかと疑問に思う所である。惑星の軌道計算は、天文に興味のある高専学生にとって有効だと考える。そこで高専学生の教育も兼ねて、ケプラー方程式を用いて、惑星の軌道と会合を計算したい。

プラネタリウムソフトで火星との会合の様子もシミュレーションできる便利な時代である。また、惑星の軌道計算について、大学の天文系学科では、書籍を読めば分かることについては教育しないとも聞く。しかし、身近な惑星の軌道計算を試すことに意味があるだろうし、天文に興味を持っている高専3年生への探求テーマとして良いのではないかと考える。

ケプラーの第2法則によると、惑星が一定時間に掃引する軌道面の面積は常に一定である。これを離心近点角 u と時間 t の関係として表現するものがケプラー方程式である。まず、惑星軌道の離心率 e 、長半径 a 、公転周期 T 、近日点通過時刻 t_0 （ユリウス日）を与える。ケプラー方程式は通常解析的に解けないので、ニュートン法で数値的に解く。時刻 t の離心近点角の初期値として平均近点角 $n(t - t_0)$ を与え、ケプラー方程式を満足する離心近点角 u を得ることにより、惑星の軌道平面座標、3次元空間座標を求めていく。具体例として、地球と火星の軌道シミュレータを作成した。また、2018年度の本校3年生に対して行った試行的な指導についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Y07a 映像・音声でよみがえった緯度観測所の平三郎とクモの糸

馬場幸栄（一橋大学）

平三郎（1909 - 1969）は大正12（1923）年から緯度観測所に勤務し、以来40年以上、工作担当として観測器機の整備に従事し続けた。その代表的な仕事のひとつは、眼視天頂儀用マイクロメーターに十字線として極細のクモの糸を張るという緻密で根気のいる作業であった。クモの糸が輸入できなくなったときは、平が自ら山に登ってクモの卵囊を採取し、その糸を十字線に用いたことでも知られる。緯度観測所はそのような平の貢献のおかげで、精密な観測データを獲得できたと言っても過言ではない。この平三郎の仕事ぶりをテーマとしたドキュメンタリー番組が、昭和40年代に2本制作されている。ひとつは『ある人生 クモの糸をつむいで40年』（昭和40（1965）年2月28日放映、NHK制作）であり、もうひとつは『クモの糸 ~平三郎~』（昭和42（1967）年4月29日放映、IBC岩手放送制作）である。近年、これらの番組を録画したビデオテープが岩手県で、カビの生えた状態で発見された。そこで、科学技術史研究における貴重な史料であるこれら番組の映像・音声を復元すべく、ビデオテープのカビ除去とデジタル化を行った。結果、平三郎の動く姿と肉声、また、平本人によるクモの糸張り作業の様子を動画でよみがえらせることに成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08c 理科を専門とする教員養成系学部学生における天文学に対するイメージ調査

石井菜摘, 千葉督, 西浦慎悟 (東京学芸大・教育・理科), 伊藤信成 (三重大・教育・理教), 山縣朋彦 (文教大・教育・地学), 濱部勝 (日本女子大・理・数物)

小学校および中学校学習指導要領解説 (文部科学省 2017a; 2017b) において, それぞれ, 「自然の事物・現象を, 変化とその要因, 既習の内容や生活経験などと『結び付ける』こと」, そして, 「科学的に探求する態度」として, 「理科の学習で得た知識及び技能を活用」し, 「自然の事物・現象を総合的に」見て考える態度が強調されている。天文学は, 自然科学の多くの分野を基礎とし, また, 相互に関わりを持つ総合科学である。従って, 自然科学全般を学ぶことは, その内容を理解する上で, 大きな助けになるはずである。しかし, 高等学校における理科は, 物理・化学・生物・地学の4分野に分割され, その相互関係は極めて希薄である。このような環境下で, 未来の小・中学校教員たる教育学部生は, 天文学の総合科学的な側面をどのように捉えているのだろうか?

本研究の目的は, 特に, 理科を専門とする教育学部生が, “自然科学の様々な事項が, 天文学とどの程度深く関係していると考えているか” を, アンケート (とても関係が深い, 深い, ふつう, 関係無い, 全く関係無い, の5段階) 調査から把握することである。アンケート項目には, 主に中学校理科の教科書の単元に基づいて, 26項目 (例えば, 「エネルギー」「化学反応」「植物のつくり」「地層」「星雲・星団」など) を選んだ。アンケート調査は現在も継続中であるが, まず, 本ポスターでは, 2017年度に, 複数の大学の教育学部生70名に対して得られた結果と考察を報告する。興味深い結果として, 「関係が深い」または「とても深い」と回答した教育学部生は, 物理関連 (全5項目) では, 唯一「音」のみが3割, 他は7割以上であった。また, 化学関連 (全5項目) では「イオン」と「酸・アルカリ」が4割に満たず, 生物関連 (全6項目) では, その全てが2割程度以下であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b 天体の日周運動と年周運動の理解を促進する教材の開発 (5) - 天体の運動の空間的な理解を促進する教材の開発

関谷忠宏、濤崎智佳（上越教育大学）

小・中学校理科の学習では、問題解決の過程における「理科の見方・考え方」として「地球」を柱とする領域では、主として時間的・空間的な視点で捉えること、その時間的・空間的なスケールが大きいのが特徴であると言える。しかし、「北天の星の動きや太陽の自転、日の入りの太陽の動きに関する問題等、空間的な認識やそれに基づく思考面に課題がみられる。」や「天体の学習において、視点を変えると正しく思考できない」などの状況が報告され、さらに、天文分野での観察・実験を行っている教員の割合は低く、指導の際に困難を感じている教員が多い。そこで、我々は実感を伴った理解を目指して一眼レフカメラと魚眼レンズを用いた全天スカイモニターシステム「そらとる君」を開発、理解度の向上に一定の効果が見られたことを報告している（2015年春季年会 Y12b, 秋季年会 Y05 など）。今回は、2次元と3次元を対応させて考えることが難しいと考えられる児童・生徒の天体の運動に対する空間的な理解を高めることを目的とし、児童・生徒の空間認識能力に応じた教材を開発した。

本研究では、全天球カメラ THETA S (RICOH) を用いて画像自動撮影システムの構築を行い、観測結果を直接3次元で表すことを試みた。常設型のシステムでは、THETA S と RaspberryPi を WiFi 接続し、Python プログラムを実行することによりカメラを制御、サーバーへの画像アップロードを行っている。授業に使う日の画像や、季節ごとの画像は、個別にビデオ編集ソフトで動画を作成し、YouTube にアップロードすることで立体的に視聴できるようにした。本講演ではこれらの教材を紹介、それを用いた教育実践について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y10c 「福井県における星空調査」デジカメ星空診断の地域への展開

小野間史樹，柴山万優子(星空公団)，吉村朋矩，三寺潤，近藤晶，吉田友美，中城智之(福井工業大学)，加藤英行(福井市自然史博物館)，山本博文(福井大学)

星空公団はデジタルカメラを用いた独自の夜空の明るさ測定法をもとに，環境省と協力して夜空の明るさの全国調査に取り組んできた．さらに近年，星空の地域資源としての価値が改めて見直されてきており，今後の展開として，地域に焦点を当てた取り組みの拡充が挙げられる．このような取り組みとして，福井県内の各団体との協働により「福井県における星空調査」(<https://dcdock.kodan.jp/fukui/>)を2018年10月から開始した．

福井県は近年，福井工業大学の文科省私立大学研究ブランディング事業や福井県大学等連携推進事業といった，地域の自治体と大学が協力して星空を地域の新たな付加価値として捉え、地域の活力向上を目指した取り組みが進み星空への関心が高まっている地域の一つである．本調査は従来実施してきたデジカメ星空診断をベースとしており，より多くの市民・研究者の参加を促すため，(1) 常時データを投稿できる，(2) 観測時刻を限定しない，(3) 希望者には元データを公開する方針としている．

福井県のまちづくりや教育など様々な活動との連携を視野に，星空観察環境の維持および向上に役立つプラットフォームとして発展させたい．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11c 全天モニタ画像用投影法変換ツールの開発

小澤友彦 (国立天文台水沢 VLBI 観測所)

全天モニタ画像の取得は研究所や観測所に留まらず、機器の高性能化・低価格化により観光や天文教育を主とした天文台にも広まっている。そして、これらの画像はインターネットを通じ、誰もが閲覧・入手できる環境が整っている。しかし画像上に写る星の位置や座標を求めることは容易ではなく、星座線や恒星名を記入して教育コンテンツを作成したり、変光星の測光を長期に渡って実施することには多大な労力がかかる。

これまでに全天モニタ画像の位置較正を行う WEB サービスの構築を行い、発表した(2017年春季年会 Y14b, Y15c)。また位置較正の結果を自己記述ファイルとするべく WCS を付加した FITS 形式へ変換し提供する機能を実現した(2017年秋季年会 Y11b)。なお上記 WEB サービスは、ネットワークセキュリティの問題から現在は停止している。

今回は JPEG 形式の画像に対し、部分切り出しならびに投影法の変換を行うためのライブラリの開発とソフトウェアの製作を行った。開発当初は有効な画像処理ライブラリを持つ Python にて開発を進めた。使用したライブラリは、Python Imaging Library(PIL) である。ここで開発した機能を Java へ移植し構築した。処理の高速化を目的に一部並列化を採用し、マルチコアを有効利用した。

本件では、以上のライブラリを紹介すると共に、以後開発を行っているソフトウェア(現在は iOS アプリ)について紹介する。また現在の機能や使用方法などを伝え広く利用されるための提供方法や機能向上などへの意見を求め議論する。なお、本研究は JSPS 科研費 16K01112 の助成を受けたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12b 夜空の明るさ自動測定に向けた検討結果

柴山万優子, 小野間史樹 (星空公団), 中城智之 (福井工業大学)

「夜空の明るさ」とは人間活動に伴う照明の上方放射が主な原因で、夜空のバックグラウンドが自然光以上に明るくなることである。バックグラウンドの値は大気状態の影響を受け日々変化するため、夜空の明るさを正確に求めるには継続的な測定が重要である。星空公団では、夜空を自動撮影するカメラボックスを開発し、山梨や名寄、広島など様々な地域の測定を行ってきた。この装置は撮影した RAW 画像をネットワーク経由で送信する必要があり、データ通信量の削減が課題であった。また、比較的高価なデジタル一眼カメラを使用していることもあり、普及にはコスト削減も課題である。

そこで、安価に入手可能な Raspberry Pi Camera Module を使用し、夜空の明るさをカメラボックス内で自動測定する装置を検討した。自動測定を行うため、撮影画像から星の位置を自動で同定、カウント値のヒストグラムをガウスフィッティングして等級を算出する方法を確立するとともに、カメラのダーク/フラット特性、リニアリティの評価、および 10 bit という低い色深度による測定精度への影響を評価した。講演では、これらの評価結果と実際の測定結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13b 長野県星空継続観察「長野県内の系統的な夜空の明るさ測定」

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), 山本良一(マナスル山荘天文館), 陶山徹(長野市立博物館), 森由貴(東大木曽観測所), 大西浩次(長野高専), ほか長野県星空継続観察ワーキンググループ

2016年11月に開かれた「長野県は宇宙県」ミーティングでの「松本宣言」に賛同する長野県下の天文関連施設・団体等で形成された任意団体「長野県は宇宙県」連絡協議会は、全体ミーティングなどとともに、スタンプラリーなどを実施し、天文関連施設や団体、さらには、行政や観光業などの全県レベルの連携を進めている。

一方で、観測環境の把握や維持、および地域振興などを目的として、長野県内の夜空の明るさ測定を系統的に実施するワーキンググループを立ち上げた。これまでの長野県内の夜空の明るさ測定は、長野市博物館友の会・しなの星空散歩会きらきらによる長野市内の測定や塩尻星の会による塩尻地域の測定などが継続して実施されてきたが、県内全域を対象とした系統的な活動はこれが初めてとなる。この活動は、環境省が2018年度に再開した全国星空観察にあわせたものであり、長野県の天文関係者などの夜空の明るさ測定に関心のある方々によって、夏の測定期間前の7月7日に、最初のミーティングを開催した。この会議の参加者を主体としてワーキンググループを立ち上げ、夏の測定の協力を広く呼びかけた。その結果、測定期間となる8月2日15日に長野県内にて実施された測定は67地点となり、都道府県レベルの観測数としては全国トップとなった。その後にも、11月23日に第2回ミーティングを開催し、夏の測定でのまとめとともに、冬の測定に向けての対策を議論している。

本発表では、長野県星空継続観察ワーキンググループの紹介とともに、夏と冬の測定状況と今後の活動について報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14c 白色光太陽データによる黒点相対数と蝶型図の1918年から100年間の再現

竹澤弘貴(武蔵野大学)・萩野正興(国立天文台)・高橋典嗣(武蔵野大学)

太陽光球面に現れる黒点の観測は、ガリレオの望遠鏡による観測以来今日まで続けられてきた。国立天文台(旧東京天文台)では、1888年に平山信が東京赤坂葵町の地理局構内に設置された20cm赤道儀を使って太陽黒点のスケッチを始めたことにより、その幕が開かれた(日江井,2016)。その後、麻布において1890年から17cmサイデロスタットによる写真撮像が開始された。

三鷹に移転すると20cm赤道儀を使った太陽黒点のスケッチが1938年から1998年まで続けられ、1998年6月以降は10cm黒点望遠鏡によるCCD観測に引き継がれて現在に至っている。この間、1928年から現在までの黒点相対数と1943年から現在までの蝶型図が作成されている。また、1918年から1998年までに白色光で撮像された太陽全体像の写真乾板・フィルムは、デジタル化されて公開されている。

本研究では、1928年以前に撮像された現存する1918年から1928年までの10年間の太陽像から黒点相対数と位置を精査し、我が国の黒点相対数のグラフと蝶型図を過去に引き延ばした。この間の観測は、10.5cm赤道儀望遠鏡(1918-1921年)、Grubb30cmサイデロスタット(1921-1923年)、4.5cm対物レンズ(1923-1939年、10.5cm赤道儀望遠鏡に同架)で行われた。測定は、保管されている写真乾板(手札判とキャビネ判)をデジタルスキャンされた国立天文台のfitsデータを用いた。これにより100年間の黒点相対数のグラフと蝶型図を作成することができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15c 何だかよくわからない細長い天体の発見

八木雅文, 小宮山裕, 山野井瞳 (国立天文台) 幸田仁 (ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校)

すばる超広視野主焦点カメラ (HSC) を用いた近傍銀河団の可視 r バンドの撮像データの外縁部で、よくわからない天体を発見したので報告する。低面輝度の天体を撮像データから解析する際、特に HSC のデータでは光学ゴーストが邪魔になるため、我々は様々なゴーストをモデル化した上で包括的に駆除していく研究を進めている。この研究を行っている時、本来ゴーストが出ると予想されていない位置で一見ゴーストのように見える構造を偶然発見した。見かけはゴーストめいたこの構造は、しかしながらカメラの方位角や指向方向によって変化せず、2晩に渡った観測中ずっと同じ位置で検出されており、明るい部分については1年後に同じ領域を撮像した g バンドのデータでも同じように写っていた。一番明るい部分は公開データであるデジタイズドスカイサーベイ (DSS2) やパンスタースサーベイ (PS1) の撮像データの中にも見出されたため、一時的な現象等ではなく、ある程度安定して存在する本物の天体であると考えられる。更に HSC データの広い範囲を見ると、これは全体の長さは1度角以上にも渡り片側で複数回枝分かれしている細い (~ 3 秒角) 天体の先端の一部に過ぎないことがわかった。全体の形から我々はこの天体を仮に Fehu (ルーン文字の F) と呼ぶことにした。HSC データから測光された面輝度 (26 等/平方秒) と色 ($g-r \sim 0.8$)、及び、PS1 の画像で r バンドでは見えたが g, i, z バンドでは見えなかった結果などから、Fehu は 0.5 レイリー程の輝度の H 輝線天体であると考えても矛盾はない。しかし、既存の H サーベイ (SHASSA) では一番明るい部分に微かな兆候が見られるだけであり同定には至らなかった。仮に 1kpc の距離にあれば長さ > 17 pc、幅 ~ 0.015 pc (3000 au) ほどのこの Fehu をどう考えればいいのかわからないため、今回分野「その他」で発表する。ポスターでは本天体の画像とこれまでにわかった結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Y16b 木村榮記念館サイトにおける緯度観測所ガラス乾板写真の公開

馬場幸栄（一橋大学）

国立天文台の前身のひとつである緯度観測所が岩手県水沢で地球の緯度観測を始めたのは明治32（1899）年のことであり、平成31（2019）年は緯度観測120周年という節目の年にあたる。これを記念して、報告者が緯度観測所のガラス乾板から復元した写真の一部を、国立天文台水沢 VLBI 観測所が運営する木村榮記念館ウェブサイトで公開することとなった。写真は JPEG ファイルで公開され、被写体・撮影場所・撮影時期などの情報が添えられる。被写体は、まだ「臨時緯度観測所」と呼ばれていた時代の木造事務所（明治33（1900）年竣工）や緯度観測所時代の木造本館（大正10（1921）年竣工）、眼視天頂儀室（明治32（1899）年竣工）、浮遊天頂儀室（昭和13（1939）年竣工）、眼視天頂儀（明治32（1899）年設置）、浮遊天頂儀（昭和14（1939）年設置）等の観測施設・観測器機や、緯度観測所初代所長・木村榮や所員たち等の人物を含む。ガラス乾板の大半にはキャプションが付いていなかったため、写真にうつっている人物や撮影場所の特定および撮影時期の絞り込みは容易ではなく、まだまだ不明の部分もある。しかし、聴き取り調査にご協力くださった緯度観測所元所員やそのご家族、また、関連史料を閲覧させていただいた国立天文台水沢 VLBI 観測所図書室のおかげで、それらが少しずつ解明されてきた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)