

2018年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 千葉大学

2018年3月14日(水) ~ 3月17日(土)

千葉大学へのアクセス



JR 東京	35分 8 駅 総武線(快速)	JR 稲毛	3分 1 駅 総武線(各駅停車)	JR 西千葉				
京成上野	35分 6 駅 京成線特急	京成津田沼	11分 5 駅 京成千葉線	京成みどり台				
羽田空港	16分 1 駅 京浜急行線エアポート快特	JR 品川	45分 10 駅 総武線(快速)	JR 稲毛	3分 1 駅 総武線(各駅停車)	JR 西千葉		
羽田空港	17分 1 駅 東京モノレール空港快速	JR 浜松町	6分 3 駅 山手線	JR 東京	35分 8 駅 総武線(快速)	JR 稲毛	3分 1 駅 総武線(各駅停車)	JR 西千葉
成田空港	42分 8 駅 総武線(快速)	JR 千葉	3分 1 駅 総武線(各駅停車)	JR 西千葉				

千葉大学 西千葉キャンパスマップ



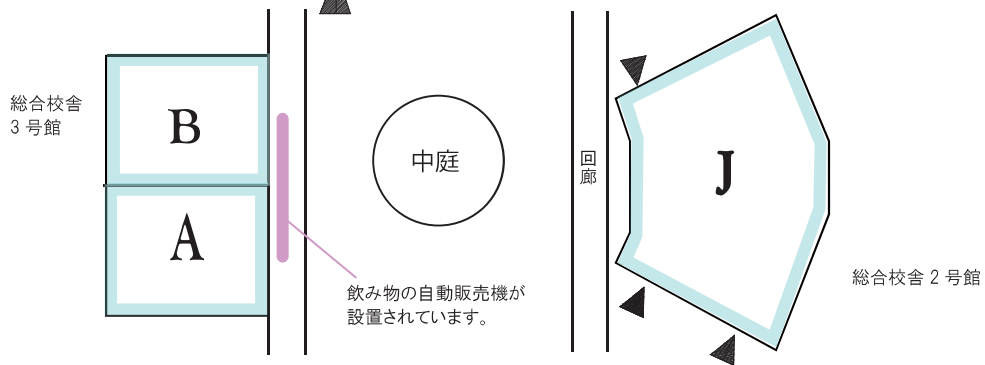
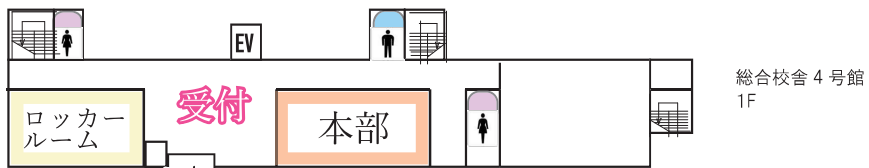
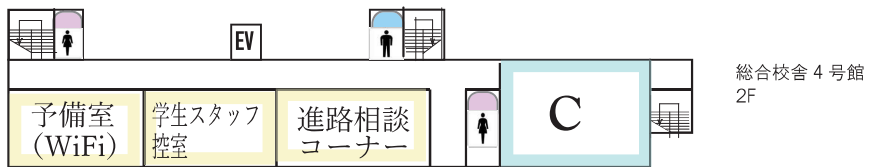
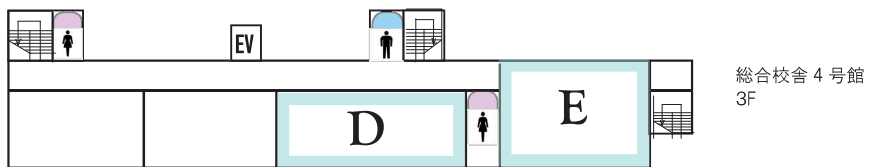
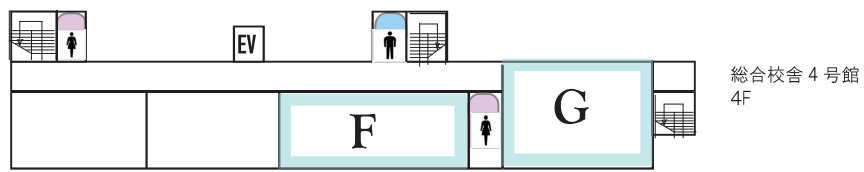
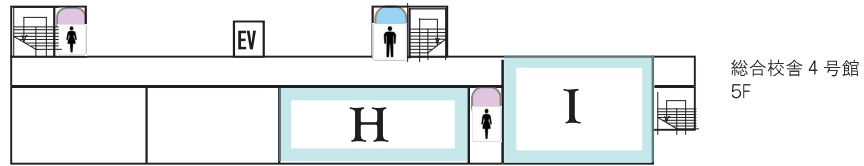
ポスター講演会場・
展示コーナー
(第一体育館)

年会受付・本部：総合校舎 4号館1階、
口頭講演会場：総合校舎 2～4号館

食堂・懇親会会場
(大学生協)

- ・ JR西千葉駅より西千葉キャンパス南門まで徒歩約2分
- ・ 京成みどり台駅より西千葉キャンパス正門まで徒歩約7分
- ・ 千葉都市モノレール天台駅より北門まで徒歩約10分

会場案内図



口頭セッション 3月14日(水)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	【太陽系】	【すばる PFS】	【宇宙論】	【恒星】	【星・惑星】	【銀河団】	【教育・他】	【銀河】	【活動銀河核】	-
13:00	L01a	Z101r } Z107a	U01a	N01a	P201a	T01a	Y01a	R01a	S01a	-
13:12	L02a		U02a	N02a	P202a	T02a	Y02a	R02a	S02a	-
13:24	L03a		U03a	N03a	P203a	T03a	Y03a	R03a	S03a	-
13:36	L05a		U04a	N04a	P204a	T04a	Y04a	R04a	S04a	-
13:48	L06a		U05a	N05a	P205a	T06a	Y05a	R05b R06b R07b	S05a	-
14:00	L07a		U07a	N06a	P206a	T07a	Y06a	R08a	S06a	-
14:12	L08a		U08a	N07a	P207a	T08a	Y07a	R09a	S07a	-
14:24	L09a		U09a	N08a	P208a	T09a	Y08b Y11b Y12b Y13b	R10a	S08a	-
14:36	L10a		U10a	N09a	P209a	T10b	Y14b Y15b Y16b	R11a	S09b S10b S11b	-
14:48	L11b L12b L13b		U11a	N10a	P210a	-	Y17b Y19b	R12b R13b R14b	S12b S13b S14b	-
15:00	-	-	-	N11b N12b	-	-	-	-	-	-
15:15	安全保障と天文学 特別セッション (J会場)									
17:30	天文教育フォーラム (J会場)									
19:10	理事会									

口頭セッション 3月15日(木)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場	
開始時刻	【コンパクト天体】	【すばる PFS】	【宇宙論】	【恒星】	【星・惑星】	【銀河団】	【教育・他 / 観測機器】	【銀河】	【活動銀河核】	【銀河形成】	
09:30	W201a	Z108r }	U12a	N13a	P211a	T11a	Y20a	R17a	S15a	X01a	
09:42	W202a		U13a	N14a	P212a	T12a	Y21a	R18a	S16a	X02a	
09:54	W203a		U14a	N15a	P213a	T13a	Y22a	R19a	S17a	X03a	
10:06	W204a		U15b	N16a	P214a	T14a	V101a	R20a	S18a	X04a	
10:18	W205b W206b W207b		-	N17a	P215a	T15a	V102a	R21a	S19a	X05a	
10:30	W208a		-	N19a	P216a	-	V103a	R22a	S20a	X06a	
10:42	W209a		Z113a	-	N21a	P217a	-	V104a	R23a	S21a	X07a
10:54	W210a		-	N22a	P218b P219b P220b	-	V105a	R24a	S22a	X08a	
11:06	W211a		-	N23a	-	-	V106b V107b V108b	R25b R26b	S23a	X09a	
11:18	W212b		-	N24b N25b	-	-	V109b V110b V111b	-	S24a	X10b X11b X12b	
11:30	昼休み（代議員総会）（C会場）										
12:30	ポスター										
開始時刻	【コンパクト天体】	【すばる PFS】	【星間現象】	【星・惑星】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【観測機器】	【活動銀河核 / 太陽】	【銀河形成】	
13:30	W213a	Z114r }	Q01a	P301a	P101a	V301b V302b V303b	V115a	V201a	S25a	X13a	
13:42	W214a		Q02a	P302a	P103a	V304a	V116a	V202a	S26a	X14a	
13:54	W101a		Q03a	P303a	P104b P105b P106b	V305a	V117a	V203b V204b V205b	S27a	X15a	
14:06	W102a		Q04a	P304b P305b P306b	P107b P109b P110b	V306a	V118b V119b V120b V121b	V206a	S28a	X16a	
14:18	W103a		Q05a	P307b P308b P309b	P111a	V307a	V122b V123b V124b	V207a	S29a	X17a	
14:30	W104a		Q06a	P310a	P112a	V308a	V125b V126b	V208a	S30a	X18a	
14:42	W105a		Z119a	Q07a	P311a	P113a	V309b V310b V311b	V209b V210b V211b	M01a	X19a	
14:54	W106a		Q08a	P312a	P114a	V312a	V130b V131b	V212b V213b V214b	M02a	X20b X21b X22b	
15:06	W107a		Q09a	P313a	P115a	V313a	V134a	V215b V216b V217b	M03a	X23b X24b X25b	
15:18	W109b W110b W111b		-	Q10a	P314a	P116a	V314b V315b V316b	V135a	V218b V219b	M04a	X26b
15:45	会員全体集会（J会場）										
17:15	受賞記念講演（J会場）										

口頭セッション 3月16日(金)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場	
開始時刻	【コンパクト天体】	【マゼラン雲】	【星間現象】	【星・惑星】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	【銀河形成】	
09:30	W113a	Z201r }	Q12a	P315a	P117a	V317a	V136a	V221a	M05a	X31a	
09:42	W114a		Q13a	P316a	P118a	V318a	V137a	V222a	M06a	X32a	
09:54	W115a		Q14a	P317a	P119a	V319a	V138a	V223a	M07a	X33a	
10:06	W116a		Q15a	P318a	P120a	V320a	V139a	V224a	M08a	X34a	
10:18	W117a		Q16b Q17b Q18b	P319a	P121a	V321b V322b	V140a	V225a	M09a	X35a	
10:30	W118a		Q19a	-	P122a	V323a	V141a	V226a	M10a	X36a	
10:42	W119a		Z208a	Q20a	-	P123b P124b P125b P126b P127b P128b	V324a	V142a	V227a	M11a	X37a
10:54	W120a		Q21a	-	-	V325a	V143a	V228a	M12a	X38a	
11:06	W121b W122b W123b W124b		Q22a	-	P129b	V326a	V144a	V229a	M13b M14b M15b	X39a	
11:18	W125b W126b		Q23a	-	-	V327a	V145a	V230a	M21b	X40a	
11:30	昼休み										
12:30	ポスター										
開始時刻	【コンパクト天体】	【マゼラン雲】	【星間現象】	【超新星爆発】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	【銀河形成】	
13:30	W128a	Z209r }	Q24a	K01a	P130a	V328a	V146a	V231a	M22a	X41a	
13:42	W129a		Q25a	K02a	P131a	V329a	V147a	V232a	M23a	X42a	
13:54	W130a		Q26a	K03a	P132a	V330a	V148a	V233a	M24a	X43a	
14:06	W131a		Q27a	K04a	P133a	V331a	V149a	V234a	M25a	X44a	
14:18	W132a		Q28a	K05a	P134a	V332a	V150a	V235a	M26a	X45a	
14:30	W133a		Q29a	K06a	P135a	V333a	V151a	V236a	M27a	X46a	
14:42	W134a		Z217a	Q30a	K07a	P136a	V334a	V152a	V237a	M28a	X47a
14:54	W135a		Q31a	K08a	P137a	V335a	V153a	V238a	M29a	X48a	
15:06	W136a		Q32a	K09a	-	V336a	-	V239a	M30a	X49a	
15:18	W137a		Q33a	K10a	-	-	-	V240a	M31a	-	
15:45	連星中性子星合体 GW170817 特別セッション (J会場)										
18:00	懇親会 (千葉大学生協フードコート)										

口頭セッション 3月17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	I 会場	J 会場
開始時刻	【コンパクト天体】	-	【星間現象】	【超新星爆発】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	-
09:30	W138a	-	Q34a	K11a	P138a	V337a	V154a	V241a	M32a	-
09:42	W139a	-	Q35a	K12a	P139a	V338a	V155a	V242a	M33a	-
09:54	W140a	-	Q36a	K13a	P140a	V340a	V156a	V243a	M34a	-
10:06	W142a	-	Q37a	K14a	P141a	V341a	V157a	V244a	M35a	-
10:18	W143a	-	Q38a	K17a	P142a	V342a	V158a	-	M36a	-
10:30	W144a	-	Q39a	K18a	P143a	V343a	V159a	-	M37a	-
10:42	W145a	-	Q40a	K19a	P144a	V344a	V160a	-	M38a	-
10:54	W146a	-	Q42a	K20a	-	-	V161a	-	M39a	-
11:06	-	-	Q43a	-	-	-	-	-	M40a	-
11:18	-	-	-	-	-	-	-	-	M41a	-
11:30	ポスター									
12:30	昼休み									

【K. 超新星爆発】(2)					【R. 銀河】(12)				
K15c	K16c				R05b	R06b	R07b	R12b	R13b
					R14b	R15c	R16c	R25b	R26b
【L. 太陽系】(5)					R27c	R28c			
L04c	L11b	L12b	L13b	L14c					
					【S. 活動銀河核】(6)				
【M. 太陽】(9)					S09b	S10b	S11b	S12b	S13b
M13b	M14b	M15b	M16c	M17c	S14b				
M18c	M19c	M20c	M21b						
					【T. 銀河団】(2)				
【N. 恒星】(6)					T05c	T10b			
N11b	N12b	N18c	N20c	N24b					
N25b					【U. 宇宙論】(3)				
					U06c	U15b	U16c		
【P1. 星・惑星】(15)									
P102c	P104b	P105b	P106b	P107b	【V1. 観測機器】(25)				
P108c	P109b	P110b	P123b	P124b	V106b	V107b	V108b	V109b	V110b
P125b	P126b	P127b	P128b	P129b	V111b	V112c	V113c	V114c	V118b
					V119b	V120b	V121b	V122b	V123b
【P2. 星・惑星】(3)					V124b	V125b	V126b	V127b	V128b
P218b	P219b	P220b			V129b	V130b	V131b	V132c	V133c
【P3. 星・惑星】(7)					【V2. 観測機器】(15)				
P304b	P305b	P306b	P307b	P308b	V203b	V204b	V205b	V209b	V210b
P309b	P320c				V211b	V212b	V213b	V214b	V215b
					V216b	V217b	V218b	V219b	V220c
【Q. 星間現象】(5)									
Q11c	Q16b	Q17b	Q18b	Q41c					

【V3. 観測機器】(12)

V301b V302b V303b V309b V310b
V311b V314b V315b V316b V321b
V322b V339c

【W1. コンパクト天体】(13)

W108c W109b W110b W111b W112c
W121b W122b W123b W124b W125b
W126b W127c W141c

【W2. コンパクト天体】(4)

W205b W206b W207b W212b

【X. 銀河形成】(14)

X10b X11b X12b X20b X21b
X22b X23b X24b X25b X26b
X27c X28c X29c X30c

【Y. 天文教育・他】(12)

Y08b Y09c Y10c Y11b Y12b
Y13b Y14b Y15b Y16b Y17b
Y18c Y19b

【Z2. マゼラン雲】(3)

Z213b Z214b Z215b

【K. 超新星爆発】

3月16日（金）午後（13:00-15:30）[D会場]

K01a	13:30	HSC Transient Survey (I): Overview	安田直樹（東京大学）
K02a	13:42	HSC Transient Survey (IV): Type II supernova cosmology	前田啓一（京都大学）
K03a	13:54	HSC Transient Survey (V): High-redshift superluminous supernovae	守屋堯（国立天文台）
K04a	14:06	HSC Transient Survey (VI): Type IIP supernovae with faint host galaxies	山口正輝（東京大学）
K05a	14:18	HSC Transient Survey (III): The diversity of early-phase Type Ia supernovae	Ji-an Jiang（The University of Tokyo）
K06a	14:30	光赤外線大学間連携による IIP 型超新星 SN 2017eaw の追観測	山中雅之（広島大学）
K07a	14:42	極めて短いプラトーを持つ特異な超新星 SN 2017czd の測光分光観測	中岡竜也（広島大学）
K08a	14:54	Ca-rich トランジェント iPTF15eqv の可視近赤外測光分光観測	河原直貴（広島大学）
K09a	15:06	減光速度の大きな極超新星 SN 2014as の測光分光観測	大坪一輝（広島大学）
K10a	15:18	中心エンジン駆動超新星エジェクタからの非熱放射	鈴木昭宏（京都大学）

3月17日（土）午前（9:30-11:06）[D会場]

K11a	09:30	ボルツマン輻射輸送計算による回転星の超新星爆発 II	原田了（東京大学）
K12a	09:42	重力崩壊型超新星の Boltzmann-Hydro Code 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）
K13a	09:54	カイラル電磁流体中でのダイナモとその重力崩壊型超新星爆発への影響	政田洋平（愛知教育大学）
K14a	10:06	重力崩壊型超新星コアにおける衝撃波の不安定性の線形解析	杉浦健一（早稲田大学）
K15c		超新星ニュートリノの鉄コア回転率依存性	水口万結香（福岡大学）
K16c		自転を伴う超新星爆発からの重力波シグナルの系統的特徴	日永田琴音（福岡大学）
K17a	10:18	非球対称な重力崩壊型超新星爆発放出物の平均化学組成	藤本信一郎（熊本高等専門学校）
K18a	10:30	X線を用いた Kepler 超新星残骸中の Fe の非等方な膨張構造解析	春日知明（東京大学）
K19a	10:42	超新星残骸の X線観測で明らかにした非対称爆発と反跳中性子星	勝田哲（埼玉大学）
K20a	10:54	重力崩壊型超新星の長時間数値計算に基づく中性子星キック	中村航（福岡大学）

K01a HSC Transient Survey (I): Overview

安田直樹, 鈴木尚孝, 高橋一郎, 諸隈智貴, 山口正輝, 姜継安 (東京大), 田中雅臣, 守屋堯 (国立天文台), 富永望 (甲南大), 前田啓一 (京都大), HSC Transient WG

すばる望遠鏡の主焦点広視野撮像カメラである Hyper Suprime-Cam (HSC) を使った戦略枠観測が実行中であるが、UltraDeep/Deep 領域の観測時間を分割して観測を行うことで Transient Survey を行う計画である。HSC の運用が安定し、長期間 (6 ヶ月) にわたる連続した観測ランが実現可能になったので、2016 年 11 月から 2017 年 4 月にかけて、COSMOS 領域において HSC SSP Transient Survey を実行した。本講演ではその観測、データ解析の概要、得られた Transient 候補天体の統計量などについて報告する。

観測は $g, r2, i2, z, y$ の 5 バンドそれぞれで 5 日から 1 週間程度の間を空けて、1 観測ラン中に 2 エポックの観測を行い、これを 6 観測ラン繰り返した。悪天候の観測ランもあり、総計でのべ 55 エポックの観測を行った。各エポックの露出時間は青いバンドほど短い、平均的に 20 分から 60 分程度である。データ解析には HSC Pipeline を利用し、2016 年 4 月以前に観測されたデータを coadd したものを参照画像として、各エポックごとに画像の引き算を行った。差分画像上で天体検出を行い、形状が PSF に似ており、複数のエポックで同じ場所で検出されているものを Transient 候補天体とした。人工的に画像に PSF を埋め込んだデータの解析から、 $g < 26.6, r2 < 26.3, i2 < 26.2, z < 25.9, y < 25.1$ の限界等級で Transient 候補天体は検出されていることが分かった。

Transient 候補天体は約 60,000 個が検出され、これらを目視により確認して、超新星と考えられるものは約 1,000 個であった。全エポックの光度曲線の解析から、このうち約 220 個は Ia 型超新星と考えられる。その他の Transient 候補天体は星、AGN、参照画像に写っている超新星、引き算の失敗などであった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K02a HSC Transient Survey (IV): Type II supernova cosmology

前田啓一（京都大学）、安田直樹（東京大学）、田中雅臣（国立天文台）、ほか HSC 突発天体グループ同

すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた戦略的観測 (SSP) において、2016 年 11 月から 2017 年 4 月にかけて突発天体探査にも適した、深く連続的かつ長期間にわたる COSMOS 領域探査が行われた。このような探査は典型的な重力崩壊型超新星である II 型超新星の発見に適しており、数十にわたる II 型超新星候補が確認されている。その多くは既存の II 型超新星サンプルの占める赤方偏移 ($z < 0.2$ 、大多数は $z < 0.03$) を有意に超えるものであり、超新星に至る恒星進化等を探るうえで強力なサンプルとなり得る。このようなサンプルは II 型超新星を用いた宇宙論研究にも大きなインパクトを与える。Ia 型超新星宇宙論が確立されて久しいが、天体物理学的理解における不定性等を考えると、独立に光度距離指標を与える天体を用いた宇宙論パラメータ測定が望まれる。II 型超新星を用いた宇宙論パラメータ測定は現在発展中であり、大きな可能性を秘めたものである。しかし、これまで距離指標とするに十分な質の II 型超新星光度曲線を $z > 0.2$ において取得することは困難であった。

HSC を用いたサーベイはこの状況を打破し、宇宙加速膨張に敏感な赤方偏移領域における II 型超新星宇宙論研究を可能とする。我々は上記 HSC-SSP により発見された II 型超新星 SN 2016jhj ($z = 0.34$) を用い、距離誤差 12% 程度でハッブル図を $z > 0.3$ に拡張することが可能であることを示した。この際、KECK 望遠鏡による追観測で取得した分光データを用いた。得られた宇宙論パラメータは Ia 型超新星等による制限と無矛盾である。本研究により分光データを用いた手法による高赤方偏移サンプルの較正ができたことで、将来的に HSC によるサーベイデータを最大限に活用するための分光データを用いない手法の赤方偏移サンプルへの適用の可能性が拓ける。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a HSC Transient Survey (V): High-redshift superluminous supernovae

守屋堯, 田中雅臣 (国立天文台), 安田直樹 (東京大学), ほか HSC 突発天体グループ一同

すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の特徴を生かした深く広視野の突発天体サーベイは、非常に暗い高赤方偏移に現れる突発天体を発見するのに適している。近年の超新星サーベイにより、通常の超新星よりも約 10 倍以上明るい超高輝度超新星 (superluminous supernova) と呼ばれる超新星の存在が明らかになった。このような明るい超新星であれば、適切なサーベイを行う事で赤方偏移 2 以上の超新星でも観測することが可能である。我々は、HSC SSP の枠組みで 2016 年 11 月から 2017 年 5 月まで COSMOS 領域で行われた突発天体サーベイのデータを用いて高赤方偏移の超高輝度超新星探査を行なった。高赤方偏移超新星候補は母銀河の photometric redshift を用いて選ばれ、Keck 望遠鏡 LRIS と Gemini 望遠鏡 GMOS-S を用いて超新星候補のスペクトルをとることで赤方偏移を確かめた。毎月数個の高赤方偏移超新星候補が見つかり、スペクトルの追観測によって赤方偏移 2.399、1.965 と 1.851 の超高輝度超新星を同定した。スペクトル観測は出来なかったが、超新星候補の中で最も高い赤方偏移の推定値は 4.2 であった。スペクトルによって赤方偏移が決まった超高輝度超新星を用いて赤方偏移 2 付近での超高輝度超新星発生頻度を推定すると、約 $900 \text{Gpc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ であり、近傍での超高輝度超新星発生率から星形成率の時間変化を用いて推定した発生率よりも高いことが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04a HSC Transient Survey (VI): Type IIP supernovae with faint host galaxies

山口正輝、諸隈智貴 (東京大学)、田中雅臣、守屋堯 (国立天文台)、富永望 (甲南大学)、安田直樹、鈴木尚孝、高橋一郎 (Kavli IPMU)、他 HSC Transient WG

すばる望遠鏡超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam(すばる HSC) による突発天体サーベイで発見した超新星のサンプルを用いて、どの銀河にも属していないように見える超新星が観測できないほど暗い母銀河に所属していることを示す。一般の超新星サーベイでは、ある割合でどの銀河にも属していないように見える超新星が発見される (例えば McGee & Balogh 2010; McCrum et al. 2015)。これらの超新星は「無母銀河 (hostless) 超新星」と呼ばれており、(1) 真に母銀河がない (銀河間空間で爆発した) 場合と (2) 検出限界より暗い母銀河で爆発した場合が考えられる。(2) の寄与を調べるため、本研究では、すばる HSC 突発天体サーベイで見つかった超新星のうち、無母銀河超新星を同定し、さらにこのサンプルにおける (2) の確率を計算し、それらを比較した。

すばる HSC 突発天体サーベイでは約 1300 個の超新星候補を発見した (本シリーズ (I) 参照)。これらの光度曲線をテンプレート光度曲線とフィットさせることにより、型を同定した。これらのうち、無母銀河超新星は 60 個程度見つかった。(1) の割合が少ないと予想される重力崩壊型のうち、同定が容易と考えられる IIP 型に限定すると、約 300 天体のうち、約 20 天体が無母銀河超新星であった。無母銀河超新星の割合は、 $z=0.4-0.6$ では $\sim 6\%$ (8/127 天体) であった。一方で、光度関数から推定される「暗すぎて検出できない銀河で IIP 型超新星が起こる確率」は $z = 0.5$ で $\sim 5\%$ であった。ほぼ同じ割合となっているため、今回のサーベイで見つかった無母銀河超新星は、ほとんどが検出できないほど暗い銀河に付随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](#)

K05a HSC Transient Survey (III): The diversity of early-phase Type Ia supernovae

Ji-an Jiang, Mamoru Doi, Toshikazu Shigeyama, Naoki Yasuda, Nao Suzuki, Ken'ichi Nomoto, Tomoki Morokuma (UTokyo), Keiichi Maeda (Kyoto Univ.), Masaomi Tanaka (NAOJ), Nozomu Tominaga (Konan Univ.)

Type Ia supernovae (SNe Ia) have been used as “standard candles” to demonstrate the accelerating expansion of the universe although the nature of their progenitor systems and how the stars explode are still obscured. As a growing number of SNe Ia found in the first few days of their explosion, some of them show abnormal brightness excess in the early phase (“early-excess SNe Ia”), which indeed have been predicted as a unique diagnostic for identifying the progenitor of SNe Ia. The recent discovery of a peculiar early-excess SN Ia, MUSSES1604D by Subaru/HSC indicates a “new” channel so-called the helium-detonation scenario to interpret the peculiar light curve behavior of early-phase SNe Ia. In this presentation, we will present the details of previously discovered early-excess SNe Ia, and discuss possible intrinsic connections among these objects. After that, we will talk about advantages and prospects of the early-phase SNe Ia study in the Subaru/HSC era.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a 光赤外線大学間連携による IIP 型超新星 SN 2017eaw の追観測

山中雅之, 中岡竜也, 川端美穂, 河原直貴, 長木舞子, 安部太晴, 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), 今井正堯, 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)

IIP 型超新星は, スペクトルにバルマー系列の吸収線を示し, 光度曲線に 80-120 日程度の平坦期を有する. 親星は爆発前の画像解析によって, 初期質量が 8-20 太陽質量程度の赤色超巨星であると推定されており, 比較的良く研究されているサブクラスである. 2-3 年に 1 度程度の割合で 10Mpc 以内の超近傍銀河で発見され精力的な追観測がなされるが, 可視-近赤外線での連続的な観測期間が 200 日を超える例は希少である. このため, 長期間の可視近赤外線放射の素性はよくわかっていない. SN 2017eaw は 5.5Mpc 程度の非常に近傍銀河 NGC 6946 に 5 月 14.2 日 (世界時) に約 13 等で発見された IIP 型超新星である. 発見の 2 日前には発見者自身が取得した画像において 19 等の限界等級が与えられており, 爆発直後であると推定された. 我々は, 長期間に渡る可視近赤外線データ取得の好機であると考え, 光赤外線大学間連携を通じた追観測を実施した. その結果, 少なくとも推定された爆発日から 200 日以上の $Bg'VRIJHKs$ バンド光度曲線及び可視スペクトルの取得に成功した. 観測的特徴は概ね典型的な IIP 型超新星に類似していることがわかった. また, 疑似総放射に対する近赤外線放射の寄与は, 平坦期に徐々に増加していき, 急減光直後に 50%程度に達し, やや減少した後落ち着くことがわかった. 本講演では他の良く知られた超新星の光度曲線などと比較しつつ放射起源の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](#)

K07a 極めて短いプラトーを持つ特異な超新星 SN 2017czd の測光分光観測

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

重力崩壊型超新星は太陽の8–10倍以上の質量を持つ大質量星が親星だと考えられ、その中でも比較的軽い親星が単独星進化を経て爆発したものがIIP型超新星(SNe IIP)として現れると期待される。SNe IIPは可視光で明るさがほとんど変化しないプラトーを持つことが特徴であり、典型的には60日から100日程度の期間であることが知られている(Anderson et al. 2014)。また他の観測的特徴として $H\alpha$ 吸収線速度が挙げられるが、典型的には6000~9000 km/s程度に分布していることが分かっている(Bose et al. 2015)。

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。この天体は発見2日後から可視光でプラトーとなったことから、発見直後には典型的なSN IIPであると思われていた。しかし発見17日後に急減光を開始し、プラトー期間は~18日であることが分かった。この値はこれまでに発見されたSNe IIPの中で最も短く、極めて特異なSN IIPであると言える。また分光観測からプラトー中期の $H\alpha$ 吸収線速度を測定した結果、典型的なSNe IIPと比較して約3倍の~20000 km/sとなり、SNe IIPのみならずII型超新星の中でも際立って大きい。このような観測的特徴を持つ超新星は過去に例がなく、SNe IIPの標準的親星・爆発モデルの枠組みを超えた理論モデルを必要とする。講演では、ライトカーブにおける“極めて短いプラトー”以外の解釈や、より多様な天体との比較も示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08a Ca-rich トランジェント iPTF15eqv の可視近赤外測光分光観測

河原直貴, 山中雅之, 川端弘治, 中岡竜也, 川端美穂 (広島大), 前田啓一 (京都大), かなた望遠鏡チーム

近年発見された中で、早期から可視スペクトルに強いカルシウムの輝線を示す特異な超新星が報告されている。そのような超新星は Ca-rich トランジェントと呼ばれている。Ca-rich トランジェントは極大期のスペクトルに水素の吸収線が見られず、ヘリウムの吸収線が見えることから Ib 型として報告される。しかし、後期スペクトルにおいては Ib/c 型に見られる酸素の輝線が非常に弱く、卓越したカルシウム輝線を持つスペクトルを示す。母銀河は楕円銀河が多く、母銀河から数十 kpc 離れているものも見つかっている。爆発シナリオとして白色矮星起源の熱核暴走反応シナリオと 8-10 M_{\odot} 程度の大質量星の重力崩壊シナリオが考えられているが、不明な点は多い。観測結果からは両シナリオとも支持されており、その親星の正体は全くわかっていない。

我々は 2015 年 9 月 27 日に発見された Ca-rich トランジェント iPTF15eqv について、広島大学かなた望遠鏡を用いて可視近赤外線測光分光観測を行った。この超新星は Ca-rich トランジェントとしては珍しく渦巻き銀河で発見された。発見当初から非常に強いカルシウムの禁制線が見えた。我々の極大期以降の密な観測により、極大日から 30 日後の R バンドの絶対等級は -16 等と典型的な Ca-rich トランジェントよりも 2 等程度明るく Ib/c 型と似た値を示すことが明らかになった。 ^{56}Ni 生成量はむしろ Ib/c 型超新星の分布に合致する。一方で、光度曲線の進化、早期スペクトルのプロファイルは典型的な Ca-rich トランジェントと似ている。また、ヘリウムの吸収線速度は Ib 型と Ca-rich トランジェントに大きな違いはなく、この超新星も両者とも矛盾しないことがわかった。これらの結果から、この超新星は Ib/c 型で見られるような特徴との一致も見られたが、他の Ca-rich トランジェントとの共通点は多く、Ca-rich トランジェントの多様性として解釈して矛盾は無い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K09a 減光速度の大きな極超新星 SN 2014as の測光分光観測

大坪一輝, 山中雅之, 川端弘治, 高木勝俊, 中岡竜也, 川端美穂, 河原直貴 (広島大学), 前田啓一 (京都大学)

初期質量がおおよそ $8M_{\odot}$ よりも重い大質量星は、星の進化の最終段階で重力崩壊し、重力崩壊型超新星となる。その中でもスペクトルに水素やヘリウムが見られない超新星は、Ic型と分類される。その親星は、より多くの外層が剥ぎ取られたものと考えられる。その中でも、より爆発エネルギーが大きく、スペクトルに非常に幅の広がった吸収線が見られる超新星が、極超新星である。しかしながら、極超新星とIb/c型超新星の関係性は自明ではなく、起源は不明瞭な点が多い。2014年4月18日に発見されたSN 2014asの分光によって、初期の極超新星との類似性が報告された。我々は広島大学所有のかなた望遠鏡を用いて、4月21日から7月1日までSN 2014asの追観測を行った。また、極大光度からおおよそ100日後にすばる望遠鏡でも観測を行った。得られたデータをよく知られた極超新星SN 1998bw、ややエネルギーの大きなSN 2002apと比較を行った。その結果、光度曲線はより大きな減光速度を示した事がわかった。スペクトルにおいては、幅の広がったケイ素とカルシウムの吸収線を見出した。これは平均的な極超新星に一致する。極大光度付近においては、ケイ素の吸収線速度がSN 1998bwよりもやや大きな値 (~ 19000 km/s) を示した。これらからSN 2002apと比べて、爆発エネルギーは大きく、ejectaの質量は同程度であると推定された。これは極超新星の爆発パラメータがより広範囲にわたっている事を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10a 中心エンジン駆動超新星エジェクタからの非熱放射

鈴木昭宏、前田啓一（京都大学）

大質量星の崩壊によって生まれる重力崩壊型超新星爆発のうち、一部は極めて明るい可視光放射を伴ったり、大きな爆発エネルギーを示唆する幅の広い吸収線を示したりする。このような超新星は、超新星エジェクタの中心に残された中性子星あるいはブラックホールの活動性によってエネルギーが供給されている可能性があり、特に近年の変光天体サーベイで見つかってきている超高輝度超新星を説明するシナリオとして有望視されている。

我々は、このような中心エンジンからのエネルギー注入がある超新星エジェクタの力学的進化と電磁波放射について、多次元シミュレーションに基づいた放射モデルの構築を進めている。我々の2次元シミュレーションによると、中心でのエネルギー注入によって漏れ出した熱いガスが超新星エジェクタの外層を準相対論的な速度にまで加速することが示唆されている (Suzuki&Maeda 2017)。このような速いエジェクタ成分があると、星周物質中を伝搬する衝撃波で加速された非熱電子からのシンクロトロン放射によって明るい電波放射が期待でき、中心エンジンの活動性をプローブできる可能性がある。そこで、超新星からの非熱放射で一般的に使われる定式化を用いて、中心エンジン駆動超新星エジェクタからの非熱放射の光度曲線を計算し、電波で明るい超新星や超高輝度超新星の電波観測の結果との比較を行った。その結果、電波で明るいSN 1998bw や 2009bb の電波放射と同程度の光度にもなり得ることが分かった。電波光度は星周密度や電子加速のパラメータにも依存するが、この結果は超高輝度超新星の電波観測から相対論的な速度成分の有無や星周密度に制限がつけられることを意味する。

講演では、この結果やパラメータ依存性について議論するほか、逆コンプトン放射による X 線光度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](#)

K11a ボルツマン輻射輸送計算による回転星の超新星爆発II

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

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り、そのメカニズムの最有力仮説は、中心に残される原始中性子星から放射されるニュートリノをエネルギー源とする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。

しかしながら、そのようなニュートリノ輻射流体シミュレーションの結果は研究者グループ毎に違っている。多次元輻射輸送計算は計算コストが高いため、グループごとに様々な近似手法を採用しており、結果の違いの原因の一つにはこの近似手法の違いがあると考えられる。そこで我々は、ニュートリノ輸送のためにボルツマン方程式を直接解くコードを開発し、それをを用いた超新星爆発の第一原理計算を行っている。

本講演では秋季年会に引き続き、太陽の11倍程度の質量を持ち、人為的に中心で1 rad/s程度の自転角速度を与えた親星の超新星計算とその解析結果を報告する。バウンス後のより詳細なダイナミクスに加えて、ボルツマン方程式を解いた結果と近似的輻射輸送の比較から、近似法の精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](#)

K12a 重力崩壊型超新星の Boltzmann-Hydro Code 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）

重力崩壊型超新星の爆発メカニズムはニュートリノ加熱メカニズムであると考えられており、様々な研究が進められている。多くの研究では計算コストを削減するために、ニュートリノ輻射輸送に対し近似手法を用いている。我々は、スパコン「京」を用いて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、コードの開発を進めてきた。計算結果は詳細に解析されるとともに、ニュートリノ輻射輸送に関する様々な近似手法の検証と適用範囲の確認のために利用される。本研究では、11.2Msol と 27Msol の星の二次元軸対称計算結果の比較を行う。両モデルとも Lattimer & Swesty ($K=220\text{MeV}$) の EOS を用いて計算を行った。他グループによる二次元軸対称計算結果から、11.2Msol は比較的早期に爆発し、27Msol は遅れて爆発する傾向があることがわかっている。現在 300ms まで計算が進んでいるが、11.2Msol は爆発しかけていることがわかっており、27Msol はまだ爆発していない。27Msol の星のモデルについては 600ms まで計算する予定であり、本講演では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](#)

K13a カイラル電磁流体中でのダイナモとその重力崩壊型超新星爆発への影響

政田洋平（愛教大）、滝脇知也（国立天文台）、固武慶（福岡大）、山本直希（慶應大）

電子やニュートリノ等のフェルミオンは“カイラリティ”と呼ばれる性質を持ち、左巻きと右巻きが明確に区別される。左右の対称性が保たれている限り、カイラリティは巨視的なプラズマダイナミクスに影響を及ぼすことは無いが、対称性の破れをともなうプラズマでは、『カイラル磁気効果 (Chiral Magnetic Effect)』(磁場をかけるとその方向に電流が流れる効果)と呼ばれる量子効果が、そのダイナミクスを劇的に変化させると考えられている (e.g., Vilenkin 1980)。電子捕獲反応によって左巻きニュートリノと右巻き電子が大量に生成される重力崩壊型超新星は、宇宙で最も『パリティの破れ』が生じうる場所であり、その爆発ダイナミクスにとってカイラル対称性の破れが本質的に重要な役割を果たす可能性がある (c.f., Kharzeev 2014; Yamamoto 2016)。

現在我々は、超新星爆発に対するカイラル対称性の破れの影響を定量的に理解するために、カイラル電磁流体の非線形発展を3次元シミュレーションで詳しく調べている。これまでの研究で、(1) カイラルプラズマ不安定性に起因したダイナモ効果で、磁場の指数関数的増幅が生じること、(2) 磁場と速度場のインバースカスケードで、巨視的な磁場・流場構造が生じること、(3) 飽和状態における磁場のスペクトルは k^{-2} に比例する一方、速度場のスペクトルは $k^{-5/3}$ に比例すること、などを明らかにした。本講演では、バリオン込みのカイラル電磁流体の定式化やカイラルプラズマ不安定性、及びその乱流効果とのアナロジーについて解説するとともに、カイラル磁気効果が駆動するダイナモが重力崩壊型超新星爆発に及ぼす影響について定量的に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](#)

K14a 重力崩壊型超新星コアにおける衝撃波の不安定性の線形解析

杉浦健一 (早稲田大学), 高橋和也 (京都大学), 山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発は大質量星が最期に起こす爆発現象である。超新星爆発は重力崩壊後に形成される衝撃波が鉄コアを突き抜けることによって起こると考えられているが、衝撃波は一度停滞することが知られており、この停滞衝撃波の復活させる機構が必要である。

衝撃波復活の代表的な機構として、原始中性子星からのニュートリノのエネルギーを復活に用いるニュートリノ加熱機構がある。それに加えて、近年の数値計算の発展によって多次元的な効果の衝撃波復活への寄与も注目され始めており、その一つが原始中性子星の g-mode 振動によって発生した音波のエネルギーを爆発に用いる音響メカニズムである。最近では、電子型、反電子型ニュートリノが非対称に放出されることで、衝撃波面の変形を引き起こし爆発を助ける LESA という機構も提唱されている。これらの機構は数値計算によって見つかったものであるが、数値計算手法やモデルの不定性が大きく、統一的な見解は未だ得られていない。

本研究では、超新星コアにおける衝撃波面の不安定性を調べるために線形解析を用いた。音響メカニズムや LESA の効果を反映するために単純化した境界条件を用いることで、これらの多次元的な効果の不安定性への影響を調べた。ニュートリノ光度をパラメーターとし、衝撃波面の成長率や振動数を系統的に調べた結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K15c 超新星ニュートリノの鉄コア回転率依存性

水口万結香, 中村航, 固武慶 (福岡大学)

太陽の約8倍以上の重さをもつ恒星は元素合成の最終段階において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って急激に潰れ始め(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。しかし、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解明されていない。この現象を解明するにあたって、まずは内部コアで起こっている現象を理解する必要がある。

重力崩壊が進み中心密度が核密度に達したとき、核力によって急激に圧力があがるため中心の超高密度領域(内部コア)が外側の物質をはじき返し、内部コア表面に衝撃波が形成される。しかしこの衝撃波は、その背面での鉄の光分解とニュートリノ冷却によりエネルギーを失い、およそ半径が100-200kmの地点で一度停止してしまう。停止した衝撃波が復活するにあたって重要になるシナリオが、ニュートリノ加熱メカニズムである。ニュートリノによって再加熱された衝撃波は再び外側に向かって動き出し、星の表面まで到達して超新星として観測されることが考えられている。

そこで、20太陽質量の親星モデルに対してIDSA法を用いた2次元軸対称のニュートリノ輻射流体計算に基づく重力崩壊のシミュレーションを行ったのでその結果を報告する。親星モデルの中心コアの自転速度をパラメータとして与え、衝撃波復活の成否やニュートリノ光度・エネルギーが自転に強く依存することを示す。Super-KamiokandeやIceCubeにおける検出可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K16c 自転を伴う超新星爆発からの重力波シグナルの系統的特徴

日永田琴音, 中村航, 固武慶 (福岡大学)

重力崩壊型超新星爆発（以下単に超新星と呼ぶ）とは、太陽の約8倍以上の質量を持つ重い恒星が、その進化の最終段階に迎える大爆発現象である。超新星は宇宙・天文分野において最も注目される天体現象の一つであるが、その根本となる爆発の物理的な機構は、60年以上にわたる研究の歴史を持ちつつも、未だに完全には理解されていない。

超新星の爆発機構を解明する鍵となるのが、ニュートリノと重力波である。両者は超新星の外層を通過する際に物質とほとんど相互作用せず観測者に到達するので、超新星の中心の情報を直接運んでくる。この信号を解析することで、超新星中心における物質の状態や運動を知ることが可能となり、爆発機構に迫ることができると期待されている。現在、世界中に多くのニュートリノ・重力波検出器が存在しており、日本国内でも Super-Kamiokande や KAGRA が稼働している。

今回、超新星重力波の自転依存性を調べたのでその結果を報告する。重力崩壊する直前のコアの自転速度はよくわかっておらず、今回の計算ではパラメータとして扱った。20太陽質量の親星モデルの重力崩壊に対して IDSA 法を用いた2次元軸対称のニュートリノ輻射流体計算を実行し、四重極公式を用いて重力波波形を評価した。コアの回転率を系統的に変えることで、波形の特徴の変化を詳しく調べた。数値シミュレーションの結果を示し、超新星重力波の特徴的なシグナルとそれを生み出す物理的背景を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K17a 非球対称な重力崩壊型超新星爆発放出物の平均化学組成

藤本 信一郎 (熊本高専), 小野 勝臣 (理化学研究所), 橋本 正章 (九州大学)

本研究では, 質量 $M = (10 - 40)M_{\odot}$, 金属量 $Z = 0, Z_{\odot}$ をもつ 40 個程度の大質量星 (親星) の超新星爆発における元素合成を調査した. ニュートリノ吸収・現実的状态方程式を考慮した 2 次元軸対称流体力学コードを用いて, コアバウンスから数秒に渡って放出ガスの dynamics を流体力学計算した. 中心部 (< 50 km) は計算領域には含めず, Ugliano 等 (2012) と同様のニュートリノコア・モデルを採用し, 流体力学計算から見積られる質量降着率を用いて, 原子中性子星から照射されるニュートリノ光度・温度の時間発展を見積った. ただしコアバウンスから 200-400 ミリ秒という早めのタイミングで超新星爆発が引き起こされるようにニュートリノコア・モデルの 2 つのパラメータを調整した. (このパラメータの場合, $M \sim 20M_{\odot}$, $Z = Z_{\odot}$ をもつ親星の爆発が SN1987A の観測値を再現する (2017 年春季年会講演予稿集参照)).

次に以上の流体力学計算結果に基づいて, Kr 以下の 463 核種を含む核反応ネットワークを用いて元素合成計算を行なった. 様々な質量をもつ親星の超新星爆発放出物の組成を初期質量関数で平均し, Zn (原子番号 30) 以下の元素の平均化学組成を求めた結果, 以下のことを明らかにした; (1) 親星の金属量が Z_{\odot} の場合, 銀河系における頻度と同程度の Ia 型超新星の寄与 (2 割程度) を平均組成に加えると太陽系組成を概ね再現する. (2) また親星の金属量が 0 の場合, 平均組成は Cayrel 等 (2004) の金属欠乏星の観測から得られた組成比 $[X/Fe]$ を概ね再現する (ここで元素 X の質量比 $X(X)$, 太陽系における質量比 $X(X)_{\odot}$ を用いると $[X/Fe] = \log[X(X)/X(Fe)] - \log[X(X)_{\odot}/X(Fe)_{\odot}]$). (3) コアバウンスから 500 ミリ秒以降という遅めの爆発の場合が太陽系組成を再現するという 1 次元球対称モデルの結果とは異なる.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K18a X線を用いた Kepler 超新星残骸中の Fe の非等方な膨張構造解析

春日知明 (東京大), 佐藤寿紀 (首都大, 宇宙研), 森浩二 (宮崎大), 山口弘悦 (NASA/GSFC, University of Maryland), 馬場彩, 中澤知洋 (東京大)

超新星残骸 (SNR) の中で重元素プラズマがどのように膨張しているかは、超新星爆発そのものの構造や星周・星間物質の分布を知る手がかりとなる。膨張構造が等方であれば、視線方向のドップラー効果により SNR 中心ほど輝線幅が太くなる傾向が見られる。一方で Ia 型 SNR の Kepler では、X 線衛星 *Chandra* での Si などの輝線解析から比較的軽い元素の ejecta では場所ごとに大きく異なる速度を持つ knot が発見され (Sato et al. 2017)、非等方な膨張が示唆されている。

そこで我々はより重く Ia 型超新星の主要生成物である Fe の運動についても調べるため、X 線衛星「すざく」の取得した Kepler のスペクトルのうち Fe の K 輝線を解析した。前回 (春日ら 2017 秋季年会 Q42a) は Fe の電離度が場所ごとに違うことや SNR 中心部分でやや赤方偏移を見せることを示したが、SNR 視直径が角分解能に比べて大きくないことから結論には光子混入の評価が必要であった。今回は光子混入を考慮した詳細な解析から、中心付近の領域では K 輝線の中心エネルギーが中性 Fe よりも約 20 eV 低く、輝線幅も外側に比べて約 50 eV 細くなっていることを発見した。これは、中心の Fe は約 3,000 km/s で奥側に飛ぶ成分しか X 線で光っていないことを示しており、非対称分布であることを確定した。なお *Chandra* による解析でも同様の傾向を確かめている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K19a 超新星残骸のX線観測で明らかにした非対称爆発と反跳中性子星

勝田哲 (埼玉大学), 森井幹雄 (統数研), Hans-Thomas Janka (MPA), Annap Wongwathanarat (MPA), 中村航, 固武慶 (福岡大学), 森浩二 (宮崎大学), Ewald Müller (MPA), 滝脇知也, 田中雅臣 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 常深博 (大阪大学)

中性子星の誕生時の特徴は、長年にわたって議論が続く超新星爆発メカニズムの謎や中性子星そのものの物理に関する重要な情報を持っている。その特徴の一つが、平均 100 km/s にも及ぶ中性子星の高速運動である。そのメカニズムは未だによく理解されていないが、現在のところ、爆発時の (1) 非等方的な爆発噴出物ないし (2) 非等方的なニュートリノによって蹴り飛ばされるという二説 (hydrodynamic kick vs. neutrino-induced kick) が有力となっている。

銀河系内および近傍銀河の超新星残骸は、この二説が予言する観測的特徴をテストする貴重な機会を与えてくれる。というのも、天体までの距離が非常に近いため、超新星イジェクタの詳細分布のみならず中性子星の位置まで精度良く測定できるからである。イジェクタ分布を導出する上で重要となる作業が、イジェクタが掃き集めた星間・星周物質の適切な除去である。両成分はスペクトル解析によって分離できるが、各成分の分布図を作成するためには、残骸を細かく分割し各地点でスペクトル解析を行う必要がある。従って膨大な数のスペクトルを解析する必要があり、これに大変手間が掛かるのがデータ解析上の問題であった。今回我々は、従来法より圧倒的に効率良く各成分の分布図を作成する手法の開発に成功した。この新手法を6つの超新星残骸に適用したところ、全ての残骸において中間質量元素イジェクタと中性子星が反跳することが判明した。さらに、イジェクタの非対称度とキック速度の間には相関傾向が見られた。これらの結果は明快に hydrodynamic kick 説を支持している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K20a 重力崩壊型超新星の長時間数値計算に基づく中性子星キック

中村航, 固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台)

近年、ニュートリノによる加熱や冷却を取り入れたうえで空間1次元の爆発計算を数百個の超新星親星に対して実行し、その系統的性質を調べる研究が相次いで発表された (O'Connor & Ott 2011, 2013; Uglianl et al. 2012; Ertl et al. 2016; Sukhbold et al. 2016)。我々は同種の系統的研究を親星モデル約400個に対して空間2次元で実行することによって、対流などの効果を取り入れながら、ニュートリノ光度などの超新星を特徴付ける量が親星構造にどのように依存するかを明らかにした (Nkamura et al. 2015)。しかし、この時の計算ではバウンス後1秒以内で計算を終了させていたため、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9モデルに対して空間2次元で長時間計算を実行し、反跳速度と親星構造の関係を調べた。その結果、親星の密度構造を特徴付けるコンパクトネスパラメータが大きいモデルほど反跳速度も大きくなる傾向を示した。これは、密度の高い物質が中心コアに降着することによって定在衝撃波不安定性が発達し、爆発の非等方度合いが大きくなることに起因していると考えられる。また、このようなモデルは原始中性子星の質量も大きくなることから、重い中性子ほど大きな反跳を得て速く動いていることを示唆する。観測と比較し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

3月14日(水) 午後(13:00-15:00) [A会場]

L01a	13:00	「黒点変動と太陽系天体位置との興味ある関係」から 藤原ケイ ()
L02a	13:12	流星群の4次元予報計算 佐藤勲 ()
L03a	13:24	惑星大気の自発的スーパーローテーション 森川雅博 (お茶の水女子大学)
L04c		ALMA/「あかつき」衛星で探る金星の大気化学・ダイナミクスのリンク 青木亮輔 (大阪府立大学)
L05a	13:36	小惑星(3200) Phaethon の偏光撮像観測 新中善晴 (国立天文台)
L06a	13:48	C型小惑星(74)Galatea の偏光観測 匠あさみ (放送大学/国立天文台)
L07a	14:00	パンスターズ彗星(P/2016 BA14) の中間赤外線観測 大坪貴文 (宇宙航空研究開発機構)
L08a	14:12	C/2012 S1 ISON 彗星の軌道の内側に伸びたダストテイルの解析 西田信幸 (日本天文学会 2017年度内地留学生)
L09a	14:24	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による太陽系外縁天体のカラー測定 吉田二美 (千葉工業大学/神戸大学)
L10a	14:36	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam によるケンタウルス族のカラー測定 佐久川遥 (神戸大学)
L11b	14:48	HSC すばる戦略枠サーベイによる太陽系小天体の観測的研究 吉田二美 (千葉工業大学/神戸大学)
L12b	14:48	2018年10月流星群の4次元予報計算 佐藤勲 ()
L13b	14:48	岡部隕石の火星経路の再考察 佐藤幹哉 (日本流星研究会)
L14c		Based on the theory of relativity, the demonstration of the Titius-Bode law and the calculation of the Saturn ring orbits and the number of its rings Fumitaka Inuyama (ex-Kyudensangyo Inc.)

L01a 「黒点変動と太陽系天体位置との興味ある関係」から

藤原ケイ

太陽黒点の発生及びその変動要因は 太陽内部にあるとする考え方が有力であるが、未だ解決に至っていない。そこで 筆者は視点を広げ、太陽以外の周囲天体が関与しているのではないかと考えて、検討を進め、前回(2017年秋季大会)の講演で、「黒点の発生・変動は太陽の内部活動の結果ではなく、太陽を取り巻く諸天体の相対位置に依存している可能性がある」ことを指摘した。具体的には「黒点変動」と「木星、周期彗星(133P、176P)、小惑星帯とその分布、の黄経と黄経差」に密接な関係が存在することを明らかにし、ここから 太陽に向う仮想流体の存在を仮定して 因果律に反しないストーリーを提案した。今回は 前回得られた内容を再確認するとともに、仮定した「仮想流体」の具体的イメージを構築し、「仮想流体」によって解決できる可能性のある諸課題について言及する。この中には 土星、地球等の惑星の役割を含む太陽系全体の構造モデル、及び 太陽黒点現象に加えて、太陽磁場の反転、地球の気圧振動現象も含まれる。

概要は、

- (1) 仮想流体を攪乱支配しているのが 木星を中心にした太陽系天体位置であり、
- (2) 仮想流体が太陽の黒点を発生させ、惑星等にも大きな影響を与えていること、
- (3) 仮想流体の存在について、
モデルとともに示すものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a 流星群の4次元予報計算

今村優志, 佐藤勲, 阿部新助 (日本大学)

従来のダストトレール理論による流星群の1次元予報計算では、流星物質が近日点で軌道進行方向に放出されていると仮定されているが、実際に地球に降ってくる流星は、近日点以外の場所で放出されたものであることがわかっている。すなわち、従来の1次元ダストトレール理論は、近似理論にすぎない。このため、うしかい座流星群などの一部の流星群では、出現予報時刻がずれるなどの影響があることがわかっている。

本研究は、ダストの放出速度ベクトルを3次元とし、実際に地球に降ってくるダストがいつどこで放出されたのかを明らかにして、流星群出現の物理的なメカニズムの解明に迫ろうとするものである。講演では、4次元予報理論をペルセウス座流星群に適用した場合の計算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](#)

L03a 惑星大気の自発的スーパーローテーション

森川雅博（お茶大理学部）

惑星大気のスーパーローテーション (SR) を、対称性（東西鏡面对称性）の視点から再考する．現在までに、この大局的な高速回転流である SR の起源と維持を説明するたくさんの機構が考えられてきている．昼夜間対流モデル、ハドレー循環に基づく乱流・波動、熱潮汐波の伝搬、大気重力波の上昇、などなど．しかしどれも SR の維持のためには決定的な説明ではないようである．

講演では、まず、各惑星に対してその自転軸を周回するゾーンの概数を求め、SR の候補は太陽系では金星とタイタンに絞られることを示す．その SR を説明するのに、上記のようにあからさまに対称性を破る必要はないことを、簡単なモデルを構成して示す．つまり SR は条件が揃えば自発的に生じうる．

さらに、結合した3つの循環からなる最小モデルを構成して、SR が出現する条件を明確にする．このモデルは対称性を満たす項を最低次で取り入れる形で構成する．従ってナビエストークス方程式などからの帰納ではないが、存在するべきであるという要請から形が決まる．この方程式系を解析すると、流れは常に流速最大になるように自律的に決まることがわかる．特に、地表面摩擦と速度差摩擦の大小により、対称性を持った昼夜間対流か SR が出現する．モデルの数値計算により、様々なパターンの流れを紹介する．

様々な観測から決まる数値を用いて、あからさまな対称性の破れを要請する他の理論と比較検討する．特に、我々のモデルにおいて SR の速度を決める式には、他の理論ではあからさまに入ってくる対称性を破る、角速度の因子は不要であることが示される．特に金星の SR は弱い自転にトリガーされて生じるが、SR そのものの大きさは自転角速度によらないことが示される．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04c ALMA/「あかつき」衛星で探る金星の大気化学・ダイナミクスのリンク

青木亮輔, 徳田一起, 前澤裕之 (大阪府立大学), 西合和矢 (NAOJ), Yeon Joo Lee, 佐藤隆雄, 中村正人 (JAXA/ISAS), 田口真, 福原哲哉 (立教大学), 今村剛 (東京大学), 佐川英夫 (京都産業大学)

2015年12月に「あかつき」衛星 (JAXA) の中間赤外カメラ (LIR: 波長 $10 \mu\text{m}$) が、アフロディーテ大陸で発生すると考えらる大気重力波起因の弓状の波動パターンを発見した。我々は、この現象を介してCOやH₂O、硫化物などの時空間変動を捉え、金星の低高度から高高度を繋ぐ大気化学反応ネットワークとダイナミクスのリンクに迫ろうとしている。「あかつき」衛星の赤外線や紫外線観測は低層大気から雲頂にかけての温度やCO、SO₂などの存在量・速度場を捉えることができる。一方でALMAのミリ・サブミリ波のヘテロダイン分光観測では、高度75-110 kmの微量分子の高度分布を捉えることができるため、両者の連携観測により、金星の低層から中層にかけての分子種の3次元分布 (高度・緯度・経度方向など) を明らかにできる。

これまでに2016年11月20日、12月1日、2017年5月14日の3回に渡り「あかつき」衛星とALMAの連携観測を実施し、特に12月1日には近金点でのLIRカメラによる弓状構造付近の連続撮像に成功している。この日のALMAはC40-4の配列で、金星の16秒角の視直径に対して空間分解能は300 GHz帯 (¹²CO, ¹³CO, HDO, SO, SO₂) で0.27秒角、200 GHz帯 (¹²CO, ¹³CO) で0.40秒角であった。ALMAでは、UV空間をカバーするために50台の12 m望遠鏡群と12台の7 m望遠鏡群の干渉計システム、4台の12 m単一望遠鏡で観測する必要があるが、時間変動の激しい金星の大気を正確に捉えるため、これらアンテナ群の同期観測を実現している。2017年8月頃よりALMAのQA2データの配信が一部始まり、金星の夜・昼面での光化学反応と輸送に伴う分子の分布の違いと思われる構造も見えており、本講演ではこれらの観測の取り組み・解析の進歩について紹介/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](#)

L05a 小惑星 (3200) Phaethon の偏光撮像観測

新中善晴 (国立天文台, 日本学術振興会特別研究員 PD), 古荘玲子 (都留文科大学), 春日敏測 (京都大学), 竝木則行, 野田寛大, 渡部潤一 (国立天文台)

小惑星 (3200) Phaethon は 1.43 年の周期を持つ近地球小惑星の一つである。同小惑星は近点付近で彗星状の尾が複数の回帰で見られており (ex. Jewitt et al. 2013, *ApJL*, 771, L36)、活動的小惑星と分類されている。また軌道から、同小惑星は定常流星群として毎年 12 月に見られるふたご座流星分の母天体であると考えられている (ex. Williams and Wu 1993, *MNRAS*, 262, 231)。一般に、流星群は彗星活動により放出されたダストが起源だとされており、Phaethon は過去に大量のダスト粒子を放出したと予想されている。そのため、Phaethon は彗星と小惑星の中間的特徴を持つ過渡的な天体である可能性が高いが、このような過渡的な天体の起源や物質についてはよくわかっていない。このような理由もあり、現在計画中の深宇宙探査技術実証機 *Destiny+* では Phaethon のフライバイ探査が計画されている (<http://destiny.isas.jaxa.jp/DestinyPlus%202017.html>)。

我々は、Phaethon の表面物質の性質を明らかにすることを目的として、2017 年 12 月に国立天文台三鷹キャンパスの 50 センチ公開望遠鏡に搭載した偏光撮像装置 PICO (Ikeda et al. 2007, *PASJ*, 59, 1017) で Phaethon の偏光撮像観測を実施した。小惑星の偏光観測では、小惑星表面の物質により散乱された太陽光を見るため、その偏光の特徴から小惑星の表面物質の特徴を知ることができると期待される。本発表では、Phaethon の偏光観測結果および結果から得られた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](#)

L06a C型小惑星(74)Galateaの偏光観測

匠あさみ(放送大学, 国立天文台), 渡部潤一(国立天文台), 古荘玲子(都留文科大学, 国立天文台), 臼井文彦(神戸大学), 大坪貴文(JAXA/ISAS), 川端弘治, 山中雅之, 中岡竜也, 川端美穂(広島大学), 石黒正晃(ソウル大学), 倉本圭, 渡辺誠, 今井正亮, 大野辰遼(北海道大学)

太陽光が太陽系の天体の表面で反射されるとき、表面物質の組成や粒子の大きさに応じて偏光が生じる。太陽-天体-観測地を含む平面を散乱面、その間の角度を位相角という。位相角は天体の相互位置に応じて変化し、直線偏光度も変化していく。また、直線偏光度と位相角のプロットの形状は天体によって特徴的な違いが見られる。小惑星の場合、スペクトルの形状によりタイプが分かれるが、その偏光度位相角曲線でも同様な分類が見られる(Muinonen et al. 2002)。また、直線偏光度は偏光面が散乱面に平行な成分が垂直な成分より大きい場合にマイナスとなる。曲線の最小偏光度と直線偏光度がマイナスからプラスに転じる位相角(反転角)との関係からも小惑星のタイプが類推できる(Belskaya et al. 2017)。

そこで、20152016年に国立天文台50センチ社会教育用公開望遠鏡と偏光撮像装置PICO、2017年に北海道大学ピリカ望遠鏡と可視光マルチスペクトル撮像観測装置MSI、広島大学かなた望遠鏡と可視近赤外線同時カメラHONIRの偏光モードを用いて、(74)Galateaをターゲットとして選び観測を実施した。(74)はスペクトル分類ではC型であるが、他に比較として、B型の(2)Pallas、S型の(27)Euterpe、X型(M型)の(201)Penelopeの観測も行った。その結果、(2)Pallas、(27)Euterpe、(201)Penelopeの偏光による分類はスペクトル分類と一致したが、(74)Galateaは異なる兆候を示した。本講演では、観測の概要と得られた直線偏光度の傾向、そこから推定される(74)Galateaの表面特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](#)

L07a パンスタース彗星 (P/2016 BA14) の中間赤外線観測

大坪貴文 (ISAS/JAXA), 本田充彦 (久留米大), 渡部潤一、新中善晴 (国立天文台), 臼井文彦 (神戸大), 河北秀世 (京都産業大), 古荘玲子 (都留文科大)

2016年1月22日に発見されたパンスタース彗星 (P/2016 BA14) は、軌道確定後、5.25年の周期を持ち2016年3月末に地心距離約0.024 auまで地球に接近することが判明した。この地心距離はここ200年では彗星が最も地球に接近する距離であり、ダストコマの構造などを分解し、彗星核そのものをとらえる観測が可能になることが期待された。そこで、我々は2016年3月21日 (UT) にすばる望遠鏡搭載の冷却中間赤外線分光撮像装置 (COMICS) を用いて、この彗星の中間赤外線撮像・分光観測をおこなった。今回はその結果について報告する。

撮像観測は8.8, 12.4, 17.7, 18.8 μm の4バンド、分光観測は8–13 μm の低分散分光 ($R \sim 250$) でデータを取得した。我々が観測したのは近日点通過後、彗星の地球最接近直前であり、地心距離は約0.026 au (約390万 km)、日心距離は約1.02 auであった。観測時のシーイングはFWHMで約0.5秒角 (彗星の位置で10 km以下相当) であったが、撮像では、直径5秒角以上の広がりは見られず、中間赤外線の観測では、コマは直径100 km以下であった。また、8–13 μm のスペクトルは、明確なシリケート・フィーチャが見られず、2温度の黒体放射の和で再現可能であり、約150–200 Kの低温成分が卓越していた。この結果は、今回の観測ではコマの寄与が非常に小さく、中間赤外線で彗星核の放射をとらえることができたことを示唆している。今回の講演では、観測スペクトルについて更に詳細に紹介し、コマの寄与を差し引いた後の彗星核のスペクトルを基に、小惑星と彗星核との比較等について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L08a C/2012 S1 ISON 彗星の軌道の内側に伸びたダストテイルの解析

西田信幸, 渡部潤一 (国立天文台), 佐藤幹哉 (日本流星研究会), 大坪貴文 (宇宙科学研究所), 新中善晴 (国立天文台, 日本学術振興会特別研究員 PD)

彗星核から放出される塵 (ダスト) は、太陽輻射圧を受けることで核とは異なる運動をするために、核から大きく離れて軌道平面上に扇形の尾を作る。この塵の尾 (ダストテイル) は、主にその塵粒子の放出時刻と、サイズによって変化する太陽輻射圧と重力の比の大きさという、ふたつのパラメータで決定される軌道運動を計算することで、観察される尾の形状を予測可能である。また逆に観察された尾の再現により、塵の物理量や放出時期を推測することができる。

ところが彗星によっては、通常の彗星では出現しないような特異な形状の尾を見せる場合がある。C/2012 S1 (ISON) 彗星は、2013年11月末に太陽の0.0125 auの距離まで接近し消滅したが、近日点通過後に彗星軌道の内側に伸びる淡い尾を見せた。この尾は、一般に見られる太陽輻射圧により軌道の外側に流される傾向と相反する動きに見える。

本研究では、アメリカの太陽観測衛星 SOHO や STEREO による近日点通過前後に見られた尾の観測結果を再現すべく、塵の尾のシミュレーションを行った。その結果、この特異な塵の尾を再現できる条件 (放出速度や放出方向) として、2013年11月15日頃のアウトバースト時に反太陽方向に約 600 m/s の放出などの可能性を見いだしたので、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](#)

L09a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による太陽系外縁天体のカラー測定

寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (千葉工業大学 / 神戸大学), 大槻圭史 (神戸大学), Patryk Sofia Lykawka (近畿大学), 高遠徳尚, 樋口有理可, 伊藤孝士 (国立天文台)

太陽系外縁天体 (TNO) の軌道進化を明らかにすることは、それらに激しい重力散乱を引き起こしたとされる惑星移動のモデル構築に大きな制約を与え、太陽系全体にわたる小天体の動径方向混合を理解するうえで大変重要である。TNO は可視・近赤外カラーに多様性を持つことが知られており、それが個々の形成場所の違いを反映している可能性が指摘されている。TNO のカラー分布を詳細に調査し、力学グループ・軌道要素などとの関連性や他の小天体集団との類似性を検証することにより、太陽系初期の外惑星領域における小天体の力学進化を探る手掛かりを得ることができる。

我々はすばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) によって進行中の「HSC すばる戦略枠サーベイ」で 2014 年 3 月から 2016 年 9 月の間に取得された約 500 平方度の多色撮像データを使用し、既知の TNO 30 天体の *grizY* カラー (波長 0.4–1.0 μm) を測定した。その結果、(1) 軌道傾斜角 $I > 6^\circ$ の hot classical 天体と scattered 天体 (以後、まとめて high- I 天体) は類似のカラー分布を持つのに対し、 $I < 6^\circ$ の cold classical 天体 (low- I 天体) は短波長側でそれらよりも急傾斜の反射スペクトルを示す、(2) high- I 天体の $g-r$ および $r-i$ カラーは軌道傾斜角と逆相関がある、(3) $g-i$ カラー vs. 軌道離心率のプロット上で low- I 天体と high- I 天体から成る二集団に大別される、などが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L10a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam によるケンタウルス族のカラー測定

佐久川遥 (神戸大学), 寺居剛 (国立天文台), 大槻圭史 (神戸大学), 吉田二美 (千葉工業大学, 神戸大学)

木星から海王星の間に公転軌道を持つケンタウルス族は、太陽系外縁天体 (TNO) の領域から巨大惑星領域に移動してきた天体であると考えられている。しかし、実際にどのような TNO が起源となっているのか、どのような軌道進化をしたのかなどは不明である。カラーは天体の形成場所と密接な関係があるため、ケンタウルス族のカラーを求め、TNO のカラーと比較することにより、ケンタウルス族の起源に関する情報を得られる可能性がある。

本研究では、すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam により 2017 年 6 月末までに g バンドと i バンドの両方で観測されている、既知のケンタウルス族を測光し、 $g-i$ カラーを測定した。そして、このカラーを寺居ら (Terai et al.(2017)) が調べた TNO のカラーと比較し、カラーと軌道要素の相関の有無を調べた。その結果、ケンタウルス族のカラー分布は Terai et al.(2017) の高軌道傾斜角 ($> 6^\circ$) の TNO のカラー分布と似ていることが分かった。このことからケンタウルス族は軌道傾斜角の大きい TNO が供給源である可能性が高いと言える。また、どの軌道要素もカラーとの相関は確認されなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L11b HSC すばる戦略枠サーベイによる太陽系小天体の観測的研究

吉田二美 (千葉工業大学 / 神戸大学), 寺居剛 (国立天文台), 大槻圭史 (神戸大学), Patryk Sofia Lykawka (近畿大学), 高遠徳尚, 樋口有理可, 伊藤孝士 (国立天文台), 佐久川遥 (神戸大学), Ying-Tung Chen (中央研究院 天文及び天文物理研究所 (ASIAA)), Hsing-Wen Lin (國立中央大学 / ミシガン大学), Wing-Huen Ip (國立中央大学), Mike Alexandersen, Matthew J. Lehner, Shiang-Yu Wang, Jen-Hung Wang (ASIAA), 小宮山裕 (国立天文台), 宮崎聡 (国立天文台 / 総研大)

すばる望遠鏡で「HSC すばる戦略枠サーベイ」が進行中である。このサーベイは2014年3月から5年間で300夜を使い、 g, r, i, z, Y の5色で約1400平方度を掃天する。すばる大口径望遠鏡の集光力とHSCの広い視野のおかげで、既存のどのサーベイよりも小さな太陽系小天体を効率よく検出でき、それらの統計的研究が可能になった。

我々のグループではMachine Learningにより移動天体検出の効率化を図り (Lin et al. (2017))、天体検出プログラムを工夫して (Chen et al. (2017))、HSCサーベイデータにおける移動天体検出方法の研究を行った。それと並行して、2014年3月から2016年9月の間に取得された約500平方度のデータを使って既知の太陽系外縁天体 (TNO)30個の *grizY* カラーを測定した (Terai et al. (2017), 寺居ら (本年会発表))。さらに2017年6月末までに g, i バンドの両方で観測された既知のケンタウルス族天体を探すと15個が該当した (佐久川ら (本年会発表))。これらの天体のカラーを測定し、カラーと力学グループ・軌道要素などとの関連性を調べれば、太陽系小天体の力学進化を探ることができる。本ポスターでは「HSC すばる戦略枠サーベイ」データを使ってこれまでに行った太陽系小天体研究についてまとめた。主な結果としては、hot TNO と cold TNO でカラー分布が異なること、hot TNO とケンタウルス族のカラー分布が似ていることが確認できたことなどがある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L12b 2018年10月流星群の4次元予報計算

佐藤 勲

①従来のダストトレール理論による流星群の1次元予報計算では、流星物質が近日点で軌道進行方向に放出されていると仮定されているが、実際に地球に降ってくる流星は、近日点以外の場所で放出されたものであることがわかっている。すなわち、従来の1次元ダストトレール理論は、近似理論にすぎない。このため、うしかい座流星群などの一部の流星群では、出現予報時刻がずれるなどの影響があることがわかっている。

今年10月8日にりゅう座流星群が出現することが予報されている。この流星群について、母天体からの流星物質の放出速度ベクトルを3次元にする、世界初の4次元ダストトレール計算を行った。その結果、地球に降ってくる流星物質の放出時期と3次元速度ベクトルがわかり、主に1946年のダストトレールから流星が出現することがわかった。流星が出現するためには、母天体からの放出速度が約80m/s以下でなければならないが、その最低放出速度はそれより遅く、十分な流星の出現が期待できる。1次元計算ではわからなかった、流星物質がいつどこで放出されたものかがわかることにより、流星の出現メカニズムが詳しく解明され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](#)

L13b 岡部隕石の火球経路の再考察

佐藤幹哉（日本流星研究会）、渡部潤一（国立天文台）、藤田陽実、川口雅也（アストローツ）、飯島裕、前田知絵

岡部隕石は、1958年11月26日15時過ぎに、埼玉県大里郡旧岡部村（現深谷市）に落下した全重量194gの石質隕石で、落下地点の隣で農作業中だった山ざき(*)政雄氏らが発見した。白昼の現象にも関わらず、長野県諏訪市と神奈川県川崎市の2地点で、アマチュア天文家はその火球を目撃しており、その経路が報告されている。しかしながら、これらの報告には何らかの矛盾があり、そのままでは火球の飛来方向を決定できなかった。落下当時は、このうちの1地点の方位角の報告値を反対方向に飛来したと解釈して、南から北へ飛来し落下したと結論づけられた。

一方、本年秋の落下60周年を前に、目撃者及び発見者への取材（聞き取り調査）を行ったところ、飛来方向を反対に解釈したものは誤りであることが判明した。そこで新たに火球の飛来経路を再考察することとした。その結果、およそ北西方向から飛来したとの推測値が得られた。この再考察の結果を月刊星ナビ誌（2017年5月号、P.49）にて報告したところ、群馬県伊勢崎市におけるアマチュア天文家からの目撃情報が新たに得られた。この情報を加え、経路を再度推測し直した結果、火球経路は北西ないし西北西方向から飛来したものと結論付けられた。またある程度の風によって流されたと仮定すると、各地点での目撃情報により整合した結果となることが判明した。

本発表では、これらの再考察の経緯や方法について、詳細に報告する。

(*) 山ざき氏の「ざき」は「崎」の異体字で右上が「立」になるもの。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L14c Based on the theory of relativity, the demonstration of the Titius-Bode law and the calculation of the Saturn ring orbits and the number of its rings

Fumitaka Inuyama (ex-Kyudensangyo Inc. environment dept.)

1) The beautiful Titius-Bode law was discovered 250 years ago but is not demonstrated until now.

$$r/r_1 = 0.4 + 0.3 * 2^n = 0.4 + (1 - 0.4) * 2^{n-1}$$

The calculated equation by the theory of the General relativity is the same as the Titius-Bode law.

$$r/r_1 = 30am^2E^4p_{ai}N_1/(r_1[2E^4 - 4a^2m^2]^{3/2}) + [1 - 30am^2E^4p_{ai}N_1/(r_1[2E^4 - 4a^2m^2]^{3/2})] * Exp[4amp_{ai}(n - 1)/(2E^4 - 4a^2m^2)^{1/2}]$$

m,a and E are solar constants with respect to mass,rotation and electric charge.

The Titius-Bode law is demonstrated by physical theory now for the first time in history.

2) The Saturn ring orbits r at aphelion/perihelion is solved by means of the same differential equation that the Titius-Bode law.

$$P^2Qr^2 - 2P([F(1 - o)r^2 - 2E^4]Q^2 + 2a^2m^2(2Q + 5P/r^2)^2) + [F^2(1 - o)^2r^2 - 4F(1 - o)E^4]Q^3 = 0$$

P: r^{10} polynomial., Q: r^9 polynomial., $o = o(r) : 0$

The above equation is the polynomial of r^{31} . Thus the Saturn has maximum 31 rings.

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](#)

【M. 太陽】

3月15日(木) 午後(14:42-15:30) [I会場]

M01a	14:42	One-dimensional MHD simulations of Alfvén wave propagation in the chromosphere with realistic radiative cooling model Yikang Wang (The University of Tokyo)
M02a	14:54	減衰不安定とアルフベン乱流の相互作用 庄田宗人(東京大学)
M03a	15:06	日食時間帯の観測から確認した太陽極域上空でのコロナ輝線非熱幅の減少 原弘久(国立天文台)
M04a	15:18	皆既日食でとらえられた極域コロナでのジェット現象 花岡庸一郎(国立天文台)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [I会場]

M05a	09:30	高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (SOLAR-C_EUVST) の最新状況 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)
M06a	09:42	Solar-C EUVST における熱的非平衡プラズマ診断能力及びその診断能力から期待される科学成果 今田晋亮(名古屋大学)
M07a	09:54	フィラメント消失前後の高度変化と磁場構造 海宝孝祐(茨城大学)
M08a	10:06	プロミネンス形成及び噴出の2次元磁気流体シミュレーション 金子岳史(名古屋大学)
M09a	10:18	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)
M10a	10:30	Arch Filament System の大気構造とその時間発展 石川遼太郎(東北大学)
M11a	10:42	太陽観測衛星「ひので」を用いた光球磁束管形成過程の統計的研究 二宮翔太(京都大学)
M12a	10:54	活動領域中の磁束キャンセレーションで発生する Ellerman bombs と衝撃波の時間発展 久保雅仁(国立天文台)
M13b	11:06	ひので SOT/SP モザイク観測による広視野高空間分解能ベクトル磁場観測および電流ヘリシティ測定 大辻賢一(京都大学)
M14b	11:06	飛騨天文台 SMART/SDDI で観測された浮上磁場領域とアーチフィラメントシステム 町田亜希(京都大学)
M15b	11:06	動的 Petschek リコネクションにおける Petschek 型領域形成メカニズム 柴山拓也(名古屋大学)
M16c		Doppler velocity differences of ions and neutral atoms in a solar surge Huang Yuwei (Kyoto University)
M17c		ケーデンス1秒以下を目指した太陽彩層の高速2次元分光観測 當村一朗(大阪府立大学工業高等専門学校)
M18c		太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係 II 渡邊恭子(防衛大学校)
M19c		太陽フレアに伴う彩層における低温上昇流は形成可能か? 中村達希(京都大学)
M20c		太陽フレア EUV 放射スペクトル予測モデルの構築 西本将平(防衛大学校)
M21b	11:18	保存量に対して利用出来る音速抑制法の提案 飯島陽久(名古屋大学)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

3月16日（金）午後（13:30-15:30）[I会場]

M22a	13:30	彩層極域リムの ALMA 観測 横山央明（東京大学）
M23a	13:42	CLASP により観測されたスピキュールに沿う波動の伝播 吉田正樹（総合研究大学院大学/国立天文台）
M24a	13:54	「ひので」観測 10 年：黒点磁場強度ランキング 岡本文典（国立天文台）
M25a	14:06	太陽黒点と太陽型星の巨大黒点群の時間発展の比較 行方宏介（京都大学）
M26a	14:18	1770 年の東アジアにおける低緯度オーロラの記録の分析とその時の太陽 河村聡人（京都大学）
M27a	14:30	極磁場の形成過程における先行後行黒点非対称性の効果 飯島陽久（名古屋大学）
M28a	14:42	太陽表面磁極で見られる子午面還流の磁極パラメータ依存性の探査 飯田佑輔（関西学院大学）
M29a	14:54	対流層の底から光球までを包括した三次元熱対流計算 堀田英之（千葉大学）
M30a	15:06	太陽対流速度問題における実効的プラントル数の効果 戸次宥人（東京大学）
M31a	15:18	磁場を模した粘性を用いた 3 次元熱対流計算 新井祥太（千葉大学）

3月17日（土）午前（09:30-11:30）[I会場]

M32a	09:30	Magnetic helicity flux in the solar active region photosphere Sung-Hong Park (Nagoya University)
M33a	09:42	コロナ質量放出を伴う太陽フレアを発生させる活動領域の条件について 水野雄太（名古屋大学）
M34a	09:54	Study of the Critical Condition of Active Region Based on the Nonlinear Force-Free Field Analysis Johan Muhamad (Nagoya University)
M35a	10:06	太陽フレア活動と磁場のねじれとの相関に関する統計解析 旭友希（名古屋大学）
M36a	10:18	Hydrodynamic Simulation of GOES Soft X-ray Light Curves: Relationship with the Time Scales of Magnetic Reconnection and Thermal Processes 鳥海森（国立天文台）
M37a	10:30	Dynamics Processes of the Moreton Wave on 2014 March 29 Denis Pavel Cabezas (Kyoto University)
M38a	10:42	三次元リコネクション領域における構造形成 柴山拓也（名古屋大学）
M39a	10:54	Secondary tearing in three-dimensional reconnection Shuoyang Wang (The University of Tokyo)
M40a	11:06	磁気リコネクションの高速化機構に関する MHD シミュレーション研究 與那覇公泰（名古屋大学）
M41a	11:18	太陽軟 X 線の光子計測型・2次元撮像分光観測計画の進捗報告 成影典之（国立天文台）

M01a One-dimensional MHD simulations of Alfvén wave propagation in the chromosphere with realistic radiative cooling model

Yikang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo)

The chromospheric and coronal heating problem that why the plasma in the chromosphere and the corona could maintain a high temperature is still unclear. Previous researches (e.g. Kudoh & Shibata, 1999; Matsumoto & Shibata 2010) uncover that Alfvén wave could carry enough energy that contributes to coronal heating. While previous researches usually ignore or treat chromospheric radiative loss crudely, we carry on 1.5D numerical simulation with realistic radiative loss introduced by Carlsson & Leenaarts (2013). In our simulation, Alfvén wave is initiated by transverse motion near the lower boundary which has a power spectra consistent with observation in order to mimic the convection motion at the solar surface. We find that under certain geometry setting, the amount of radiative loss as well as spatial distribution of radiative loss profile are consistent with observation. At the same time, the amount of energy transporting to the corona also meets the requirement of coronal heating. Our study indicates that Alfvén wave model has the potential to explain chromospheric heating as well as transporting enough energy to the corona for coronal heating simultaneously.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a 減衰不安定とアルフベン乱流の相互作用

庄田宗人、横山央明（東京大学）

太陽コロナ、特に磁力線が宇宙空間へと開いている開領域 (open field region) コロナの加熱にはアルフベン波が重要な役割を果たすと考えられている。近年の高解像度観測により、アルフベン波がコロナへ十分な量のエネルギーを供給していることが明らかになってきている (De Pontieu et al. 2007, McIntosh et al. 2011) が、一方でアルフベン波がコロナ中でどのように散逸するかは未だに明らかになっていない。有力なモデルとしてアルフベン波が減衰不安定を介して衝撃波を生成し加熱するモデル (Suzuki & Inutsuka 2005) およびアルフベン乱流による加熱モデル (Cranmer et al. 2007, Verdini et al. 2010) があるが実際には両プロセスが相互作用しながら同程度の割合で効いているのだろうという指摘もある (van Ballegoijen & Asgari-Targhi 2016, Shoda et al. submitted to ApJ)。しかし両者が実際にどのようなメカニズムで相互作用しているかは明らかになっていない。

以上のような研究背景のもと、私たちは3次元MHDシミュレーションを用い減衰不安定とアルフベン乱流の相互作用を調べた。減衰不安定はもとのアルフベン波と逆行するアルフベン波を励起し、その非線形段階はアルフベン乱流状態にある。アルフベン乱流におけるエネルギー散逸はReduced MHDの範囲内でよくモデル化されているが、MHD計算の結果はそれとは異なる振る舞いを見せた。一方、対照実験として人工的に密度擾乱を抑制した計算を行うと結果はReduced MHDと整合的であった。以上から密度擾乱の存在はアルフベン波の減衰過程に多大な影響を与えると推測され、コロナ加熱の物理に迫るには圧縮性を考慮する必要があると言える。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M03a 日食時間帯の観測から確認した太陽極域上空でのコロナ輝線非熱幅の減少

原 弘久 (国立天文台)

太陽活動周期内の多くの時期において、太陽極領域は南北それぞれが巨視的には単極構造をしている。そこは惑星間空間に向けて開いた磁気構造となっており、また 700 km/s 程度の流速をもつ高速太陽風の流源として知られている。この極域の太陽外縁部をコロナ輝線で地球方向から観測すると、ある距離まではコロナの電子温度が大きく変化しない中で縁から遠方に行くほど輝線幅は広がっていく。太陽プラズマ起源の輝線幅から熱運動による広がりを取り除いて残る成分は非熱幅と呼ばれているが、これが縁部からの距離とともに減少する電子密度とべき型の関係をもちながら増加することがいくつかの先行研究によって示されている。この関係は、非熱幅を外向きに伝播する Alfvén 波がそのエネルギーを減少せずに進行した場合の波の速度振幅と考えると自然に理解できることから、開いた磁力線構造に沿って Alfvén 波が伝播している証拠といわれている。同様にコロナ輝線幅の観測からは、太陽表面から 0.2 太陽半径ほどの距離から非熱幅の減少が報告されており、理論的な考察で期待されるよりもはるかに短距離であるこの高度域から Alfvén 波のエネルギー散逸が始まっている可能性が指摘されている。しかし、この高度域のコロナ輝度は周縁部の 1/100 程度と暗く、望遠鏡内の光の散乱を通して他の明るい領域からの光の漏れ込みによる影響を受けやすい。このため、0.2 太陽半径以遠での非熱幅の減少を、その高度域のプラズマから直接到来した光子のスペクトルをもとに結論されたものと断定することはできない。本研究では、Hinode 衛星の日食時間帯にその搭載装置の EIS で極域コロナの分光データを取得することで、月が太陽面にある明るい構造を隠したときとその前後のスペクトル形状の変化から、極域上空コロナを起源とするスペクトルの非熱幅を測定した。その結果、先行研究で指摘されている 0.2 太陽半径以遠での非熱幅の減少を確認した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M04a 皆既日食でとらえられた極域コロナでのジェット現象

花岡庸一郎 (国立天文台)

皆既日食では、現在の衛星観測ではとらえ難い約 2.5 太陽半径以下のコロナの構造を詳細に観測することができるものの、一般に時間変化をとらえるのには向かない。しかし、2017年8月21日の皆既日食は、皆既帯が北米大陸を約90分かけて横断したことで、この間のコロナの時間変化を追跡できる機会をもたらした。この日食では多くのアマチュアが広範囲で観測をしていたことから、データ収集の協力を呼びかけた結果7カ所での白色光コロナ観測データが集まり、これにより約70分間にわたるコロナの変化をとらえることが可能となった。

特に注目すべきは、極域コロナホールから上空に延びるポーラープリュームでの変化である。いくつかのポーラープリュームにおいて、見かけ上 500 km s^{-1} 程度の速度を持ったジェット状の上昇流が見出された。さらに、プリューム中のそれぞれのジェット状の上昇は、太陽表面近くにおいて紫外線や X 線で極域ジェットの発生が見えた後、その上空で起こっていることが分かった。したがって極域ジェットはポーラープリュームを通過して100万 km 以上上空まで吹き上がり、さらに遠方へと噴出していっていると考えられる。

従来、極域の大きなジェットに伴って SOHO/LASCO でもジェット現象が見えることは知られていた。しかし、今回は小さな極域ジェットにまで対応してポーラープリューム中のジェットが見出されている。したがって、太陽表面から遠方まで切れ目なくコロナをとらえた結果、極域ジェットがポーラープリュームを通じて上空へと噴出していくのは普遍的な現象であり、極域ジェットが太陽風の源泉のひとつであることの裏付けが得られたといっ

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (SOLAR-C_EUVST) の最新状況

清水敏文 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), ほか SOLAR-C WG 一同

今期応募機会が宇宙科学研究所から発出された公募型小型衛星に対して、高感度 EUV/UV 分光望遠鏡を搭載するミッション“SOLAR-C_EUVST”の提案を準備している(年会発表時には提案され審査中の予定)。今回の応募機会から、Concept Maturity Levels (CML) に基づいた提案形式が採用され、提案書はそれに沿った形で準備している。本発表にて、そのミッション提案の概要および最新状況を報告する。

高感度 EUV/UV 分光望遠鏡は、2020 年代中頃に飛翔する太陽観測衛星の科学目的と、それを実現するミッションの優先度・実現方法を検討した国際チーム (NGSPM-SOT) の勧告において、最優先で実現すべき観測望遠鏡として筆頭に挙げられている。また、戦略的中型 SOLAR-C(2015 年提案) でも中核の望遠鏡であった。その後、公募型小型衛星で早期に高感度 EUV/UV 分光望遠鏡を実現させるミッション案が検討されてきた。そして、2016 年秋から 2017 年夏にかけて太陽研究者連絡会の主催で開催された一連のシンポジウムの討議を経て、本ミッション案は太陽研究コミュニティから最優先で実現すべきミッションとして、現在広く支持を得ている。

ミッションの科学目的は、戦略的中型 SOLAR-C(2015 年) の科学目的を尖鋭化させ、太陽大気におけるエネルギー輸送・散逸過程を理解することで、彩層・コロナといった高温の外層大気と太陽風の形成機構を解明し、また太陽フレアの発現に至る過程や磁気リコネクションの高速化を明らかにすることである。そのために、彩層から遷移層、コロナそしてフレアプラズマまでシームレスに、高い解像度 (0.4 秒角)・高い時間分解能で分光観測を行う。この分光望遠鏡は、日本が望遠鏡部を中心に分担、そして米国および欧米各国がスペクトログラフ部の各部位を分担して、国際協力のもとで製作する構想で調整が進められている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06a Solar-C EUVST における熱的非平衡プラズマ診断能力及びその診断能力から期待される科学成果

今田晋亮(名古屋大学), ほか Solar-C WG

本講演では、次世代太陽観測衛星 Solar-C EUVST における、熱的非平衡プラズマの診断能力、及びそこから得られると期待される科学成果について議論する。「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、プラズマは熱的に平衡状態に達していると考えられてきた。これは、これまでの太陽コロナ観測(特に分光観測)の時間分解能がそれほど高くなかったため、熱的平衡プラズマを仮定した考察で十分であったためである。「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で現象を議論できるようになった。さらに、これまで以上に高い波長分解能で、かつ多波長同時観測ができるようになった結果、粒子種間での温度非平衡や電離非平衡などの熱的非平衡プラズマの議論が可能となった。Solar-C EUVST では、「ひので」衛星より1桁高い時間分解能、さらに広い波長カバー範囲を持つことが検討されており、これにより熱的非平衡プラズマの診断能力が向上する。本講演では、コロナ加熱や太陽フレアなどに重要な役割を担っていると考えられている磁気リコネクションにおいて、熱的非平衡を考慮することでこれまでの理解がどのように変わりうるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07a フィラメント消失前後の高度変化と磁場構造

海宝孝祐、野澤恵 (茨城大学)、阿南徹 (京都大学)、大辻賢一 (国立天文台)、井上諭 (名古屋大学)

フィラメントはコロナ中に存在するプラズマであり、周囲のコロナの数密度が約 10^9 cm^{-3} であるのに対してフィラメントの数密度は 10^{11} cm^{-3} 程度と、コロナに対して非常に高密である。この高密度のプラズマがコロナ中で重力に反発するように浮かんでおり、その反発力は磁場によるものであると考えられている。

観測的にフィラメントは磁気中性線の上に存在するが、すべての磁気中性線の上にフィラメントが存在するわけではない。また、フィラメントを維持する磁場構造のモデルや観測例は多くあるが、そのような磁場構造があれば必ずフィラメントが存在するのかどうかは未解明である。このようにフィラメントの磁場だけを測定してもフィラメントの発生、維持、消失のメカニズムは分からない。これらのメカニズムを理解するためにはフィラメントが存在するときと、消失などによって存在しなくなったときの環境を比較する必要がある。

我々は2016年4月18日23時UTの活動領域 NOAA 12532 付近で、1時間後の19日0時UTから5時UTにかけて消失するフィラメントの磁場、消失前後の彩層・光球磁場を飛騨 DST で観測した。Si I 10827 Å に Milne - Eddington 大気モデルを適用することにより、光球における磁場を導出し、さらに He I 10830 Å triplet のインバージョンコード HAZEL を用いて、彩層及びフィラメントにおける磁場を導出した。その結果フィラメント周囲の磁場方位角成分は消失前後で一定の方向を向いていることが確認された。加えて、インバージョン時の誤差値から消失前後でフィラメントの高度上昇を確認し、 $H\alpha$ 線のドップラーシフトからその裏付けを取った。本講演ではフィラメントの維持メカニズムを明らかにするために、光球・彩層磁場によるコロナ磁場の外挿手法を用いて、フィラメントを維持できていたときと維持できなくなったときの磁場構造や高度を比較し議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a プロミネンス形成及び噴出の2次元磁気流体シミュレーション

金子岳史、草野完也 (名古屋大学)

非等方非線形熱伝導と放射冷却、重力を含む2次元磁気流体シミュレーションにより、プロミネンスの形成から噴出までの過程を再現した。プロミネンス噴出のメカニズムは未だ確定していないが、トーラス不安定などのMHD不安定性や磁気リコネクションが有力視されている。活動領域のような磁場が強い領域におけるプラズマ噴出現象は基本的にローレンツ力のみで説明できると考えられる。一方、静穏領域のような磁場の弱い領域ではプロミネンスに働く重力がローレンツ力と拮抗するため、噴出が起きにくくなると予測される。本研究ではプロミネンスの形成から噴出までの過程をシミュレーションによって再現し、既存の噴出モデルが静穏領域プロミネンスの噴出にも適用可能か検証する。本シミュレーションではコロナアーケード磁場と下部境界から導入する浮上磁場がリコネクションを起こし、磁束管を形成する (e.g. Kusano et al., 2012)。磁場のトポロジーが変化することにより、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 (e.g. Kaneko & Yokoyama, 2015, 2017)。シミュレーションの結果、プロミネンスは初めはほぼ等速で上昇するが、ある高度に達すると加速に転じ、噴出した。この結果は膨張不安定 (トーラス不安定) によって解釈でき、観測で確認されているプロミネンス噴出の時間-高度プロファイルともよく一致する。さらに、放射冷却を含めずプロミネンスが形成されないシミュレーションとの比較も行った。結果、プロミネンスが形成される場合の方が噴出が起きやすいことが分かった。これはプロミネンスの重力が噴出を抑制するであろうという当初の予測に反する結果である。本講演ではプロミネンスに働く重力が噴出メカニズムに与える影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09a 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, 上野悟, 木村剛一, 大辻賢一, 一本潔 (京都大学)

狭帯域チューナブルフィルター (UTF-32) は、7層の方解石、液晶可変遅延素子 (LCVR)、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) のフィルターであり、 5100\AA - 11000\AA の広い波長域で使用可能である。また、このフィルターの出口に偏光ビームスプリッターを置くことにより、波長中心 $\pm 0.5\text{\AA}$ の太陽画像を同時に取得できる。得られた2つの画像は、シーイングによる像の歪みが全く同じであるため、これらの差分から得られるドップラークラムは、シーイングノイズの影響が抑えられたものとなる。さらに差分画像に画像回復手法を適用することで、より高解像度のドップラークラムを推定することが可能である。このような高空間分解能でのプラズマの運動の詳細な観測は、太陽彩層微細構造ダイナミクスのさらなる理解につながる。

京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて、UTF-32による撮像観測を行い、また、観測データに画像回復手法 MOMFBD (Multi-Objects Multi-Frame Blind Deconvolution (Van Noort et al., 2005)) を適用することで、望遠鏡の口径 60cm に対してほぼ回折限界の空間分解能 ($\sim 0.25\text{arcsec}$) を持つ $H\alpha$ 画像およびドップラークラムが得られ、それらからプロミネンス中の振動や活動領域付近でのプラズマのねじれ運動などが確認されている。本講演では観測装置の詳細について述べた後、得られた観測データの解析結果について議論する。

また、現在京都大学飛騨天文台では、UTF-32の透過幅を全波長に渡りこれまでの半分 ($H\alpha$ 6563\AA 付近で 0.125\AA) にするため、7層で構成されていたフィルターを新たに1層増やす改良作業を行っている。透過幅を狭くすることにより、このフィルターを用いて He 10830\AA や、より幅の狭い光球のライン等で同様の観測が実施できると期待される。この開発の進捗状況についてもあわせて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10a Arch Filament System の大気構造とその時間発展

石川遼太郎 (東北大学), 上野悟, 一本潔 (京都大学), 三澤浩昭, 土屋史紀, 小原隆博 (東北大学)

対流層から磁束管が浮上する様子は Arch Filament System (AFS) として観測される。この浮上は主に Parker Instability によって引き起こされていると考えられている。またこれに伴い、磁場に凍結された光球プラズマが上方へ移動後落下したり、周囲の既存磁場との相互作用などによって局所的な加熱・発光現象を励起する。これらの一連の流れはエネルギー輸送の実態を反映しており、活動領域の発達過程を理解するうえで非常に重要であるが、AFS Plage 形成のための超音速下降流の必要性 (Shibata et al. 1989) の有無や、AFS が長時間維持される仕組みは未解明のままである。

本研究では、京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて、2016年7月18日に活動領域 AR12567 内の AFS とその足元の Plage について H α 線と CaII K 線の分光観測を行った。また NASA の太陽観測衛星 Solar Dynamics Observatory (SDO) と Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) も同じ時期に同様の領域の観測を行っていた。その結果、磁場の浮上に伴うプラズマの動きとその加熱の時間変化を追うことができた。特に AFS 領域中央付近において IRIS スリットジョー 2796Å の画像で増光が見られた。長時間 AFS を維持しこの増光を説明する物理過程として、連続的なプラズマの供給と上昇後のプラズマの圧縮が重要であることが示唆された。しかし分光データから大気の情報に正確に得るには、輻射輸送を解く必要がある。

本研究ではクラウドモデルを用いて H α 線と CaII K 線のスペクトルを解析し、大気の鉛直構造を推定した。これらの解析結果を用いて AFS Plage の輝度変化や AFS の大気構造とその時間発展について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11a 太陽観測衛星「ひので」を用いた光球磁束管形成過程の統計的研究

二宮翔太 (京都大学大学院理学研究科), 一本潔 (京都大学大学院理学研究科附属天文台)

太陽表面の光球では、黒点内に数 kG の磁束密度がある。一方、静穏領域の中に数百 km 程度の大きさの磁束密度が大きい磁束管 (1-2kG) が静穏領域内の至る所にあることが観測的に知られている (Stenflo,1973)。この形成のモデルは、理論的に明らかとなっており、次のように考えられている (Parker,1978)。対流の水平流によって運ばれた小さい磁気要素が対流の沈み込みに溜まる。このとき、磁束管外のガスの動圧と磁束管内の磁気圧が釣り合うところまで磁場が強くなり、磁束管の磁束密度は 500G 程度までになる。次に磁場が強くなると対流が弱くなり、磁束管内に熱が運ばれにくくなる。磁束管内のガスは対流不安定のため、輻射で冷えて下降する。すると、磁束管内の圧力が下がり、磁束管内外の圧力差で磁束管が絞られて、1-2kG の磁束密度を持つ磁束管が形成される。その後磁束管内のガスは跳ね返り、上昇運動に転じる (Takeuchi, 1999)。磁束管形成の時間変化を観測した主な例として、太陽観測衛星「ひので」での観測がある。磁束管の物理量の時間変化を観測し、磁束管形成がモデル通りに起きていることが確認された (Nagata et al.,2008)。しかし、こうした観測は選別されたごく一部の磁束管のみで解析が行われているにすぎず、磁束管形成過程の統計的な解析はまだほとんど行われていない。

本研究では「ひので」の偏光データを用いて、どの状態の磁束管が多いのかを統計的に解析することで、磁束管の状態分布が形成モデルの時間発展と整合しているかを検証する。解析を行った結果、従来の形成モデルに当てはまるような物理量を持った磁束管が多く見られた。一方で従来のモデルに該当しないような磁束管も見られた。加えて、磁束管の物理量の時間発展を解析し、どのような過程で成長するかを調べた。本講演では、この解析結果について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12a 活動領域中の磁束キャンセレーションで発生する Ellerman bombs と衝撃波の時間発展

久保雅仁（国立天文台）

2017年5月2日に磁気浮上を伴う活動領域 NOAA12654 の多波長同時観測に成功した。米国国立太陽観測所の IBIS で Fe I 617.3nm（光球）及び Ca II 854.2nm（彩層）の撮像偏光分光観測を、同観測所の FIRS で He I 1083nm（彩層上部）のスリットスキャン式の偏光分光観測を実施した。これに加えて、IRIS 衛星で彩層・遷移層での増光・速度場、「ひので」衛星で光球のベクトル磁場情報を取得した。本研究では、活動領域中央付近で発生した磁束キャンセレーションに着目した。この領域では、元々存在していた負極の磁気要素と新しく浮上してきた正極の磁気要素との間でキャンセレーションが起きている。着目した領域に限らず、正負の磁気要素が接触する領域では、IRIS で取得された彩層・遷移層の2次元画像で増光現象が頻繁に観測される。一方、着目した領域では、光球で磁束量が減少し始めるのとほぼ同時に、上空の彩層・遷移層の様子が一変し、増光現象に加えて以下の3つの特徴的な現象が観測された。(1) Ca II 854.2nm の彩層画像で短寿命な暗いフィラメント状構造が頻繁に出現する。それまでは、元々存在する双極磁場や浮上双極磁場をつなぐ比較的安定したフィラメント状構造が支配的であった。(2) 低温の吸収線 (Ni II 線) の吸収を伴う、青方偏移した Si IV 線 (139.4nm) の輝線が間欠的に現れる。(3) Mg II k 線 (279.6nm) に、衝撃波を示唆するノコギリ状の時間発展が継続して観測される。ノコギリ状の時間発展の開始時には、Si IV 線や Mg II k 線で顕著な青方偏移及び増光が見られる。特徴(2)は Ellerman bombs 発生領域で観測されるものであり、彩層での磁気リコネクションの結果と解釈されている (Peter et al. 2014)。本講演では、彩層での磁気リコネクションと特徴(1)や(3)、及び光球での磁束消失との関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13b ひので SOT/SP モザイク観測による広視野高空間分解能ベクトル磁場観測および電流ヘリシティ測定

大辻賢一 (京都大学), 桜井 隆 (国立天文台), Kirill Kuzanyan (IZMIRAN)

ひので SOT の偏光分光観測装置 SP は、その高空間分解能及び偏光分光精度でこれまで数多くの微小磁束管の活動現象を解明してきている。しかしその一方で高空間分解能と観測視野はトレードオフの関係となっており、現在の SP の最大の最大視野は $320'' \times 164''$ と、大きな活動領域を収めるには限界がある。そこで複数の SP マップを、ひので衛星のポインティング (観測座標) を変えて取得することで、さらに広い観測視野を実現しようとする目的でモザイク観測のプロポーザルを行い、2014 年 12 月から 2015 年 11 月にかけて計 11 回の観測を実施した。これらの観測は SP の Normal マップを採用し、経度方向に並んだ 2 枚のマップを合成するという手法を用いた。結果として、最大で合成視野 $500'' \times 160''$ もの大きさの SP マップの取得に成功した。我々はさらに経度方向だけでなく、緯度方向にも広い視野を確保するため、SP の fast マップを用いたスーパーモザイク観測を実施した。観測は 2015 年 9 月から 2017 年 10 月にかけて計 5 回行われた。各マップ間の時間差を最小化するため、南北 2 段のマップ列を交互にスキャンしていく「ランニングボンド型」のマップ配置を採用した。結果、最大で合成視野 $500'' \times 300''$ の磁場マップの取得に成功した。

本ポスターでは SP モザイク観測の手法及び複数のマップの合成手法について述べる。さらに、得られた合成マップより電流ヘリシティの導出やその空間分布について考察を行っ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](#)

M14b 飛騨天文台 SMART/SDDI で観測された浮上磁場領域とアーチフィラメントシステム

町田亜希、浅井歩、大辻賢一 (京都大学)

本研究では、フレアの前段階として浮上磁場領域に着目する。浮上磁場領域は、フレアの発生源である活動領域の源であると同時に、周囲の磁力線とリコネクションを起こしてフレアを誘発することもある。したがって、磁場が浮上した初期の段階の研究は重要で、さらに宇宙天気予報にとっても示唆を与えることができると考えられる。今回は京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager) による $H\alpha$ データの中から磁気浮上に伴うアーチフィラメントシステムを数例選び、Becker's のクラウドモデルを用いた速度場の導出を行った。SMART/SDDI では、 $H\alpha \pm 9\text{\AA}$ の波長域を、 0.25\AA の波長分解能、時間分解能 15 秒でデータ取得することが可能である。また、Becker's のクラウドモデルは、主にフィラメント噴出を目的とした彩層速度場を求めるために既に用いられているもので、アーチフィラメントシステムに対しても適用することができるかどうか検証を行った。その結果、視線方向に向かって $20\text{-}30\text{ km s}^{-1}$ 程度の速度成分がアーチフィラメントシステムに対して検出できた。さらに本講演では、コロナホールの内外的による浮上磁場領域の発展の様子の違いや、SDO 衛星のデータと比較し、速度場と温度、磁場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](#)

M15b 動的 Petschek リコネクションにおける Petschek 型領域形成メカニズム

柴山拓也, 草野完也 (名古屋大学), 三好隆博 (広島大学)

磁気リコネクションは太陽フレアにおけるエネルギー変換過程だと考えられている。しかし、Sweet-Parker モデルによるとエネルギー変換速度は観測に比べてはるかに低い。Petschek モデルでは十分に高速なリコネクションを実現できるが電気抵抗が空間一様の場合 Petschek モデルのリコネクション領域は定常的には存在できないとされている (Kulsrud2001)。我々はこれまで磁気流体力学 (MHD) 近似を用いた二次元数値シミュレーションによって非定常ではあるものの一様抵抗において Petschek 型のリコネクション領域が自発的に形成することを明らかにした (Shibayama et al.2015)。しかし、この Petschek 型の構造が形成するメカニズムは明らかになっていなかった。

本研究では Petschek 型構造が形成する領域をモデル化したシミュレーションを行い、形成する Petschek 型領域の詳細を明らかにした。本モデルは電流層に一つだけプラズモイドが存在するような系の設定になっており、プラズモイドの両隣に Petschek 型の拡散領域が形成する。この Petschek 型拡散領域の形成に重要な役割を担っているのが拡散領域での X 点と停留点が離れていることである。これにより X 点において強いプラズマ流が存在することで X 点の発展が制限される。その結果、拡散領域は拡大することができず Petschek 型の小さな拡散領域が維持される。このとき拡散領域は準定常状態になっており、自己相似的な発展が確認できることから MHD の自己相似解に近い状態になっていると推察できる。これを用いることで動的 Petschek リコネクションによるリコネクションの高速化が体系的に理解できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16c Doppler velocity differences of ions and neutral atoms in a solar surge

Huang Yuwei, Tetsu Anan (Kyoto Univ), Kiyoshi Ichimoto (Kyoto Univ)

In many astrophysical systems, the plasma is partially ionized, in which neutral atoms feel Lorentz force indirectly through the collisional friction with between charged particles. Therefore neutrals may diffuse across the magnetic field in a process called ambipolar diffusion and there exist velocity differences between ions and neutrals. This diffusion process plays a key role in modifying important physical process such as magnetic reconnection, damping of megneto-hydrodynamic waves, transport of angular momentum in plasma through the magnetic field, and heating.

In the previous studies, Khomenko et al (2016) detected Doppler velocity differences in a prominence of the order of 0.1 km/s , while T.Anan et al (2017), also targeting a prominence, interpreted the difference of Doppler velocities as being a result of motions of different components in the prominence along the line of sight. In our study, we analyzed an off-limb surge, observed on May 8th 2015 simultaneously in He I 706.5 nm, Ca II 849.8 nm and O I 777.2 nm, using the high dispersion spectrograph of the Domeless Solar Telescope at Hida observatory. This study aims to investigate the Doppler velocity differences between neutral and ionized species in erupting plasma.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17c ケーデンス 1 秒以下を目指した太陽彩層の高速 2 次元分光観測

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 (京大飛騨天文台)

フレアに代表される太陽彩層活動現象の時間スケールは最短で数秒ないしそれ以下であるので, それらを観測する際の時間分解能は少なくとも 1 秒程度が要求される. そこで我々は, 京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡と水平分光器, イメージシフター, および高速度カメラを用いた彩層の 2 次元高速分光観測の研究を進めてきた. 2016 年の観測においては USB3.0 接続に代えて Gig-E 接続のカメラを用いることによりスリット方向 108 arcsec \times スキャン方向 70 arcsec の領域を空間サンプリング 0.64 arcsec, 2 秒ケーデンスで安定して連続観測することに成功した (當村他, 日本天文学会 2017 年春季年会). 2017 年の観測においてはこれをさらに発展させ, 空間サンプリング 0.64 arcsec で (1) イメージシフト用ガラスブロックを一定方向に高速回転させることによりスリット方向約 100 arcsec \times スキャン方向約 20 arcsec の領域を 1.25 秒ケーデンスでの観測に, また, (2) プリズムとリニアアクチュエータを組み合わせた新しいイメージシフターを用いることによりスリット方向約 100 arcsec \times スキャン方向約 76 arcsec の領域を 1.4 秒ケーデンスでの観測に, それぞれ成功した. 用いたスペクトル線は H α (656.3 nm, 1 次), 観測ターゲットは活動領域やダークフィラメントである. 年会ではこれらの観測データの解析結果 (スペクトロヘリオグラム) を報告するとともに, 観測に用いたイメージシフターや高速度カメラの速度の安定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](#)

M18c 太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係 II

渡邊恭子, 山寄一弘, 有馬伸, 堀巖允 (防衛大学校), 増田智 (名古屋大学)

CMEの発生率は、軟X線放射継続時間の増大にしたがって増大することが知られている (Sheeley et al., 1983)。しかしながら上記の先行研究においては、継続時間が30分未満であるインパルスフレアについては検討を行っておらず、また1979年から1981年の3年間に観測されたイベントのみを用いて行った解析であることから、統計量も不十分であると考えられる。そこで本研究では、2006年から2016年の約10年間に発生した太陽フレアについて、フレア放射継続時間とCME発生との関係を調べ、CME発生の条件を考察した。

フレア放射継続時間の指標としては、GOES軟X線放射の継続時間ではなく、Neupert効果 (Neupert, 1968) を用いた軟X線放射 derivative の継続時間を用いた。Mクラス以上のフレアイベント約500例を解析した結果、先行研究では未検証であった短時間のフレアイベントを含め、フレア放射継続時間とCME発生確率との間には正の相関関係が確認された。これより、軟X線放射時間が長いフレアはCMEを伴う確率が高いという概念を改めて実証することができた。

一方、我々がかねてより解析を行ってきた白色光フレア現象については、時間あたりのエネルギー解放量である太陽フレアの急峻度 (impulsivity) が影響していることが分かっている (Watanabe et al., 2017)。白色光フレア現象は短時間の太陽フレアで見られる現象であることから、CME発生は impulsivity や白色光フレアと負の相関関係が成立すると推測された。しかし、CMEの発生はフレア放射継続時間だけでなくX線放射強度自体が強く影響していることから、impulsivity との負の相関は見られなかった。今回はまた、CMEの各物理パラメータとの関係性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](#)

M19c 太陽フレアに伴う彩層における低温上昇流は形成可能か?

中村達希, 柴田一成 (京都大学理学研究科附属天文台)

太陽フレアは太陽表面で発生する、太陽系最大の爆発現象である。これは太陽大気の上層であるコロナに蓄えられた磁場のエネルギーが短時間に解放されて起こる現象である。コロナの下には彩層、光球と呼ばれる高密度の大気があり、太陽フレアが起こるとそうした層で増光が起きる。こうしたメカニズムこの現象は恒星でのフレアでも起こることが観測されており、下層の大気における放射は太陽フレア及び恒星フレアにおけるエネルギー解放過程を理解するための重要な鍵となりえる。

しかし、コロナから光球、彩層へのエネルギー輸送過程に関しては未解決の問題が多い。太陽フレアが起こると彩層近くで高温の ($\sim 10^7\text{K}$) 上昇流と低温の ($\sim 10^4\text{K}$) 下降流が発生すること知られている。この現象は熱伝導や高エネルギー粒子による加熱の効果を含めた流体数値計算を用いて研究されてきた。しかし、一部のフレアからはこの高温の上昇流が起こる前に低温の上昇流 ($\sim 10^4\text{K}$) が観測されている (Tei et al., 2018)。

本研究ではこの上昇流を調べるために、高エネルギー粒子による加熱と輻射による冷却の効果を含んだ1次元流体数値計算を行った。この計算を様々なフレアのパラメータに対して行い、それらに対する依存性を調べた。

その結果、電子ビームについて、エネルギーの注入率を 10^9erg/s/cm^2 、スペクトルの低エネルギーカットオフを 20 keV、スペクトルの傾きを -7 などとしたときに、高エネルギー粒子による加熱と輻射による冷却が釣り合うことによって彩層上部のプラズマが低温のまま持ち上げられ、低温上昇流が発生するということが分かった。

本講演ではこの低温上昇流の形成メカニズムやパラメータ範囲、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](#)

M20c 太陽フレア EUV 放射スペクトル予測モデルの構築

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 今田晋亮 (名古屋大学), 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構), Kyoung-Sun Lee (国立天文台)

我々は、太陽フレア放射とその太陽地球圏環境への影響との関係を解明するために、太陽フレア放射スペクトルを導出するモデルの構築を行っている。これまでに太陽フレア放射観測データの統計解析を行い、極端紫外線 (EUV) 放射と硬 X 線放射の強度は軟 X 線放射強度と比例していること、鉄の EUV ライン放射は高温ラインほど立ち上がり早いこと (西本ほか, 2017 年春季年会 M50a), また、フレア放射継続時間はフレアリボン間距離及びフレアリボンの長さに比例していること (西本ほか, 2017 年秋季年会 M24a) を確認した。これらの観測結果を踏まえて、今回はフレアループの物理的構造に基づいた数値モデル計算 (Imada et al., 2015) を行い、実際に観測された EUV 放射データとの比較を行った。シミュレーションから導出した EUV ライン放射と SDO/EVE の観測データを比較した結果、フレアループ長が長い場合においては、放射強度を部分的に再現でき、また時間発展についてもほぼ再現できた。一方、フレアループ長が短い場合においては、放射強度、時間発展ともに再現できなかった。また、フレア EUV 放射の中で最も放射強度の強い He II のラインについては、計算値と観測値の誤差が最も大きかった。これらの結果から、太陽からの EUV 放射スペクトルを正確に求めるためには、フレアのエネルギー注入量とフレアループの奥行き (体積) のバランス、また非熱過程を起源とする放射を考慮したモデルを構築する必要があることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21b 保存量に対して利用出来る音速抑制法の提案

飯島陽久

本研究では、低マッハ流れを効率的に計算するための手法である音速抑制法について、抑制率が1（非抑制）の極限で保存形の流体方程式に帰着する新たな定式化を提案・検証する。

非常にマッハ数の低い流体の計算手法の一つとして、非保存形式での定式化に基づく音速抑制法（Rempel, 2005; Hotta et al., 2012）が提案され、特に太陽対流層内部の計算で利用されてきた。音速抑制法を用いた流体方程式は双曲型偏微分方程式であり、非弾性近似と異なりグローバル通信を含まないために、大規模な並列計算機での使用に向いている。しかし、問題によっては、低マッハ数流れと衝撃波が同一領域内に現れるような場合もある。これまでの音速抑制法では、方程式を非保存形式で解く必要があった。しかし、非保存形式での定式化は、物理量の保存性が重要になる衝撃波の計算には向いていない。

そこで本研究では、保存量に対する発展方程式として定式化した新たな音速抑制法を提案する。この定式化では、音速の抑制率を1（非抑制）にすると方程式が完全な保存形式に帰着する。この性質により、低マッハ数流れと衝撃波が同一領域内に存在するような場合でも、音速抑制法を容易に利用することが出来る。発表では本手法の定式化とその特性、および検証結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22a 彩層極域リムのALMA観測

横山央明(東京大学), 下条圭美, 岡本丈典(国立天文台), 飯島陽久(名古屋大学)

ALMA観測第4期において実施された太陽南極リムの観測について報告する。共同でおこなわれたIRIS観測と合わせて示す。ALMAによる太陽観測により、100GHzミリ波領域において、これまでにない高空間分解能(約1.5秒角)データを、高頻度(2秒間隔)で撮像することが可能になった。今回の観測は、おもに彩層ジェット現象スピキュールについて、その物理発生機構にせまることを大きな目的とするプロジェクトの一環としてALMA提案をおこなった。観測結果から以下のことがわかった。(1)ミリ波での太陽リムが明瞭にみえ、光球リムに対して約5秒角(約3500km)上空に位置していることがわかった。(2)このミリ波リムは、時間変化するノコギリ状の構造をもち、SDO/AIA望遠鏡による極端紫外線171Åバンド画像でのリム構造とほぼ一致していた。低温高密度ガスの分布、おそらくはスピキュールの根元であると解釈できる。(3)観測された中で比較的背の高いスピキュールの上昇運動にともない、ミリ波で塊状の放出イベントが観測された。速度は約40 km/sで、放出軌跡はスピキュールのジェット本体(おそらく磁力線)沿い方向であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M23a CLASP により観測されたスピキュールに沿う波動の伝播

吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 末松芳法, 石川遼子, 岡本文典, 久保雅仁, 鹿野良平, 成影典之, 坂東貴政 (国立天文台), A. Winebarger, K. Kobayashi (MSFC), J. Trujillo Bueno (IAC), F. Auchere (IAS)

太陽彩層のスピキュール中を伝播する波動が Hinode 衛星や IRIS 衛星により検出されている。こういった波動の伝播は彩層・コロナ加熱問題を解く上で重要なエネルギー輸送機構であると考えられている。2015年9月実施のライマン α 線を用いた CLASP ロケット実験では、スリットに沿ったスピキュールが捉えられた。ライマン α 線は、Hinode 衛星や IRIS 衛星が観測している輝線 (Ca II H 線や Mg II h & k 線など) よりも光学的に厚い・形成温度が高いといった点から、より高い領域までスピキュールの観測を行うことができる。そこで、スピキュールの高さ方向に沿った速度場の導出を行った。ライマン α 線は複雑な輝線形状を持つスペクトル線であり、正確にドップラー速度を得るために、輝線外側で二分法 (bisector method) を適用した。その結果、スピキュールに沿って波動が伝播する様子が捉えられた。この波動の振動周期は約 30 秒、速度振幅は約 5 km s^{-1} 、上向きの伝播速度はおおよそ 500 km s^{-1} であった。この波動をキंकモードの MHD 波であると仮定し、密度も仮定することでスピキュールの磁場を $20 - 80 \text{ G}$ と見積もることができた。また、波動のポインティングフラックスは $3 \times 10^5 - 5 \times 10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。これは静穏コロナ領域の加熱には十分である (静穏領域で約 $3 \times 10^5 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)。以上の観測結果から、これまで Hinode 衛星や IRIS 衛星で観測されてきた波動のエネルギーは、より高い領域まで運ば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](#)

M24a 「ひので」観測 10 年：黒点磁場強度ランキング

岡本文典, 桜井隆 (国立天文台)

太陽観測衛星「ひので」が10年間で撮り貯めた SOT/SP データを元に、黒点磁場の強度について調べた研究の第2弾である。第1弾では最強磁場を持つ黒点に着目し、そのスペクトルや形成メカニズムを議論した。今回は全黒点の磁場強度やその性質について統計的観点から紹介する。

2006年10月25日から2016年9月16日の期間のデータについて、太陽中心から600秒角以内、かつ黒点、ポア、あるいは半暗部が視野内に写っていることを目視で確認した4,566スキャンを解析した。この際、この研究では均一な条件で解析を行うため、HAO SP Level-2として公開されているMERLINインバージョン済みのデータを用いた。ただし、これは磁場強度の上限を5,000 Gとしているため、5,000 Gのピクセルについては国立天文台のMEKSYインバージョンコードにより、上限を撤廃して再フィッティングしたものを使用した。

続いて、各スキャンにおいて最も大きい磁場強度を持つ点を抽出し、フィッティングエラーでないこと、及びその点の周囲に同様の強度を持つ点(差が500 G以内)が存在する場合のみ、その値をそのスキャンにおける最強磁場の点と信頼し、採用した。そして、各スキャンデータを419の活動領域ごとにまとめ、各活動領域における最強磁場の点を持つ情報をその後の解析に供した。

その結果、8割近くの活動領域においては暗部やポアが最も大きい磁場強度を示した一方、磁場強度上位を占めたのは逆極性間のライトブリッジや半暗部上に最強磁場を持つ黒点であることがわかった。また、これらの磁場構造は強い水平成分を持つという共通点がある。本講演ではこれらの詳細に加え、最強磁場の点における偏光スペクトルの形状や物理量、活動周期との関連についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M25a 太陽黒点と太陽型星の巨大黒点群の時間発展の比較

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

近年、太陽によく似た恒星において、最大級の太陽フレアの10–10,000倍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 (Maehara et al. 2012)。これらの星は太陽より巨大な黒点が存在しており、太陽でもスーパーフレアが起きるのかどうかを知るには、このような巨大黒点が太陽でも生成可能か?ということを知ることが重要である。恒星黒点の統計的研究から、これらの巨大黒点は太陽でも出現する驚くべき可能性が示された (Maehara et al. 2017)。しかし、実際の巨大黒点の生成・消滅過程はわかっていない。これらの恒星の巨大黒点の時間発展を研究することで、このような巨大黒点の生成・消滅の性質を知ることが期待される。

そこで我々は、ケプラー衛星による太陽型星 (G型主系列星) の可視測光観測データから、特に大きな光度変動 (星全体の2%以上) を示す421星を解析し、巨大黒点群の時間発展を測定する研究を行った。解析では、巨大黒点を持つ恒星が自転することで観測される準周期的な光度変化から、ローカルな極小時刻を検出し、黒点の経度–時間の情報に置き換えることで、21個の巨大黒点群の出現・消滅過程の同定に成功した。これらの黒点群の面積 (A) の時間発展から、その寿命 (T)・出現率・消滅率を計算し、太陽黒点の性質と比較した。

その結果、恒星の黒点群 (太陽半球面積の0.2~2%) の寿命は50~250日程度であった。これらの寿命は、太陽黒点における経験則 ($T \propto A$; Gnevyshev-Waldmeier 則) から外挿される値よりも短い。さらに、巨大黒点群の生成率・消滅率は、太陽黒点の分布と矛盾ない、あるいは少し小さい値となった (2017年秋季年会 N25a、行方他)。本講演では、これらの結果に対して行った、物理的な解釈を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26a 1770年の東アジアにおける低緯度オーロラの記録の分析とその時の太陽

○河村聡人 (京都大学), 早川尚志 (大阪大学), 海老原祐輔 (京都大学), 岩橋清美 (国文学研究資料館), 玉澤春史 (京都大学), 服部健太郎 (京都大学), 磯部洋明 (京都大学)

1859年のキャリントン・フレアに始まり、約160年の歴史を持つフレアの観測だが、キャリントン・フレアのような観測史上最大クラスの大規模なフレアを議論するには十分な情報量を持たない。そこで我々のグループは、磁気緯度が低い東アジアのオーロラの観測記録を中心に調査し、観測地点の磁気緯度に基づいて磁気嵐の規模推定を行うことで、キャリントン・フレア以前の大規模なフレアの探索している。その中で際立って大規模なイベントが1770年に起こったものである。この1770年のイベントでは文字での記録だけでなく、京都や愛知、静岡にて行われたスケッチも残されており、9日間連続で出現した低緯度オーロラはキャリントン・イベントと同等かそれ以上に磁気赤道方向へ広がった可能性が高い。東アジアにおけるこのような広範な観測の背景にはこのオーロラの異常なまでの輝度があり、低緯度地帯における低エネルギー電子の降り込みが起こっていたと想定される。また、ドイツに残る黒点スケッチを精査した結果、このとき約6000mshの巨大黒点が発生していたことがわかり、この巨大黒点から連続してCMEが放出されていたことが考えられる。当発表では、これら1770年のオーロラについての研究成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](#)

M27a 極磁場の形成過程における先行後行黒点非対称性の効果

飯島陽久, 今田晋亮 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学)

本研究では、先行黒点と後行黒点の間に存在する非対称性が、極磁場の形成過程において果たす役割を、表面磁束輸送モデルを用いて検討する。

太陽の極磁場は黒点の周期活動と密接な関係にある。極磁場の強さは、サイクル極小期に最大になる。極小期における極磁場は、対流層内部のポロイダル磁場の反映であり、差動回転によるオメガ効果によって作られる次サイクルのトロイダル磁場の種になっていると考えられている。実際に、極小期における極磁場の強度と次サイクルの極大期における黒点数は非常に良い相関を持っていることが観測的に示されている。

我々は、2017年春季年会において、サイクル終盤において浮上する黒点が極磁場に寄与しないと仮定すると、観測される極磁場の時間発展がよく近似出来ることを報告した (Iijima et al., 2017)。しかし、なぜ周期終盤の黒点が極磁場に寄与しないかは明らかになっていなかった。

本研究では、その原因として先行後行黒点の非対称性を提案する。大部分の表面磁束輸送モデルにおいて、黒点の浮上は正極と負極が隣接した正負対称な双極子としてモデル化される。我々は、Royal Observatory Greenwich および USAF、NOAA によって収集された黒点データを利用し、先行後行黒点の非対称性の効果を検証した。その結果、先行後行黒点における黒点面積の非対称性が、極磁場の形成に大きく寄与することを発見した。講演では、検証結果の詳細と、サイクル終盤における極磁場の振る舞いの解釈を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28a 太陽表面磁極で見られる子午面還流の磁極パラメータ依存性の探査

飯田佑輔（関西学院大学）

表面磁極の運動から検出された子午面還流について、磁極パラメータ（磁場強度、磁極サイズ etc.）への依存性を調べた。

太陽の全球スケールにおける南北方向流れ場である子午面還流は、太陽活動の周期。しかし、その速さは 10ms^{-1} 程度と、太陽表面を覆う対流速度場に比べて非常に小さく、検出が難しい。講演者は、画像認識を利用した磁極運動の大統計解析に着目し、2016年度秋季年会（Z107b）において子午面還流の検出を報告した。そこでは、頻発する磁極の分裂や合体で生じるみかけの磁極運動を取り除くことで、これまでにない検出精度を達成した。本発表では、この高精度の子午面還流検出方法を用いて、その磁極パラメータへの依存性を調べた。

解析データは、Solar Dynamics Observatory によって取得された、1ヶ月間分（2011年2月）の全面視線磁場データを6分間隔で用いた。磁極の自動検出・追跡は、Iida et al.(2012)で開発された手法を適用した。今回用いた磁極検出パラメータでは、1枚の全面磁場データで約8,000個程度の磁極が検出され、全解析データでは約 5×10^7 個の磁極運動を得た。これらの磁極運動の南北異方性について、磁場強度の平均値・最大値や磁極サイズなどへの依存性を調べた。特に、磁極サイズが大きい磁極の方が運動に大きな南北異方性を持つ、ことが顕著に見られた。また、磁束量が大きい磁極の方が運動に大きな南北異方性を持つ、ことも分かった。一方で、磁場強度の最大値には有意な依存性は見られなかった。これらの結果は、サイズが大きい磁極の方がより太陽内部の速い子午面還流の影響を受けていること、で説明できる。講演では、これらの結果から「表面磁極運動における子午面還流検出から、どの程度の太陽内部まで迫ることができるのか」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](#)

M29a 対流層の底から光球までを包括した三次元熱対流計算

堀田英之(千葉大学)、飯島陽久(名古屋大学)

世界で初めてとなる対流層の底から表面までを含んだ熱対流計算を実行した。太陽の熱対流を理解することは、エネルギー輸送、角運動量輸送、ダイナモを理解する上で非常に重要である。しかし、対流層底部から光球にかけて熱対流の時間・空間スケールが大きく変化するため、対流層全体を同時に扱う調査は数値的な負荷が非常に大きく、現実的な太陽の成層で計算が実施されたことは無かった。また、光学的厚さが大きく変わる光球付近での輻射の取り扱い、背景場に対する擾乱の大きさが大きく変わる中での状態方程式の高精度な評価手法が、対流層全体を一括して取り扱うために達成すべき課題であった。我々は、これまで太陽深部を取り扱うために用いていたコードに輻射輸送を取り入れつつ、状態方程式の取り扱いを変えることで、対流層全体を一貫して取り扱うための数値計算コードを開発した。またそのコードを用いて、水平方向に200 Mm、鉛直方向に200 Mmというこれまでになく大きな密度変化・領域をとった数値計算を実行した。表面の数分程度の熱対流からから1ヶ月程度時間スケールを持つ太陽深部の熱対流が生成される様子を再現することができている。また、光球を取り入れたことによる深部の層への影響は小さいということがわかった。我々の取り組みによって、太陽内部から表面までを一貫して取り扱えるようになったので、今後ダイナモから黒点生成など、これまでつなげることができなかった物理過程を一貫して取り扱えるようになるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 太陽対流速度問題における実効的プラントル数の効果

戸次宥人、横山央明（東京大学）、堀田英之（千葉大学）

近年、3次元太陽対流数値計算が対流層深部の対流速度を過大評価していることを示唆する証拠がいくつも出てきた（太陽対流速度問題; Hanasoge et al. 2012, Lord et al. 2014）。その中の一例として、太陽パラメータを採用した高解像度対流計算を行うと、観測と整合的な差動回転が得られないという問題がある（太陽差動回転問題）。観測で得られている赤道加速型の太陽差動回転の維持機構を理解し、それによって駆動されるダイナモ過程を調べるためには、この太陽対流速度問題を解決することが必要である。

この問題に対する解決案の一つとして、数値計算で十分に捉えきれていない乱流ダイナモの効果が挙げられる（Hotta et al. 2015）。もし、活発な乱流ダイナモによって太陽対流層内部が乱れた磁場に満ちていれば、ローレンツ力が実効的な粘性として振る舞い、乱流熱拡散は抑えられるので、実効的なプラントル数は上昇すると考えられる。そこで我々は、乱流ダイナモの効果を実効的なプラントル数の上昇としてモデル化した熱対流数値計算を行った。これにより、高プラントル数レジームでは、下降流ブルームが非局所的に効率的な熱輸送を担うことで成層がより対流安定化し、対流速度が抑えられることが示された（Bekki et al. 2017, in press）。さらに、回転系である局所 f 平面モデルへと拡張し、高プラントル数レジームにおける乱流（角）運動量輸送の性質についても詳細に調べた。本講演では、これらの解析結果を紹介した後、非弾性近似を用いた全球対流計算結果との比較を行い、太陽差動回転問題と熱対流速度問題との関係について述べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M31a 磁場を模した粘性を用いた3次元熱対流計算

新井祥太, 堀田英之 (千葉大学)

近年問題となっている数値計算において太陽熱対流を大きく見積もってしまう問題について、エネルギー輸送の観点から研究をおこなった。数値計算で対流速度を過大評価してしまう原因の一つに、現行の数値計算では十分に高い磁気レイノルズ数を達成できていないために小スケール磁場を生成するダイナモを捉えられていないことが挙げられる。小スケール磁場が効率的に生成されている熱対流中では小スケール磁場が粘性のように振る舞い、対流速度を強く抑制することが高解像度計算により報告されている。この効果は磁気レイノルズ数に対して収束していないため、現実の太陽では実効的な粘性が非常に強い熱対流が存在している可能性がある。本研究では磁場を模した強い粘性を用いた3次元流体力学シミュレーションを実行し、粘性が非常に強いときの熱対流のエネルギー輸送について調べた。主な結果は以下の通りである。(1) エネルギー輸送への寄与が小さい水平方向速度が優先的に抑えられることにより、計算領域の中層において鉛直方向の流れが支配的になる。(2) 乱流的な混合が抑えられることにより、上昇流における鉛直方向速度と温度擾乱の相関が高くなる。(3) 強い粘性力により上部境界近くの超断熱層が強められることによって、下降流がより冷たくなる。これらの結果から、強い粘性はエネルギー輸送の効率を高めるということが示唆されるため、熱対流に課せられた太陽光度の制約は大きな問題にはならないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M32a Magnetic helicity flux in the solar active region photosphere

Sung-Hong Park, KD Leka, Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University)

We examined magnetic helicity flux in the solar active region photosphere using vector magnetic field data from the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) onboard the Solar Dynamics Observatory (SDO). The photospheric helicity flux of a given active region was calculated from the formula of the gauge-invariant relative helicity flux derived by Berger and Field (1984), applying the optical flow technique Differential Affine Velocity Estimator for Vector Magnetogram (DAVE4VM) to co-registered pairs of vector magnetograms sampled 12 minutes apart. We will present long-term, large-scale characteristics of helicity flux in the photospheric surface of a few thousand active regions in solar cycle 24. More specifically, we will show how active region helicity flux is distributed with respect to Heliographic latitude, Carrington longitude, solar cycle epoch and Hale magnetic class. It will be also discussed how helicity flux is related to other magnetic parameters and flare productivity of active regions.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a コロナ質量放出を伴う太陽フレアを発生させる活動領域の条件について

水野雄太, 草野完也 (名古屋大学), 塩田大幸 (情報通信研究機構)

太陽フレアとコロナ質量放出 (CME) は地球電磁気環境を大きく乱し、様々な社会のシステムに影響を与えることがある。なかでも大きな磁気嵐 ($Dst \sim -100\text{nT}$) はコロナ質量放出によって引き起こされている。そのため、コロナ質量放出の発生を予測することは宇宙天気予報にとって重要である。しかし、太陽フレアには CME を伴うものと伴わないものがあり (Yashiro et al.(2006))、CME を伴う太陽フレアがどのような領域で発生するかは未だによく理解されていない。一方、近年の研究では Toriumi et al. (2017) は太陽フレアの際に観測されるリボン上の磁束と活動領域全体の磁束の比を複数の活動領域で比較することにより、CME を伴う太陽フレアの方が伴わない太陽フレアよりその磁束比が大きい傾向があることを示した。また、Inoue et al. (2016) ではリボンの形状と Non-Linear Force Free Field (NLFFF) 計算によって求められた磁場のねじれ (magnetic twist) の強い領域の形状に相関があることを示唆した。

本研究では、NLFFF を用いて磁場のねじれの強い領域の磁束量と活動領域の全磁束の比を計算することで、CME を伴うフレアを発生させ得る活動領域の条件を探った。2011 年から 2015 年までの 51 個の活動領域の解析の結果、強くねじれた磁束量が相対的に大きな活動領域は CME を伴うフレアを発生しやすい傾向があることを見出した。ただし、サンプル数がまだ充分でないため、結果の信頼性については慎重な考察を必要とする。講演ではこれまでに得られた結果とその課題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](#)

M34a Study of the Critical Condition of Active Region Based on the Nonlinear Force-Free Field Analysis

Johan Muhamad (ISEE, Nagoya University), Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University), Satoshi Inoue (ISEE, Nagoya University), Yumi Bamba (ISAS, JAXA)

It is important to understand the onset mechanism of solar flares since it can give us crucial information to estimate the upcoming eruption in an active region (AR). In order to study the critical condition of solar flare in an AR, we analyse the evolution of coronal magnetic fields in ARs before and after several big flares. We reconstruct coronal magnetic field of flaring ARs by using Nonlinear Force-Free Field (NLFFF) extrapolation. From the reconstructed fields, we can estimate magnetic twist distribution in the ARs. We analyse the evolution of twist parameter during the flaring periods of ARs and find from the twist map distribution that the high-twist field area tend to be large before flares and then shrink after flares. We also propose a parameter to estimate the critical condition of flares by using a proxy of the critical condition parameter in the double-arc-instability (DAI) theory introduced by Ishiguro and Kusano (2017). This proxy parameter, which include the twist and high-twist flux information normalized by total flux, show consistent threshold for the eruption in an AR as the theoretical parameter. We believe that this initial study can give a foundation for further studies in evaluating critical condition for solar eruption based on the NLFFF analysis.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a 太陽フレア活動と磁場のねじれとの相関に関する統計解析

旭友希, 草野完也 (名古屋大学), 伴場由美 (宇宙航空研究開発機構), 塩田大幸 (情報通信研究機構), 柴山拓也 (名古屋大学)

太陽コロナにおける突発的な磁気エネルギーの解放現象である太陽フレアは、地球電磁気圏環境を大きく乱し、様々な社会インフラにも影響を与えることがある。このため、フレア発生の物理過程を理解することは、高精度のフレア発生予測を必要とする宇宙天気予報の観点からも重要である。Welsch et al. (2009) によって、活動領域の大きさや磁束量、磁気中性線上での磁気シアなどがフレア発生と一定の関係を持つことが示唆されている。一方理論的研究では、Kusano et al. (2012) が、磁気中性線近傍における強くねじれた磁場中に現れる小規模磁場の磁気リコネクションがフレア発生のトリガとなることを示した。さらに、Ishiguro & Kusano (2017) は、二重アーク構造をもつ磁場のねじれ (magnetic twist) とその磁束量がフレアとコロナ質量放出の原因となり得る不安定性の臨界状態を与える可能性を指摘した。

本研究では、こうした研究成果に基づいて、様々な活動領域の光球面磁場データに関する統計解析からフレア発生に関係した新たなパラメタを導出することを目的としている。Solar Dynamics Observatory (SDO) が観測した2012年から2016年までの活動領域のうち黒点面積が大きな294領域に対し、SDO/HMIの磁場データから各活動領域の様々な磁場パラメタと各領域で発生したフレア活動度との相関解析を行った。秋季年会では、表面自由エネルギーの量やその構造がフレア活動と相関があることを報告したが、今回は磁気中性線の長さや磁場のねじれに関係するパラメタとフレア活動との関係についても報告する。また、フレア発生予測に対する各パラメタの有用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](#)

M36a Hydrodynamic Simulation of GOES Soft X-ray Light Curves: Relationship with the Time Scales of Magnetic Reconnection and Thermal Processes

Shin Toriumi (National Astronomical Observatory of Japan), Jeffrey W. Reep (National Research Council Postdoc at the US Naval Research Laboratory)

Soft X-ray light curves obtained by the GOES spacecrafts are widely used to measure the timing and duration of solar flare emission. However, the relationship between the observed light curves and the time scales of magnetic reconnection and thermal processes (radiation, conduction, and enthalpy drainage) is not yet understood. To this end, we use the hydrodynamic simulation code HYDRAD and synthesize GOES light curves for bundles of flare loops with varying lengths. We first simulate light curves of individual loops, which we then use to construct a composite light curve assuming a bundle of loops with ever-increasing lengths as the reconnection event proceeds. The delay of the reconnection start times between the loops is calculated based on the typical speed of flare ribbon expansion (20 km s^{-1} ; e.g., Asai et al. 2004). As a result, we find that the time scales of light curves (FWHM duration and e -folding decay time) linearly correlate with the sizes of loop bundles (represented by ribbon separation), which is well consistent with the previous observational results. While the reconnection primarily determines the time scale of light curves, we also show that cooling processes of individual loops directly affect the measured time scales. From the comparison between the simulation and the observation, we conclude that the primary factors controlling the flare time scales are the duration of reconnection and the loop lengths.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M37a Dynamics Processes of the Moreton Wave on 2014 March 29

Denis P. Cabezas, Ayumi Asai, Kiyoshi Ichimoto, Satoru UeNo (Kyoto University), Mutsumi Ishit-suka (Geophysical Institute of Peru), and Kazunari Shibata (Kyoto University)

Shock waves associated with explosive events are fundamental physical processes in solar and stellar plasmas. Their properties and effects have widely been discussed in the framework of magnetohydrodynamics 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 dynamic characteristics of the Moreton wave. The Doppler analysis clearly shows a downward motion of the chromospheric material with a velocity of about 2.5 km s^{-1} , at the front of the Moreton wave. On the other hand, the estimated surface velocity of the Moreton wave ranged between $657 - 872 \text{ km s}^{-1}$. In addition, the coronal plasma responses were also examined, since fast-mode wave propagating in the corona was associated with the event under study. We used Hinode X-Ray Telescope data to derive the plasma condition as the wave propagates in the corona. We complement our investigation with Atmospheric Imaging Assembly data on board SDO, from which the differential emission measure was extracted.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a 三次元リコネクション領域における構造形成

柴山拓也, 草野完也 (名古屋大学), 三好隆博 (広島大学)

磁気リコネクションは太陽フレアにおけるエネルギー変換過程だと考えられている。磁気リコネクションの物理過程に関する研究は数十年にわたって行われて来たが多くは二次元系に関するものであるため磁気リコネクションに関する現在の我々の理解は二次元理論に基づいている。しかし、三次元系では二次元系では発達しない波数を持つ不安定性が存在することが知られている。特に重要となるのは oblique tearing mode である (Baalrud et al. 2012)。この不安定性が発達すると磁気中性面から離れた位置に斜め構造を持つプラズモイドが形成しリコネクション領域は二次元とは異なる複雑な時間発展を示す。近年になって三次元 MHD 数値実験が行われるようになったが、複雑で乱流的な時間発展となるため平均場や積分量に関する解析が主に行われて来た。しかし、磁力線の再結合は X 点で起こる局所的な過程であり、局所的な拡散領域の構造や位置を特定することが重要である。

本研究では Harris 型三次元電流シートの MHD 数値実験を行い、リコネクション領域の構造発展に関する研究を行った。その結果、斜めプラズモイド構造が発達し乱流的な時間発展が見られた。この斜めプラズモイドはコロナ上部で想定されるほぼ反平行な磁気シアを持つ電流層で顕著に発展することがわかった。また、粒子追跡に基づいた方法により磁力線を追跡し三次元リコネクション領域の中のリコネクションが実際に起こる拡散領域の位置に関する解析を行った。拡散領域は強い電場が存在する領域であるためリコネクション領域の構造形成に関して理解することは太陽コロナでの粒子加速においても重要となると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M39a Secondary tearing in three-dimensional reconnection

Shuoyang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo)

Magnetic reconnection is one of the most important plasma fundamental processes, which explains various energy release activities, such as solar flares. It is found that the spontaneous secondary tearing instability is the key for the fast 2D reconnection. On the other hand, the three-dimensional (3D) reconnection is still not sufficiently comprehended due to its complexity. In our previous study, we examined the current sheet under random perturbation and notice that the coupling between tearing layers triggers the global fast reconnection. In order to get a clear picture of the local and global effect of the coupling, we implement a pair of rotational-symmetric tearing modes to a current sheet with weak guide field. We notice that the coupling between diffusion regions on different tearing layers grows secondary tearing on the original tearing modes, which are intrinsically stable to the secondary tearing. The partitioned diffusion regions open up a vent which ejects the plasma with magnetic fields outwardly. The outwardly going field lines collide with the inwardly coming ones, therefore build up new diffusion regions that are further away from the sheet center. Globally, the new diffusion regions form a new reconnection layer on either side of the sheet that can be explained by the 4-wave resonance in turbulence theory. With the outwardly extending reconnection layers, together with the globally existing coupling across the sheet, the overall reconnection is accelerated.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a 磁気リコネクションの高速化機構に関する MHD シミュレーション研究

與那覇公泰、柴山拓也、草野完也（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

磁気リコネクションは、プラズマ中で磁力線がつながり変わることで磁気エネルギーを運動及び熱エネルギーとして解放する過程であり、太陽フレアの主要な機構の一つと考えられている。電気伝導率が非常に高い太陽コロナにおいて太陽フレアの時間スケール内で高速に進む磁気リコネクションの機構を如何に説明するかという「高速リコネクション問題」は、長年の課題である。

Birn, et. al (2001) などの数値シミュレーションによって、Hall-MHD レジームでは MHD レジームに比べてリコネクションが高速化することが示されている。しかし、その詳細なメカニズムは明確になっていない。本研究の目的は MHD と Hall-MHD における磁気リコネクションの違いに注目した新たな MHD シミュレーションを行なうことで、磁気リコネクションの高速化機構を探ることにある。MHD にはない Hall-MHD における磁気リコネクションと特徴の一つは、リコネクション領域の周辺にリコネクション線に沿った方向の磁場（軸磁場）が四重極構造を形成することにある。そこで、この四重極磁場がリコネクションの高速化にどのような影響を与えるかを明らかにするため、MHD リコネクションに四重極磁場を導入した場合の MHD シミュレーションを実施した。このため、初期条件として使ったハリス平衡磁場の中性線近傍の領域に、リコネクション面に垂直な方向に定常的なプラズマの速度場または加速度を付加的に導入することで、四重極磁場を持つ磁気リコネクションの MHD シミュレーションを行った。その結果、四重極磁場構造がない場合に比べて、リコネクション率が上昇する傾向があることを見出した。講演ではその詳細な解析結果及びペチェック型高速リコネクションと四重極磁場を持つ高速リコネクションの相違等に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M41a 太陽軟X線の光子計測型・2次元撮像分光観測計画の進捗報告

成影典之 (国立天文台), 石川真之介, 坂尾太郎 (ISAS/JAXA), ほか FOXSI チーム, PhoENiX WG

我々は、太陽コロナのエネルギー解放現象や粒子加速の理解を進めるために、太陽コロナからの軟X線を光子計測(2次元分光観測)することを計画している。これにより、現象に対し適した空間・時間・エネルギー分解能を合わせ持つ観測を世界に先駆け実現する。

2018年夏、世界初となる観測を日米共同観測ロケット実験 FOXSI-3 を用いて実施する。FOXSI-3では、既存の FOXSI の X 線望遠鏡に、我々が開発している裏面照射型 CMOS センサーを用いた高速度 X 線カメラを搭載する。開発は順調に進んでおり、1000 秒角 × 400 秒角の領域を毎秒 250 枚程度の速度で撮像できるカメラが完成した(FOXSI-3の観測対象は、活動領域ならびに静穏領域なので、時間分解能よりも視野を広げることを優先することを考えている)。カメラ以外にも、迷光を防ぐためのプレコリメーターや、軟X線用のプレフィルターも開発した。これらを用いることで、質の高い2次元撮像分光データが得られる。春からは米国にてフライト品の組み込みと試験を行い、8月下旬(現在の予定)にホワイトサンズの射場にて打ち上げを実施する。

また我々は、太陽フレアを主たる観測対象とし、「磁気リコネクションとそれに伴う粒子加速過程を明らかにする」ことを科学意義とした衛星ミッション PhoENiX を次の太陽極大期(2025年頃)に実現すべく活動している。現在、この PhoENiX の軟X線2次元撮像分光装置実現のために(太陽フレア観測用に) CMOS 検出器の改良も並行して進めている。例えば、X線光子の作る信号が1ピクセルに収まるようにするための精密メッシュの製作と評価や、紫外線に対する耐性の強化加工などである。

年会では、FOXSI-3 と PhoENiX で目指すサイエンスを紹介し、軟X線装置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](#)

【N. 恒星】

3月14日(水) 午後(13:00-15:15) [D会場]

N01a	13:00	Swift/XMM-Newton による Wolf-Rayet 連星系 WR 125 の X 線観測	菅原泰晴 (宇宙航空研究開発機構)
N02a	13:12	XMM-Newton 衛星で偶然検出された恒星フレアとその発生源	中村優美子 (中央大学)
N03a	13:24	Strong magnetic field generated by the extreme red supergiant VY Canis Majoris	Hiroko Shinnaga (Kagoshima University)
N04a	13:36	G,K,M 型星におけるスーパーフレアのエネルギーと継続時間の関係	前原裕之 (国立天文台)
N05a	13:48	適応的交換モンテカルロ法で探るスーパーフレア星の巨大黒点の寿命と面積	幾田佳 (京都大学)
N06a	14:00	TESS で観測される明るい太陽型スーパーフレア星候補の高分散分光観測	野津湧太 (京都大学)
N07a	14:12	CEMP 星の起源は炭素過剰な初代超新星なのか?	小宮悠 (東京大学)
N08a	14:24	s-過程核種合成と炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星の Ba と Eu の起源 (2)	山田志真子 (北海道大学)
N09a	14:36	銀河系ハローにおける超金属欠乏炭素過剰星の起源と星・連星系形成史	藤本正行 (北海学園大学)
N10a	14:48	大質量星連星における超新星爆発は金属欠乏星のリチウム減少を説明できるか? (2)	須田拓馬 (東京大学)
N11b	15:00	Optical and NIR Polarimetric Monitoring of AA Tau in 2014-2017	Wei Liu (Hiroshima University)
N12b	15:00	磁極反転を記述する 3次元マクロスピン・モデル	中道晶香 (京都産業大学)

3月15日(木) 午前(9:30-11:30) [D会場]

N13a	09:30	LAMOST/すばるで発見されたリチウム過剰な金属欠乏星	青木和光 (国立天文台)
N14a	09:42	M 型矮星の化学組成決定に向けたすばる IRD スペクトルの解析	石川裕之 (総合研究大学院大学/国立天文台)
N15a	09:54	G 型巨星連星系カペラの化学組成解析	竹田洋一 (国立天文台)
N16a	10:06	Line-depth Ratios of Red Giants in APOGEE H-band Spectra: the Metallicity Effect	Mingjie Jian (Department of Astronomy, UTokyo)
N17a	10:18	銀河面サーベイ画像から発見された変光星候補天体	藤原智子 (日本スペースガード協会)
N18c		可視、近赤外波長での赤色巨星の LSP 変光現象	高山正輝 (兵庫県立大学)
N19a	10:30	大マゼラン雲の星団を用いたレッドクランプ星の近赤外線等級の金属量・年齢依存性の調査 (2)	小野里宏樹 (東北大学)
N20c		すばる Hyper Suprime-Cam による褐色矮星の探査	長嶋優佳 (愛媛大学)
N21a	10:42	星震学による恒星の内部構造の逆問題	八田良樹 (総合研究大学院大学/国立天文台)
N22a	10:54	乱流圧を考慮した恒星モデルの振動数計算について	園井崇文 (東北大学)
N23a	11:06	熱パルス AGB 星の表面磁場と星風	保田悠紀 (北海道大学)
N24b	11:18	VERA による SiO メーザーを用いた周期の長い OH/IR 星の位置天文 VLBI 観測	中川亜紀治 (鹿児島大学)
N25b	11:18	VERA を用いた原始惑星状星雲 OH231.8+4.2 の距離決定と星周ガス運動の評価	大山まど薫 (鹿児島大学)

N01a Swift/XMM-Newton による Wolf-Rayet 連星系 WR 125 の X 線観測

菅原泰晴, 前田良知 (JAXA), 坪井陽子 (中央大学)

Wolf-Rayet 星の多くは連星系を成し (Rosslowe & Crowther 2014)、両者からの星風はその中間点で衝突して高温ガスを生成する。このガスを詳細に調べることで、X 線帯域で星風の密度や加速量を定量的に調べることが可能である。WR 125(WC7+O9) は、過去に一度だけダストによる赤外線増光が報告されている天体 (Williams et al. 1992, 1994) である。星風衝突連星系における赤外線増光は、楕円軌道を持つ長周期連星系で報告されており、WR 125 はその中でも非常に長周期 (>20 年) である可能性が指摘されている (Williams et al. 2002)。さらに、WR 125 は非熱的電波放射も確認されており (Cappa et al. 2004)、星風衝突連星系の粒子加速実験場としても非常に興味深い天体である。

我々は 2016 年 12 月から 2017 年 5 月にかけて、Swift 衛星及び XMM-Newton 衛星を用いて、4 回の即応観測を実施し (計 33 ksec)、WR 125 から初めて X 線スペクトルを取得することに成功した。得られた X 線スペクトルは一温度熱放射モデル ($kT \sim 2$ keV を仮定) で再現され、X 線光度は他の WR+O 型の星風衝突連星系と同程度の $L_X \sim 8 \times 10^{32}$ erg s⁻¹ (0.5–10.0 keV 帯域) であった。4 観測間で光度の違いが確認されなかったことから、少なくとも、観測期間中は急激な光度変動が期待される近星点付近ではなく、WR125 は 25 年以上の長周期連星である可能性が高いと言える。一方、得られた X 線吸収量 ($N_H \sim 1 \times 10^{22}$ cm⁻²) は星間吸収量 ($N_H \sim 7 \times 10^{21}$ cm⁻²) に比べやや大きく、X 線放射領域が WR 星風による吸収を受けていると解釈できる。本講演では、これらの解析結果の詳細を報告し、X 線観測から制限される WR125 の X 線放射領域や星パラメータについて言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N02a XMM-Newton 衛星で偶然検出された恒星フレアとその発生源

中村優美子、坪井陽子（中央大学）、本田敏志（兵庫県立大学）、勝田哲（埼玉大学）、河合広樹（中央大学）、菅原泰晴（JAXA）、佐々木亮、杉田龍斗（中央大学）

恒星フレアは星表面の対流層で増幅された磁場に起因する現象である。X線帯域での指向観測は連星や星生成領域のみを対象としており、無名でフラックスの小さいフレアは見落とされてきた。そこで我々は高感度かつ無バイアスに近い形でフレアをサーチするため、X線衛星 XMM-Newton の指向観測で偶然検出された未知天体の光度変動をまとめた Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue 2XMMi-DR3 (XMM-SSC, 2010) から光度変動が恒星フレアの特徴を持つ天体を探した。その結果、23 天体から 26 発のフレアを発見した。23 天体のスペクトル型は、M 型 18 天体、K 型 2 天体、G 型 1 天体、F 型 1 天体、不明 1 天体であった。不明天体を除く 22 天体のフレア時の X 線光度 (L_x) を見積もると $10^{26} - 10^{32}$ ergs s^{-1} であり、G 型星と F 型星を含む 7 天体が太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーを持つスーパーフレアを起こしていた（2016 年秋季年会 中村他）。

今回、我々はフレアの継続時間 (t) と Emission measure (EM)、温度 (kT) を求めた。太陽から恒星まで L_x vs. t と EM vs. kT に正の相関があることが知られているが (e.g. Shibata & Yokoyama 1999, Tsuboi et al. 2016)、我々の結果はこの相関に載り、サンプル数が少なかった太陽と恒星の間に位置した。このことは、太陽と恒星フレアが同一の機構であることをより強く示すものである。また、我々は M 型 18 天体のスペクトル型を細分化した。その結果、M4 の天体数が一番多く、M5 以降の天体はなかった。スーパーフレアを検出した F 型星と G 型星については、西はりま天文台の MALLS ($R \sim 7500$) にて彩層活動の指標とされる H_α 線付近の波長域を中心に分光観測を行った。その結果、どちらも H_α 吸収線は浅くなっており、また、弱いながらも連星である兆候も見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N03a Strong magnetic field generated by the extreme red supergiant VY Canis Majoris

Hiroko Shinnaga (Kagoshima University), Mark J. Claussen (NRAO), Satoshi Yamamoto (University of Tokyo), Masumi Shimojo (NAOJ)

Evolved stars experience high mass-loss rates forming thick circumstellar envelopes (CSEs). The circumstellar material is made of the result of stellar nucleosynthesis and, as such, plays a crucial role in the chemical evolution of galaxies and the universe. Since asymmetric geometries of CSEs are common, and with very complex structures for some cases, radiative pressure from the stars can explain only a small portion of the mass-loss processes; thus the essential driving mechanism is still unknown, particularly for high-mass stars. We report on magnetic field measurements associated with the well-known extreme red supergiant, VY Canis Majoris (VY CMa). We measured the linear polarization and the Zeeman splitting of the SiO $v = 0$, $J = 1 - 0$ transition, using a sensitive radio interferometer. The measured magnetic field strengths are surprisingly high; their upper limits range between 150 and 650 Gauss within 530 AU ($\sim 80 R_*$) of the star. The field strength of lower limit is expected to be at least ~ 10 Gauss based on the high degree of linear polarization. Since the field strengths are very high, the magnetic field must be a key element in understanding the stellar evolution of VY CMa as well as the dynamical and chemical evolution of the complex CSE of the star. M-type supergiants, with large stellar surface, were thought to be very slow rotators. This would seem to make a dynamo in operation difficult and would also dilute any fossil magnetic field. At least for VY CMa, we expect that powerful dynamo processes must still be active to generate the intense magnetic field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04a G,K,M 型星におけるスーパーフレアのエネルギーと継続時間の関係

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 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学)

太陽フレアおよび恒星フレアは星の表面で起こる爆発現象で、黒点付近に蓄えられた磁気エネルギーが磁気リコネクションによって熱や運動エネルギーとして解放される現象と考えられている。我々のケプラー宇宙望遠鏡のデータを用いた G 型主系列星におけるスーパーフレアのデータを用いた研究から、スーパーフレアのエネルギー (E) と継続時間 (τ) の間には $E \propto \tau^{0.39}$ となる相関があり、この相関はフレアが磁気リコネクションで起こるとすると説明できることが明らかとなった (Maehara et al. 2015)。

本研究では、G 型に加えて K, M 型主系列星のスーパーフレアについて、エネルギーと継続時間の関係を調べた結果を報告する。ケプラー宇宙望遠鏡の時間分解能 1 分のデータを用いて、G, K, M 型星におけるフレアを検出し、フレアのエネルギーと継続時間を調べたところ、K 型および早期 M 型主系列星 ($T_{\text{eff}} > 3400$ K) におけるフレアのエネルギーと継続時間の関係は、G 型主系列星におけるフレアのエネルギーと継続時間の関係とほぼ同じであることが分かった。一方、晩期 M 型星におけるフレアのエネルギーと継続時間の関係は、これらからずれており、同じエネルギーで比較するとフレアの継続時間が 1 桁程度長い傾向がみられることが分かった。講演では星の温度の違いによるフレアのエネルギーと継続時間の関係の違い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](#)

N05a 適応的交換モンテカルロ法で探るスーパーフレア星の巨大黒点の寿命と面積

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

ケプラー衛星による太陽型星 (G 型主系列星) の測光観測データの解析から, 最大級の太陽フレアの十倍から一百万倍にも及ぶスーパーフレアが多数報告されている (Maehara et al. 2012, 他). そのスーパーフレア星の準周期的な光度変化や分光観測の結果から, スーパーフレアを引き起こすような巨大黒点の存在が示唆されている (Notsu et al. 2013&2015). その光度変化は, 複数の黒点が大きさを変化させながら差動回転することで構成されていると考えられるため, 自転軸傾斜角, 自転速度, 差動回転速度, 黒点の温度や大きさと位置の時間変化といった多次元パラメータで光度変化をモデル計算して最適化することでパラメータを推定できる. それにより, スーパーフレア星について, (1) スーパーフレアと黒点の位置, 位相, 大きさの関係および巨大黒点の寿命, (2) スーパーフレアと自転速度, 差動回転の関係 が調べられる.

本研究では, まずマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて推定を試みた (2017 年春季年会 N11a, 幾田他). しかし, パラメータの多次元性の問題からパラメータの遷移効率が悪く, 大域的な最適解の推定が困難であった. そこで, その問題を回避するため, マルコフ連鎖モンテカルロ法を拡張した適応的交換モンテカルロ法 (Araki & Ikeda 2013, 他) を導入し, パラメータの遷移効率を向上させ, その最適解の推定を試みる手法を開発した (2017 年秋季年会 N11b, 幾田他). この下で, 現在数天体のスーパーフレア星で多次元パラメータの推定を順次行っている. そして, スーパーフレアが起こる際の巨大黒点の存在と 200 日以上の寿命を持つことがテスト計算から確認されている. 本発表では, この手法のアルゴリズムの概要および利点を説明すると共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](#)

N06a TESSで観測される明るい太陽型スーパーフレア星候補の高分散分光観測

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

近年、ケプラー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の $10\sim 10^4$ 倍のエネルギーの巨大フレア) 現象が多数発見され、巨大黒点の存在がスーパーフレア現象の理解の鍵だと明らかになってきた (Maehara et al. 2012; Notsu et al. 2015 他)。今後は、そのような巨大黒点の長期モニタ観測や磁場強度の直接測定、フレア自体の分光観測など、より詳細な研究が重要だが、ケプラーの観測星は暗く (典型的には $V = 12\sim 15$ 等)、そのような詳細な分光観測は難易度が高かった。

この状況の中、2018年3月に打上予定の系外惑星探査衛星 TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) は、全天の広範囲に分布する、多数の (近傍の) 明るいスーパーフレア星の測光データを取得すると期待される。例えば、スーパーフレア候補星と考えられる、ROSAT 全天 X 線サーベイで強い X 線強度 ($L_X > 10^{28} \text{ erg s}^{-1}$) を示した明るい ($V < 12$ 等) G, K, M 型星は、TESS の 1 視野あたり 20-30 星、全天では 400 星程度存在している。

現在私達は、TESS で観測されるこれらのスーパーフレア星候補について、より詳細な分光観測に最適な天体の選択に資することを目的として、Apache Point Observatory (APO) 3.5m 望遠鏡を用いた高分散分光観測 (波長域 $3200\sim 10000 \text{ \AA}$, 波長分解能 $(\lambda/\Delta\lambda)$ 約 32000) を行なっている。例えば、Ca II H&K などの彩層線強度から巨大黒点の存在を確認しており、今後は、TESS の測光データや今後の複数回の分光観測と合わせて長期的な変化も探る計画である。本発表では、TESS データを用いたスーパーフレア研究の方向性についてまとめた上で、APO 3.5m 望遠鏡での分光観測の現状、そして建設中の京大 3.8m 望遠鏡も用いた今後の計画について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N07a CEMP 星の起源は炭素過剰な初代超新星なのか？

小宮悠、須田拓馬 (東京大学)、藤本正行 (北海学園大学)

金属欠乏星は、化学進化がまだ進んでいない宇宙初期に生まれた星の生き残りであり、宇宙黎明期の星や銀河を探る手掛かりとして重要である。金属欠乏星の顕著な特徴として、炭素過剰な星 (CEMP 星) が多いことがあげられる。CEMP 星の観測から、金属量が $-3 < [\text{Fe}/\text{H}] < -2$ の範囲にある CEMP 星の大半は s-process 元素も過剰な星 (CEMP-s 星) であることが分かっている。これらの星の多くは連星であり、連星質量輸送を受けて炭素過剰になったと考えられる。一方より低金属量では、炭素過剰だが s-process の過剰は見られない星 (CEMP-no 星) が多く、特に $[\text{Fe}/\text{H}] < -5$ で見つかっている星 (HMP 星) は全て CEMP-no 星に分類される。

CEMP-no 星の起源としては、初代星の faint supernova 説が考えられることが多い。これは、初代星の超新星爆発の放出物では鉄が少なく、相対的に炭素過剰な組成を持っており、その放出物から形成された第 2 世代星が CEMP-no 星であるとする説である。一方で、CEMP-no 星も CEMP-s 星と同様に連星起源だとする説も存在する。また回転星からの星風が起源とする説もあり、CEMP-no 星の起源にはまだ決着がついていない。

我々はこれまで、階層的構造形成と、個々の超新星からの寄与を考慮した化学進化モデルを用いて、金属欠乏星の研究をおこなってきた。今回はこのモデルを用いて、CEMP-no 星の起源の検証を試みた。Faint supernova は炭素の生成量としては通常の超新星と同程度なので、炭素と鉄の相対組成 ($[\text{C}/\text{Fe}]$) は高くなるものの、炭素組成 ($[\text{C}/\text{H}]$) 自体の高くなる星は少ない。そのため $[\text{C}/\text{H}]$ の分布としては観測されているような組成分布を再現することは困難である。一方で連星起源説を考えた場合は、連星の軌道分布に依存するものの、高い $[\text{C}/\text{H}]$ を持つ星を説明することが可能だと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N08a s-過程核種合成と炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星の Ba と Eu の起源 (2)

山田志真子 (北海道大学), 須田拓馬, 小宮悠 (東京大学), 合川正幸, 藤本正行 (北海道大学)

銀河系ハローの炭素過剰を示す超金属欠乏星 (CEMP) のうち、s-過程元素である Ba の過剰を示すものは、CEMP-s 星に分類されるが、そのうち、Eu/Ba 比が r-過程と s-過程元素の中間に位置する CEMP-r/s 星が多くの割合を占める。前回、AGB 星での s-過程核種合成計算を行い、CEMP-r/s 星の Eu/Ba 比は、s-過程元素合成の進行が 2nd peak である Ba から third peak の Pb へ移行する過渡期において達成されることを示した。しかし、この計算では、Eu の不安定親核種として ^{151}Sm と ^{153}Sm しか考慮していなかった。

本研究では、より高い中性子密度で Ba と Eu の生成に寄与する中性子過剰の不安定な親核種を含むように s-過程ネットワークを拡張、核種合成計算を行い、前回の結果を検証した。中性子密度が高いと、s-過程の合成経路は中性子過剰の核種を通るようになるが、一般に、中性子過剰になると中性子の吸収断面積は小さくなるので、親となる不安定核種は生成量が増加する。奇数核である Eu の場合は、中性子密度が高くなると、更に断面積の小さい $^{151,153}\text{Pm}$ や ^{151}Nd を介在するようになり、親核の存在量が増加、Eu の生成量が増し、[Eu/Ba] を押し上げる。一方、Ba の場合は、より小さな吸収面積を持つ中性子のマジック数の核種の寄与が支配的になる。しかし、奇数核の ^{137}Cs は ^{138}Ba より断面積が大きいため、Ba の増加への寄与が小さく、また、偶数核の ^{136}Xe は安定で寄与しない。合成経路が ^{135}I を通るようになる中性子密度が $n_n \gtrsim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ になると、Ba の生成量が急激に増大、Eu/Ba 比を減少させることになる。したがって、CEMP-r/s 星で観測される Eu/Ba 比は、中性子密度が高い、CEMP-s 星と同じ s-過程核種合成過程で、ただし $n_n \ll 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ の場合に到達できることになる。講演では、CEMP-r/s 星の形成に課せられる具体的な条件、実際の AGB 星での実現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](#)

N09a 銀河系ハローにおける超金属欠乏炭素過剰星の起源と星・連星系形成史

山田志真子 (北海道大), 須田拓馬, 小宮悠 (東京大), 町田正博 (九州大), 藤本正行 (北海学園大)

近年銀河系ハローから観測された超金属欠乏星は、その多く ($\geq 20\%$) が、炭素過剰 ($[C/Fe] \geq 0.7$) を示し、これらの炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星は、さらに、*s*-過剰中性子捕獲反応で生成される Ba の過剰の有無によって、CEMP-s 星 ($[Ba/Fe] \geq 0.5$) とそれ以外の CEMP-no 星に類別される。CEMP 星の起源の解明は、宇宙初期における星形成・連星系形成を解読する鍵となる。我々は、CEMP 星の形成機構として、連星系での AGB 主星からの質量降着シナリオを提唱してきた (Fujimoto et al. 2000, Suda et al. 2004, Komiya et al. 2007)。CEMP-s 星については、Ba の過剰に加えて、軌道周期が同定されたことから連星系起源説が受け入れられている。一方、Ba 組成の小さい CEMP-no 星については、炭素過剰の説明として、特異な初代星の超新星爆発や高速回転する大質量星を起源とする説も唱えられてきた。しかしながら、CEMP-no 星も、Ba のみならずその他の中性子捕獲元素を保持しており、その特性・合成過程の解明から、その起源についての手掛かりが得られるであろう。

本研究では、先般の学会で報告した超金属欠乏星での *s*-過程核種合成の特性を踏まえて、CEMP 星の中性子捕獲元素の組成の統計的な解析を行った。その結果は、CEMP-no 星も、炭素組成の正常な星と比較すると、Ba や Sr 等の *s*-過程元素の増加が認められるが、ただし、増加の割合は、CEMP-s 星に比すと炭素の増大量と同様大きくはないということであった。このことは、CEMP-no 星についても、CEMP-s と同様、連星系起源説を支持している。実際、炭素組成の分布は、 $[C/H] \simeq -1.5$ 以上の CEMP-s 星とそれ以下の CEMP-no 星の二峰性を示し、したがって、CEMP-s と CEMP-no 星の起源は、連星系の周期分布の違いに起因すると考えられる。講演では、連星周期分布の二峰性から導かれる、宇宙初期の星形成・連星系形成史への帰結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](#)

N10a 大質量星連星における超新星爆発は金属欠乏星のリチウム減少を説明できるか？(2)

須田拓馬（東京大学）、斎藤貴之（東京工業大学）、森谷友由希、茂山俊和（東京大学）

恒星表面のリチウム元素組成は星の起源を探る重要な手がかりと考えられており、星の進化段階や星の種族によるリチウム組成の変動や、ビッグバン元素合成から予想される値との乖離といった問題が未解決である。リチウムは恒星内部で作られる元素の中では比較的低温で燃焼するため、主系列星では星の表面付近にのみ存在する。そのため、低質量星表面に存在する対流層の影響を受けやすく、恒星モデルの検証に有用である。

これまで行われた金属欠乏星の分光観測によって、主系列段階にいるにも関わらずリチウムの減少が見られる星がいくつか見つかっている。前回の学会では、リチウム減少の原因としてII型超新星を起こす大質量星と低質量星からなる大質量星連星仮説を提唱した。II型超新星の爆発によって低質量星の表面が剥離、あるいは爆風の降着によって低質量伴星表面のリチウムが減少する可能性について、SPH流体計算を用いて検証するとともに、そのような連星が実際に存在するかどうかを、近傍OB型星の視線速度変動のモニタリング観測によって調べてきた。

本講演では、金属欠乏星のリチウム組成の進化段階による変動の可能性を検討し、大質量星連星仮説によって説明可能かどうかを検証する。前回の講演でのテスト計算を発展させ、大質量星の進化、超新星爆発のモデル、および超新星爆発の伴星への影響について評価するとともに、大質量星と低質量星からなる連星の探査を継続する。特に、超新星のイジェクタに元素組成分布を与えることで、伴星への降着を定量的に調べ、どのような元素組成分布が実現されるかを見る。OB型星の連星探査については短周期連星の探査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](#)

N11b Optical and NIR Polarimetric Monitoring of AA Tau in 2014-2017

Wei Liu (Hiroshima University, University of Chinese Academy of Sciences), Koji Takata, Koji Kawabata, Tatsuya Nakaoka, Miho Kawabata (Hiroshima University), Michitoshi Yoshida (National Astronomical Observatory of Japan), Ryosuke Itoh (Tokyo Institute of Technology), Hiroshi Akitaya (Saitama University),

AA Tau is a classical T Tauri star. It irregularly shows short declining events, which could be explained by occultation due to the inhomogeneous circumstellar medium. In 2011, AA Tau suddenly faded and the optical magnitude at its bright state became 2 magnitudes fainter in V-band compared with the previous 20 years. To investigate the geometry of its circumstellar medium, we have performed polarimetric monitoring of AA Tau since 2014 with HONIR (Hiroshima Optical and Near-InfraRed camera) attached to the 1.5m Kanata telescope. AA Tau shows a tendency of larger polarization in fainter and redder phases, which is consistent with the past polarimetric observations in 2002 (Menard et al. 2003). The observed polarization roughly consists of a wavelength-independent component and a wavelength-dependent component, both of which show time variability. The latter component has larger degree of polarization at shorter wavelength and its position angle is almost constant to $\sim 60^\circ\text{--}70^\circ$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12b 磁極反転を記述する3次元マクロスピン・モデル

國友有与志（仙台市天文台）， 中道晶香（京産大），原哲也

近年、恒星の磁極の反転やふらつきが観測から示唆されるようになった。また、太陽磁場は約22年周期でほぼ規則的に磁極反転を繰り返し、地磁気は不規則に約100万年の長周期で磁極反転を繰り返している。私達は、天体の磁極が反転を繰り返すダイナミクスを解明するため、磁極反転を表す物理のエッセンスをマクロ・スピン・モデルの協同現象として扱う力学モデルを提案する。このモデルでは、恒星内部の対流ガスや、地球型惑星の場合は外核の流体鉄が動くことにより、電流の巻き付きによって生成された磁場をマクロなスピンの向きで表し、このような小さなダイナモ要素が協同して星全体の磁場を作る。このモデルの運動方程式の解として、大半のマクロ・スピンの向きが揃っている状態から、突然、大半のマクロ・スピンの向きが一気に反転して揃う現象が得られ、観測結果を再現できる。

2011年の年会にて発表したマクロ・スピン・モデルは円周上を動いたが、本講演では個々のマクロ・スピンの球面上を動くようにしたため、マクロ・スピン自身の非等方向な運動を表現していることが特徴である。

シミュレーションの結果、磁北の移動距離の頻度分布として、短時間では正規分布だが、長時間ではLevy分布や対数正規分布に従うことが判明した。また、マクロ・スピンの数が途中で変化する場合、磁極反転の周期性へ与える影響を調べた。これは天体のダイナモ領域の流れが変化する過程を表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](#)

N13a LAMOST/すばるで発見されたリチウム過剰な金属欠乏星

青木和光、松野允郁 (国立天文台, 総研大), 須田拓馬 (東京大学), H. N. Li, G. Zhao, Y. B. Kumar, J. Shi (NAOC)

銀河系初期に誕生した小質量星である金属欠乏星のうち、進化の進んでいない主系列付近の星の表面にはビッグバン元素合成の結果の少なくとも一部が保存され、ほぼ一定量のリチウムが存在する。一方、星の内部ではリチウムの破壊が進み、赤色巨星に進化する際に表面の物質と混ざるため、表面のリチウム組成は一桁以上減少する。これらの特徴は球状星団の星の観測などで確認されており、標準的な恒星進化モデルでよく説明される。しかし、稀にはあるがリチウムが著しく過剰になっている金属欠乏星が存在し、球状星団の星を含め 10 天体余りの報告例がある。我々は LAMOST による分光サーベイとすばる望遠鏡による高分散分光観測によって系統的な調査を進め、通常金属欠乏星に比べ 10 倍以上のリチウム過剰を示す星を 12 天体発見した。これらの星では、リチウム以外の元素に目立った異常は見られず、今の段階では連星系の割合が高いというデータも得られていない。さらに、準巨星から赤色巨星までのさまざまな進化段階にみられることも明らかになった。準巨星のなかには、通常みられる値の 100 倍以上に達するリチウム組成を示す極端な例も発見された。これらの結果は、赤色巨星に進化するより前の段階で極端にリチウム組成を増大させるプロセスが存在することを示している。逆にこれを仮定すれば、赤色巨星に進化しリチウム組成が減少してもある程度の過剰が残るため、幅広い進化段階でリチウム過剰星がみられることは自然に説明可能となる。従って、赤色巨星に進化する前にリチウム過剰となるメカニズムの解明が本質的な課題であることが明らかになった。天文学のなかでは、小質量星の進化は比較的よく理解されている分野であるが、元素合成において未知のプロセスが残っていることを本研究は示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N14a M型矮星の化学組成決定に向けたすばる IRD スペクトルの解析

石川裕之 (総研大), 小谷隆行, 葛原昌幸 (ABC), 大宮正士, 青木和光, 白田知史, 林左絵子 (国立天文台), IRD チーム

最近 M 型矮星周りの惑星発見が相次いでいる。これらの惑星の形成過程や材料を理解するためには、M 型矮星の化学組成が不可欠である。しかし M 型矮星は可視光で暗く分子の吸収が激しいため、太陽型星のように可視高分散スペクトルから化学組成を決定するのが難しかった。M 型矮星が可視光よりも明るく分子の吸収線が比較的少ない、近赤外線を用いた高分散分光器の開発が近年進み、これを用いた組成解析法が有望視され始めた。

IRD は、近傍 M 型矮星周りの惑星探査のために新しくすばる望遠鏡に設置された近赤外高分散分光器である。最大 70,000 といった高波長分解能で Y, J, H バンドに渡る広い波長範囲を一度にカバーできる装置は、8m クラスの望遠鏡では初めてのものである。我々は IRD を用いて取得したスペクトルを解析し、有名な近傍天体バーナード星 (M4V) とハビタブルゾーンにスーパーアースが報告されている LHS 1140 (M4V) といった 2 つの中期 M 型矮星について、近赤外線スペクトルの解釈を試みた。

これらの近赤外スペクトルで最も目立つ FeH 分子の吸収線の同定作業を通して、波長ごとに最も信頼できる FeH ラインリストを検証した。また、Ti、Ca、Fe などの原子の吸収線を同定し、等価幅を測定した結果から、それぞれのアバンダンスを導いた。先行研究のある鉄のアバンダンスについては、それに矛盾しない値を得ている。一方、波長領域によるラインリストの不完全性などの課題も認められた。IRD のこれまでにない広い波長範囲を利用できることで、使える吸収線の本数が増え、各種組成比に加えて有効温度や表面重力などの恒星パラメータに敏感な吸収線の解析が可能になれば、M 型矮星やその周りが見つかる惑星の研究のために有用である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15a G型巨星連星系カペラの化学組成解析

竹田洋一 (国立天文台), 橋本修 (群馬県立ぐんま天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学西はりま天文台)

ぎょしゃ座の一等星として親しまれているカペラは二つのG型巨星 (G8 III と G0 III) が周期 104 日で周り合っている分光連星系である。進化のより進んだ前者を一応主星と呼んでいるが、質量の差は僅かであり (それぞれ $2.59 M_{\odot}$ と $2.48 M_{\odot}$) 光度もほぼ同等である。主星は通常の red clump の巨星 (低速自転, Li 欠乏) であるのに対して、伴星の方は射影自転速度が $v_e \sin i \sim 35 \text{ km s}^{-1}$ と晩期型星としては大きく彩層活動も活発で、リチウム組成が $A(\text{Li}) \sim 3$ で通常の巨星より約百倍も多いリチウム過剰巨星の特徴を示す。これまで半世紀以上この星の軌道要素の研究は数多くあるものの、リチウム以外の元素組成の研究はいたって乏しく、特に伴星の組成を求めて主星と比較したのは Torres et al. (2015) だけである (彼らの結論は両星とも元素によらずほぼ太陽組成で一致)。

最近 Takeda & Tajitsu (2017) はリチウム過剰巨星の高励起線から求めた軽元素組成は [C/Fe] 比や [O/Fe] 比などが通常の巨星と比べて異常な高い値を示すケースが多いことを報告し、高い恒星活動の影響で特殊な大気構造となって通常のモデリングが通用しなくなっているのではないかと推察した。この仮説を検証するには初期組成が共通と仮定してよいカペラ系は最適である。つまり低活動 Li 欠乏の主星と高活動 Li 過剰の伴星の組成を比較して違いの有無をチェックすればよい。この目的で、主にぐんま天文台 GAOES で得られた一群のカペラのスペクトルを元に両星のスペクトルを spectrum disentangling 法 (Ilijic 2004) で分離して化学組成解析を行ったところ以下の結論が得られた。(1) 鉄族など重い元素は太陽と比べて主星は少し過剰であり伴星は逆に少し欠乏しており、結果的に伴星は主星に比べて見かけ上平均 $\sim 0.2\text{--}0.3 \text{ dex}$ 程度金属欠乏である、(2) 一方この傾向は軽元素では見られずむしろセンスが逆転する (C や O など)。この結果は Takeda & Tajitsu (2017) の解釈を裏づけるものである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N16a Line-depth Ratios of Red Giants in APOGEE *H*-band Spectra: the Metallicity Effect

Mingjie Jian, Noriyuki Matsunaga (UTokyo), Kei Fukue (Kyoto Sangyo Univ)

Effective temperature (T_{eff}) is of vital importance to determination of stellar parameters. Achievable accuracies of some methods are the order of 100 K, which is not high enough to trace small temperature variation such during the period of pulsation. With the Line-Depth Ratio method making use of high-resolution spectroscopic data, previous studies using optical spectra found that the accuracy can be as high as 5–10 K.

Ratio of carefully selected line depths are sensitive to T_{eff} of stars, and can also avoid some effect of continuum. With relation between line-depth ratio (LDR) and T_{eff} established, temperature can be determined precisely within tens of Kelvin. However, there can be residual metallicity effects on the LDRs, although not established before, which could diminish the accuracy of LDR- T_{eff} relation. Here we quantify the metallicity effect to this relation using APOGEE *H*-band spectra as well as derived stellar parameters from APOGEE survey. Metallicity effect is confirmed, and neglecting this will introduce some amount of error (400K/dex). By comparing observed spectra with synthetic one, saturation of spectral line is found to be the reason causing this effect. Thus metallicity terms should be taken into account in order to achieve high accuracy.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17a 銀河面サーベイ画像から発見された変光星候補天体

藤原智子 (日本スペースガード協会), 平井正則 (福岡教育大学/月光天文台), 西山浩一, 椋島富士夫 (Miyaki-Argenteus Observatory)

佐賀県にある Miyaki-Argenteus Observatory は、新天体の探査を精力的に行っている天文台で、これまでも100個以上の新星や2個の超新星などを発見している。今回我々は、2008年1月からこれまでに取得した画像から、1721個の変光星候補天体を発見した。画像は銀河面を中心に撮影されたもので、USNO-B1.0カタログに掲載されている等級を基準に、増光したと考えられるものを抽出し、詳細を調べた。

発見した天体のうち、Simbad データベースに登録されているものは644天体だけであった (USNO-B1.0カタログは検索対象外)。そのうち96個には既に変光星番号がついており、その殆どがミラ型とされているが、周期や振幅など分かっていないところも多い。また別の496天体は赤外線観測 (IRAS、AKARI や 2MASS 等) でしか検出されていない。これらは赤色巨星であると予想されるが、正確な等級ですらよく分かっていない天体が多く含まれている。これまで変光が知られていなかった天体であることから、かなり長周期の変光星か、突発的な変光をしたと考えられる。また、残りの1077天体についてはデータベースでの検索にかからないため、完全に正体不明である。こちらにも突発的な現象を起こした可能性が高く、今後詳細な調査が必要である。

サーベイ観測で得られた画像は、このような新たな変光星を発見し、その詳細を知るための重要な情報源となり得る。本講演では、我々の変光星探査の取り組みと検出された天体について報告し、その特性について考察する。また、計画されているフォローアップ観測についても触れる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N18c 可視、近赤外波長での赤色巨星の LSP 変光現象

高山正輝（兵庫県立大学），板由房（東北大学）

赤色巨星変光星の Long Secondary Period は、400 - 1500 日程度の非常に長い周期的な変光現象として知られている。このような変光を示す赤色巨星は大小マゼラン星雲や銀河系内でも見つかっている。これまで LSP 現象による変光は OGLE や MACHO などの長期測光観測によって可視光の波長でその存在が知られていた。また可視光では LSP の長さや星の明るさに正の相関、すなわち周期光度関係が存在することが知られていた。一方、近赤外波長域での長期測光観測のデータは乏しく、LSP の周期でどのような変光が生じているかわかっていなかった。LSP 現象を説明するために、星の脈動、連星の食、星周ダストによる減光、星の黒点など様々な仮説が考えられてきた。しかし現在でも LSP の変光の原因はよくわかっていない。最近では星の半径がほとんど変わらないまま有効温度が変化することが原因である可能性が示唆されている（cf. 高山 & 板., 2017 年春季年会, N08c）。

本研究では、南アフリカ IRSF1.4m 望遠鏡に搭載された SIRIUS camera を用いた J, H, K_s band 長期測光観測 (Ita et al, in prep) のデータを用いて小マゼラン星雲の LSP 候補天体の JHK_s band での変光を調べた。変光していることが十分確からしいサンプルの周期解析の結果、可視光で見つかっている周期光度関係と無矛盾な周期光度関係が近赤外のデータからも得られた。またこれらのサンプルからは変光の振幅の波長依存性が見つかった。これらを踏まえ、本講演では LSP の原因としてこれまで提案されて来た、「自転する星の黒点による減光」「連星の食」の仮説の可能性について、観測結果と比較して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N19a 大マゼラン雲の星団を用いたレッドクランプ星の近赤外線等級の金属量・年齢依存性の調査(2)

小野里宏樹, 板由房(東北大学), 中田好一(東京大学), 西山正吾(宮城教育大学)

レッドクランプ(RC)星は光度のばらつきが小さく、数が多いために優秀な距離指標天体として用いられている。RC星をより優秀な距離指標天体とするためには、絶対等級の金属量や年齢への依存性を知ることが重要である。理論的には、近赤外線では金属量依存性は小さいと考えられているか、年齢に関しては2 Gyrより古いと依存性が小さいか、若いと依存性が大きいと考えられている。一方、観測的には金属量依存性については様々な研究により確かめられているが、年齢依存性についてはRC星の年齢を知ることが基本的には困難であることから天の川銀河の星団について調べたものに限られ、検証が不十分であった。

そこで我々は、大マゼラン雲の星団を用いてRC星の絶対等級の金属量・年齢依存性を調べることにした。大マゼラン雲には天の川銀河の星団と異なる金属量・年齢を持つ星団が多数存在しており、理論的に大きな依存性が予想されている若いRC星についても調べることが可能である。2017年秋季年会ではVMCサーベイのデータを用いた結果について報告した(N04a)。しかしながら、現在VMCサーベイの公開されているデータは大マゼラン雲の一部に限られており、サンプルとして用いることができる星団は10天体のみであった(年齢0.6~2.2 Gyr、 $[Fe/H]$ -0.7~0.0)。そこでサンプル数を増やし、より広いパラメーター空間を埋めるために、南アフリカのIRSF望遠鏡を用いてVMCサーベイの領域外にある星団やまだ公開されていない領域にある星団について観測を行った。その結果、より広いパラメーター空間上(年齢0.4~8.5 Gyr、 $[Fe/H]$ -1.05~0.0)で絶対等級の依存性を調べることが可能になった。本公演ではこのIRSF望遠鏡での観測で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](#)

N20c すばる Hyper Suprime-Cam による褐色矮星の探査

長嶋優佳、松岡良樹（愛媛大学）

褐色矮星は、内部で水素の核融合が起こらないほど質量が小さな天体である。その具体的な質量は太陽のような普通の星と木星などの巨大ガス惑星の間であることがわかっており、このことから、星と惑星の形成を理解するために重要な種族とされている。またその大気は豊富な分子や塵を含む複雑な構造をしており、星・惑星大気モデルに対して有用な示唆を与える可能性を持つ。褐色矮星の形成は基本的には普通の星形成と同じで、分子雲が自己重力で収縮して誕生するものであり、銀河系内には無数の褐色矮星が存在すると考えられる。しかし、実際に褐色矮星が銀河系にどれほど、どのような分布で存在しているのかは、まだわかっていない。ある程度明るい褐色矮星の探査は進んでいるが、暗く、従って地球から遠くに存在している褐色矮星の探査は、先行研究の観測感度の限界により進んでいないためである。

そこで私たちは、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) - SSP (Subaru Strategic Program) サーベイのデータを用いることで、今まで発見されなかった暗い褐色矮星の探査を行うことにした。このサーベイは従来よりも広視野かつ高感度なため、より遠く、暗い天体の可視光による調査が可能である。私たちは z バンドの等級が 17 等から 24 等までの天体を HSC - SSP データカタログからピックアップし、約 4000 個の L 型候補天体、約 200 個の T 型候補天体をこれまでに同定した。ここで得られた天体の分布から、銀河系の構造を調査する計画である。本講演では、ピックアップした天体の一部の調査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](#)

N21a 星震学による恒星の内部構造の逆問題

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

恒星の固有振動の観測に基づいてその内部探査を行う手法を星震学と呼ぶ。近年、Kepler 衛星等による宇宙空間からの観測により、高精度での恒星の固有振動数の測定が可能となった。Kepler 衛星がもたらした成果は目覚ましく、「分光観測や測光観測とは独立な恒星パラメタの推定」(William and Miglio 2013) や、「恒星の内部自転角速度の推定」(Deheuvels et al. 2012) に代表されるような新たな知見を恒星物理学にもたらしている。

Kurtz et al. (2014) は、星震学の手法を用いて KIC11145123 の一次元内部自転角速度を推定し、この星のコアの角速度が外層の角速度に比べて遅いことを見出した。また、われわれは「中心からの距離」と「緯度」の関数として二次元的に内部自転角速度を推定し、Kurtz らと同様の結果が得られることを確認した (2017 春季年会 N24a)。この結果自体は仮定したモデルに殆ど依存せず、角運動量輸送の過程に新たな制約を課す可能性がある。ただし、Kurtz らのモデルは観測される音波モードの振動数を再現できておらず、依然改良の余地がある。また、Kurtz らはモデルの計算に際して「隣り合う重力波モードの周期の差の平均値」のみをフィットしていて、逆問題は解いていない。

そこでわれわれは、モデル改良の第一歩として、重力波モードの振動数一つずつを取り上げ、逆問題を解くことにした。推定値としては「(実際の KIC11145123 と暫定モデルとの間の) 音速・密度分布の相対差」及び、「半径の相対差」が得られる。以上の内部構造についての逆問題の結果と、その結果から得られた KIC11145123 の新たな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](#)

N22a 乱流圧を考慮した恒星モデルの振動数計算について

園井崇文(東北大学), M. A. Dupret(リエージュ大学), H. G. Ludwig(ハイデルベルグ大学), K. Belkacem, R. Samadi, E. Caffau, B. Mosser(パリ天文台)

近年 CoRoT、Kepler といった宇宙望遠鏡により、恒星の微小な光度変化を精度よく観測することが可能となってきた。このような観測は、恒星表面で見られる振動を用いて恒星の性質を決定する、いわゆる星震学の精度を向上させることが期待されている。特に、太陽型星においては、多数の小振幅の振動が、連続する固有モード指数で観測されるようになり、星震学を行う上で威力を発揮すると考えられている。

しかし、観測の精度が向上する一方で、それと整合するために用いられる理論モデルには依然として多くの不確定性が残されている。上記の太陽型星については、標準的な恒星モデルにおいて、表面付近で発生する乱流の取扱いが難しく、モデルの固有振動数は系統的な誤差を含んでいる。

そこで我々は、恒星モデルの外層を3次元流体力学計算で得られたモデルに置きかえたもの (Patched model) を作成し、振動数を解析している。Patched model には乱流圧の寄与が含まれているが、2016年秋季年会 (N11a) で発表した固有振動の計算では、乱流圧の相対摂動がガス圧のそれと等しいという仮定 (GGM 近似) を用いた。我々は、より現実的な振動過程を追うために、時間依存性対流理論を用いて乱流圧の摂動を計算し、太陽の Patched model の振動数を求めた。その結果、GGM の場合よりも、観測値に近い固有振動数が得られた。今後は、この手法を他の太陽型星モデルにも適用できるようにし、星震学の精度を向上させていくことを目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N23a 熱パルス AGB 星の表面磁場と星風

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 星の表面磁場が観測に基づいて見積もられ始めている。S 型星 χ Cyg には 2-3 G の表面磁場があると報告されている (Lèbre et al. 2014)。また 3 つの炭素過多 AGB 星 IRC+10216、RW LMi, RY DRa は各々 3.8 G、4.4G 未満、4.8G 未満の表面磁場があると見積もられている (Duthu et al. 2017)。従って熱パルス AGB 星の表面磁場は数 G 程度と推測される。しかし観測例が少なくその値が典型的であるのかは不明である。我々は磁気駆動風モデルを開発してきており、入力パラメータ (質量、有効温度、半径など) を恒星進化計算に基づいて与えた場合、低重力 ($\log g < -0.4$) になると表面磁場が 1 G 程度で持続的な星風が生成し得ることを明らかにしてきた (保田他 2017 年秋季年会)。今回は可能な限り個々の天体の観測値に基づいた入力パラメータを使用し、開発したモデルが星風の観測特性 (質量放出率やガス速度) を再現できるかを調べる。また再現できる場合の表面磁場の範囲を探る。この試みにより表面磁場の理論的な見積りと星風モデルのより進んだ検証が可能となる。

表面磁場、開いた磁束管の星表面での面積占有度 (filling factor) そして擾乱の速度振幅の計 3 種類の入力パラメータを調整して、IRC+10216、 χ Cyg、o Cet からの星風について以下の結果を得た。IRC+10216 については filling factor を 10^{-3} 、擾乱の速度振幅を星表面での音速とした場合、表面磁場が 1.5 から 2.0G の範囲で観測特性を再現できる。 χ Cyg については質量を低く ($1.4 M_{\odot}$) 設定すると持続的な星風を生成できた。しかし大半の場合でその星風は観測特性 (質量放出率が $10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程度でかつガス速度が 10 km s^{-1} 未満) を満たさない。o Cet の場合も同様な結果となった。入力パラメータを調整してみたがより高密度風もしくはより低密度高速風となる。本講演ではこれらの結果を詳述し、o Cet で観測される低速風の生成維持機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N24b VERAによるSiOレーザーを用いた周期の長いOH/IR星の位置天文VLBI観測

中川亜紀治, 大山まど薫 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 関戸衛 (NICT), 小山友明, 永山匠 (NAOJ)

質量が $1 - 8M_{\odot}$ の星はその進化の末期に質量放出率の大きな時期を経るが、OH/IR 星はこうした時期にあたる星と考えられる。中心星は周期的な変光を示し、また惑星状星雲への進化の前段階にあたる。星周は厚いダストで覆われ赤外線領域で明るく、また OH, H_2O , SiO レーザーをしばしば伴う。VLBI による長期間にわたるレーザー観測は星周物質の構造や運動の解明に有効であるが、そうした観測例はまだまだ少なく、特に周期が 1000 日を超えるようなものについては、該当する星も少ないことからほとんど観測が行われていない。Feast(2008) によると、周期 1000 日の星は質量が $4M_{\odot}$ 程度であり、星の進化の一般的な説明からその年齢は 10^8 yr 程度と考えられる。年齢が 10^6 yr 程度の星形成領域と違い、年齢 10^8 yr 程度の星の精密な位置天文観測例は今のところ皆無である。銀河動力学の観点から考えると、年齢 10^8 yr 程度の星の位置天文観測に基づき、多様な年齢の天体の位置や運動を用いて銀河系力学モデルとの比較を行うこともまた重要である。

そこで我々は VERA を用いた VLBI 観測で、特に周期が長い OH/IR 星の観測を開始した。43GHz の SiO レーザーを対象とした位相補償観測を行う。この際、参照電波源は近年実用化された広帯域モード（従来の 2 倍の帯域幅となる 512MHz の記録）でデータ取得を行っている。NSV25875（周期 1535 日）、OH127.8+0.0（周期 1380 日 or 1994 日）の 2 天体について 2017 年 11 月より VLBI 観測を開始しており、本講演ではその結果を報告する。いずれも位相補償観測としては初めての例となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N25b VERA を用いた原始惑星状星雲 OH231.8+4.2 の距離決定と星周ガス運動の評価

大山まど薫、中川亜紀治、半田利弘、面高俊宏 (鹿児島大学)、VERA プロジェクト

OH231.8+4.2 は散開星団 M46 の近傍に位置する原始惑星状星雲で、南北に高速な双極流がみられる。その速度は $200\text{-}400\text{kms}^{-1}$ に達し (Morris et al. 1987)、広がりには $6'' \times 57''$ に及ぶ (Sánchez et al. 2015)。中心にはミラ型変光星のような変光を示す AGB 星が存在し、 $\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}$ メーザー源となっている (Desmurs et al. 2007)。現段階で OH231.8+4.2 の距離と運動については不定性が大きく、他の物理パラメーターの推定には高精度な位置天文観測によって得られる情報が必要になる。今回我々は国内の VLBI アレイである VERA を用いて OH231.8+4.2 に存在する水メーザーを観測し、その年周視差が $\pi=0.61\pm 0.03$ ミリ秒角、距離は $D=1.65\pm 0.08\text{kpc}$ であると求めた。また、観測で得られた水メーザーの固有運動から、OH231.8+4.2 の系の固有運動として $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(4.84\pm 0.28, 1.09\pm 0.45)\text{mas yr}^{-1}$ が得られた。水メーザーの広がりには 170au 以内であり、水メーザー間の相対運動の分析によって得られた水メーザーの内部固有運動は約 15km s^{-1} の速度で中心から外へ広がるような動きを示した。メーザーの広がりや相対的な速さは一般的なミラ型変光星と同程度である。メーザーの運動は中心星を頂点として南北に向き合った円錐の表面に沿った双極的な運動をするモデルで再現できた。このため、速度と広がりには大きな違いがあるものの、この水メーザーの運動は大規模なアウトフローの根元付近をとらえ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](#)

【P1. 星・惑星形成】

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [E会場]

P101a	13:30	The Stellar Spectroscopic Variabilities Investigated with the AKARI Near-infrared Catalogs of the Large Magellanic Cloud	Jin Zhang (The University of Tokyo)
P102c		Subaru/COMICS observations of V2492 Cyg	Takuya Fujiyoshi (Subaru Telescope)
P103a	13:42	First Near-Infrared Imaging Polarimetry of Young Stellar Objects in the Circinus Molecular Cloud	Jungmi Kwon (ISAS/JAXA)
P104b	13:54	銀河面における T タウリ型星の広域探査	大朝由美子 (埼玉大学)
P105b	13:54	近赤外観測から探るへび座分子雲における超低質量天体形成	小田達功 (埼玉大学)
P106b	13:54	高銀緯分子雲における星形成の分光探査観測 (2)	平塚雄一郎 (埼玉大学)
P107b	14:06	「あかり」近・中間赤外線スリットレス分光アーカイブの作成: 4. 中間赤外線 (波長 5–13 μm) スペクトルの公開に向けて	山岸光義 (宇宙航空研究開発機構)
P108c		High Resolution ALMA Images of Young Stellar Objects in Lupus from the SOLA Project	Masao Saito (NAOJ)
P109b	14:06	太陽系類似天体 IRAS16293-2422B でのビニルシアナイドの検出	ALMA FITS archive の利用成果 (1) 大石雅寿 (国立天文台)
P110b	14:06	大質量星形成領域 NGC6334I におけるメチルアミンの検出	ALMA FITS archive の利用成果 (2) 大石雅寿 (国立天文台)
P111a	14:18	低質量原始星形成領域における硫黄関連分子のサーベイ観測	大屋瑤子 (東京大学)
P112a	14:30	星形成領域 L1527 における H_2CO の重水素化物の ALMA 観測	吉田健人 (東京大学/理化学研究所)
P113a	14:42	ペルセウス座分子雲での重水素濃縮度のサーベイ	今井宗明 (東京大学)
P114a	14:54	Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 の円盤形成領域における化学的構造	大小田結貴 (東京大学)
P115a	15:06	星形成領域における窒素同位体分別過程	古家健次 (筑波大学)
P116a	15:18	超伝導カロリメータを用いた低温下の星間分子計測実験 (1)	山田真也 (首都大学東京)

3月16日(金) 午前(9:30-11:18) [E会場]

P117a	09:30	ALMA reveals a hub of filamentary molecular clouds in Sgr B2(N) II	樋口あや (理化学研究所)
P118a	09:42	Orion KL 電波源 I における高励起一酸化ケイ素分子・水分子輝線の放射機構と物理的環境	廣田朋也 (国立天文台)
P119a	09:54	野辺山 45 m 電波望遠鏡による 108 GHz メタノールメーザーのサーベイ	小林かおり (富山大学)
P120a	10:06	Long cyanopolyynes at the G28.28-0.36 hot core	Kotomi Taniguchi (SOKENDAI/NRO)
P121a	10:18	Protostellar Outflows in the Perseus Molecular Clouds	Yichen Zhang (RIKEN)
P122a	10:30	Class 0 天体 MMS5 から駆動するアウトフローとジェットとの軸のずれ	松下祐子 (九州大学)
P123b	10:42	KaVA による 44 GHz 帯メタノールメーザーの VLBI イメージングサーベイ	杉山孝一郎 (国立天文台)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P124b	10:42	Dynamics of jets/outflows from high-mass young stellar objects revealed by KaVA and ALMA observations Jungha Kim (SOKENDAI/NAOJ)
P125b	10:42	星形成レガシープロジェクト III W40 と Serpens South 領域の C ¹⁸ O 分子輝線観測 下井倉ともみ (東京学芸大学)
P126b	10:54	星形成初期段階での円盤風によるリング構造の形成条件 高橋実道 (工学院大学/国立天文台)
P127b	10:54	分子雲コアの角運動量の起源について (その1) 三杉佳明 (名古屋大学)
P128b	10:54	2次元輻射流体計算による低金属度大質量星形成 福島肇 (京都大学)
P129b	11:06	光電離・光解離による分子雲の破壊と星形成効率 猪口睦子 (京都大学)

3月16日(金) 午後(13:30-15:06) [E会場]

P130a	13:30	BISTRO Project Status (3) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
P131a	13:42	Understanding the properties of filaments observed in the interstellar medium Doris Arzoumanian (Nagoya University)
P132a	13:54	グロビュールの砂時計型磁場構造の探査 神鳥亮 (アストロバイオロジーセンター)
P133a	14:06	分子雲形成時に駆動される磁気乱流の性質 岩崎一成 (大阪大学)
P134a	14:18	Development of a Full Multigrid Gravity Solver for Athena++ 富田賢吾 (大阪大学)
P135a	14:30	原始星近傍の降着流の円盤初期磁場依存性に関する磁気流体シミュレーション 高棹真介 (名古屋大学)
P136a	14:42	星・原始惑星系円盤形成の解析的モデルの構築に向けて: 磁気制動のモデル化 高橋実道 (工学院大学/国立天文台)
P137a	14:54	大質量星形成における複合フィードバックとその金属量依存性 田中圭 (フロリダ大学)

3月17日(土) 午前(9:30-10:56) [E会場]

P138a	09:30	星団を形成するクランプの統計的研究 下井倉ともみ (東京学芸大学)
P139a	09:42	星団を形成するクランプの回転を伴う収縮運動 土橋一仁 (東京学芸大学)
P140a	09:54	星形成レガシープロジェクト I 高感度 CO(1-0) サーベイ観測によるオリオン座 A 分子雲の分子流探査 田辺義浩 (茨城大学)
P141a	10:06	星形成レガシープロジェクト II FIR3/4/5 領域でのアウトフローと高密度ガスの相互作用 小山田朱里 (日本女子大学)
P142a	10:18	Spatially resolved study of the CO selective dissociation in the Oph-A region 山岸光義 (宇宙航空研究開発機構)
P143a	10:30	ALMA ACA 7m observations toward two Orion cores very close to the onset of star formation 立松健一 (国立天文台)
P144a	10:42	W3 GMC の NH ₃ 観測と YSOs の分布による星形成史の研究 飯田美幸 (筑波大学)

P101a The Stellar Spectroscopic Variabilities Investigated with the AKARI Near-infrared Catalogs of the Large Magellanic Cloud

Jin Zhang, Takashi Onaka, Itsuki Sakon (The University of Tokyo), Fumihiko Usui (Kobe University), Takashi Shimonishi, Yoshifusa Ita (Tohoku University)

Since the Large Magellanic Cloud is one of the nearest star-forming galaxies ($d \sim 50$ kpc), we are able to observe individual stars in it. Based on the Large-area Survey of the LMC with the Infrared Camera on board AKARI in Phase 1&2, a point source catalog (Ita et al. 2008; Kato et al. 2012) and a near-infrared spectroscopic catalog (Shimonishi et al. 2013) have been released to the public. We performed the data reduction of the AKARI Phase 3 near-infrared spectroscopy (2 - 5.5 μm with prism) of the LMC, which covers almost the same area as in Phase 1&2 (~ 10 deg²). A new spectroscopic catalog that includes ~ 350 contamination free (~ 200 new) sources and ~ 1200 not heavily contaminated (~ 700 new) sources has been created.

We compare the N3 fluxes calculated from long exposures and short exposures to investigate the saturation. For checking the reliability of the new catalog, the spectroscopic fluxes and the photometric fluxes are compared. 10 YSOs are found with the Phase 3 spectra. 7 of them have been observed with the prism spectroscopy in Phase 1&2. More than 20 carbon stars are selected by matching the spectroscopic catalogs. The time intervals between Phase 1&2 observations and the corresponding Phase 3 ones are more than 200 days, which allow to investigate the spectroscopic variabilities of YSOs and carbon stars. We will report the details of the current version of the Phase 3 spectroscopic catalog as well as some of the results so far obtained.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102c Subaru/COMICS observations of V2492 Cyg

Takuya Fujiyoshi (Subaru Telescope), Christopher M. Wright (UNSW Canberra, Australia), and Toby J. T. Moore (Liverpool John Moores Univ., UK)

We present low-resolution ($R \sim 250$) N -band ($8\text{--}13 \mu\text{m}$) spectroscopic observations of the highly variable young star V2492 Cyg conducted at two epochs; one during a relatively quiescent phase and the other, by comparison, in a more active period. All measurements were made using the facility mid-infrared imaging spectrometer COMICS at the Cassegrain focus of the 8.2-m Subaru Telescope on Maunakea, Hawaii. In this poster presentation, we report the preliminary results and describe our initial efforts to assess the properties of dust grains in the circumstellar environment of this (literally) absorbing object.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a **First Near-Infrared Imaging Polarimetry of Young Stellar Objects in the Circinus Molecular Cloud**

Jungmi Kwon, Takao Nakagawa (ISAS/JAXA), Motohide Tamura (UTokyo/ABC/NAOJ), James H. Hough (University of Hertfordshire), Minho Choi (KASI), Ryo Kandori (UTokyo), Tetsuya Nagata (Kyoto University), and Miju Kang (KASI)

Magnetic fields have been thought to play important roles in various stages of star formation. However, the precise role of the magnetic field is still poorly understood and observational evidence for its shape and structure has been limited in star forming regions. Infrared polarimetric observations are crucial for studying the physical processes in the interstellar medium and tracing the magnetic fields in dense star forming regions and circumstellar matter. In this presentation, we present the results of near-infrared linear imaging polarimetry in the J , H , and K_s bands of the low-mass star cluster-forming region in the Circinus Molecular Cloud Complex. While most of the near-infrared polarizations of point-like sources are well aligned and can be explained by dichroic polarization produced by aligned interstellar dust grains in the cloud, 123 highly polarized sources have also been identified. The projected direction on the sky of the magnetic field in the Cir-MMS region is indicated by the mean polarization position angles (70°) of the point-like sources in the observed region, and the magnetic field direction is compared with orientations of the outflow associated with IRAS sources. We also show prominent polarization nebulosities over the Cir-MMS region for the first time.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104b 銀河面における T タウリ型星の広域探査

大朝由美子, 木内穂貴, 平塚雄一郎 (埼玉大学), 中村一貴 (埼玉大学/茨城県稲敷郡阿見町立朝日中学校), 伊藤洋一, 本田敏志 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台)

星は銀河面の円盤部に近く、密度の高い分子雲で主に形成されると考えられている。一方、分子雲の付随しない、またはガス・ダスト密度が低い領域において、若い T タウリ型星 (TTS) の探査は不十分であり、低密度領域における星形成の理解は進んでいない。そこで我々は銀河面付近及び高銀緯の低密度分子雲領域において、 $H\alpha$ 輝線、赤外超過などの特徴を示す TTS の無バイアスな探査を行い、どのように星形成が起きているのか、また分子雲密度等の異なる環境における星形成の相違を探っている。

本研究では銀河面における TTS と分子雲との空間分布や関係を調べるために、野辺山 45m 電波望遠鏡と FOREST を用いた銀河面レガシープロジェクト (FUGIN) の観測領域内の天体を対象とした。可視 r', i' , $H\alpha$ による銀河面測光探査観測 (IPHAS)、及び、全天近・中間赤外探査観測 (2MASS, WISE) のアーカイブデータの測光値を用いて、IPHAS の 2 色図と 2MASS, WISE の 2 色図をもとに、 $H\alpha$ 輝線かつ赤外超過を持つと期待される TTS 候補天体を選別した。この中には、輝線星や変光星と同定されているが、スペクトル型が不明な天体も含まれる。これらの TTS 候補天体に対し、 $H\alpha$ 輝線等価幅測定とスペクトル型の決定を目的として、兵庫県立大学なゆた 2.0m 望遠鏡を用いた可視分光観測を行った。結果、 $H\alpha$ 輝線が確認された天体に対してスペクトル型を求め、HR 図と低質量星の理論進化モデルから質量等を推定した。

本講演では、TTS の選別手法や分光観測から求めた温度と多波長測光観測による SED から求めた温度の比較、赤外超過・X 線放射の有無、距離の推定、分子ガスとの関係など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](#)

P105b 近赤外観測から探るへび座分子雲における超低質量天体形成

小田達功, 大朝由美子 (埼玉大学), 佐藤太基 (埼玉大学/久喜北陽高校)

褐色矮星・惑星質量天体などの超低質量天体は、非常に暗いため観測例が少なく (e.g. Oasa et al. 1999)、その普遍性や形成進化過程など未解明の部分が多い。本研究室では、低温で分子雲に埋もれた超低質量天体の探査を行うため、すばる 8.2m 望遠鏡/MOIRCS や、UKIRT3.8m 望遠鏡/WFCAM 等を用いて、近傍の星形成領域の近赤外 (JHK) 測光観測及び、可視・近赤外分光観測を行ってきた。

本研究では、銀河面付近に位置する中質量星形成領域 (~436pc) であるへび座分子雲を対象とした。へび座分子雲は大きく3つの領域 (A, B, South) に分けられ、電波観測等により、分子雲の様子や Class0 等の非常に若い天体の存在が判明している。A, B 領域は南北に隣接していて、South は更に約 2 °南に位置する。分子雲密度は、A と South が高く、B が少し低い。Herschel の遠赤外データから求められたダストの温度は全ての領域で違いが見られなかった (10~15K)。また、B 領域は分子雲密度は高くないが、CO ガス/ダストの密度が共に高い領域と、ガスもしくはダスト密度は高いがダストもしくはガス密度は低い領域を含んでいる。

解析の結果、全領域で超低質量天体候補が同定され、その質量関数から質量が軽い天体ほど多く存在することが分かった。一方、遠赤外から見積もられたダスト密度に着目すると、ダスト密度によって、質量関数の形に違いが見られた。ダスト密度が高い領域では、低質量星から惑星質量天体に向けて単調増加するが、ダスト密度が小さい領域では、惑星質量天体から急激に増加する。本講演では超低質量天体の空間分布と分子雲のガス・ダスト密度との関係や質量関数をもとに A 領域と B 領域、South 領域及び低分子雲密度領域や他の星形成領域で比較を行い、へび座分子雲全体における超低質量天体形成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](#)

P106b 高銀緯分子雲における星形成の分光探査観測 (2)

平塚雄一郎、大朝由美子、木内穂貴(埼玉大学)、伊藤洋一(兵庫県立大学)、中岡竜也、川端美穂(広島大学)、高木悠平(国立天文台)、山本宏昭(名古屋大学)

星形成の多くは銀河円盤付近の高密度分子雲で起こると考えられているが、低密度環境下での星形成活動はまだ理解が乏しい。そこで、我々は低密度分子雲である高銀緯分子雲に対し、低質量星や褐色矮星などの形成が起こっているかどうか、そしてどのような特徴を持つかを調べる観測的研究を進めている。本研究では $H\alpha$ 輝線による T タウリ型星 (TTS) 探査を目的として、2006~15 年にハワイ大学の 2.2m 望遠鏡を用いたスリットレス可視分光観測を行った。また一部の TTS 候補天体は 2016~17 年に広島大学かなた 1.5m 望遠鏡及び、兵庫県立大学なゆた 2.0m 望遠鏡を用いて可視分光観測を行った。観測対象は Magnani et al.(1985) で同定された高銀緯の分子雲等の計 2.2 平方度である。これまでに、6 つの高銀緯分子雲 (~2.0 平方度) から、それぞれの分子雲で ~5 % の星形成が起きていることが示唆された(大朝ら 2015 年秋季年会、平塚ら 2016 年秋季、2017 年春季、秋季年会)。

本講演では、これまで報告した分子雲も含め MBM01、02、03、32、53、54、55、106 と追分光観測を行なった TTS 候補天体について解析を進めた結果を報告する。スペクトルから $H\alpha$ 輝線の有無とスペクトル型を決定し、TTS 候補天体を複数同定した。これらの TTS 候補天体について、多波長測光観測のアーカイブデータを用いて、SED を作成し、スペクトル型と SED から求めた有効温度の比較や UV、IR 超過の有無を調べることに加え、求めた有効温度と J バンド等級から距離の推定を行った。また、HR 図と進化トラックから質量と年齢の算出を行い、分子雲の電波 CO 強度図と TTS 候補天体の空間分布を比較・考察した。結果、上記の高銀緯分子雲での星形成率や TTS の形成過程に加え、各分子雲の TTS の円盤保有率、UV/IR 超過率について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P107b 「あかり」近・中間赤外線スリットレス分光アーカイブの作成: 4. 中間赤外線 (波長 5–13 μm) スペクトルの公開に向けて

山岸光義, 水木敏幸, 山村一誠 (ISAS/JAXA), 白井文彦 (神戸大), 尾中敬 (東京大), 「あかり」チーム

現在、「あかりデータ処理・解析チーム」は、「あかり」の残した貴重なデータを天文学研究に有効に活用するため、“Science Ready” なデータを公開するべく、データ処理・解析・アーカイブ活動を進めている。その活動の一環として、我々は近・中間赤外線スリットレス分光カタログの作成を行っている。「あかり」スリットレス分光では、観測視野 ($10' \times 10'$) 全体に対して、一度に光を分散させることによって、多数の点源天体からのスペクトルを取得することができる。しかしスリットレス分光は、その光の分散方法のため、近隣天体とのスペクトルの重なりが避けられない。そのため、重なりの有無を判断し、信頼できるスペクトルのみを抽出する必要がある。

前回の年会では、波長 9 μm の参照イメージから作成した点源カタログをもとに、スペクトルの重なりを判定し、実際に中間赤外線スペクトル (波長 5–13 μm) が抽出出来ることを示した。しかしこの段階では、中間赤外線帯をカバーする2つのスペクトル間には段差が見られ、フラックス絶対精度も $\sim 15\%$ であった。そこで我々は、フラックス絶対精度の改善を行った。まず最新ツールキットを用いて分光標準星の再解析を行ない、spectral response curve と aperture correction factor を再導出した。次に、分散後の明るさのプロファイルを用いて、もれなくフラックスが取得できるようにした上で、2つのスペクトルを結合した。さらに、スペクトルから得られる波長 9 μm の明るさと、参照イメージから得られる波長 9 μm の明るさが一致するよう補正も行なった。これらの検証の結果、フラックス較正が改善した約 900 本のスペクトルを得た。較正精度は、明るい天体 (>10 mJy) で $\sim 6\%$ である。この分光カタログは、現在「あかり」チームメンバーにより検証中であり、準備が整い次第一般に公開する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108c **High Resolution ALMA Images of Young Stellar Objects in Lupus from the SOLA Project**

Masao Saito, Kazuya Saigo (NAOJ), Itziar de Gregorio-Monsalvo (JAO), Adele Plunkett (ESO), Koraljka Muzic (U. Lisbon), Rebekka Grellmann (U. Koeln), Satoko Takahashi, Antonio Hales, Christian Lopez (JAO) and the team SOLA

We carried out a study with ALMA to investigate YSO properties at the Class 0/I/F stage in Lupus I, III, IV, and VI at a spatial resolution of 20 - 30 au ($\sim 0.15''$) at band 7 (0.8 mm). We reported discovery of two young binary candidates in Lupus III and VI in the 2017 Fall ASJ Annual Meeting (P116b). In this report, we present imaging results of other interesting objects. Among 7 detected sources, an unresolved continuum emission was detected toward Class 0/I source IRAS 15398-3359 and a compact emission toward Class 0 Lupus III MMS clearly resolved perpendicular to the CO outflow. In addition, J160115-415235 shows a complex spatial distribution in continuum and the emission distribution appears to show two arm or spiral structure similar to those identified in L1551 NE or Elias 2-27, but its size of 100 au is smaller than those of L1551 NE or Elias 2-27. Finally we detected CO emission with a double peak toward some of our sample in Lupus presumably suggestive of either a molecular outflow or a rotating disk.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109b 太陽系類似天体 IRAS16293-2422B でのビニルシアナイドの検出 ALMA FITS archive の利用成果 (1)

大石雅寿, 廣田朋也 (国立天文台), 高宮日南子, 駒木彩乃 (東京大学)

地球生命の発生に必要であった有機物質が星間分子雲起源であるとの考え方 (exogenous delivery) がある。星間分子雲の有機物質が星惑星の形成過程の中で彗星や隕石に取り込まれ、大量に原始惑星に落ち、その一部がさらに化学進化して生命の発生に必要な複雑な機能を獲得するに至ったとする考え方である。ROSETTA ミッションの結果からも、彗星で見つかった有機物質が星間分子雲起源であるとの示唆が得られている。従って星惑星形成領域でどのような有機物質まで生成されているのかを観測的に明らかにすることにより、地球のみならず数多く見つかри始めたスーパーアースにおける生命存在可能性の議論が広く可能となる。

私達は、ALMA FITS archive にある公開データを活用し、太陽系類似天体の一つである IRAS16293-2422 においてどのような有機物質が存在するかを調べてみた。データは、PILS サーベイ (Joegensen et al., 2016) によって得られたものであり、空間分解能は 0.5 秒、速度分解能は 0.2 km/s、周波数範囲は 329-363 GHz である。私達は、二重星である IRAS16293-2422 のうち B の天体で複雑な有機分子の一つであるビニルシアナイド (CH_2CHCN) を初めて見出すことができた。得られたビニルシアナイドの本数は 10 本である。IRAS16293-2422B には回転ディスクが存在することが知られているが、得られたビニルシアナイドのスペクトルの P-V diagram を作ってみると、知られているディスクの運動と矛盾しない回転パターンを示すことが分かった。ビニルシアナイドの励起温度と柱密度は、それぞれ、約 150 K、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ と求められた。

発表では、ビニルシアナイドの生命素材物質としての意義も含めて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110b 大質量星形成領域NGC6334Iにおけるメチルアミンの検出 ALMA FITS archive
の利用成果 (2)

大石雅寿, 廣田朋也 (国立天文台), 駒木彩乃, 高宮日南子 (東京大学)

地球型の生命は、多数のアミノ酸がペプチド結合したタンパク質によって体を構成するだけではなく酵素という形で様々な生体反応を行っている。このため、アミノ酸が星間分子雲に見つかれば、彗星や隕石に取り込まれたアミノ酸などの生命素材物質が惑星に落下後に生命発生に非常に重要な役割を果たしたとの推測ができ、現在多く見つけてきたスーパーアースにおける生命存在可能性の議論も可能となる。

そこで私達は、ALMA FITS archiveにある公開データを活用し、これまでも多くの有機物質が報告されている大質量星形成領域であるNGC6334Iにおいてアミノ酸前駆体であるメチルアミン (CH_3NH_2) が存在するかを調べてみた。私達は以前にこの天体でのメチルアミンの存在を報告したが、信号が弱かったために確実にその存在を示すことはできていなかった。ALMA FITS archiveで観測データが利用できた279-348 GHzの周波数範囲を丹念に調べた結果、メチルアミンを8本見出すことができた。moment0マップを作ってみたところ、1-3と非常にコンパクトな分布をしている SO_2 と異なりメチルアミンは6近くまで広がっていることが分かった。また、メチルアミンの励起温度と柱密度は、それぞれ、約255 K、約 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ と求められた。

発表では、これら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](#)

P111a 低質量原始星形成領域における硫黄関連分子のサーベイ観測

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)

星形成過程の研究において、原始星コアから原始星円盤への進化に伴う化学進化の理解は重要なトピックの一つであり、太陽系の物質的起源を探る上でも不可欠である。我々はこの問題に取り組むべく、ALMA を用いて若い (Class 0-I) 低質量原始星における化学組成を詳細に調べてきた。その中で、へびつかい座にある Class 0 低質量原始星 IRAS 16293–2422 Source A において、回転・落下エンベロープとその内側の回転円盤が、OCS と H_2CS の輝線によってそれぞれ捉えられることが明らかになった。すなわち、エンベロープと円盤の境界 (原始星から 50 au の距離) を挟んで、硫黄を含む分子の分布が劇的に変化していることがわかった。一方、同じような進化段階にある低質量星天体 L1527 では、これらの輝線は非常に弱いことがわかっている。

こうしたエンベロープと円盤の境界における化学組成の変化とその多様性は、円盤形成における化学的な初期条件を決める重要な現象である。しかしながら、硫黄関連分子の観測は多くの星形成領域では系統的に実施されていない。そこで我々は、上記の特徴的な分子について、NRO 45 m (3 mm 帯), IRAM 30 m (1.3 mm 帯) を用いて 12 の原始星天体でのサーベイ観測を実施した。その結果、幾つかの天体で OCS と H_2CS の輝線が検出された。 C^{34}S の輝線強度と比較して、 H_2CS はべき乗則に従う相関を示すのに対し、OCS の強度は天体によって大きく異なることがわかった。さらに、OCS が強く検出された天体 (e.g., SMM1, IRAS 4A) は IRAS 16293–2422 とよく似た化学的特徴を示す (飽和有機分子に富む) のに対し、一方 OCS が弱い天体 (e.g., TMC-1A) は L1527 とよく似た (不飽和炭素鎖分子に富む) 天体であった。このことは、星形成領域における硫黄化学の多様性を示し、炭素化学との関連も含めて、円盤形成に伴う物質進化を探る上で興味を持たれる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P112a 星形成領域 L1527 における H_2CO の重水素化物の ALMA 観測

吉田 健人 (東大/理研)、坂井 南美 (理研)、渡邊 祥正 (筑波大)、山本 智 (東大)

低温の分子雲では分子に重水素が濃縮する現象が知られている (重水素濃縮)。重水素濃縮は低温の星なしコア時代において効率よく進行し、星形成直前にかけて最も高くなる。その中でも特に、星なしコア時代にダスト上で CO に水素が付加することにより作られた飽和有機分子は、星形成が起こって温度が上昇すると気相中に蒸発し、高い重水素濃縮度を示す。この現象は特に Hot Corino 天体で報告されてきたが、WCCC 天体で同様の現象が見られるかどうか興味を持たれる。

われわれは 2016 年秋季年会 (P118a) において、おうし座にある Class 0 原始星 L1527 に対する ALMA 12 m array を用いた H_2CO とその重水素化物 (D_2CO) の観測結果を報告した。 H_2CO と D_2CO の分布を比較したところ、 H_2CO は原始星近傍 500 au 程度の回転しながら落下するエンベロープに存在している一方で、 D_2CO は H_2CO に見られるような高速度成分はなく、かわりにその外側 1000 au 程度の領域に分布しており、温度の低い外側のエンベロープの気相中に D_2CO が偏在していることがわかった。しかしながら、この解析で用いた ALMA データは H_2CO のほうが D_2CO より空間分解能が高く、 H_2CO の広がった成分を落としている可能性があった。そこで ALMA Cycle 4 の ACA array による観測で空間周波数の低い成分を比較したところ、やはり温度の低い外側のエンベロープでは重水素濃縮度が高いことがわかった。また、ACA 観測から求めた $\text{D}_2\text{CO}/\text{HDCO}$ 比は $\text{HDCO}/\text{H}_2\text{CO}$ 比と同程度か低いことがわかった。単一望遠鏡の観測では $\text{D}_2\text{CO}/\text{HDCO}$ 比が $\text{HDCO}/\text{H}_2\text{CO}$ 比より高いという結果が得られていたが、これは原始星近傍でダストから H_2CO が効率的に蒸発することによって、見かけ上 $\text{HDCO}/\text{H}_2\text{CO}$ 比が下がっ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](#)

P113a ペルセウス座分子雲での重水素濃縮度のサーベイ

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)

重水素濃縮は星形成に伴う物理・化学進化を調べる重要な指標の一つである。重水素濃縮とは、重水素の主なキャリアである HD に対し分子中の重水素化物比が高くなる現象であり、重水素濃縮度と温度や密度などの物理状態との関係はこれまでもよく研究されている。その中で我々は、一つの分子雲複合体の中で多数の低質量原始星天体の重水素濃縮度を測定し、重水素濃縮度が天体の進化に対してどのように変化するかを調べた。

本研究では、野辺山 45 m 望遠鏡と IRAM 30 m 望遠鏡を用いて、ペルセウス座分子雲の Class 0/I 段階の低質量原始星 34 天体に対して DNC($J=1-0$, $J=3-2$) と HN^{13}C ($J=1-0$, $J=3-2$) の輝線を観測し、各天体で HNC の重水素濃縮度を見積もった。その結果、重水素濃縮度は原始星の進化段階を表す指標の一つである bolometric temperature (T_{bol}) と負の相関を示すことがわかった。これは、重水素濃縮度が原始星の進化に伴って減少していることを示唆する。 T_{bol} に対して重水素濃縮度が減少する結果はイオン分子 N_2H^+ でも報告されている (Friesen et al. 2013) が、中性分子ではイオン分子に比べて分子が破壊されるタイムスケールが長いため、DNC/HNC 比では緩やかな変化が観測された。また、重水素濃縮度を Hot Corino/WCCC の指標である $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CCH}$ 比と比較したところ、明瞭な相関は確認されなかった。Hot Corino/WCCC のような化学組成の多様性は、星なしコア段階に形成され、原始星誕生後も保存されるのに対し、重水素濃縮度はむしろ原始星誕生後の過程を主に反映しているためと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P114a Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 の円盤形成領域における化学的構造

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 Lupus 1 cloud ($d = 155$ pc) に位置する。私たちは、ALMA Cycle 2 の観測データ (分解能 $0.3''$) を用いて、原始星付近に集中して存在する SO 輝線の速度構造を調べた。その結果、この輝線が高速度成分を持ち、ケプラー回転によく似た運動を示すことがわかった。このことは、原始星周りにすでに円盤構造が形成されている可能性を示唆する。さらに、CCH 輝線の速度構造の解析から、原始星周りでの回転落下運動の様子を捉えた (2017 年秋季年会)。

今回、ALMA Cycle 2 に加え、Cycle 3 (分解能 $0.5''$) の観測データを解析し、円盤/エンベロープにおける化学構造について調べた。CCH, CS, SO, CH_3OH の 4 つの分子について円盤の伸びる方向に沿った積分強度の分布を調べた。その結果、CCH のはっきりとしたダブルピークが確認された。CS は CCH と同じ位置でピークを示すが、CCH とは違って原始星付近にも見られた。また CS の強度分布には明らかな非対称性が見られ、円盤の南東部分の方が北西部分に比べて 2.2 倍強いピークを持つ。一方で、SO と CH_3OH は原始星の位置に集中したシングルピークを示した。このピークは、CCH のダブルピークの間位置する。このことから、円盤/エンベロープ構造において、化学組成による分布の違いがあるといえる。一方、原始星近辺において HCOOCH_3 , CH_3CHO は検出されなかった。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 天体であることが知られている。これらの分子は IRAS 16293-2422 のようなホットコリノ天体に多く存在するが、WCCC 天体では一般に少ない。今回の結果は、約 50 au のスケールで見てもやはり WCCC 天体であり、ホットコリノ天体の特徴を持た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](#)

P115a 星形成領域における窒素同位体分別過程

古家健次（筑波大学），相川祐理（東京大学）

彗星氷などの太陽系形成初期の情報を保持すると考えられる物質（太陽系始原物質）は重水素に富むことが知られている。重水素濃縮には極低温環境が必要なため、太陽系始原物質は太陽系の母体となった分子雲で生成された物質を現在に至るまで保持しているのではないかと議論されている。実際に、星形成領域において重水素に富んだ分子は普遍的に観測されている。重水素に加え、太陽系始原物質は重窒素 (^{15}N) にも富んでいる。例えば彗星氷中の NH_3 や HCN は、元素存在度に比べ数倍程度 ^{15}N に富んでいる。一方で近年の分子雲コアの観測から、分子雲コア中の気相分子 (N_2H^+ , NH_3 , HCN など) には顕著な ^{15}N 濃縮は見られず、むしろ ^{15}N に希釈した傾向を持つことが分かってきた。これは一見太陽系始原物質の分子雲起源説と矛盾するように見えるが、必ずしもそうではない。気相分子と氷分子が同じ同位体組成を持つとは限らないためである。

以上の観測事実から、星（惑星）形成領域において窒素同位体分別が起こることは明らかであるが、その機構についてはよく分かっていない。(1) 同位体交換反応、(2) N_2 の同位体選択的光解離の2つが提案されているが、いずれも分子雲コアの観測結果を説明することは難しいと考えられてきた。我々は分子雲形成モデルにおいて ^{15}N を含む化学反応ネットワークモデルの数値計算を行った。本講演では、 N_2 の同位体選択的光解離とダスト表面反応により分子雲の段階で気相と固相間で窒素同位体が分別され、気相は ^{15}N に希釈し、固相（氷）は ^{15}N に富むことを示す。一度気相と固相間で窒素同位体が分別されると、この状態は氷の昇華が起こるまで保持されるため、分子雲コア気相分子の ^{15}N の希釈、および惑星系の材料となりうる固体物質は ^{15}N に富むことが説明できる。また我々のモデルの観測的検証法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](#)

P116a 超伝導カロリメータを用いた低温下の星間分子計測実験 (1)

山田真也 (首都大), 岡田信二, 東俊行, 久間晋, 中野俊男 (理研), 中野祐司 (立教), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, J. Hays-Wehle, G. Hilton, G.C. O'Neil, C.D. Reintsema, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 橋本直 (原研), 早川亮大, 一戸悠人, 石崎欣尚, 竜野秀行 (首都大), 野田博文 (東北大), 上田周太郎 (ISAS/JAXA)

本研究は、近年高分解能 X 線検出器として注目を集めている超伝導遷移端マイクロカロリメータ (TES) を、低エネルギー中性粒子のエネルギー測定に応用し、宇宙の化学進化モデルに定量的な制限を与えることを目的とする。従来の原子分子衝突実験の中性分子の検出においては、エネルギー分解能の低いセンサーが使用されてきたが、TES を用いることで精密なエネルギー測定が可能になる。本実験は、我々が2012年より K 中間子原子 X 線を TES で精密分光し、ストレンジネスを含む中性子星の状態方程式の研究のため進めてきたプロジェクト (HEATES) から生まれた新しい挑戦的な研究である。理研で開発された低温静電型イオン蓄積リング RICE に、最先端の多素子 TES システムを導入し、低温での低エネルギー衝突実験を実現することができる。具体的な実験目標は、星間分子を特徴付ける直線炭素鎖分子の生成・崩壊ダイナミクスを、低温で振動回転準位を制御した蓄積イオンと中性ビームの合流衝突実験により系統的に明らかにする事である。

TES 分子検出応用に向けた技術的な最大懸念事項は、通常は X 線入射窓ありで動作させるセンサーであるが、分子を通すために窓を取り去り、それにより悪影響を及ぼす磁場、熱輻射、電磁ノイズを抑えることであった。我々はこの困難をシールド方法や窓材の工夫により解決する事に成功し、粒子信号の初検出にも成功した。これにより、実験的な大きな障壁は解消され、来年度以降の本格的な合流衝突実験に向けて準備を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117a ALMA reveals a hub of filamentary molecular clouds in Sgr B2(N) II

Aya Higuchi (RIKEN), Atsushi Nishimura (Nagoya University), Tetsuo Hasegawa, Kazuya Saigo, Patricio Sanhueza (NAOJ), James Chibueze (University of Nigeria)

High-mass young stellar objects are usually deeply embedded in their parental dense and massive molecular clumps, obscuring their early formative stages. Their formation timescales of $\sim 10^5$ yr are short, and they form in distant clusters and associations. All these factors limit our understanding of their formation processes. High angular resolution observations are indispensable in the efforts to unveil the mystery of high-mass star formation. ALMA provides the high sensitivity, angular resolution, and dynamic range to improve our understanding of the formation processes of high-mass stars and their parental clumps.

We present the results of $C^{18}O(J=1-0)$ line observations of Sgr B2(N) made with ALMA at an angular resolution of $\sim 2''$. From our analysis, 10 filaments within the $C^{18}O$ emission are identified and that 50% of flux in the $16''$ beam of the Nobeyama 45-m telescope is reproduced. A hub of ~ 10 filaments centered at the massive-star forming hot core at K2. Filaments have the typical 0.1 pc diameter, but with relatively large line mass of $\sim 10^2 M_{\odot}/\text{pc}$. SE-NW filaments may be a result of interaction with the massive bipolar outflow. The other filaments may have formed in a sheet with large velocity shear at the cloud collision interface. The total filament mass ($\sim 10^3 M_{\odot}$) is small compared with that of the core ($> 10^4 M_{\odot}$). We will discuss the physical condition of high-mass star formation in Sgr B2(N) based on the ALMA data.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118a Orion KL 電波源 I における高励起一酸化ケイ素分子・水分子輝線の放射機構と物理的環境

廣田朋也 (国立天文台)、町田正博、松下祐子 (九州大学)、元木業人 (山口大学)、松本尚子 (国立天文台/山口大学)、金美京 (韓国天文研究院/国立天文台)、Burns, Ross A. (JIVE)、本間希樹 (国立天文台)

我々は、ALMA や VERA を用いた大質量原始星候補天体「オリオン KL 電波源 I」における SiO (一酸化ケイ素)・H₂O (水) 分子輝線観測を進めている。最新の ALMA band 8 の観測では、星周円盤から噴き出す低速アウトフローの回転が検出され、磁気遠心力風による駆動の証拠が得られている (廣田他、2017 年春季年会 P147a)。

本研究では、ALMA で検出された SiO 分子・H₂O 分子輝線でトレースされるガスの物理状態や励起機構について議論する。SiO については、¹⁸O, ³⁰Si, ²⁹Si の同位体を含む $v=0,1,2,4$ の振動状態の輝線が検出されている。励起エネルギーが低い $v=0,1$ の遷移は、トレースする領域がビームサイズ (0.1 秒角 ~40 au) よりも大きい 200 au 程度のアウトフローであること、光学的に厚い SiO ($v=0$) 輝線から得られたガス温度 (500 K) よりも低い輝度温度であることから、熱的輝線であると示唆される。一方、高励起の $v=2,4$ の遷移は 100 au より小さい星周円盤付近でのみ検出され、 $v=4$ (励起エネルギー 7000 K) の分布が最もコンパクトになっている。これらの分布は、VERA で観測された 43 GHz 帯のメーザーと同程度のサイズとなっている。輝度温度のみからは断定できないが、メーザー放射である可能性が示唆される。また、H₂O に関しては、励起エネルギーが 2400 K よりも低い遷移 (321 GHz, 474 GHz, 658 GHz) は広がったアウトフローを、2700 K より高い遷移 (232 GHz, 336 GHz, 463 GHz, 498 GHz) は星周円盤をトレースするという、SiO と同じ傾向が見られる。321 GHz, 474 GHz, 658 GHz の遷移はガス温度よりも高い (>1000 K) 輝度温度を示し、熱的輝線より細い線幅からもメーザー放射であると結論される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119a 野辺山 45 m電波望遠鏡による 108 GHz メタノールメーザーのサーベイ

福島一晃, 小林かおり, 廣田朋也 (国立天文台)

メタノールメーザーにおいて近年、遷移の分裂が観測されており、分裂の原因としてゼーマン効果が考えられている [1,2]。ゼーマン効果によって生じている場合、星間の磁場強度を得ることが可能である。磁場は星形成に密接に関連しているといわれており、磁場情報が得られれば星形成を理解する手掛かりになると期待される。メタノールのメーザー遷移の分裂から磁場を決定するためには、ゼーマン効果の実験室データを知ることが不可欠である。これまでに、実験室分光によってメタノールのゼーマン効果が 25 GHz 帯の一連の遷移について測定された [3]。しかし、任意の遷移について、ゼーマン効果による分裂を決めるためには、様々な遷移を測定して、 g -因子を決める必要がある。そこで、様々な遷移についてのメタノールのゼーマン効果の実験室測定を富山大学において行った。低い J, K 遷移の場合、メタノール転移の分割がより大きくなることが予想され、上記の実験室測定でも確認された。[4] この観点から、今後の星間空間での測定で感度の高い磁場の決定をする上で、108 GHz の遷移 J, K = (0, 0)-(1, -1)E は最も有望な遷移の 1 つである。しかしながら、これまでの観測では、この 108GHz のメタノールメーザーの観測は限られていたため、2016 年 4 月に野辺山 45m 望遠鏡を用いて、サーベイを行ったので報告する。

参考文献 [1] A. P. Sarma, 2012, Proc. IAU Symp. No. 287, 41. [2] W. H. T. Vlemmings, 2012, Proc. IAU Symp. No. 287, 31. [3] C. K. Jen, 1951, Phys. Rev. 81, 197. [4] 高木光司郎, 常川省三, 小林かおり, 廣田朋也 A, 松島房和, 日本物理学会 2015 年秋季大会 講演番号 18pBA-3.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P120a Long cyanopolyynes at the G28.28-0.36 hot core

Kotomi Taniguchi (SOKENDAI), Masao Saito (NAOJ), Yusuke Miyamoto (NRO), Tomomi Shimoikura, Kazuhito Dobashi (Tokyo Gakugei Univ.), Tomoya Hirota, Fumitaka Nakamura (NAOJ), Hiroyuki Ozeki (Toho Univ.), Tetsuhiro Minamidani, Hiroyuki Kaneko (NRO)

Long cyanopolyynes (e.g., HC₅N and HC₇N) are thought to be deficient around high-mass star-forming cores, while saturated complex organic molecules (e.g., CH₃OH and CH₃CN) to be abundant, namely hot core chemistry. We reported a possibility of the chemical differentiation among the four high-mass star-forming cores from the observations using the Green Bank 100-m telescope and the Nobeyama 45-m radio telescope (Q21a, ASJ annual meeting, 2017 autumn). G28.28-0.36, one of the target sources, shows a unique chemical feature; the significantly high HC₅N abundance without thermal CH₃OH emission line. We carried out imaging observations of cyanopolyynes (HC₃N, HC₅N, and HC₇N) and CH₃CN, as a hot core tracer, toward G28.28-0.36 with the Karl G. Jansky Very Large Array (VLA; NRAO) in the Ka-band. In contrast to the general hot core chemistry, we found that the spatial distributions of HC₅N and HC₇N are roughly consistent with those of CH₃CN and 450 μm warm dust continuum emission. These results suggest not only existence of long cyanopolyynes in the hot core but also efficient formation of cyanopolyynes therein. We discuss possible formation mechanisms of cyanopolyynes in the hot core. Discovery of a hot core associated with long cyanopolyynes indicates the chemical diversity at the hot core stage suggestive of a variety of the intrinsic chemical diversity and/or the timescale of starless core phase of massive star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P121a Protostellar Outflows in the Perseus Molecular Clouds

Yichen Zhang, Nami Sakai, Aya Higuchi (RIKEN), Ana Lez-Sepulcre (IRAM), Yoko Oya, Muneaki Imai (U. Tokyo), Takeshi Sakai (U. Electro-Comm.), Yoshimasa Watanabe (U. Tsukuba), Kento Yoshida (U. Tokyo), Bertrand Lefloch, Cecilia Ceccarelli (IPAG), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo)

We present the initial results of the ALMA band 6 chemical survey towards the protostellar sources in the Perseus Molecular Cloud. The targets are selected to be Class 0 and I sources with bolometric luminosities $L > 1 L_{\odot}$ and envelope masses $M_{\text{env}} > 1 M_{\odot}$. The survey reveals rich outflow phenomena, traced by multiple molecular tracers, including SiO, CS and CCH. Among the 34 sources we have analyzed so far (sources in the NGC 1333, L1448 and L1455 regions), we are able to identify 18 outflows, divided into four categories based on their chemical characteristics: 1) highly collimated SiO jets surrounded by narrow CS outflows; 2) highly collimated SiO jets and CS outflows significantly wider than the SiO jets; 3) extended CS outflows without SiO jet; 4) base of outflow cavities traced by CS and/or CCH. We found that the opening angle of the outflow increases with the evolution of the protostar indicated by the bolometric temperature or the luminosity to envelope mass ratio. We also found that the four categories identified above follow the evolutionary sequences, with the SiO outflow only seen in the earliest stage, while the later stage outflows only seen in CCH or CS. Besides the change of outflow morphology and chemical conditions with evolution, we will also discuss their correlations with other properties of the protostellar sources.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122a Class 0 天体 MMS5 から駆動するアウトフローとジェットの軸のずれ

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

Orion molecular cloud-3 (OMC-3 : 距離=388 pc, Kounkel et al. 2017) に存在する class 0 天体 (MMS5) から、アウトフローとジェットが駆動していることが、ALMA による CO(J = 2-1) 分子輝線と SiO(J = 5-4) 分子輝線を用いた観測結果より分かった (2017 年秋季年会, P139a)。このアウトフローとジェットは、それぞれ長さが $\sim 0.04\text{pc}$ と $\sim 0.01\text{pc}$ であり非常にコンパクトであった。このように CO と SiO の分子輝線でアウトフローとジェットが観測されている天体は、過去に 7 天体ほど見つかっているが、それらと比較しても十分にコンパクトなため、かなり若い class 0 天体であると考えられる。したがって、アウトフローとジェットが駆動した比較的初期の段階の進化を探ることが可能である。CO 分子輝線と SiO 分子輝線の積分強度図を重ねたところ、アウトフローとジェットの軸が 30 度ほどずれていることが確認された。また、 C^{18}O 分子輝線からは、円盤部分をトレースしていると考えられる結果が得られているが、この長軸の方向とアウトフローの軸の向きは直行している。これらのことから、アウトフローとジェットのそれぞれに付随する円盤の傾きが異なっていることを意味している。つまり、理論予測にあるように、アウトフローは大きいスケールのケプラー円盤から、ジェットは原始星スケールの円盤から駆動している可能性が示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123b KaVAによる44 GHz帯メタノールメーザーのVLBIイメージングサーベイ

杉山孝一郎, 廣田朋也, Jungha Kim, Mikyoung Kim (国立天文台), Kee-Tae Kim, Do-Young Byun (KASI), 元木業人 (山口大学), and KaVA SFR sub-Science WG members

KaVA (KVN and VERA Array: 日韓合同 VLBI 観測網) の星形成サブサイエンスワーキンググループでは、大質量星形成領域における 22 GHz 帯の水メーザー、および 44 GHz 帯のメタノールメーザーを対象とした、大規模な VLBI モニタープログラムを開始している (廣田朋也 他, 2016 年秋季年会 P112a)。本プログラムは、2016 年からの 4 年計画であり、各メーザーの固有運動計測、及びそれによる 3 次元速度構造の理解を通じて、大質量原始星周囲の動力学的な構造とその進化の解明を目指している。本講演では、1 年目に実施した VLBI スナップショットイメージングサーベイの内、44 GHz メタノールメーザーに対する研究進捗報告を行う。

1 年目は、観測した計 19 天体の内、16 天体で 44 GHz メタノールメーザーの VLBI 検出に成功し、内 12 天体では一番明るいメーザー成分のみ、それ以外の 4 天体では最大 4 成分で構成される空間分布の取得に成功した。また、VLBI 検出された計 16 天体に対し、個々の 44 GHz メタノールメーザースポットに対するサイズ計測も実施した。例えば、大質量原始星 G 10.32-0.26 では、2 つのガウシアンで構成されるコア/ハローモデルを用いることにより、コアサイズ 0.5 au、ハローサイズ 5.5 au が導出された。これより、それぞれの輝度温度は 3.9×10^{11} K、 5.6×10^{10} K と見積もられ、過去に導出されていた 44 GHz メタノールメーザーの輝度温度より、更に 1 桁高い値を精度良く導出することに成功した。2 年目は、今回 3 成分以上が検出された計 3 天体を対象として、一番明るいメーザー成分の位置に準拠した相対固有運動の計測を目指し、VLBI モニターを実施する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124b Dynamics of jets/outflows from high-mass young stellar objects revealed by KaVA and ALMA observations

Jungha Kim (SOKENDAI, NAOJ), Tomoya Hirota (NAOJ, SOKENDAI), Kee-Tae Kim (KASI), Koichiro Sugiyama (NAOJ), and KaVA Science Working Group for Star-forming Regions

We have started survey observations of the 22 GHz water maser sources associated with high-mass young stellar objects (HM-YSOs) as a part of the KaVA (KVN and VERA Array) large program. The aim of our large program is to understand dynamical evolution of jets/outflows from HM-YSOs by analyzing 3D velocity structures of water maser features. In the first year (2016-2017), an imaging survey toward 25 HM-YSOs has been conducted to check detectability and variability of the 22 GHz water masers. To complement physical properties in the vicinity of HM-YSOs, we have also carried out ALMA cycle 3 observations of thermal molecular lines and continuum emissions toward 11 selected samples. In this presentation, we will report summary of the KaVA first year observations and the initial results from the ALMA and KaVA data toward one of the observed HM-YSOs, G25.82-0.17. We identified a 1.3 mm dust continuum source powering the water masers with high angular resolution (0.2"-0.3"). The high velocity ($\sim 10 \text{ km s}^{-1}$) SiO $J = 5 - 4$ emission was detected indicating the presence of outflowing gas from the source. In addition, the thermal methanol line emission showed a velocity gradient within the compact core, which is possible signature of a rotating disk. In the future, we are going to investigate dynamical structures of jets/outflows and mass loss/accretion processes by combining the ALMA results with proper motions of water masers measured with the KaVA.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125b 星形成レガシープロジェクト III W40 と Serpens South 領域の $C^{18}O$ 分子輝線観測

下井倉ともみ、土橋一仁（東京学芸大学）、中村文隆（国立天文台）、ほか星形成レガシーチーム

我々は、Aquila Rift に位置する W40 と Serpens South 領域を含む約 1 度四方の領域を、 $C^{18}O$ 分子輝線を用いて調査した。観測には、野辺山 45m 鏡と FOREST 受信機を用いた。速度分解能は 0.05 km s^{-1} である。

W40 は、複数の OB 型星 ($\sim 1 \text{ Myr}$) が付随する H_{II} 領域である。その西側に隣接する Serpens South は、赤外線で見られる暗黒星雲であり、低・中質量の若い星団 ($\sim 0.5 \text{ Myr}$) が形成されている領域である。これまでの研究では、それぞれ個別の領域に限定した研究が行われており、2 つの領域の関係は明らかになっていなかった。

本観測の結果、 $C^{18}O$ 分子輝線は、 $V_{LSR} = \sim 5$ 、 ~ 7 、 $\sim 8 \text{ km s}^{-1}$ の速度成分に大別できることが分かった。これらの速度成分は観測領域の全体に渡って分布している。*Spitzer* のマップと比較することにより、各速度成分は、 H_{II} 領域近傍からその外側に向かうにつれて、低い速度成分から高い速度成分へと広がるように分布することが分かった。つまり、膨張する分子雲シェルが存在が明らかになった。Serpens South では、 N_2H^+ や CCS 等の分子輝線観測によって、星団を中心にした分子雲フィラメントが検出されている (e.g., Kirk et al. 2013, Nakamura et al. 2014)。このフィラメントは、南側から北側に向かってシフトする速度勾配をもつ。このことから、Kirk et al. (2013) は、フィラメントに沿った降着流による星団への質量供給の可能性を報告している。しかし我々の調査から、このフィラメントがもつ速度成分とその速度勾配は、膨張シェルのそれらと一致することが分かった。また、Serpens South の星団の位置は、膨張シェルの一部と良く一致することも分かった。これらのことから、Serpens South の星団形成には、W40 の膨張シェルが関係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](#)

P126b 星形成初期段階での円盤風によるリング構造の形成条件

高橋実道（工学院大学/国立天文台）、武藤恭之（工学院大学）

近年、若い原始惑星系円盤の詳細な構造の観測が進んでいる。円盤の構造形成の理解は、惑星の形成形成環境を明らかにする上で非常に重要となる。最近の観測では、WL 17 の原始惑星系円盤において半径 10au から 20au のリング構造と、その内側の穴構造が形成されていることが明らかになった (Sheehan and Eisner 2017)。円盤内の穴構造は、進化が進んだ円盤である遷移円盤の特徴だと考えられている。しかし、WL 17 は年齢が数十万年程度の若い天体だと考えられており、このような若い天体での穴構造の形成はこれまで考えられてこなかった。2017 年秋季年会では、磁場による円盤風によって若い円盤にこのリング構造及び穴構造を形成するメカニズムについて講演を行った。ここでは、円盤の形成進化についての 1 次元モデルを用いて計算を行い、モデル計算で得られたリング構造が観測された WL17 のリング構造と良く一致することが示された。

本研究では、円盤中のダストサイズ、円盤風による質量損失率、及び乱流粘性の大きさをパラメータとし、円盤にリング・穴構造が形成される条件を調べた。その結果、形成条件は円盤中のダスト落下、円盤風による面密度変化、そして乱流拡散のタイムスケールの比較から与えられることが分かった。本講演では、リング・穴構造の形成条件と、リング半径等のパラメータ依存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](#)

P127b 分子雲コアの角運動量の起源について (その1)

三杉佳明, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星は分子雲コアが重力収縮することによって生まれることがわかっているため、生まれる星が単独星か多重星になるかは分子雲コアの初期条件に依存しているはずである。(e.g., Machida et al. 2008)。その初期条件の一つである分子雲コアの角運動量はその後の星形成過程にとって重要であるが、分子雲コアが角運動量を得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によって、分子雲コアはフィラメント状の分子雲に沿って分布していることが明らかになった (e.g., André et al. 2010)。分子雲コアはこのフィラメント内のガスからできると考えられるので、分子雲コアの角運動量の起源を考える際には、フィラメント内にどのような速度場が存在しているのかが重要となる。フィラメント内の速度場については亜(遷)音速であることが観測よりわかっているが3次元的速度構造は明らかになっていない。そこで我々はまず簡単のため、速度場として乱流を考えた。分子雲コアの角運動量としては、比角運動量 j のコア半径 R への依存性があり、Tatematsu et al. (2016) では $j \propto R^{1.3}$ と報告されている。本研究ではフィラメント領域内に乱流速度場を数値的に作り、ある長さ内の領域が重力的に崩壊しコアになるとしてその領域内の角運動量を計算することで角運動量獲得機構について考察する。その結果を観測と比較することにより、乱流速度場の仮定が正しいかどうか等を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P128b 2次元輻射流体計算による低金属度大質量星形成

福島 肇, 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学), Rolf Kuiper (University of Tübingen)

大質量星は HII 領域形成や星風、超新星爆発により星間空間に多大な影響を与える。このため、大質量星の形成率や質量分布により、銀河形成・進化は大きな影響を受ける。特に、原始銀河における低金属度環境において大質量星形成がどのように起こったのかを理解することは必要不可欠である。

大質量星形成において、原始星質量の増大に伴い光度も大きくなるため、星へ降着するガスは輻射によるフィードバックを受ける。この際、ガスの角運動量により原始星周りに降着円盤が形成されるといった多次元効果が重要となる。例えば、太陽金属度の場合、ダスト粒子が受ける輻射圧によって、球対称降着では $20 M_{\odot}$ 以上の星形成は困難である (Wolfire, M. & Cassinelli, J. P. et al. 1987)。一方、降着円盤がある場合、円盤方向のガスは輻射の影響を受けずに質量降着を続ける。また、ダスト粒子を含まない始原ガスから形成される初代星では、電離光子による円盤蒸発により質量降着が抑制される (McKee & Tan 2008, Hosokawa et al. 2011)。これまで、太陽近傍星と初代星については多次元輻射流体計算により調べられてきたが、低金属度星形成についての計算は行われていない。

本研究では、2次元輻射流体計算を行い、各金属度ごとに最終的に形成される星質量がどのように変化するか調べる。計算では、流体シミュレーションコードである PLUTO に輻射輸送、ガス加熱・冷却等、ダスト粒子の輻射過程を実装したコードを開発中である。発表では、まずコードの開発状況について述べた後、同じ初期条件・異なる金属度ごとに、高密度コアの重力収縮から質量降着期まで計算を行った結果について述べ、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](#)

P129b 光電離・光解離による分子雲の破壊と星形成効率

猪口睦子, 嶺重慎, 細川隆史 (京都大学)

星形成効率はどのようにして決まっているのか、というのは星形成分野における大きな謎の一つである。観測から示唆される、低い星形成効率 (数%; 天の川銀河) を説明するための有力な過程として、分子雲内で誕生した大質量星による“光電離 (解離) フィードバック”による分子雲破壊が考えられる。これは、(1) 大質量星の周りに電離水素領域が形成される (2) 電離ガスは周りの分子雲に比べて圧力が高いために、その境界には衝撃波が立ち、周りの分子ガスを掃き集めながら膨張する (3) 電離領域が分子雲を全て掃ききれただけの大質量星が作られるとして星形成効率が決まる、というシナリオである (Krumholz et al. 2006, Kim et al. 2016)。

しかし、これまでのモデル化では電離領域外部に形成される分子の解離領域が無視されており、電離ガスと分子ガスのみが存在するという仮定が置かれてきた。解離領域ではダスト光電加熱による温度上昇があるので、この効果も星形成抑制に寄与する可能性がある (e.g., Inutsuka et al. 2015)。また、破壊された分子雲残骸がどのような星間ガス相へ戻るかは殆ど考察されていないが、この際にも解離光の影響は重要である。観測的にはCO分子の付随しない低温分子ガスは見るできないが、分子雲破壊の際にはそういったガスも相当量生成される可能性がある。そこで我々は、電離領域の膨張と合わせて、外部の解離領域の熱・化学構造も合わせて解くような準解析的なモデルを1次元球対称の下で構築した。これにより、輝線冷却やダストによる加熱冷却などの影響が取り入れられ、電離領域外側の解離領域の構造の効果もあわせて星形成効率の議論が可能になる。本発表では、モデル化の手法と結果を述べた後、星形成効率決定方法の再検討や分子雲残骸の化学組成に着目して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P130a BISTRO Project Status (3)

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 Kusune⁷, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka⁴, Katherine Pattle^{1,15}, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Doshisha U., ⁶Hiroshima U., ⁷Nagoya City U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²Tsukuba U., ¹³Kwansai U., ¹⁴Astro Biology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make sub-millimeter linear polarization images of nearby star forming regions as one of the EAO/JCMT Large Programs that involves over a hundred researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, and the East Asian Observatory. The data taking is almost complete for the BISTRO sources (Orion A/B, rho Oph, Serpens Main, Perseus B1, IC5146, NGC1333, Taurus B211/213, L1495), and two papers have been published with several more submitted or in preparation in the international consortium. The JCMT SCUBA-2/POL-2 and the data reduction software achieve about an order of magnitude improvement of the dynamic range of the polarization images. This brings a breakthrough to our understanding to the role of magnetic field in star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131a Understanding the properties of filaments observed in the interstellar medium

Doris Arzoumanian, Tsuyoshi Inoue, Shu-ichiro Inutsuka (Nagoya University), Yoshito Shimajiri, Philippe André (CEA/Saclay France)

The highly filamentary structure of the interstellar medium (ISM) is impressively revealed by the unprecedented quality and sky coverage of *Herschel* and *Planck* images tracing the Galactic dust emission in both total and polarized intensities. These observations provide unprecedented data allowing us to describe in detail the properties of the filamentary structures observed in both quiescent clouds and in star forming regions, where the densest filaments appear to be the main sites of star formation.

The omnipresence of filaments in observations as well as in numerical simulations suggests that the formation of filamentary structures is a natural product of the interplay between ISM turbulence, gravity, and magnetic fields. The detailed description of their observed properties is important to improve our understanding of their formation and evolution process, providing required quantities to compare with theoretical models, putting strong constraints on the physics at play in the magnetized turbulent interstellar medium, as well as the initial conditions of star formation.

I will present the properties of the filamentary structures derived from *Herschel*, *Planck*, and molecular line observations, and I will discuss the observational constraints on the formation and evolution of interstellar filaments.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132a グロビュールの砂時計型磁場構造の探査

神鳥亮, 田村元秀 (ABC), 富阪幸治, 齋藤正雄, 立松健一 (国立天文台), IRSF/SIRPOL チーム

我々は IRSF/SIRPOL を用いて分子雲コア・グロビュールに付随する砂時計型磁場構造の探査を進めているので成果を報告する。背景星の高感度な近赤外 H バンド偏光観測により、星なしグロビュール FeSt 1-457, B68 と星ありグロビュール B335 に、赤道面がくびれた砂時計型の磁場構造が伴うことを発見した。このような構造は、物質に凍結した一様磁場が引きずられて収縮するときに見える磁場形状の理論予測とよく合うが、グロビュールで観測されたのはこれが初めてであり、不明な点が多いコアの磁氣的性質の解明の突破口になると期待される。

Chandrasekhar-Fermi 法で求められる磁場強度は天球面成分だけのため、磁場構造の3次元モデリングにより磁場軸のインクリネーション角を決め、トータルの磁場強度を求めた。得られた質量磁束比から、全ての天体が磁気超臨界であることがわかった。磁場によるサポートに熱・乱流の寄与を含めた臨界質量と A_V から求めたコア質量の比を求めたところ、全天体で1に近い値を示し、コアの力学的安定性は、クリティカルに近いことがわかった。このことは、「グロビュールにおける星形成の初期条件はクリティカル状態に近いところから始まる」ことを強く示唆する。砂時計磁場の曲率は、全ての天体でよく似た値を示すことがわかった。磁場の歪みは物質移動により作られるため、収縮による移動距離が大きいほど曲率はきつくなる。したがって、曲率が似ていることは、(共通した形成メカニズムがあり) コア形成の空間スケールがほぼ同じであることを意味する。近赤外偏光度と A_V は直線関係を持ち、近赤外偏光はコア内部のダスト整列をよくトレースしていることがわかった。

講演では、これらの成果に加えて、砂時計型磁場の探査計画の現状、観測・解析の進捗、今後の計画について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P133a 分子雲形成時に駆動される磁気乱流の性質

岩崎一成，富田賢吾 (大阪大学)，井上剛志，犬塚修一郎 (名古屋大学)

中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を理解することは、その後の星形成過程を明らかにするうえで不可欠である。分子雲は、超新星爆発や super-bubble・銀河の渦巻き構造などの多様な現象により中性水素原子ガスが圧縮を受けることで形成される。近年の研究によると、Warm Neutral Medium (WNM) から直接分子雲になる経路は、磁場によりほとんど禁止され、複数回の圧縮を経て平均密度が高くなった中性水素原子ガスが分子雲の直接の材料になると考えられている。

我々は高密度な中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を、詳細な物理的素過程 (熱過程，化学反応，輻射輸送) を考慮した3次元磁気流体シミュレーションにより調べた。高密度な中性水素原子ガスは、加熱冷却過程により、冷たく塊状の HI 雲と温かく希薄な HI ガスが混在した二相構造をとることが知られている。このような二相水素原子ガスを正面衝突させると、圧縮領域に分子雲が形成されるとともに磁気乱流が駆動される。計算の結果、磁気乱流の性質が衝突速度と磁場・平均密度に強く依存することがわかった。磁場に沿って圧縮した場合、中性水素原子ガスの二相性により、圧縮方向の速度分散が卓越した super-Alfvénic な非等方乱流が駆動される。磁場を圧縮方向に対して傾けると、衝撃波圧縮で増幅された磁場の効果により、sub-Alfvénic な等方乱流が駆動される。衝突速度と磁場 (大きさと方向)・平均密度に対して、super-Alfvénic な非等方乱流から sub-Alfvénic な等方乱流への遷移を表す簡単な解析的表式を導き、それが計算結果をよく説明することがわかった。講演では、磁気乱流の性質と分子雲の性質 (質量磁束比など) から、その後の星形成の多様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](#)

P134a Development of a Full Multigrid Gravity Solver for Athena++

富田賢吾, 岩崎一成 (大阪大学), James M. Stone (Princeton University)

Athena++コードは宇宙物理学向けの公開磁気流体シミュレーションコードであり、様々な問題に適用するために多様な物理過程の実装を進めている。特に自己重力は星形成をはじめとする多くの宇宙物理学のシミュレーションに必要なものであり、現在 Full Multigrid 法に基づく自己重力ソルバの開発を行っている。Full Multigrid 法は通常反復法として用いられる Multigrid 法とは異なり、最も粗い格子から出発し、粗い格子の結果を細かい格子へと高精度補間したものを初期推定値として Multigrid 法を適用して解を改善する、という過程を再帰的に繰り返すものである。この手法は解の初期推定値が不要になることに加え、一度の実行でほぼ理論的に最小の誤差に達した解が得られるという非常に強力な手法である。Multigrid 法自体は自己重力のみならず熱伝導、粘性、輻射輸送、宇宙線伝播などの多様な物理過程に応用できるものであり、ほかの物理過程にも応用できるよう柔軟な設計を行っている。既に一様格子版の開発は終了し、分解能によるものの数千並列以上まで十分実用的な性能と良好なスケーラビリティが得られている。本講演では本コードを利用した分子雲形成の数値計算の結果について紹介し、現在進めている SMR/AMR 版の実装についても経過を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P135a 原始星近傍の降着流の円盤初期磁場依存性に関する磁気流体シミュレーション

高棹真介 (名古屋大学), 富田賢吾 (大阪大学), 鈴木建 (東京大学)

原始星・前主系列星段階にある星は星周円盤からの降着流や磁場を通じて円盤と相互作用しながら成長している。降着流の形態は未だ十分理解されていないが、降着率の決定やジェットの出現などにとって磁場が重要な役割を担っていると考えられている。これまで降着円盤の局所領域を取り出した3次元計算によって磁場強度に対する降着流構造の研究がなされてきた (e.g. Bai & Stone 2013)。しかし、円盤の大局的構造 (具体的には、動径方向も含めた構造) を理解するには磁場強度のみならず磁場の構造も考察する必要がある。星形成の際、収縮するガスは磁場を中心に持ち込むため砂時計型の磁場構造が形成されると期待されているが、磁場の開き具合 (円盤に対する傾き具合) がどうなっているかは定かではなく、かつ磁場の開き具合に対する降着構造の依存性は明らかになっていない。円盤の大局磁場構造に対する降着構造の依存性についてはブラックホール降着円盤の研究としてわずかに存在するが (Beckwith et al. 2008)、磁場の開き具合に関する考察は行われていないのが現状である。そこで我々は Athena++ コードを用いて磁気流体シミュレーションを行い、砂時計型の初期磁場の開き具合に対する降着構造の依存性を調べた。円盤に対して磁場が垂直に近い場合と平行に近い場合の2つのケースを2次元計算で調べたところ、垂直に近い場合は円盤上空まで円盤ガスが持ち上がったが、平行に近い場合はガスの上空への持ち上げが抑えられて非常に磁場が卓越した大気が円盤上空に形成されることが示された。この結果は円盤風やジェットの駆動機構の理解に重要になると考えられる。本発表ではシミュレーション結果の詳細について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136a 星・原始惑星系円盤形成の解析的モデルの構築に向けて：磁気制動のモデル化

高橋実道（工学院大学/国立天文台）、犬塚修一郎（名古屋大学）

原始惑星系円盤は惑星形成の現場となるため、その構造は円盤中でのダストの成長から惑星形成に至る過程に大きな影響を与える。円盤中のダストの成長は円盤の形成・進化過程でも進むため、現実的な環境での惑星形成過程の研究を行うためには円盤形成・進化とダスト成長の同時計算が必要となる。これまで、円盤形成の計算は主に大規模な磁気流体シミュレーションを用いて行われてきた。しかし、シミュレーションでは計算に時間がかかるため、惑星形成に至るまでの長時間計算は困難である。

本研究ではこの問題を解決するため、シミュレーションの結果を再現可能な円盤形成・進化の解析的モデルの構築を目指す。解析的モデルを用いることで、円盤の長時間進化の計算が可能となり、また、ダスト成長との同時計算も容易になる。本講演では特に、ガスが円盤へと降着する過程での磁気制動のモデル化について議論する。円盤形成の初期段階では、ガスの角運動量は磁気制動によって引き抜かれることになる。そのため、磁気制動の効果は形成される円盤の半径に大きく影響を与える。ここでは、これまでに構築した磁場を考慮しない場合の円盤形成の解析的モデル (Takahashi et al. 2013) を元に、エンベロープでの磁場構造を近似的に求め、磁気制動の寄与のモデル化を行う。本講演では、このモデルを用いた磁気制動による角運動量輸送量の評価と、モデルとシミュレーションの結果の比較について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137a 大質量星形成における複合フィードバックとその金属量依存性

田中圭 (フロリダ大学, 大阪大学, 国立天文台), Jonathan C. Tan (フロリダ大学, チャルマース工科大学, バージニア大学), Yichen Zhang (理化学研究所), 細川隆史 (京都大学)

大質量星は星間物質や銀河全体の進化に多大な影響を与える天体であり、初期宇宙から現代の銀河系にわたる様々な環境での大質量星形成過程を理解することは重要だ。特に大質量星自身が放つ強力な輻射によるフィードバックは誕生時の星質量を決定付けるプロセスだが、その環境依存性についてはまだあまり理解されていない。本研究では大質量形成におけるフィードバックの影響とその金属量依存性について理論モデルを用いて調べた。原始星進化と複数のフィードバック過程 (MHD 円盤風, 輻射圧, 光蒸発) を整合的に組み合わせ、分子雲コア崩壊から円盤降着を介した大質量星形成過程を半解析的に計算した。太陽金属量では、これまで考えられていたよりも輻射フィードバックの影響は弱く、むしろ円盤風駆動によるアウトフローの方が星形成効率へ与える影響が大きいことがわかった (Tanaka et al. 2017)。一方、低金属量環境ではダストによる紫外線吸収が弱くなるため光蒸発率が高くなる。特に $Z \lesssim 10^{-2} Z_{\odot}$ の大質量星形成では光蒸発が最強のフィードバックとなり、初期コア雲からの星形成効率は $\lesssim 15\%$ まで下がる。この結果は 10^{-5} – $10^{-3} Z_{\odot}$ 程度の低金属量環境における大質量星形成条件は太陽金属量環境よりも厳しく、初期質量関数における大質量星の割合が低い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](#)

P138a 星団を形成するクランプの統計的研究

下井倉ともみ、土橋一仁（東京学芸大学）、中村文隆、廣田朋也（国立天文台）、松本倫明（法政大）

星団形成に至るクランプの進化過程を明らかにするため、我々は、野辺山 45m 鏡を用いて銀河系内の 15 個の星形成領域を観測した。観測には、 $C^{18}O$ 、CS、SO 等の 100GHz 帯の分子輝線を用いた。観測の結果、各領域内に 24 個のクランプを同定した。また、2MASS 点源カタログを用いて作成した星の数密度分布より 23 個の星団を同定した。 $C^{18}O$ を用いて推定した柱密度 $N(H_2)$ と星の数密度 SD との相関関係を調査し、同定したクランプと星団のシステムを次の 4 つのタイプに分類した。1: 星団の付随しないクランプ、2: $N(H_2)$ と SD の相関が良いクランプ、3: $N(H_2)$ と SD の相関が悪いクランプ、4: $C^{18}O$ が検出されない星団。タイプ 1 のクランプは星団形成前の状態にあると考えられる。タイプ 2 のクランプはその中心で活発な星団形成が起きている。タイプ 3 のクランプは星団に付随するガスの散逸が一部で見られる。タイプ 4 は既にガスが散逸している状態である。星団形成を起こすクランプは、タイプ 1 からタイプ 4 の順で進化すると考えられる (下井倉他、2016 年春季年会)。さらに我々は、化学的な進化段階を探るために、同 15 個の領域に対して CCS 等の 45GHz 帯の分子輝線観測を新たに遂行した。CCS は、化学進化の若い分子雲コアで豊富に検出される。この分子輝線は、タイプ 1 のクランプの他、タイプ 2 のクランプでも検出された。しかし、CS と SO 分子の存在比及び CCS と HC_3N 分子の存在比を調査した結果、意外なことに、タイプ 1 のクランプはタイプ 2 よりも化学的に古いことが示唆された。タイプ 1 のクランプは、強い磁場等で支えられているために、星団形成を起こさないまま長期間存在しているクランプであると解釈できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P139a 星団を形成するクランプの回転を伴う収縮運動

土橋一仁、下井倉ともみ（東京学芸大学）、中村文隆、廣田朋也（国立天文台）、松本倫明（法政大）

本研究の目的は、巨大クランプ中での星団形成過程を統計的に理解することである。我々は、野辺山 45m 鏡を用いて合計 24 個のクランプに対するミリ波分子分光観測を行った（下井倉ほか、本年会）。 $C^{18}O$ 等の分子輝線観測を用いたこの観測により、数十個数百個の星から成る若い星団は、 $1000 M_{\odot}$ オーダーの質量をもつ巨大なクランプの中で形成されていることがわかった。これらのクランプは、半径 0.5 pc 程度の楕円形（おそらくオブレート）をしており、 $n(H_2) = 10^{4-5} \text{ cm}^{-3}$ 程度の高い平均密度と $\Delta V \gtrsim 1 - 2 \text{ km s}^{-1}$ 程度の比較的大きな線幅をもつ。さらに、クランプの中心付近では、速度的によく分離できる複数の速度成分がしばしば検出されるという特徴がある。このような速度成分は、より小さなクランプの衝突を反映しており、クランプ間の衝突が星団形成を誘発する、とする説もある。しかし、複数の速度成分をもつ典型的なクランプである S235AB の速度場を丹念に解析してみると、このような複数の速度成分はクランプ同士の衝突によるものではなく、単一の巨大クランプの回転を伴う収縮運動（インフォール）を反映しているものであることがわかった（土橋ほか 2016 年春季年会; Shimoikura et al. 2016）。我々は、24 個のクランプを分子ガスと星団の空間分布の相関別に 4 つのタイプに分類した（下井倉ほか 本年会; Shimoikura et al. 2017）。上記のような回転を伴う収縮運動は、星団形成開始直後の進化段階にあると考えられるタイプ 2 のクランプ（分子ガスが星団の中心に集中している）のみ見られ、他のタイプに分類されるクランプには見られない。また、24 天体中 7 個あるタイプ 2 のクランプのうち、3 天体には回転 + 収縮運動のはっきりとした特徴がみられ、他の 4 天体にもそれを示唆する速度的な構造が見られる。これは、回転を伴う収縮運動が、星団形成時に起きる普遍的な現象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](#)

P140a 星形成レガシープロジェクトⅠ 高感度 CO(1 – 0) サーベイ観測によるオリオン座 A 分子雲の分子流探査

田辺義浩, 百瀬宗武, 塚越崇 (茨城大学), 中村文隆 (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、放出されたガスが周囲のガス塊と衝突することによりさらなる星形成を誘発すると考えられている。これらは大質量星や星団の形成メカニズムを知る上で非常に重要な過程だと言えるが、巨大分子雲における分子流の分布や、それらが母体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。領域内における分子流成分の同定を行うため、得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$ 画像に対し、原始星と H_2 jet 天体の周囲で、CO 輝線スペクトルを用いた抽出手法を試みた。観測領域内に存在する各原始星と H_2 jet 方向のスペクトルをガウシアンでフィットし、中心速度 (v_{center}) と速度分散 (σ) を求め、速度が $v_{\text{lsr}} \leq v_{\text{center}} - 2 \times \sigma$ (blue lobe), $v_{\text{center}} + 2 \times \sigma \leq v_{\text{lsr}}$ (red lobe) であるガスを高速度な分子流成分であると考えた。これらの速度領域のみを積分した画像を作成した結果、18 個の新検出を含む 41 個の分子流を同定した。

同定された分子流はオリオン座 A 全体に広く分布しており、質量の最大値は $1.4 M_{\odot}$ 、最小値は $2.3 \times 10^{-3} M_{\odot}$ であり、エネルギー最大値は $3.2 \times 10^1 M_{\odot} \text{km}^2 \text{s}^{-2}$ 、最小値は $1.3 \times 10^{-2} M_{\odot} \text{km}^2 \text{s}^{-2}$ であった。講演では個々の分子流の詳細と、分子流が付随する原始星の進化段階について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P141a 星形成レガシープロジェクトⅡ FIR3/4/5領域でのアウトフローと高密度ガスの相互作用

小山田 朱里 (日本女子大), 中村 文隆 (国立天文台), 奥村 幸子 (日本女子大) ほか星形成レガシーチーム

我々は、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された FOREST と T70 受信機を用いて、太陽近傍の星団形成領域であるオリオン座 A 分子雲 OMC-2 中の FIR3/4/5 領域について、 $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{N}_2\text{H}^+(J_{F_1,F} = 1_{1,2} - 0_{1,2})$, $\text{CCS}(J_N = 8_7 - 7_6)$ など計 11 本のラインでマッピング観測を行った。

FIR3/4/5 領域では、原始星 FIR3 からのアウトフローが高密度クランプ FIR4 に衝突し、小さなガスの塊に分裂していると考えられている (Shimajiri et al. 2008)。2017 年秋季年会 (P125b) では、FIR4/5 領域での CCS と N_2H^+ についての進化年齢と近傍でのアウトフローについて報告した。 ^{13}CO の高速度成分の分布から、FIR4/5 領域には南側にある原始星 VLA13 のアウトフローが当たっている可能性が示唆された。 N_2H^+ の積分強度図において、アウトフローがある位置で強度が相対的に低く穴のように見えており、アウトフローによってこの領域の高密度ガスが吹き飛ばされ、FIR4 領域を力学的に圧縮しているというシナリオに矛盾しない。一方で $\text{HN}^{13}\text{C}/\text{H}^{13}\text{CN}$ の比は 0.5 程度の値で、小質量星形成領域と同程度である。温度が高いと、この比は小さくなるので (Hirota et al. 1998)、圧縮による温度上昇の影響は HN^{13}C と H^{13}CN の比では見られなかった。

講演では、VLA13 からのアウトフローが FIR4/5 領域に及ぼす影響についてより詳しく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](#)

P142a Spatially resolved study of the CO selective dissociation in the Oph-A region

山岸 光義 (ISAS/JAXA), 原 千穂美 (東京大学/NEC), 川邊 良平, 中村 文隆, 鎌崎 剛 (NAOJ), 島尻 芳人 (CEA/Saclay), 竹腰 達哉 (東京大学)

PDR(光解離領域)は、UVと星間物質が相互作用する現場であり、そこでの星間物質の振る舞いを理解することは、宇宙における星間物質の進化を探る上で重要である。電波で観測されるPDRの特徴的な現象の一つに、COの選択的解離がある。この現象は、COの同位体ごとに自己遮蔽の強さが異なるために生じるもので、存在量の少ない同位体ほど分子雲内部までそれを解離するためのUVが届き、解離が進む。その結果、COの同位体ごとに、分子雲の表面に層状構造が形成されると期待される。これまでの野辺山45m望遠鏡を使ったOrionやL1551におけるCOの高空間分解能観測では、比較的大きなスケール(~ 0.1 pc)のCOアバundance比の空間変化が分子雲内部で検出されており、これがCOの選択的解離に起因するものと考えられていた。しかしながら、いまだ選択的解離に特徴的な、分子雲表面の層状構造をとらえるには至っていなかった。

我々は、ALMA Cycle 2 (12m-array + 7m-array)において、最も近傍のPDR領域であるOph-A領域($d=120$ pc)を、 $^{12}\text{CO}(2-1)$ 、 $^{13}\text{CO}(2-1)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ の3輝線で観測した。得られた空間分解能は $1.5''$ であり、 0.001 pcに相当する。その結果、HII領域外縁部にあるシェル構造の付近で、クリアな ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の層状構造が見られること、それぞれの層の間隔が $\sim 10''$ であることがわかった。さらに、 $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$ アバundance比は、シェル付近で ~ 20 にまで増加しており、分子雲内部に向かって急激に下がる傾向が見られた。これらの結果は、COがUVによって選択的に解離されている様子を、初めてダイレクトにとら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](#)

P143a ALMA ACA 7m observations toward two Orion cores very close to the onset of star formation

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

我々は、TOP-SCOPE Planck Cold Clump collaboration として、約千個のクラumpを JCMT, SCUBA-2 で観測した。そのうちのオリオン領域にある約 100 個のコアを野辺山 45m 鏡で観測した結果、数個のコアで強い N_2D^+ を検出した。 N_2D^+ が強いコアは星の誕生の瞬間 (onset) に近いと考えられる (酒井剛+15)。そのうちの天空上での距離が比較的近い ($20''=2.6pc$) 2 つのコア (星なしと星あり) を ALMA 7m で観測した。2 つのコアは野辺山 45m の $J=1-0$ の観測ではともに N_2D^+ , DNC で受かっていたが、ALMA 7m では星ありコアのみが N_2D^+ , DNC $J=3-2$ でうかった。星なしコアではより広く分布していて resolve out したか、星なしコアでは励起温度が低くなっている可能性の 2 つが考えられる。星なしコアは DCO^+ , HCO^+ , CO , ダスト連続波にて ALMA 7m で検出された。星なしコア、星ありコアともコア質量は約 $1M_{\odot}$ であり、またビリアルパラメータは 1-1.5 であった。星ありコアでは、 N_2D^+ と DCO^+ で「2 つ目玉」構造が見られ、ダスト連続波ピークはその中心に位置する。 DCO^+ で測定した比角運動量 J/M は、オリオン座の N_2H^+ コアで求められた経験的な $J/M-R$ 則 (立松+16) にほぼ合うか、若干高めである。星ありコアは、典型的な分子雲コア、あるいは大橋+95 がもとめた collapsing disk 程度の J/M を持つ。星ありコアの 2 つ目玉構造は、edge-on の collapsing disk を見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](#)

P144a W3 GMC の NH₃ 観測と YSOs の分布による星形成史の研究

飯田美幸, 中井直正, 齋藤弘雄 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 永井誠 (国立天文台), 他つくば
32m アンテナ観測グループ

W3 GMC は 2.3kpc の距離のペルセウス腕に位置する巨大分子雲で、W3 Main と W3(OH) という小質量から大質量まで様々な星が活発に形成されている領域を含んでおり、それらの中には散光星雲 IC1795 がある。W3 Main と W3(OH) には大量の分子ガスが存在しており、W3 Main と IC1795 には O 型星と B 型星が、W3(OH) には B 型星があり、現在も星形成が進行中である。また、赤外線と X 線の観測から多くの classI-III の Young Stellar Objects (YSOs) の分布が分かっている。

本研究では、W3 Main, W3(OH), IC1795 を含む領域が対象で、特に 10^3cm^{-3} 以上の高密度なガスの物理状態を把握するために、NH₃ の反転遷移 (J,K)=(1,1)-(6,6) の 6 本の同時観測を行い、その結果を踏まえて星形成史について検証する。観測は国土地理院つくば 32m アンテナを用い、周波数 24.0GHz でのアンテナの角分解能は HPBW = 93" (1.0pc) であり、200" 間隔で 58 点観測した。NH₃ 観測結果から、物理量だけでなく、オルソ型とパラ型の存在比を求め、NH₃ 生成時の温度を求めてきた (2017 年秋季年会)。その結果、NH₃ 生成時では活発な星形成が行われていないことがわかった。また、classI は主に NH₃ の柱密度が高い ($\geq 1.1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$) 領域である W3 Main と W3(OH) に多くあり、IC1795 にはほとんどない。classII は全体にわたって万遍なく分布しており、classIII は NH₃ が検出されなかった IC1795 に多く存在している。今回は NH₃ 観測より算出した観測点ごとの柱密度と YSOs の分布の比較することで、IC1795 で先に星形成が始まり、その後 W3 Main と W3(OH) で星形成が始まったことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

3月14日(水) 午後(13:00-15:00) [E会場]

P201a	13:00	「あかり」用いた T タウリ型星におけるダスト円盤消失時間の研究 前嶋宏志 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
P202a	13:12	J16394544 に付随する強度の非対称性をもつ多重リング円盤 小西美穂子 (国立天文台)
P203a	13:24	ALMA polarization observation toward the protoplanetary disk around HD 142527 大橋聡史 (理化学研究所)
P204a	13:36	Crescent and Ring Structures Discovered in the Protoplanetary Disk around V 1247 Ori 武藤恭之 (工学院大学)
P205a	13:48	ALMA による HD163296 の原始惑星系円盤中の多重リング構造と水輝線探索 野津翔太 (京都大学)
P206a	14:00	スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527 の超解像イメージング 山口正行 (東京大学/国立天文台)
P207a	14:12	CO ₂ 氷が引き起こすダストの衝突破壊: HL Tau 円盤の観測への示唆 奥住聡 (東京工業大学)
P208a	14:24	円盤上におけるガス巨大渦の構造 小野智弘 (京都大学)
P209a	14:36	原始惑星系円盤内における小質量惑星近傍のガス流れ場の惑星質量依存性 桑原歩 (東京工業大学)
P210a	14:48	原始惑星系円盤ガスと惑星大気のリサイクリング: 等温・非等温計算の比較 黒川宏之 (東京工業大学)

3月15日(木) 午前(9:30-11:06) [E会場]

P211a	09:30	衝突破壊プロセスを入れた N 体計算における原始惑星の動径方向移動 小南淳子 (東京工業大学)
P212a	09:42	ダストの乱流拡散を含む方程式の再考と 2 流体不安定性によるリング形成 富永遼佑 (名古屋大学)
P213a	09:54	平均場近似を用いたダスト・アグリゲイトの光学特性計算法 田崎亮 (東北大学)
P214a	10:06	デッドゾーン内側境界における岩石質ダストの濃集 植田高啓 (東京工業大学)
P215a	10:18	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)
P216a	10:30	原始惑星系円盤における紫外線/X 線光蒸発の金属量依存性 仲谷峻平 (東京大学)
P217a	10:42	デブリ円盤のガスは原始惑星系円盤の残留ガスか? 小林浩 (名古屋大学)
P218b	10:54	ALMA アーカイブデータを用いたデブリ円盤の観測的研究 佐藤愛樹 (茨城大学)
P219b	10:54	原始惑星系円盤内縁のダスト濃集領域が作り出す円盤表層の影構造 植田高啓 (東京工業大学)
P220b	10:54	円盤形成におけるホール効果の影響: ダストサイズ分布と宇宙線強度依存性 古賀駿大 (九州大学)

P201a 「あかり」を用いたTタウリ型星におけるダスト円盤消失時間の研究

前嶋宏志 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 小島拓也 (東京大学, ISAS/JAXA), 瀧田怜 (ISAS/JAXA), 権静美 (ISAS/JAXA),

原始惑星系円盤では中心星から遠いダストほど低温で熱放射ピークが長波長側となるため、遠赤外線での円盤観測は外側円盤の散逸を理解する鍵となる。しかし、特に進化の進んだ円盤では検出器の感度に比べて遠赤外線強度が微弱なため、検出された天体数に限りがある。そこで、「あかり」の $90\mu\text{m}$ 全天観測データを用いて画像のスタック解析を行い、感度以下の微弱な天体も含めた大きな天体数で平均的な遠赤外線描像を調査した。

まず、進化段階の指標として $\text{H}\alpha$ 輝線等価幅を用いて近傍の約 566 天体の K-M 型 T タウリ型星を 3 つのグループに分類した。そして T タウリ型星の遠赤外線画像をスタックし、各グループで遠赤外線の平均的描像を得た。さらに、各天体の HR 図上での位置と isochrone model との比較により各グループの年齢推定を行った。その結果、原始惑星系円盤の遠赤外線の減衰時間は $2.2^{+0.6}_{-0.5}\text{Myr}$ であり、残骸円盤の遠赤外線超過減衰時間 ($> 100\text{Myr}$) より明らかに小さいことがわかった。これは、残骸円盤には微惑星衝突による 2 次ダスト供給があるのに対し、原始惑星系円盤では 2 次ダストの影響が小さいことを示している。

また、WISE の近・中間赤外線 ($3.4, 4.6, 12, 22\mu\text{m}$) 全天観測データでも同様の画像スタック解析を行った。近・中間赤外線での光球フラックスからの超過は円盤内側のダストからの熱放射を示しており、WISE で得た近・中間赤外線描像と「あかり」で得た遠赤外線描像と比較することで円盤内側と外側のダスト散逸の様子を比較できる。解析の結果、円盤からの $4.6, 12, 22\mu\text{m}$ 赤外線強度減衰時間はいずれも $3.5^{+0.7}_{-0.4}\text{Myr}$ であった。この結果では、inside-out 散逸で予測されるような「近・中間赤外線が遠赤外線よりも速く減衰する」傾向は確認できなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a J16394544 に付随する強度の非対称性をもつ多重リング円盤

小西 美穂子 (国立天文台), 橋本 淳 (アストロバイオロジーセンター), 武藤 恭之 (工学院大学), 塚越 崇 (茨城大学), 工藤 智幸 (ハワイ観測所)

惑星は原始惑星系円盤の中で形成・進化すると考えられているため、円盤の性質を詳しく調べその成因を明らかにすることは重要である。近年の高空間分解の観測によって原始惑星系円盤の詳細な構造が明らかになってきている。特に、ALMA 望遠鏡によって明るさの非対称性 (e.g., Oph IRS 48) や多重リング構造 (e.g., HL Tau) が発見されており、それらと惑星の相互作用について議論が盛んに行なわれている。しかしながら、その2つの特徴(明るさの非対称性と多重リング構造)を同時にもつ円盤は非常に珍しく、その構造を制限することは惑星形成理解のために大切である。今回我々は、明るさの非対称と多重リング構造をもつ円盤の一例として2MASS J16394544–2402039 に付随する円盤の詳細構造について調べた。J16394544 はへびつかい座にある T タウリ型星であり、太陽からの距離は 125 ± 25 pc に位置する。近年、ALMA 望遠鏡の観測によって2つのリング構造を持ち、その質量が26.5木星質量であることが報告された (Cox et al. 2017)。我々はこの円盤の構造(内側リング: 37.7 ± 0.2 au、外側リング: 206 ± 41 au) に制限を与えるために、軸対象な面輝度分布をもつモデル円盤との詳細な比較を行った。その結果、幅が64 au程度で周囲に比較して明るさが90%程度減少している、浅く・幅の広いギャップ構造であることがわかった。この軸対象なモデル円盤を差し引いたところ、内側リングに明るさの非対称を $\sim 10\sigma$ で検出した。本講演では、この明るさの非対称・多重リングをもつ J16394544 の円盤構造とこれまで見つかった多重リング構造のみを持つ円盤との比較を行い、そ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](#)

P203a ALMA polarization observation toward the protoplanetary disk around HD 142527

大橋聡史(理研)、片岡章雅、永井洋(国立天文台)、深川美里(名古屋大)、花輪知幸(千葉大)、百瀬宗武、塚越崇(茨城大)、村川幸史(大阪産業大)、武藤恭之(工学院大)、芝井広(大阪大)

我々は HD 142527 の原始惑星系円盤に対し ALMA 870 ミクロンのダスト偏光観測を非常に高い分解能で行った。HD 142527 の ALMA 偏光観測は Kataoka et al. (2016) で行われており、今回はそれより 2 倍以上空間分解能の良い観測(ビーム幅 ~ 0.25 秒)を行うことができた。観測の結果、これまで示唆されてきたような非対称なサブミリ波強度分布が得られた(例えば Fukagawa et al. 2013)。偏光強度分布はリング構造をしており、偏光ベクトルは主にこのリングに沿って動径方向分布であった。しかしながら北側の強度が強い領域($\tau_{345} \gtrsim 2$)では、リングの外側で偏光ベクトルが 90 度傾いて円周方向に揃っていることも再確認した。これは以前の観測と整合的であり、ダストの自己散乱によって偏光されていることを示唆する。ダストが光学的に厚いと輻射は等方的となり、散乱偏光は減少するので、北側の偏光ベクトルが変化する遷移領域は広がっている予想していたが、今回の観測でも遷移領域を分解することができず、急激に偏光ベクトルが変化している。この結果は円盤の比較的上層での散乱を見ていることが考えられる。一方で南側の領域では、そのような偏光ベクトルの遷移は見られず動径分布のみを示しており、さらに偏光度も 15% と非常に高いことがわかった。このような高い偏光度や偏光ベクトルは自己散乱では説明できない。そこで本講演では、ダスト整列に起因する偏光の可能性を考察し、偏光メカニズムが北と南の領域で異なり、ダストの性質に依存することを議論する。

また、以前の近赤外線散乱光や CO 分子ガスの観測で見つかったスパイラル構造がこの円盤へと続いている様子についても明らかになったので同時に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a Crescent and Ring Structures Discovered in the Protoplanetary Disk around V 1247 Ori

S. Kraus (U. Exeter), A. Kreplin (U. Exeter), M. Fukagawa (Nagoya), T. Muto (Kogakuin U.), M. L. Sitko (U. Cincinnati), A. Young, M. Bate (U. Exeter), C. Grady (Eureka Scientific), T. Harries (U. Exeter), J. D. Monnier (U. Michigan), M. Willson (U. Exeter), J. Wisniewski (U. Oklahoma)

A Protoplanetary disk with an inner hole (transitional disk) is one of the key targets to understand planet formation. Recent observations with ALMA and 8 m-class telescopes have revealed they harbor rich structures such as rings and spirals which may be connected to on-going planet formation.

In this talk, we present the results of ALMA Band 7 ~ 0.04 asec-resolution imaging of the (pre-)transitional disk around V1247 Ori. The disk continuum emission shows an asymmetric ring-like structures with 0.17 asec = 54 AU in radius as well as a crescent-like structure located at 0.38 asec = 120 AU from the central star. They seem to be smoothly connected to a one-armed spiral-like structure found recently in near infrared scattered light observations. We have also detected CO(3-2) and HCO⁺(4-3) data, despite relatively low signal-to-noise ratio. At the position near the crescent structures and the south-eastern part outside of the ring, the gas emission seems to show some excess.

The observed continuum emission structures resemble the morphologies seen in several theoretical models of dust particles trapped in a vortex, which may be formed by an embedded planet. The gas excess emission may be tracing the increased scale-height regions in the disk.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205a ALMA による HD163296 の原始惑星系円盤中の多重リング構造と水輝線探索

野津翔太 (京都大学), 野村英子 (東京工業大学), 秋山永治, 廣田朋也 (国立天文台), 本田充彦 (久留米大学), Catherine Walsh, Alice Booth (Univ. of Leeds), Tom Millar (Queen's Univ. Belfast)

近年 ALMA (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計) 等による高空間分解能・高感度観測を通じ、多数の原始惑星系円盤中に多重リング・ギャップ構造が発見されている。これらの構造は円盤内のダストサイズ成長や巨大ガス惑星形成等との関連が議論されており、今後のより詳細な理論・観測研究が欠かせない。

本発表では、ALMA Cycle 3 にて我々が行なった Herbig Ae 型星 HD163296 の原始惑星系円盤の観測結果を報告する。まず 327 GHz (Band 7) ダスト連続波放射の高解像度観測 (空間分解能約 20 au) を実施した結果、多重リング・ギャップ構造が発見された。これらの位置は Isella et al. (2016) の 232GHz (Band 6) ダスト連続波放射の観測 (空間分解能約 25 au) で報告された値と同程度であった。また我々の Band 7 の観測では、先行研究 (Band 6 観測) では報告されていない長軸方向の強度の非対称構造が発見された。併せて円盤内のダストサイズ分布等に制限を加える為、Bands 6, 7 のデータから spectral index α の半径分布の算出も試みた。また、我々は ortho- H_2^{16}O 321 GHz, para- H_2^{18}O 322 GHz, HDO 335 GHz 輝線が円盤赤道面の H_2O スノーラインの検出に適している事をモデル計算で示しており (Notsu et al. 2016&2017a, ApJ; 2017b, submitted)、今回はそのモデル計算の結果に基づき高分散分光観測を実施した。観測時間が当初要求時間の 20%程に留まった事もあり現時点では輝線の検出には至っていないが、モデル計算結果との比較を行い、輝線の Flux の上限値等を算出した。その結果 Band 7 でのダスト不透明度が、円盤モデルで標準的な値であり過去のダスト連続波等の観測 (Boneberg et al. 2016) でも示唆された値である $3 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 程度以上の場合は、モデル計算の値が観測の上限値と矛盾しない事が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P206a スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527 の超解像イメージング

山口正行 (東京大学/国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT), 片岡章雅, 川邊良平, 田崎文得, 本間希樹, 永井洋 (国立天文台), 倉持一輝 (東京大学/国立天文台), 塚越崇 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 深川美里 (名古屋大学)

近年の ALMA 望遠鏡の観測によって、原始惑星系円盤の内部構造に複数のギャップ構造や非軸対称な構造が数多く発見され、惑星形成過程の理解が急速に進んでいる。このような高分解能サブミリ波観測は、ギャップ構造を形成する惑星質量の見積もりや、ダストの集積機構の解明等で必要不可欠である。特に高品質な画像復元の処理を行い、そこから正確な輝度分布やギャップ幅の見積もりを行うことが望ましい。本研究は、より詳細な円盤構造に空間分解することを目標として、スパースモデリングという手法を応用した新しい画像復元手法を ALMA の観測データに応用している。2017 年春季天文学会の報告では、原始惑星系円盤 HD142527 の ALMA 観測データを用いた本手法の性能評価を発表した。ここでは、スパースモデリングを用いることで、従来法の CLEAN よりも高品質な画像の復元を可能とし、回折限界を超える超解像領域では、特にそれが顕著であることを示した。本講演は、前回の性能評価に用いた低分解能 (最大基線長が短い) 観測データよりも最大基線長が 3 倍長い高分解能観測データに本手法の超解像イメージング処理を行い、イメージのノイズレベルを評価した HD142527 の円盤構造の解析結果を報告するとともに、本研究の画像復元手法の改善から ALMA による原始惑星系円盤の観測にどのような恩恵が期待できるのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P207a CO₂ 氷が引き起こすダストの衝突破壊: HL Tau 円盤の観測への示唆

奥住聡, 檜口航太 (東京工業大学)

若い星 HL Tau 周囲の原始惑星系円盤は、ALMA 望遠鏡によって多重ダストリングの存在が明らかにされた最初の円盤であり、近年非常に大きな注目を集めている。最近、ALMA 望遠鏡を用いた HL Tau 円盤のミリ波偏光観測が Kataoka et al. (2017) と Stephens et al. (2017) によってなされ、ダスト放射の偏光パターンが観測波長によって大きく異なるという驚くべき結果が得られた。このような強い波長依存性は、偏光放射を担うダストのサイズがおよそ 100 μm であるとする説明可能である (Kataoka et al. 2017)。ところが、要求されるダストサイズは、ダストが効率良く合体成長する場合に到達するサイズよりも約 1 桁小さい。したがって、もしこの偏光観測の解釈が正しいとすると、この円盤の中ではダストの成長が何らかの理由によって阻害されていることになる。

本研究では、原始惑星系円盤の外側でのダスト成長を阻害する要因として、CO₂ 氷に注目する。CO₂ は円盤の十分外側ではダスト表面を被う氷として存在すると考えられる。近年、CO₂ 氷の微粒子の衝突実験がなされ、CO₂ 氷の粒子が H₂O 氷の粒子よりも付着しにくいことが明らかになった (Musiolik et al. 2016)。我々は、スノーライン付近における氷ダストの焼結を取り入れた HL Tau 円盤のダスト進化モデル (Okuzumi et al. 2016) に、CO₂ スノーラインの外側で予想されるダストの付着力の低下を新たに組み込み、ダストのサイズ・面密度の空間分布の時間進化をシミュレートした。その結果、円盤の外側ではダストの最大サイズが確かに 100 μm 程度で頭打ちになることを明らかにした。また、これまでの我々のダスト進化モデルと比較して、円盤に残留するダストの寿命がより長くなること、10 au 付近に形成されるダストギャップがより遠くのダストギャップよりも深くなる傾向にあることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 円盤上におけるガス巨大渦の構造

小野智弘 (京大), 武藤恭之 (工学院大), 富田賢吾 (大阪大), Zhaohuan Zhu(ネバダ大)

近年、強い非軸対称性を持つ原始惑星系円盤が ALMA 望遠鏡などによって観測されてきた。このような円盤は、流体不安定性によって形成される巨大渦の存在を示唆する。巨大渦は円盤進化や惑星形成に影響を与えることが期待される。また、微惑星形成現場の候補としても注目を集めている。そのため、円盤上に存在し得る巨大渦の構造を知ることは重要である。先行研究によって、円盤上の渦は Kida 解と呼ばれる定常解に似ていることが報告されている。しかし、Kida 解は非圧縮流体近似の下で導かれたものであり、渦のサイズや密度などといった情報についての理解は不十分なままであった。

我々は、渦形成不安定性の一種であるロスビー波不安定性による渦形成シミュレーションを行った。形成された渦を調べることで、渦の構造にとって重要なのは Kida 解によって言及されている渦のアスペクト比だけでなく、渦の幅も重要であることが明らかとなった。さらに、多様な初期条件を採用することで、初期条件から形成される渦のアスペクト比と幅を推測するための経験則を得ることに成功した。これらは、将来的に観測結果を理解する上で役立つことが期待される。本講演では、上に記したような渦の構造に関して得られた研究成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209a 原始惑星系円盤内における小質量惑星近傍のガス流れ場の惑星質量依存性

桑原歩, 黒川宏之, 井田茂 (東京工業大学)

原始惑星系円盤内における惑星近傍のガス流れ場は、惑星へのガス・ペブル降着率に影響を及ぼす。先行研究の3次元流体シミュレーションにより、原始惑星系円盤に埋もれた小質量惑星のエンベロープには、ガスがボンディ領域の高緯度から流入 (inflow) し、低緯度から流出 (outflow) するという流れ場が存在し、大気のリサイクリングが生じることが指摘されている。[1]

このリサイクリングは、エンベロープの冷却・収縮を遅らせるため、短周期スーパーアースの形成過程を説明できると期待されている。また、惑星近傍の流れ場は、惑星へのペブル降着効率にも影響すると考えられる。しかしながら、リサイクリングが発生するメカニズムは完全には理解されておらず、特にガスの流れ場が惑星質量にどのように依存するかは未解明である。本研究では、原始惑星系円盤内の惑星近傍におけるガス流れ場について、等温・非粘性の局所3次元流体シミュレーションを行うことで、流れ場の惑星質量依存性を調べた。

その結果、先行研究 [1] と同様、惑星エンベロープへのガスの流入・流出、及びリサイクリングが生じていることを確認した。更に、惑星質量の増加に伴い、outflow 速度が増加する傾向が見られた。特に、コア質量が5地球惑星に相当する場合は、outflow 速度が等温音速の約1%に達していることが分かった。これらの結果を踏まえ、惑星近傍のガスの流れ場がガス降着率やペブル降着効率に及ぼす影響について議論する。

参考文献：[1] Ormel, C. W., et al. (2015) MNRAS, 447, 3512-3525.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210a 原始惑星系円盤ガスと惑星大気のリサイクリング：等温・非等温計算の比較

黒川宏之（東京工業大学），谷川享行（一関工業高等専門学校）

ケプラー宇宙望遠鏡によって発見された系外惑星の大部分はスーパー・アースである。一方、惑星形成論によればスーパー・アースは暴走的な原始惑星系円盤ガス捕獲によって巨大ガス惑星になるはずである。スーパー・アースが巨大ガス惑星となることを妨げたメカニズムは未解明である。原始惑星系円盤に埋もれた惑星近傍のガスの3次元流体計算を行った先行研究 [1] では、惑星エンベロープガスのリサイクリングというメカニズムを提案している。従来の1次元モデルの仮定では、エンベロープガスの冷却・収縮が円盤ガスの更なる降着を引き起こしていた。[1] では、惑星エンベロープは常に円盤ガスの流入と流出（リサイクリング）がある開放系であることが示された。このリサイクリング時間がエンベロープ冷却時間より短いため、ガスの冷却・収縮とそれに伴うガス降着は妨げられるとされた。しかしながら、3次元流体計算を行った研究 [1,2 など] の間でガス流れ場とリサイクリングの有無に違いが見られる。本研究では、惑星近傍の円盤ガスの3次元流体計算を行い、等温・非等温という仮定がガス流れ場に与える影響を詳細に調べた。その結果、等温・非等温の仮定と放射冷却時間がリサイクリングの有無を支配していることを突き止めた。等温計算においては惑星エンベロープガス全体がリサイクリングするのに対し、非等温計算ではエンベロープ深部にリサイクリングしない領域（孤立エンベロープ）が存在する。この孤立エンベロープのサイズは放射冷却時間に依存する。これは、非等温計算においては低エントロピーのエンベロープに侵入しようとする高エントロピーの円盤ガスには浮力が生じるためである。本研究の結果は実際のスーパー・アース形成過程においてはリサイクリングの寄与は限定的であったことを示唆している。

[1] Ormel, C. W., et al. (2015) MNRAS, 447, 3512. [2] Lambrechts, M. & Lega, E. (2017) A&A, 606, A146.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211a 衝突破壊プロセスを入れた N 体計算における原始惑星の動径方向移動

小南淳子 (東京工業大学), 台坂博 (一橋大学), 牧野淳一郎 (神戸大学), 藤本正樹 (JAXA)

従来の N 体計算による惑星集積過程の研究では、衝突した微惑星は破片等をださずに合体して一つの新しい微惑星になると仮定されていた (完全合体の仮定)。これは、破壊や破片の生成を取り入れると、粒子数が増大し、計算時間が膨大になるためである。完全合体だと微惑星の成長と共に粒子数が減少するので、初期の粒子数を大きくとれる。しかし、破壊によって生成された破片は力学的摩擦によって原始惑星及び微惑星の速度分散を引き下げるため、惑星形成過程に大きな影響を持つ。このため、N 体計算には破壊過程を正しく取り入れることが必須である。

衝突破壊を入れると、質量の小さな微惑星が大量に生成され、ガス抵抗の効果でその速度分散が小さくなる。その速度分散の小さい大量の微惑星が原始惑星の周りに存在することで原始惑星の planetesimal driven migration (PDM) が促進される可能性がある。この PDM は外側に原始惑星を運ぶこともあるので、その場合、タイプ 1 惑星移動による惑星落下をある程度防ぐ可能性がある。

本研究では、ガス円盤の効果 (ガス抵抗、タイプ 1 惑星移動) と破壊モデルを入れた大規模な N 体計算をおこない、惑星移動がどうなるかを調べた。その結果、衝突破壊を入れると原始惑星の周りに質量が小さく速度分散の小さい微惑星が生成された。これらの小さい微惑星があることで、質量の大きい微惑星のみだった場合より、原始惑星の外側への PDM がより連続的に起こりやすくなった。衝突破壊により生成された小さい微惑星による PDM の効果によりタイプ 1 惑星移動がどのように影響を受けるかを調べた結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212a ダストの乱流拡散を含む方程式の再考と2流体不安定性によるリング形成

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

近年のアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) の観測によって、様々な円盤に多重リング構造が発見された (e.g., ALMA Partnership et al. 2015)。観測されたリング構造の形成機構として永年重力不安定性によるものが提案されている。永年重力不安定性は円盤内のガスとダストの摩擦によって起こる2流体不安定性である (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014)。永年重力不安定性の不安定条件を考える上で重要な物理過程の1つにダストの乱流拡散がある。先行研究ではこの効果を単にダストの連続の式に拡散項を加えてモデル化していたが (e.g., Youdin 2011, Michikoshi et al. 2012, Takahashi & Inutsuka 2014, 2016)、このようなモデルでは系の全角運動量が保存しないため、理論に内在した不備がある。ダスト-ガス比が大きいほど全角運動量を過大/過小評価するため、ダストの濃集過程やリング形成を考える上で解決すべき問題である。

本研究では摩擦が強い場合に全角運動量が保存しつつ乱流拡散を正しく記述する方程式のモデル化を行い局所線形解析を行った。その結果永年重力不安定性の成長率は数倍大きくなることがわかった。また永年重力不安定性が過安定モードとして現れていた先行研究とは異なり、指数関数的に単調成長するモードであることがわかった。さらにガスの乱流粘性がある場合は、永年重力不安定性とは別の2流体不安定性が存在することがわかった。この新しい不安定性の成長時間は円盤の回転周期の100倍から1000倍程度、最大成長波長は半径100auで10au程度であるため、永年重力不安定性と同様観測されたリング構造の起源となり得る。これら2つの2流体不安定性がHL Tau円盤 (ALMA Partnership et al. 2015) で成長するかどうかを調べた結果、ダストサイズが3mm、 $\alpha = 10^{-4}$ の場合はダスト-ガス比が 5×10^{-3} 以上であれば不安定性が成長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](#)

P213a 平均場近似を用いたダスト・アグリゲイトの光学特性計算法

田崎亮, 田中秀和 (東北大学)

惑星形成の第一歩は、原始惑星系円盤におけるダストの合体・成長である。近年、氷微惑星は高空隙率アグリゲイトを経由して形成された可能性が理論的に指摘されているが、このような微惑星形成シナリオの観測的検証には至っていない。その理由の1つとして、高空隙率アグリゲイトの光学特性(位相関数や不透明度)計算は、一般に計算コストが高く、観測モデリング等の研究において殆ど考慮されてこなかったことが挙げられる。光の波長が高空隙率アグリゲイトの構成粒子の大きさ($\sim \mu\text{m}$)よりも長い場合、その光学特性は1回散乱理論によって良く再現できることがわかっている(Tazaki et al. 2016)。しかし、波長が構成粒子の大きさよりも短くなると、多重散乱が重要となり、1回散乱理論が適用できないという問題があった。

本研究では、まず初めに、アグリゲイト内で起こる多重散乱を平均場近似(Botet et al. 1996)を用いて自己無撞着に計算し、その妥当性を厳密な数値計算法であるT-Matrix法を用いて検証した。その結果、平均場近似は、(1)減光断面積を精度よく、かつ安定に計算可能である、(2)多重散乱が支配的な場合、吸収断面積を約1桁過小評価する、ということが明らかとなった。次に、我々は(2)で明らかになった問題を解決するために、平均場近似と幾何光学近似を組み合わせた吸収断面積の新たな計算法を考案した。我々の計算法とT-Matrix法による計算結果の比較から、我々の手法は、様々なアグリゲイトの空隙率やモノマー半径に対して、適用可能であることが分かった。こうして構築された我々の計算法は、簡便でありながらも、任意の波長、フラクタル次元、モノマー半径、アグリゲイト半径に対して、減光・吸収・散乱断面積が計算可能である。従って、今後の赤外線やミリ波での円盤観測モデリングにおいて、アグリゲイトの構造を推定する有力なツール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](#)

P214a デッドゾーン内側境界における岩石質ダストの濃集

植田 高啓, 奥住 聡 (東京工業大学), Mario Flock (Jet Propulsion Laboratory)

岩石惑星の種とされる岩石微惑星の形成は、惑星形成理論における大きな問題の一つである。微惑星は、原始惑星系円盤と呼ばれるダストとガスから成る円盤の中で形成されるが、岩石質ダストが破壊されやすいという問題から、ダストの付着成長による岩石微惑星形成は困難である。そこで、岩石微惑星の形成モデルとして、デッドゾーン内側境界における重力不安定が提案されている。デッドゾーン内側境界とは、円盤ガスが 1000 K 程度となり熱電離することで磁気回転不安定性由来の乱流強度が大きく変化する領域のことである。この領域ではダストが動径方向に濃集し、ダスト層の重力的な集積によって岩石微惑星が形成されると期待されている。

本研究では、動径方向 1 次元のダスト・ガス円盤進化計算を行い、デッドゾーン内側境界へのダスト濃集過程を調べた。計算の際には、乱流強度・限界付着速度をパラメータとして変化させ、それらがダスト濃集に与える影響を調べた。その結果、デッドゾーン内側境界にダストが濃集するためには、低い乱流強度か大きな限界付着速度が必要であることがわかった。乱流強度が大きい(あるいは限界付着速度が小さい)とき、乱流由来の大きな衝突速度によってダストは破壊されてしまい、ダストの動径方向への濃集よりも乱流による拡散が卓越するため、ダスト濃集が困難となる。特に、乱流強度を表すパラメータ α がデッドゾーンで 10^{-3} であるとき、ダストが濃集するためには、岩石ダストの限界付着速度は 3 m/s よりも大きくなければならないことがわかった。この値は、ダストの室内衝突実験から予想される限界付着速度に比べて高い。本発表ではこれらの結果を述べたうえで、デッドゾーン内側境界での岩石微惑星の形成可能性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](#)

P215a 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)

原始惑星系円盤において、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。また、微惑星を直接観測することはできず、観測による形成過程への制限もできない。そこで、太陽系内の最も始原的な天体であり、微惑星の生き残りだと考えられている彗星に着目する。近年、太陽系内の 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の探査結果により、その引張強度が測定されている。微惑星の引張強度はその組成や形成過程に依存しており、引張強度を調べることで微惑星形成過程に制限がかけられる。また、微惑星形成過程だけでなくダストや微惑星の衝突破壊を考える上でも、引張強度は重要である。

そこで我々は、ダストの直接付着相互作用 (Wada et al. 2007) を考慮した N 体計算を行い、ダスト集合体の引張強度を調べた。初期条件としてのダスト集合体は、構成粒子が半径 $0.1 \mu\text{m}$ の氷ダストを想定し、形成過程を模擬して圧縮したものをを用いた (Kataoka et al. 2013)。また、彗星は焼結していると考えられているが、本研究では第一歩として焼結なしの場合を想定した。その結果、引張の変位が増加するにつれて引張強度も徐々に増加し、初期から数倍程度体積充填率が低下した時点で引張強度が最大値をとることがわかった。その最大値は、初期の体積充填率が 0.1 のとき $\sim 3 \times 10^3 \text{ Pa}$ である。また、この値は体積充填率が 0.1 のときの圧縮強度 $\sim 5 \times 10^2 \text{ Pa}$ よりもおおよそ 6 倍大きい値である。これは、ダスト集合体が圧縮よりも引張に耐えうる性質を持つことを示している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P216a 原始惑星系円盤における紫外線/X線光蒸発の金属量依存性

仲谷峻平、細川隆史、吉田直紀、野村英子、Rolf Kuiper

近傍星団の観測から、原始惑星系円盤の寿命はおよそ数百万年であるということが観測的に知られている (e.g., Haisch et al. 2001)。その一方で、近年の銀河外縁部星団の観測により、低金属量環境下では円盤寿命がおよそ百万年以下と、太陽金属量環境下のそれより短いことが示唆された (e.g., Yasui et al. 2010)。円盤を消失させる機構のひとつとして光蒸発がある。光蒸発とは、中心星による紫外線やX線照射で円盤ガスが加熱され、そのガスが円盤から流れ出す現象を指す。光蒸発は、上の円盤寿命の金属量依存性や planet-metallicity correlation といった観測事実を整合的に説明し得るため重要な円盤消失機構として有力視されている。金属量を変えて光蒸発のシミュレーションを遂行することで、光蒸発の金属量依存性を明らかにすることが本研究の目的である。

シミュレーションには、流体コード PLUTO(ver. 4.1) に輻射輸送・ガス加熱/冷却を実装したコードを用いている。光加熱源としては、遠紫外線 (FUV; $6 \text{ eV} \leq h\nu \leq 13.6 \text{ eV}$) による光電加熱、極紫外線 (EUV; $13.6 \text{ eV} \leq h\nu \leq 100 \text{ eV}$) およびX線 ($100 \text{ eV} \leq h\nu \leq 10 \text{ keV}$) による電離加熱を取り入れている。FUV とX線の主な吸収源はそれぞれダストや金属元素であるため、その加熱率が金属量によって変化する。我々は、結果的に誘起される光蒸発流の幾何学/物理/化学的特徴、光蒸発による質量損失率が金属量依存性を明らかにした。また、FUV・X線が金属量に依存してもたらず効果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](#)

P217a デブリ円盤のガスは原始惑星系円盤の残留ガスか？

小林浩 (名古屋大学), 岩崎一成 (大阪大学), 相川祐理 (東京大学), 樋口あや (理研), 山本智 (東京大学)

惑星系は原始惑星系円盤の中で生まれ、円盤ガス散逸は惑星形成に多大な影響を与える。原始惑星系円盤のダスト熱輻射は数百万年のタイムスケールで減少することが赤外観測から示唆されている。しかし、大部分の質量を担うガスの散逸については観測的な証拠が得られていない。原始惑星系円盤の成れの果てかもしれないデブリ円盤は、 10^7 年以上の年齢の主系列星の周りの淡い赤外輻射の観測から認識されている。近年デブリ円盤が持つ一酸化炭素 (CO) ガスも観測されるようになってきた。しかし、この一酸化炭素ガスが原始惑星系円盤の生き残りなのか、固体から脱ガスにより生成されたガスなのか、区別がつかなかった。本研究では、 β Pic や 49 Cet 周りのデブリ円盤における分子の光解離を含んだ PDR モデルの化学計算を行った。その結果、一酸化炭素分子の解離のタイムスケールは数百年と非常に短いことがわかった。光解離による破壊と微惑星など固体から CO の脱ガスが釣り合っているとすると、観測されている CO 輝線強度を説明するには、デブリ円盤の年齢 ($\sim 10^7$ 年) の間に延べ 10 倍の地球質量ほどの一酸化炭素ガスが脱ガスしたと見積もられる。このような膨大の一酸化炭素ガスを固体から取り出すことは現実的ではない。一方、水素分子が存在すれば、一酸化炭素は気相での化学反応によって再生成される。我々の計算では、原始惑星系円盤に比べ低密度の水素分子ガスであっても、光解離反応による破壊と釣り合い、観測された CO ガスの存在を説明できるほど再生成を可能とすることがわかった。さらに、炭素ガスの観測結果と併せることで水素分子ガス密度に制限が与えられた。以上を考慮した結果、 β Pic や 49Cet 周りのデブリ円盤のガスは原始惑星系円盤の残留ガスであると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P218b ALMA アーカイブデータを用いたデブリ円盤の観測的研究

佐藤愛樹, 塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大学), 樋口あや (理化学研究所)

デブリ円盤とは主系列星に付随する光学的に薄いダスト円盤であり、典型的には年齢が 10^7 yr 以上のものを指す。原始惑星系円盤と円熟した惑星系の間の進化段階に位置すると考えられており、惑星形成過程後期段階を探る上で非常に重要なターゲットである。近年の観測装置の発達によりダストのみで構成されると考えられてきたデブリ円盤からガス成分が検出され、さらに ALMA 望遠鏡の高分解能な観測によりダストやガスの分布が明らかになるなどデブリ円盤に関する研究は進歩してきた。しかし、円盤内に含まれるガスやダストの進化については、その時間スケールも含め未解明である。

そこで、デブリ円盤の進化過程の解明を目的として ALMA アーカイブデータを用いて円盤ダスト及びガスの統計的議論を行った。アーカイブにはデブリ円盤として観測されていた天体のデータが 88 天体分 (年齢 $10 - 10^4$ Myr) 存在し、CO ガスおよびダスト連続波が検出されていた天体は 10 天体、ダスト連続波のみが検出されていた天体は 21 天体であった。それらの天体に対し再解析を行い、より高品質な画像を作成した。また、LTE、 $T_{\text{ex}} = 30 - 100$ K、CO/H₂ の存在比を 10^{-4} と仮定しそれぞれの質量を導出したところ、ガス質量は $10^{-2} - 10^0 M_{\oplus}$ 、ダスト質量は $10^{-6} - 10^{-2} M_{\oplus}$ となった。さらにダスト質量、ガス質量それぞれと年齢に関する相関をとってみたところ、ダスト質量においては年齢とともに減少していくという傾向を得ることができたが、ガス質量については顕著な進化傾向は見られなかった。ただし Higuchi et al. (2017) (2017 年秋季年会 P223a) によって報告があったように、ガス質量を導出する際に仮定で用いた CO/H₂ 存在比がデブリ円盤では成り立たない可能性がある。そこで、本研究で作成されたデブリ円盤のカタログは、今後 C 原子輝線観測を提案する際の良いサンプル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](#)

P219b 原始惑星系円盤内縁のダスト濃集領域が作り出す円盤表層の影構造

植田 高啓, 奥住 聡 (東京工業大学), Mario Flock (Jet Propulsion Laboratory)

惑星の種である微惑星は、原始惑星系円盤と呼ばれるダストとガスから成る円盤の中で形成される。ダストの付着成長による微惑星形成では、ダストが衝突時に成長するのではなく破壊されてしまう「衝突破壊問題」や、成長するよりも早く中心星に落下してしまう「中心星落下問題」など、様々な困難が知られている。これらの困難の解決策として、ダストの局所濃集に続くダスト層の重力的な集積による微惑星形成が挙げられる。特に、デッドゾーン内側境界と呼ばれる円盤ガスが 1000 K 程度となる領域は、ダストの落下を食い止め、ダストが濃集することが期待されるため、岩石微惑星の有力な形成場所と言える。

本研究では、デッドゾーン内側境界でのダスト濃集を観測的に同定するための理論モデルを構築するべく、原始惑星系円盤中での動径方向 1 次元のダスト濃集計算を行い、得られたダスト・ガス分布をもとに中心星散乱光強度の動径方向依存性を調べた。計算の際には、ダストのサイズ分布を様々に変え、サイズに依存したダストの散乱・吸収係数および円盤鉛直方向分布を考慮した。その結果、デッドゾーン内側境界に濃集したダストは、壁のように中心星からの光を遮ることで、(i) ダスト濃集領域からの強い散乱光、(ii) その外側に広がる散乱光強度の小さい影領域、という特徴的な構造を作り出すことがわかった。さらに、この影は、影がない場合の温度構造から推定される水氷の昇華線にまで届き、岩石惑星形成領域全体を覆いいうことがわかった。影領域では、影がない場合に比べ 1 桁以上中心星輻射量が減衰しうる。本発表ではこれらの結果を述べたうえで、ダスト濃集領域の観測可能性および円盤表層の影が惑星形成に与える影響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](#)

P220b 円盤形成におけるホール効果の影響：ダストサイズ分布と宇宙線強度依存性

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)

原始惑星系円盤 (以後、円盤) は、重力収縮する分子雲コアの中で原始星の周囲に形成される。円盤は、原始星の重力に対し遠心力によって支えられているため、そのサイズは円盤、または落下するガスが持つ角運動量に依存する。よって、初期に等しい角運動量をもつ分子雲コアでも、重力収縮中に中心部から外部へ輸送される角運動量が異なれば形成される円盤のサイズが変化すると考えられる。角運動量輸送において重要な役割を果たしているのが磁場である。角運動量の輸送効率は、非理想磁気流体力学のホール効果を考慮すると変化すると考えられている。ホール効果の強さは、磁場の強度だけでなく、ガス中に存在している荷電粒子の存在量によって決まり、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まる。

Tsukamoto et al. (2015, 2017) では、3次元シミュレーションによって、あるダストサイズ分布と宇宙線強度を仮定して、ホール効果が円盤の形成に大きな影響を与えることを示した。しかし、シミュレーションではダストサイズ分布と宇宙線強度のパラメータを変えて、それらの影響を調べることは難しい。そこで本研究では、初期に角運動量を持たない分子雲コアを仮定し、ダストサイズ分布と宇宙線強度などをパラメータにして、ホール効果によって誘起されるガスの比角運動量を求めた。さらに形成される円盤のサイズの見積もりを行なった結果、ホール効果はダストサイズ分布と宇宙線強度などのパラメータに対する依存性が強く、また、円盤の構造に十分寄与を与えるほどの角運動量をガスに与えることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P3. 星・惑星形成】

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [D会場]

P301a	13:30	MOA-2015-BLG-404 : 低質量星周りの巨大ガス惑星 永金昌幸 (大阪大学)
P302a	13:42	巨大ガス惑星に付随するスーパーネプチューンの衛星系、または褐色矮星連星: MOA-2015-BLG-337 宮崎翔太 (大阪大学)
P303a	13:54	重力マイクロレンズ観測結果と惑星形成モデルとの比較 鈴木大介 (宇宙航空研究開発機構)
P304b	14:06	低増光率マイクロレンズイベントにおける複数惑星系の初検出: OGLE-2014-BLG-1722 鈴木大介 (宇宙航空研究開発機構)
P305b	14:06	小惑星の大規模な衝突・破壊過程の高解像度数値計算と集積天体の形状分布の解析 犬塚修一郎 (名古屋大学)
P306b	14:06	磁気流体波が駆動するガス惑星からの大気散逸速度の乱流強度依存性 田中佑希 (東京工業大学)
P307b	14:18	ALMA 分光観測による、タイタンにおける大気組成時空間変動の観測的取得と氷衛星大気化学の制約 飯野孝浩 (東京農工大学)
P308b	14:18	太陽系外惑星 HAT-P-39b のトランジット超低分散分光観測 矢口聖 (兵庫県立大学)
P309b	14:18	M 型伴星に潮汐固定された惑星の habitability に主星が与える影響 奥谷彩香 (東京工業大学)
P310a	14:30	多波長測光データの解析によるトランジット偽検出シナリオの制限 宮川浩平 (東京工業大学)
P311a	14:42	Doppler Tomography 法による WASP-33b の軌道傾斜角の測定 渡辺紀治 (総合研究大学院大学)
P312a	14:54	XMM-Newton 衛星による系外惑星 HD189733b のトランジット観測 上塚奈々絵 (奈良女子大学)
P313a	15:06	同期回転する水惑星の気候とスペクトル 藤井友香 (東京工業大学)
P314a	15:18	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傾斜角推定 中川雄太 (東京大学)

3月16日(金) 午前(9:30-10:30) [D会場]

P315a	09:30	GPU を用いた超高解像度の惑星形成 N 体シミュレーション 押野翔一 (国立天文台)
P316a	09:42	衝突脱ガスによる地球大気形成における後期集積天体組成の制約 櫻庭遥 (東京工業大学)
P317a	09:54	巨大氷惑星の衝突現象における天体初期条件の依存性 黒崎健二 (名古屋大学)
P318a	10:06	「あかり」中間赤外線全天サーベイデータを用いた黄道光ダストバンドの形成プロセスの研究 高羽幸 (名古屋大学)
P319a	10:18	系外惑星におけるダスト雲の空隙率進化とその空間構造 大野和正 (東京工業大学)
P320c		G 型巨星における惑星系の日韓共同探査.IX : K 型巨星を周回する惑星の発見 大宮正士 (国立天文台)

P301a MOA-2015-BLG-404 : 低質量星周りの巨大ガス惑星

永金昌幸 (大阪大学), MOA コラボレーション

本講演では、重力マイクロレンズ法による低質量星周りの巨大ガス惑星の発見を報告する。我々、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは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索を行っている。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通過したときに、レンズ天体の重力場によってソース天体からの光が曲げられて一時的に増光する現象である。本研究では、2015年に起こった重力マイクロレンズイベントである MOA-2015-BLG-404 の解析を行った。このイベントには伴星の存在を示すアノマリーがライトカーブ上に見られ、その解析の結果、主星に対する質量比が $\sim 7.2 \times 10^{-3}$ となる惑星を発見した。また、すばる望遠鏡による AO を用いた追加観測が行われたことで惑星系の物理量に更なる制限を与えることが出来た。発見された惑星系は地球から $4.75^{+1.46}_{-1.59}$ kpc の位置にあり、主星の質量が $0.37^{+0.20}_{-0.20} M_{\odot}$ 、軌道長半径が $2.69^{+1.51}_{-0.99}$ au、惑星の質量が $2.82^{+1.49}_{-1.51} M_{Jup}$ 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](#)

P302a 巨大ガス惑星に付随するスーパーネプチューンの衛星系、または褐色矮星連星: MOA-2015-BLG-337

宮崎翔太 (大阪大学), MOA collaboration

我々 Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) コラボレーションは、New Zealand の Mt. John 天文台において重力マイクロレンズ法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、背景天体(ソース天体)の前をレンズ天体が通過する際にレンズ天体の重力でソース天体の光が曲げられることにより一時的に増光する現象である。特に、レンズ天体の伴星の重力によってソース天体からの光がさらに増光されることで、光度曲線上に特徴的な形が現れる。その光度曲線をモデルフィッティングすることで、レンズ天体の伴星/主星質量比などのパラメータを得ることができる。しかし、レンズ天体の質量等の物理量を一意に決めるためには3つの特別な観測量である、アインシュタイン角半径 ($\theta_E \propto \sqrt{M_L}$)、マイクロレンズパララックス及びレンズ天体の放射光の内2つ以上を得る必要がある。本公演で紹介する重力マイクロレンズイベント MOA-2015-BLG-337 は、タイムスケールが非常に短く、主星が軽いことを示唆している。また、光度曲線の増光ピーク付近に特徴的な形が見られ伴星を伴うことがわかる。モデルフィッティングの結果、レンズの伴星/主星質量比が $q \sim 10^{-2}$ 、または $q \sim 10^{-1}$ の二つの解(惑星モデル, 連星モデル)が見つかった。惑星モデルの方が若干優位で、さらに非常に小さな角アインシュタイン半径 θ_E を持つことがわかった。これは後のベイズ推定でパラメータに強い制限を与える。今回、信憑性の高いパララックスは観測されず、直接レンズ天体の物理量を決めることが出来ないため、得られた観測量と銀河系モデルからベイズ推定を行った。その結果、惑星モデルは巨大ガス惑星にスーパーネプチューンが付随する衛星系を示唆しており、連星モデルでは褐色矮星連星系を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P303a 重力マイクロレンズ観測結果と惑星形成モデルとの比較

鈴木大介(宇宙航空研究開発機構), David Bennett(NASA/GSFC), 井田茂(ELSI), Christoph Mordasini, Yann Alibert(ベルン大学), Douglas Lin(UCSC)

惑星形成モデルをテストするため、これまではサンプル数が多い視線速度法やトランジット法によって検出された惑星系が用いられてきた。これらの手法は地球質量程度の軽い惑星まで検出感度があるが、主星近傍に限られている。また、軌道半径が大きい冷たい惑星に関しては、巨大ガス惑星より軽い惑星の検出が困難である。したがって、これらの観測手法から冷たい惑星の形成メカニズムに対する観測的制約を与えることは難しい。一方、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の惑星まで検出することができる。近年ようやく重力マイクロレンズ法による惑星検出数が増え、惑星形成モデルとの統計的な比較が可能になってきた。

本研究では、重力マイクロレンズ観測結果に対し観測バイアスを補正して求めた、氷境界外側における惑星質量比関数 (Suzuki et al. 2016) と惑星形成モデルから予測される惑星分布を比較した。惑星形成モデルは、コア集積モデルに基づいた Ida & Lin (2004) と Mordasini et al. (2009) を用いて、重力マイクロレンズ法で測定できるパラメタ空間 {セパレーション (天球面上に射影した主星-惑星距離をアインシュタイン半径で規格化した値)、質量比} にて観測結果との比較を行った。その結果、どちらのモデルとも独立に、重力マイクロレンズの質量比分布と一致しなかった。特に、約 50 地球質量において、観測結果の方が 30 倍ほど高い惑星頻度を示した。本講演では、使用した惑星形成モデルにおいて惑星軌道移動の強さを変えた場合での比較についても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P304b 低増光率マイクロレンズイベントにおける複数惑星系の初検出：OGLE-2014-BLG-1722

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まで感度があり、他の観測手法に対し相補的である。これまでに、重力マイクロレンズ法によって複数惑星系が2例検出された (Gaudi et al. 2008, Han et al. 2013) が、惑星を検出しやすい高増光率イベントにおいての検出例であった。一方、低増光率イベントである OGLE-2014-BLG-1722/MOA-2014-BLG-490 では、初期解析によりガス惑星が存在することがわかっていたが、詳細な解析により二つ目の惑星が存在することがわかった。MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) や OGLE (The Optical Gravitational Lensing Experiment) グループによるサーベイ観測で検出されるマイクロレンズイベントのほとんどは低増光率イベントである。したがって、より測光精度の良い24時間モニタリングを将来行うことで、マイクロレンズ法により複数惑星系がより多く検出されると期待できる。検出された惑星の主星に対する質量比は、それぞれ 4.5×10^{-4} , 6.4×10^{-4} であり、主星質量が0.5太陽質量だとすると、OGLE-2014-BLG-1722Lbc は、土星質量程度の惑星が氷境界の外に二つ存在する惑星系だと考えられる。本講演では、二つ目の惑星シグナルがソース天体の伴星起因 (バイナリソース) の可能性や、冷たいガス惑星が2個あるような惑星系の存在頻度について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P305b 小惑星の大規模な衝突・破壊過程の高解像度数値計算と集積天体の形状分布の解析

杉浦圭祐, 小林浩, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

太陽系に存在する多数の小惑星は惑星に成長できなかった小天体の生き残りであると考えられており、太陽系の歴史に関する情報を保持していることが期待される。特に小惑星のいびつな形状は小惑星同士の衝突破壊で形成された可能性が高く、太陽系形成過程における衝突史に制限を与える情報に成り得る。小惑星には族と呼ばれる類似した軌道を持つ小惑星の集団が存在するが、このような族は単一の衝突破壊で生じた破片の集団であると考えられている。従って族のサイズ分布や形状分布、自転速度分布などの情報と衝突条件との関係性を明らかにすることで、それぞれの族を作った衝突の条件を明らかにすることに繋がると期待される。そこで本研究では、衝突に伴う岩石の破壊と破壊後の粉体間の摩擦を扱うことのできる弾性体 SPH 法に自己重力を導入した計算コードを用いて、特に破壊的な場合の小惑星衝突をその後の重力再集積まで再現した。小さな集積天体の形状まで調べるために SPH 粒子を 400 万程度使用して計算を行い、十分な粒子数で分解された集積天体の形状を測定してその分布を求めた。その結果、集積天体の中には再び低速度で衝突していびつな形状になるものがあることや、小さな集積天体は丸くなる傾向などがわかった。本講演では高解像度の衝突計算の結果を紹介し、実在する小惑星族との比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P306b 磁気流体波が駆動するガス惑星からの大気散逸速度の乱流強度依存性

田中佑希 (東京工業大学), Christiane Helling (University of St Andrews), 鈴木建 (東京大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

紫外線でのホットジュピター・ホットネプチューンのトランジット観測では、可視光よりも深く非対称なトランジット光度曲線が得られる場合があり、これは大量の大気散逸が発生していることを示している。このような大気散逸は中心星からの強い X 線および極端紫外線による大気加熱により発生しうるが、我々はこれまでに惑星大気中の磁気流体波動の散逸によっても同程度の大気散逸が起こせることを提案してきた。我々のモデルでは、大気乱流強度が質量放出率や散逸する大気特性を決める重要なパラメータとなる。

ここでは、質量放出率や散逸する大気特性の乱流強度への依存性についての発表を行う。特に、紫外線でのトランジット観測から直接得られる量である、散逸大気の動径方向の速度に着目する。紫外線トランジットでは、ライマンアルファ線の青方偏移の大きさから、散逸する大気速度は 100 km/s 程度の速度にまで加速されていることが分かっている。

大気乱流強度が大きい場合は磁気流体波動として注入されるエネルギーが大きいことに対応し、質量放出率は増加傾向を示す。しかし、散逸する大気速度は乱流強度の増大に伴って減少する傾向にある事が判明した。そのため、観測されている速度を説明するためには、乱流強度が比較的小さい方が良いことが示唆される。また、質量放出率や散逸する大気パラメータは時間変動性を示すが、乱流強度が大きい場合はこの変動幅も減少する傾向にあることが分かった。本講演ではこれらのパラメータ依存性について紹介し、また期待される観測的特徴についての議論も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P307b ALMA 分光観測による、タイタンにおける大気組成時空間変動の観測的取得と氷衛星大気化学の制約

飯野孝浩（東京農工大）、佐川英夫（京都産業大）、塚越崇（茨城大）

ALMA は各種較正処理のために太陽系内天体を頻繁に観測しており、天体・観測日時・周波数方向に巨大な較正観測データ群はまさに「太陽系天文学ビッグデータ」と呼ぶべき規模である。我々はこの構成観測データの科学研究への転用により、通常の公募観測ではなし得ない、時間方向に稠密で、周波数方向に巨大な観測アーカイブの構築を試みた。

対象天体の一つが土星衛星タイタンであり、光化学と高エネルギー粒子流入を起点とする多様な大気化学が、他の天体にない複雑な大気組成を実現している。ALMA の較正観測は、空間分解能においてカッシーニ探査機に劣るものの、タイタンの全球を齊一的に観測でき、かつ数十回/年という高い時間分解能を持つ。我々は ALMA アーカイブにおいて公開済みのタイタン観測データのうち、バンド 5 以上の全データについて較正とイメージングを行い、1730 個に及ぶイメージ (3 次元 cube fits) を生成した。このうち、強度の高いシアノポリイン HC₃N の純回転遷移と振動遷移から、247 の分子積分強度 (moment-0) マップを生成した。観測時期は 2012 年 4 月から 2016 年 7 月である。これにより、分子の存在ピークの季節変化に伴う移動が確認できた。シアノポリイン以外の分子についても同様の解析を進めている。併せて全イメージから未検出の同位体の探索を行い、シアノポリインおよびアセトニトリル CH₃CN の ¹⁵N 置換体を高い S/N で検出できた。さらに分子の 3 次元分布を導出する輻射輸送計算コードや、¹³CO 分子輝線からの時間変化する温度構造の決定手法の開発に取り組んでいる。得られた分子量やその時空間変動から、タイタン大気化学の制約に取り組む。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P308b 太陽系外惑星 HAT-P-39b のトランジット超低分散分光観測

矢口聖, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 満田和満, 一木真, 大橋宗史 (東京大学)

太陽系外惑星を観測するための手法の1つであるトランジット法では、減光の深さから惑星と恒星の半径比を求めることができる。惑星大気の吸収・散乱特性は波長により異なるので、複数の波長の観測で違う半径比を示すことがある。ここから惑星大気の組成について調べることができる。例えば HAT-P-54b は惑星と恒星の半径比が可視光領域よりも近赤外領域の方が大きいことが分かった (多葉田 日本天文学会 2017 年春季年会)。

太陽系外惑星 HAT-P-39b は 2012 年に発見され、公転周期が 3.5439 日、惑星半径と恒星の半径比は Sloan i バンドで 0.0993 ± 0.0025 と求められたホットジュピターである (Hartman et al. 2012)。

我々は口径 2m のなゆた望遠鏡と狭帯域撮像分光装置 LISS を使い HAT-P-39b を観測した。超低分散グリズムモード ($R \sim 80$) を使用し、波長範囲 $6000\text{\AA} - 9000\text{\AA}$ のスペクトルを得た。HAT-P-39b のトランジット継続時間は 251 分で、本観測ではトランジットを含む 390 分間で観測を継続した。またシーイングの変化によるフラックスの損失を減らすため $10''$ 幅のロングスリットを使用した。HAT-P-39 と 196 秒角離れ、V 等級で 2.35 等級明るく、F5 型の天体を参照星として同時に観測した。

解析の結果、 $6200\text{\AA} - 6730\text{\AA}$ と $7260\text{\AA} - 8850\text{\AA}$ においてトランジットの深さはほぼ一定だが、 $6730\text{\AA} - 7260\text{\AA}$ においては他波長よりトランジットの深さは小さいことが分かった。トランジットの深さの平均は 0.00872 ± 0.000603 等級、惑星と恒星の半径比の平均は $0.0890^{+0.0031}_{-0.0032}$ と求まった。講演ではこの惑星の大気について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P309b M型伴星に潮汐固定された惑星の habitability に主星が与える影響

奥谷彩香 (東京工業大学), 井田茂 (地球生命研究所), 藤井友香 (地球生命研究所)

生命居住可能 (ハビタブル) な惑星についての議論は、近年さかんに行われている。これらの議論においては、ほとんどの場合、中心星がひとつであることを仮定してその星の影響のみ考えられてきた。しかし、恒星の大半は連星系をなすため、連星系のハビタブル惑星について考えることは重要である。Jaime et al. (2014) などにおいては、2つの恒星からの放射量の合計と惑星軌道の安定性から、連星系のハビタブルゾーン (HZ) の定式化が試みられた。これらの議論では惑星を点として扱っており、惑星の3次元的な気候や惑星の熱容量を無視していた。

そこで本研究では、連星系における惑星の気候を、2次元エネルギーバランスモデル (e.g., North 1975) を用いて調べ、連星系のハビタブルゾーンを再検討する。今回は特に、M型星まわりに惑星が公転しており、それらが他の恒星と連星をなすような系について着目した。M型星は恒星の約3/4をしめる普遍的な存在であり、さらにその半径の小ささから、地球型惑星の透過光観測に好都合なターゲットとして注目されている。一方で、M型星は光度が小さいため HZ が中心星に近く、HZ の惑星は潮汐固定されると考えられる (Kasting et al. 1993)。これにより、揮発性物質は高温な昼面から蒸発し、夜面で凝縮して cold trap される可能性がある。この、惑星の大気崩壊はハビタビリティを考える上で問題となってきた (Joshi et al. 1997)。しかし、連星系をなす M型星周りの惑星においては、もう一方の恒星がはるかに明るい G型星などの場合、そのもう一方の恒星の放射の影響で表面の温度分布が変わり、大気崩壊の問題を受けにくくなることが考えられる。このような状況もふまえた上で、二つの恒星の放射の影響と惑星表層での熱輸送を考慮した場合に、温暖な気候を保つことができる連星系ハビタブル惑星の条件について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P310a 多波長測光データの解析によるトランジット偽検出シナリオの制限

宮川浩平, 平野照幸, 佐藤文衛 (東工大), 福井暁彦 (NAOJ, OAO), 成田憲保 (東大, NAOJ, ABC)

ケプラー宇宙望遠鏡はケプラーミッション、第二次ミッションである K2 ミッションによる高精度測光観測を通して、現在までに 5000 を超えるトランジット系外惑星候補を報告している。さらに、K2 ミッションではケプラーミッションでは探査の進められてこなかった若い星団領域がターゲットに含まれており、惑星形成直後の重要なデータが得られる。

その一方で、宇宙望遠鏡で取得されたデータの中には食連星による惑星系の偽検出が多く含まれる。主にこれらは地上からの視線速度追観測により取り除かれるが、表面の活動度の高い若い星や暗い晩期型星を中心星とする系、地球型惑星などの小型惑星を含む系などに対しては視線速度法の適用が困難である。また高精度の視線速度観測には 4m 級の大型望遠鏡を要するため効率的ではない。

上記の問題を解決する、トランジット惑星候補に制限を与える一つの手法として多波長トランジット測光が挙げられる。これは各恒星ごとのフラックスの波長依存性を利用したもので、食連星のような複数個の恒星を含む系では、惑星系と異なり観測バンドによるトランジットの深さの変化が現れる。

本講演では、多波長トランジット測光データから系の正体に制限を与えるアルゴリズムの開発と、いくつかの K2 ターゲット天体に対してこれを適用した結果を紹介する。また、恒星の理論進化モデルを用いた観測シミュレーションによる示唆と併せてこの結果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](#)

P311a Doppler Tomography 法による WASP-33b の軌道傾斜角の測定

渡辺紀治 (総合研究大学院大学), 成田憲保 (東京大学), Marshall C Johnson(オハイオ州大学)

中心星の自転軸と惑星の公転軸の成す角度である惑星軌道傾斜角は、惑星軌道の進化を理解するのに重要なパラメーターである。これを測定するために、今までは惑星トランジット中の見た目の視線速度の変化から求める Rossiter-McLaughlin 効果 (RM 効果) が使われたが、近年ではトランジットの間に恒星のラインプロファイルに現れる影の移動を捉える Doppler Tomography 法 (DT 法) という方法が使用されている。DT 法は、高速自転星周りの惑星軌道傾斜角の測定が可能であることや、RM 効果よりも系統誤差が小さくなる傾向がある (Brown et al., 2012) といった利点がある。

そこで我々は、2011 年に HDS(すばる望遠鏡) で取得された分光データから、DT 法を使用して、WASP-33b の軌道傾斜角の算出を試みた。この惑星は、高速自転星周りを逆行公転するホットジュピターである (Cameron et al. 2010b)。Johnson et al. 2015 によって、WASP-33b の軌道が 6 年間かけてわずかに歳差運動を起こしていることが明らかになった。本研究では、これらの先行研究のように、HDS のデータからでもこの惑星の軌道が逆行であることが確認できた。この講演では、先行研究よりもさらに細かい惑星軌道の歳差運動を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P312a XMM-Newton 衛星による系外惑星 HD189733b のトランジット観測

上塚奈々絵, 山内茂雄 (奈良女子大学)

ライマン α 線や紫外線の観測から、多くのホットジュピターには広がった大気を持っていることが知られている。ホットジュピターの大気は主星からの X 線や極紫外線 (EUV) の放射、恒星風などの影響を受けるため、大気蒸発や惑星の質量損失が生じる。このような大気の散逸や主星と惑星の相互関係を探るためには、トランジットの際に得られる、惑星大気を通過した主星からの X 線放射のスペクトルを解析することにより、惑星の上層大気までの形態や構成を正確に再現することが重要となる。

2013 年、X 線波長によるトランジット観測が HD189733b で初めて成功し、トランジットの深さ (光度差) は可視光波長の場合よりも大きいことがわかった (Poppenhaeger et al. 2013)。このことから、広がった大気による吸収の可能性が指摘されているが、主星表面の活動領域を隠した可能性も否定できなかった。また、上層大気で生じる光電離やプラズマ状態を考慮し、HD189733b の大気密度分布モデルが計算された (Salz et al. 2016) が、このモデルでは X 線によるトランジット観測で示された光度差を説明できなかった (Marin et al. 2017)。

本研究では、XMM-Newton 衛星による HD189733b の複数回のトランジット観測データを解析し、広がった惑星大気存在の明確化、HD189733b の密度分布モデルの修正を行った。解析より、各観測から得られた光度差がいずれも同程度であることを確認した。よって、主星の活動領域を隠した可能性は低いと考えられる。さらに、トランジット中のスペクトルから惑星大気による吸収の効果を調べたところ、Salz et al. の密度分布モデルを $10^3 - 10^4$ 倍大きくする必要があることがわかった。本講演では、これらの解析手法や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](#)

P313a 同期回転する水惑星の気候とスペクトル

藤井友香 (東工大 ELSI) , Anthony D. Del Genio, David S. Amundsen (NASA/GISS)

近年、太陽系近傍に、低質量星 (M 型星) のハビタブルゾーンにある地球サイズの惑星が次々と見つかっている。このような惑星は、今後の分光観測の重要なターゲットとなっており、大気の組成や構造、さらには生命環境の可能性を探っていくことが期待されている。低質量星のハビタブルゾーンにある惑星は、主星に近く、潮汐力の効果で同期回転している可能性が高い。そのため、地球と同等の平衡温度でも、かなり異なった気候を持つことが考えられる。特に、表面が水で覆われているような惑星 (水惑星) では、昼面で発達する雲の影響により、温暖な気候を維持できる入射フラックスの範囲が、地球のような自転周期が短い惑星に比べて広がることが示唆されている (e.g., Yang et al. 2013; Kopparapu et al. 2016)。

これらを踏まえて我々は、3次元大気循環モデル (ROCKE-3D; Way et al. 2017) を用いて、同期回転する水惑星の気候を、水蒸気分布に注目して調べた。水蒸気分布、特に大気の上層における水蒸気量は、水の散逸効率や気候の安定性を左右するだけでなく、透過分光観測における水蒸気やその他の分子の検出可能性に影響するからである。さまざまなスペクトル型の入射フラックスに対する惑星気候の応答を調べた結果、同期回転する惑星では、従来考えられていたよりもはるかに低い表面温度で大気上層の水蒸気の混合率が上昇し始め、いわゆる moist greenhouse limit まで到達することが示唆された。これは、雲により表面温度が安定化される一方で、上層の水蒸気と雲粒子による入射光の吸収によって上層大気の循環が駆動されるためと考えられる。講演では、透過光スペクトルへの影響や、惑星大気依存性を含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P314a 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傾斜角推定

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)

地球のように地表の反射率が不均一な惑星を遠方から観測すると、自転と公転に伴って観測される散乱光が変動する。この時間変動を解析すれば地表面に関する情報や惑星の自転情報を取り出すことができる。観測で角度分解できない太陽系外惑星の場合、表層の情報を取り出す手段は光度曲線解析に限られる。Kawahara (2016) は、惑星の光度曲線の周波数変調からその自転傾斜角と自転周期を推定する手法を提案し、実際の地球のデータから雲を取り除いた光度曲線を解析することでその有用性を示した。

今回我々は、シミュレーションを用いて雲の効果も考慮しても自転傾斜角を推定できるかどうか調べた。地球のように雲が形成されて地表の大部分を覆う惑星では、その高い反射率で光度曲線に強く影響する。自転傾斜角の異なった惑星における雲構造と大気構造を矛盾なく考慮する必要があるため、我々は大気大循環モデル DCPAM5 を用いて雲の生成・消滅・運動を表現した。惑星表層環境の設定は地球のデータにした。ただし自転傾斜角のみ 0 度から 90 度まで 7 通りに変更した。さらに輻射輸送計算と組み合わせ惑星の散乱光度曲線を構成し、時間-周波数解析を行った。自転傾斜角が小さい場合、惑星の自転傾斜角と自転周期を同時によく推定できることがわかった。より大きい自転傾斜角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](#)

P315a GPUを用いた超高解像度の惑星形成 N 体シミュレーション

押野翔一 (国立天文台), 堀安範 (ABC/国立天文台), 岩澤全規 (理化学研究所), 藤井通子 (東京大学)

微惑星の集積による惑星形成過程を解明する上で N 体シミュレーションは非常に強力な手法であり、今まで多くのシミュレーションが行われてきた。それにより暴走成長段階と寡占成長段階という、微惑星から惑星へと成長する過程が明らかになってきた (Kokubo & Ida 1996,1998)。それらの N 体計算の殆どは数千体から数万体の微惑星を細いリング上に分布させた初期条件を用いたものである。しかし、このようなシミュレーションでは解像度が足りず、近年示唆されている暴走成長段階と寡占成長段階の間の遷移段階が現れない (Goldreich et al. 2004, Morishima 2017)。一方で、従来惑星形成において広く用いられてきたシミュレーションスキーム (Hermite 法) では、計算コストが N^2 に比例するため、「京」等のスーパーコンピュータを用いても 100 万體以上の計算を行う事は難しい。

最近我々が開発した PENTACLE コードはこの問題を解決し、100 万體を超える大規模計算が可能な並列 N 体シミュレーションコードである (Iwasawa et al. 2017)。このコードは惑星形成シミュレーションを高速化するスキーム Particle-Particle Particle-Tree(P³T) 法 (Oshino et al 2011) を並列粒子法コード開発支援フレームワーク (FDPS)(Iwasawa et al. 2016) を用いて並列化したコードである。更に GPU に対応した PENTAGLE コードを開発して性能を測定中である。

本発表では最大 1000 万體粒子を用いた地球領域の惑星形成シミュレーションの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P316a 衝突脱ガスによる地球大気形成における後期集積天体組成の制約

櫻庭遥 (東京工業大学), 黒川宏之 (地球生命研究所), 玄田英典 (地球生命研究所)

地球に現在存在する揮発性元素の起源を解明することは、大気や海洋さらには生命の起源を探る上で非常に重要である。特に地球では炭素質コンドライトに比べてC/H比およびN/H比が小さいことが知られている (Hirschmann & Dasgupta 2005, Pontoppidan et al. 2014)。地球表層に存在する揮発性元素は、主に隕石重爆撃期に経験した後期天体集積による衝突脱ガスによってもたらされ、大気を形成したと考えられている (de Niem et al. 2012 など)。衝突天体の組成については現時点で正確なことは分かっていない。

我々は、地球大気の形成過程を詳しく調べるため、原始惑星における衝突脱ガスおよび大気剥ぎ取りモデル (Svetsov 2000, Shuvalov 2009) を用いて組成 (CO_2 , H_2O , N_2 +希ガスの3成分を仮定) を考慮した大気進化を計算した。初期地球表層では、現在の地球のような海洋と炭素循環による炭酸塩がすでに存在している状況を仮定し、 $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ 分圧に上限を設けることで近似した。本研究では、現在の地球の揮発性元素量から、衝突天体の揮発性元素組成に制約を与えることを目的とする。衝突総質量には地球質量の1%を仮定した (Bottke et al. 2010)。

計算の結果、大気量は十分時間が経つと供給と損失がつりあうような定常状態に近づくことが分かった。その定常量は、衝突総質量ではなく衝突天体組成に依存して変化した。特に惑星内部に取り込まれにくく、安定して大気に分配される希ガスや N_2 の存在量に着目すると、衝突天体組成が炭素質コンドライトを想定した揮発性成分を比較的多く含む場合よりも、エンスタタイトコンドライト組成を想定した揮発性成分があまり含まれていない場合の方が獲得量が少なくなり、現在の存在量をよく説明することが分かった。また講演では、C/H比およびN/H比の衝突天体組成依存性についても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P317a 巨大氷惑星の衝突現象における天体初期条件の依存性

黒崎健二，犬塚修一郎（名古屋大学）

宇宙望遠鏡による観測データの蓄積により，多数の系外惑星の発見が報告されている．その中でも，海王星サイズの天体の報告数が最も多く，これらの天体は固体成分のコアに分厚い大気をまとった惑星か，氷成分を多く持った惑星であると考えられている．このような惑星は形成初期に巨大衝突を受けていると考えられているが，巨大衝突の発生により惑星の自転軸が変動する可能性 (Slattery et al. 1992) が指摘されている．また地球型惑星の場合には衛星の形成や，内部組成構造の混合も議論されており (Nakajima & Stevenson 2015; Deng et al. 2017)，衝突現象による影響は惑星系の起源を理解する上で欠かせない．

本研究では，巨大氷惑星の衝突現象を扱う．氷成分に富んだ惑星が巨大衝突を受けてエンベロープや大気が氷成分で汚染されると，その後の熱進化に影響を与えることが示唆されている (Kurosaki & Ikoma 2017) が，巨大衝突によって初期条件がどのように変わるのかまだよくわかっていない．本研究では，SPH 法によって，水素エンベロープと氷コアからなる天体に氷天体が衝突するような状況を考え，天体の初期条件が異なる場合での，衝突前後の角運動量輸送の効率を議論する．また衝突時に強い衝撃波が発生しうるため，標準 SPH (e.g. Monaghan 1992) と Godunov 法を適用した SPH 法 (Inutsuka 2002) で比較し，衝突によって発生する現象の理解を目指す．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P318a 「あかり」中間赤外線全天サーベイデータを用いた黄道光ダストバンドの形成プロセスの研究

高羽幸, 金田英宏, 石原大助, 深川美里, 安田晃子, 小林浩 (名古屋大学), 大坪貴文 (JAXA/宇宙科学研究所)

赤外線天文衛星「あかり」は、波長 9、18 μm 帯の中間赤外線において全天サーベイ観測を行い、そのデータから、巨大有機分子や固体微粒子からの放射を全天で捉えたマップが作成された。これらの波長帯では、太陽系内に広く分布する惑星間ダストからの熱放射が、黄道光として支配的な前景放射となっている。そのため、「あかり」中間赤外線全天サーベイデータは、惑星間ダストの研究をする上で有用である。

これまで、COBE/DIRBE のデータに基づき、Kelsall et al. (1998) が、惑星間ダストの標準的な空間分布モデルを構築した (Kelsall model)。さらに、Kondo et al. (2016) が、「あかり」の 9、18 μm 帯の全天サーベイデータに基づき、黄道光の支配的な成分である smooth cloud 成分に着目して Kelsall model を改良した。これにより、黄道光の差し引き精度が向上したが、黄道面付近の観測データは、未だに十分に再現されていない。これは、smooth cloud よりも小さなスケールで広がる dust bands 成分に起因するずれである。そこで本研究では、「あかり」の 18 μm 帯の全天サーベイデータを用いて、dust bands 成分に着目した Kelsall model の改良を行い、dust bands の形成過程について議論する。

本研究で得たモデルは、dust bands 成分の分布構造が、中央面に対して非対称であることを示唆している。このような非対称性が生み出される原因として、dust bands の形成過程において、小惑星からのダスト供給量が、 10^5 年よりも短いタイムスケールで増減していることが考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P319a 系外惑星におけるダスト雲の空隙率進化とその空間構造

大野和正, 奥住聡 (東京工業大学), 田崎亮 (東北大学)

近年のハッブル宇宙望遠鏡などによる多波長トランジット観測から、多くの系外惑星は大気上層に雲を持つことが明らかとなってきた。観測スペクトルの形状は雲の空間構造に強く影響を受けるため、観測結果を正しく解釈するためには雲形成過程の理解が不可欠である。従来の雲モデルでは、雲構成粒子(雲粒)は内部に空隙を持たないコンパクト球であると仮定されてきた。しかし、地球大気の雪片やエアロゾルのように、実際の雲粒は内部空隙を持つアグリゲイトとして存在すると考えられる。

我々は、雲粒の凝縮・衝突合体による成長と拡散・沈殿による輸送を考慮した雲微物理モデルを開発し、系外惑星におけるダスト雲の空間構造を調べてきた(天文学会 2017 年春季年会)。本講演では、雲粒の成長に伴う空隙率進化を考慮することで、内部空隙が雲の空間構造に与える影響を調べた。空隙率進化モデルは Kataoka et al. (2013) を用いて、衝突由来の空隙生成・圧縮とガス摩擦による圧縮を考慮した。計算の結果、雲粒の平均密度は物質密度より数桁低くなりうることが明らかとなった。低密度粒子は沈殿速度が低いため、高空隙率を持つ雲粒は従来の推定より大量に上層まで輸送される。一方、雲が光学的に厚くなる高度(雲頂)には、最大値が存在することが明らかとなった。この最大雲頂高度は、アグリゲイト構成粒子が大きい場合には沈殿が卓越し、小さい場合には減光断面積が小さくなることに由来しており、大気観測の結果を解釈するうえで有用である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P320c G型巨星における惑星系の日韓共同探査.IX: K型巨星を周回する惑星の発見

大宮正士, 泉浦秀行, 神戸栄治, 原川紘季 (国立天文台), Gwanghui Jeong, Byeong-Cheol Lee, Inwoo Han (KASI), 佐藤文衛 (東工大), David Mkrtchian (NARIT)

我々は、中質量星における惑星系の姿、ならびに、その形成と進化の理解を目指して、ドップラー法を用いたG型巨星周りの惑星サーベイを日本と韓国の観測所で共同で行ってきた。本サーベイでは、韓国普賢山天文台(BOAO) 180cm望遠鏡と岡山天体物理観測所(OAO) 188cm望遠鏡の可視光高分散分光器(BOES、HIDES)を用いた視線速度モニター観測により、K型巨星HD40956とHD111591の周りに惑星を発見したので報告する。

BOAOでのスクリーニング観測によって視線速度変化が大きいとわかった天体に日韓両観測所において集中的なフォローアップ観測を行ったところ、HD40956とHD111591の周りにそれぞれ一つの巨大惑星を発見した。HD40956は2太陽質量の質量、 $[Fe/H]=0.14$ の金属量をもつ、有効温度4869KのK0型の巨星であり、我々の観測によりその星の視線速度に周期578日、振幅 68m s^{-1} の周期変化を捉えた。視線速度変化の軌道解析、彩層線Ca II K線のチェック、スペクトル線輪郭の検証から、この変化は軌道長半径1.4AU、軌道離心率0.24、最小質量2.7木星質量の惑星によるものであることがわかった。また、この星の視線速度変化には惑星起因の可能性のある長期トレンドや短周期の変化があることがわかっており、これらの検証には継続的な観測を行なう必要がある。HD111591は1.94太陽質量、 $[Fe/H]=0.07$ 、有効温度4884KのK0III型の巨星であり、周期1056日、振幅 59m s^{-1} の視線速度変化を持つ。この変化は、彩層線コアに輝線がみられないこと、ヒッパルコス測光とスペクトル線輪郭に視線速度変化と同周期の変化がないことから、この星には軌道長半径2.5AU、軌道離心率0.26、最小質量4.4木星質量の惑星が周回し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](#)

【Q. 星間現象】

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [C会場]

Q01a	13:30	超新星残骸 G323.7-1.0 における 6.4 keV 鉄輝線と低温プラズマの発見 佐治重孝 (名古屋大学)
Q02a	13:42	「すざく」「NuSTAR」による重量崩壊型超新星残骸カシオペア A の X 線精密分光 中嶋大 (大阪大学)
Q03a	13:54	X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 Sgr A East の過電離プラズマの探査 小野彰子 (奈良女子大学)
Q04a	14:06	すざく衛星による超新星残骸 IC 443 の過電離プラズマの電離状態の調査 平山ありさ (奈良女子大学)
Q05a	14:18	H α 輝線の偏光観測による超新星残骸衝撃波での宇宙線量の測定について 霜田治朗 (青山学院大学)
Q06a	14:30	超新星残骸の X 線ガンマ線観測による衝撃波近傍の拡散係数への制限 辻直美 (立教大学)
Q07a	14:42	超新星残骸 W44 超高速分子雲の起源 I; ALMA による詳細観測 田邊恭介 (慶應義塾大学)
Q08a	14:54	超新星残骸 W44 超高速分子雲の起源 II; 磁気流体シミュレーション 野村真理子 (慶應義塾大学)
Q09a	15:06	超新星残骸 W44 からの過電離プラズマの空間構造 松村英晃 (京都大学)
Q10a	15:18	X 線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定 2 中島真也 (理化学研究所)
Q11c		プラズマ粒子シミュレーションを用いた無衝突衝撃波遷移層の構造のベータ依存性の研究 篠田理人 (青山学院大学)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [C会場]

Q12a	09:30	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 爆発的星形成領域 W43 の CO 輝線観測 I 河野樹人 (名古屋大学)
Q13a	09:42	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : Spitzer Bubble N4 の星形成 藤田真司 (名古屋大学)
Q14a	09:54	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN):ホットコアの無バイアスサーベイ (2) 解析手法の改良と銀経 $10^{\circ} - 20^{\circ}$ の解析結果 佐藤一樹 (東京大学)
Q15a	10:06	シェル型 TeV ガンマ線超新星残骸 HESS J1912+101 に付随する分子雲の発見 佐野栄俊 (名古屋大学)
Q16b	10:18	野辺山 45m 鏡と VERA による銀河系外縁部星形成領域 WB886 の観測的研究 小出凖人 (鹿児島大学)
Q17b	10:18	Cole-Karkkainen 電磁場数値解法を用いた数値チェレンコフ放射の抑制特性 松本洋介 (千葉大学)
Q18b	10:18	W50 と周辺の星間ガスの電波観測から探る相互作用の可能性 酒見はる香 (九州大学)
Q19a	10:30	「あかり」による銀河系円盤全域における赤外線バブルの統計的研究 花岡美咲 (名古屋大学)
Q20a	10:42	大質量星形成領域 Orion B における大規模なスケールでの分子雲衝突の検証 堤大陸 (名古屋大学)
Q21a	10:54	ASTE 望遠鏡を用いた巨大星団 RCW38 における [CI] 輝線マッピング観測 泉奈都子 (国立天文台)
Q22a	11:06	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 榎谷玲依 (名古屋大学)
Q23a	11:18	分子雲衝突数値シミュレーションモデルにおけるコア質量関数 早川貴敬 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

3月16日(金) 午後(13:30-15:30) [C会場]

Q24a	13:30	星間ガスの微細構造と原子・分子相転移と乱流の研究 立原研悟(名古屋大学)
Q25a	13:42	分子雲形成・進化・破壊と分子雲衝突による星形成を含んだ分子雲質量関数の時間発展 小林将人(名古屋大学)
Q26a	13:54	MAXI J1421-613 周辺からの X 線円環放射の発見 信川久実子(奈良女子大学)
Q27a	14:06	第一原理計算による星間氷表面への原子の吸着エネルギーの推定 1:量子化学計算による系統的予測 中谷直輝(首都大学東京)
Q28a	14:18	第一原理計算による星間氷表面への原子の吸着エネルギーの推定 2:分子雲化学組成への影響 下西隆(東北大学)
Q29a	14:30	M 31 の FIR データを用いたストカスティック加熱モデルに基づいたダスト放射コードの検証 梨本真志(東北大学)
Q30a	14:42	宇宙環境曝露実験によって探る炭素質星間塵の性質 左近樹(東京大学)
Q31a	14:54	窒素含有炭素質ダストの合成実験 遠藤いずみ(東京大学)
Q32a	15:06	野辺山 45m 望遠鏡による近傍銀河核のラインサーベイ観測 I. データ 高野秀路(日本大学)
Q33a	15:18	野辺山 45 m 望遠鏡による近傍銀河核のラインサーベイ観測 II. 解析 中島拓(名古屋大学)

3月17日(土) 午前(9:30-11:18) [C会場]

Q34a	09:30	銀河中心北側に位置する角状拡散軟 X 線放射 山内茂雄(奈良女子大学)
Q35a	09:42	銀河系中心 50km/s 分子雲の星形成分子雲コア 上原顕太(東京大学)
Q36a	09:54	熱的プラズマに満たされた銀河中心ローブ 藤沢健太(山口大学)
Q37a	10:06	Three-Dimensional Simulation of the Formation of Galactic Prominence in the Galactic Central Region Chih-Han Peng (Chiba University)
Q38a	10:18	X 線天文衛星「ひとみ」搭載 SGD によるかに星雲からの偏光ガンマ線の観測 内田悠介(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
Q39a	10:30	硬 X 線偏光検出器 PoGO+ 気球実験によるカニ星雲の偏光観測 高橋弘充(広島大学)
Q40a	10:42	CTA の高空間分解能によるかに星雲の観測シミュレーション 高橋知也(山形大学)
Q41c		OH 18 cm 線で探る Pipe nebula の構造形成 海老澤勇治(東京大学)
Q42a	10:54	コロナ質量放出から時間遅延した地球周辺の電荷交換 X 線イベントの検出 伊師大貴(首都大学東京)
Q43a	11:06	乱流磁場を考慮した相対論的磁気流体風の減速 田中周太(甲南大学)

Q01a 超新星残骸 G323.7-1.0 における 6.4 keV 鉄輝線と低温プラズマの発見

佐治重孝 (名古屋大学), 松本浩典 (大阪大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 山内茂雄 (奈良女子大学), 小山勝二 (京都大学)

G323.7-1.0 は、見かけの大きさが $51' \times 38'$ の非常に薄い電波シェルからなる超新星残骸 (SNR) 候補天体である (Green et al. 2014)。これまでに、GeV-TeV 帯域でのガンマ線も検出されている (Araya 2017; Puehlhofer et al. 2015)。一方、SNR に付随する X 線放射はこれまで見つかっていなかった。

我々は G323.7-1.0 における X 線放射を探すため、すざく X 線アーカイブデータ (4 観測、合計 156.8 ks) を解析した。その結果、空間的に広がった 6.4keV 輝線と、0.5-3 keV で見えるソフトな X 線放射を電波シェル上に発見した。6.4 keV 輝線とソフト X 線放射の空間分布は互いに異なっていた。6.4 keV 輝線の検出の有意度は 4.1σ であった。また、輝線の中心エネルギーは 6.40 ± 0.04 keV で、鉄の電離度がおよそ Ne 状より低いことを示していた。6.4keV 輝線の等価幅の下限値は 1.2 keV だった。ソフト X 線放射は、温度が 1.1 keV 程度の熱的プラズマと考えて矛盾しなかった。一方、鉄 $K\alpha$ 輝線を放射するような高温のプラズマは検出されなかった。

電離度が極端に低い電離非平衡プラズマは、6.4 keV 輝線を放射し得る。しかし、観測された低い電離度と、等価幅から求めた鉄の組成比 (太陽組成の 4 倍以上) は、古い SNR とみられる G323.7-1.0 では説明できなかった。6.4 keV 輝線の起源は熱的プラズマではなく、星間物質中の鉄原子の光電離もしくは非熱的荷電粒子による電離と考えられる。光電離説は、明るい X 線天体が近傍にないため棄却された。電子による内殻電離では観測された等価幅を説明できなかった。一方、SNR で加速されたと思われる ~ 10 MeV の陽子ならば観測結果を説明できた。

本講演では特に 6.4 keV 輝線に着目し、その特徴を報告し放射機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a 「すざく」「NuSTAR」による重量崩壊型超新星残骸カシオペア A の X 線精密分光

池山優樹, 中嶋大, 常深博, 井上翔太, 林田清, 米山友景, 松本浩典 (大阪大学), 小山勝二 (京都大学)

カシオペア座 A は、1670–1680 年頃に爆発した、銀河系内で最も若い、重力崩壊型 (CC: core-collapse) 超新星爆発の残骸 (SNR: supernova remnant) である。超新星の親星については、多くの観測により理解が進んでいる。SNR 周辺の光エコー観測 (Krause et al. 2008) からは、外層の水素をほとんど失った状態の赤色超巨星においてヘリウムコアが崩壊して爆発したと推定される (IIb 型超新星)。また ^{44}Ti の崩壊ガンマ線観測からは、爆発時の対流不安定性に対する制限が得られた (Grefenstette et al. 2014)。しかし、CC 超新星の爆発機構の詳細は以前謎のままであり、その理解のためには、マスカット付近に存在する、Fe 族元素の量や分布などが重要な鍵となる。

そこで我々はまず、軟 X 線の分光性能に優れた「すざく」と、広帯域分光性能に優れた「NuSTAR」の長時間観測データを解析することで、カシオペア座 A からの熱的放射成分と非熱的放射成分を分離した。2017 年秋季年会の報告では、「すざく」データから、爆発噴出物中の Ni を検出 (CCSNR としては W49B について二例目) し、さらに、Cn, Mn, Fe の組成比と合わせ、親星の質量を 25 太陽質量程度と推定した。今回は、硬 X 線データも合わせて解析することでスペクトル中の非熱的放射成分を評価し、爆発噴出物の組成と質量をより精密に評価した。また、数年間の時間間隔を持つ複数の「すざく」データから、X 線放射の時間変動についても調査しており、今回は Chandra の結果 (Sato et al. 2017) 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](#)

Q03a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 Sgr A East の過電離プラズマの探査

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)

超新星残骸 (SNR) のプラズマは通常、電離が再結合より優勢な電離優勢プラズマ状態から、電離と再結合とが平衡状態にある電離平衡プラズマ状態へと進化する。しかしながら最近の観測により、電離より再結合が優勢の再結合優勢プラズマ (RP) が発見されている (例えば、Ozawa et al. 2009; Ohnishi et al. 2014)。RP に特有の放射として、自由電子が高階電離したイオンに再結合する際に出される、放射性再結合連続 X 線 (RRC) がある。この RP の形成過程について、議論が続いている。

Sgr A East は銀河中心領域に位置する複合形態型 SNR である。Sgr A East の放射から、Koyama et al. (2007) は 2 温度 (~ 1.2 keV, ~ 6 keV) の電離平衡プラズマを発見した。しかしながら SNR には通常、このように高い温度のプラズマは見られない。このことは、Sgr A East が RP を持つ可能性を示している。本研究では、X 線天文衛星「すざく」を用いて Sgr A East のスペクトル解析を行った。その際、解析可能なデータを積算し、光子統計を上げたスペクトルを作成した。また Sgr A East のバックグラウンドについてもこれまでの研究成果に基づいて丁寧に評価した。その結果、今回初めて Sgr A East の放射から RP に特有の RRC 構造を発見し、Sgr A East が RP を持つ SNR であることを明らかにした。また初めて Cr, Mn の組成を明らかにした。これらの結果から Sgr A East の可能性のある起源を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04a すざく衛星による超新星残骸 IC 443 の過電離プラズマの電離状態の調査

平山ありさ, 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)

超新星残骸は衝撃波によって加熱され、プラズマ状態となり X 線を放射をする。一般的に超新星残骸のプラズマは、衝突電離によって電離が支配的な状態にあるが、一部の超新星残骸では衝突電離よりも再結合の方が支配的な状態にある。このようなプラズマは過電離プラズマ (RP) と呼ばれる。

IC 443 はあすか衛星の観測により、初めて RP が発見された超新星残骸である。Ohnishi et al.(2014) は、元素ごとに一様な電離状態の RP モデルを用いて、IC 443 を 3.7 - 10.0 keV のエネルギーバンドで解析し、Fe などの重元素も過電離状態であることを示した。しかし、このモデルでは 3.7 keV 以下のバンドまで含めたスペクトルは再現できない。一方、超新星残骸 W28 の解析より、元素ごとに電離状態が異なる RP の可能性が示唆された (Sawada and Koyama 2012)。

これらを参考に、本研究では、すざく衛星による深い観測が行われた IC 443 の北東領域で、光子統計のよいスペクトルを作成し、RP モデルによる解析で、原子番号の大きい元素ほど高い電離状態を持つと、スペクトル全体をうまく再現できた。さらにそれら元素ごとに異なる電離状態は RP の初期状態が電離進行プラズマ (IP) の結果として再現できることも分かった。本講演では、IC 443 のプラズマ状態と進化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](#)

Q05a H α 輝線の偏光観測による超新星残骸衝撃波での宇宙線量の測定について

霜田治朗, 大平豊, 山崎了 (青山学院大学), John M. Laming (NRL), 勝田哲 (埼玉大学)

超新星残骸 (SNR) 衝撃波は $10^{15.5}$ eV までの宇宙線の加速現場と考えられているが、未だその証拠は得られていない。標準的な加速理論では、 $10^{15.5}$ eV まで宇宙線を加速させるためには衝撃波上流の磁場増幅が要求される (Bell 78)。もっとも信頼されている磁場増幅機構 (Bell 04) では、 $10^{15.5}$ eV の宇宙線を加速するには衝撃波の運動エネルギーの 50 % に相当する宇宙線量を必要とする。現実の SNR での宇宙線量は、衝撃波のエネルギー損失率として見積もられる。損失率は衝撃波速度で決まる断熱衝撃波での下流の温度と、実際の下流の温度との差分として測定され、先行研究は ~ 50 % の宇宙線量を示唆する (Helder+09,13)。しかし、この測定法では衝撃波速度を天球面内の膨張速度から測定するため、SNR までの距離を正確に知る必要があり、定量的な信頼性に欠ける。

荷電粒子のビームと水素原子の衝突実験により、ビームの入射方向に 40 % 程度に直線偏光した H α 輝線放射が確認されている (e.g. Kleinpoppen+62)。SNR 衝撃波は荷電粒子と電磁場との相互作用で形成される「無衝突衝撃波」であるため、上流の水素原子は散逸されることなく波面を横切り、熱化された荷電粒子と衝突し、輝線を放射する。水素原子静止系で見ると、荷電粒子は衝撃波速度程度の集団的速度と下流の熱速度程度の広がりをもつ、ある程度収斂されたビームとして様々な方向から衝突する。このとき有限の異方性が存在するため、結果的に \sim 数 % の偏光度で H α 輝線が放射される (Laming 90)。衝撃波がエネルギーを損失している場合、下流の温度が低くなり、荷電粒子はより収斂されたビームとして衝突し、偏光度が大きくなる (Shimoda+18)。従って、H α 輝線の偏光度は衝撃波速度と下流の温度に依存し、偏光度と下流の温度を独立に測定することで、損失率を推定できる。この測定法では膨張速度を測定する必要がないため、距離の不定性を排除できることが特徴である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q06a 超新星残骸のX線ガンマ線観測による衝撃波近傍の拡散係数への制限

辻直美, 内山泰伸, Dmitry Khangulyan (立教大学), David Berge (University of Amsterdam), 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は、銀河系内の超新星残骸 (SNR) で生成されると考えられている。SNR 表面の衝撃波で加速される粒子の拡散係数として、Bohm 拡散によるものが広く受け入れられている一方で、詳細は分かっていない。理論的なアプローチにより、電子のカットオフ形状 ($\propto \exp(-(E/E_0)^\beta)$) から、拡散係数のエネルギー依存性 ($D \propto E^\alpha$) を調査する手法が提唱されている (Zirakashvili & Aharonian 2007; Yamazaki et al. 2014)。例えば、電子の最大エネルギーが放射冷却で制限される場合に、 $\beta = \alpha + 1$ の関係式が成り立つ。被加速電子からのシンクロトロン X 線のカットオフ形状を決めることで、 β 、さらに α を推定することができる。本講演では、SNR RX J1713.7–3946 への適用結果について報告する。RX J1713.7–3946 はシンクロトロン X 線と TeV ガンマ線放射が非常に強く、粒子の加速機構として広く研究されてきた超新星残骸の一つである。近年の *NuSTAR* 衛星を用いた北西領域の観測により、*Chandra* 衛星と併せて 0.5 keV から 20 keV までの広域に渡る X 線スペクトルの解析が可能になった。これらを用いて、非熱的 X 線のカットオフ形状を詳細に調査したところ、 $\beta \sim 2$ 、従って $\alpha \sim 1$ (Bohm 拡散) が示唆されることが分かってきた。また、同天体からのガンマ線のカットオフ形状と、他の超新星残骸への適用結果も併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 超新星残骸 W44 超高速分子雲の起源 I; ALMA による詳細観測

田邊恭介、岡 朋治、野村真理子、竹川俊也、山田真也、高倉隼人 (慶應義塾大学)

超新星残骸 W44 は、太陽系から約 3 kpc の距離に位置する II 型超新星爆発の残骸であり、約 $3 \times 10^5 M_{\odot}$ の巨大分子雲が相互作用していることが明らかになっている。我々のグループでは、2008 年よりこの系のミリ波/サブミリ波帯分子スペクトル線観測を行ってきており、その過程において、空間的には局在しながら極めて速度幅の広い超高速成分 (Bullet) を発見した。Bullet は、 $0.5 \times 0.8 \text{ pc}^2$ 程度の空間スケールで、 120 km s^{-1} 程度の速度幅を持つ。我々は、Bullet の空間-速度構造に基づき、その起源として超新星衝撃波後方の高密度分子層に点状重力源が高速で突入する過程を提案した (Yamada et al. 2017)。運動エネルギーが 10^{48} erg 程度と見積もられることから、この点状重力源は $10 M_{\odot}$ 以上の孤立ブラックホールと考えられる。

今回我々は、ALMA による Bullet の観測結果を報告する。観測は、2017 年 3 月 22 ~ 24 日、4 月 16 日、17 日に渡って行われた。観測領域は $(l, b) = (34^{\circ}725, -0^{\circ}472)$ 方向を中心とした約 0.035° 四方、観測輝線は CO $J=3-2$ 遷移輝線 (345 GHz)、速度分解能は 0.4 km s^{-1} とした。解析の結果、合成ビームサイズ $1''.4 \times 1''.1$ の、高精細な Bullet の姿を描き出すことに成功した。このデータを精査した結果、多数の wing 様成分が見られたほか、概ね平行な複数のフィラメント状構造を検出した。本公演では、これらの新たに明らかになった Bullet の空間的および空間-速度的な詳細構造について分析・議論し、上記の点状重力源突入モデルとの整合性を検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q08a 超新星残骸 W44 超高速度分子雲の起源 II; 磁気流体シミュレーション

野村真理子、岡 朋治、山田真也、竹川俊也 (慶應義塾大学)、大須賀健 (国立天文台/総研大)、高橋博之、朝比奈雄太 (国立天文台)

W44 は II 型超新星爆発の残骸であり、質量約 $3 \times 10^5 M_{\odot}$ の巨大分子雲と相互作用している。我々はこれまで、同天体のミリ波サブミリ波帯分子スペクトル線観測によって、W44 分子雲中で空間的に拡散した微弱な高速度 wing 成分に加えて、一カ所に局在した超高速度成分 (Bullet) を発見した。Bullet は $0.5 \times 0.8 \text{ pc}^2$ 程度の空間サイズを持ち、視線速度は W44 分子雲から負方向に $\sim 120 \text{ km s}^{-1}$ もの異常な速度幅を持つ。また、最近の観測によって Bullet は $\sim 10^{48} \text{ erg}$ という莫大な運動エネルギーを持つことがわかった。これは W44 の超新星衝撃波が等方的に膨張した場合に Bullet の立体角へ配分されるエネルギー量より 2 桁近く大きい。

我々は空間-速度構造、エネルギーに基づき、圧縮分子層中に高速で突入したブラックホール (BH) が周囲のガスを加速するという Bullet 形成過程を提案している (Yamada et al. 2017)。しかしながら、恒星質量 BH への純粹な Bondi-Hoyle-Lyttleton (BHL) 降着過程のみでは Bullet の空間サイズを再現することは難しい。そこで、本研究では超新星爆発による圧縮分子層中の磁場を考慮し、BH 突入モデルの磁気流体シミュレーションを行った。その結果、 $\sim 500 \mu\text{G}$ の並行磁場を持つ分子層中を BH が $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ で突入した場合に、Bullet と非常によく似た Y 字型の空間-速度構造が現れることがわかった (2017 春季年会 Q17a)。さらに詳しい解析の結果、分子層へと突入した BH 周囲に形成される加速領域の空間サイズは、BHL 半径よりも十分大きく、分子層中の Alfvén 速度の BH 突入速度に対する比に比例していることが判明した。計算結果は Bullet の空間サイズを 1 桁以内で再現している。以上の結果は BH 突入による Bullet 形成モデルの妥当性を支持するものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09a 超新星残骸 W44 からの過電離プラズマの空間構造

松村英晃, 田中孝明, 内田裕之, 尾近洸行, 鶴剛 (京都大学)

X線天文衛星すざくは、超新星残骸 (SNR) IC 443 や W49B の熱的プラズマから再結合連続放射を発見し、再結合優勢な過電離プラズマ (RP) の存在を確固たるものとした (IC 443; Yamaguchi et al. 2009, W49B; Ozawa et al. 2009)。それから 2017 年までに、十数個の SNR から RP が発見され、このような再結合優勢なプラズマは決して稀なものではないことが分かってきた。観測例が増える一方で、RP の生成起源については現在も未解明のままである。しかし我々は、SNR G166.0+4.3 や IC 443 の解析で、RP の電子温度などの空間分布が付随する分子雲の位置と相関することを示し、冷たい分子雲と SNR プラズマの熱交換が有力であると結論付けた (G166.0+4.3; Matsumura et al. PASJ 2017, IC 443; Matsumura et al. ApJ 2017 in press)。

W44 は CO 観測などから分子雲と相互作用していることが知られている SNR である。Uchida et al. (2012) のすざく衛星を用いた解析により、RP が発見されている。しかし、2012 年までの観測は 1 つしかなく、視野が W44 の全体を網羅していないため、中心の空間分布は調査したが、端の分子雲接触領域の温度や電離状態については分かっていない。そこで我々は、すざく衛星の 6 つの観測データ (総有効露光時間: ~ 335 ks) を用いて、W44 を 13 の領域に分割し、スペクトル解析を行った。SNR プラズマはどの領域も、RP と衝撃波加熱された星周物質起源の電離平衡プラズマの二成分モデルでよく再現できた。RP の電子温度は $kT_e = 0.26\text{--}0.44$ keV、電離のタイムスケールは $n_e t = (2.0\text{--}4.9) \times 10^{11} \text{ s cm}^{-3}$ の範囲で空間分布を持つことが分かった。また、分子雲が付随する領域の 1 つで、加速された MeV 陽子起源だと思われる中性鉄輝線を検出した。本講演では、これらの RP の空間分布と、W44 の周辺ガス環境を比較しながら、RP の成因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](#)

Q10a X線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定2

中島真也、井上芳幸（理化学研究所）、酒井和宏（NASA/GSFC）、山崎典子（JAXA/ISAS）、祖父江義明（東京大学）、片岡淳（早稲田大学）

銀河面から離れた領域を X 線で観測すると、あらゆる天域で zero-redshift の O VIII Ly α 輝線・吸収線が観測される。これは $\sim 10^6$ K の希薄な高温プラズマが銀河系全体を包み込むように、広域にわたって広がっているとして理解できる（銀河系高温ガスハロー）。その起源として銀河間ガスの降着 (e.g., Miller & Bregman 2015) や銀河系ディスクからのアウトフロー (e.g., Sakai et. al. 2014) などが提唱されているが、まだ明確なコンセンサスは得られていない。観測から銀河系高温ガスハローの空間分布を明らかにすることで、その起源に迫ることができる。また、銀河系中心から大規模アウトフロー (Fermi bubbles; Su et al. 2010) の進化を解明する上でも重要な周辺環境条件を与える。2016 年秋の天文学会で、我々はすざく衛星のアーカイブデータ 65 ポインティングを解析し、そこから得られた emission measure 分布がディスク状の高温ガス分布で説明できることを報告した。今回、さらにデータ点を増やし $75^\circ < l < 285^\circ$ 、 $|b| > 10^\circ$ をカバーする全 123 ポインティングのデータを解析した。得られた emission measure 分布は、前回の報告同様、ディスク状の高温ガス分布を支持する。また、新たに [Fe/O] 金属量比の分布も求めたところ、その中央値は ~ -0.2 dex と sub-solar である。これらの結果は、超新星や星風による銀河ディスクからの高温ガスアウトフローが高温ガスハローの形成に大きく寄与し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](#)

Q11c プラズマ粒子シミュレーションを用いた無衝突衝撃波遷移層の構造のベータ依存性の研究

篠田理人, 山崎了 (青山学院大学), 梅田隆行 (名古屋大学)

超新星残骸などに普遍的に存在する無衝突衝撃波において、荷電粒子である宇宙線は、衝撃波面付近にできる電磁波動の乱流中を拡散的に運動し、一部の粒子は衝撃波面を超えて何度も往復することで加速される(フェルミ加速)。無衝突衝撃波の遷移層付近での運動論的プラズマ過程を解明するために、Umeda & Yamazaki (2006) から始まる一連の研究では、高効率の計算手法を取り入れた2次元電磁粒子コードを開発し、衝撃波の発展を衝撃波静止系で追うことに成功した。それを用いて、主に低マッハ数の無衝突衝撃波近傍での波動励起過程、特に、イオン温度非等方不安定による衝撃波面のリップル形成について研究してきた。低マッハ数の衝撃波は、古い超新星残骸や銀河団衝撃波などに存在する。また、若い超新星残骸に見られる高マッハ数の宇宙線変性衝撃波においても、低マッハ数のサブ・ショック面が存在する可能性も指摘されている。しかし、これまでのシミュレーションでは比較的小さなプラズマ・ベータ β をもつ上流媒質中を伝播する衝撃波に対しておこなわれたものであり、上述の天体衝撃波の特徴とは必ずしも一致せず、もっと高いベータ値に対する衝撃波の計算が必要である。

本発表では、アルフベンマッハ数 $M_A = 4, 6$, $\beta = 0.08, 0.32, 1.28$ の垂直衝撃波についてのプラズマ電磁粒子シミュレーションの解析結果を示す。特に、イオン温度非等方不安定の起源に迫るため、衝撃波遷移層の磁場が急激に増大するランプ領域付近での磁場に垂直方向のイオン温度 T_{\perp} について考察した。その結果、 T_{\perp} は M_A^2/β に比例するという解析的な見積もりとほぼ一致することがわかった。この結果は、今後、様々な無衝突衝撃波での温度の見積もりにつながると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 爆発的星形成領域 W43 の CO 輝線観測 I

河野樹人, 立原研悟, 藤田真司, 西村淳, 大浜晶生, 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), 津田裕也 (明星大), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台), 切通僚介, 大西利和 (大阪府立大), FUGIN チーム

W43 は $l = 30^\circ$ 付近の銀河面に位置し、2つの星団 W43 Main, W43 South で構成される 150 pc に渡った広がりを持つ大質量星形成領域である。太陽系からの距離は 5.4 kpc で、天の川銀河の Scutum-Centaurus Arm と Long Bar の交点付近 (バーエンド) に位置することが示唆されている。OB 型星が 50 個以上含まれており、天の川銀河における爆発的星形成 (スターバースト) の現場の 1 つである。これまで、名古屋大学 NANTEN2 望遠鏡や大阪府立大学 1.85 m 望遠鏡による観測結果から分子雲衝突による大質量星形成の可能性が議論されてきた (切通他 2015 年 春季年会)。我々は、新たに NRO レガシープロジェクト FUGIN の一環として、2016-2017 年シーズンに、 $2^\circ \times 3^\circ$ に渡って ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O } J=1-0$ 輝線の広域観測を行うことにより、W43 全体で 150 pc に渡って広がる巨大分子雲の空間分布を明らかにした。 ^{12}CO は、W43 Main, W43 South, 2つの星団の中央部にある G30.5-0.1 付近でピークを持ち、柱密度の最大値と全質量はそれぞれ $N_{\text{peak}}(\text{H}_2) = 2 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$, $M_{\text{cloud}} \sim 10^6 - 1 \times 10^7 M_\odot$ であった。また、 ^{12}CO ピークに対応する C^{18}O クランプが存在することがわかった。速度構造の解析から W43 は大きく分けて、60-80, 80-100, 100-120 km s^{-1} の3つの速度成分で構成され、Scutum-Centaurus Arm とバーエンド付近に付随する可能性が高いことがわかった。本講演では、W43 における巨大分子雲と爆発的星形成のメカニズム、さらに銀河構造との関係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](#)

Q13a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : Spitzer Bubble N4 の星形成

藤田真司, 西村淳, 河野樹人, 立原研悟, 大浜晶生, 佐野栄俊, 林克洋, 榎谷玲依, 吉池智史, 堤大陸, 大河一貴, 福井康雄 (名古屋大), 久野成夫 (筑波大), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (NAOJ), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 松尾光洋 (鹿児島大), 濤崎智佳 (上越教育大), 津田裕也 (明星大), 他 FUGIN チーム

Spitzer Bubble は、 $8\mu\text{m}$ でトレースされる半径数 pc のリング構造とその内部を満たす電離ガスから成る天体であり、銀河面に約 600 個リストされている (Churchwell et al. 2009)。このリングは OB 型星の紫外線放射による電離ガスの膨張によって形成され、さらにその圧縮により周囲の星形成が誘発されていると理解されてきた (Deharveng et al. 2010)。しかしながら近年、Torii et al. 2015 による Spitzer Bubble RCW 120 の観測的研究などから、リングの形成及び領域内の星形成をよりよく説明するメカニズムとして分子雲衝突が提案されている。

今回我々は、RCW 120 と類似した半径 2–3 pc のリング構造と O8.5–9 V の励起星 (Liu et al. 2016 他) による電離領域を持つ Spitzer Bubble N4 に着目した。FUGIN データと JCMT から得られた ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O の $J = 1-0$ 及び $3-2$ 輝線のデータの解析を行った結果、リングを構成する $\sim 3 \text{ km s}^{-1}$ の視線速度差を持った 2 つの分子雲を同定した。輝線強度比 $^{12}\text{CO}(J = 3-2)/^{12}\text{CO}(J = 1-0)$ がともに周囲よりも高い (~ 0.8) ことから、これらは電離領域からの紫外線の影響で加熱されていると考えられる。また、2 つの分子雲は、分子雲衝突天体の典型的なシグネチャーである、相補的な空間分布、及び位置–速度図上での V 字構造を示すことがわかった。衝突を仮定した場合の衝突のタイムスケールは $\sim 1 \text{ Myr}$ と見積もられ、電離領域の年齢と大きく矛盾しない。以上の結果を踏まえて、本講演では N4 において二つの分子雲が衝突することで分子雲のリング構造及び大質量星が形成された可能性を、他の Spitzer Bubble の観測結果と比較しながら議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): ホットコアの無バイアスサーベイ
(2) 解析手法の改良と銀経 $10^\circ - 20^\circ$ の解析結果

佐藤一樹 (東京大学), 長谷川哲夫, 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史, 阪本成一 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学), 半田利弘 (鹿児島大学), 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天体であり、分子雲が収縮し中心で若い星が誕生した段階にあたる。大質量星の形成メカニズムには未解明の点が多く、ホットコアの統計的サンプルを得ることは重要である。FUGIN (FOREST Unbiased Galactic Plane Imaging survey with Nobeyama 45m telescope) プロジェクトでは ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ の3輝線同時観測を行った。本研究ではCO輝線と同帯域に含まれる HNCO 、 CH_3CN 輝線で天体を検出し、連続波情報によらない無バイアスなホットコア候補のカタログを作成することを目指している。輝線情報を用いることで1) ホットコア以外の連続波源の混入を防げる、2) 視線速度を用いて混み合った領域でも個々の天体を分離できる、というメリットがある。

FUGIN による銀河系内域観測領域 80 平方度の解析に先立ち、W33 領域を含む 1 平方度において解析手法を検討した。前回の学会では HNCO 、 CH_3CN の5本の輝線をスタッキングしたキューブから検出を行ったことを報告した。今回はさらに1) 輝線強度に最尤推定を導入すること、2) スキャン方向にメディアン値を引くことでスキニングの影響を取り除くこと、を導入して検出の精度を向上させた。この手法を $(10^\circ < l < 20^\circ, -1^\circ < b < 1^\circ)$ の20平方度に適用し、ノイズレベルが十分低く解析に適した10平方度においてホットコア候補天体 438 個 (暫定値) を検出した。赤外連続波や赤外減光、 CH_3OH メーザーのカタログとの比較を行い 245 天体は対応天体が存在した。本講演では解析についての詳細や既存のカタログとの比較結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15a シェル型 TeV ガンマ線超新星残骸 HESS J1912+101 に付随する分子雲の発見

佐野栄俊, 吉池智史, 山根悠望子, 長屋拓郎, 西村淳, 山本宏昭, 田村陽一, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 久野成夫 (筑波大学), 鳥居和史, 南谷哲宏, 梅本智文 (国立天文台), 瀬田益道 (関西学院大), Nigel Maxted (ニューサウスウェールズ大学), Gavin Rowell (アデレード大学), 他 FUGIN チーム

ガンマ線で明るい超新星残骸 (SNR) に付随するガス雲の特定は、宇宙線の起源を探る上で本質的である。福井らは、ガンマ線 SNR RX J1713.7-3946 に付随する全星間ガス (分子 + 原子) を定量し、TeV ガンマ線との良い空間一致を示した (Fukui et al. 2012)。これは、中性パイ中間子崩壊として知られるハドロン起源ガンマ線の必要条件であり、SNR における宇宙線加速を支持する。この手法は他 3 個の TeV ガンマ線 SNR に適用され、いずれもハドロン起源を支持する (Fukuda et al. 2014; Fukui et al. 2017; 佐野ほか 日本天文学会 2016 年秋季年会)。

HESS J1912+101 は、H.E.S.S. によって新たに SNR として同定された天体である (Gottschall et al. 2016)。視直径 ~ 1 度の TeV ガンマ線で明るいシェル構造を持ちながら、他波長では対応する構造が見つからない。

今回我々は、NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) の CO($J = 1-0$) (Umemoto et al. 2017)、及び VLA の H α 銀河面サーベイデータ (Stil et al. 2006) を用いて、HESS J1912+101 に付随する星間ガスの特定を試みた。結果として、TeV ガンマ線のシェル構造とピタリと一致する分子雲を特定した。さらにこの分子雲は $\sim 4 \text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を示し、その銀経方向の広がりには TeV ガンマ線シェルの直径と等しい。また、付随するガスの視線速度 $\sim 26.5 \text{ km s}^{-1}$ から距離 $\sim 1.8 \text{ kpc}$ と見積もった。これにより、SNR に付随する全星間ガス質量を $\sim 15,000 M_{\odot}$ 、平均密度を $\sim 50 \text{ cm}^{-3}$ と定量できた。以上の結果を踏まえ本講演では、HESS J1912+101 における TeV ガンマ線の起源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](#)

Q16b 野辺山 45m 鏡と VERA による銀河系外縁部星形成領域 WB886 の観測的研究

小出凧人, 中西裕之 (鹿児島大学), 坂井伸行 (国立天文台水沢), 倉山智春 (帝京科学大学), 羽部朝男, 島和宏 (北海道大学), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史, 松尾光洋 (国立天文台野辺山), 藤田真司, 西村淳, 河野樹人 (名古屋大学), 久野成夫, 栗木美香 (筑波大学), 津田裕也 (明星大学), FUGIN チーム

WB886 (IRAS06446+0029) は、銀河系外縁部に位置する H₂O メーザーを放射する大質量星形成領域の一つである。この天体は、野辺山 45m 望遠鏡を使用した銀河面レガシーサーベイプロジェクト "FUGIN" の一環として、¹²CO($J = 1 - 0$) 分子輝線が観測されている。この観測データを調べたところ、円弧状の構造を持った分子雲が付随している事が確認された。分子雲の物理的性質 (サイズ・光度・質量) の決定には距離の計測が必要だが、銀河系外縁部では終端速度が存在しないため、運動学的距離の不定性が大きい。そこで、この分子雲について、VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) による位置天文観測データの解析を行い、年周視差測定による精密な距離測定を行った結果、距離が 2.86 ± 0.50 kpc と計測された。この距離から分子雲のサイズは (9.8 ± 1.7) pc \times (9.6 ± 1.7) pc、光度は $(2.58 \pm 0.98) \times 10^2$ K km s⁻¹、質量は $(1.06 \pm 0.40) \times 10^3 M_{\odot}$ となった。また、H₂O メーザーの分布構造を調べたところ、星形成の際に生じる双極アウトフローの構造を示唆していた。分子雲の形状は、Takahira et al.(2014) の分子雲衝突のモデルと酷似しており、分子雲衝突による星形成の可能性が示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17b Cole-Karkkainen 電磁場数値解法を用いた数値チェレンコフ放射の抑制特性

松本洋介(千葉大学), 細谷周平(千葉大学)

無衝突衝撃波における荷電粒子の加速メカニズムを明かにする上で particle-in-cell シミュレーションは強力な研究手法である。しかし、相対論的衝撃波の研究に着目してみると、その多次的構造や加速機構についての研究は非相対論的衝撃波の研究に比べて停滞している。それは、相対論的な流れ場 (V_c) においては数値的不安定が顕在化し粒子加速を詳細に議論する上で弊害となるためであり、1970年代から数値チェレンコフ放射として一般的な問題として知られている。対処としてデジタルフィルタリングを電磁場を課す手法が取られるが、物理的な電磁波も同時に落としてしまうため、精度の高い粒子加速研究ができていないのが現状である。

我々はこの問題を根本的に解決するため、特定の PIC アルゴリズムの下での数値チェレンコフ不安定の抑制法を開発した。特定の CFL 条件を選ぶことにより不安定の成長率が劇的に低下することが発見され (Godfrey and Vay, 2013)、相対論的衝撃波の研究において有用であることを確認した (Ikeya and Matsumoto, 2015)。しかし、流れ場のローレンツ因子が 5 以下の準相対論的流れ場においてはこの抑制方法に限界があることも明らかになってきた。そこで、本研究では Cole[2002] や Karkkainen et al.[2006] によって提唱されたマクスウェル方程式の数値解法 (C-K 法) を採択し、その電磁場の伝搬・安定性特性について解析を行った。空間差分の方法を工夫することにより、陽解法では安定条件が緩和され、陰解法では CFL 条件によらず安定であることが確認できた。また従来の FDTD 法に対してより少ない数値分散性特性が得られた。本公演では C-K 法の詳細と特性及び数値チェレンコフ不安定性抑制の特性について複数の流れ場のローレンツ因子の下での結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18b W50 と周辺の星間ガスの電波観測から探る相互作用の可能性

酒見はる香, 町田真美 (九州大学), 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学), 中西裕之, 藏原昂平 (鹿児島大学), 赤堀卓也 (国立天文台), 赤松弘規 (SRON), Jamie Farnes (Oxford e-Research Centre)

W50 は銀河面近くに存在する巨大な電波星雲である。中心の球状シェルと、東西に突き出た ear と呼ばれる構造からなり、球状シェル中心にはマイクロクエーサー SS433 が存在する。SS433 は速度約 $0.26c$ の歳差ジェットを噴出しており、この歳差軸と W50 の ear の軸が空間的に一致していることから、ear の形成にはジェットが関係していると考えられている。東西の ear のうち、東側の ear は南部のある点を境に急激に折れ曲がり、その先が細くなっている様子が確認されている。このような構造を形成する原因を究明するため、我々は多波長での観測データを用いて解析を行った。

まず、高空間分解能を持つ電波望遠鏡 JVLA により観測された W50 の連続波観測のデータと、4 分角の分解能を持つ Arecibo の HI Survey (GALFA-HI) により得られた W50 周辺の HI 雲の観測データとの比較を行った。その結果、東側の ear が折れ曲がっている領域周辺に速度 $31\text{--}33\text{ km/s}$ 程度の密度の高い HI 雲が存在していることを確認した。また、NANTEN の観測データから、同領域に HI と同程度の速度を持つ分子雲を発見した。さらに電波望遠鏡 ATCA による広帯域偏波観測のデータを用いて、ear の折れ曲がり部分の磁場構造を解析した。その結果、磁場が ear に沿って折れ曲がった構造をしていることを初めて明らかにした。以上のことから、ear が HI 雲に衝突し、進路を変えられたことによって折れ曲がり形成されたと推測される。このような推測は過去にもなされているが、HI 観測データの空間分解能が 21 分角と低かったため、確証が得られていなかった (Dubner et al. 1998)。本講演では、これらの結果・考察とともに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](#)

Q19a 「あかり」による銀河系円盤全域における赤外線バブルの統計的研究

花岡美咲、金田英宏、鈴木仁研、國生拓摩、大藪進喜、石原大助 (名古屋大学)

銀河系内には赤外線波長 $8 \mu\text{m}$ でシェル構造が見える天体が多数存在している。これら赤外線バブルは、中心付近に大質量星を有しており、大質量星形成の研究対象として観測的研究が盛んに行われている。これまで Spitzer による観測から、銀河系内縁部 ($|l| \leq 65^\circ$, $|b| \leq 1^\circ$) において多くの赤外線バブルが発見された。先行研究 (Hattori et al. 2016) では、銀河系内縁部の 200 天体について、赤外線天文衛星「あかり」の中間・遠赤外線データからシェルの構造と赤外線光度が調べられ、大質量星形成について議論された。本研究では、「あかり」の全天サーベイデータを用いて、銀河系円盤全域 ($|b| < 5^\circ$) に領域を拡大し、未だ手付かずの銀河系外縁部において新たに赤外線バブルを探索する。さらに、Herschel の遠赤外線・サブミリ波のデータを加えて、より厳密に赤外線光度を求め、銀河系内縁部と外縁部の赤外線バブルの赤外線特性について、統計的に比較、議論を行う。

本研究では、銀河系外縁部において、新たに約 100 天体の赤外線バブルを発見した。先行研究で確立された定量的手法を用いて、シェルの半径とその形状を調べた。また、「あかり」と Herschel の観測データから spectral energy distribution を作成し、多環芳香族炭化水素 (PAH)、warm dust、cold dust の 3 成分で model fit を行うことで、赤外線光度を求めた。銀河系内縁部と外縁部の比較から、外縁部はシェルが大きく、破れた形状の赤外線バブルが多いこと、また PAH の相対光度が高い傾向があることが分かった。さらに、銀河中心から遠ざかる程、赤外線光度に対してシェルの実半径が大きくなることが判明した。本講演では、赤外線バブルの性質と銀河系における星間環境の関連について注目し、上記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](#)

Q20a 大質量星形成領域 Orion B における大規模なスケールでの分子雲衝突の検証

堤大陸, 大浜晶生, 大河一貴, 佐伯駿, 河野樹人, 服部有祐, 藤田真司, 西村淳, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史 (国立天文台)

大質量星形成領域 Orion B の分子雲は NGC2024 と NGC2068/2071 にそれぞれ付随する密度の高い $V_{\text{LSR}} \sim 7\text{--}15 \text{ km s}^{-1}$ の成分 (高速度雲) と、その 2 領域を繋ぐように薄く広がった $V_{\text{LSR}} \sim 0\text{--}7 \text{ km s}^{-1}$ の速度成分 (低速度雲) に分離している。Maddalena et al. 1986 ではこの起源について、① 偶然速度の異なる 2 成分が存在した可能性と ② 周辺の恒星の星風によって高速度雲の分子雲が流された可能性、の 2 つの解釈が示されている。しかし、Orion B の速度の異なる 2 つの分子雲の起源については未だ解明されていない。また、我々はこれまでに NGC2024 と NGC2068/NGC2071 双方において、高速度雲内部での分子雲衝突が個々の大質量星形成をトリガーした可能性を提案した (Ohama et al. 2017a ; Tsutsumi et al. 2017)。

そこで今回、大阪府立大 1.85 m 鏡で取得された Orion B 全域の CO($J=2\text{--}1$) 輝線観測データ (Nishimura et al. 2015) を用いて、この 2 速度の分子雲の起源についての検証を行なった。低速度雲の輝線強度が低いところでは速度が概ね一定であることから、② の可能性が低いと考えられるものの、比較的輝線強度が高いところでは局所的に速度が小さくなるという特徴が見られる。低速度雲と高速度雲の空間構造は、NGC2024 近辺で相補的な分布を示していることから、10 pc スケールでの衝突が起こった可能性が示唆され、衝突のタイムスケールは 1.5 Myr 程度である。以上のような結果を踏まえて、本講演では、Orion B 領域全体に及ぶより大きなスケールでの分子雲衝突の可能性と星形成の関連性について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21a ASTE 望遠鏡を用いた巨大星団 RCW38 における [CI] 輝線マッピング観測

泉奈都子 (国立天文台), 福井康雄, 立原研悟, 藤田真司 (名古屋大学), 鳥居和史, 鎌崎剛, 金子紘之, 杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治, 前川淳, 高橋茂, 吉野彰, 伊王野大介 (国立天文台), 他 ASTE チーム

RCW38 は銀河系内で最も若い (~ 0.1 Myr) 巨大星団 (Super Star Cluster) である。さらに、この星団の起源として2つの分子雲の超音速衝突が示唆されており (Fukui et al. 2016)、大質量星形成や分子雲衝突等を理解する上で非常に重要な天体と言える。国立天文台チリ観測所は2016年の冬にASTE望遠鏡のBand8デモサイエンスとして、このRCW38に対する比較的広範囲 ($6' \times 8'$: ~ 3 pc \times 4 pc) の[CI]輝線マッピング観測を行った。空間分解能は $17'' \sim 0.14$ pcである。取得されたデータに対しては、ALMAで用いられている干渉計、単一鏡の解析ソフトウェアであるCASA (Common Astronomy Software Applications) を用いた解析が行われ、生データ、解析済みデータは共に既にASTEのホームページ上で公開されている。

本発表では取得された[CI]データを紹介するとともに、その強度分布をCO分子雲やそのその中心に位置する星団と比較した結果等を報告する。まず、[CI]は ^{13}CO と似た空間分布を示し、 $\text{C}^+/\text{C}/\text{CO}$ と層に分かれる古典的な光解離領域 (Photodissociation region: PDR) のモデルでは説明することが難しいことが分かった。この問題は過去のオリオンをはじめとした幾つかの分子雲の観測においても報告されている (e.g. Shimajiri et al. 2013)。また、[CI]とCOの強度比分布を調べたところ、衝突していると考えられている2つの分子雲の片側において、もう一方よりもその比が強くなっていることが分かった。この領域ごとの性質の違いを理解し、その原因を探ることによって、RCW38におけるより詳細な星生成、星間分子雲の進化の解明に近づくことが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22a 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

榎谷 玲依, 山本宏昭, 立原 研悟, 福井 康雄 (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の過程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), Sato et al. (2000) は Sgr B2 分子雲複合領域における分子雲衝突によって星形成が誘発されていることを指摘した。これらの研究は、分子雲の相補的な空間分布を衝突の証拠としている。今回、新たな観測データを用いて衝突を確認し、他の衝突例と比較して Sgr B2 における大質量星形成の性質を詳しく考察したので報告する。分子雲データとして Atacama Pathfinder Experiment (APEX) による $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 、および $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ を (Ginsburg et al. 2016)、大質量星のデータとして Very Large Array (VLA) による 1.3 cm の電波連続波を用いた (Gaume et al. 1995)。まず、2 速度における分子雲の空間分布が相補的であることを確認した。衝突している小分子雲と大分子雲が速度 $\sim 40 - 50 \text{ km s}^{-1}$ と $\sim 70 - 80 \text{ km s}^{-1}$ で確認され、大分子雲中に密度が減少した領域 (hole) が $10 - 20 \text{ pc}$ の直径で見いだされた。これらの hole は小分子雲の分布と同等のサイズであり、空間的に約 2 pc のずれが認められる。以上の特徴は分子雲衝突の解釈を支持する。また、位置-速度図において衝突に特徴的な V 字型分布の存在が確認された。さらに、同領域の hole の北東にそって大質量星が 50 個以上分布し、分子雲の柱密度が 10^{24} cm^{-2} 程度であることを $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ データから見積もった。O 型星の数は他の銀河系内スーパースタークラスターのそれよりも倍以上大きく、衝突による O 型星形成の誘起が強く示唆される。講演では、分子雲の速度差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](#)

Q23a 分子雲衝突数値シミュレーションモデルにおけるコア質量関数

早川貴敬, 井上剛志, 福井康雄 (名古屋大学)

大質量星形成は天文学・宇宙物理学の重要な課題の一つであり、分子雲同士の衝突によって大質量星の形成が引き起こされるとする、分子雲衝突 (cloud-cloud collision, CCC) モデルが注目されている。NGC3603、Wd2、M20 などでは、大質量星を含む星団が分子雲衝突によって形成されたことが、観測的に明らかにされている (例えば Fukui et al. 2014)。Inoue and Fukui (2013) の 3 次元数値シミュレーションでは、超音速衝突による乱流磁場の増幅が実効的なジーンズ質量を高め、高い質量降着率を達成することが明らかにされている。また、磁場に対して垂直にフィラメント状の大質量分子雲コアが生成される様子を示している。

今回我々は、Inoue and Fukui (2013) の数値シミュレーションデータを精査し、大質量分子雲コアが形成され進化する過程を追跡した。衝突後 0.1Myr から 0.7Myr までのデータを用い、密度 10^5 cm^{-3} 以上の分子雲に対して、Rosolowsky and Leroy (2006) のアルゴリズムを流用してコアを同定した。 $t \leq 0.2\text{Myr}$ では密度が 10^5 cm^{-3} を超えるコアは存在せず、0.3Myr 以降では 400 個程度のコアが同定された。0.7Myr では 57 個のコアが $10M_{\odot}$ 以上の質量を持ち、そのうち 3 個は $100M_{\odot}$ に達している。コア質量関数は早い段階から $\sim 10M_{\odot}$ に極大を持つ log-normal 的な分布を示し、分子雲衝突が大質量星の先駆体である分子雲コアを短時間に形成することを示し、コア質量関数がトップヘビーであることを示している。講演では、以上の結果を観測例と比較し、星団の形状と星の質量関数との関係を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q24a 星間ガスの微細構造と原子・分子相転移と乱流の研究

立原研悟、早川貴敬、井上剛志、福井康雄（名古屋大）、西合一矢（国立天文台）、徳田一起（大阪府立大／国立天文台）、大西利和（大阪府立大）

星間雲の光解離領域の分布は、歴史的には星間雲の光解離領域と分子雲の境界として平行平板モデルが提案され、中性原子ガス CI と分子ガス CO がなめらかに層状に分布する描像が提案された (Tielens & Hollenbach 1985)。しかし、これまでの低分解能観測では CI は CO とよく似た分布を示し、むしろクランプ状にガスが分布することで、各粒子が空間的によく混合した描像が提案されている (例えば亀谷ほか 2003 年)。また、井上・犬塚 (2012) は、水素原子ガス流を数値シミュレーションし、圧縮により熱的不安定が起きて CNM の小クランプが形成されることを示した。

今回、井上らのシミュレーションの結果を用いて擬似観測を行い、CI, CO の分布を詳細に調べたところ、CI は熱的不安定性の結果形成された CNM クランプとして存在し、クランプ内で CO の形成が進行することがわかった。この結果は、最新の ALMA の観測によって CO・H¹³CO⁺ 雲が 100 AU スケールのクランプに分解されたことと矛盾がない。さらに重なるの少ない「分子雲の縁」を 45m 鏡で CO $J=1-0$ 輝線によって観測した結果も、分子雲はクランプ状の数 1000 AU スケール以下の微細構造からなることを示す (立原ほか 2012)。すなわち、分子雲は広い密度範囲に渡ってクランプ状であり、その集合体として存在するという描像が示唆される。講演では以上の結果を総合し、分子雲形成と星間乱流の解釈を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25a 分子雲形成・進化・破壊と分子雲衝突による星形成を含んだ分子雲質量関数の時間発展

小林将人, 犬塚修一郎, 小林浩, 福井康雄, 長谷川賢二 (名古屋大学)

過去 10 年ほどの天の川銀河および近傍銀河の電波観測から, 巨大分子雲の質量関数は銀河渦状腕間領域で大きな冪 (傾きか急) を持ち, それ以外の領域では小さな冪 (傾きか緩やか) を持つ, と示されつつある (Colombo et al. 2014). これは, 大質量分子雲が銀河渦状腕領域に観測されるか, 渦状腕間領域には存在しない傾向であることを示唆している. また過去 10 年ほどの多相星間媒質磁気流体力学シミュレーションからは (e.g., Inoue & Inutsuka 2012), 磁化した中性水素原子雲を超音速衝撃波により多数回圧縮することか, 銀河円盤内の分子雲形成にとって本質的であると示唆されている.

これらの結果を踏まえて我々は, 巨大分子雲の形成・質量進化・破壊および分子雲衝突による分子雲質量関数の時間発展方程式を定式化し, 観測からこれらの過程に対する制限かつく可能性を示した (Kobayashi et al. 2017, 2017 年 天文学会秋季年会 P160a). さらにこの方程式に, 分子雲衝突によって誘発される大質量星形成を導入し, この大質量星形成過程が銀河円盤全体の星形成のうち数 10 パーセント程度を担いいることを示した (Kobayashi et al. 2018 in revision) ので, この結果を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a MAXI J1421–613 周辺からの X 線円環放射の発見

信川久実子 (奈良女子大学), 信川正順 (奈良教育大学)

MAXI J1421–613 (以下、MAXI J1421) は、全天 X 線監視装置 MAXI によって 2014 年 1 月に発見された低質量 X 線連星系である。発見から 22 日後すざく衛星で追観測が行われたが、すでに天体は暗くなっており、フラックスの上限値が測定されている (Serino et al. 2015, PASJ, 67, 30)。我々はすざくのデータで X 線イメージを作成し、2–5 keV バンドで半径 ~6 分の円環の放射を発見した。一方、2 keV 以下の軟 X 線や 5 keV 以上の硬 X 線バンドでは、そのような放射は見つからなかった。円環放射のスペクトルは、吸収を受けたべき関数でよく表せた。フィッティングで求めた吸収柱密度 ($3.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) は、MAXI J1421 ($4.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$; Serino et al. 2015) よりも小さい。吸収量の不一致から、円環放射が MAXI J1421 を中心コンパクト天体とする超新星残骸のシェルである可能性は低いだろう。残る可能性は、MAXI J1421 からの X 線を視線方向のダストが散乱することのできた dust scattering X-ray ring である。事実、円環放射の半径 (~6 分)、天体までの推定距離 (7 kpc; Serino et al. 2015)、バースト観測からすざくの観測までの時間差を用いて、ダストの距離を見積もると 3–4 kpc と求めた。これはダストが豊富にあると考えられる Scutum-Centaurus arm と一致する。Dust scattering X-ray ring の観測は珍しく、明るく大きな ring が見つかった天体はこれまで 3 例 (1E 1547.0–5408、Cir X-1、V404 Cygni) に限られる (Tiengo et al. 2010, ApJ, 710, 227; Heinz et al. 2016, ApJ, 806, 265; Vasilopoulos & Petropoulou 2016, MNRAS, 455, 4426)。円環放射が MAXI J1421 の Dust scattering X-ray ring であれば、貴重なサンプルとなるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q27a 第一原理計算による星間氷表面への原子の吸着エネルギーの推定 1：量子化学計算による系統的予測

中谷直輝 (首都大学東京), 下西隆 (東北大学), 古家健次 (筑波大学), 羽馬哲也 (北海道大学)

星間分子雲において星間ダストや氷によって触媒される化学反応は、星形成初期における多原子分子の生成や、宇宙空間における分子の組成を決める重要な要素である。10K から 20K の極低温下で行われるこうした化学反応は、数万年から数百万年をかけてゆっくりと進行するため、地上実験での追跡はほぼ不可能であり、計算化学的アプローチによるシミュレーションがその微視的メカニズムを解明する上で強力なツールとなり得る。星間ダスト上での化学進化過程を考える上で、ダストや氷表面への原子・分子の吸着エネルギーと表面拡散エネルギーは重要な因子となることが知られているが、従来の計算研究では、氷への物理吸着を前提とした経験的な値が利用されてきた。また計算手法についても、古典力学に基づく分子動力学シミュレーションや反応速度論に基づく組成比シミュレーションがそのほとんどであり、化学反応そのものを取り扱った研究は数える程しかない。

本研究では、化学反応を取り扱うことが可能な量子化学計算に基づいて、第一原理的に原子の吸着エネルギーを予測し、その結果に基づいて組成比シミュレーションを行うことで、星間ダスト上の化学進化を系統的に解明することを目的として研究を行った。本手法を用いて C、N、O 原子の吸着エネルギーを計算した結果、C 原子が氷表面へ化学吸着すること、N 原子は純粋に物理吸着するため比較的吸着エネルギーが小さいことが明らかとなり、特に C 原子の計算結果は、水の O 原子と化学結合を形成しており、メタノールやホルムアルデヒドなどの CO 化学種への化学進化過程の新たな可能性を示唆するものである。得られた結果を利用した行った組成比シミュレーションについては下西らにより報告される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q28a 第一原理計算による星間氷表面への原子の吸着エネルギーの推定 2：分子雲化学組成への影響

下西隆 (東北大学), 中谷直輝 (首都大学東京), 古家健次 (筑波大学), 羽馬哲也 (北海道大学)

分子雲コアをはじめとする高密度かつ低温の領域では、ダスト表面における氷の生成が天体の化学進化において支配的な役割を果たすことが知られている。氷ダスト表面における原子・分子の吸着エネルギーは、ダスト表面反応による分子生成を記述する上で極めて重要なパラメータの一つである。従来、星間化学の理論モデルにおける吸着エネルギーは、原子の分極率に基づく大まかな推定値が使用されていた。しかし、近年の実験技術の進歩により水氷表面での酸素原子の吸着エネルギーの測定が正確に行われた結果、従来使用していた吸着エネルギーの値が実験値と大きく異なることが示唆された。これはダスト表面反応による分子の生成効率に大きな影響をもたらす。一方、酸素原子以外の重元素については、現状では実験的アプローチが難しく、窒素原子については実験が1例のみ、炭素原子については未だ実験例が報告されていない。そこで我々は、量子化学計算を応用した高精度の第一原理計算を行うことで、計算的手法により分子雲内でアバングスの高い重元素の吸着エネルギーの推定を行った。量子化学計算の手法及び結果の詳細については、本年会において中谷らにより報告される。本講演では、量子化学計算により得られた非晶質水氷表面における炭素、窒素、酸素の吸着エネルギーの値を、化学反応ネットワーク計算に基づく高密度分子雲の化学進化モデルに適用し、これらが天文学的タイムスケールで分子雲の化学組成に与える影響を調査した結果について報告する。新たな吸着エネルギーを用いた化学進化計算では、特に窒素系分子の存在比が従来のモデルと比べて著しい違いを示しており、反応経路の詳細解析は水素原子の拡散による表面反応だけでなく、窒素原子の表面拡散による化学反応も重要な役割を果たす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](#)

Q29a M 3 1 の FIR データを用いたストカスティック加熱モデルに基づいたダスト放射コードの検証

梨本 真志, 服部 誠, 下西 隆 (東北大学), 大坪 貴文 (宇宙航空研究開発機構), 土井 靖生 (東京大学)

ダストはそのサイズに応じて、20K 程度で熱平衡状態を保つ大粒子、中間赤外にピーク波長を持つ微小粒子、近赤外線バンド放射の担い手と考えられる極小の多環芳香族炭化水素に三分して考えられることが多い (Desert et al. 1990 など)。これらの境界線は曖昧であり、かつダストが置かれた環境によっても変わるため、ダストの温度分布を推定してダスト SED を計算するためには全てのサイズで共通したモデルで考えることで、境界があると考えられるサイズ周辺のダスト粒子からの寄与の不定性が小さくなる。AKARI-FIS では 65 μ m、90 μ m の波長帯を観測しており、まさにこの境界付近に当たるサイズのダストからの放射を捕らえているため、このようなモデルを考える意義は大きい。そこで我々は全てのサイズ粒子に対して、光子 1 個 1 個のストカスティックな吸収過程を考慮して各サイズ粒子の熱史を追い、得られた温度分布に基づいてダスト放射スペクトルを計算するコードを開発した。このコードで計算されるダスト SED を用いて AKARI-FIS 全天データに対して SED フィットングを行い、全天ダストマップを得ることが目的である。本研究では、このコードの検証のため、M31 に対して SED フィットングを行い、先行研究との比較・検証を行った。Draine et al. 2014 は、Draine & Li 2007 (DL07) による SED モデルを用いて、Herschel による M31 のデータに対して SED フィットングを行っている。本研究ではダストの物性値は DL07 と同様の値を使ったダスト SED を計算し、AKARI-FIS データや Herschel によるデータに対して SED フィットングを行い、それぞれの結果を検証した。本発表では温度分布の推定法の違いによる SED の違い、また AKARI・Herschel それぞれのデータによるフィットング結果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](#)

Q30a 宇宙環境曝露実験によって探る炭素質星間塵の性質

左近 樹, 池内綾人, 遠藤いずみ, 尾中 敬 (東京大学), 木村誠二 (電気通信大学), 木村勇氣 (北海道大学), 中村正人 (日本大学), 市村 淳 (ISAS/JAXA), 藪田ひかる (広島大学), 小川奈々子, 大河内直彦 (JAMSTEC), 稲富裕光 (ISAS/JAXA), 和田節子

国際宇宙ステーション「きぼう」利用簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙曝露実験は、年老いた星周環境で凝縮したダストが星間空間に至るまでの過程で被る物性変化を調べることを目的とする試みである。特に、未同定赤外バンドや星間減光曲線中 2175 μm バンプ構造の担い手の同定に焦点を充てた実験試料を含む約 40 種の物質を 1 年間、国際宇宙ステーションの軌道環境に曝露し、曝露前後の物質の赤外分光特性や物性の変化を調べる。まず、曝露実験供試体 (EE64-I および EE64-II) について、2015 年 5 月 26 日より、約 384 日間の曝露の後、船内回収し、2016 年 9 月 21 日に筑波宇宙センターで引き渡しを完了した。更に、曝露実験供試体 (EE64-III) については、2016 年 6 月 29 日より、約 386 日間の曝露の後、船内回収し、2017 年 10 月 3 日に筑波宇宙センターで引き渡しを完了した。実験試料に対して、曝露前後での、顕微赤外 ATR 分光測定を実施した結果、主要な搭載試料の一つ filmly QCC に対しては、(1) 幅広い 2.95 μm の吸収バンドの出現、(2) 幅広い 5.95 μm の吸収バンドの出現、(3) 幅広い 8–10 μm の吸収バンド構造の出現、(4) 芳香族 C-H の伸縮モード 3.29 μm バンドの減少、(5) 脂肪族 C-H の伸縮モード 3.4 μm バンドの減少、(6) 芳香族 C-C の伸縮モード 6.3 μm バンドの増加、(7) 芳香族 trio C-H の面外屈曲モード 13.2 μm バンドの減少、などの変化がみられた。これらの多くは、各種地上対照実験に置いても観察される赤外特性の変化と類似する特徴を示し、曝露によって、急冷炭素質物質が酸化しやすい状態になった事、また脱水素などによる C-H および C-C の強度変化が見られる事が示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q31a 窒素含有炭素質ダストの合成実験

遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬 (東京大学), 木村誠二 (電気通信大学), 小川奈々子, 大河内直彦 (海洋研究開発機構), 藪田ひかる (広島大学), 癸生川陽子, 小林憲正 (横浜国立大学), 和田節子

1973年以降様々な天体環境で観測されてきた未同定赤外バンドは、これまでその担い手として、多環式芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAH) 仮説に基づく解釈が行われてきたが、依然として実際の観測と整合性のとれるような正確な物質の理解には至っていない。急冷炭素質物質 (Quenched Carbonaceous Composite; QCC) は 2.45GHz マイクロ波電源装置を用いてメタンガスより生成させたプラズマを急冷凝縮することで合成される実験室ダストである。QCC は、芳香族/脂肪族の C-H 結合及び芳香族の C-C 結合由来の赤外特性を持ち、観測される未同定赤外バンドを担うダストの物性を探る上できわめて有用である。我々は同装置を用いて QCC を窒素ガスプラズマに晒すことによって、窒素含有炭素質ダスト (Nitrogen-included carbonaceous compounds; NCC) を合成した。この実験手法は星から放出されたガス中のダスト生成過程を模擬するものである。回収した NCC の赤外吸収特性を調べた結果、主に 3.29, 6.25, 8, 11.4 μm にピークを持ち、QCC や各種 PAH をはじめとするものの既知の物質よりも、未同定赤外バンドの構造に類似した特徴を持つことが分かった。各バンドのピーク波長位置は一般的な星間物質中に観測される未同定赤外バンド (Class A) よりも長波長側にシフトしており、Class C と分類される未同定赤外バンドに類似する赤外分光特性を持つことがわかった。最近の観測研究からダスト形成を伴う古典新星で Class C に分類される未同定赤外バンドが報告されている。本講演では未同定赤外バンドの担い手が持つべき物性への制限を与えることを目標として、NCC の詳細な物性分析の結果を示し、赤外スペクトルにおける炭素質ダストへの窒素含有の影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a 野辺山 45m 望遠鏡による近傍銀河核のラインサーベイ観測 I. データ

高野 秀路 (日本大学), 中島 拓 (名古屋大学), 河野 孝太郎 (東京大学)

我々は、銀河の分子組成とその活動性 (AGN や starburst) との関連を明らかにする目的で、野辺山 45 m 望遠鏡のレガシープロジェクトの一環として、2009–2011 年に、近傍銀河 NGC 1068、NGC 253、IC 342 に対する $\sim 85\text{--}116$ GHz (3 mm 帯) での観測を行った。ビームサイズは $15''.2\text{--}19''.1$ であり、この周波数帯における単一望遠鏡では、最も高い空間分解能である (NGC 1068 で約 1 kpc に相当)。NGC 1068 には、AGN を取り囲む直径 $30''$ 程度の starburst ring が存在する。そのため、その内側の AGN 周囲を選択的に詳しく観測するためには、45 m 望遠鏡の高い空間分解能が重要である。観測には、T100 受信機と SAM45 電波分光器を主に用いた。本講演では、観測データから直ちに得られる結果について議論を行う。詳しい解析は、本年会の中島他で報告する。

観測の結果、各銀河で各々 25, 34, 31 本の輝線を観測し、分子種としては (同位体種を区別して) 各々 19, 23, 22 種を検出した。NGC 1068 では、 C_2H , cyclic- C_3H_2 , H^{13}CN を初検出し (Nakajima et al. 2011)、IC 342 では、cyclic- C_3H_2 , SO , C^{17}O を初検出した。水素原子の再結合線は、NGC 253 のみで検出された。各輝線の積分強度を、CS 及び ^{13}CO の積分強度で規格化して比較した。その結果、AGN を持つ NGC 1068 において、starburst 銀河 NGC 253 及び IC 342 よりも強度が大きい分子として、 HCN , H^{13}CN , CN , ^{13}CN , HC_3N が挙げられる。また、すでに報告されているように、 CH_3CCH は、starburst 銀河のみで検出された。AGN を持つ銀河で高い値を示す HCN/HCO^+ 強度比 ($J=1\text{--}0$) は、各々 1.98 ± 0.11 , 1.19 ± 0.03 , 1.38 ± 0.02 であった。これらの結果が、45m 望遠鏡の高い空間分解能で得られ、AGN に由来する性質がより明らかとなった。さらに、NGC 1068 について、IRAM 30 m 望遠鏡での強度 (Aladro et al. 2013, 2015) と比較した結果、各分子の分布を推定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](#)

Q33a 野辺山 45 m 望遠鏡による近傍銀河核のラインサーベイ観測 II. 解析

中島 拓 (名古屋大学), 高野 秀路 (日本大学), 河野 孝太郎 (東京大学), 原田 ななせ (ASIAA),
Eric Herbst (Univ. of Virginia)

我々は、銀河の分子組成とその活動性との関連を明らかにすることを目標に、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて、AGN を持つ NGC 1068 と典型的なスターバースト銀河である NGC 253 及び IC 342 に対するラインサーベイ観測を行った (高野他、本年会)。本講演では、この観測から求めた各銀河での分子存在量について議論する。

解析では、得られた 3 mm 帯の分子スペクトルと、他の単一鏡を用いた先行観測による異なる回転遷移のデータを基に、局所熱力学平衡 (LTE) を仮定して回転ダイアグラムを作成し、各分子の回転温度と柱密度を算出した。これにより、各銀河の中心領域 (NGC 1068 でおよそ 1 kpc スケール) での分子存在量を明らかにした。

AGN で輝線強度比が卓越すると言われている HCN/HCO⁺ について、NGC 1068、NGC 253、IC 342 での柱密度比は、それぞれ $2.2^{+0.1}_{-0.2}$ 、 $2.0^{+0.1}_{-0.8}$ 、 $1.6^{+0.6}_{-0.1}$ が得られ、AGN とスターバーストで違いは見られなかった。一方で、H¹³CN/H¹³CO⁺ は、それぞれ >10.4 、 $4.8^{+1.0}_{-0.6}$ 、 $3.6^{+2.3}_{-1.5}$ となり、AGN が 2 倍以上高い値を示した。これは、主には HCN が H¹³CN に比べて光学的に厚くなる (NGC 1068 における光学的厚みはそれぞれ 2.5、0.05) ことで、HCN/HCO⁺ を過小評価している可能性がある。従って、より光学的に薄い ¹³C 同位体種の観測は、銀河核の分子存在量を議論する上で重要であることが示唆される。また、AGN で検出されなかった CH₃CCH と C¹⁸O の柱密度比 (CH₃CCH/C¹⁸O) は、 $<1.7 \times 10^{-3}$ 、 $10.0 \pm 0.1 \times 10^{-3}$ 、 $14.1 \pm 0.3 \times 10^{-3}$ と、AGN ではスターバーストに比べて一桁以上存在量が低いことも明らかになった。モデル計算との比較から、AGN での CH₃CCH の未検出は、高エネルギー放射による解離か、CH₃CCH を生成する塵表面反応の抑制が働いた可能性が示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q34a 銀河中心北側に位置する角状拡散軟X線放射

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

銀河系内には観測機器の分解能では点源に分解できない拡散X線放射が存在し、Galactic diffuse X-ray emission (GDXE) と呼ばれている。GDXEには、Fe XXV He α を伴う温度が5–7 keVの高温成分と、S XV He α を伴う1 keV程度の温度の低温成分が存在する。GDXEの起源について小質量コロナ星や白色矮星連星等、微弱天体の集合説、真に拡がったプラズマ説が提案されているが、双方に課題があり、未だ決着していない。GDXEのうち銀河中心領域に存在するものがGalactic center X-ray emission (GCXE)である。GCXEの高温成分は銀河中心に対して対称に滑らかな分布を示すが、低温成分には大小さまざまな構造が見られる。その中に銀河中心の北側に銀河中心 Sgr A* に対してほぼ対称に位置する角状構造を持った拡散軟X線放射がある。本研究ではこの角状構造を持つGCXE超過成分に注目し、そのスペクトルの解析を行った。

近傍の blank region をバックグラウンド領域としてGCXEのスペクトルと強度を評価して、角状拡散軟X線放射領域の全放射スペクトルに対するGCXEの寄与を見積もり、1–3 keVバンドに明確に超過成分があることを確認した。この超過成分に対して電離平衡状態にあるプラズマからの放射のモデルを適用すると、温度が0.7–0.8 keVのモデルで良く再現できた。角状拡散軟X線放射領域の強度はこの領域に見つかっている点源の総和よりも大きいこと、スペクトル中の輝線強度から見積もられる元素組成比は小質量コロナ星等、既知の点源が持つ値よりも大きいことがわかった。これらより、角状拡散軟X線放射のすべてを既知点源で説明することはできないと考えられる。講演では、角状拡散軟X線放射の解析結果とその起源についての検討結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a 銀河系中心 50km/s 分子雲の星形成分子雲コア

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)

銀河系中心領域の Central Molecular Zone には, 円盤領域に比べ広い速度幅を持った高密度で高温の分子雲がいくつも分布している. 明るく高密度の若い大質量星団も存在しており, この様な大質量星団形成のメカニズムの候補として分子雲衝突などが考えられている. 先行研究から銀河系中心 50km/s 分子雲 (50MC) には, 馬蹄形状に輝線比 $\text{SSiO}(v=0, J=2-1)/\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$ が高い領域が見つかり, 分子雲衝突 (CCC) による衝撃波の痕跡であると考えられている. この衝撃波領域の分子雲コアの質量関数はトップヘビーである. また, 50MC には 4 個のコンパクト H_{II} 領域も存在する. このように, 50MC では CCC によって大質量星が形成されていると考えられている.

そこで, 50MC の CCC による大質量形成メカニズムを探るため, ALMA による高空間分解能・高感度・広領域の 50MC の輝線観測 ($\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$, $\text{SiO}(J=2-1)$, SO , ^{34}SO など) を行なった (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi). H^{13}CO^+ 輝線のマップをもとに Clumpfind アルゴリズムを用いて, 高密度分子雲コアの同定を行なったところ, 1061 個のコアが前述の衝撃波領域に存在している. このうち 13 個のコアは, ビリアルパラメーター ($M_{\text{vir}}/M_{\text{LTE}}$) が 3 以下と小さく自己重力で束縛されている可能性が高い. さらに, これらのうち 3 個のコアからホットコアのトレーサーである SO , ^{34}SO 輝線が検出された. 本講演では, これらの結果に加え, メタノールメーザーとの位置関係などから 50MC の分子雲コアの星形成の可能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](#)

Q36a 熱的プラズマに満たされた銀河中心ローブ

藤沢健太, 名越遥, 窪瀬雄三 (山口大学)

銀河中心ローブ (GCL) を電波連続波と電波再結合線で観測した結果を報告する。観測は山口 3.2 m 電波望遠鏡を用いて 8 GHz で行われた。これは過去の観測と比較して最も高い角度分解能の GCL の全体観測である。電波再結合線の強度分布は電波連続波の分布とよく一致している。東西に 2 つ、銀河面から垂直に北側へ伸びる輝度のリッジがあり、銀緯 1.2° で結合してループ状となっている。電波再結合線と電波連続波の強度分布が一致したことは、GCL の電波連続波は熱プラズマの自由 - 自由放射であり、GCL は熱プラズマが満たした天体であることを示している。しかし電波再結合線で観測された GCL の東側のリッジは、電波アークではなく、銀経 0° で銀河面から垂直に伸びる電波連続波のリッジに一致している。したがって電波アークおよび偏波プリュームは GCL の一部ではない。電波再結合線の視線速度は、GCL の全域にわたって $-4 \sim +10$ km/s の小さい値である。GCL の全体にわたって視線速度が低く、ほぼ一定であることは、GCL が回転する銀河磁場によって形成されたとする形成モデル、および GCL が高速なアウトフローであるとする説を否定し、同時に GCL が銀河中心から離れた位置に存在することを示唆する。このことは、GCL が銀河中心の爆発的な活動によって生じたとする描像と一致しない。GCL の電離を維持するために光度 $1.8 \times 10^5 L_\odot$ の放射が必要だが、銀河中心領域の大星団である Quintuplet star cluster も Arches star cluster も GCL の内側に存在していない。もし GCL が銀河中心に存在しないなら Sgr A および Nuclear star cluster も GCL の内側には位置しない。GCL の電離源は現時点では不明である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q37a Three-Dimensional Simulation of the Formation of Galactic Prominence in the Galactic Central Region

Chih-Han Peng, Ryoji Matsumoto(Chiba Univ.)

We carried out three-dimensional resistive MHD simulations to study the formation mechanism of molecular loops observed by Fukui et al. (2006) at Galactic central region. We study the formation mechanism of dense cold neutral gas in rising magnetic arcades. This model is based on the in-situ formation model of solar prominences, in which prominences are formed by cooling instability in helical magnetic flux ropes formed by imposing converging and shearing motion at footpoints of the magnetic arch anchored to the solar surface. We extended this model to Galactic center scale. Numerical results indicate that dense loop-like filament is formed after magnetic reconnection takes place in the sheared arcade. The dense matter in the filament slides down along the magnetic loop. The maximum speed along the loop is the order of the free fall speed from the loop top. The position-velocity diagram obtained by simulations shows systematic variation of the line of sight along the loop and large velocity dispersions similar to those of CO observations. The total mass of the filament exceeds 10^5 solar mass.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a X線天文衛星「ひとみ」搭載SGDによるかに星雲からの偏光ガンマ線の観測

内田悠介, 渡辺伸 (ISAS/JAXA, 東大理), 田島宏康 (名大 ISEE), 深沢泰司 (広大理), 国分紀秀, 太田方之, 佐藤悟朗, 佐藤理江, 森國城 (ISAS/JAXA), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA, 東大理), 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功, 田中康之, 勝田隼一郎 (広大理), 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫, 小高裕和, 北口貴雄, 中野俊男, 湯浅孝行 (理研), 片岡淳 (早大理工), 一戸悠人 (首都大理工), 内山秀樹 (静岡大教), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教大理), 榎戸輝揚, 田中孝明 (京大理), A. Goldwurm, P. Laurent, O. Limousin, F. Lebrun (APC/CEA), 武田伸一郎 (沖縄科技大), 寺田幸功 (埼大理), 中森健之 (山形大理), 野田博文 (東北大学際), 萩野浩一 (東理大), 山岡和貴 (名大理), 林克洋 (名大理, ISAS/JAXA), R. Blandford, G. Madejski (Stanford Univ.), 谷津陽一 (東工大理), 米徳大輔 (金沢大理), ほか SGD チーム+「ひとみ」コラボレーション

軟ガンマ線検出器 (SGD) は, 2016年1月に打ち上げられた X線天文衛星「ひとみ」に搭載され, 60–600 keV のエネルギー帯域で高感度観測を目指した非撮像検出器である。SGD の主検出器は, Si/CdTe 半導体検出器を積層し, コンプトン散乱を利用してガンマ線を検出するコンプトンカメラである。コンプトン散乱による散乱方向の異方性を検出することで, 天体信号の偏光情報を引き出すことが可能である。100%偏光に対して, 122keV で約 0.6 という高いモジュレーションファクターを持つ。衛星打ち上げ後, 立ち上げ運用を同年3月24日まで行い, 3月25日に試験観測としてかに星雲を観測した。その結果, 約 5 ksec と限られた観測時間の中, 60–160 keV のエネルギー範囲でガンマ線の検出に成功した。従来の X線・ガンマ線偏光計と比べて観測時間が非常に短いながらも, SGD は 99.3% の信頼度で偏光角 110 ± 13 度, 偏光度 22 ± 10 % の偏光ガンマ線を検出した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a 硬 X 線偏光検出器 PoGO+ 気球実験によるカニ星雲の偏光観測

高橋 弘充、河野 貴文、大橋 礼恵、内田 和海、水野 恒史 (広島大学)、釜江 常好 (東京大学)、片岡 淳 (早稲田大学)、田島宏康 (名古屋大学)、Maxime Chauvin, Mette Friis, Miranda Jackson, Mozsi Kiss, Victor Mikhalev, Mark Pearce, Theodor Stana (スウェーデン王立工科大学)、H-G. Floren (ストックホルム大学)、PoGOLite/PoGO+チーム

パルサー風星雲の偏光観測は、シンクロトロン放射の磁場構造を調べることができる強力な手段である。これまで X 線ガンマ線の帯域では、X 線で最も明るいパルサー風星雲であるカニ星雲において偏光観測が実施されている。偏光に特化した検出器による観測は、40 年前の OSO-8 衛星 (2.6, 5.2 keV) によるものがある。近年 INTEGRAL 衛星 (数 100 keV) でも報告があるが、偏光に特化した検出器ではないため、結果の信頼性は必ずしも高くない。こうした状況で現在は、「ひとみ」衛星 SGD 検出器や AstroSat 衛星、我々の Polarized Gamma-ray Observer (PoGO+) 気球実験、将来衛星 IXPE などにより、より精度の高い偏光観測が目指されている。

PoGO+ (PoGOLite の改良版) 気球実験は、20–160 keV の硬 X 線帯域で天体の偏光度と偏光角を測定する。2016 年 7 月 12–18 日の 7 日間にスウェーデンからカナダまで北極圏をフライトし、カニ星雲を 7 回、はくちょう座 X-1 を 6 回観測することに成功した。カニ星雲の計 92 ks の観測から、このエネルギー帯域で初めて偏光度 $20.9 \pm 5.0^\circ$ 、偏光角 $131.3 \pm 6.8^\circ$ という有意な偏光情報を検出した。この角度は、パルサー風星雲のジェット方向と一致しており、磁場はそれと垂直方向なトーラス成分が強いこと示唆する。PoGO+では、天体とバックグラウンド領域を 15 分おきに観測するなど、検出器や観測の系統誤差を低減しており、今回の観測結果は信頼性の高いものと考えている。本講演では、PoGO+の観測結果に加え、他のエネルギー帯域との比較について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q40a CTAの高空間分解能によるかに星雲の観測シミュレーション

高橋知也, 中森健之, 郡司修一 (山形大学), Gernot Maier (DESY), 大平豊 (青山学院大学), 森浩二 (宮崎大学), 田中周太 (甲南大学), 大石理子, 齋藤隆之, 榊直人, 吉越貴紀 (東京大学), 奥村暁, 佐々井義矩 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 三浦智佳, 吉田龍生 (茨城大学), 神本匠, 櫛田淳子, 種田裕貴, 西嶋恭司 (東海大学), 千川道幸, 李健 (近畿大学), ほか CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) は、北・南半球のそれぞれに設置される次世代超高エネルギーガンマ線望遠鏡群である。CTA は現行の望遠鏡よりも空間分解能が向上するため、より詳細なイメージ解析と空間分解したスペクトル解析を可能にする。そのため、特に超新星残骸やパルサー星雲、銀河面上の混みいった領域の広がったガンマ線放射の詳細な分析に大きく貢献することが期待できる。CTA では、multiplicity (1つのシャワーイベントに対してトリガーがかかる望遠鏡の数) の要求値を増やすことで、有効面積を減らす代わりに角度分解能を上げることができる。本研究では数 TeV 以上で2分角を切るような multiplicity を用いて、かに星雲を観測するシミュレーションを行った。かに星雲は十分に明るい天体であり、有効面積が減少しても十分な光子数が得られる。また、来夏に1台目の望遠鏡が稼働を始める北サイトから観測しやすい天体でもある。シミュレーションの結果、H.E.S.S. で近年検出された TeV ガンマ線放射領域の広がりをより正確に測定できる可能性が高いことが判明した。さらに、TeV ガンマ線の輝度分布が X 線と同じと仮定したモデルでは、輝度中心とパルサーの位置とのずれを検出できる可能性があることもわかった。その一方で、ジェット方向とトラス方向の広がりの違いは有意に検出することができなかった。現在、ガンマ線到来方向の再構成アルゴリズムが改良される目処が立っており、本研究と同様に multiplicity の要求値を増やすことで空間分解能のさらなる向上が期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q41c OH 18 cm 線で探る Pipe nebula の構造形成

海老澤勇治 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), Karl M. Menten(MPIfR), 山本智 (東京大学)

OH 18 cm 線は、OH 分子の複雑な回転エネルギー準位の構造に由来して、超微細構造遷移線 (1612, 1665, 1667, 1720 MHz) に強度異常を示すことが知られている。特に、おうし座の Heiles Cloud 2 (HCL2) 領域の東部にある希薄な分子雲では、1612 MHz 線が宇宙背景放射に対して吸収線で観測された。我々は、この結果を解析することで OH 18 cm 線を温度計として用いることができることを示した。(Ebisawa et al. 2015)。

本研究では、この手法を様々な分子雲に展開する目的でへびつかい座の Pipe nebula に対して OH 18 cm 線の観測を行った。Pipe nebula は東西方向に向かって特徴的な直線構造 ($2-4 \text{ km s}^{-1}$) を示し、その西側には比較的密度の高い領域 (Bowl 領域) を持つ。Bowl 領域の起源として、南北方向 ($6-7 \text{ km s}^{-1}$) に伸びる別のフィラメントとの衝突が提案されている。これを検証するために2つのフィラメントの境界に対して OH 18 cm 線の観測を行った。その結果、1612 MHz 線の強い吸収線および、1720 MHz 線の強い輝線が検出された。特に、1720 MHz 線は 1667 MHz 線と同程度の強度で検出された。この強度は、LTE で予想される比 ($I_{1612} : I_{1665} : I_{1667} : I_{1720} = 1 : 5 : 9 : 1$) と比べて非常に強く、境界部の温度が高いことを示唆している。OH メーザーの研究から、1720 MHz 線メーザーと衝撃波領域の関連が報告されており、以上の結果は、Bowl 領域におけるフィラメントの衝突を支持している。

一方で、直線構造の起源として近傍の恒星 θ Ophiuchi (HD 157056) からの紫外線放射の影響が示唆されている。この影響を探るため、直線構造に対して垂直方向のストリップに対して OH 18 cm 線の観測を行い、 θ Ophiuchi からの距離と温度の関係を調べた。その結果、温度は直線構造の周辺部で大きくなる傾向が得られたが、 θ Ophiuchi との距離に対して大きな相関は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q42a コロナ質量放出から時間遅延した地球周辺の電荷交換X線イベントの検出

伊師大貴 (首都大), 石川久美 (ISAS), 江副祐一郎 (首都大), 三好由純 (名古屋大), 寺田直樹 (東北大), 満田和久 (ISAS), 大橋隆哉 (首都大)

近年のX線観測技術の向上により、地球などの惑星からのX線放射が確立してきた (Bhardwaj et al. 2007 Planet. Space Sci.)。その放射機構は磁気圏で加速された電子による制動放射、惑星大気の太陽X線散乱や太陽風電荷交換反応 (Solar Wind Charge eXchange, SWCX) による輝線放射の二つに大別できる。太陽X線による地球大気原子からの蛍光X線は検出器のキャリブレーションなどに使われるが、天体観測では通常バックグラウンドとなる (Snowden & Freyberg 1993 ApJ など)。超高層大気である外圏からのSWCX放射は数日の時間変動を示す軟X線放射として知られている (Snowden et al. 1994 ApJ など)。これら地球大気からのX線は前景放射として重要な上、太陽観測衛星のデータを併用すれば、大気膨張や希薄な外圏密度などの情報を得ることができる。

我々はこれまで「すざく」の全公開データとACEなどの太陽風データを用いた系統的な解析を行い (石川 天文学会 秋季年会 2013, 伊師 天文学会 春季年会 2017)、コロナ質量放出や磁気嵐に伴うSWCX放射の有意な時間変動を検出した (Ezoe et al. 2011 PASJ, Ishikawa et al. 2013 PASJ など)。これらのイベントは太陽風プロトンフラックスと良く相関していたが、今回そのような相関が見られないにもかかわらず、数十時間遅れた変動を示すイベントを発見した。この時間差は惑星間衝撃波による太陽風圧縮に起因していると考えられ、アルファ粒子との時間相関、Mg や Si などの高温プラズマからの輝線により解釈できる。このような遅れた時間変動は衝撃波のシース領域やそれを形成する太陽活動に依存するため、プロトンだけでなく他のパラメータも注意深く確認する必要がある。本公演では、太陽風パラメータと関連する地球SWCX放射の時間変動について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q43a 乱流磁場を考慮した相対論的磁気流体風の減速

田中周太 (甲南大学), 當真賢二 (東北大学), 富永望 (甲南大学)

相対論的な速度の流れの存在は多くの高エネルギー天体現象で観測されている。こ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盛んに議論されている。磁気駆動モデルでは、その流れは磁場が卓越した相対論的磁気流体となる。

本研究で扱うパルサー星雲についても流れの根元であるパルサー磁気圏では、磁場が卓越した相対論的磁気流体風と考えられている。一方で、はるか下流のパルサー星雲は、膨張速度の観測とスペクトルの観測という二つの独立な観測データから、磁化率が極端に小さい流れであることが示唆されている。これがパルサー星雲における磁化率問題である。我々はこれまでにパルサー星雲のトロイダルに揃った磁場の散逸を考えることによって、高い磁化率のパルサー風でも、上記の観測データを説明できる可能性を示した。しかし、偏光の観測などからパルサー星雲にはトロイダル磁場に加えて、乱流的な乱れた磁場が普遍的に存在することが指摘されている。

本研究では我々のこれまでのモデルを「トロイダル磁場を乱流磁場にする効果」と「乱流磁場が散逸する効果」を含めたモデルに拡張した。トロイダル磁場が磁気流体不安定性などによって乱流磁場になることで、磁化率の大きなパルサー星雲であっても膨張速度の観測を説明することができる。これまでの磁場散逸のみのモデルと違い、磁場の散逸は膨張速度にはほとんど影響を与えないことがわかった。パルサー星雲の多次元シミュレーションで見られる乱流磁場構造が磁化率問題の解決の大きな役割を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](#)

【R. 銀河】

3月14日(水) 午後(13:30-15:00) [H会場]

R01a	13:00	相互作用銀河 NGC3110 の ALMA による分子ガスの観測的研究 その2 川名佑佳 (日本女子大学)
R02a	13:12	ALMA observation of $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(J=3-2)$ molecular gas in merging ULIRGs Misaki Ando (SOK-ENDAI/NAOJ)
R03a	13:24	ALMA による赤外線銀河 IRAS20551-4250 の系統的高密度分子ガス観測 今西昌俊 (国立天文台)
R04a	13:36	Fossil Group 候補 NGC720 周囲の Ultra-Diffuse Galaxies の発見 田中壱 (国立天文台)
R05b	13:48	遠方銀河におけるサブミリ輝線 森脇可奈 (東京大学)
R06b	13:48	空間分解したケニカット-シュミット則と諸物理量との関係 依田萌 (名古屋大学)
R07b	13:48	NRO レガシープロジェクト COMING(17): 近傍銀河における分子ガス速度場のフーリエ解析 野間勇斗 (関西学院大学)
R08a	14:00	NRO レガシープロジェクト COMING(18): 近傍銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 比に関する統計的研究 佐藤佑哉 (筑波大学)
R09a	14:12	「あかり」赤外線全天マップで探る早期型銀河のダストと分子ガス・X線プラズマの関係 國生拓摩 (名古屋大学)
R10a	14:24	HIPASS 及び 2dFGRS を用いた銀河の HI ガス量進化 上野紗英子 (鹿児島大学)
R11a	14:36	銀河系中心領域の暗い質量分布による S2 の視線速度への影響について 孝森洋介 (和歌山工業高等専門学校)
R12b	14:48	Sub-millimeter Detection of the IR Stars around Sgr A* by ALMA Masato Tsuboi (JAXA)
R13b	14:48	矮小楕円体銀河の進化に与える暗黒物質ハローの影響 佐々木秀幸 (防衛大学校)
R14b	14:48	Dark halo structure in Carina dwarf spheroidal galaxy: Joint analysis of multiple stellar components 林航平 (国立天文台)
R15c		間欠的星形成を許す矮小楕円体銀河の暗黒物質ハロー 釜谷秀幸 (防衛大学校)
R16c		Sculptor 矮小楕円体銀河の RR 型変光星の金属量分布 本間英智 (国立天文台)

3月15日(木) 午前(9:30-11:18) [H会場]

R17a	09:30	Hyper Suprime-Cam で探るアンドロメダ銀河の恒星ストリームとハロー構造 小宮山裕 (国立天文台)
R18a	09:42	アンドロメダ銀河 North-Western ストリームの形成過程 桐原崇亘 (千葉大学)
R19a	09:54	ALMA による近傍銀河 NGC 613 中心領域の [CI] 観測 宮本祐介 (国立天文台)
R20a	10:06	'Environments and Line-of-Sight Structure of Strong Gravitational Lens Galaxies to $z \sim 0.8$ ' Kenneth Wong (NAOJ)
R21a	10:18	Faraday tomography による銀河磁場解析 江口開哉 (熊本大学)
R22a	10:30	VLBI 位置天文観測によるペルセウス座腕減衰期の“初”検出? 坂井伸行 (国立天文台)
R23a	10:42	天の川銀河のバー形成史とダークマターハローの回転 藤井通子 (東京大学)
R24a	10:54	SAGA データベースを用いた銀河系の動力学化学進化 松野允郁 (総合研究大学院大学)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

R25b	11:06	HST アーカイブデータによる近傍銀河 M83 の測光	長谷川隆 (県立ぐんま天文台)
R26b	11:06	遷音速銀河風モデルと星形成銀河への応用	五十嵐朱夏 (筑波大学)
R27c		The Far Distance to G21.87+0.01 from Proper Motion Measurement of Water Masers	山内彩 (日本学術振興会/国立天文台)
R28c		一般的な時間対称時間積分法の構築	船渡陽子 (東京大学)

R01a 相互作用銀河 NGC3110 の ALMA による分子ガスの観測的研究 その2

川名佑佳 (日本女子大), 奥村幸子 (日本女子大), 斉藤俊貴 (MPIA), 川邊良平 (国立天文台), Daniel Espada (国立天文台), 伊王野大介 (チリ観測所/国立天文台), 安藤未彩希 (総研大/国立天文台)

距離 75 Mpc に位置する NGC3110 は、赤外線で見ると、ガスが豊富であり、銀河 MCG-01-26-013 との相互作用銀河である。中心領域のバーと非対称のアームによって構成されており、相互作用による爆発的星形成の誘発や銀河進化を調べる上で格好なターゲットである。2017 年秋季年会では、ALMA Cycle2 で得られた $^{12}\text{CO}(2-1)$ 、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(2-1)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ の 4 輝線の観測結果と、積分強度図から作成した $^{12}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(1-0)$ 比の map を用いて、領域ごとに比の値を our galaxy と比較した結果を報告した。比の値は、銀河円盤部分の羊毛状領域では約 0.66、中心領域では約 0.77、アームで比の高い領域では約 0.8~1.1 となった。3mm の連続波も、中心やアームで強く受かっており、特に、比の高いアームの先端領域は、超星団 (SSC) が形成されている可能性を考えた。今回は、比の値を精査するために、チャンネルマップから $^{12}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(1-0)$ 比を求めた。さらに、星形成が活発な領域を確認するために、 $\text{H}\alpha$ 線の map (Hattori et al. 2004) との比較を行った。 $\text{H}\alpha$ 線の map では、中心と、アーム上の 2ヶ所、計 3 点で $\text{H}\alpha$ 線が特に明るい領域が存在しており、3mm の連続波が受かっている領域とほぼ一致していることが分かった。この 3 点について、チャンネルマップから求めた比の値は、中心で約 0.78、アーム上の 2 点で各々約 0.82、0.85 であった。したがって、比の値が 0.8 以上と高い領域では、大質量星が活発に形成されていると考えられる。現在、これらの領域での星形成率 (SFR) や分子ガス質量を具体的に見積もるとともに、各領域での速度構造についても詳細に調査している。本講演では、 $^{12}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(1-0)$ 比と 3mm の連続波、 $\text{H}\alpha$ 線との比較結果をもとに、相互作用銀河 NGC3110 の領域ごとの星形成活動について定量的に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a ALMA observation of $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(J=3-2)$ molecular gas in merging ULIRGs

Misaki Ando, Daisuke Iono, Toshiki Saito, Tomonari Michiyama, Junko Ueda

Galaxy merger plays an important role in the evolutionary process of galaxies, as it changes the physical and chemical condition of the ISM dramatically, and intensifies the starburst/AGN activity as seen in the frequent occurrence of mergers in Ultra/Luminous Infrared Galaxies (U/LIRGs). Observations of multiple molecular gas will allow us to investigate the physical condition of the ISM and star formation properties triggered during mergers.

Here we present the results of $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ and $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ observations obtained toward six merging U/LIRGs with ALMA. We compare the distribution of $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(J=3-2)$ line intensity ratio at ~ 200 pc resolution. We found that (1) the averaged ratio values are higher (~ 20) than the typical values for normal spiral galaxies (~ 10), and (2) the ratio values at the central regions are typically lower than the outer regions. It can reflect the difference of opacity/abundance conditions of molecular gas, and can be a key to the variation of physical/chemical conditions as a function of merger stage and starburst/AGN activity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a ALMAによる赤外線銀河 IRAS20551–4250 の系統的高密度分子ガス観測

今西昌俊 (国立天文台), 中西康一郎 (国立天文台), 泉拓磨 (国立天文台)

超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、塵の奥深くに埋もれた星生成、活動銀河中心核 (AGN) によって暖められた塵の熱放射によって明るく輝いている天体である。両者は周囲に与える化学的、物理的影響が異なるため、塵吸収の影響の小さな (サブ) ミリ波帯での分子ガスの回転遷移の輝線強度比の違いから区別できると期待される。

観測的には、 HCO^+ に対する HCN の回転遷移の輝線強度が、星生成銀河より AGN で強い傾向があることが言われており、その解釈として、(a)AGN で HCN の組成が高い、(b)AGN によって暖められた高温の塵からの波長 $14\mu\text{m}$ の赤外線放射によって振動励起され、振動基底準位に落ちてくることにより HCN の回転遷移の輝線強度が増加するなどの説が提唱されている。IRAS 20551–4250 ($z=0.043$) は、埋もれた AGN を持つと診断されている HCN 強度の大きな ULIRG である。分子ガス輝線の細さから、振動励起された HCN 、 HNC 輝線がはっきりと検出され、(b) の寄与を定量的に評価するのに適した天体である。我々は2015年秋季年会での発表 (R12a) の後、ALMA Cycle 3、4 で多くの分子ガス輝線の観測データを取得し、以下の結果を得た。(1) 同位体の $J=3-2$ 輝線に対する強度は、 HCO^+ 、 HNC に比べて HCN で有意に小さく、ラインによる光学的厚さで $\text{HCN } J=3-2$ の光量減衰が大きいと解釈される。つまり、高い HCN 組成を意味する。(2) $J=1-0$ に対する高回転準位の輝線強度が、 HCN よりも HNC で有意に大きく、衝突励起では説明できない。分子ガスから数 10pc の距離に、観測されている赤外線スペクトルを持つエネルギー源を置けば、赤外線放射励起で説明できる。ただし、赤外線放射励起は、 HCN 、 HCO^+ に対して同程度に働き、強い HCN 輝線の主要な原因ではない。(3) $\text{CO } J=3-2$ で幅の広い輝線成分が検出され、 $\sim 150 M_{\odot}/\text{yr}$ の分子ガスアウトフローの存在を示唆する (Imanishi et al. 2017 ApJ 849 29)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R04a Fossil Group 候補 NGC720 周囲の Ultra-Diffuse Galaxies の発見

田中 壱 (Subaru Telescope), 八木雅文 (NAOJ), 幸田仁 (Stony Brook University)

NGC 720 は近傍にある E5 型の孤立楕円銀河である。Milky Way と類似の星質量を持つが、広がった X 線を伴っている事、この銀河の周囲 0.5Mpc 以内に他の L_{*} 級の銀河がない (付近の 2 番目に明るい銀河とは K で 2.95 等の等級差がある) などの特徴から、かつて銀河群だったものが、合体の末に 1 つの大型銀河になったという、いわゆる fossil group の候補銀河の可能性はある。近年、銀河群や銀河団に付随する Ultra Diffuse Galaxy (UDGs) という極めて面輝度の低い、大型の銀河が注目されているが、NGC 720 が fossil group であれば、高密度環境にやや多いとされる UDG やそれに準ずる銀河が見つかる可能性が高いと期待される。

我々はすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam を用いて、NGC 720 の周囲に対しての、UDG 的な Low surface-brightness 銀河 (LSB 銀河) の探査を行った。その結果、銀河の周囲 0.3 Mpc の範囲に、十数個に及ぶ新たな dwarf 銀河および LSB 銀河が見つかった。そのうちの最大のもは、中心面輝度 27 mag/arcsec^2 (r mag, AB)、有効半径が 30arcsec のスムーズな銀河で、これが NGC 720 に付随すると仮定すると、有効半径が 3.4kpc にもなる真正の UDG となる。さらに、同じ仮定のもとで、もう一つの UDG と、UDG 基準よりわずかに小さい sub-UDG 候補 1 つが NGC 720 周囲から見つかった。これらの UDG 的銀河の検出率は、孤立銀河のそれよりは銀河群における期待値に近い。もしこれらが NGC 720 に付随している場合、NGC 720 系は UDG 超過的にも銀河群的な性質を持つことを意味し、Fossil Group であるという仮説に合致する。さらに、銀河本体からは、過去の銀河合体で形成されたと考えられる、リップル状の極めて淡い構造が新たに見出された。NGC 720 に対する fossil group 仮説を支持する証拠を、光学観測的に示したのは、今回が初めてである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05b 遠方銀河におけるサブミリ輝線

森脇可奈, 吉田直紀, 清水一紘

ALMA 望遠鏡 によって、サブミリ波を用いた $z = 9$ に及ぶ遠方銀河の検出と物理状態の理解が可能になっている。近傍銀河において、[OIII] $88 \mu\text{m}$ や [CII] $158 \mu\text{m}$ は星形成率と相関することが知られている (e.g., De Looze et al. 2014)。一方、 $z > 5$ においては [CII] $158 \mu\text{m}$ は近傍の星形成率との関係から推定されるよりも弱くなることが観測から示唆されている (e.g., Smit et al. 2017)。この理由として HII 領域における金属量や電離パラメータ (電離光子数-水素原子数比) の違いや CII 輝線を発する中性ガス領域が破壊されることなどが考えられている。

ガス密度が大きく輝線の臨界密度に近づくほど輝線強度は小さくなり、電離パラメータが大きいほど、[OIII] などの高電離輝線は強く、[CII] などの低電離輝線は弱くなる。本研究では、宇宙論シミュレーションの結果を用いて HII 領域の電離状態を準解析的に調べ、赤方偏移 $z = 7 - 9$ での輝線強度を推定した。ガス密度は赤方偏移と共に大きくなり、これによって電離領域がコンパクトになり、平均電離パラメータは大きくなる。HII 領域における [CII] 強度は $z > 5$ で近傍での星形成率との関係に比べて弱くなることがわかった。[OIII] 強度は、ガス密度と電離パラメータの寄与が相殺し、強いガス密度依存性は見られない。この結果、最も活発に星形成を起こしている銀河の [OIII] 強度は $z = 9$ で $10^9 L_\odot$ 、 $z = 7$ で $10^{9.5} L_\odot$ となり、輝線強度比 [OIII]/[CII] は近傍より一桁程度大きい。[CII] 強度の HII 領域以外の寄与を 80% と見積もると、輝線強度比が 10 を大きく超える銀河もあった。講演では、得られた結果を近年の ALMA 望遠鏡による観測結果などと比較して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R06b 空間分解したケニカット-シュミット則と諸物理量との関係

依田萌、竹内努（名古屋大学）、金子紘之（国立天文台）

銀河のガス面密度と星形成率面密度の間に成り立つ、ベキ乗則 (Kennicutt-Schmidt 則、以降 K-S 則) は銀河の星形成活動を理解するために長年研究されてきた。近年では個々の銀河について空間分解した K-S 則も研究されている。しかし、これまでの空間分解した K-S 則はケーススタディが多く、統計的な議論はほとんどされてこなかった。本研究では空間分解した K-S 則について統計的な議論を行うため、21 個の銀河について 1 kpc に空間分解した分子ガスの K-S 則を調べた。

分子ガス面密度は、野辺山 CO アトラス (Kuno et al. 2007) による近傍銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線マッピングデータを用い、星形成率面密度は GALEX FUV と Spitzer 24 μm または Herschel 250 μm から算出した。こうして、銀河中心の半径 4 kpc の領域について 1 kpc スケールでの K-S 則を導出し、そのべきを調べた。

この結果、K-S 則のべきと、銀河中心の半径 4 kpc で求めた平均分子ガス面密度や平均星形成率面密度の間に正の相関があることが分かった。得られた相関が確かなものかを調べるため、べきと平均分子ガス面密度、平均星形成率面密度についてそれぞれ積率相関係数の無相関検定を行ったところ、有意な相関であることが確かめられた。この相関は銀河の性質とローカルな星形成活動の関係を示していると考えられる。本講演では詳細な結果を報告するとともに、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](#)

R07b NRO レガシープロジェクト COMING(17) : 近傍銀河における分子ガス速度場のフーリエ解析

野間 勇斗、Dragan Salak、瀬田益道 (関学大)、徂徠和夫、矢島義之、柴田修吾 (北大)、宮本祐介、金子紘之 (国立天文台)、田中隆広、佐藤佑哉、久野成夫、保田敦司、中井直正 (筑波大)、竹内努、依田萌 (名古屋大)、村岡和幸、黒田麻友 (大阪府立大)、中西裕之、上野紗英子 (鹿児島大)、他 COMING メンバー

COMING グループは、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて 120 個以上の近傍銀河を CO(1-0), 空間分解能 18", 速度分解能 10km/s で観測した。この豊富な観測データから、銀河の進化を知る上で重要な分子ガスの運動と銀河の形態との関係について、統計的な議論が可能である。これには角運動量や中心に向かうガスの流れなどの定量化が欠かせない。今回、速度場のフーリエ解析に基づくプログラム KINOMETRY (Krajinovic et al. 2006) を用いて、棒渦巻銀河と渦巻銀河の CO(1-0) の速度場から、円運動と非円運動の成分を計算した。棒渦巻銀河 NGC4303 (距離 19Mpc) の非円運動成分を除く半径 5kpc 内の円運動成分を、先行研究 (Sofue et al. 1997) の回転曲線と比較すると、最も大きく値が異なる半径で 30km/s 以内の差であった。また、同銀河で速度場の円運動に対する非円運動成分の割合は銀河の中心に近づくほど大きくなる。さらに、銀河の動径方向のガスの速度が正から負 (ガスの流れが中心方向) に変わる領域 (銀河中心から約 3kpc) は、銀河の棒状構造の端 (バーエンド) 付近に相当する。別の棒渦巻銀河 NGC4579 (距離 17Mpc) でも同様の傾向が見られた。一方で渦巻銀河 NGC6643 (距離 21Mpc) では、動径方向の速度成分が銀河中心より 0.7kpc から半径 6kpc まで、ほぼ 0km/s であり、棒状構造を持つ銀河とは異なり、非円運動の成分はほとんど存在し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](#)

R08a NRO レガシープロジェクト COMING(18):近傍銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 比に関する統計的研究

佐藤佑哉, 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 中井直正, 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), 金子紘之, 宮本祐介 (国立天文台), 村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府立大学), 竹内努, 依田萌 (名古屋大学), Dragan SALAK, 野間勇斗 (関西学院大学), 中西裕之, 上野紗英子 (鹿児島大学)
他 COMING メンバー

本研究では、COMING プロジェクトによって $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ (以下 ^{12}CO), $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ (以下 ^{13}CO)でマッピングされた近傍銀河について、 ^{12}CO で得られた速度情報をもとに ^{13}CO についてスタッキング法を用い、銀河全体での ^{12}CO と ^{13}CO の性質の比較を行った。その結果、48/57個の銀河で ^{13}CO を 3σ 以上で検出することができた。銀河全体での ^{12}CO と ^{13}CO の光度はほぼ比例関係にあり、その光度比の平均はおおよそ 12.9 ± 3.0 であった。また、赤外線データから推定したダスト温度を用いて ^{13}CO から求めた分子ガス質量と、 ^{12}CO 強度と分子ガス柱密度の変換係数(X_{CO})を用いて求めた質量もほぼ比例関係となった。ただし、最大でファクター3.5のばらつきが見られる。比例関係から大きく外れる銀河については、ダスト温度が高い傾向にあることがわかった。またダスト温度と、 ^{12}CO と ^{13}CO の光度比が高い銀河では、銀河全体での星形成効率(星形成率/水素分子ガスの質量)が高くなる傾向があり、活発な星形成が起こっていることが示唆される。一方でそのような銀河では、光度比、銀河面の傾き、線幅3つについての各々の相関は見られなかった。これらの結果から、星形成が活発な銀河では、 ^{13}CO が選択的に解離されることによって、 ^{12}CO と ^{13}CO の光度比が高くなっていることが示唆される。COMINGで取れたデータの解析は引き続き行われており、今後サンプル数をさらに増やしていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09a 「あかり」赤外線全天マップで探る早期型銀河のダストと分子ガス・X線プラズマの関係

國生拓摩、金田英宏、鈴木仁研、近藤晶乃（名古屋大学）、村田勝寛（東京工業大学）、山岸光義（ISAS/JAXA）

早期型銀河は銀河進化の末期にあり、古い星やX線プラズマが支配的なため、冷たい星間ガスやダストはほとんど存在しないと考えられていた。しかし近年の高感度な電波・赤外線観測により、多数の早期型銀河から、わずかながら分子ガスやダストが検出され、いまだに星形成を行っている兆候が捉えられた。こうした冷たい星間物質がX線プラズマとどのように共存しているのか、また、その起源についても星の質量放出や銀河合体など様々な可能性が検討されているが、正確な描像は得られていない。特に星間ダストは銀河の星形成や物質進化のなかで重要な役割を果たすため、年老いた銀河におけるダストの振る舞いを明らかにすることは、銀河進化を理解する上で重要な課題である。

本研究では、ATLAS^{3D} サーベイ（Cappellari et al. 2011）によりCOガスなどが系統的に観測された、近傍の早期型銀河260天体のダスト特性を調べた。「あかり」全天マップを用いた赤外線フラックス測光の結果や2MASSとWISEのアーカイブデータをもとに、各銀河のspectral energy distributionを作成し、モデルフィッティングからダスト質量を求めた。その結果、およそ半数の銀河からダストが有意に検出され、ガス・ダスト質量比は通常の星形成銀河と同程度であることが分かった。さらにChandraにより得られた星間X線プラズマの光度とダスト質量を比較したところ、両者が相関する銀河と、反相関する銀河の2つの種族があることを見出した。本講演では以上の結果をもとに、進化を終わつつある銀河の星間物質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](#)

R10a HIPASS 及び 2dFGRS を用いた銀河の HI ガス量進化

上野紗英子, 中西裕之, 小出凪, 藏原昂平 (鹿児島大学)

我々は豪 Parkes 望遠鏡で観測された HI Parkes All-Sky Survey のデータおよび豪 Anglo-Australian 望遠鏡で観測された Two-degree Field Galaxy Redshift Survey のデータを用いてスタッキング解析を行い、 z が 0.04 までの過去 5 億年間にわたる HI 量の進化を 0.6 億年 ($\Delta z = 0.005$) の時間分解能で調査したので報告する。

HI ガスは銀河星間物質の主要要素であり銀河進化を明らかにする上で重要な要素である。最近の研究 (Hoppman et al. 2015, Rhee et al. 2016) によると赤方偏移 $z < 1$ の範囲では HI 量は一定であるといわれているが、その進化は時間分解能 5 億年程度で調べられてきた。銀河の典型的な HI 質量は $10^9 M_\odot$ 程度、星形成率は数 M_\odot/yr であることを考慮すると、HI ガス量は 1 億年で数十 % 変化している可能性があり、1 億年程度の時間分解能で調査する意義は大きい。

我々は 2dFGRS により赤方偏移が測定された計 10223 個の銀河についてスタッキング解析を行い、単独では検出できない HI スペクトルを検出することができた。銀河の平均的な HI ガス量は $z = 0.04$ では $(2.28 \pm 0.59) \times 10^9 M_\odot$ 、 $z = 0.003$ では $(7.88 \pm 0.74) \times 10^8 M_\odot$ 、 $z = 0.003 - 0.04$ での平均は $(1.46 \pm 0.29) \times 10^9 M_\odot$ である。また、 Ω_{HI} は $z = 0.04$ では $(4.51^{+1.56}_{-1.11}) \times 10^{-4} h^{-1}$ 、 $z = 0.003$ では $(3.06^{+0.76}_{-0.54}) \times 10^{-4} h^{-1}$ 、 $z = 0.003 - 0.04$ での平均は $(3.2^{+0.98}_{-0.70}) \times 10^{-4} h^{-1}$ である。これらは先行研究で得られている結果と矛盾がないことを確認した。我々の結果は過去 5 億年間に有意に HI 量が減少していることを示唆する。これは星形成によって数 M_\odot/year 程度の割合で銀河の HI ガスが消費されていることに相当する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R11a 銀河系中心領域の暗い質量分布による S2 の視線速度への影響について

孝森洋介（和歌山高専），斉田浩見（大同大），西山正吾（宮城教育大），高橋真聡（愛知教育大）

銀河系の中心には太陽質量のおよそ 400 万倍の質量を持った超大質量ブラックホールがあると考えられている。さらに、そのブラックホールを周回する星たち（S 星）が発見されており、それらの軌道はケプラー軌道でよく説明できることが分かっている。これは、ブラックホールと S 星の力学系は 2 体系として理解できるということであり、S 星が観測されている銀河系中心領域は非常にきれいな環境であることがうかがえる。しかしながら、それは現在の観測精度の範囲内という意味であり、銀河系中心ブラックホールの周囲には暗くて見えていない恒星、コンパクト天体、ダークマターといった「暗い質量」がまだあると考えられる。それらの「暗い質量」は、S 星の軌道がケプラー軌道でよく説明できるということから、合計で 0.01pc 内に銀河系中心ブラックホール質量の 1% 程度という上限値が与えられている。

2018 年に S 星の 1 つである「S2」がブラックホールへ最接近する。S2 の軌道は 0.01pc 内に入っているため、もし「暗い質量」があればその影響を受ける。私たちは、「暗い質量」の分布として「球状星団モデル」を仮定し、「暗い質量」が S2 の視線速度へどのような影響を与えるか定量的に評価した。その結果、0.01pc 内にブラックホール質量の 1% の暗い質量があれば、ケプラー軌道での視線速度との差は最接近時期の 2018 年代に大きくなり、最大で 1000km/s に達することが分かった。2018 年に、S2 の視線速度を精密に測定することで、「暗い質量」についてこれまでより強い制限をつけられ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](#)

R12b Sub-millimeter Detection of the IR Stars around Sgr A* by ALMA

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Kenta Uehara (U.Tokyo), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (JSF)

The Nuclear star cluster (NSC) is a unique object in the galaxy because the cluster is centered at the Galactic center black hole, Sgr A*, and concentrates within $r < 0.5$ pc. The NSC contains 100 OB and WR stars. It may be difficult to make the cluster near Sgr A* in a way by which stars are usually formed in the disk region because both the tidal force of Sgr A* and the strong Lyman continuum radiation from the cluster itself must have a serious effect on the star formation. Therefore, it is still an open question how the NSC has formed. In any star formation mechanism, there may be some signatures in the motion and distribution of the stars around Sgr A*. Such studies have been performed by IR telescopes (IRTSSs). However, ALMA is superior to them as a precision astrometry tool for the NSC because ALMA can always observe the position of Sgr A* but IRTs cannot always. We observed the NSC at 340 GHz (ALMA#2015. 1.01080.S). The angular resolution using uniform weighting is $0''.10 \times 0''.09$. The well-known IR objects, IRS16 cluster, IRS13E complex, IRS21 cluster and so on, are first detected in the sub-millimeter continuum map. Most of them are WR stars and O stars except for IRS7, which is a cool star. We derived the proper motions of the members of the IRS13E complex from comparison between this observation and recent JVLA observation (Yusef-Zadeh+ 2015) on trial. Because ALMA has potentially a much smaller beam size than VLA, astrometry with ALMA is promising.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13b 矮小楕円体銀河の進化に与える暗黒物質ハローの影響

佐々木秀幸、釜谷秀幸（防衛大学校）

アンドロメダ座銀河の伴銀河である2つの矮小楕円体銀河 NGC147 と NGC185 は、互いに重力的に影響し合っている連銀河の可能性が指摘されている。それらの質量密度は共にほぼ等しく、親銀河からの距離も同程度である。ところが、最近の観測の結果では、NGC147 では有意なダストが検出されなかった一方、NGC185 ではダストが検出されておりさらに最近まで星形成も続いていたことが明らかになっている。我々は、これらの差異が生じた原因は dark matter halo の有無である可能性を議論している。

まず我々は、我々の天の川の伴矮小楕円体銀河の暗黒物質の多寡を比較し、その星形成史を調べてみた。その結果、多くの矮小楕円体銀河では、initial burst の直後に星形成のピークを迎えたあと星形成率は低いままで推移するか全く星形成がなくなるが、暗黒物質が豊富な Draco では、約 20 億年前に星形成率の再上昇がみられることが分かった。NGC185 の中心付近でも同様の上昇が見られており、暗黒物質の多寡との関係性が期待される。

講演時には、さらに Draco と NGC185 を多角的に比較検討する予定である。Draco と NGC185 の類似性が多く見つければ、NGC185 が豊富な暗黒物質ハローを持ち、NGC147 との進化に差が出たとの仮説を強める。さらには天の川伴矮小楕円体銀河の中でも暗黒物質が比較的少ない中で3度もピークを持つ星形成史を経たとされる Carina との違いにも触れる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14b Dark halo structure in Carina dwarf spheroidal galaxy: Joint analysis of multiple stellar components

Kohei Hayashi (NAOJ), Eric W. Peng (KIAA-PKU)

銀河系矮小銀河ダークハロー構造の解明は現代天文学だけでなく素粒子物理学でも非常に注目されている。しかし動力学解析モデルや観測データの不十分さからダークハロー構造推定の不定性が大きく、この不定性を如何に抑えるかが目下の重要な問題となっている。一方で、近年の分光観測から矮小銀河には化学動力的に性質の異なる複数の星種族が共存している事が明らかになった。これらの星種族が1つのダークハローポテンシャル中で運動していると考えると、各々の独立した力学解析からダークハロー構造についてより強い制限を与えられると期待できる。

本研究では Bono et al. (2010) による測光観測と Fabrizio et al. (2016) による分光観測で明らかになった、りゅうこつ座矮小銀河の2成分星種族データを用いて非球対称ダークハロー構造推定を行い、これまでの先行研究との比較を行った。この2成分星種族を用いた非球対称ダークハロー構造推定を行ったのは本研究が初めてである。この解析の結果、先行研究よりもやや強い制限を与える事は出来たが、推定における不定性をより小さくするには更に観測量を増やす必要がある事がわかった。本講演ではこれらの結果をより詳細に述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15c 間欠的星形成を許す矮小楕円体銀河の暗黒物質ハロー

釜谷秀幸、佐々木秀幸 (防衛大学校)

矮小楕円体銀河 (dSph) 内部における恒星運動の詳細な解析により、それらの多くがフラットローテーションカーブを持つことが分かった (Walker et al. 2007)。このことは、dSph が力学的平衡状態にあることを強く示唆する。そして、その重力を担う物質はバリオンだけでは足りず、多量の暗黒物質が必要となる。つまり、dSph は一般的に暗黒物質ハローを纏っている矮小銀河の一形態であると考えられる。

さて、もし暗黒物質ハローが十分に広がっているならば (バリオンの横断時間 > 暗黒物質ハローの自由落下時間)、最初のスターバースト後に星形成領域から外部に吹き飛ばされたバリオンが再落下し、弱いながらも星形成が間欠的に起きてよい。こういった傾向は、多くの Blue Compact Dwarf galaxies で見受けられる。dSph の場合でも同様であろうか? 目立つほどの dSph では、力学的平衡状態にあるものの、単発的な星形成しか起きなかったようにみうけられる。

こうした疑問に答えるため、まず、バリオンの横断時間と暗黒物質ハローの自由落下時間とのバランスから決まる dSph の大きさを評価した。そうすると、典型的と想定されるパラメータを採用し概ね 4 k p c を得た。これを潮汐半径と仮定すると、同程度の大きさの dSph との重力散乱を想定することで、概ね 7 k p c まで接近したことが分かる。この評価は、dSph が形成後に一度は互いにごく近傍まで接近したという履歴が反映しえることを示唆する。つまり、暗黒物質ハローの一部や外縁を漂っていたバリオンが潮汐力により引き剥がされることが可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R16c Sculptor 矮小楕円体銀河の RR 型変光星の金属量分布

本間英智 (国立天文台)

こと座 RR 型変光星 (RRL) は低質量の変光星であり、距離指標として用いられるだけでなく、10 Gyr 以上前の古い星種族である。そのため矮小銀河の RRL の金属量を測定することで、銀河初期の化学進化を調べる研究が行われている。2017 年春季天文年会において我々は、Sculptor 矮小楕円体銀河 (dSph) における RRL の周期光度関係から推定された RRL の金属量分布と、赤色巨星分枝星 (RGB) の分光観測で得られた金属量分布を化学進化モデルで解析し、低金属量の RRL が RGB に比べて少ないことを報告した。本発表では、先行研究による RRL の金属量推定で仮定された Sculptor dSph の距離を見直したことで、RRL と RGB の不一致が解消されることを報告する。RRL と RGB の金属量分布を化学進化モデルで同時に説明するためには、先行研究の仮定よりも長い距離が必要であり、RRL の平均金属量も先行研究よりも低くなることが分かった。また化学進化モデルから導かれた RRL の年齢と金属量から、Sculptor dSph は約 12 Gyr 前までに $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.8$ まで化学進化したと考えられる。一方で、金属量が比較的大きく推定された RRL については化学進化モデルでは説明できず、分光観測による金属量の直接測定が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17a Hyper Suprime-Cam で探るアンドロメダ銀河の恒星ストリームとハロー構造

小宮山裕 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学), 田中幹人 (東北大学), 田中賢幸 (国立天文台), 桐原崇亘 (千葉大学), 三木洋平 (東京大学), 森正夫 (筑波大学), Lupton, R. H. (Princeton), Guhathakurta, P. (UCO Lick), Kalirai, J. S. (STScI), Gilbert, K. (STScI), Kirby, E. (Caltech), Lee, M. G. (SNU), Jang, I. S. (SNU), Sharma, S. (Sydney), 林航平 (国立天文台)

銀河のハローには過去の銀河集積過程や衛星銀河の降着史など銀河形成進化に関する重要な痕跡が色濃く残されている。特に近傍に位置し、銀河中心からハローまでをその外側から俯瞰して観測できるアンドロメダ銀河 (M31) は銀河系とは相補的な格好の観測ターゲットである。しかし、今まで数々の観測が行われてきたが、M31 の遠さゆえにその詳細については未解明なことが多いのが実情である。

我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いてアンドロメダ銀河 (M31) のハロー領域の約 9.2 平方度のサーベイ観測を行った。HSC を使うことで検出限界が従来の観測より深くなり、Red Clump (RC) 星までを検出することができるようになった。本講演では、ハロー北西方向に見つかった恒星ストリーム (NW Stream) 領域に着目した解析を行ったので、その結果を報告する。主要な結果をまとめると下記のようなになる。

- (1) RC 星を使った距離推定から、NW Stream は M31 本体より遠方に位置していることが分かった。
- (2) 数の多い RC 星を使うことにより NW Stream の数密度分布の詳細が明らかになってきた。その断面形状は半値幅約 25 分角 (5.7 kpc) のガウス分布で近似できるが、南西側に多少ゆがみを持つようである。Stream に沿った方向には数々の凹凸が見られ、Stream の途切れる箇所 (ギャップ) も見つかった。
- (3) 色等級図の解析からは、NW Stream よりもさらに淡い別の Substructure の存在も示唆されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18a アンドロメダ銀河 North-Western ストリームの形成過程

桐原崇亘 (千葉大学), 三木洋平 (東京大学), 森正夫 (筑波大学), 小宮山裕 (国立天文台), 千葉証司, 田中幹人 (東北大学), 田中賢幸, 林航平 (国立天文台), 他

アンドロメダ銀河の北西方向に細長く伸びる North-Western (NW) ストリームは、その巨大かつ細長い形状から、 Λ CDM モデルに基づく構造形成シミュレーションにより指摘されるダークマターのサブハロー問題に対する観測的検証の格好のターゲットとして期待されている (Carlberg et al. 2011 他)。これは、恒星系を伴わないダークマターサブハロー (ダークサテライト) と恒星ストリームとの重力相互作用の痕跡を見つけ出すことで、ダークサテライトの存在を検証するというチャレンジングな研究である。しかし、恒星ストリームをそのためのツールとして用いるためには、あらかじめ恒星ストリームの形成過程、とりわけ母矮小銀河の性質や軌道を理論・観測の両面から制限しておく必要がある。これまでに我々は、NW ストリームに沿った位置に発見された球状星団の視線速度をその位置でのストリームの視線速度として用いることで、系統的なテスト粒子軌道サーベイシミュレーションで母矮小銀河のとりうる軌道を調べた結果を報告した (桐原他 2016 年秋季年会 R15a, Kirihara et al. 2017)。

今回我々は、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC) を用いた NW ストリームの観測により得られた、Red Clump 星を用いた距離推定結果 (小宮山他 2018 年春季年会) を軌道探査の制約条件に新たに組み込んだ。その結果、遠点がアンドロメダ銀河本体の手前にある軌道が全て棄却され、許される軌道数は距離情報を用いない場合の 10% 程度にまで絞られた。さらに、とりうる軌道の最小近点距離と矮小銀河の Hill 半径の見積りから、母矮小銀河の半径や質量について制限したので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](#)

R19a ALMA による近傍銀河 NGC 613 中心領域の [C_I] 観測

宮本祐介 (国立天文台野辺山)、瀬田益道 (関西学院大)、中井直正、渡邊祥正 (筑波大学)、 Dragan SALAK (関西学院大)、石井峻 (国立天文台)

ALMA を用いた C_I(³P₁ - ³P₀; [C_I])、¹³CO、C¹⁸O(*J* = 1 - 0) による近傍銀河 NGC 613 中心領域の観測結果を報告する。NGC 613 は距離 17.5 Mpc にある低光度 AGN で、その中心では電波ジェットが確認されている。本観測の空間分解能 {[C_I] : $\theta \sim 0.25''$ (21 pc)、¹³CO、C¹⁸O : $\theta \sim 0.4''$ (34 pc)} によって、NGC 613 中心の分子雲トラス [CND; $r \sim 1''$ (85 pc)] とその周囲の星形成リング [$r \sim 3.5''$ (300 pc)] の分布が明らかになった。銀河中心領域の [C_I] の分布を明らかにしたのは本観測が初めてである。

[C_I] と ¹²CO(*J* = 3 - 2; Miyamoto et al. 2017)、¹³CO、C¹⁸O の分布は大局的には一致しているものの、¹³CO と C¹⁸O はその光学的薄さにより、CND で非常に弱くなることがわかった。[C_I] と ¹²CO(3-2) の積分強度比は CND と星形成リングでいずれも 0.1 から 0.3 の範囲にあるが、特に星形成リング端の複数スポットで高い強度比を示した。強度比が高いスポットで [C_I]、¹²CO、¹³CO、C¹⁸O スペクトルを比較すると、CO 輝線の速度プロファイルはよく一致する一方で、[C_I] は異なる速度成分が付加されていることがわかった。これは強度比が高い領域では [C_I] がトレースする分子ガスが CO のものと異なることを示唆している。

銀河の短軸に沿った [C_I] の分布と運動から分子ガスの流出率を概算すると $\sim 0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ となり、CND での星形成率 $\sim 0.02 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ に対して非常に大きい。加えて、銀河中心からのジェットの運動エネルギー ($\sim 1.5 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$) は流出ガスの運動エネルギー ($\sim 7.4 \times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$) より十分大きく、エディントン光度に対しても比較的高い値 (1.2×10^{-3}) を持つ。これらは流出ガスの主な駆動源が Jet 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](#)

R20a Environments and Line-of-Sight Structure of Strong Gravitational Lens Galaxies
to $z \sim 0.8$

Kenneth Wong (NAOJ), HSC SSP Strong Lensing Working Group

We investigate the local and line-of-sight overdensities of strong gravitational lens galaxies using wide-area multiband imaging from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program, including new lens candidates discovered in Data Release 2 of the survey. We compare galaxy number counts in lines of sight toward known and newly-discovered lenses in the survey to those of a control sample consisting of random lines of sight. We also compare the local overdensity of lens galaxies to a sample of “twin” galaxies that have a similar redshift and velocity dispersion to test whether lenses lie in different environments from similar non-lens galaxies. We find that lens fields contain higher number counts of galaxies compared to the control fields, but this effect arises from the local environment of the lens. Once galaxies in the lens plane are removed, the lens lines of sight are indistinguishable from the control sample. The local environments of the lenses are overdense compared to the control sample, but are similar to those of the twin sample, showing that lenses reside in local environments that are representative of the underlying population of galaxies of similar mass and redshift.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R21a Faraday tomography による銀河磁場解析

江口開哉、宮下恭光、出口真輔、高橋慶太郎 (熊本大学)

多くの天体は磁場を伴っている。例えば、渦巻銀河にはその渦の形に沿った大局的な構造を持つ磁場が存在していることが観測から明らかになっている。そして、天体に付随する磁場を解析することにより、その天体の進化の過程や構造を解き明かすことができると言われている。磁場の解析手法として近年ファラデーモグラフィと呼ばれる手法が注目されている。この手法は、観測量である偏波スペクトルから視線方向の磁場および偏波源の分布の情報を持ったファラデースペクトルを構築する手法である。この手法が確立されることによって磁場の三次元構造を手に入れることが可能になる。ファラデーモグラフィによる磁場解析には大きく分けて2つの課題がある。1つ目は観測された偏波強度からファラデースペクトルをいかに正確に構築するかという課題で、2つ目は得られたファラデースペクトルからいかにして磁場の情報を抽出するかという課題である。ファラデースペクトルは磁場の情報を持っているが、直接的に実空間における磁場の空間分布の情報を表しているわけではないため2つ目の課題が発生する。本研究は2つ目の問題に焦点を当てている。ファラデースペクトルの解釈を行う先行研究として、face-onの現実的な渦巻銀河のモデルから解析的にファラデースペクトルを計算し、その形を特徴付ける統計量である幅、歪度、尖度から磁場の情報を引き出す研究がある。今回私は先行研究を拡張した研究を行い、銀河面に垂直な方向だけでなくあらゆる視線方向に関して、また、ファラデースペクトルの位相である偏波角の影響を考慮して解析的にファラデースペクトルの計算を行い、先行研究との違いを調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a VLBI 位置天文観測によるペルセウス座腕減衰期の“初”検出？

坂井 伸行, VERA and BeSSeL projects members

円盤銀河に見られる渦状腕は、(準)定常なのか非定常構造なのか？1960年代以降、銀河天文学分野で積極的に議論されてきたテーマである。この問題を解決するためには、渦状腕の理論モデルと (e.g. 密度波理論; 動的渦状腕理論)、実観測データとの比較研究が重要である。

我々は、3次元速度場を得ることが唯一可能な天の川銀河のペルセウス座腕に着目し、VLBA(2012-2013年)とVERA(2015-2017年)によるVLBI位置天文観測を行った。

その結果、7天体の年周視差(距離)、固有運動計測に初めて成功した。得られた結果を過去の結果(Choi et al. 2014)と組み合わせ(計~30天体)、ペルセウス座腕の形状に関する物理量を、ピッチアングル = 8.2 ± 2.5 deg, 腕の幅 = 0.43 kpc と求めることに成功した。

ペルセウス座腕周りの3次元速度場(非円運動)を、腕からの距離(D)の関数で調べたところ、銀河系中心に向かう U 成分について、負の相関($r = -0.35$)が見られた。腕の手前側と外側でそれぞれ重み付き平均を取ったところ、統計的に優位な差が見られた($\sim 5\sigma$)。これらの観測的発見は、腕の手前側の天体は銀河系中心に向かい、腕の外側の天体は反対方向に動く傾向を示唆している。この描像は、 N 体シミュレーションで得られた(Baba et al. 2013)、減衰期における動的渦状腕モデルとよく一致している。ピッチアングルが小さいことも(< 10 deg)、系外の円盤銀河で見られる“ $\tan(\text{ピッチアングル}) \propto \text{渦状腕振幅}$ ”関係(Grosbøl et al. (2004))と矛盾しない。

2018年4月にリリースされる*Gaia* DR2を、今回の電波位置天文観測の結果と組み合わせれば、より正確に、「渦状腕は準定常なのか、非定常構造なのか？」という銀河天文学の問題解明に迫ることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R23a 天の川銀河のバー形成史とダークマターハローの回転

藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (国立天文台), Jeroen Bedorf, Simon Portegies Zwart (Leiden Observatory)

Gaia の観測データが公開され始めた今、天の川銀河をシミュレーションでモデル化し、観測と比較することで、天の川銀河の現在の構造や過去の進化の履歴を知ることができると期待されている。しかし、N 体モデルで天の川銀河を再現するために最適なパラメータについては、まだ議論が続いている。特に N 体モデルの場合、渦状腕やバーが形成した後の円盤構造は初期条件として与えたものとは異なるため、どのような初期条件を用いれば、バーの形成・進化後に天の川銀河に近いモデルになるかは、シミュレーションを実行してみないとわからない。本研究では、バルジ、円盤、ダークマターハローから成る N 体銀河モデルについて 10Gyr までシミュレーションを行い、天の川銀河の円盤、バルジ、バーの観測との比較を行った。その結果、円盤の質量が $\sim 4 \times 10^{10} M_{\odot}$ 、バルジの質量が $\sim 4 \times 10^9 M_{\odot}$ 、ハローのスピンパラメータ $\lambda = 0.03-0.06$ 程度を初期条件とした時に、10Gyr でのバルジの星の速度分布、バーの長さ等が天の川銀河の観測と一致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](#)

R24a SAGA データベースを用いた銀河系の動力学化学進化

松野允郁 (総研大、国立天文台), 須田拓馬 (東京大学), 青木和光 (国立天文台), 勝田豊, 山田志真子 (北海道大学), 藤本正行 (北海学園大学)

銀河系ハローの形成には大小さまざまな矮小銀河の降着が大きな寄与をしたと考えられている。こうした降着の痕跡は、現在でもハロー星の空間・動力学分布と化学組成に残されていることが明らかになってきた。ハロー星の多くは金属欠乏星であるため、ハロー星形成過程のさらなる解明には多数の金属欠乏星の空間・動力学・化学組成情報が不可欠である。我々はこれまでに、高分散分光観測に基づいた金属欠乏星の化学組成をまとめて、SAGA データベースを作成してきた。今回新たにデータベース中の恒星の座標情報の整理を行い、これまで天体名で行っていた同一天体の特定がより一貫性をもって行えるようになった。さらに、座標情報をもとに位置天文衛星 Gaia からのデータリリース 1 に含まれる TGAS カタログとのクロスマッチを行い、近傍の明るい金属欠乏星の距離と固有運動を取得した。動力学解析を行った結果、現在までのところ金属欠乏星の空間・動力学分布と化学組成の間には相関が見られないことが明らかになった。また、銀河系の円盤星と同様の運動を示す金属欠乏星の存在は見られず、金属欠乏星だけを選択することで銀河系ハローを効率的に調べられることがわかった。現在のサンプルは TGAS カタログが明るい星のみしか含んでいないためにおよそ 180 星に限られているが、2018 年 4 月予定の Gaia 衛星データリリース 2 では SAGA データベース中の銀河系内の金属欠乏星ほぼ全てに対し距離と固有運動の測定結果が与えられる見込みである。Gaia データリリース 2 後を想定し、SAGA データベースでの空間・動力学の扱いについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R25b HST アーカイブデータによる近傍銀河 M83 の測光

長谷川 隆 (群馬県立ぐんま天文台)、馬場 淳一 (国立天文台)、中西 裕之 (鹿児島大)

HST データアーカイブ画像により、10 Mpc 程度の近傍の渦巻銀河についても銀河全面にわたる星の測光が可能となった。この星カタログによって可能となる課題の一つは、OB 型星の数密度と $H\alpha$ 、CO/HI、 K -band の強度分布の比較により、銀河の密度波理論の観測的検証を行うことである (たとえば、長谷川他 2013 年秋季年会 R12b、2014 年春季年会 R08a)。本発表では、M83(距離約 5 Mpc) について測光データを紹介する。

M83 の HST のデータアーカイブの特徴は、可視広帯域 U, B, V, I バンド、 $H\alpha$ 等の狭帯域 3 バンドに加え、可視に比べると空間分解能は低いものの、近赤外の H バンドが含まれることである。従来、CO 等との比較などにおいて、 K バンドの強度は重力場になじんだ軽くて古い星の分布を表すものとよく仮定されてきたが、必ずしも古いとは限らない RGB/AGB 星も K バンドでは明るく、さらにはむしろ若い種族の RSG も光度ではかなりの寄与をするため、 K バンドの光度分布がそのまま重力場を表すかどうかは疑念があった。M83 については、 K バンドではないが H バンドの画像が公開されており、RGB/AGB 星のうち少なくとも明るい星は検出できることがわかったので、まずこの仮定について再考察を行った。IRAF/DAOPHOT による測光を行うと、明るい星を差し引いた画像も得られ、この画像は RGB/AGB 星が除かれた (分解されない) 軽い星の分布をより忠実に表すと考えられる。もしこの軽い星の分布と RGB/AGB 星の分布に大きな差異が見られなければ、従来の K バンドの画像が重力場を表すという仮定は妥当ということになる。解析の結果は、RGB/AGB と重力場は 3 kpc 以内では空間的にはよい一致がみられた。本講演では、可視の測光結果も含めて、銀河内の諸種族の星の分布などについても示す予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R26b 遷音速銀河風モデルと星形成銀河への応用

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、銀河進化を決定する重要な現象であるとともに、銀河間空間の化学進化に影響する。我々は、球対称定常遷音速銀河風モデルを用いて、遷音速銀河風の基本的性質について議論を行ってきた。その結果、主にダークマターハローから成る銀河質量分布やエネルギー量などによって、遷音速銀河風には遷音速点が形成される半径の全く異なる遷音速解が存在することがわかった (Igarashi et al. 2014, 2017)。異なる遷音速解の存在は、銀河質量や星形成率などの違いが、銀河風加速過程を大きく変化させる可能性を示している。

今回、星形成銀河で観測されている銀河風速度 (Heckman et al. 2015, 2016; Sugahara et al. 2017) に我々のモデルを適用することで、質量流束や mass loading rate (または mass loading factor) を予想する。ここで、mass loading rate は銀河風の質量流束を超新星爆発の質量放出率で割ったものである。本研究では、異なる赤方偏移で観測された銀河風のデータを理論モデルと比較することで、星形成銀河における銀河風加速過程と銀河星質量や星形成率との関係だけでなく、赤方偏移への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](#)

R27c The Far Distance to G21.87+0.01 from Proper Motion Measurement of Water Masers

山内彩 (1,2), 山下一芳 (2), 本間希樹 (2), 蜂須賀一也 (1:日本学術振興会, 2:国立天文台)

銀経0度付近で、銀河系中心よりも遠い領域の天体は、視線速度よりも固有運動を用いたほうが精度よく距離を求めることができる。我々は以前、国立天文台のVLBI観測網VERAを用いて、超コンパクトHII領域G7.47+0.06に付随する22 GHz水メーザーの固有運動を測定し、天体までの距離を $D = 20 \pm 2$ kpcと求めた(2016年秋季年会R18a山内他; Yamauchi et al. 2016)。同天体の年周視差距離 $20.4^{+2.8}_{-2.2}$ kpc (Sanna et al. 2017)の結果と比較しても、この手法の有効性は確かである。

今回我々は同様の方法で、超コンパクトHII領域G21.87+0.01の距離測定を行った。G21.87+0.01は、視線速度による運動学的距離が約2 kpcまたは約13 kpc、吸収線の観測から遠方と判定されている天体である。我々は2009–2011年に22 GHz水メーザーの観測を行い、システム速度に対し青方または赤方偏移した3つのメーザースポットの位置変化を追跡した。青方成分に対する赤方成分の内部固有運動は $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta) = (-0.76 \pm 0.07, 0.11 \pm 0.15)$ mas yr⁻¹であった。3スポットの動きを平均して求めた絶対固有運動は $(\mu_l, \mu_b) = (-7.03 \pm 0.08, -0.37 \pm 0.08)$ mas yr⁻¹となり、内部固有運動の影響を除ききれていない可能性はあるものの、天球面上で銀河面にほぼ平行に、銀河系中心に近づく方向に動いている。

我々が測定した固有運動から、銀河回転曲線と太陽の特異運動を考慮して、天体までの距離を求めた結果、 $D = 12 \pm 2$ kpcとなり、やはり遠方であることが明らかとなった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R28c 一般的な時間対称時間積分法の構築

船渡陽子 (東京大学)

N 体計算でシミュレートされる対象は太陽系から大規模構造形成まで広い範囲に渡る。その際の時間積分の方法にはいくつかあるが、現在多く使われているものはシンプレクティック法とシンメトリック法(時間対称法)である。どちらもエネルギー等の保存量に永年誤差が無いという長所を持つ。無衝突系の計算で多く使われているリープフロッグ法はシンプレクティック&シンメトリックであるという長所があるが、精度が低く惑星系や熱的緩和を無視できない恒星系の計算には向かない。より高精度な方法が必要である。シンプレクティック法は高精度な方法を構築でき太陽・惑星系の計算でよく使われている。

系の構造が大きく変化・発達していくような恒星系(星団、星団やブラックホールを含む銀河等)では、タイムステップ間隔を対象の構造進化に合わせて変えたり、質点(星など)ごとにタイムステップを変えたりする必要がある。しかし変化する時間ステップではシンプレクティック法の長所が失われる。

時間対称な積分方法はタイムステップを変化させても対称性は失われない。そこで高精度な時間対称法があれば良いが、一般的な構築方法というのは知られていない。個々の既存の積分方法について、それを時間対称化する方法が知られているのみである(ルンゲ=クッタ法やエルミート法)。

本発表では、今までにある個々の既存の積分方法の時間対称化を一般化した、次のような時間対称な積分法の構築法と実用性について検討した結果を報告する。 $x_{i+1} = x_i + \frac{1}{2} [F(t_i, x_i; \tilde{h}_i) - F(t_{i+1}, x_{i+1}; -\tilde{h}_{i+1})] \cdot F(t, x, h)$ は一般の1ステップの積分である。これを毎ステップ陰的に解く必要があるが適当な加速法を使えば2~3回で収束させることができ、十分、実用的である。

[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14日(水) 午後(13:30-15:00) [I会場]

S01a	13:00	高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: IceCube の観測と誤差領域内にフレアしたガンマ線ブレーザーを検出する偶然確率の算出 林田将明 (千葉大学)
S02a	13:12	高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: フェルミ衛星による誤差領域内での GeV flaring ブレーザー TXS 0506+056 の検出 田中康之 (広島大学)
S03a	13:24	高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: 可視近赤外線追観測 諸隈智貴 (東京大学)
S04a	13:36	M87 活動銀河核ジェットのシンクロトロン放射モデルにおける質量注入モデル 荻原大樹 (東北大学)
S05a	13:48	電波銀河 M87 のジェットからの熱的放射の検証 大曾根聡子 (元産業技術総合研究所)
S06a	14:00	ブレーザー OJ287 の多波長偏光モニターによる粒子加速領域の特定 笹田真人 (国立天文台)
S07a	14:12	VLBI を用いた $z > 4$ radio-loud クェーサーの電波構造の観測的研究 古谷庸介 (山口大学)
S08a	14:24	電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの遠赤外線超過の検出 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構)
S09b	14:36	On the Disappearance of a Cold Molecular Torus around the Low-luminosity Active Galactic Nucleus of NGC 1097 泉拓磨 (国立天文台)
S10b	14:36	クランピートーラスからの広帯域 X 線スペクトルモデルの Circinus galaxy への適用 谷本敦 (京都大学)
S11b	14:36	Swift 衛星による電波銀河 NGC1275 の可視光から X 線帯域の変動解析 今里郁弥 (広島大学)
S12b	14:48	活動銀河核における X 線ガンマ線フレア解析 古谷泰愛 (芝浦工業大学)
S13b	14:48	HSC Transient Survey (VII): Variability-Selected faint AGNs 木村勇貴 (東北大学)
S14b	14:48	HSC Transient Survey (VIII): Tidal Disruption Events 諸隈智貴 (東京大学)

3月15日(木) 午前(9:30-11:30) [I会場]

S15a	09:30	高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 中に発見された点状電波源の観測的研究 岩田悠平 (慶應義塾大学)
S16a	09:42	Intricate Ionized Gas Flows Approaching to Sgr A* Masato Tsuboi (JAXA)
S17a	09:54	硬 X 線を用いた HCG 16 (Arp 318) における活動銀河核の探査 小田紗映子 (京都大学)
S18a	10:06	コンプトンショルダーを用いた X 線反射モデルによる活動銀河核トーラスの物理状態の推定 挽谷政弥 (広島大学)
S19a	10:18	3.4 μ m/4.6 μ m ダスト反響法によるクェーサーダストトーラスのサイズ測定 小久保充 (東北大学)
S20a	10:30	一酸化炭素吸収バンドから探る AGN トーラス内縁付近の状態と構造: 銀河の赤外光度・可視分類との関連 馬場俊介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S21a	10:42	大局的 3次元磁気流体計算による銀河中心核トーラスの磁氣的活動性 工藤祐己 (鹿児島大学)
S22a	10:54	Soft X-ray Excess Variation Causing Changing-Look Active Galactic Nucleus Hirofumi Noda (Tohoku University)
S23a	11:06	狭輝線 I 型セイファート銀河 Swift J2127.4+5654 におけるディレイとハード一次成分 三宅克馬 (東京大学)
S24a	11:18	二重 AGN をもつ高光度赤外線銀河 Mrk 463 の広帯域 X 線スペクトル解析 山田智史 (京都大学)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

3月15日（木）午後（13:30-14:42）[I会場]

S25a	13:30	狭吸収線を用いた AGN アウトフロー加速の直接検出の試み	三澤透（信州大学）
S26a	13:42	クェーサーアウトフロー角度依存モデルの検証	伊東大輔（信州大学）
S27a	13:54	X-ray reverberation lags due to AGN winds	水本岬希（宇宙航空研究開発機構/東京大学）
S28a	14:06	ALMA Observation of an Infrared-bright Dust-Obscured Galaxy with Strong Ionized Gas Outflow	鳥羽儀樹（ASIAA）
S29a	14:18	すばる HSC-SSP と FIRST 電波探査による $z \gtrsim 1$ 電波銀河の Radio-loudness	山下拓時（愛媛大学）
S30a	14:30	7年間のデータに基づく MAXI/GSC 高銀緯天体カタログ第三版の作成	川室太希（国立天文台）

S01a 高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: IceCube の観測と誤差領域内にフレアしたガンマ線ブレイザーを検出する偶然確率の算出

林田将明, Lu Lu, 石原安野, 吉田滋 (千葉大理), 田中康之 (広島大宇宙科学センター), 他 IceCube and Fermi-LAT Collaborations.

電荷を持たず弱い相互作用のみが働くニュートリノは高エネルギー領域においてもその優れた透過性から、光子や物質が散在する遠方宇宙空間の伝搬中にエネルギー情報を失わず、直進して地球まで到達できる。特に、天体での発生過程からも、長年の謎である「宇宙線陽子(核子)起源」を探るプローブとしても非常に有用である。

IceCube 実験は南極点氷河に埋設された 1 立方キロメートルの検出容量を持つ世界最大のニュートリノ観測装置で、これまで 50 を超える 60 TeV 以上の宇宙ニュートリノ候補事象を観測している。しかし、それら事象の到来方向分布に既知の天体位置との相関は見られず、起源天体は謎のままであった。一方で、IceCube チームが 2017 年 9 月 22 日に検出を速報した高エネルギーニュートリノ事象「IceCube-170922A」(GCN#21916) に対するフェルミ衛星 LAT 検出器 (Fermi-LAT) による GeV ガンマ線帯の追跡観測から、その到来方向の誤差領域内 (約 1 平方度) にフレアしているブレイザー TXS 0506+056 を発見し、初の起源天体同定の可能性として注目された (ATel#10791, 本学会, 田中(康)講演)。そこで我々は、実際にこれら二つの事象に因果関係があるかを検証するため、Fermi-LAT カタログに含まれる全ての活動銀河核 (2000 天体程度) の約 9 年分のガンマ線光度曲線 (>1 GeV) を導出し、IceCube 実験の装置性能と合わせて空間的・時間的に「偶然に一致した」確率 (p-value) の検定を行った。本講演では、IceCube チームが 2016 年 4 月より運用している「速報システム」紹介の後、IceCube-170922A の観測結果と上記の偶然確率の算出の詳細を報告し、高エネルギーニュートリノ起源天体について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a 高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: フェルミ衛星による誤差領域内での GeV flaring ブレーザー TXS 0506+056 の検出

田中康之(広島大学)、林田将明(千葉大学)、Fermi-LAT collaboration、吉田滋(千葉大学)

ニュートリノ観測装置 IceCube では、数十 TeV 以上の帯域で、バックグラウンドである大気ニュートリノフラックスを超える天体起源の高エネルギーニュートリノを検出している。このような sub-PeV PeV ニュートリノは、宇宙線と背景光子・陽子との相互作用で生成されるため、その放射源を特定することは、PeV を超える高エネルギー宇宙線の起源天体を解明する貴重な手段となっている。例えば、IceCube ニュートリノ事象とガンマ線バーストプロンプト放射との時間的空間的相関が調べられたが、有意な相関は見られていないため (e.g., Aartsen et al. 2015)、活動銀河核ジェット(ブレーザー)や超新星爆発などが、放射源の有力候補と考えられてきている。

2017年9月22日に検出された IceCube-170922A のアラートでは、高エネルギーニュートリノ事象の到来方向が、1平方度程度の誤差領域で決定された (GCN 21916)。我々は、アラートを受け取った後フェルミ衛星のデータをすぐさま解析し、誤差領域内に GeV ガンマ線でフレアしているブレーザー TXS 0506+056 を発見した (ATel 10791)。このブレーザーは、フェルミ4年カタログやフェルミハードソースカタログなどにもリストアップされている intermediate BL Lac 型のブレーザーであった。我々は、この天体の方向からフェルミ衛星によって $E > 100$ GeV のイベントも検出されていることを見出し、地上の TeV ガンマ線望遠鏡にもフォローアップ観測を促した結果、MAGIC 望遠鏡によって sub-TeV ガンマ線も検出された (ATel 10817)。本講演では、主としてフェルミ衛星による IceCube-170922A フォローアップ観測の結果を紹介するとともに、ブレーザー TXS 0506+056 の9年間の GeV ガンマ線光度曲線や広帯域スペクトルも示し、ニュートリノ放射との関連を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S03a 高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A: 可視近赤外線追観測

諸隈智貴 (東京大), 田中康之 (広島大), 太田耕司 (京都大), 吉田滋 (千葉大学), 森裕樹, 山中雅之, 川端弘治, 内海洋輔, 中岡竜也, 川端美穂, 長嶋大樹 (広島大), 小島悠人, 大澤亮, 酒向重行 (東京大), 磯貝桂介, 木邑真理子, 大西隆平, 若松恭行 (京都大), 松岡良樹, 山下拓時, 加藤奈々子 (愛媛大), 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大), 高山正輝, 本田敏志, 高橋隼 (兵庫県立大), 吉田道利 (国立天文台), 光赤外線大学間連携メンバー

南極に建設された IceCube は, PeV を越える宇宙線と背景光子もしくは陽子との相互作用によって生じる $E \gtrsim 100$ TeV の超高エネルギーニュートリノに感度を持ち, ニュートリノ・PeV 宇宙線の起源を探る 有効な手段である. 理論的にはガンマ線バースト, プレーザー, 超新星爆発などがその放射源として提唱されてきたが, これまで観測的に同定されたことがなかった. IceCube は, 2016 年 4 月以降ニュートリノ検出のアラートを流し, 2017 年 9 月 22 日 (UTC) には 100 TeV を超えるエネルギーを持つ高い有意度のニュートリノ事象が検出された (IceCube-170922A). 我々は, その位置誤差範囲内にある, 電波で flat-spectrum を持つ天体 (BROS カタログ; Tanaka et al. in prep.) を選び出し, かなた望遠鏡 HONIR を用いて即時追観測を行い, プレーザー TXS 0506+056 の可視増光を検出した. γ 線でも増光フェイズにあり (Fermi 望遠鏡), MAGIC 望遠鏡でも 100 GeV を超える高エネルギー γ 線が検出された. その後も, すばる望遠鏡 HSC, IRSF 望遠鏡 SIRIUS, 木曾シュミット望遠鏡 KWFC, Tomo-e Gozen, 京都大学 40cm 屋上望遠鏡等での撮像観測を継続している. また, すばる望遠鏡 FOCAS, Gemini-North 望遠鏡 GMOS, なゆた望遠鏡 MALLS 他での可視分光観測を行ったが, BL Lac 的な featureless な連続光を示し, 有意な輝線, 吸収線は検出されていない. 本講演では, 我々の行った可視近赤外線追観測の結果を紹介する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a M87 活動銀河核ジェットのシンクロトロン放射モデルにおける質量注入モデル

荻原大樹 (東北大学), 高橋和也 (京都大学), 当真賢二 (東北大学)

活動銀河核ジェットの駆動機構・質量注入機構は未だ不明である。ジェットを駆動するエネルギー源として銀河中心ブラックホールもしくはその降着円盤の回転エネルギーが有力視されている。一般相対論的磁気流体シミュレーションでは前者による駆動が示されているが、それには観測的証拠が未だない。シンクロトロン放射をする加速電子がブラックホールへの落下とジェットとしての噴出の狭間でどのように注入されるかも謎である。M87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銀河である。近年の高解像度電波観測はM87ジェットの詳細な放射強度分布を明らかにしてきた。観測ではジェットの縁が明るい構造が示されており、それ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 (Takahashi, Toma et al. 2017)。この研究により磁場は円盤ではなくブラックホールを貫き、ブラックホールは高速回転していることが必要であることが明らかになった。

最新の高感度電波観測 (Hada 2017) は、超巨大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、ジェットが三叉のフォーク構造になっていることを明らかにした。本研究では、先行研究と異なる相対論的加速電子の空間分布を仮定することで三叉構造を再現できることを示した。加速電子の注入場所をブラックホール周辺の一般相対論的効果を考慮して重力と遠心力の釣り合う面とし、三叉構造を再現するような面内の加速電子注入機構について考察した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a 電波銀河 M87 のジェットからの熱的放射の検証

大曾根聡子 (元産業技術総合研究所)

電波銀河 M87 の、20 秒角長のジェットを位置分解能 (Half energy radius) 0.5 秒角で分解できている Chandra 衛星のアーカイブ (全観測時間 400 ksec) を用いてコアとジェットの各 knot に対して X 線のエネルギースペクトル解析を行ってきた。knot A (コアから 13 秒角) はシンクロトロン放射である power law モデルよりも power law に熱的放射を追加したモデルが合っていた。ジェットが shock でジェット周辺の星間物質を圧縮して加熱をすることで熱的放射が生じていると考えられる。しかし、そのプラズマ密度は電波の Rotation Measure からの密度と 4 桁も異なるという問題を生じている。そこで、今回の講演ではジェットからの熱的放射の検証を報告する。Chandra 衛星のエネルギースペクトルで光電効果による星間物質の X 線吸収に着目すると電波 21cm 観測値よりも少なく、soft X 線の存在を示唆している。光電吸収を電波 21cm 観測値に固定して power law でモデルすると、5.2 sigma で棄却され、熱的放射を加えることで統計的に合う結果を得た。background の取り方も検証したが、同じ結論であった。ジェットのエネルギースペクトルが報告されている XMM 衛星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を行った。位置分解能 (Half energy radius) は 8 秒角と Chandra 衛星に劣るが、有効面積が 7 倍と優れているという特徴がある。PNCCD ではジェットは分解できず、MOSCCD でかろうじてジェットが分解できた。観測時間 170 ksec の内、有効時間は 40 ksec であり、統計は Chandra 衛星の解析の 4 分の 1 に相当する。そのエネルギースペクトルは光電吸収は電波 21cm 観測と合っており、soft X 線の存在は示唆されず、power law モデルは棄却できない。Chandra 衛星の解析に比べて統計が少ないことと、knot A の X 線で明るい半径は 1 秒角であり、位置分解能で S/N が劣ることから、結論は出なかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S06a ブレーザー OJ287 の多波長偏光モニターによる粒子加速領域の特定

笹田真人 (国立天文台)、Svetlana Jorstad, Alan P. Marscher (ボストン大学)

ブレーザーは活動銀河核の一種であり、相対論的ジェットを真正面に受けて観測している天体である。ジェットの相対論的効果によって放射光度は増幅されるため、ブレーザーはジェットからの放射が卓越する。その放射スペクトルは電波から可視光、X線までシンクロトロン放射が卓越し、さらには高い偏光を示す。しかし高エネルギー電子がジェット内のどこで加速・生成されているかは未解決な問題である。

電波干渉計観測では、1ミリ秒角以下の空間分解能での輝度、偏光マップを得る一方で、放射電子はその長い冷却時間によって物理的に広がる。可視光を放射する高エネルギー電子は速い放射冷却時間により粒子加速領域付近に分布するが、可視光観測では1秒角以下程度の空間分解能しか持たず、粒子加速領域を特定することが難しい。シンクロトロン放射の偏光は、同じべき乗の電子エネルギー分布であると、原理的に波長依存性を持たない。我々はこれを利用し可視光偏光と一致する領域を電波偏波マップから特定し、粒子加速領域を調べた。

我々はボストン大学ブレーザーチームによって取得された Very Long Baseline Array (VLBA) による観測データと可視光偏光モニターによるデータを用いて、ブレーザー OJ287 の電波偏波マップと可視光偏光を比較した。その結果可視光偏光は、コアと呼ばれるジェットの根元領域の偏光に加え、コアの近傍 (~0.1 ミリ秒角) で定常的に放射している領域の偏光とも一致することがわかった。この偏光ベクトルの一致は 43 エポックのうち 30 エポック以上で見られることから、シンクロトロン偏光のランダムな変化における偶然の一致ではなく、両領域で可視光が実際に放射されるために引き起こされることを示している。これによりコアから 14 パーセクも離れた定常放射領域においても粒子加速が発生してい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](#)

S07a VLBI を用いた $z > 4$ radio-loud クェーサーの電波構造の観測的研究

古谷庸介, 藤澤健太, 新沼浩太郎 (山口大学), Z. Q. Shen (上海天文台)

近年, 可視光での広範囲な探査により赤方偏移 $z > 4.5$ において多くのクェーサーが検出されている. 一方で VLBI (Very Long Baseline Interferometer) による検出は 30 天体 ($z > 4.5$) しか報告されておらず, 高赤方偏移クェーサーの pc スケールでの電波ジェットの性質についてはあまり知られていない.

我々は, 高赤方偏移クェーサーのコンパクトな電波構造からの種族推定を目的とし, VLBI による観測を行った. 観測は 1.4 GHz 電波カタログと SDSS クェーサーカタログを用いて, 1.4 GHz フラックス密度が 30 mJy 以上かつ $z > 4$ の条件を満たす 9 天体を対象とし, 8.4 GHz で JVN (Japanese VLBI Network) によって実施した.

観測の結果, 8 天体を VLBI で検出することができ, 5 天体の VLBI 電波画像を得ることができた. 得られた電波構造はビームサイズに対し十分に小さく点源あり, 輝度温度が 10^7 K 以上と, コンパクトで非熱的放射をした天体であることがわかった. また, すべての天体においてスペクトル指数が Flat または Inverted であることから, 今回検出された天体は典型的なクェーサーと比べて高エネルギー粒子が活発に生成されていると考えられる. 特に 2 天体について, 天体サイズをビームサイズと仮定した時に得られるドップラー係数は $\delta > 1$ であり, プレーザ的構造であると考えられる. 一方で他の 3 天体は $\delta \ll 1$ であり, 2 GHz 以上にターンオーバーを持つ HFP (High-Frequency Peaker) の可能性がある.

今後は, 異なる赤方偏移でのクェーサーの電波構造の性質の違いについて研究するため, VLBI での検出が報告されていない電波源に対し, JVN, EAVN (East-Asia VLBI Network) を用いた大規模な VLBI サーベイ観測を実施する予定である.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a 電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの遠赤外線超過の検出

磯部 直樹 (ISAS/JAXA), 小山 翔子 (ASIAA), 紀 基樹 (工学院大), 中川 貴雄 (ISAS/JAXA), 田代 信 (埼玉大, ISAS/JAXA), 永井 洋 (国立天文台), Pearson Chris (Rutherford Appleton Laboratory)

Fanaroff-Riley II 型の電波銀河には、しばしば、ホットスポットと呼ばれるコンパクトなシンクロトロン電波源が付随する。ホットスポットは、ジェットの高エネルギーの宇宙線の発生源の候補としても重要である。電波銀河 Pictor A の西ホットスポットは、非常に電波フラックスの大きいホットスポットとして有名である。特に、可視光・近赤外線で検出された数少ないホットスポットであることから、様々な波長で盛んに研究が行われてきた。その結果、電波から可視光に至るスペクトルは、いわゆる 1-zone Fermi 加速によるシンクロトロン放射のスペクトルで良く説明できると考えられてきた。

一方、我々は、WISE 衛星による波長 $3.4\text{--}22\ \mu\text{m}$ のデータをもとに、Pictor A 西ホットスポットの中間赤外線スペクトルが、電波と近赤外・可視光をつなぐ成分から有意に超過することを発見した (Isobe et al. 2017)。この超過は 1-zone Fermi 加速では説明がつかず、もう一つのシンクロトロン成分が必要であることを示している。この結果をより確実にするには、電波と中間赤外線の間にある 3 桁以上の振動数ギャップを埋めるデータが非常に重要である。そこで我々は、遠赤外線宇宙望遠鏡 Herschel のデータを調査し、その装置の一つ SPIRE による波長 $250, 350, 500\ \mu\text{m}$ の画像に西ホットスポットが検出されていることを明らかにした。西ホットスポットの遠赤外線フラックスは、電波・近赤外・可視の成分よりも有意に大きいことから、中間・遠赤外線超過が確実となった。我々は、中間・遠赤外線超過の起源は、ホットスポット内で磁場が増幅されたコンパクトなサブ構造であるというアイデアを提案した。実際に、超長基線アレイによる電波観測で、そのようなサブ構造が示唆されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S09b On the Disappearance of a Cold Molecular Torus around the Low-luminosity Active Galactic Nucleus of NGC 1097

Takuma Izumi, Masatoshi Imanishi, Daniel Espada, Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Kotaro Kohno (The University of Tokyo), Kyoko Onishi (Ehime University), Keiichi Wada (Kagoshima University), Nozomu Kawakatu (National Institute of Technology Kure College), Taku Nakajima (Nagoya University), and NGC 1097 collaboration

We used the Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) to map the CO(3-2) and the underlying continuum emissions around the type-1 low-luminosity active galactic nucleus (LLAGN; bolometric luminosity $\lesssim 10^{42}$ erg s $^{-1}$) of NGC 1097 at ~ 10 pc resolution. These observations revealed a detailed cold gas distribution within a ~ 100 pc of this LLAGN. In contrast to the luminous Seyfert galaxy NGC 1068, where a ~ 7 pc cold molecular torus was recently revealed, a distinctively dense and compact torus is missing in our CO(3-2) integrated intensity map of NGC 1097. The gas mass of the torus of NGC 1097 would be a factor of $\sim 2 - 3$ less than that found for NGC 1068, which implies less active nuclear star formation and/or inflows in NGC 1097. Our dynamical modelling of the CO(3-2) velocity field implies that the cold molecular gas is concentrated in a thin layer as compared to the hot gas traced by the $2.12 \mu\text{m}$ H $_2$ emission in and around the torus. Furthermore, we suggest that NGC 1097 hosts a geometrically thinner torus than NGC 1068. Although the physical origin of the torus thickness remains unclear, our observations support a theoretical prediction that geometrically thick tori will become deficient as AGNs evolve from luminous Seyferts to LLAGNs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10b クランピートーラスからの広帯域X線スペクトルモデルの Circinus galaxy への適用

谷本敦, 上田佳宏 (京都大学), 小高裕和 (理化学研究所), 深沢泰司 (広島大学), 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 (SuperMassive Black Hole: SMBH) と降着円盤、その周囲のトーラスから成る。このトーラスは、SMBH への質量供給の役割を担い、SMBH と母銀河の共進化の鍵となる構造である。近年、様々な観測結果からトーラスは一様ではなく、多数のガスの塊からなる非一様な分布 (クランピートーラス) が示唆されている。実際、赤外線スペクトルに適用可能なモデルが作成された (Nenkova et al. 2008)。赤外線はダストのみの分布を反映する一方、X線はダスト・ガスを含む全物質の分布を反映し、トーラス全体の構造を知ることが可能である。しかし、X線スペクトルに直接適用出来るモデルは、未だに発展途上である。

そこで私達は、クランピートーラスからの X線スペクトルモデル作成に取り組んだ。本研究では、先行研究 (Furui et al. 2016) を発展させ、より現実的な幾何構造を取り入れた。そして、理論予想や多波長観測結果を考慮し、ガスの塊の数密度をトーラス赤道面を中心とした正規分布に配置するコードを作成した。作成したコードを MONACO (Monte Carlo Simulation for Astrophysics and Cosmology: Odaka et al. 2011) と組み合わせ、パラメータ毎にスペクトルを計算してテーブル化し、X線スペクトルに適用可能なモデルの作成に成功した。本講演では、今回作成したモデルの詳細及び、Compton-thick AGN である Circinus galaxy の広帯域 X線スペクトルへの適用結果を紹介し、赤外線観測で得られているトーラスパラメータとの比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11b Swift 衛星による電波銀河 NGC1275 の可視光から X 線帯域の変動解析

今里郁弥, 深沢泰司 (広島大学理)

電波銀河は電波からガンマ線までの広い波長領域で放射する。この銀河の中心からはジェットが出ており母銀河を超えるスケールにまで達するが、これがどのように加速されているのか分かっていない。ジェットを真正面から見ているブレーザーはジェットの中心が強調されジェットの外側の様子を知ることができないが、電波銀河はこのジェットを斜めから見ているため外側の情報なども知ることができ、より詳細な情報を得ることができる。このためジェットの構造や AGN の物理を知るには電波銀河が適している。

NGC1275 は近年電波とガンマ線観測での増光が見られている電波銀河である。この天体は X 線で 2008 年から 2015 年まで長期的にガンマ線と同じように明るくなり、また、ガンマ線フレア時に X 線フレアも見られていた。前回の講演では UVOT の PSF 測光, XRT の解析で可視・紫外、X 線で明るくなっていると報告したが、UVOT では UVOTSOURCE を使わない場合キャリブレーションが必要なこと、XRT では WT モードの解析の場合銀河団放射の差引に注意を要することが分かったためこれらの領域で再解析を行った。今回のポスターでは可視・紫外と X 線の再解析の結果と Fermi/LAT の公開ライトカーブを用いてスペクトルエネルギー分布 (SED) の変化もふまえ、可視光から X 線帯域におけるジェット放射の寄与について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S12b 活動銀河核におけるX線ガンマ線フレア解析

古谷泰愛, 小門都澄, 吉田健二 (芝浦工業大)

活動銀河核からは電波やX線, ガンマ線にわたる広い波長帯で非熱的な放射が観測されている。これらの活動銀河核では, 広い波長域でフレアが発生することが知られている。フレアと呼ばれる時間変動の理解は, 活動銀河核の放射が相対論的ジェットはどこから生じているのかを知る上でも重要であると考えられている。本研究ではMAXI及びFermi-LATの公開データを利用し, 活動銀河核の特徴的な放射であるフレア現象におけるフラックスおよびスペクトルの時間変動についてX線, ガンマ線の波長域で統計的な解析を行った。

本研究で抽出したフレアごとにフレア継続時間, 立ち上がり時間, 立ち下り時間, フラックスのピーク値, フレアカウント数, ハードネス比などのフレアの特徴を示す複数のパラメータを導出した。各パラメータの分布および相関関係からフレアの特徴を調べた結果, 立ち上がり時間と立ち下り時間が平均的にほぼ等しくなる傾向がみられている。本講演では, これらフレアの物理量の解析結果について報告するとともに, その放射機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S13b HSC Transient Survey (VII): Variability-Selected faint AGNs

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),
HSC Transient WG

活動銀河核はあらゆる波長域で光度が時間変動しており、その変動タイムスケールも数時間から数年といった幅広いスケールで変光していることが知られている。この「変光」という性質は、銀河中心に存在する超大質量ブラックホール周辺の物理現象を理解するのに役立つだけでなく、活動銀河核をもつ銀河の同定にも役立つ。特に後者の点において、比較的低質量の活動銀河核を発見する上で非常に有効であることが期待される。

そこで本研究では、広視野で深いデータを実現するすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC) 戦略枠プログラム (SSP) 観測の、2014年から2017年にかけて可視域における複数バンド (g, r, i, z, y -band) の撮像データ (COSMOS 領域; ~ 1.5 平方度) に対して変光調査を行い、非常に深い X 線観測 (Chandra Legacy Survey) でも検出できないような低光度活動銀河核 ($L_{bol} \lesssim 10^{44}$ ergs/s @ $z \sim 1$) の発掘に挑んだ。その結果、実に数千を超える変光候補天体の発見に成功し、中でも各フィルター間の光度曲線が相関を持つような変光の信頼性のより高いサンプルを 400 天体以上獲得することができた。その中で約 80% は X 線で検出されており、今回の変光解析における活動銀河核の同定の正当性を示す一方で、残りの 20% (測光赤方偏移の中央値は $z \sim 0.7$) は X 線で検出されておらず、低光度活動銀河核を変光解析を通して初めて同定できたことを意味する。本講演ではこの変光解析手法とともに、ここで得られた低光度活動銀河核の性質について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S14b HSC Transient Survey (VIII): Tidal Disruption Events

諸隈智貴 (東京大学), 川口俊宏 (尾道市立大学), 満田和真 (東京大学), HSC Transient WG

超巨大ブラックホールによる星の潮汐破壊現象 (Tidal Disruption Event; TDE) は、ブラックホールの潮汐力により、その近傍を通過する星が引きちぎられ、その一部がブラックホールへ落ち込む際に明るく輝く現象である。その最大光度は Ia 型超新星にも匹敵し、既存の望遠鏡で赤方偏移 1 程度の遠方宇宙まで観測的研究が可能である。TDE は、低質量なブラックホールほど起こりやすいため、静穏な低質量銀河中心ブラックホールの研究に適した天体現象であり、AGN として明るく輝く天体の観測的研究とは相補的である。これまで 50 以上の天体が主に可視光・X 線で発見されている。

すばる望遠鏡の主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を使った戦略的観測 (SSP, 5 年間にわたって 300 晩を使用) では、UltraDeep/Deep 領域の観測時間を分割して観測を行うことで Transient Survey を行っている。HSC は既存の装置の中で、最大の望遠鏡口径・サーベイ能力を持ち、遠方 TDE の効率的な探索に最適である。我々は、2016 年 11 月から 2017 年 4 月にかけて実行した COSMOS 領域におけるサーベイにおいて見つかった数千個の突発天体に対して (i) 銀河の中心部が光度変動している、(ii) 光度 L が時間 t の $-5/3$ 乗程度で進化している ($L \propto t^{-5/3}$)、(iii) Chandra, XMM-Newton などによる観測で X 線が検出されていないという選択基準を満たす 4 天体の TDE 候補を発見した。その測光的赤方偏移は $z_{\text{ph}} = 0.2 - 0.5$ である。ハッブル宇宙望遠鏡によるアーカイブ撮像データを用いて母銀河の光度プロファイルのフィッティング、バルジ質量の導出を行なった。本講演では、これら TDE およびその母銀河の性質について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S15a 高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 中に発見された点状電波源の観測的研究

岩田悠平, 岡 朋治, 杉本知穂, 竹川俊也, 田邊恭介 (慶應義塾大学), 三好真 (国立天文台)

銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) では、空間的にコンパクト ($d < 10$ pc) かつ速度幅が著しく広い ($\Delta V > 50$ km s⁻¹) 分子雲が多数発見されている。高速度コンパクト雲 (High-Velocity Compact Cloud; HVCC) と名付けられたこれらの特異分子雲のほとんどは、明確な他波長対応天体を持たず、その起源は未解明である。Sgr C 領域に位置する CO-0.40-0.22 は特に速度幅の広い HVCC であり、その形態・運動状態から $10^5 M_{\odot}$ の点状重力源による重力散乱を受ける事で生じた可能性が指摘されている。その後、ALMA cycle 1 における band 6 の観測から、コンパクトな高密度クランプと、それに隣接する点状ミリ波源が検出された。この点状ミリ波源 CO-0.40-0.22* は、有力な中質量ブラックホール候補天体の一つと考えられる。

今回我々は、CO-0.40-0.22* に対して、Karl G. Jansky Very Large Array を用いた X band (10 GHz) 及び L band (1 GHz) の電波連続波観測を行い、X band では $1\sigma = 10$ μ Jy で未検出、L band では ~ 3 mJy の tentative な検出という結果を得た。CO-0.40-0.22* の電波放射が時間変動しないと仮定するならば、その広帯域スペクトルは極めて特異な形状になる。一方で、ALMA cycle 1 データの詳細な解析から、CO-0.40-0.22* からのミリ波放射が数十秒スケールで 10% 程度の時間変動をしている可能性が示された。この事は、CO-0.40-0.22* からの電波が ~ 0.1 AU 以下の非常に狭い領域から放射されている事を意味するものであり、この天体が $10^5 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールであるとする仮説を支持するものである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S16a Intricate Ionized Gas Flows Approaching to Sgr A*

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Kenta Uehara (U.Tokyo), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (JSF)

The Galactic Center is the nuclear region of the nearest spiral galaxy, Milky Way, and harbors the Galactic Center black hole, Sgr A*. The mini-spiral is located within 2 pc from Sgr A* in projection, which is the bundle of the ionized gas streams orbiting around Sgr A*. The ionized gas streamers of the mini-spiral are seen to converge to a small part near Sgr A* in the existing telescopes. The structure of the inner part is very complicated. There have been advocated many hypotheses to explain the structures. In order to clarify the precise orbital parameters of the individual streamers, the structure of the inner part should be resolved into each streamer.

In this paper, we present kinematics of the inner part of the Northern arm (NA) and Eastern arm (EA) revealed by new ALMA observations in the H30 α recombination line (ALMA#2015.A.00021.S). The angular resolution is about 0.4". We also present their resolved structures of the ionized gas streams using the kinematics. The most inner part of the EA has a very large negative radial velocity, $v_{\text{LSR}} \sim -500 \text{ km s}^{-1}$. This is probably the tip of the approaching gas to Sgr A*. However, the going-away gas from Sgr A* is not identified at the expected position by the orbit. On the other hand, the most inner part of the NA is identified as a curved ridge orbiting around Sgr A* in the momentum 0 map.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S17a 硬X線を用いたHCG 16 (Arp 318)における活動銀河核の探査

小田紗映子、上田佳宏、谷本敦(京都大学)、Claudio Ricci (Pontificia Universidad Catolica de Chile)

銀河バルジと超巨大ブラックホールの共進化を考える上で、鍵となるメカニズムの一つが銀河の衝突合体である。合体によって爆発的な星形成が進み、また中心領域への急激な質量降着によって活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) が発現する (Hopkins et al. 2008)。しかし、合体前後は厚いガスやダストに覆われていることが多く、その詳しい過程は明らかになっていない。そこで我々は、特に透過力の強い硬X線 (>10 keV) を用いて、合体銀河中の隠されたAGNを探査し、そのトラス構造や母銀河との関係性を調べる研究に取り組んでいる。

本研究では、主に4つの銀河からなるコンパクト銀河群HCG 16 (Arp 318, $z=0.0079$) に着目し、X線衛星*NuSTAR*によるAGN探査を行った。その結果、構成銀河のうち、互いに15.7 kpc離れた相互作用銀河であるNGC 833とNGC 835から卓越した硬X線放射を検出した。これは、2つの銀河中に隠されたAGNが存在することを強く示唆する。一方、NGC 838とNGC 839からは有意な硬X線放射が検出されず、星形成が支配的であることが確認された。さらに我々は、X線衛星*Chandra*、*XMM-Newton*の観測データを加えて広帯域X線スペクトル解析 (0.3–50 keV) を行うことで、NGC 833とNGC 835中のAGNがともに低光度AGNに属し ($L_X \approx 3 \times 10^{41}$ erg s $^{-1}$)、そのトラスは適度に発達している (水素柱密度 $N_H \approx 3 \times 10^{23}$ cm $^{-2}$) という結果を得た。また、NGC 835ではトラス柱密度が $N_H \approx 5.0 \times 10^{23}$ cm $^{-2}$ (2000年) から $N_H \approx 2.9 \times 10^{23}$ cm $^{-2}$ (2013/2015年) へと変動していることが明らかとなり、クランピーなトラス構造が示唆された。本講演では、解析の詳細に言及するとともに、全赤外線光度 (8–1000 μ m) との比較を行い、低光度AGNにおける質量降着と母銀河の星形成活動と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](#)

S18a コンプトンショルダーを用いたX線反射モデルによる活動銀河核トーラスの物理状態の推定

挽谷政弥、深沢泰司、大野雅功 (広島大学)、川口俊宏 (尾道市立大学)

活動銀河核 (AGN) は中心に巨大なブラックホールを持ち、その周りに降着円盤、それらを取り囲むようにトーラスと呼ばれる密度が高くダストを含むガス雲が存在すると考えられている。トーラスの密度や物質構成を調べる有効な手段として、AGN 中心のブラックホール周辺からの X 線放射における透過成分や散乱成分の観測が挙げられる。これまでも多くの観測とモデル計算が行われ、トーラスの内部の物質が一様分布しているモデル (smooth) とは別に、クランプ状にランダムに存在しているモデル (clumpy) が示唆されるようになった。しかし、トーラス内のガス・ダスト分布を clump 構造にした X 線モデルはまだ少なく、トーラスの構造や正確な物理素過程を考慮したモデルを構築する必要がある。また、コンプトンショルダーという輝線の一部が散乱され生じる構造があり、見込み角や密度などにより形状が変化するため、トーラスの構造を探る上で非常に重要な手段となる。

我々は MONACO (Odaka et al. 2011) に基づいた AGN トーラスからの X 線反射モデルの開発を行なっている。ここでは自由電子だけでなく束縛電子も含めた散乱や smooth、clumpy 両モデルを構築している。今回トーラスの構造、密度、見込み角に加えて重元素比をパラメータにすることによって作成した Furui et al. 2016 の X 線反射モデルを Chandra 衛星の HETG の観測データに適用し再現を試みた。その結果、吸収の影響の大きな Seyfert2 型銀河について、見込み角や吸収体の柱密度などについて先行研究と矛盾しない値が得られ、コンプトンショルダーの構造を我々が開発したモデルで再現することにも成功し、密度や重元素比を制限する手段として用いることができる可能性を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19a 3.4 μ m/4.6 μ m ダスト反響法によるクェーサーダストトーラスのサイズ測定

小久保充 (東北大学), 峰崎岳夫 (東京大学)

活動銀河中心核 (AGN) のブラックホール降着円盤の外縁部は、ダストトーラスと呼ばれる構造体に囲まれている。ダストトーラスは超巨大ブラックホールへの降着物質のリザーバーとして機能していると同時に、降着円盤紫外-可視連続光をダスト熱輻射赤外線として再放射することで AGN 放射エネルギーバジェットの大きな割合を担っている。AGN の赤外線 SED モデリングや中間赤外線干渉計による観測からは、ダストトーラスの中間赤外線の放射領域はクランピーで幾何学的に厚い構造を持つことが示唆されている。一方、ダストトーラス最内縁部 (近赤外線放射領域) の幾何構造は観測的にはよくわかっていない。我々は、ダストトーラス最内縁部の構造を調べるため、降着円盤紫外-可視連続光とダスト赤外線の光度曲線の間隔の時間遅延を測定することで、降着円盤とダスト近赤外線放射領域の間の距離を測定する「ダスト反響法」という手法に着目してきた。本講演では、明るいクェーサー GQ Comae ($z = 0.165$) に対して、赤外線観測衛星 WISE によって観測された W1 バンド (3.4 μ m, W2 バンド (4.6 μ m) の光度曲線と、可視光超新星探査 ASAS- SN の可視光 V バンドの光度曲線をもちいて、可視光光度の変動に対する赤外線光度の変動の時間遅延を測定した結果を報告する。W1 バンドと W2 バンドのダスト反響ラグは観測者系でそれぞれ $\tau_{obs}(W1) = 339.3^{+40.7}_{-26.4}$ 日, $\tau_{obs}(W2) = 505.2^{+19.3}_{-27.5}$ 日と測定された。これに対し、近傍 Seyfert 銀河に対して知られている K バンド (2.2 μ m) のダスト反響ラグと AGN 光度の相関関係から期待される GQ Comae の静止系 K バンドでのダスト反響ラグは 178^{+71}_{-51} 日であり、GQ Comae のダスト反響ラグは「長波長側ほど大きい」という波長依存性があることがわかった。ダスト反響ラグの波長依存性の測定から示唆される、ダストトーラス最内縁部の構造、およびダスト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](#)

S20a 一酸化炭素吸収バンドから探る AGN トーラス内縁付近の状態と構造：銀河の赤外光度・可視分類との関連

馬場俊介（東大理，ISAS/JAXA），中川貴雄，磯部直樹，白旗麻衣（ISAS/JAXA），道井亮介，大西崇介（東大理，ISAS/JAXA）

活動銀河核（AGN）の周囲にはトーラス型の分子雲（AGN トーラス）が存在していると考えられているが、物理的に小さい（～数 pc）ため空間分解が困難であり、その物理状態と構造は良く分かっていない。我々は、AGN トーラスの状態と構造を解明するため、近赤外線領域における一酸化炭素（CO）の振動回転遷移（ $\Delta v = 1$, $\Delta J = \pm 1$, $4.7 \mu\text{m}$ ）の分光観測を行ってきた。分子雲が中心核の手前にあれば、中心核周辺からの熱放射を吸収する。吸収線観測のため母銀河からの寄与を受けず、背景光源がコンパクトなため実効的に高い空間分解能で観測できる。

今回我々は、従来より数を増やし、より暗いものまで含めた近傍（ $z < 0.07$ ）赤外線銀河 47 天体のサンプルで CO 吸収バンドを解析した。 $N_{\text{CO}} > 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ （ $N_{\text{H}} \gtrsim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ 相当）という顕著な CO 吸収を示す銀河の割合は、光度ごとに調べると、低光度よりも LIRG クラス以上（ $> 10^{11} L_{\odot}$ ）の方が高かった。これらの銀河における CO ガスの温度は数百 K 以上であり、X 線加熱以外では加熱機構の説明が難しい。これらの結果は、CO による背景光の吸収がダストに埋もれた X 線加熱領域で生じているという前回までの議論を支持している。可視分類ごとに調べると、Seyfert 1 での平均的な吸収強度は、Seyfert 2 に比べ弱かった。これは CO 吸収がトーラス内部で生じるという当初の予測と合致している。一方、 $N_{\text{CO}} > 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ を示す銀河の出現頻度は、Seyfert 2 より AGN-星形成 composite の方が高かった。これは、星形成-AGN composite においてもトーラスでの吸収が効いており、そのトーラスのスケール高が Seyfert 2 に比べて高いという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](#)

S21a 大局的3次元磁気流体計算による銀河中心核トーラスの磁氣的活動性

工藤祐己、和田桂一 (鹿児島大学)

活動銀河中心核 (AGN) トーラスに付随する磁場は磁気回転不安定性 (MRI) によるガスの降着に寄与すると考えられる。降着円盤からの非等方輻射の重要性について、Wada 2012 の輻射駆動噴水モデルでは幾何学的・光学的に厚いガス密度分布の形成によって、セイファート銀河の SED 等を説明出来ることを示した。さらに、Dorodnitsyn & Kallman (2017) は等方放射を加えた上で初期に円盤面に垂直な磁場を加えた計算を行い、降着率が $0.1 - 10 [M_{\odot}/\text{yr}]$ の幾何学的に厚いトーラスを形成を示した。しかし、彼らの計算では方位角方向の解像度が粗いために MRI が十分駆動しておらず磁気乱流の性質が明らかになっていない。

本講演では大局的3次元磁気流体シミュレーションを実施して、初期に弱い方位角磁場に貫かれたガス円盤の時間発展を解くことによって、AGN トーラスにおける MRI による磁場の影響を調べた。数値スキームは HLLD 法と数値的な磁気散逸を抑える高次精度補間 MP5 法を実装している磁気流体コード CANS+ を用いて、これに放射冷却と空間に均一な X 線加熱源を加えた。その結果、方位角方向の解像度が粗い場合は MRI が駆動できず磁気乱流が抑えられ円盤内部の方位角磁場の向きは一定となり円盤表面周りで反転が見られた。本講演では MRI の駆動と中心からの距離と角度に依存した非等方 X 線加熱について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S22a Soft X-ray Excess Variation Causing Changing-Look Active Galactic Nucleus

Hirofumi Noda (Tohoku Univ.), Chris Done (Durham Univ.)

Some active galactic nuclei (AGNs) are reported to change their types determined by strength of broad Balmer lines emitted from a broad line region in ~ 10 years, and called “changing-look” AGNs. However, it is still puzzling what causes their type changes; main possibilities include variation of ionizing flux from an accretion flow onto a supermassive black hole, and change of obscuration against a broad line region.

To reveal the cause, we focused spectral variations in optical, ultraviolet (UV), and X-ray of a type 1 Seyfert Mrk 1018 which has experienced the changing-look phenomenon from type 1.9 to 1 around 1980 (Cohen et al. 1986), and from type 1 to 1.9 around 2010 (McElroy 2016). We analyzed the archival data of Mrk 1018 derived by *XMM-Newton* in 2008, and by *Swift* in 2008, 2013, and 2016, and confirmed that a strong soft X-ray excess emission was present in optical, UV, and X-ray in 2008 when it was bright with the Eddington ratio $\eta \sim 0.08$ and classified as type 1. The soft excess can be reproduced by a thermal Comptonization component from an accretion flow with electron temperature of ~ 0.14 keV and optical depth of ~ 20 which are typical and similar to those in other sources (e.g., Noda et al. 2011, 2013; Petrucci et al. 2017). On the other hand, the soft excess weakened in 2013, and disappeared in 2016 when it was faint with $\eta \sim 0.006$ and classified as type 1.9, making UV flux ~ 2 orders of magnitude lower than that in 2008. Therefore, the changing-look phenomenon in Mrk 1018 is considered to be mainly caused by appearance and disappearance of the soft excess occurring at $\eta \sim$ a few %. We furthermore discuss if the soft excess variation can be interpreted by disk evaporation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a 狭輝線I型セイファート銀河 Swift J2127.4+5654 におけるディレイとハード一次成分

三宅克馬 (東大理), 野田博文 (東北大学), 山田真也 (首都大), 清野愛海, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

我々はこれまで、複数の AGN の X 線スペクトルが、光子指数 $\Gamma \sim 2.1$ のソフトなべき関数 (PL) 型一次放射成分、 $\Gamma \sim 1.5$ のハードな PL 型一次放射成分、その反射成分などからなることを示してきた (e.g. Noda et al. 2011)。ハードな一次成分は暗い時に卓越し、可視光との相関を示すことから、RIAF 様の降着流を起源とすると考えられている (Noda et al. 2014, 2016)。

Swift J2127.4+5654 は、 $z = 0.0144$ 、質量 $1.5 \times 10^7 M_{\odot}$ の狭輝線 I 型セイファート銀河 (NLS1) で、*NuSTAR* と *XMM-Newton* で 2012 年 11 月に ~ 300 ks の同時観測がなされた。この時の 3-10 keV フラックスは 2×10^{-11} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ で、観測内で 2 倍以上の激しい時間変動が見られた。このデータに差分スペクトル法による成分分解を行ったところ、 $\Gamma = 2.1$ 、 $\Gamma = 1.3$ の 2 つの PL 成分の変動が見られた (2017 春講演 S35a)。また、この観測中では $< 4 \times 10^{-5}$ Hz の低周波成分に ~ 6 ks のハードラグが確認されている (Kara et al. 2015)。

我々は時間変動解析によって、このハードラグが、スペクトルが比較的ソフトな状態でのみ卓越し、ハードな状態になると顕著ではなくなることを発見した。またこれにより、時間遅れを 6 ± 1 ks と強く制限することに成功した。このハードラグは、ソフトとハード、二つの一次成分の間の時間遅れ、つまりそれぞれの放射源であるコロナの位置関係を反映していると考えられる。これにより、これまでわかっていなかったソフト PL のジオメトリについて制限をつけることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S24a 二重 AGN をもつ高光度赤外線銀河 Mrk 463 の広帯域 X 線スペクトル解析

山田智史, 上田佳宏, 小田紗映子, 谷本敦 (京都大学), 今西昌俊 (NAOJ), 寺島雄一 (愛媛大学)

超巨大ブラックホールと銀河との「共進化」の起源を理解する上で鍵となる現象が、ガスを豊富にもつ銀河同士の合体である。合体により、爆発的星生成とともにブラックホールへの急速な質量降着が誘起され、赤外線で明るく輝く ($L_{\text{IR}} \geq 10^{12}/10^{11}L_{\odot}$) 超/高光度赤外線銀河 (Ultra/Luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) になると予想される。その物理プロセスの詳細を解明するために、さまざまな合体の進化段階にある U/LIRG 中の AGN の性質を調べることは重要である。U/LIRG は厚いガスとダストに覆われているため、透過力の強い硬 X 線での観測が不可欠である。

そこで我々は、二重 AGN をもつ近傍の高光度赤外線銀河 Mrk 463 (Mrk 463e/w) に注目した。この天体は、*Swift*/BAT サーベイで検出された二重 AGN サンプル (Koss et al. 2012) のうち、銀河間距離が最も小さい (3.8 kpc) 系で、合体最終段階の一手手前の状態にあると考えられている。今回、*NuSTAR*、*Chandra*、*XMM-Newton* のデータを全て解析し、広帯域 X 線スペクトル (0.6–70 keV) を作成した。角度分解能の優れた *Chandra* を用いて 2 つの AGN のスペクトルを分離し、それぞれについて、これまでに最も正確に X 線光度と吸収量を求めることに成功した。その結果、ともに吸収は Compton thick ではない ($N_{\text{H}} < 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) ことがわかった。また、X 線、 L' バンド (3.8 μm)、[O IV] 25.89 μm 、[Ne V] 14.32 μm の光度を比較することで、Mrk 463e が bolometric 光度に対して X 線光度の弱い AGN であることを確認した。この事実は、中心の SMBH が急激に成長していることを示唆する。本講演では、解析結果の詳細を報告し、他の U/LIRG と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](#)

S25a 狭吸収線を用いた AGN アウトフロー加速の直接検出の試み

三澤透 (信州大学), Michael Eracleous, Jane Charlton (Penn State), 柏川伸成 (国立天文台)

活動銀河中心核 (AGN) から、豊富なエネルギー、運動量、重元素を伴って外部に噴き出すガス流 (アウトフロー) は、銀河進化や宇宙の化学進化を追ううえで極めて重要な要素といえる。AGN アウトフローは、輻射圧、磁気遠心力、ガス圧などによって、ガス密度や電離状態などの物理的性質を徐々に変化させながら外向きに加速されると考えられている。実際に、長期分光モニター観測により、AGN アウトフローを吸収線として監視した結果、吸収線の強度や形状が明らかに変化するケースが多数報告されている。ところが不思議なことに、視線方向の速度変化についてはほとんど検出されていない。このことは、アウトフローの加速メカニズムを探るうえで大きな障害となっている。従来の視線速度探査は、すべて線幅の広い吸収線 (Broad Absorption Line; BAL) を対象としたものである。しかし BAL は、そのあまりに広い線幅 ($\text{FWHM} > 2,000 \text{ km/s}$) によって吸収線の内部構造が完全に失われているため、微小な速度変化の検出には不向きである。

そこで本研究では、線幅の小さい吸収線 (Narrow Absorption Line; NAL) を用いて同様な調査を行った。NAL の一部はアウトフローとは無関係な起源を持つ可能性があるが、これらは部分掩蔽解析という手法で除外することが可能である。10 年以上の間隔を空けて、8-10 メートル級望遠鏡の高分散分光器 (Subaru/HDS, Keck/HIRES, VLT/UVES) を用いて、複数回の高分散分光観測 ($R \sim 40,000$) が行われている 6 つのクエーサーのスペクトルを比較したところ、アウトフローに起源をもつ NAL の視線速度が僅かに ($\Delta v \sim 1 \text{ km/s}$) 変化している兆候を捉えた。加速度は $dv/dt \sim 0.001 \text{ cm/s}^2$ であり、一部の BAL に見られる加速度より 2 ケタ以上小さい。また、クエーサー光度や電波強度との相関は見られなかった。この微小な加速度の詳細と考えられる原因について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S26a クェーサーアウトフロー角度依存モデルの検証

伊東大輔, 三澤透 (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放出されるアウトフローガスは、AGN 活動や BH と銀河の進化に密接に関与しており、その理解は欠かせない。アウトフローガスはクェーサーのスペクトル中に存在する吸収線に着目することで観測的な研究が可能となる。アウトフローが形成する吸収線は、吸収線幅によって BAL, mini-BAL, NAL の 3 種類に分類される。これら 3 種類の吸収線の検出頻度の違いをアウトフローのジオメトリから解釈したものが「アウトフロー角度依存モデル」である。これまでの研究から示唆される角度依存モデルでは、BAL/mini-BAL が検出された視線上においてはアウトフロー NAL の検出は期待されない。しかし現段階で両者が同視線上に存在するか否かを統計的に検証した研究は行われていない。そこで我々はすでに BAL/mini-BAL が検出されているクェーサーに対しアウトフロー由来の NAL を探査することで角度依存モデルの検証を試みた。アウトフロー由来の吸収線は部分掩蔽解析という手法をもとに同定することができる。この手法には高分散分光スペクトルデータが要求されるため、我々は SDSS BALQSO カタログ (Gibson et al.2009) をもとに、ESO のアーカイブから UVES/VLT で観測された分光データ 9 天体分取得した。それらに対して部分掩蔽解析を実行した結果、9 天体中少なくとも 3 天体でアウトフロー NAL の存在が確認された。この結果はこれまでの一般的な角度依存モデルとは矛盾するため、シミュレーションから示唆されているクランプ/フィラメント構造や冷たいクラウドの存在を付加的に考慮する必要性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S27a X-ray reverberation lags due to AGN winds

水本岬希 (JAXA/ISAS, 東京大), 萩野浩一 (東京理科大), 海老沢研 (JAXA/ISAS), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS),
Chris Done (Univ. of Durham), 小高裕和 (理研)

X-ray reverberation lags in the Fe-K energy band have been found in many active galactic nuclei (AGNs). The lags commonly have the following three features; (1) lag amplitudes are as short as several R_g/c , where R_g is the gravitational radius and c is the light velocity, (2) lag frequencies are $\sim c/100 R_g$, and (3) lag-energy spectra have a broad feature in the 5–8 keV band. In the previous JAS meeting (S07a; 2017 autumn), we reported that an outflowing cloud is a possible origin to produce such lags. However, we assumed a neutral and partial-shell-like cloud, which is far from the realistic disc-wind geometry.

Here, we performed Monte-Carlo simulations to compute lags on the disc-wind-like geometry, including radius dependence of the ionisation state, density, and outflowing velocity. We adopted the biconical wind, which is used in Hagino et al. (2015, 2016). As a result, we found that the X-ray scattering mainly occurs around the launching point of the wind, at $\sim 50 - 100 R_g$, which matches the required lag frequencies. The lags are diluted by primary photons, so that the amplitudes get shorter than the light-travel time by as much as one order of magnitude. Moreover, Doppler velocity of the wind produces the broad lag-energy feature. Consequently, we can reproduce the observed lag features with the biconical wind. Such an extreme condition that the source is close to the event horizon of a maximum-spin black hole, which is assumed in the disc-line interpretation, is not required.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S28a ALMA Observation of an Infrared-bright Dust-Obscured Galaxy with Strong Ionized Gas Outflow

Yoshiki Toba (ASIAA) Shinya Komugi (Kogakuin Univ.), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Takuji Yamashita (Ehime Univ.), Wei-Hao Wang (ASIAA), Masatoshi Imanishi (NAOJ), Ai-Lei Sun (JHU)

We report the discovery of an infrared (IR)-bright dust-obscured galaxy (DOG) that shows a strong ionized-gas outflow but no significant molecular gas outflow. Based on detail analysis of their optical spectra, we found some peculiar IR-bright DOGs that show strong ionized-gas outflow ($[\text{O III}]\lambda 5007$) from the central active galactic nucleus (AGN). For one of these DOGs (WISE J102905.90+050132.4) at $z_{\text{spec}} = 0.493$, we performed follow-up observations using ALMA to investigate their CO molecular gas properties. As a result, we successfully detected $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ and $^{12}\text{CO}(J=4-3)$ lines, and the continuum of this DOG. The intensity-weighted velocity map of both lines shows a gradient, and the line profile of those CO lines is well-fitted by a single narrow Gaussian, meaning that this DOG has no sign of strong molecular gas outflow. The IR luminosity of this object is $\log(L_{\text{IR}}/L_{\odot}) = 12.40$ that is classified as ultraluminous IR galaxy (ULIRG). We found that (i) the stellar mass and star-formation rate relation and (ii) the CO luminosity and far-IR luminosity relation are consistent with those of typical ULIRGs at similar redshifts. These results indicate that the molecular gas properties of this DOG are normal despite that its optical spectrum showing a powerful AGN outflow. We conclude that a powerful ionized-gas outflow caused by the AGN does not necessarily affect the cold interstellar medium in the host galaxy at least for this DOG (Toba et al. 2017, ApJ, accepted).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S29a すばる HSC-SSP と FIRST 電波探査による $z \gtrsim 1$ 電波銀河の Radio-loudness

山下拓時, 長尾透, 松岡良樹, 仁井田真奈 (愛媛大学), 秋山正幸 (東北大学), 池田浩之, 田中賢幸 (国立天文台), 鳥羽儀樹 (ASIAA), ほか HSC 電波銀河探査プロジェクトメンバー

電波銀河は、強力な電波ジェットを伴う電波で非常に明るい天体である。その母銀河は典型的に大質量 ($\gtrsim 10^{11} M_{\odot}$) であり、中心の超巨大ブラックホールへのエディントン降着率は他の AGN タイプに比べて低い傾向にある。このため、電波銀河は銀河進化及び超巨大ブラックホール進化の最終段階にあるとみなすことができ、電波銀河の赤方偏移進化を理解することは、銀河及び超巨大ブラックホール進化の解明において重要である。

SDSS 広域可視光データと *FIRST* 電波源カタログとを用いた電波銀河探査では、赤方偏移が 1 以下の電波銀河に限られていた。そのため我々は、従来よりも深い可視光広域サーベイであるすばる Hyper Suprime-Cam 戦略枠プログラム (HSC-SSP) の可視天体カタログと *FIRST* 電波源カタログとを組み合わせることで、より遠方の電波銀河の探査を試みた。結果として、HSC-SSP の深い撮像能力により赤方偏移 $z \gtrsim 1$ の電波銀河を多数同定することに成功した。これら $z \gtrsim 1$ 電波銀河は近傍電波銀河よりも高い radio-loudness ($R \gtrsim 4$) を持ち、楕円銀河から期待されるものよりも青い可視光カラーを示す。本発表では、 $z \gtrsim 1$ にある高い radio-loudness の電波銀河と近傍電波銀河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](#)

S30a 7年間のデータに基づく MAXI/GSC 高銀緯天体カタログ第三版の作成

川室太希 (国立天文台), 上田佳宏 (京都大学), 志達めぐみ (理研), 堀貴郁 (京都大学), MAXI チーム

全天 X 線監視装置 (MAXI) に搭載の Gas Slit Camera (GSC) は 2009 年 8 月からこれまで継続的な全天モニタリング観測に成功してきている。特に MAXI/GSC は 3–20 keV に感度を持ち、既存の *ROSAT* (< 2 keV) や *Swift*/BAT (> 10 keV) による全天サーベイと相補的で重要な立ち位置を占める。

我々は 2016 年 7 月までの全データを利用することで光子統計を増やし、高銀緯 ($|b| > 10^\circ$) の 7 年カタログを作成した。本カタログでは、点源の応答関数とバックグラウンドモデルの改良を行い、実データに対する再現性を向上させた。その結果、過去の 37 ヶ月カタログ (Hiroi et al. 2013) の約 1.4 倍となる、682 個の天体候補 (6.5σ 以上) を発見した。また、全天の半分で検出感度 0.5 mCrab (6.1×10^{-12} ergs cm $^{-2}$ s $^{-1}$) を達成した。*Swift*/BAT 超硬 X 線 (14–195 keV) 105-month カタログから対応天体が見つかった 240 天体に関して、4–10 keV と 14–195 keV のフラックス比を比較した。結果、活動銀河核の中でも、吸収なしの冪関数を仮定した場合の見かけの光子指数が 1.7 以上の軟 X 線が明るいものが選択的に検出されていることがわかった。しかし、約半数の天体が現在未同定である。そこで、以上のカタログ作成に加えて、3–4 keV と 10–20 keV のフラックスを求め、ハードネス比を導出した。加えて、MAXI の長期モニタリングデータを活かし 1 年ピンの光度曲線を作成し、変動の強度を定量化した。これらの情報を踏まえて、現時点で未同定の天体のなかにどのような天体が含まれているのかについて調査した。以上の結果をまとめ、カタログの性質について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

3月14日（水）午後（13:00-14:48）[F会場]

T01a	13:00	近傍銀河団 A2319 内に存在するサブハローのガス質量比の測定 大谷花絵（奈良女子大学）
T02a	13:12	銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の影響の定量化 古川愛生（東京理科大学）
T03a	13:24	機械学習を用いた熱的プラズマのパラメータ推定の自動化 須永夏帆（首都大学東京）
T04a	13:36	衝突銀河団 Cygnus A cluster 中の衝突電離非平衡プラズマの探査 井上翔太（大阪大学）
T05c		XMM 衛星データを用いた MCXC J0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析 楊冲（広島大学）
T06a	13:48	X 線/可視光を用いた低表面輝度銀河団の力学状態の研究 馬場崎康敬（名古屋大学）
T07a	14:00	すばる HSC 銀河団カタログの弱重力レンズ効果による可視光観測と銀河団質量の関係の導出 村田龍馬（東京大学）
T08a	14:12	HSC による弱重力レンズ効果を利用した銀河団探査 宮崎聡（国立天文台）
T09a	14:24	XMM-Newton 衛星による 5 つの高赤方偏移 HSC 銀河団の観測 渡邊翔子（奈良女子大学）
T10b	14:36	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 (2) 三石郁之（名古屋大学）

3月15日（木）午前（9:00-10:30）[F会場]

T11a	09:30	スパースモデリング実装ファラデートモグラフィーによる銀河間物質探査 I 山口諒祐（鹿児島大学）
T12a	09:42	銀河団 RXJ1347-1145 の数値シミュレーション I 石崎滉也（鹿児島大学）
T13a	09:54	RedMapper 銀河団カタログにおけるアセンブリバイアスの観測と N 体シミュレーションの比較 砂山朋美（カブリ IPMU）
T14a	10:06	銀河団と中心銀河の楕円率と主軸の向きの相関 岡部泰三（東京大学）
T15a	10:18	銀河団の進化を支配する Fundamental Plane 藤田裕（大阪大学）

T01a 近傍銀河団 A2319 内に存在するサブハローのガス質量比の測定

大谷花絵, 太田直美 (奈良女子大学), 岡部信広 (広島大学), 一戸悠人 (首都大学東京), 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構), 宮岡敬太 (広島大学)

銀河団内に複数存在するサブハローのガス質量比や質量関数を測定することは、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。ガス質量比の測定には、弱い重力レンズ効果解析より得られるダークマター質量分布 (Okabe et al. 2014 など) と、X線解析より求まるガス質量分布との組み合わせが有効であるため、この方法を利用して近傍銀河団 A2319 内に存在するサブハローのガス質量比の測定を行い、銀河団の構造進化の様子を探ることを目指した。

今回解析対象とした A2319 は、 $z = 0.0557$ に位置する衝突銀河団である。この天体は既にすばる望遠鏡により弱い重力レンズ効果の観測が行われ、中心領域に見られるコールドフロント付近等にサブハローが検出されている。そこで、弱い重力レンズ効果解析で得られた質量マップのピーク位置を参照して、スケール半径 R_{500} 内に存在する銀河群スケールのサブハローを複数個同定した。その各領域について、XMM-Newton 衛星のアーカイブデータを使用し、ガス温度やガス質量、静水圧平衡を仮定した全質量を推定することで、ガス質量比を求めた。その結果、これらの値はいずれも銀河団の典型値より一桁以上小さいことが分かった。これは、サブハローのガスがはぎとりの効果を受けた可能性があることを示唆している。

本講演では解析の詳細を報告し、それに基づいて A2319 銀河団の質量構造や進化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](#)

T02a 銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の影響の定量化

古川愛生, 松下恭子, 平井真一 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

特に明るい銀河団中心部における銀河団ガス中の重元素イオンからの X 線輝線放射は共鳴散乱により歪められ、重元素のアバundanceや高温ガスの運動速度の決定に影響を与えうることが予想されているため、共鳴散乱の影響の定量化は重要である (e.g. ASTRO-H WHITE paper)。

「ひとみ (ASTRO-H)」衛星 SXS によるペルセウス座銀河団中心部の観測では、個々の輝線幅から高温ガスの乱流速度が測定された。さらに、共鳴線の強度が光学的に薄いプラズマモデルから期待されるよりも $\sim 20\%$ 程度弱いことが明らかとなった。これに対して、ペルセウス座銀河団の Fe - $K\alpha$ 輝線群について、観測で得られた乱流速度をもとに、「Geant4」及び「ひとみ (ASTRO-H)」SXS の応答関数を用いた共鳴散乱シミュレーションから得られる輝線強度比は、実際の観測と一致し、共鳴線の線幅の広がりも再現できることから、ペルセウス座銀河団の中心部では実際に共鳴散乱が起きていることを確かめることができた (Hitomi Collaboration et al. 2017)。

本研究では、Chandra 衛星と Suzaku 衛星の観測をもとに、「ひとみ (ASTRO-H)」衛星 SXS で観測予定であった、おとめ座銀河団とケンタウルス座銀河団の中心部でペルセウス座銀河団と同様のシミュレーションを行った。両天体とも中心部からの共鳴散乱の光学的厚さは 1 を超えているため、共鳴散乱によるスペクトルへの影響が考えられる。これらの銀河団について共鳴散乱シミュレーションを行うことで Fe - $K\alpha$ 輝線群の強度比を求め、乱流速度の大きさにより輝線強度比がどの程度変化し得るか、また、「ひとみ (ASTRO-H)」衛星代替機の観測で両天体の共鳴散乱の影響が測定可能であるかを見積もった。その結果、SXS 視野全体では両天体の中心部をそれぞれ 200 ks 以上観測することで共鳴散乱による共鳴線の強度の減少を検出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](#)

T03a 機械学習を用いた熱的プラズマのパラメータ推定の自動化

須永夏帆、一戸悠人、山田真也、宮崎直人 (首都大)、斎藤真也、内山泰伸 (立教)

X線のスペクトル解析において、モデルとデータを比較し、グローバルな最適解を探すことは、事前知識や経験が必要となる場合が多い。将来的に、X線精密分光が発展し、多数のスペクトルが得られるようになるにつれて、計算コストや解析時間が肥大化への対応に迫られる時代が来るであろう。そこで、我々は、スペクトルフィットの前処理に機械学習を導入することを考案した。フィットの初期値を無バイアスで迅速に探索することが目的である。ニューラルネットワークの生成には、「ひとみ」衛星のミラーとマイクロカロリメータの応答関数を用いて、単一温度プラズマのスペクトルを1万個生成し、9千個を教師データとして、残りを評価用データとして用いた。これにより、4層程度の多層パーセプトロンを用いることで、数パーセントの精度で出力パラメータ(温度、アバダンス、Normalization, red shift)を再現することができた。

実際に、「ひとみ」衛星で得られたペルセウス銀河団のスペクトルに適用したところ、AGNの寄与があるにもかかわらず、数%の精度で、単一成分としてフィットした場合のパラメータを再現することに成功した。ネットワークの層や深さなどのハイパーパラメータを変えて、パフォーマンスを評価したところ、一般的に知られている傾向と同じで、深いほど性能は上がることがわかったが、初段の深さは主成分分析により約100次元程度あれば十分であり、深さも4層程度であれば、現実的なパラメータ推定には問題がないことがわかった。この方法は、スペクトルフィットの前処理として機械学習を使うもので、初期値推定を目的としているため、数パーセントでパラメータが推定できれば実際に役立つ場面があるであろう。本公演では、このネットワークの設計やパフォーマンスについて紹介し、今後の多成分プラズマへの応用についても紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a 衝突銀河団 Cygnus A cluster 中の衝突電離非平衡プラズマの探査

井上翔太, 林田清, 中嶋大, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), Maxim Markevitch, Daniel Wik (NASA/GSFC)

銀河団高温プラズマ (Intracluster Medium; ICM) は、衝突電離平衡の状態にあることが仮定されている。これは、銀河団形成のタイムスケールに比べて、非平衡プラズマの電離平衡状態に達するタイムスケールが非常に小さいため、relaxした銀河団では電離平衡状態に達していると考えられるからである。実際、電離非平衡状態にある銀河団 ICM の報告はない。しかし、衝突している銀河団の場合、そのタイムスケールが 10^8 年だとすると、電離非平衡の条件 $n_e t < 10^{13} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$ を満たす。事実、数値シミュレーションによって、銀河団の衝突のあるフェイズ、場所によって電離非平衡状態になることが予言されている (e.g. Takizawa 1999, ApJ, 520, 514, Akahori & Yoshikawa 2010, PASJ, 62, 335)。衝突銀河団中の電離非平衡プラズマを検出することで、電離パラメータから銀河団衝突のフェイズを定量的に見積ることができる。実際、このような視点で、我々は衝突銀河団 Abell 754 の観測データを解析し、衝撃波加熱に起因する電離非平衡の兆候をえている (e.g. Inoue et al. 2016, PASJ, 68, S23、井上他 2015 年春季年会、井上他 2017 年秋季年会)。

本講演では、衝突銀河団 Cygnus A cluster 中の ICM の電離状態について報告する。安定したバックグラウンドで観測ができるすざく衛星の観測データを使用し、Fe XXV 輝線と Fe XXVI 輝線の強度比を測定した。衝突の方向に沿って、領域別解析を行った結果、main cluster と subcluster の間に高温領域 ($kT = 9.32^{+0.35}_{-0.38}$ keV) を確認した。この高温領域において、電離パラメータが 1σ の信頼区間で $n_e t = 0.86^{+1.20}_{-0.25} \times 10^{12} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$ と制限できることがわかった。本講演では、これらの解析結果の詳細を述べると共に Cygnus A cluster の衝突・進化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T05c XMM 衛星データを用いた MCXC J0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析

楊冲, 深沢泰司, 岡部信広, 宮岡敬太 (広大理), 北口貴雄 (理研)

銀河団は宇宙最大の重力平衡構造であり、数百から数千個の銀河を含む天体である。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。衝突銀河団の観測的に研究することで、可視光による銀河、X線による高温ガス、重力レンズによる暗黒物質の衝突過程での緩和の違いがわかり、銀河団の形成、進化の解明が可能になる。これまでX線で見つかった衝突銀河団が主に研究されてきたが、すばる HSC などのサーベイにより可視光による衝突銀河団の発見が進んでおり、X線と可視光で発見された衝突銀河団は異なる衝突フェーズにあると考えられるので、両者の比較は重要である。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。表面輝度分布から 2 つのピークがあることがわかる。可視バンドで銀河団は西の領域で集中している。X線バンドで渦巻の形の特徴があり、衝突の跡を示唆している。XMM-Newton のデータから、低エネルギーバンド (0.4-2.3keV) と高エネルギーバンド (2.3-7.5keV) を分けて、ハードスネス比マップを作り、2次元温度マップを求め、2つの銀河団ピークの周辺で温度構造が異なることが見えた。本講演では、衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の 2次元温度マップや圧力、ガス密度、エントロピーマップ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](#)

T06a X線/可視光を用いた低表面輝度銀河団の力学状態の研究

馬場崎康敬, 三石郁之 (名古屋大学), 太田直美 (奈良女子大学), 佐々木伸 (首都大学東京), H. Böhringer, G. Chon (MPE), G.W. Pratt (CEA/Saclay), 松本浩典 (大阪大学)

X線天文衛星 ROSAT による銀河団の全天サーベイにより、X線表面輝度が極めて低い「低表面輝度銀河団」が見つかった (e.g., Böhringer et al. 2004)。これらは ROSAT 銀河団サンプルの約 5–10 % を占めるが、その力学状態や形成過程はほぼ謎に包まれている。これまでに低表面輝度銀河団の一つ A76 では X線天文衛星すざくを用いて詳細な分光解析が行われており、中心領域で他の銀河団よりも高いエントロピー値 $\sim 400 \text{ keV cm}^2$ を持つことが示されてる (Ota et al. 2013)。

我々はさらにサンプルを増やし本種族の起源に迫るために、すざくおよび X線天文衛星 XMM-Newton に観測されていて詳細な分光解析が可能である低輝度銀河団 A1631 ($z = 0.046$) と A2399 ($z = 0.058$) に着目した。X線スペクトル解析から銀河団への熱流入の履歴を反映するエントロピー半径分布を評価した結果、A1631 の分布は平坦であり、中心領域で $>400 \text{ keV cm}^2$ の値をもつことが分かった (新郷他 2014 年秋季年会報告)。A2399 も同様の傾向を示し、中心領域の値は $\sim 250 \text{ keV cm}^2$ であった。これらの値は重力集積による標準的な銀河団形成シナリオから予測される値 ($\sim 100 \text{ keV cm}^2$) から大きくはなれていた。これは重力集積以外のメカニズムが働いていることを示唆する。本研究ではさらに、可視光データを用いて構成銀河の空間分布と X線表面輝度の分布を比較した。その結果、それらの分布は大きく異なることが分かった。これは衝突銀河団に見られる特徴である (Harvey et al. 2015)。我々はこれらの観測事実を説明するために「銀河団衝突によるガスのかきませ・剥ぎ取りによる低輝度銀河団の形成」という、衝突銀河団シナリオを提案した。本講演ではその詳細を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T07a すばる HSC 銀河団カタログの弱重力レンズ効果による可視光観測量と銀河団質量の関係の導出

村田龍馬 (カブリ IPMU/東京大学物理), 大栗真宗 (RESCEU/東京大学物理/カブリ IPMU), 高田昌広 (カブリ IPMU), 西道啓博 (カブリ IPMU), 白崎正人 (国立天文台), HSC collaboration

銀河団は宇宙最大の天体であり、銀河団の数密度とクラスタリングを用いることで宇宙論パラメータを制限することができる。現在進行中のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイにより、可視光データから銀河団カタログ (Oguri et al. 2017) と弱重力レンズ効果を測定するための背景銀河カタログ (Mandelbaum et al. 2017) が構成されており、高赤方偏移の銀河団の解析が可能となっている。

銀河団を用いた宇宙論解析や、銀河団での銀河形成・進化を調べるには銀河団の質量 (主にダークマター) と観測量 (可視光ではメンバー銀河数に対応するリッチネス) の平均関係とその周りのばらつきを理解することが必要不可欠である。2017年秋季年会では、スローン・デジタル・スカイ・サーベイ ($0.10 < z_{cl} < 0.33$) の銀河団と重力レンズのデータに、開発した解析手法を適用して得た可視光観測量と銀河団質量の関係 (Murata et al. 2017) について口頭発表した。本発表では、上の解析手法を $z_{cl} \sim 1$ までの高赤方偏移に渡る HSC 銀河団カタログに適用した研究結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T08a HSCによる弱重力レンズ効果を利用した銀河団探査

宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大学), 浜名崇 (国立天文台), 白崎正人 (国立天文台), 小池美知太郎 (国立天文台), 梅津敬一 (ASIAA), 内海洋輔 (SLAC), 岡部信広 (広島大学), Surhud More (東京大学), Elinor Medezinski (Princeton), Yen-Ting Lin (ASIAA), 宮武広直 (JPL), 村山斉 (東京大学), 太田直美 (奈良女子大学), 三石郁之 (名古屋大学)

2014年春より Hyper Suprime-Cam による戦略的観測が行われている。2019年末までには、1000平方度を超える天域にわたり5色 (grizy) の画像が得られる予定である。このうち、初期にリリースされた160平方度のデータを用いて弱重力レンズ解析を行い、銀河団を特定したので、その報告を行う。開口質量 (aperture mass) の2次元分布を作成し、その上で信号対雑音比 (ν) が4.7以上のピークを65個特定した。これらを可視光の銀河団カタログと比較したところ、 $\nu > 5.1$ のピークには全て対応する銀河団が見つかった。65個のピークのうち対応する銀河団が見つからなかったのは2例だけであった。X線衛星 ROSAT による全天サーベイ (RASS) に基づくX線銀河団のカタログと対応したピークは、2例のみであったが、65個のピーク位置でX線画像を重ねたところ、有意なX線信号が検出された。この信号の強度は、ピークの質量しきい値から推定されるX線強度のおよそ半分で、X線で暗い銀河団種族の存在を示唆している。また、シアアの接線方向成分 (tangential shear) を重ね、銀河団の平均的な質量分布を計測したところ、NFW分布によく合うことが分かった。その集中パラメータ c_{500} は2.5程度と、X線銀河団と同程度に低かった。これにより、重力レンズ効果を用いた銀河団が、暗黒物質ハローの形状や向きによりバイアスされているわけではなく、質量に基づき選択されていることが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T09a XMM-Newton 衛星による 5 つの高赤方偏移 HSC 銀河団の観測

渡邊翔子, 太田直美 (奈良女子大), 三石郁之 (名古屋大), 大栗真宗 (東京大), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 一戸悠人 (首都大学東京), 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構), 大谷花絵 (奈良女子大), 馬場崎康敬 (名古屋大), 浜名崇 (国立天文台), 宮岡敬太 (広島大), 宮崎聡 (国立天文台), 他 HSC 銀河団コラボレーション

高赤方偏移における大質量銀河団の存在やその性質を調べることは、銀河団の形成進化や宇宙論の研究にとって重要であるが、そもそもそのような天体は希少である。実際、これまでに X 線領域においても、遠方銀河団の温度光度関係をはじめとする X 線スケール則の測定が試みられてきたが、サンプル数も限られており、赤方偏移進化の議論は収束していない。これに対して最近、すばる望遠鏡 Hyper Suprime Cam を用いた大規模サーベイに基づいて可視銀河団カタログが構築され、遠方天体の数は大幅に増加した (Oguri et al. 2017)。そこで、我々はこのカタログのうち、可視光リッチネス (N) が 40 以上かつ $z > 0.8$ の可視銀河団に注目して、XMM-Newton 衛星による系統的な観測計画を開始した。

今回我々は、XMM-Newton 衛星によって 2017 年に新たにデータを取得した 5 つの可視銀河団 ($0.8 < z < 1.1$, $40 < N < 52$) について、X 線イメージの作成、スケール半径 R_{500} 内のガス温度および光度の測定を行った。その結果、5 天体全てから空間的に広がった X 線放射を検出することに成功し、これらが高温ガスを持つ銀河団であることを確認した。さらに、得られたガス温度と光度は、X 線銀河団の温度光度関係 (Reichert et al. 2011) と測定誤差の範囲内で一致することがわかった。本講演では、以上のような観測結果に基づいて、高赤方偏移 HSC 銀河団の高温ガスの性質や温度光度関係の赤方偏移進化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T10b 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 (2)

三石郁之, 吉田篤史 (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 (首都大学東京), 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構), 大谷花絵 (奈良女子大), 馬場崎康敬 (名古屋大), 宮岡敬太 (広島大), 渡邊翔子 (奈良女子大), 他 HSC 銀河団コラボレーション

Weak lensing は力学平衡等の物理的仮定を介さず直接質量やその分布を抽出することができる唯一の手法であり、これまで銀河団の質量分布測定 (Oguri et al. 2012, MNRAS 等) や近傍銀河団内部のサブハローの検出にも成功している (Okabe et al. 2014, ApJ)。現在進行中のすばる望遠鏡搭載 Hyper Suprime Cam を用いての戦略的観測プログラム (HSC-SSP) では、weak lensing から構築した 1400 平方度をカバーする大規模な質量マップの作成を目指している。2017 年現時点では ~ 160 平方度領域をカバーした weak lensing 銀河団カタログ (Miyazaki et al., 2017, PASJ) が作成され、 $10^{14} h^{-1} M_{\odot} < M_{500} < 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$ の幅広い質量レンジで 65 ものサンプルが検出された。そこで我々は HSC-SSP weak lensing 銀河団を用いて質量キャリブレーション、銀河団スケール則やバリオンフラクションの進化を調べることを目的とし、X 線フォローアップ計画を開始した (三石他 日本天文学会 2017 年秋季年会)。

まず我々は ROSAT および XMM-Newton アーカイブデータを用いて対応天体を探し、そのイメージ・分光特性から銀河団ガスの温度や光度を調べた。特に XMM-Newton のアーカイブデータが存在した 13 天体に対し厳しい光度への制限を与えることができ、X 線光度と質量の関係は X 線同定銀河団と比較し X 線にて系統的に暗いという示唆を得た。本講演では銀河分布やダークマター分布との比較も合わせ、その力学状態も議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T11a スパースモデリング実装ファラデートモグラフィーによる銀河間物質探査 I

山口諒祐 (鹿児島大学), 赤堀卓也 (国立天文台), 他 SKAJP トモグラフィーチーム

銀河団や銀河フィラメントに付随する銀河間物質の観測的な全貌の解明は、天文学と宇宙論の重要なテーマのひとつである (たとえばミッシング・バリオン問題)。銀河間物質は希薄で観測が難しいため、観測法の開拓には意義があり、たとえば瞬発電波バースト (FRB) を使った新しい方法が提案されている (赤堀ら 2016; 藤田ら 2017)。センチ波帯域で高感度広帯域に直線偏波を観測できる Square Kilometre Array (SKA) の時代には、ファラデートモグラフィーと呼ばれるファラデー深度空間の偏波分布 (FDF) をフーリエ変換により合成する技法が有効になり、視線断層的な研究にまで発展することができるだろう (赤堀ら 2014; 出口ら 2014 他)。しかし、トモグラフィーの従来の方法には様々な理由により合成に不定性が伴うことも知られている (宮下ら 2016 他)。

そこで我々は、画像処理の分野で成果を上げているスパースモデリング (秋山ら 2017 他) に注目し、その有効性を調べている。スパースモデリングとは、疎性のあるデータから関数を導く手法である。本研究では特に、手前に天の川銀河の広がった偏波と、遠方に偏波源があり、それらの間に偏波を発しない磁化した銀河間物質があるという先行研究 (赤堀ら 2014) と同じ状況を考えて、スパースモデリング実装ファラデートモグラフィーが模擬観測データからモデルを正しく再現できるかを明らかにする目的で研究を行った。結果として、モデルの完全再現には至らなかったが、スパースモデリングを用いてのファラデートモグラフィーによって、天の川銀河、銀河間物質、偏波源を FDF 上で十分区別することができるかと初めてわかった。講演ではこの結果を報告し、どういった観測の条件が必要かなどを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T12a 銀河団 RXJ1347-1145 の数値シミュレーション I

石崎滉也 (鹿児島大学), 赤堀卓也 (国立天文台), 北山哲 (東邦大学), 吉川耕司 (筑波大学), 他 SZ-ALMA チーム

銀河団は、銀河・ガス・ダークマターから成る宇宙最大の自己重力系と考えられており、その形状は理想的には球対称なはずである。現実には X 線放射、SZ 効果、重力レンズ効果の分布などから、ガスとダークマターが非球対称に分布していたり、あるいはそれらの分布のピーク位置がずれている場合が知られる。それらは多くの場合、構造形成の影響、銀河団の熱的進化、あるいは銀河団内部での活動の痕跡などとして理解される。RXJ1347-1145 も非球対称な構造を示す一例で、銀河団衝突の可能性が指摘されてきた (北山ら 2016 他)。銀河団衝突によるガスのスロッシングの数値実験もされている (Johnson ら 2012 他)。

Köhlinger & Schmidt (2014) は重力レンズ効果の観測から、細長く引き伸ばされたような非常に興味深い質量分布のサブ構造を示唆した。我々はこのサブ構造も銀河団衝突で再現できるのかを明らかにする目的で、開発済みの SPH+N 体のコード (赤堀 & 吉川 2010 他) を用いて数値実験を行った。初期条件として、それぞれが球対称力学平衡にある 2 つの銀河団が、相対速度をもってオフセット衝突する状況を考えた。その結果、単純に 2 つの銀河団の初期相対速度やインパクトパラメータを変えるだけでは、観測されている状況を再現できないことが分かった。これはもし銀河団衝突を由来とするならば、観測されている質量サブ構造は非常に特異であり、接触時のサブ銀河団の形状が球対称自己重力平衡から大きく外れていたことを示唆する。講演では観測で得られた温度マップ・重力レンズマップとの比較を示しつつ、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](#)

T13a RedMapper 銀河団カタログにおけるアセンブリバイアスの観測とN体シミュレーションの比較

砂山朋美 (カブリ数物連携宇宙研究機構)

銀河団は、銀河団数やクラスタリングから宇宙論パラメーターを制限することができるが、そのためには構造形成による不確定性を十分に理解する必要がある。近年、銀河やダークマターハローの空間分布が、ハローの質量だけでなくその構造形成にも依存することがN体シミュレーションから明らかになった。このハローの質量以外に依存するバイアスをアセンブリ・バイアスと呼ぶ。アセンブリ・バイアスはN体シミュレーションでは活発に研究されているが、観測における検出結果には未だ議論の余地が残っている。今回の発表では、観測に用いられるRedMapperのアルゴリズムを再現することで、観測とN体シミュレーションの直接的な比較をし、アルゴリズムにおける問題点やアセンブリバイアスの観測的検出における系統誤差などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T14a 銀河団と中心銀河の楕円率と主軸の向きの相関

岡部泰三、大栗真宗、須藤靖、西道啓博（東京大学）、北山哲（東邦大学）、佐々木伸（首都大東京）、
Sébastien Peirani (CNRS and UPMC Université Paris)

現在の標準的宇宙論パラダイムである Λ CDM モデルは、いくつかの問題を残しているものの非常に成功を収めたモデルである。例えば、シミュレーションが予測するダークマターハローの質量関数など様々な統計量は、観測事実をよく説明することが知られている。当初この比較は球対称近似を用いて行われていた。しかし Jing & Suto (2002) はダークマターハローが本質的に球対称ではなく、楕円体であることを示して以来、球対称近似を超えた楕円率等に着目した研究が、シミュレーション・観測共に精力的に行われてきた。実際、例えば銀河団の X 線表面輝度 (XSB)、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果 (SZE)、重力レンズ、メンバー銀河の分布等の観測からそれぞれ楕円率が測定され、さらにはそれぞれの分布の向きが中心の銀河に対してどの程度揃っているのかと言った結果まで出てきている (e.g. Donahue et al. 2016)。しかし、今の所シミュレーション中でこの向きの相関を調べた結果は十分とは言えず、今後も増えて行くであろう観測事実に対し比較するための理論予言が必要不可欠である。

そこで今回我々は、Horizon-AGN シミュレーション中の銀河団 40 個を用いて、ダークマター、星、ガスの楕円率および、その分布の主軸の向きと中心銀河の向きの相関を調べたのでその結果を発表する。Horizon-AGN は、 $100h^{-1}$ Mpc の広いボックスサイズと、星団程度 $10^6 M_{\odot}$ の星質量分解能を併せ持ち、我々の目的にとって現状最適なシミュレーションである。結果として、銀河団のそれぞれの要素の分布は中心銀河の向きとよく揃っていることがわかった。またさらにこの向きの相関は、重力レンズの観測においてスタック解析の際の事前情報としても有用となることから、XSB, SZE 含む各観測量とダークマター分布の向きの相関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](#)

T15a 銀河団の進化を支配する Fundamental Plane

藤田裕 (大阪大学), 梅津敬一 (ASIAA), Elena Rasia (INAF Trieste), Massimo Meneghetti (INAF Bologna), Megan Donahue (Michigan), Elinor Medezinski (Princeton), 岡部信弘 (広島大学), Marc Postman (STScI)

CDM モデルでは、銀河団は小さいものが集まって大きなものに成長したと考えられている。また銀河団は内部から外部に向かって成長してきたと考えられている。銀河団中のガスの温度もそれにしたがって上昇してきたと考えられているが、銀河団の内部構造や成長過程との詳細な関係は明らかになっていない。

この関係を調べるために、我々はまず CLASH 銀河団サンプルについて、それぞれの銀河団の characteristic radius (r_s) および characteristic mass (M_s) と、温度 (T_X) を調べた。 r_s , M_s は重力レンズ観測で、 T_X は X 線観測で得られたものである。そしてこれらのデータを $(\log r_s, \log M_s, \log T_X)$ 空間にプロットしたところ、非常に薄い平面状に分布することを見出した。さらに宇宙論的なシミュレーションでもこの平面の存在を確認した。銀河団は成長する過程で、温度が上昇し、質量と半径が増加するが、それは銀河団のこの平面上の移動で表されることもシミュレーションは示している。またこの平面は銀河団中の AGN フィードバックなどの効果はほとんど受けない。

一方、平面の向きはビリアル平衡が予測するものと有意にずれている。我々は解析的な similarity solution でこの平面の向きのずれを説明することに成功した。それによると、このずれは銀河団は単純なビリアル平衡になっていないためであり、外から連続的に物質が落下する効果を取り入れないと構造を正しく議論できないことを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

3月14日（水）午後（13:00-15:00）[C会場]

U01a	13:00	POLARBEARによる原始重力波起源Bモード測定の現状とSimons Arrayのパイプライン開発	茅根裕司（カリフォルニア大学）
U02a	13:12	宇宙初期における磁場散逸によるエントロピー生成:小スケール原始磁場への新しい制限	嵯峨承平（京都大学）
U03a	13:24	21cm線観測のための中性水素のバイアスマデリング	安藤梨花（名古屋大学）
U04a	13:36	中性水素分布におけるボイド構造探索の可能性	遠藤隆夫（名古屋大学）
U05a	13:48	トラフレンズによる10kpc以下の密度ゆらぎの制限	井上開輝（近畿大学）
U06c		クェーサーMG0751+2716の重力レンズモデル	堀口康男（近畿大学）
U07a	14:00	バリオン効果まで加味した銀河団ハローの物質分布のモデル化	白崎正人（国立天文台）
U08a	14:12	Strong orientation dependence of surface mass density profiles of dark haloes at large scales	大里健（東京大学）
U09a	14:24	粒子軌道に基づくN体ダークハローの構造	杉浦宏夢（京都大学）
U10a	14:36	すばるHSC銀河を用いたコズミックシア測定と宇宙論	日影千秋（東京大学）
U11a	14:48	Super-sample covariances for cosmic shear and galaxy-galaxy lensing	高橋龍一（弘前大学）

3月15日（木）午前（9:30-10:18）[C会場]

U12a	09:30	銀河団分布と γ 線背景の相互相関信号	橋本大輝（名古屋大学）
U13a	09:42	Grid-based calculations for perturbation theory of large-scale structure	樽家篤史（京都大学）
U14a	09:54	「最近の研究によると、ダークマターが宇宙成分の23%を、ダークエネルギーが約73%を占めていると推測されます。」この事の解明。ダークエネルギーとは何か。	小堀しづ（）
U15b	10:06	どのように宇宙の素粒子はできたか。ビッグバンの以前、どうして電磁気は次々1束の電磁気を増加させ1束の電磁気のエネルギーを大きくしたか。	小堀しづ（）
U16c		ビッグバンの以前、ヒッグス粒子は存在できたか。	小堀しづ（）

U01a POLARBEARによる原始重力波起源 B モード測定の現状と Simons Array のパイプライン開発

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大学), 高倉理 (KEK 素核研), 田島治 (KEK 素核研), 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 は宇宙の極初期に起こったとされる指数関数的膨張–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 radiation, CMB) の偏光観測を、チリのアタカマ砂漠、標高 5,200m で行っている。

POLARBEAR は今迄に、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 small patch survey、それ以降は原始重力波起源 B モードに特化した wide patch survey 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、今までに関連する結果と実験の進捗状況を報告してきた。更に 2017 年秋学会では、small patch survey のデータ全てを使った、さらなる高精度での重力レンズ起源 B モードの自己相関スペクトルを報告した。

本発表では 2014 年から実施してる wide patch survey のデータによる原始重力波起源 B モード測定の最新状況を報告する。また、来年度から観測を始める予定の、POLARBEAR 実験のアップグレード計画である Simons Array に向けた解析パイプラインの開発状況を報告する。更に、開発が急速に進んでいる次世代実験 Simons Observatory について現状をまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U02a 宇宙初期における磁場散逸によるエントロピー生成:小スケール原始磁場への新しい制限

嵯峨承平, 田代寛之 (名古屋大学), 横山修一郎 (立教大学)

現在、銀河や銀河団・また銀河間スケールに渡る多くのスケールにおいて、磁場が観測されている。このような大スケールの磁場を説明するためのモデルとして、初期宇宙、例えば再結合期以前において、小さな原始磁場が磁気流体不安定性によって増幅されたものであるというシナリオが有力な候補の一つである。原始磁場の宇宙論的な制限として、宇宙マイクロ波背景放射のゆらぎ・スペクトル歪みなどを用いた制限が行われており、これらの主要な制限は Mpc スケールに対して強い上限を与える。

本研究では、より小さなスケールにおける原始磁場の制限に注目する。磁場は初期宇宙の原始プラズマ中において、磁場の空間的ゆらぎの伝播に従って指数関数的な減衰を受け、その磁場のエネルギーが光子へと流入する。一方で二重コンプトン散乱が起こっている初期宇宙では、仮に光子へのエネルギー流入が存在した場合でも、光子数が変化することにより常にプランク分布が実現されている。初期宇宙では非常に小さなスケールで磁場の減衰が生じるため、光子数変化に注目することで小スケール原始磁場の強い制限を与えることが期待される。本研究ではこの機構を Magnetic reheating と呼び、これを利用することで現在の宇宙論的観測からこれまでにない小さなスケールの原始磁場に対して非常に強力な制限を与えた。本発表で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](#)

U03a 21cm 線観測のための中性水素のバイアスマデリング

安藤梨花, 西澤淳, 長谷川賢二, 田代寛之 (名古屋大学)

宇宙の加速膨張をもたらす有力な候補としてダークエネルギーが考えられている。ダークエネルギーの状態方程式パラメータの値を制限することで、ダークエネルギーの性質に制限を与えることができる。そのためにバリオン音響振動 (BAO) を用いる方法がある。BAO を用いることで宇宙の膨張史を知ることができ、ダークエネルギーを制限することが可能である。

2020 年から初期科学運用が始まる大規模電波干渉計の Square Kilometre Array (SKA) は、中性水素の超微細構造のエネルギー差に由来する電磁波である 21-cm 線を観測する。SKA では 21-cm 電波源からの分解されていない強度を観測する intensity mapping survey によって、中性水素の 3 次元分布から BAO の情報を得ることができる。これによって、これまでによく行われてきた大規模銀河赤方偏移サーベイとは異なるパラメータ空間を探索することができる。

先行研究では SKA によって観測した場合のダークエネルギーのパラメータへの制限の予測を行なっているが、中性水素バイアスのスケール依存性を考慮していない。そこで本研究では、Illustris シミュレーションを用いて赤方偏移 0.1 から 3 における中性水素バイアスのスケール依存性を測定した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a 中性水素分布におけるボイド構造探査の可能性

遠藤隆夫 (名古屋大学)

宇宙大規模構造は、フィラメントやシートと呼ばれる銀河の密集した高密度な構造と、それらに囲まれたボイドと呼ばれる低密度な領域によって形成される。これらのうち、ボイド領域は低密度ゆえに、その構造形成には物質の重力ではなく、宇宙を加速膨張させる暗黒エネルギーの寄与が大きい可能性がある。このため、ボイド構造の時間発展は、暗黒エネルギーのモデルや、重力理論の制限につながると期待されている。これまでに、暗黒物質のN体シミュレーションや銀河サーベイから同定されるボイドに対して、サイズ分布や形状、半径に対する密度などのカタログが作成されており (Sutter et.al 2014)、宇宙モデルの検証に応用されている。

2020年代に稼働予定のSKA(Square Kilometer Array)では、中性水素の Intensity map から、宇宙の広範囲にわたる中性水素の分布を観測することが期待されている。この中性水素の分布もまた、暗黒物質の分布を反映していると予想される。本研究では、宇宙論的流体シミュレーション (ILLUSTRIS) を用い、中性水素の分布によるボイド探査の可能性を検討する。その上で、中性水素の分布から得られるボイドカタログの特徴を解析し、そ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](#)

U05a トラフレンズによる 10kpc 以下の密度ゆらぎの制限

井上 開輝 (近畿大), 石山 智明 (千葉大), 浜名 崇 (国立天文台)

QSO 等の光源が手前の楕円銀河によって 4 重に像が分裂して観測される 4 重像重力レンズ系を考える。なめらかなポテンシャルをもつ重力レンズモデルを用いた場合、レンズ像の位置は $O(0.1\%)$ の精度でフィットできるが中間赤外や電波におけるフラックス比は $O(10\%)$ でフィットできない「フラックス比異常」という現象が知られている。従来、レンズ銀河ハロー中のサブハローがその原因であるとされていたが、近年、視線方向にあるハローなどの非線形小構造がその主原因であることが確からしくなってきた (Inoue & Takahashi 2012, Inoue, Minezaki, Matsushita & Chiba 2016)。しかし、サブハローによる摂動と銀河間空間にあるハローの摂動を観測的に識別するのは困難である。そこで、我々は視線方向に存在するボイドの重なりによってできるダークマタートラフによるレンズ効果に注目する。レンズ銀河ハロー中のボイド構造は銀河の強い潮汐力によって容易に破壊されるので、それ以外の視線方向に存在するボイドの重なりによってできるトラフが主に効くと考えられる。また、トラフは負の質量としてはたらくため、レンズ像のフラックス変化はハローの変化に比べ符号が逆になる。一方、トラフによるフラックス比に対する摂動の大きさは銀河間ハローなどの正の質量による摂動とほぼ同じ大きさになるため、正負の摂動の大きさを比較することにより、サブハロー成分による摂動成分を切り分けることが可能である。本講演では、高解像度 N 体シミュレーションの結果を用い、10kpc 以下のスケールにおける宇宙論的密度ゆらぎの振幅を将来の 4 重像重力レンズ観測により、どの程度まで制限がつけられるか評価し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](#)

U06c クェーサー MG0751+2716 の重力レンズモデル

堀口康男 (近畿大学), 井上開輝 (近畿大学)

CDM 理論において N 体シミュレーションは 1Mpc より小さなスケールの構造形成において、実際の観測と矛盾する結果を示している。その内の一つはミッシングサテライト問題として知られている。銀河系のような規模の銀河ハロー内部には数百のタークマターハローの存在が理論から予測されている。しかし銀河系ハロー内では現在、数十個程度の矮小銀河しか観測されていない。このような理論と観測のギャップは CDM 理論における深刻な問題となっている。サブハロー内に多くの矮小銀河が存在していると考えられるが、矮小銀河が非常に暗く、観測によって直接捉えられることができていない可能性がある。重力レンズ効果を用いると光学的に捉えることが困難な遠方の暗い矮小銀河を重力の痕跡から捉えることができる。また最近の研究結果から、視線方向のハローやボイドが重力レンズ効果に影響を与えることがわかってきている。強い重力レンズ効果を受ける 4 重像クェーサー MG0751+2716 の位置データを用いることにより、その重力レンズモデルを作成し、レンズ像の位置に影響を与える銀河間タークハローやレンズ銀河のサブハロー、視線方向のボイドの必要性について検討し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](#)

U07a バリオン効果まで加味した銀河団ハローの物質分布のモデル化

白崎正人 (国立天文台), Erwin T. Lau, Daisuke Nagai (Yale)

銀河団は宇宙最大の自己重力系であり、その典型的な質量は 10^{14} 太陽質量にも及ぶ。銀河団の質量に関する数密度（質量関数）は、宇宙の物質密度の成長率と膨張率に依存するため、暗黒エネルギーの時間進化やニュートリノ質量の推定に役立つ。しかし、多くの銀河団サーベイで銀河団質量は直接の観測量ではなく、質量関数を推定するのは容易ではない。銀河団の直接的な質量推定法として、弱い重力レンズ解析が挙げられる。重力レンズ効果は、銀河団の背景銀河の像が銀河団質量によってコヒーレントに歪められる効果である。現在までの観測結果によれば、銀河団による重力レンズ効果は、宇宙論的な N 体シミュレーションが示唆する経験的な質量密度プロファイル (Navarro, Frenk & White 1996 ; NFW) でよく説明できることが知られている。

NFW プロファイルの質量依存性や時間進化を理解するために、N 体シミュレーションによる較正が行われ、銀河団ハローの質量集積史 (Mass Accretion History; MAH) とプロファイルの集まり度合い (concentration) に顕著な相関が発見されている (Aaron et al. 2013)。本研究では、銀河団の質量密度プロファイルを预言する際のバリオン物理の効果を考慮し、先行研究の枠組みで銀河団密度プロファイルを理解できるかを調査した。高解像度流体シミュレーションを用いた模擬銀河団を利用し、星形成や活動銀河核を含めた場合の MAH-concentration の関係性を系統的に測定した。結果として、単純なパラメトリゼーションを介して、バリオン物理がある場合においての NFW プロファイルの预言が可能になることがわかった。このモデルでは、質量と赤方偏移依存性だけでなく、宇宙論パラメタ依存性も加味できるため、今後の銀河団サーベイにおいて広く用いることができる。また、将来観測における重力レンズ解析によって、銀河団密度プロファイルのバリオン効果の制限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](#)

U08a Strong orientation dependence of surface mass density profiles of dark haloes at large scales

大里健 (東京大学), 西道啓博 (Kavli IPMU), 大栗真宗 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 奥村哲平 (ASIAA)

重力レンズ効果は宇宙の大規模構造を探る上で重要な観測対象である。特に、銀河団のような重い天体の周りの重力レンズ信号をスタックすることで、ダークハロー周辺の質量面密度プロファイルを得ることが可能である。得られたプロファイルとハローモデルを基にした理論モデルを組み合わせることで、レンズ天体であるハローの質量などの情報を推定する。個々のハローは三軸不等であるものの、スタックした後の平均的な形状は球形とみなせる。従って理論モデルにおいても、球対称なハローの密度プロファイルを仮定している。一方で、光学的な観測による銀河団探査では、銀河団に含まれる銀河をもとに探索を行うため、視線方向に伸びたハローが選択的に見つかる傾向があることが予期される。我々は高解像度 N 体シミュレーションを用いて、ハローの主軸と視線方向のなす角度の関数として質量面密度プロファイルを測定した。ハローが視線方向に沿っている場合、全てのスケール ($0.1 - 100 \text{ Mpc}/h$) で振幅が高くなることが明らかになった。小スケール ($< 0.1 \text{ Mpc}/h$) における増幅はハローの三軸不等性から説明でき、大スケール ($> 10.0 \text{ Mpc}/h$) における振幅の変動は形状と物質分布の相関に由来することを示した。さらに本講演では、特定の向きのハローに限定した場合の測定結果を、球対称性を仮定した理論モデルでフィッティングした際に、推定された物理量 (ハロー質量やハローバイアス) にどれだけ偏りが生じるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09a 粒子軌道に基づく N 体ダークハローの構造

杉浦宏夢, 樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所), Yann Rasera (Paris Observatory)

宇宙論的構造形成シミュレーション中で形成されるダークマターハローの密度構造は、経験的に NFW プロファイルと呼ばれる関数形で表されることが知られている。ところが Diemer & Kravtsov (2014) は、ハロー外延部の狭い領域で密度スロープ $\gamma = d \ln \rho / d \ln r$ が NFW プロファイルから逸脱し $\gamma \lesssim -4$ になることを見出した。この振る舞いはハローへ落下するコールドダークマターの最初の遠点通過と関係しており、その位置をスプラッシュバック半径と呼ぶ。スプラッシュバック半径はハローのマルチストリーム領域と降着領域を分ける境界点という意味で物理的に意味のあるハロー境界とみなせる。Diemer (2017) では N 体シミュレーションから得た粒子軌道をもとにハローのスプラッシュバック半径を決定するアルゴリズムを提案し、さらに Diemer et al. (2017) ではスプラッシュバック半径に基づくハローの性質を調べている。

本研究はスプラッシュバック半径という概念を拡張し、ハローへ落下した物質の (最初に限らず) すべての遠点通過をトレースし、それに基づいてハローの構造、特にマルチストリームの構造を解析することを試みるものである。本来スプラッシュバック半径はハロー最外延部を特徴づけるものであるが、この方法によってハロー内部の密度プロファイルや非球対称性といった構造を、従来の密度だけに基づく手法とは異なる観点から定量化することが可能になる。本講演では粒子軌道に基づいてハロー構造を定量化する手法を提案し、実際に N 体シミュレーションにこの手法を適用することで得られたハロー構造を従来の結果と比較する形で提示し、その含意を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U10a すばる HSC 銀河を用いたコズミックシア測定と宇宙論

日影千秋 (Kavli IPMU), 大栗真宗 (東京大学), 浜名崇 (国立天文台), 他 HSC Weak Lensing Collaboration

宇宙大規模構造の重力レンズ効果によって、遠方銀河の見かけの形が系統的に歪む現象を「コズミックシア」とよぶ。コズミックシアは、宇宙の質量分布を直接 (銀河分布を介さず) 調べることでできるユニークな観測量である。さらに銀河の赤方偏移情報を利用したトモグラフィ解析をすることで、質量分布の時間進化の情報を得ることができ、ダークエネルギーの性質や重力理論の検証に有用である。近年、コズミックシアから制限した宇宙論パラメータとプランク衛星による CMB 観測結果との間の食い違いが報告されており、標準的な Λ CDM 宇宙モデルが破綻している可能性が示唆されている。より一層精密なコズミックシア測定によって、 Λ CDM 宇宙モデルの妥当性を検証することが重要な研究テーマとなっている。

すばる望遠鏡に搭載した超広視野カメラ「ハイパーシュープリムカム (HSC)」による大規模な銀河撮像観測が進んでおり、HSC の広い視野と深い撮像性能を活かすことで、かつてない高精度でのコズミックシア測定が可能である。今回、HSC の第 1 期シアカタログ (140 平方度の天領域、900 万の銀河) を用いて、コズミックシアのトモグラフィ解析を行った。その情報をもとに、宇宙論パラメータ、特に、物質密度ゆらぎの振幅 σ_8 と物質密度パラメータ Ω_m を組み合わせた $S_8 = \sigma_8(\Omega_m/0.3)^{0.5}$ に対して強い制限を与えた。その際、銀河形状測定や測光赤方偏移の不定性、Intrinsic Alignment、バリオン物理の不定性などさまざまな系統誤差の影響を考慮した。今回得られた宇宙論の制限の結果が、こうした系統誤差にほとんどよらない、ロバストなものであることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U11a Super-sample covariances for cosmic shear and galaxy-galaxy lensing

高橋龍一（弘前大学）、西道啓博、高田昌広（カブリIPMU）、白崎正人（国立天文台）、城山航誠（弘前大学）

遠方銀河の形状は手前の物質による重力レンズ効果によりその形状が歪む。そのため、その歪みの相関から手前の物質分布を直接知ることができる（cosmic shear）。また手前の銀河周辺の背景銀河の形状も重力レンズ効果により歪む。そのため、手前の銀河周辺の密度分布を推定することができる（galaxy-galaxy lensing）。ここでそれぞれの観測量は cosmic shear は2次元の matter power spectrum、galaxy-galaxy lensing は同じく2次元の halo-matter power spectrum に対応する。

Super-sample covariance (SSC) は観測領域が有限であるために、観測領域内の平均密度が観測量に影響を与える効果である（Takada & Hu 2013）。そのため、例えば観測領域内の平均密度が宇宙全体の平均値に比べ高い（低い）場合、上記の観測量 power spectrum も高く（低く）なる。本講演では cosmic shear と galaxy-galaxy lensing を想定し、それぞれ matter power spectrum と halo-matter power spectrum への SSC の影響を N 体数値計算を用いて調べた。先行研究では3次元物質場に対しては Li et al. (2014) が、またそれをハロー場に拡張した場合は Baldauf et al. (2016) が議論している。本研究では2次元に射影した物質場とハロー数密度場に対して SSC の議論を行った。背景密度を $\pm 1\%$ 変化させた宇宙で N 体計算を行い、power spectrum への線形応答を数値的に求めた。多数の N 体数値計算を実行し 2D power spectrum の共分散を求め、SSC の予言値と一致することを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U12a 銀河団分布と γ 線背景の相互相関信号

橋本大輝(名古屋大学), 西澤淳(名古屋大学), 田代寛之(名古屋大学), 長谷川賢二(名古屋大学), 白崎正人(NAOJ), 堀内俊作(Virginia Tech.), Oscar Macias(Virginia Tech.), 大栗真宗(東京大学)

Fermi 衛星の γ 線スカイサーベイによって全天でほぼ一様な γ 線背景放射(EGB)が観測されているが, その起源について十分には理解されていない. EGBは blazar や star-forming galaxy などの天体を起源とする場合とダークマターの対消滅や崩壊などのエキゾチックな物質を起源とする場合が考えられている. これらの γ 線源はハローに集中的に分布しているため, ハローの分布とEGBの相互相関信号を探索することで γ 線源の正体にアプローチする研究がなされてきた. ただし, これまでの研究では信号の赤方偏移進化に着目した解析は行われていなかった. 実際には, それぞれの γ 線源候補は, γ 線強度について異なった赤方偏移依存性を持っている. よって, 幅広い赤方偏移の銀河団カタログを用いて相互相関信号の赤方偏移進化を明らかにすることができれば, それぞれの γ 線源の赤方偏移依存性を比較することでその起源に迫ることができると期待される.

本研究では, Fermi 衛星の γ 線スカイサーベイとHSCの銀河団カタログ(CAMIRA)から得られる銀河団分布の相互相関の有無を2点相互相関解析とスタッキング解析から評価した. さらに銀河団の赤方偏移($0.1 \leq z \leq 1.1$)ごとに同様の解析を行い, 相関の赤方偏移依存性についても評価を行った. 本講演ではそれらの解析の手法と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](#)

U13a Grid-based calculations for perturbation theory of large-scale structure

樽家篤史(京都大学基礎物理学研究所), 西道啓博(カブリ数物連携宇宙研究機構), Donghui Jeong(ペンシルベニア州立大学)

近年、大口径の専用望遠鏡などにより系統的な観測が進むことで、宇宙の大規模構造の観測は、重力非線形性が弱い大スケールまで広がった。これにより、パワースペクトルなどの観測量が摂動論にもとづく解析計算と直接比較できるようになり、ロバストな宇宙論パラメータ推定ができるようになった。特に最近は、再和法・くりこみ展開といった手法や、高次摂動の計算テクニックが開発されるなどの進展もあり、計算精度が向上、適用範囲も広がっている。

こうした摂動計算の最大の特徴は、観測と比較すべき統計量が、解析的表式にもとづいて直接計算できる点にある。この点は、ランダムな密度場を多数生成して統計解析するN体シミュレーションと比べて、ある意味、長所といえる。しかるに、摂動論の結果を直接シミュレーションと比較したり、観測マスクやサーベイ形状の影響を取り入れて解析を行う場合は、ランダムな密度場を生成する方がより直截的で有用である。

本講演では、グリッド上に生成されたランダムな密度場に対する摂動計算手法について述べる。今回開発した手法は、高速フーリエ変換を用いることで、高次の摂動を高速かつ系統的に計算できる。統計量の解析も、N体シミュレーションと同様の解析ツールでできるため、統計解析の整合性チェックや系統誤差の評価など、実データ解析のさまざまな側面で有用と思われる。講演では、開発した手法の応用例を示すとともに拡張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](#)

U14a 「最近の研究によると、ダークマターが宇宙成分の23%を、ダークエネルギーが約73%を占めていると推測されます。」この事の説明。ダークエネルギーとは何か。

小堀しづ

ダークマターが軌道速度を作る原理は、ダークマターは自転しています。そして軌道を走る事により電気の光子を作る。この電気の光子が軌道エネルギーと成り、軌道速度を作る。(特願 2012-286352) 宇宙の内側の軌道エネルギーは宇宙の中心のブラックホールがつくる。これが23%です。宇宙の中心のブラックホールが作る、宇宙の端の軌道エネルギー = $4.827 \times 10^{27} \text{JKm} \div \text{距離} = 4.827 \times 10^{27} \text{JKm} \div (136 \times 10^8 \times 9.46 \times 10^{12} \text{Km}) = 3.752 \times 10^4 \text{J}$ (特願 2011-130790) 外側の軌道エネルギーは内側の軌道エネルギーの、 $73\% \div 23\% = 3.174$ 倍です。外側の軌道エネルギー = ダークエネルギーは、 $3.752 \times 10^4 \text{J} \times 3.174 = 1.191 \times 10^5 \text{J}$ 、です。10amの場のダークマターが1秒間に作る磁気的光子のエネルギー = $4.468 \times 10^{-31} \text{J}$ です。(特願 2012-232448)。10-10m時代、1個のダークマターが1秒間自転して作る磁気的光子のエネルギー = 1個のダークマターが1秒間回転して作る電気の光子のエネルギー = $4.468 \times 10^{-31} + 10 \text{J} = 4.468 \times 10^{-21} \text{J}$ 。 $1.191 \times 10^5 \text{J} = \text{ダークマター 1 個のエネルギー} \times \text{ダークマターの数}$ 。ダークマターの数 = $1.191 \times 10^5 \text{J} \div \text{ダークマター 1 個のエネルギー} = 1.191 \times 10^5 \text{J} \div (4.468 \times 10^{-21} \text{J}) = 2.666 \times 10^{25} (\text{個})$ 。ダークエネルギーである軌道エネルギーは $1.191 \times 10^5 \text{J}$ であり、このダークエネルギーは、 $4.468 \times 10^{-21} \text{J}$ のダークマターが 2.666×10^{25} 個でできる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U15b どのように宇宙の素粒子はできたか。ビッグバンの以前、どうして電磁気は次々1束の電磁気を増加させ1束の電磁気のエネルギーを大きくしたか。

小堀しづ

電磁気は存在する場のエネルギーに自分のエネルギーを合わせ存在する。それは、高エネルギーの場で、電磁気は集まり、自分のエネルギーを大きくするという事です。これと同じ原理により、ビッグバンの以前の宇宙に於いて、電磁気は次々集まり自分のエネルギーを大きくした。これが電子のラブと陽子のラブの生成原理です。ビッグバンの以前、どうして電磁気は次々1束の電磁気を増加させ1束の電磁気のエネルギーを大きくしたか。ブラックホールの場合は、電子のラブの公転軌道は、 $1.434 \times 10^{-16} \text{m}$ です。ブラックホールの場の A は、 7.378×10^5 です。(特願 2007-133476) マイナスの宇宙の場で、放出された電磁気1個のエネルギーは $3.769 \times 10^{-21} \text{J}$ です。(特願 2015-216356) ブラックホールの場で、電子のラブが1秒間に作る磁気的光子のエネルギー(引力)は、 $7.815 \times 10^{-26} \text{Jm} \div \text{公転軌道} = 7.815 \times 10^{-26} \text{Jm} \div (1.434 \times 10^{-16} \text{m}) = 5.450 \times 10^{-10} \text{J}$ 、です。ビッグバンの以前のマイナスの宇宙の場は電磁気の場で、地表の 3×10^8 倍のエネルギーの場ですから、放出された電磁気1個のエネルギーは、 $3 \times 10^8 \times 3.769 \times 10^{-21} \text{J} = 1.131 \times 10^{-12} \text{J}$ 、です。このエネルギーはブラックホールの場の引力に近いので、電磁気は次々1束の電磁気を増加させ1束の電磁気のエネルギーを大きくした。この事により、電子のラブや陽子のラブはできた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U16c ビッグバンの以前、ヒッグス粒子は存在できたか。

小堀しづ

ヒッグス粒子は高エネルギー加速器の中で、電磁気2個の粒子です。このエネルギーは、dクォーク、 $-1/3$ で5.7MeVの場合、クォークは 6.247×10^8 個の電磁気で、 $5.7\text{MeV}=9.131 \times 10^{-13}\text{J}$ です。1個の電磁気のエネルギーは $1.462 \times 10^{-21}\text{J}$ です。2個の電磁気は $2 \times 1.462 \times 10^{-21}\text{J} = 2.924 \times 10^{-21}\text{J}$ です。ヒッグス粒子は $2.922 \times 10^{-21}\text{J}$ です。ビッグバンの以前の宇宙で、放出した電磁気1個のエネルギーは $3.769 \times 10^{-21}\text{J}$ です。ヒッグス粒子はこれより小さなエネルギーなので、存在しません。ヒッグス粒子はビッグバンの以前の宇宙には存在しません。故に、存在しないヒッグス粒子は電磁気に質量を与える事は無いです。電磁気は質量を持つものです。E=mc²の意味は、エネルギーは電磁気の質量である。電磁気にはエネルギーが有り、質量が有るという事です。2個の電磁気であるヒッグス粒子は1個の電磁気に質量を与える事はできない。ビッグバンの以前ヒッグス粒子は存在しなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

3月15日(木) 午前(10:06-11:30) [G会場]

V101a	10:06	近接連星からの電磁波バースト、そして重力波バースト 遊馬邦之(早稲田大学)
V102a	10:18	東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) の大規模試験観測に基づくアレイ性能評価報告 秦和弘(国立天文台)
V103a	10:30	広帯域フィードの開発 (XIII) 氏原秀樹(情報通信研究機構)
V104a	10:42	野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの MKID アレイ開発 村山洋佑(筑波大学)
V105a	10:54	100 GHz 帯連続波カメラ冷却光学系で用いる Si レンズの反射防止コーティングの開発 服部将吾(筑波大学)
V106b	11:06	野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載同時観測用周波数フィルタの開発 (II) 岡田望(大阪府立大学)
V107b	11:06	JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状 村田泰宏(宇宙航空研究開発機構)
V108b	11:06	気球 VLBI の姿勢制御地上試験 土居明広(宇宙航空研究開発機構)
V109b	11:18	気球 VLBI 地上振り子試験 河野裕介(国立天文台)
V110b	11:18	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (16) 米倉覚則(茨城大学)
V111b	11:18	山口干渉計の構築状況 II 青木貴弘(山口大学)
V112c		VERA-upgrade 計画の進捗 II 小山友明(国立天文台)
V113c		JVN 大規模電波源探査に向けた感度測定試験観測 元木業人(山口大学)
V114c		国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 3 増田智(名古屋大学)

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [G会場]

V115a	13:30	115 GHz 帯 円偏波分離器と導波管型 SSB ユニットの評価 鈴木雅浩(名古屋大学)
V116a	13:42	NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 4. 2017 年度の進捗 西村淳(名古屋大学)
V117a	13:54	SMILES-2 630/770 GHz SIS 受信機のための統合導波管回路の開発 長谷川豊(宇宙航空研究開発機構)
V118b	14:06	DESHIMA: 解析ソフトウェアの雑音除去アルゴリズムのシミュレーションを用いた評価 陳家偉(国立天文台)
V119b	14:06	超伝導デバイス性能向上への取組み 宮地晃平(国立天文台)
V120b	14:06	NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 5. Robot Operating System による電波望遠鏡制御システムの構築 塩谷一樹(名古屋大学)
V121b	14:18	NASCO に向けた NANTEN2 制御系開発: 6. システム評価と試験観測 近藤高志(名古屋大学)
V122b	14:18	10m 電波望遠鏡による太陽系地球型惑星の大気環境監視ミッションの進捗報告 築山大輝(大阪府立大学)
V123b	14:18	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)
V124b	14:30	230GHz 帯準光学周波数分離フィルターの試作 木村公洋(大阪府立大学)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V125b	14:30	0.9THz 帯超伝導 HEB ミキサにおける AlN バッファ層の影響の評価 竹ヶ原諒貴 (東京大学)
V126b	14:30	ミリ波帯超伝導 SIS ミキサの線形性評価と直列接合型素子の開発 中島拓 (名古屋大学)
V127b	14:42	ALMA Band 10 対応の Sideband Separating (2SB) 方式冷却受信機的设计 玉川陽大 (関西学院大学)
V128b	14:42	ミリ波補償光学の開発 II. 波面センサ用 GPU 関連器 上田哲太朗 (名古屋大学)
V129b	14:42	Japanese Virtual Observatory (JVO) を通じた野辺山 45m 電波望遠鏡レガシープロジェクト COMING および FUGIN の観測データ公開プランについて 鳥居和史 (国立天文台)
V130b	14:54	LireBIRD 搭載光学系の公差解析 鹿島伸悟 (国立天文台)
V131b	14:54	装置偏光とシグナルの漏れ込みによる系統誤差混入ゼロを実現したマーチン・パレット型フーリエ分光器の開発 官野史靖 (東北大学)
V132c		THz 帯超伝導ヘテロダイナミクス分光器の開発による SMILES-2 衛星の天文観測応用 西田侑治 (大阪府立大学)
V133c		光学素子評価の為のサブミリ波帯時間領域分光装置の開発 大田泉 (甲南大学)
V134a	15:06	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 III: 搭載計画 川邊良平 (国立天文台)
V135a	15:18	ミリ波補償光学の開発 I. プロジェクトの概要 田村陽一 (名古屋大学)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [G会場]

V136a	09:30	ALMA の運用 (12) と拡張計画 (6) 井口聖 (国立天文台)
V137a	09:42	ALMA データ解析ソフト CASA の開発 10 川崎渉 (国立天文台)
V138a	09:54	スパースモデリングによる ALMA 向けイメージングツールの開発 : (1) 池田思朗 (統計数理研究所)
V139a	10:06	スパースモデリングによる ALMA 向けイメージングツールの開発 : (2) 中里剛 (国立天文台)
V140a	10:18	Update on the ALMA band 2+3 receiver collaboration, and latest work at NAOJ Gonzalez Alvaro (NAOJ)
V141a	10:30	SIS ミキサによるマイクロ波増幅効果とその原理実証 小嶋崇文 (国立天文台)
V142a	10:42	Next-generation multibeam SIS receiver development in NAOJ: strategy, roadmap, and proof-of-concept Wenlei Shan (NAOJ)
V143a	10:54	DESHIMA: 新技術「超伝導オンチップ・フィルターバンク」による初の天体スペクトル検出 遠藤光 (Delft University of Technology)
V144a	11:06	DESHIMA: データ解析パッケージ DE:CODE の開発とその解析手法 石田剛 (東京大学)
V145a	11:18	DESHIMA: DE:CODE による DESHIMA 性能評価 鈴木向陽 (名古屋大学)

3月16日(金) 午後(13:30-15:06) [G会場]

V146a	13:30	ALMA 単面鏡太陽観測のためのビームパタンモデルとデコンボリューション 岩井一正 (名古屋大学)
V147a	13:42	1.85m 電波望遠鏡による広帯域観測のための新受信機システム開発 上田翔汰 (大阪府立大学)
V148a	13:54	口径食の無い視野を持つ軸対称双反射鏡アンテナの開口能率 永井誠 (国立天文台)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V149a	14:06	へら絞り法を用いた口径 2m サブミリ波アンテナ面の製作と移動局実証計画	三好真 (国立天文台)
V150a	14:18	超小型探査機による火星大気の THz 波ヘテロダイン分光観測計画	前澤裕之 (大阪府立大学)
V151a	14:30	周波数変調局部発振器による新しいミリ波サブミリ波分光法 : VII. 輝線埋め込みシミュレーションと天体信号による総合性能評価	谷口暁星 (東京大学)
V152a	14:42	サブミリ波帯実験室分子分光計の開発と初期成果	千葉雄太郎 (東京大学/理化学研究所)
V153a	14:54	テラヘルツ強度干渉計の実現に向けて	松尾宏 (国立天文台)
3月17日(土) 午前(9:30-11:06) [G会場]			
V154a	09:30	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の準備状況	長谷川雅也 (高エネルギー加速器研究機構)
V155a	09:42	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレーザーシステムの光学性能評価 1	金子大輔 (東京大学)
V156a	09:54	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレーザーシステムの光学性能評価 2	濱田崇穂 (東北大学)
V157a	10:06	CMB 偏光観測実験 POLARBEAR による雲の偏光の評価	高倉理 (高エネルギー加速器研究機構)
V158a	10:18	Simons Observatory 計画と望遠鏡の光学設計	松田フレドリック (東京大学)
V159a	10:30	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念設計	関本裕太郎 (宇宙航空研究開発機構)
V160a	10:42	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XI	永田竜 (高エネルギー加速器研究機構)
V161a	10:54	大角度スケール CMB 偏光観測実験 GroundBIRD - 回転読み出し性能評価	長崎岳人 (高エネルギー加速器研究機構)

V101a 近接連星からの電磁波バースト、そして重力波バースト

遊馬邦之, 坪野公夫, 大師堂経明, 中島啓幾, 貴田寿美子 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICT), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

那須観測所で中性子星や重力波イベントに伴う電波バーストの観測が行われている。V404 Cyg や Cyg X-3、かにパルサーが、観測されている。これらの物理的な関係、数値の比較を比べて見る。

V404 Cyg , 距離 7.8kps, 公転周期 6.5day, 9 太陽質量, Cyg X-3 , 37kps, 公転周期 4.8hr, 中性子星 or BH, かにパルサー , 7kps, 自転周期 (30 回転/秒), 中性子星,

Cyg X-3 は、我らの銀河の端にあるにも関わらず、極めて強いバーストが起きていて、中性子星同士、あるいは、BH 同士が、合体に近づいている。

更にアメリカ、イタリアで、直接的な重力波観測が2年前にスタートし、2017年には、中性子星同士の合体も観測された。近い中性子星同士の合体も見つかった。合体時には重力波となるエネルギーは5パーセントにもなる。

宇宙は、波としての状態が増えて行く。

参考: Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy, 3rd ed., 2017 Thompson, A. R, Moran, J.M, Swenson Jr., G

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102a 東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) の大規模試験観測に基づくアレイ性能評価報告

秦和弘 (国立天文台), EAVN 国際コミショニングチーム、EAVN-AGN サイエンスワーキンググループ

東アジア地域における VLBI 国際協力は近年急速に進展している。2014 年からは日韓合同 VLBI アレイ KaVA (KVN and VERA Array) の定常運用が始まり、活動銀河や星形成領域、晩期型星の観測において初期科学成果が着々と出始めている。一方中国では天馬 65m 望遠鏡やウルムチ 26m 望遠鏡などの複数の望遠鏡が稼働中であり、これらを KaVA と合成することでより強力な VLBI 観測網を構築することができる。東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) とはこうした日本、韓国、中国を始めとする東アジア地域に分布する多くの望遠鏡 (VERA, JVN, KVN, CVN) を合成し、一つの巨大な VLBI ネットワーク形成を目指すプロジェクトである。これにより、空間分解能と感度が飛躍的に高まり、センチ波において既存の VLBI 観測網を凌駕するネットワークが誕生する。

EAVN は現在日韓中のメンバーで構成されるコミショニングチームによって試験観測やアレイ性能評価が進められている。とりわけ 2017 年の 3 月から 5 月にかけて、我々は日韓中の計 13 台の望遠鏡を用いたかつてないほど大規模な EAVN 試験観測を実施した。本プログラムの目的は大きく 2 つある。1 つ目は、2018 年後期からの EAVN 部分的共同利用開始に向けて、アレイ性能評価 (特に中国天馬局とウルムチ局) を一気に推し進めることである。そして 2 つ目は、EAVN を用いた強力なサイエンスケースをデモンストレーションすることである。

本講演では EAVN 大規模試験観測の概要及び本プログラムに基づくアレイ性能評価結果について報告する。また、2018 年後期から開始を目指す EAVN 共同利用観測の概要についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a 広帯域フィードの開発 (XIII)

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プロジェクトに特化した広帯域受信システム「Gala-V」を開発している。Gala-V の受信周波数は周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件で最適化し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch で最適化を図っている。しかし開口能率の変動はあっても 3.2-14.4GHz で受信可能としたので、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用したホログラフィなど幅広い応用が可能である。

2017 年度は 34m アンテナに搭載した 3.2-14.4GHz の広帯域フィード (NINJA) に新たに開発した OMT を装着して 2 偏波での観測が可能になった。(以前に試用した OMT では 3GHz 以下の RFI の遮断が不十分で混変調により使いもにならなかったなので遮断特性を改善する設計変更を行った) 鹿島 34m アンテナと共に Gala-V に使用する小型局 MARBLE は、ともに主鏡 (1.5m と 1.6m の各 1 台) を 2.4m へ交換するとともにカセグレン光学系となり、フィードのビーム幅は異なるものの 34m と同様の NINJA フィードと OMT を搭載している。また 2018 年度はこのうちの 1 台をイタリアに移設して周波数比較実験を行う予定であり、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](#)

V104a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの MKID アレイ開発

村山洋佑, 新田冬夢, 服部将吾, 中井直正, 久野成夫, Pranshu Mandal, Guangyuan Zhai (筑波大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 永井誠, 野口卓, 江崎翔平, 宮地晃平, Wenlei Shan, Dominjon Agnes, 松尾宏 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大学), 関口繁之 (東京大学)

銀河の広域探査を行うために野辺山 45 m 電波望遠鏡への 100-GHz 帯連続波カメラの搭載を計画している。カメラの検出器には超伝導共振器 (MKID) を用いており、直径 3 インチのシリコンウェハ全面にわたって超伝導アルミニウム MKID を 109 素子並べている。焦点面に $\phi = 6$ mm のシリコンレンズを並べてデバイス上の平面アンテナへと集光し、各 MKID 素子とカップリングさせることで撮像を行う。平面アンテナには 100-GHz 帯に感度を持つダブルスロットアンテナを用いる。シリコンレンズ表面の反射損失を抑えるため、エポキシ樹脂とガラスペースによる反射防止膜を開発している (服部ほか、本年会)。

MKID の共振の鋭さを表す Q 値は超伝導膜の膜質に依存しており、高感度を実現するには不純物が少ないアルミニウム薄膜を成膜することが重要である。また共振周波数は共振器長さに依存するため、共振周波数の重なりを防ぐには 3 インチウェハ上で膜厚の均一性が求められる。本 MKID アレイは 3 インチシリコンウェハにスパッタリングや電子線蒸着によってアルミニウムを成膜しパターンニングした後、ウェットエッチングすることでデバイスを製作している。電子線蒸着による膜厚 150 nm の場合は、3 インチウェハ上での膜厚の誤差が 7 % 以内であった。デバイスを 1 K シールドで覆ったダーク環境において、この条件で製作した MKID アレイでは 95 素子の共振スペクトルが確認でき、Q 値の平均値は 10^5 が得られた。本講演では詳しい製作プロセスや実験室での感度測定の結果などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105a 100 GHz 帯連続波カメラ冷却光学系で用いる Si レンズの反射防止コーティングの開発

服部将吾、新田冬夢、村山洋佑、中井直正、久野成夫、Zhai Guangyuan、Mandal Pranshu (筑波大学)、関本裕太郎、長谷部孝 (宇宙航空研究開発機構)、永井誠、野口卓、松尾宏、福嶋美津広、三ツ井健司 (国立天文台)

我々は、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用の 100 GHz 帯連続波を観測する電波カメラの開発を行っている。検出器には MKID と呼ばれる超伝導検出器を用いる。MKID の素子数は 109 で、視野は約 3' になる。45 m 鏡で集められた電波は、直径 300 mm と 154 mm の Si レンズを配置したコンパクトな冷却光学系により低損失で焦点面に集光される。そして、直径 6 mm の延長半球 Si レンズと平面アンテナによって MKID に結合される。また、MKID を高感度で動作させるために、希釈冷凍機を用いて焦点面温度 200 mK 以下まで冷却する。

レンズ素材である Si は高屈折率 ($n \sim 3.4$) であるため、レンズ表面で約 30% の反射ロスが生じてしまう。そのような反射ロスを軽減するため、レンズ表面に反射防止 (AR) コーティングを施す必要がある。AR コーティングとしての最適な屈折率と膜厚は、観測波長とレンズ素材の屈折率によって決まるが、レンズ表面に施された AR コーティングは、レンズ素材との熱膨張率の違いにより冷却時に破損の恐れがある。そこで我々は、ガラスビーズと Stycast1266 というエポキシ樹脂を併用した、ガラスビーズ AR コーティングを開発した。これは、Stycast1266 の熱収縮を最密に配置したビーズによって抑え破損を防ぐ狙いがある。ガラスビーズサイズは観測波長の条件と作成のしやすさから、直径 0.4 mm と 0.5 mm の使用を予定している。本講演では、ガラスビーズ AR コーティングのシミュレーションによる検証と試作サンプルによる冷却試験、反射率等の測定の結果について報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106b 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載同時観測用周波数フィルタの開発 (II)

岡田 望, 橋本 育実, 保田 大介, 高田 勝太, 本間 愛彩, 木村 公洋, 千葉 正克, 真鍋 武嗣, 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府大), 南谷 哲宏, 宮本 祐介, 宮澤 和彦, 宮澤 千栄子, 小山 友明 (国立天文台), 岸本 直子 (摂南大), 水窪 耕兵, 澤田-佐藤 聡子, 今井 裕 (鹿児島大)

現在、野辺山 45 m 電波望遠鏡の多周波同時観測に向けたプロジェクト Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented (HINOTORI) が進行している。本プロジェクトでは、野辺山 45 m 鏡内ビーム伝送系のミラー部分を準光学式の周波数分離フィルタへ変更し、H22、H40、TZ 受信機による 22/43/86 GHz 帯同時 VLBI 観測を目指す。これを実現する為、我々は 22 GHz 帯以下を反射し 43 GHz 帯を透過する 22/43 GHz 帯フィルタと 43 GHz 帯以下を反射し 86 GHz 帯を透過する 43/86 GHz 帯フィルタを開発した。

前年会までに我々は上記 2 フィルタの設計・試作や 45 m 鏡搭載時の両フィルタの有無によるシステム雑音温度 T_{sys} の比較について報告を行ってきた (岡田他、2017 年秋季年会)。

今回我々は 23/43 GHz 帯フィルタを搭載した際の 45 m 鏡の指向性への影響を評価した。(1)H40 受信機でのポインティング調整を行い (五点法)、(2)H40・H22 受信機のポインティングを同時に測定し (九点法)、(3)H40 に対する H22 のポインティングエラーを算出した。その結果 H40 受信機に対する H22 受信機のポインティングのずれが約 3.2 秒角であり (これは H22 受信機のビームサイズ 70 秒角の 1/20 以下と小さい)、フィルタを搭載した状態で H22・H40 同時単一鏡観測を行うことが可能であることがわかった。また、東アジア VLBI 観測網 (EAVN) の試験という位置付けでこのフィルタを用いた観測を初めて行い、VERA・KVN 等とのフリッジ検出に成功した。

本年会では、H22 および H40 受信機の同時ポインティング観測および VLBI 観測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](#)

V107b JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状

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、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 アンテナの後継アンテナを同市に建設するプロジェクトである。アンテナ口径は 54m で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。2016 年春季年会においてこの建設プロジェクトの開始を報告したが、現在も 2019 年度にはやぶさ 2 との通信を行うことを目指して、当初の予定通り進んでいる。

2017 年 4 月にアンテナ主要部分を含むシステムの詳細設計審査（CDR#1）が終了し、アンテナをはじめとする部品・機器の製造が開始された。X 帯 LNA および Ka 帯 LNA（どちらも冷却 HEMT 受信機）も現在製作中である。アンテナ建設地においては、2016 年度の造成工事に引き続き、2017 年度はアンテナ基礎および、Az レールの工事が行われ、2017 年 12 月に工事を終了している。2018 年 3 月から製作された各部品が現地に搬入されアンテナの組み立てが開始する。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）は、2018 年春頃を予定している。

天文関係の設備については、DDOR による高精度軌道決定機能および測地 VLBI 観測も整備要求に入っていることから VLBI バックエンド（ADS-3000+）を整備することになっており、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、レーザー天体観測の重要性も認識され、その整備も計画中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108b 気球 VLBI の姿勢制御地上試験

土居明広（宇宙航空研究開発機構）、河野裕介（国立天文台）、中原聡美（総合研究大学院大学）、木村公洋（大阪府立大学）、鈴木駿策（国立天文台）、岡田望（大阪府立大学）、保田大介（大阪府立大学）、長谷川豊（宇宙航空研究開発機構）、山下一芳（国立天文台）、佐藤泰貴（宇宙航空研究開発機構）、馬場満久（宇宙航空研究開発機構）、松本尚子（山口大学/国立天文台）

気球 VLBI 実験とは、成層圏に気球搭載型電波望遠鏡を滞在させ電波干渉計を形成できるかを検証する技術的フェージビリティ・スタディである。成層圏は、高周波電波帯の天文観測にとって、大気の影響をほぼ完全に避けることのできるサイトであり、地上の電波干渉計・スペースの人工衛星に次ぐ第三の観測プラットフォームとなりうる。最初のステップとして、20 GHz 帯で地上 VLBI 局との間にフリンジを検出すること、その性能評価をおこなうことを目指す。2017 年夏、この実験機を北海道広尾郡大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場に輸送し、放球直前の段階まで準備をおこなったが、放球条件により延期となった。

放球場では、ゴンドラシステムの全てをアセンブリし、VLBI 観測を含めた地上動作試験をおこない、すべての機能の確認をおこなった。本講演では、姿勢制御についての吊り下げ姿勢制御試験の結果を報告する。気球望遠鏡ゴンドラとして経緯台式を採用しており、方位角方向はリアクションホイールと燃り戻しアクチュエータで、仰角は電波望遠鏡システム（口径 1.5m, ビームサイズ約 0.6 度）を仰角駆動装置で制御する。仰角駆動装置は軸受摩擦低減のための特別な機構を実験的に導入しており、振り子運動の中でも指向を保つ。結果、人為的振り子運動にも影響を受けることなく、方位角 0.015 度、仰角 0.016 度の指向安定度を得た。今回の実験のためには十分な性能を持つことが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109b 気球 VLBI 地上振り子試験

河野裕介(国立天文台), 土居明広(JAXA), 木村公洋(大阪府立大学), 小山友明(国立天文台), 中原聡美(JAXA), 鈴木駿策(国立天文台), 保田大輔(大阪府立大学), 岡田望(大阪府立大学), 長谷川豊(JAXA), 亀谷収(国立天文台), 米倉覚則(茨城大学), 関戸衛(NICT), 村田泰弘(JAXA), 山下一芳(国立天文台), 松本尚子(国立天文台), 本間希樹(国立天文台)

高周波数の VLBI 観測は高分解能の天体の情報を得る電波天文学の手法の一つである。高い周波数は大気による減衰とコヒーレンスの劣化が大きいいため地上では高地など観測場所が限られている。地上以外で大気による減衰が少ない場所の一つが成層圏であり、成層圏による VLBI 観測はこれまで実現されておらず、気球に VLBI 観測装置を成層圏滞在させ高周波数の VLBI 観測ができた場合には、新たな高周波数 VLBI 観測の可能性を切り開くことができる。

気球 VLBI を実現するための技術的課題の一つが、振り子や姿勢変動によるアンテナ位置の変動による干渉計基線変動である。例えば振幅 0.1 度の振り子による基線の変動は 10cm 程度が予想され、波長の 100 倍程度にも達する。したがって姿勢センサや加速度計などを用いて、基線の変動を計測し、相関データに補正を与える必要がある。そこで成層圏気球を用いた電波干渉計が可能であることを一つの目的と気球 VLBI 初号機を開発している。そして 2017 年 7 月に JAXA 大樹宇宙実験場で行った初号機フライトモデルを用いた振り子 VLBI 実験を行った。相関処理の結果フリッジ位相と姿勢データが得られ、姿勢データを用いてフリッジ位相の変動が補正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](#)

V110b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (16)

米倉 覚則, 齋藤 悠, Kang-Lou SOON, 会川 航平, 大島 理穂, 齋藤 偉, 青木 健悟, 山口 貴大, 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), 中井 直正 (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 200–300 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 メタノールレーザー源の単一鏡モニター観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施している。今回は下記の改修および問題点の解決を行った。

(1) 6–9 GHz から 0.5–1.0 GHz へのダウンコンバーターは、1 IF につき C-帯 (6.3–7.0 GHz) もしくは X-帯 (8.0–8.8 GHz) のどちらか一方を同軸スイッチにより切り替えて出力していた。同軸スイッチを 2 分配器に換装し、常時 C-帯と X-帯の 2 つを出力できるようにした。また、0.5–1.0 GHz 帯に低周波側ほど減衰率の高いコライザーを導入し、周波数特性を平坦にする事により、実効的な帯域幅を約 200 MHz から、約 400 MHz へと 2 倍程度改善した。(2) 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が生じていたが、高萩–日立 2 素子干渉計用リアルタイム相関器 (エレックス工業製 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た。遠隔制御可能な電源タップを設置し、OCTAD-C を使用しない場合はサンプラ部の電源を切る事により、単一鏡観測に支障が出ないようにした。(3) VLBI 用記録装置 (エレックス工業製 OCTADISK) に記録したデータを Linux ファイルへ変換する際に、度々データ欠損が起きている事が判明したため、変換速度を通常の 2 分の 1 に落とす事にした。これにより、ほとんど欠損が起きなくなった (10 時間程度のデータ変換に対して 1 bit の欠損)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V111b 山口干渉計の構築状況 II

青木貴弘, 藤沢健太, 新沼浩太郎, 元木業人, 金澤翔 (山口大学)

山口 32 m 電波望遠鏡および 34 m 電波望遠鏡の現状と、それらを用いた山口干渉計の構築について報告する。山口干渉計は、基線長にして 108 m 離れた 32 m 鏡と 34 m 鏡による 2 素子干渉計であり、C 帯 (6600–7112 MHz) および X 帯 (8192–8704 MHz) を観測することができる。34 m 鏡については、これまで C 帯において幅 60 MHz をもつ狭帯域受信機が常温で搭載されていたが、C/X 両帯域において幅 512 MHz という広帯域受信機を大阪府立大学の協力のもとで金澤が開発し、2017 年 9 月に 34 m 鏡に搭載した。これによって、二つの望遠鏡がともに C/X 帯を観測できるようになったが、本格的な稼働にはまだいくつかの課題が残っている。たとえば AD 変換器への入力電力不足を解消するため、各受信素子の配置変更や増幅器追加が必要であり、12 月現在すでに検討を終え部品を発注している段階である。また冷凍機に必要な 200 V 電源がないため受信機を冷却できていないが、近い将来電源工事を実施し冷却を開始する予定である。また電波望遠鏡としての基礎的な性能を測定していないため、今後それを実施する。従来は C 帯の常温受信機のみだったため混信や感度の問題があり実施していなかったが、近いうちに上記の新しい受信機を利用して、X 帯においてスカイラインと開口能率を測定し、受信機を冷却後に C 帯のメタノールメーザー天体を用いてポインティング補正を行う予定である。32 m 鏡については、導波管への乾燥空気充填装置の故障、ホーンカバーの破損、駆動制御サーバーの故障など、いくつかの問題発生に伴い観測を中断していたが、まだ万全ではないものの 12 月時点で観測を再開するに至った。この観測中断の間、アナログ・デジタル信号系全体と通信系に対し大々的な整備と刷新を行い、山口干渉計のハードウェアがおよそ完成した。今後、上記の性能測定を経て試験観測を行い、干渉計の本格稼働を目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112c VERA-upgrade 計画の進捗 II

小山友明、河野祐介、鈴木駿策、松枝知佳、宇賀裕哉、永山匠、寺家孝明（国立天文台）、他 VERA プロジェクトチーム

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）の VLBI 運用開始から 15 年が経過し、現在以下のアップグレード計画が進行中である。1）RF-Direct-A/D 方式を用いた広帯域化（32 Gbps 以上）、2）K、Q 両バンドでの両偏波同時受信、3）K、Q バンドの多周波同時受信、4）GP-GPU を用いたソフト相関器の高速化。本年会では、上記の中で広帯域化についての準備状況、また試験観測結果について報告する。試験観測に関しては、現在までに立ち上がった 8-12 Gbps の観測システムを用いて、参照電波源サーベイ、2 ビームアストロメトリ評価試験観測を継続して行っている。VERA 参照電波源サーベイは、VLBA の Calibrator カタログ（S/X）天体の K、Q band での VERA 基線によるフラックスの測定を目的として、2015 年より開始し 3 年が経過した。現在までの結果として、VERA で観測可能な参照電波源の総数が 22 GHz で 2 倍、43 GHz で 4.5 倍に増加した。上記結果から、すべての VLBA Calibrator カタログ天体（約 6000 天体）のサーベイが終了すれば、ターゲット天体の 2 度以内に VERA で観測可能な参照電波源は 1 個以上必ず存在する事が明らかとなった。またアストロメトリ評価試験観測では、12 Gbps の広帯域観測と既存の 1 Gbps 観測との比較において、60 μ as の位置精度で結果が一致する事を確認した。本年会では、上記詳細とサイエンス試験観測として継続している Orion-KL, Sgr A* の途中経過について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](#)

V113c JVN 大規模電波源探査に向けた感度測定試験観測

元木業人、小倉達也、青木貴弘、新沼浩太郎、藤沢健太 (山口大学)、米倉覚則 (茨城大学)、関戸衛、岳藤一宏 (情報通信研究機構)

大学連携 VLBI 観測網 (JVN) では将来計画の一環として、山口/日立/高萩/鹿島の大口径望遠鏡 4 局を利用した高感度少数基線観測によるコンパクト電波源の大規模探査を予定している。同探査では AGN、系内コンパクト天体、大質量 YSO の 3 分野をまたいで探査を行い、VLA など従来の結合型干渉計を用いた電波源カタログに比べて 10 - 100 倍程度高い空間分解能で合計数千天体規模の電波源を収録した JVN 電波源カタログの作成を目指す。観測は 6/8 GHz 帯において片偏波 (6 GHz:左回り円偏波/8GHz:右回り円偏波)/2 ビットサンプリング/512 MHz 帯域を予定している。装置性能から想定される感度は 10 分積分でおよそ 1-3 mJy (3σ) 程度であり、微弱電波源の高分解能カタログを作成可能である。

同大規模探査の実施に向けたアレイ整備の一環として、山口局および日立/高萩局において IF 系の改修が行われ帯域通過特性が大幅に改善したことから、現状の感度を実測することを目的とした VLBI 観測試験を行った。

観測は上記 4 局 6 基線を用いて 8 GHz 帯で実施した。観測対象は VLBA による mJIVE プロジェクトによって VLBI で検出された微弱 AGN カタログから選出した。同カタログより 1-5 mJy/5-10 mJy/10-30 mJy/30-100 mJy の 4 つの電波フラックス範囲で 6 天体ずつを選出し、合計 24 天体に対して各 10 分間のスナップショット観測を行った。強度較正は参照天体 OJ287 および DA193 を基準とした相対較正法によって行った。相関処理は山口大学に設置されたソフトウェア相関器 (JVN 相関器) を用いて行った。本公演では帯域通過特性の改善状況と合わせて実測された感度を報告し、今後の観測計画について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114c 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 3

増田 智 (名古屋大学), International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph (ICCON)

2014 年度に締結された名古屋大学太陽地球環境研究所 (現・宇宙地球環境研究所) と国立天文台との協定及びコンソーシアム構成機関 (NAOC, KASI, NICT) との協定に基づき、2015 年 4 月 1 日より国際コンソーシアム (ICCON) による野辺山電波ヘリオグラフの科学運用が開始された (<https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/ICCON/> 参照)。本講演では、ICCON による運用の 3 年目 (2017 年度) の運用状況、活動、成果について報告する。

ハードウェアに関しては、84 台のアンテナのうち、南北基線の一番外側のアンテナ (N28) を停止したまま運用している。また、信号が弱く、34GHz のみ像合成に使用できないアンテナ (E11) がある。それ以外は、正常に動作しており、電波像の画質も問題無い。運用に関しては、リモートサイトからの web を介した運用システムが、これまで通り順調に動作している。運用当番は、米国、英国、中国、韓国、ロシア、ドイツ、日本の 7 カ国から、計 28 名の研究者が担当した。取得された野辺山電波ヘリオグラフのデータは、国立天文台三鷹の太陽データ解析システム、及び、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) の統合データサイエンスセンターシステムで保存・管理・公開が行われている。ここでは、解析に必要なソフトウェアが整備され、ユーザーが解析を進められる環境が提供されている。サイエンス面では、主に ISEE の International Joint Research Program を通じて、国際共同研究が推進された。ロシアの Kupriyanova 氏のフレア時の振動現象の研究や韓国の J.-W. Lee 氏のフレア時の非熱的・熱的電波放射に関する研究は、結果が論文にまとめられようとしている。その他にも、中国の Huang 氏らのグループ、米国の八代氏や White 氏も名古屋大学を訪れ、それぞれの研究テーマに関する議論を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115a 115 GHz 帯 円偏波分離器と導波管型 SSB ユニットの評価

鈴木雅浩, 大浜晶生, 栗田大樹, 佐谷昂樹, 中島拓, 水野亮, 小林和宏, 西村淳, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 長谷川豊 (ISAS), 小川英夫 (大阪府立大学), 藤井泰範 (NAOJ), 渡邊一世 (NICT)

我々は、4m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で、全天の約 70% という超広域の CO 分子雲サーベイである NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) 計画用の受信機の開発を行っている。この受信機は 230GHz 帯両偏波 2SB 受信機 1 ビームと、115 GHz 帯両偏波 SSB(Single-Side Band) 受信機 4 ビームでの 2 周波同時受信を行うものである。(大浜 2016 秋季年会ほか) 115GHz 帯の SSB フィルターには、1) 円偏波分離器 2) LO カプラ 3) ハイブリットカプラ 4) ハイパスフィルタ 5) インピーダンス接合器が一体となった集積導波管型回路 (CP-FRx) を採用する。(長谷川 2016 秋季年会)

この設計をもとに製作した CP-FRx の S パラメータを、VNA(Vector Network Analyzer) を用いて測定した。観測する周波数帯域は 109-117 GHz であるが、107-120 GHz の範囲では挿入損失 (S21) が 3dB 以下、90-101 GHz での反射損失 (S22) は 20 dB 以上であり、設計通りの性能を持つことがわかった。さらに冷却時での性能を評価するため、超伝導素子を搭載し Y-factor 法を用いて受信機雑音温度 (T_{RX}) を測定した。LO 信号の周波数 (f_{LO}) および LO 信号の強度、素子のバイアス電圧を計算機制御で変化させ、90-120 GHz の間で 1 GHz 間隔で両偏波の T_{RX} を測定したところ、 $f_{LO} = 101-113$ GHz で $T_{RX} \sim 100$ K であった。SSB ユニットの付けない DSB(Double-Side Band) の状態で $T_{RX} \sim 50$ K であり、予測通りの結果であった。また、 f_{LO} ごとの T_{RX} から 107GHz 以下の信号を通さないフィルター性能を持つことを確認し、冷却した状態でも設計通りの性能を持つことを明らかにした。本公演では受信機の構成や評価方法、評価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](#)

V116a NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 4. 2017 年度の進捗

西村淳, 近藤高志, 塩谷一樹, 奥田想, 大河一貴, 山根悠望子, 河野樹人, 大浜晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

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。新たに開発するマルチビーム受信機を含む、望遠鏡制御系を一新することでこれを実現する。新制御系 NECST への要件は、新受信機に適應させた観測モードの実装、高速スキャン駆動の実現、大データ容量の処理、老朽化した制御インフラのオーバーホール、である。

NANTEN2 制御系は、2004 年のアンテナ設置以降、特に大きな改修を行うことなくこれまで運用を続けてきた。計算機は古くなり最新のモダンな OS が導入できず、大容量データのリアルタイム処理も困難であった。また、エンコーダーなど電波望遠鏡の中核をなす装置にも老朽化による不具合が出始めていた。そこで我々は、できる限り装置を最新の物に更新すると共に、ソフトウェアを Linux/Python ベースで全て書き換えることにした。

2016 年度までに、既存装置を使用したまま計算機だけをリプレースし、Linux/Python 上に移植されたソフトウェアで問題なく従来の科学観測が実現できていることを確認した (近藤他、本年会)。2017 年度は、古くなった装置の更新 (エンコーダー、アンテナ姿勢制御用の傾斜計、光学望遠鏡、ネットワーク設備) を行った。また、ソフトウェアは、柔軟性を持たせて、かつ、開発/維持コストを低減するために、ミドルウェアにオープンソースのフレームワーク (ROS) を新たに導入し (塩谷他、本年会)、その上で NASCO 用の観測機能を実装した。今後、これらの新制御系にて、動作確認/性能評価を実施し、2017 年 12 月より既存のシングルビーム受信機で試験観測を行う。さらに 2018 年夏季を目処にマルチビーム受信機を用いた制御試験を実施する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a SMILES-2 630/770 GHz SIS 受信機のための統合導波管回路の開発

長谷川 豊, 西堀 俊幸 (ISAS/JAXA), 落合 啓, 鵜澤 佳徳, 入交 芳久 (NICT), 前澤 博之 (大阪府大)

国際宇宙ステーション日本実験棟に設置された大気観測装置 SMILES は、4K 冷却超伝導受信機による高精度の地球大気観測を達成した。近年、その後継機として小型衛星 SMILES-2 の開発検討が進められている。本計画の目的は、成層圏～下部熱圏（高度 15~160 km 程度）における広域且つ高い高度分解能での温度・風速計測、O, O₂, O₃, NO_x, ClO_x, BrO_x などの重要な化学物質組成のモニタリングなどを通じた、地球大気への総理解の深化である。また、宇宙空間における THz 帯天文観測への応用も期待される。

これらの目的を効率よく達成する観測周波数設定として、630, 770 GHz 帯, 1.8 or 2.1 THz 帯の 3 バンド構成が現在提案されている。我々はこのうち 630/770 GHz 帯受信機の開発を進めているが、本受信機の要求仕様には、A. 770 GHz 帯 O₂ 分子輝線が Zeeman 効果を受けるため高レベルの円偏波分離観測を要する事、B. 熱流量低減のため RF, LO とも 1 入力である事、C. 冷却容量の低減のためコンポーネントは小型かつ最少数である事、などの課題がある。

これらの課題を一挙に解決するために、A. 620-780 GHz, 比帯域約 23 % をカバーする広帯域導波管両円偏波分離器により RF を偏波分離し、B. 入力周波数が 700 GHz よりも高いか低いかで出力を分岐できる導波管周波数分配器により 640, 760 GHz の 2 種 1 入力の LO 信号を分離することで、一方の偏波では 630 GHz 帯を、もう一方の偏波では 770 GHz 帯を DSB 検波する受信システムを提案している。さらに C. これらの導波管回路は 1 ユニットに統合し、独自開発した縦横 10 mm の小型特殊導波管フランジを採用することで、10 × 10 × 14 mm 程度まで小型化することができた (SIS-Mixer 部は含まず)。本発表では、これらの開発進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118b DESHIMA: 解析ソフトウェアの雑音除去アルゴリズムのシミュレーションを用いた評価

陳家偉, 石井峻, 大島泰, 前川淳, 川邊良平 (国立天文台), 鈴木向陽, 田村陽一, 上田哲太郎 (名古屋大学), 遠藤光 (TU Delft), 谷口暁星, 石田剛, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 唐津謙一 (SRON), 他 DESHIMA チーム

我々は、一つのチップ上で分光機構と検出機構を集積できる超伝導フィルターバンクを用いたミリ波サブミリ波分光器である DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper) の開発を進めている。我々は (1) 大気、望遠鏡、DESHIMA を経由して取得したデータのノイズ等の定量的な評価のため、(2) より良い観測法、データ校正手法の開発のため、および (3) 周波数方向に相関した大気雑音の除去手法の開発のために、DESHIMA の出力を計算するシミュレータを開発した。このシミュレータは、連続波のスペクトルといくつかの周波数を指定した輝線スペクトルをもつ天体を仮定し、その天体をラスタースキャン観測およびポジションスイッチ観測で観測した際、大気、望遠鏡、DESHIMA を経由することでどのような観測データが得られるのかを求めることができる。このシミュレータの開発がほぼ完了し、シミュレータの動作確認、擬似観測などから、以下の結果を得た。(1) 大気雑音のローディングパワーを再現できた、また (2) シミュレータで行なった複数の手法での擬似観測の結果から、ダミー天体のマップや周波数スペクトラムを再現できた。さらに、本年 2017 年 10 月–11 月の DESHIMA の ASTE でのコミッショニングで使用された、主成分分析 (PCA) 法を用いた大気雑音の相関成分を除去する手法についても、開発したシミュレータを用いて評価を行なっている。今後、このシミュレータを活用してデータの較正手法の改良と、大気雑音の新しい除去手法の開発なども行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V119b 超伝導デバイス性能向上への取り組み

宮地晃平, Wenlei Shan, 江崎翔平, Matthias Kroug, 浅山信一郎, 野口卓 (国立天文台), 高木一成, 酒井剛 (電気通信大学)

SIS 素子の基本形は Nb/ AlO_x -Al/Nb 構造 (以下、Nb-3 層構造とする) であり、このシンプルな構造を基本として、我々はこれまで SIS デバイスの研究開発を行ってきた。設計通りの狙った性能の SIS 素子を、安定して再現性よく製作することは、SIS 素子の研究開発を行ううえで重要である。

ウェハー面内の SIS 素子の性能ばらつきや、その歩留まりについては、現在なお向上のための努力をしているところである。SIS 素子の性能や歩留まり低下に起因すると考えられる要素は多々あり、薄膜の膜厚制御、接合サイズの制御、接合や配線層、それらのコンタクトホール等の露光位置制御、Nb 膜の応力制御、Nb 膜や Al 膜内のいわゆるコンタミと呼ばれる不純物の混入、接合部の選択的エッチングにおける終点制御、SIS 素子の側壁からのリーク、層間絶縁膜のカバレッジ、SIS 素子製造時の温度制御等あげればきりが無い。微細加工プロセス装置の装置パラメータの最適化や、製造時の超伝導膜の制御パラメーターが SIS 素子の性能や歩留まり、再現性に複雑に関連していると考えられる。

我々は、今回 SIS 素子の性能向上のための取り組みの中で、Nb 膜や Al 膜内の不純物の混入による SIS 素子の性能への影響という点に着目した。実験方法は、SIS 素子の Nb-3 層構造を作製する際に使用する DC マグネトロンスパッタリング装置の成膜用チャンバーを大気暴露させ、その後真空引きを行い、真空引き開始後から一定時間毎に成膜し、その経過時間や真空度に伴う SIS 素子の性能変化について評価実験を行ったので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120b NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 5. Robot Operating System による電波望遠鏡制御システムの構築

塩谷一樹, 近藤高志, 奥田想, 西村淳, 大河一貴, 山根悠望子, 河野樹人, 大浜晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

ROS (Robot Operating System) は最も盛んに開発が進められているオープンソースのロボット制御フレームワークである。ロボットの制御は主に、センサー、判断、駆動から構成されており、電波望遠鏡の制御にも応用可能である。ROS が蓄積したノウハウを利用することで、開発コストを低減しつつ、高品質な制御を実現できる。ROS では、センサー、判断、駆動などの基本単位を「ノード」と呼ぶ。ノード間は「メッセージ」をやりとりし、システムを構成する。ノード間は多対多の通信を行うことができ、複数の計算機への分散も容易にできる。

我々は超広域の全天サーベイを行う NASCO 計画に向けて、NANTEN2 を制御するノードを主に3つのグループ(装置・判断・記録)に分けて設計を行い、合計約20個のノードを作成し、4つの計算機に分散させた。観測は、指示書を読み込んだ判断ノードが各装置ノード(アンテナ・ドーム等)にメッセージを介して命令を送ることで実行される。また、座標計算、PID 制御、緊急停止などの観測で必要となる処理は、判断ノードとして実装した。観測データの書き出し、ステータス(エンコーダ値等)の表示等の処理は記録ノードが行う。これらのノードの開発はダミーノードを作成し、計算機上で構築したシミュレータ環境を用いて進めた。現在、ポジションスイッチや OTF マッピングなどの主要な動作の実装は完了している。今後は実際の望遠鏡を用いて個々の装置の動作確認/性能評価を行った後、試験観測を行い、科学観測可能であることを確認する。本講演では、ROS を導入した制御システムの概要、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](#)

V121b NASCO に向けた NANTEN2 制御系開発 : 6. システム評価と試験観測

近藤高志, 西村淳, 塩谷一樹, 奥田想, 大河一貴, 山根悠望子, 河野樹人, 大浜晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

我々は NANTEN2 望遠鏡を用いた全天サーベイを行う NASCO 計画を推進している。NASCO では、マルチビーム受信機を用いた高速スキャンによりデータレートが 52 MB/s まで増加する。そこで我々は 10 年以上使い続けた制御系計算機のリプレースを行い、ソフトウェアを Linux/Python ベースで再構築することとした。

2015 年度より計算機のリプレースを行い、個々の装置の駆動試験を行った (兵頭他、2016 年秋季年会)。さらに、従来のシステムと比較を行うためにシングルビームの観測スクリプトを作成し、指向精度が 3 arcsec 以内に抑まることなど従来と同程度の駆動精度を確認した。その後、OTF の試験観測を行い、得られるスペクトルの強度分布が従来と比較して誤差の範囲で一致することを確認した。Linux/Python の制御系で従来と同精度の観測が行えるようになったため、2016 年 12 月より既存のシングルビーム受信機を用いた科学運用を開始した。

現在は、マルチビーム受信機での観測を行うために、(1) 全天観測に対応したスキャンモードの実装、(2) 高速スキャンの実現、(3) ビーム間のコリメーションエラーを考慮したデータの保存と解析ソフトの開発、(4) ドブルートラッキングのソフトウェア化、などを進めている。これらの機能は受信機の切り替えや将来の機能変更の利便性を考慮しモジュール化する。また、このようなシステムの改修に加え、各装置間の通信をシンプルにし開発効率を向上するために ROS を使った開発を進めている (塩谷他、本年会)。今後は、2017 年 12 月より、更新したソフトウェアの動作試験を行う予定である。

本公演では Linux/Python を使った試験観測の結果と、マルチビームシステム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](#)

V122b 10m 電波望遠鏡による太陽系地球型惑星の大気環境監視ミッションの進捗報告

築山大輝, 原口大輝, 青木亮輔, 西田侑治, 松本怜, 前澤裕之 (大阪府立大), 佐川英夫 (京都産業大), 半田一幸, 岩下浩幸, 神澤富雄, 大矢正明, 前川淳, 高橋茂, 宮澤千栄子, 南谷哲宏 (国立天文台), 西村淳 (名古屋大), 他 SPART チーム

中心星の活動が周辺の地球型の惑星大気環境に与える影響について理解を深めるべく、我々は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 10m 電波望遠鏡を用いて、太陽系惑星の微量分子の 100/200GHz 帯スペクトル線を監視する SPART ミッションを推進し、ALMA やあかつき衛星との同時/連携観測などを展開している。特に火星や金星はすでに磁場を失っており、中心星の活動の影響をダイレクトに受ける貴重な実験場である。電波のヘテロダイン分光は周波数分解能が高く、金星であれば硫酸の雲より上層の微量分子の観測が可能である。これまでの観測から金星の中層大気は一酸化炭素 (CO) の短期・長期スケールの変動を有すことも分かってきている。引き続き、金星と火星の微量分子の変動の動向を探り、到来しつつある太陽活動の極小期における大気酸化反応ネットワーク/大気ダイナミクスのリンクを紐解く計画である。本年は、FPGA による DFT 分光計 (1GHz/2¹⁴ch) の CPU ボードを修復した他、モーターのクリーニングとブラシ/整流子の圧力調整、4K-GM/JT 冷凍機のメンテナンスを実施した。SPART の観測では、100/200GHz 帯はミラーや受信機を毎日切り替えて実施しており、サイドバンド比の高い再現性が求められる。これまで、定期的に Orion-KL の観測により CO とイメージバンドからの H₂CO 分子のスペクトル強度の比を用いて導出しており、他の望遠鏡との比較から、全運用期間において 3.34 ± 0.18dB と高い再現性が得られている。100/200GHz 帯の観測スペクトルと放射輸送モデルの比較解析も行っており、講演では本ミッションの観測/解析の進捗と、SPART 望遠鏡の現在の性能・仕様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](#)

V123b 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, 中井直正, 久野成夫 (筑波大学), 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、その進化段階に応じた特徴的な放射成分である輝線が用いられる。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。サイドバンド分離型受信機 (2SB) を用いれば、CI と CO の同時観測も理論上可能であるが、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) の広帯域化が重要な開発要素である。

我々はこれまで南極用のプロトタイプ望遠鏡として、30cm 可搬型サブミリ波望遠鏡の開発を行ってきた。ALMA band-8 用 2SB ミクサを用いた 500GHz 帯受信機を搭載し、CO ならびに CI の銀河面サーベイを目的とし、すでに近傍分子雲の観測を行っている。しかし、これまでの 2SB 受信機は IF 出力が 4–8 GHz と、ミクサより下段のコンポーネントによって強い制限を受けており、上記 2 輝線の同時観測は不可能であった。

今回、試験的にローワーサイドバンド (LSB) 系統の、IF ハイブリット、アイソレーター、低雑音増幅器 (LNA) を広帯域 (8–18 GHz) なものに交換し、CI と CO の同時観測が可能な IF 帯域を実現した。しかし、Y-factor 法による受信機雑音温度の測定では、受信機雑音温度は 180K(SSB) と、交換前の 90K(SSB) よりも大幅に増加した。本公演では受信機概要の説明に加え、広帯域化による不要反射成分の増加、超電導ミクサの動作条件の変動等の受信機雑音の増加要因を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124b 230GHz 帯準光学周波数分離フィルターの試作

木村公洋, 岡田望, 橋本育実, 千葉正克, 真鍋武嗣, 小川英夫 (大阪府立大学), 落合啓 (NICT)

電波天文学において、観測効率を向上するためには、受信機システム雑音の低減、マルチビーム化、広帯域化などがあげられる。そこで、我々は広帯域化に主眼をおいて、準光学周波数分離フィルターを用いたシステム開発を検討している。今回開発するシステムは、アンテナビーム伝送経路中に準光学式のハイパスフィルターとして動作する周波数分離フィルターを挿入する事で信号を周波数成分で分離する。そして、分離された信号を複数の受信機を同時に用いることで、広帯域観測 (離れた帯域の同時観測も可能) を行う事ができる。

我々は、金属板に円形の穴を等間隔に空けた Perforated Plate 型を用いた 230GHz 帯分離フィルターの開発を進めている。このフィルターは、カットオフ周波数を利用しており、高周波数側は通過させ、低周波数側は平面鏡の様に反射させる。また両偏波成分を保存したまま分離することも特長である。我々は、低周波数帯においては、22/43GHz 分離フィルターなどの開発を行い、HINOTORI 計画で採用されている (岡田他、本年会)。このフィルターの更なる高周波化を進めている。

今回、試作を行った 230GHz 帯分離フィルターは、厚さ 1mm の金属板に直径 0.9mm の穴が等間隔に配置しており、フィルター面の大きさは約 10cm 角である。このフィルターの透過測定をネットワークアナライザーと光学系を組み合わせで行ったところ、電磁界シミュレーションと傾向は一致したが、高周波部分等で若干の差異が生じた。

本講演では、230GHz 帯の分離フィルターの開発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](#)

V125b 0.9THz 帯超伝導 HEB ミクサにおける AlN バッファ層の影響の評価

竹ヶ原諒貴, 海老澤勇治, 大口脩, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所)

星形成領域を観測し、そこでの化学進化について議論するにあたって、基本的原子・分子の存在量やその分布を観測することが極めて重要である。しかし、それらの分子の輝線はテラヘルツ帯に存在することから、従来の SIS ミクサによる観測では不十分であり、この帯域を観測することの出来る受信機を開発する必要がある。本研究室ではその目的に対するヘテロダイン検出機器として、0.9/1.5THz 帯の超伝導 HEB(Hot Electron Bolometer) ミクサの開発を行ってきた。

本研究では、一層の超伝導特性改善を目指し、AlN バッファ層を導入する。これは、ウルツ鉱構造をもつ AlN の 001 面と、NaCl 型の格子をもつ NbTiN の 111 面の格子構造が共に六角形であり、また格子定数もほぼ一致することから、NbTiN を基板上でエピタキシャル成長させることを目的としている。AlN バッファ層は以前椎野らが導入しており、Shiino et al.(2010) によって報告されている。ここでは、NbTiN 薄膜を用いた場合において、超伝導転移温度 T_C が 2.7K 上昇したが、性能の向上は見られなかった。このことが AlN 薄膜を導入したことによる超伝導特性の変化、あるいは冷却メカニズムの変化によるものかどうかを確かめる目的で研究を進めた。

今回の実験においては、幅 $0.15\mu\text{m}$ のマイクロブリッジを Ar プラズマエッチングによって成形した素子を用い、AlN バッファ層を成膜したミクサと成膜しなかったミクサの性能や超伝導転移温度などを系統的に比較した。すると、AlN バッファ層を導入したとき、転移温度が約 4K から 8K へと上昇した。さらに、性能についての比較結果も報告し、それらの結果から AlN バッファ層の HEB ミクサへの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](#)

V126b ミリ波帯超伝導 SIS ミクサの線形性評価と直列接合型素子の開発

中島 拓, 山口 倫史, 善行 康太, 大浜 晶生, 藤森 隆彰, 鈴木 和司, 長濱 智生, 水野 亮 (名古屋大学), 小嶋 崇文, 江崎 翔平, 宮地 晃平, 藤井 泰範, Shan Wenlei, 浅山 信一郎, 野口 卓 (国立天文台), 鵜澤 佳徳 (情報通信研究機構), 酒井 剛 (電気通信大学)

ミリ波・サブミリ波帯で最も高感度な検出デバイスとして、超伝導 SIS 接合を用いたミクサは ALMA、NRO 45-m 望遠鏡、ASTE などの受信機に広く用いられている。受信機の雑音性能は、ミクサの雑音とそれが有する変換利得に依るが、一方で利得の高いミクサになると大きな入力電力に対して出力が飽和してしまう (e.g., Feldman et al. 1987)。一般的に常温黒体放射 (約 300 K) が観測スペクトルの強度較正に用いられるが、300 K 入力時のミクサの飽和は観測スペクトル強度に誤差を生み、物理量の見積りに直接影響を与えてしまう。チョッパーホイール法による較正精度は、典型的なミクサで $\sim 10\%$ (@ 110 GHz) と言われている (Plambeck 2000)。

我々は、300 K 入力時のミクサの飽和度 (Gain compression; G.C.) を含め、液体窒素温度 77 K から常温に渡る広い温度範囲での線形性を実測できる新たな評価システムを開発した (秋山ほか 2016)。この評価系を用いて、NRO 45-m 望遠鏡で使われている 100 GHz 帯のミクサを評価したところ、300 K での G.C. が最大 $21.2 \pm 1.2\%$ (DSB mode) と測定された。G.C. は変換利得に比例して大きくなる一方、例えば SIS 接合の直列接合数 (N) の二乗に反比例することが低周波帯での実験から示唆されている (Crete et al. 1987)。そこで我々は、ミリ波・サブミリ波帯ミクサの飽和特性の理解と線形性の改善を目指し、100 および 200 GHz 帯で、 $N = 3-5$ の新たな直列接合型素子を設計・製作した。そして、様々な変換利得および入力温度に対する G.C. を実測し、Kerr (2001) による理論計算と詳細な比較を行った。本講演では、これまでの実験で得られた知見について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127b ALMA Band 10 対応の Sideband Separating (2SB) 方式冷却受信機的设计

玉川陽大, 瀬田益道, Dragan Salak, 中村美月 (関西学院大学), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 小嶋崇文, 藤井泰範 (国立天文台), 小川英夫 (大阪府立大学)

サブミリ波帯でのヘテロダイン分光観測では、周波数と時間変化に対する大気透過率変化が激しいので Single side band (SSB) 方式が良い。ローカル (LO) 信号の周波数に対して中間周波数帯域 (IF) だけ離れた Lower side band (LSB) と Upper side band (USB) を同時に別々に SSB 受信する Sideband Separating (2SB) 方式では観測効率が上がる。2SB 方式を実現する手段の一つに、(1) 二つの観測 (RF) 信号を電力的に二分し位相差を 90° つけ (2) それぞれを Double side band (DSB) Mixer で周波数変換し (3) さらに位相差を 90° つけ (合計 180° (半波長分)) 干渉させるものがある。ALMA Band 10 (787 GHz~950 GHz) の受信機は低雑音化が困難なため、USB と LSB の両方を受信する DSB 方式である。我々は Band 10 での 2SB 方式の実証モデルの開発を目指している。

2SB 受信機は、(2) を担う DSB Mixer の前段に、(1) を担う RF 90° Hybrid Coupler, LO 信号を二分する LO Divider, RF 信号に LO 信号を結合させる LO Coupler から成る導波管ユニットを付加し、後段には (3) を担う IF Hybrid を組み合わせる。これを冷却受信機の 4K ステージに設置し、LO 信号は常温の 800 GHz 帯の信号源から準光学的に導波管ユニットに導く。LO 信号源は約 $30 \mu\text{W}$ 以上の出力を確保し、DSB Mixer はその動作のために約 $0.5 \mu\text{W}$ 必要なので、信号の二分化, DSB Mixer までの損失 -3.5 dB を考え、LO Coupler の結合率を -11 dB とした。RF 90° Hybrid Coupler は 2 本の平行な導波管を結ぶブランチの数, 幅, 高さ, 間隔を調整する事で役割を果たすので、電磁界解析ソフトを用いて最適値を検討した。設計の結果、787 GHz~950 GHz に対し、伝送率と位相差の帯域内偏差が $\pm 0.4 \text{ dB}$ 以下, $\pm 0.5^\circ$ 以下、反射損失が -20 dB 以下を見込んでいる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V128b ミリ波補償光学の開発 II. 波面センサ用 GPU 相関器

上田哲太郎, 田村陽一, 島田優也 (名古屋大学), 川邊良平, 斎藤正雄, 南谷哲宏, 大島泰 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 木村公洋, 岡田望, 橋下育実 (大阪府立大学), 栗田光樹夫 (京都大学), 河野孝太郎, 竹腰達哉, 谷口暁星 (東京大学)

大型電波望遠鏡にとって主鏡面精度の低下は大きな問題である。そこで、我々はこの問題を実時間で補償する光学システム「ミリ波補償光学」の創出を目指し、その波面センサの開発を推進している。ミリ波補償光学における波面センサの原理は以下の通りである：周波数等で符号付けした参照信号を発生させ、望遠鏡主鏡面に設置した複数の送信機で送信し、その信号を受信機で「観測」する。参照信号と受信信号の間の位相差を測定すれば、波面を計測・再構築することが可能だ。位相差は、相関器で高精度かつ高速に計測することが要求される。

そこで、我々は汎用 GPU を搭載した計算機と A/D 変換器を用いた相関器の開発を進めている。ソフトウェアにはミリ波補償光学波面センサ用に改修を加えた PolariS (Mizuno & Kamenno et al. 2014) を利用した。相関器に要請される位相計測精度 (0.1 s 積分で $\sim 0.1^\circ$ r.m.s.) は、波面計測センサ全体の要求精度 (10 Hz 出力の複素相関係数の位相を 1° r.m.s. の精度で計測) より十分高い必要がある。そこで、相関器の性能を評価するため、信号発生器で発生させた 2 系統の CW 信号および広帯域雑音信号を相関処理し、Allan 分散測定による位相の時間安定性、分光チャンネルの応答関数、位相の帯域透過特性の平坦性を評価した。その結果、0.1 s 積分で 0.1° r.m.s. の位相精度と、Allan 時間 $\simeq 1000$ s を達成し、分光チャンネルの応答関数も相関器のセットアップ・性能から期待される理論値に無矛盾であることがわかった。また、位相の帯域透過特性は、分光帯域に渡って十分平坦 ($< 0.1^\circ$) であった。従って、本相関器は、要求される性能を十分に満たし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](#)

V129b Japanese Virtual Observatory (JVO) を通じた野辺山 45m 電波望遠鏡レガシープロジェクト COMING および FUGIN の観測データ公開プランについて

鳥居和史, 白崎裕治, Zapart Christopher, 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大学), 南谷哲宏, 梅本智文, 大石雅寿, (国立天文台)

国立天文台野辺山宇宙電波観測所および同天文データセンターは、共同で Japanese Virtual Observatory (JVO) を通じた野辺山 45m 電波望遠鏡レガシープロジェクト COMING および FUGIN の観測データ公開の準備を進めている。公開は 2018 年 6 月 1 日を予定しており、COMING では観測された 100 を超える銀河の ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=1-0$) 輝線の強度較正済み 3 次元 fits データを、一方の FUGIN では観測された銀河面第 1 象限 ($l = 10^\circ-50^\circ$, $b < |1^\circ|$) の 80 平方度および第 3 象限 ($l = 198^\circ-236^\circ$, $b < |1^\circ|$) の 50 平方度をカバーする ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=1-0$) 輝線の強度較正済み 3 次元 fits データを公開する。また、CO 輝線データに加え両プロジェクトでは独自のサプリメントデータの公開準備も進めており、本ポスターではその詳細も案内する。以上のデータの公開に向け、JVO では COMING および FUGIN のページを独立に設け、公開データの一覧表、個別データの直接ダウンロードおよび複数データのスクリプトによる一括ダウンロード機能、天体名および座標によるデータ検索機能、ウェブベースの Quick Look (webQL) を用いたデータのプレビュー機能等の搭載を予定している。本ポスターでは、以上の公開データのと JVO に実装される機能の詳細を紹介すると共に、レガシープロジェクト以外での野辺山 45m 電波望遠鏡と JVO との今後のさらなる連携について将来計画を展望したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130b LireBIRD 搭載光学系の公差解析

鹿島伸悟 (NAOJ), 今田大皓, 長谷部孝, 関本裕太郎 (JAXA/ISAS), 松村知岳, 菅井肇, 宇都宮真 (Kavli IPMU), 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が、LiteBIRD 光学系に求められる仕様として重要なのが、キャリブ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、開口径と画角 (より正確には観測立体角) の積である A と半波長板をキーとして、クロスドラゴンベースの光学系及びグレゴリアンベースの光学系に関して数多くの設計検討を行い、それらのトレードオフに関する中間報告を行ったが、実際に作る上で非常に重要な「公差解析」に関しては、十分な比較検討を行っていなかった。

LiteBIRD 搭載望遠鏡はミリ波光学系であり、光赤外等を比べて非常に波長が長いため、いわゆる面精度等が収差に及ぼす影響は小さく、現在の高精度加工技術を考えればあまり心配する必要はない。一方、視線方向を決めるポインティングのズレは、光軸のズレであるため波長は関係なく、ミラー同士のアライメントや検出器との位置合わせにはかなりの高精度を必要とする。また、CMB 観測は B モードと呼ばれる偏光状態の観測であるため、製造誤差による偏光特性の劣化は大きな問題となる。

そこで今回は、ポインティング精度と偏光特性を主としたモンテカルロ公差解析をいくつかの光学系に関して行い、その結果を比較検討したため、それ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](#)

V131b 装置偏光とシグナルの漏れ込みによる系統誤差混入ゼロを実現したマーチン・パレット型フーリエ分光器の開発

官野史靖 (東北大学), 服部誠 (東北大学), 小勝負純 (日本分光株式会社)

宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background: CMB) の B モードと呼ばれる特殊な偏光シグナルは、インフレーション理論の重要な証拠である、原始重力波の情報を刻んでいる。そのため、CMB の B モード偏光初検出に向けて、現在様々な研究チームが観測実験を行っている。

現在の CMB 偏光実験における最大の課題の一つに、観測データにおける、銀河系内シンクロトロン放射や星間ダストからの熱放射といった前景放射と、CMB との成分分離が挙げられる。CMB と前景放射との分離は、成分間にあるスペクトルの違いを拠り所にして行っているため、それらの分離精度は、検出器の周波数および偏光特性の校正精度に大きく左右される。CMB 実験で用いられる検出器の周波数特性の測定には、フーリエ分光器が用いられる。これまでのフーリエ分光器では、鏡での反射の際に生じる擬似的な偏光や、ワイヤーグリッドによるシグナルの分割・合成の際に生じるシグナルの漏れこみ等による装置偏光が生じてしまう。このためフーリエ分光器の使用した検出器周波数および偏光特性校正精度には 0.1% 以上の系統誤差の混入が避けられない。これは、CMB 強度の 10^{-9} 程度と予測される超微弱な B モード偏光シグナルの検出を目指した観測において、無視出来ない大きな系統誤差である。そこで我々は、光学系に工夫を施すことで、擬似偏光、シグナルの漏れこみを原理的に 0 にする独創的な光学系を考案した。このことにより、装置由来の系統誤差を基本 0 に抑えることができる。

本発表では、擬似偏光をゼロに抑える工夫を施したミリ波フーリエ分光器について紹介する。また、このフーリエ分光器を活用した前景放射と CMB 成分の分離精度を飛躍的に向上させる超分解分光法についても概説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132c THz帯超伝導ヘテロダイン分光器の開発によるSMILES-2衛星の天文観測応用

西田侑治, 松本怜, 前澤裕之 (大阪府立大), 塩谷雅人 (京都大学), 西堀俊幸, 鈴木睦 (JAXA/ISAS), 佐川英夫 (京都産業大) 落合啓 (NICT) 野口卓, 宮地晃平 (国立天文台), 山本智, 大口脩, 海老澤勇治 (東京大学), 他 SMILES-2 ワーキンググループ

現在、国際宇宙ステーション JEM/SMILES の後継となる SMILES-2 の WG が立ち上がり、オゾン層回復や温暖化の予測精度向上のため、成層圏から中間圏にかけての大気化学と風速場、重力波/Planetary 波、太陽活動の影響などの掌握を目指し、 HO_x 、 NO_x 、 CH_3Cl 、 CO 、 H_2CO 、 OH 、 O_x 等の大気微量成分の輝線が多く分布する 0.4-2.0 THz 帯の総合観測を計画している。これには、地上からでは吸収が大きく観測が困難な分子・原子のスペクトルが多く網羅されており重要な鍵を握る。また本計画では太陽系天体の観測や天文観測応用も視野にある。例えば太陽系地球型惑星では CO_2 の安定問題や、火星において起源が未解明のメタンの検出例等があり、太陽系惑星の基本的な化学反応ネットワークとダイナミクスのリンクの解明が急務となっている。これらの理解は系外惑星の大気科学やバイオマーカーを理解する上でも重要となる。受信機は 1 THz 以下では SIS ミクサ、2 THz 帯近傍ではホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサを集積した超伝導ヘテロダイン検出器を 4 K 機械式冷凍機に搭載する計画である。地球大気はリム観測を想定しており、従来の 2THz 帯の準光学型 2 次元平面アンテナのビームでは E/H 面のアスペクト比やサイドローブの改善を要したため、チップ化した素子をビーム形状の優れたホーン/導波路に実装して集光する方法へと改良を進めてきた。これには厚さ 18 μm /幅 36 μm のチップ化がネックとなっていたが、ブレードや接着剤、研磨システムのアライメント、ブレードの前処理などの試行錯誤により、100%に迫る歩留まりを実現した。講演では本計画や THz 帯 HEB ミクサ検出素子の開発状況を紹介・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](#)

V133c 光学素子評価の為のサブミリ波帯時間領域分光装置の開発

大田泉（甲南大学）、森川治（海上保安大学校）、中嶋誠、加藤康作（大阪大学レーザー科学研究所）、高野恵介（信州大学）、山本常夏（甲南大学）

宇宙マイクロ波背景放射等サブミリ波帯での観測光学系開発に当たって、およそ 30-500 GHz の広帯域内での光学素子の測定評価システムが必要である。これに対して本研究ではテラヘルツ帯時間領域分光法 (Terahertz time-domain spectroscopy, 以下 THz-TDS) を用いた光学素子の二次元面内空間分解可能な分光評価システムの開発を進めている。THz-TDS ではテラヘルツ波が伝播する経路中に測定したい測定試料を置き、透過したテラヘルツ波の時間波形を検出する。また、測定試料のない状態でのテラヘルツ波の時間波形も検出して両者をフーリエ変換する。それぞれを比較し、テラヘルツ波の透過率と位相シフトの情報を得るというものである。このシステムでは測定対象の物質の複素屈折率や複素誘電率などの検出が可能になり、物質の物性測定などに用いられる。

通常 THz-TDS では光源にフェムト秒レーザーを用いられるが、それ単体が非常に高価である。本研究では光源にマルチモード CW レーザを用いてスペイシャルフィルタを導入することにより、500 GHz 以下の帯域での分光測定が可能とする評価システムの立ち上げを進めている。本研究ではこのシステムの仕組みと立ち上げ等の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](#)

V134a 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 III: 搭載計画

川邊良平 (NAOJ), 酒井剛 (電気通信大), 田中邦彦 (慶応大), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東大), 田村陽一 (名古屋大), 大島泰, 野口卓, 高橋敏一 (NAOJ)

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。この受信機と既存の 3 ミリ波帯受信機と組み合わせて、1) 厳選した赤方偏移 $z > 4-5$ 候補のサブミリ波銀河で、CO 輝度線のブラインド探査等により赤方偏移を決定し、遠方サブミリ波銀河サンプルを格段に増やすこと、2) より回転量子数 J の大きい CO 輝線まで検出し、CO 輝線強度分布 (CO-SLED) による原始 QSO の探査を行うこと、3) 近傍星形成領域での重水素化物の探査や銀河中心領域の観測などを計画している。観測装置の開発製作や性能評価試験を終了し、メキシコへの輸送を進めている。また、LMT を運用する INAOE/UMass と協議も進めてきた。メキシコに 2018 年 3 月頃の LMT への搭載、4 月からの試験観測、初期運用を予定している。講演では、この計画の進捗状況の詳細や、今後の LMT 搭載と観測計画などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135a ミリ波補償光学の開発 I. プロジェクトの概要

田村陽一, 上田哲太郎, 島田優也 (名古屋大), 川邊良平, 齋藤正雄, 南谷哲宏, 大島泰 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 木村公洋, 岡田望, 橋本育実 (大阪府立大), 栗田光樹夫 (京都大), 河野孝太郎, 竹腰達哉, 谷口暁星 (東京大学)

電波望遠鏡において、鏡面精度を担保したままアンテナを大口径化・高周波化することは、あらたな天文学領域を開拓するうえで重要だ。我々は、風負荷・熱変形・重力変形による主鏡面精度の低下を実時間で補償する光学システム「ミリ波補償光学」の創出をめざし、その波面センサの開発を進めている。ミリ波補償光学の要素技術は、波面計測技術と鏡面制御技術に大別される。このうち後者は赤外補償光学技術の転用が可能のため、障害にはならない。したがって、問題は、電波の波面をいかに実時間で「計測」するかに収斂する。

そこで我々は、電波天文学のネイティブな波面計測技術である開口合成干渉法を利用した波面計測センサを提案する。大気の変動が波面劣化の原因になる可視赤外領域と異なり、(サブ)ミリ波領域ではおもに望遠鏡光学系の予測不可能な変形が波面劣化を引き起こす。したがって、光学系の変形を適切な時間・空間スケールで計測することが要請される。波面センサの動作原理は、以下のとおりである：参照信号を発生させ、望遠鏡主鏡面の各所に設置した複数の送信機で送信する。それらの信号を受信機で「観測」する。各送信機の信号は周波数等で符号付けしておく。参照信号と受信信号の間の位相差を測定すれば、波面を計測・再構築することが可能だ。目標は、送信機信号の位相を 1° r.m.s. の精度 (20 GHz 帯で駆動する場合の $40 \mu\text{m}$ r.m.s. の光路長測定精度に相当)、および 10 Hz の頻度で決定することである。本講演では、この波面計測センサの動作原理と現在の開発状況、および野辺山 45 m ミリ波望遠鏡における実証実験の計画を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136a ALMA の運用 (12) と拡張計画 (6)

○井口聖, 阪本成一, 伊王野大介, 浅山信一郎, 小杉城治, 永井洋, Alvaro Gonzalez, 菊池健一, 平松正顕, 奥村裕二 (国立天文台), ほか ALMA プロジェクトチーム

本講演では、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, アルマ) の運用および拡張計画の活動について以下の報告をする。

運用: Cycle 4 の観測が完了し、継続して観測データを提案者に配信中である。現在、予定通り Cycle 5 の観測を開始し、提案者への観測データの配信が順次おこなわれている。

拡張: ALMA の拡張機能として、Band 5, Band 1 および Band 2 の新受信機の開発を行っている。欧州が担当する Band 5 開発では最後の受信機が工場内予備受入審査会 (Preliminary Acceptance In house, PAI) を完了し、現地に発送された。東アジアが担当する Band 1 開発では最終設計審査会の完了会議 (CDR closeout meeting) が実施され、量産製造に向けた準備が着実に進んでいる。欧州が主導する Band 2+3 試作開発では基本設計審査会 (PDR) が実施された。また、東アジアが主導する単一鏡用分光器の開発では、2017 年 11 月の ALMA 評議会にてプロジェクト化が承認され、韓国と日本の最初のプロジェクトとして、今後の最終設計審査会 (CDR) に向けた評価試験が開始された。

次の 10 年目標: これまで議論を重ねてきた、ALMA の柱となる次の 10 年の新科学目標の設定についても ALMA 評議会にて承認された。そして、日米欧三者で議論してきた「2020-2030 における ALMA 科学観測を想定した将来拡張計画」の中で示された科学要求に従い、基礎技術開発が各国で開始され、これらの中で注目すべき進捗や検討結果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](#)

V137a ALMA データ解析ソフト CASA の開発 10

川崎渉, 中里剛, 杉本香菜子, Renaud Miel, Daniel Tafoya, 西合一矢, 秋山永治, 鳥居和史, 下条圭美, 小杉城治 (国立天文台), 他 CASA 開発チーム一同

CASA (Common Astronomy Software Applications) は、国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、ヨーロッパ南天天文台 (ESO)、台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) などが協力して開発中の電波望遠鏡データ解析ソフトウェアである。主なターゲットである ALMA と VLA に加えて、国立天文台の開発チームによって野辺山 45m 鏡や ASTE の単一鏡データ解析への対応も進められている。2017 年 11 月時点での最新版は 5.1.1 で、2018 年春にはバージョン 5.3 をリリース予定である。本講演では、現在の CASA 単一鏡データ解析機能の概要を紹介し、国立天文台 CASA 開発チームの最近 1 年間の活動について報告する。

CASA5.1 での単一鏡関係の主な仕様変更としては、まず、単一鏡データの MeasurementSet 形式への移行作業が完了し、CASA5.0 において廃止が予告されていた機能は使えなくなった (CASA5.1 以降における ALMA 単一鏡データの解析手順の一例として、NRAO CASA Guides のページが更新されているので、参考にされたい)。その他、太陽観測データリダクション効率の改善 (sdgaincal タスク)、イメージングにおける複数の投影法の実装 (sdimaging タスク)、キャリブレーション・ベースライン機能の拡張、タスク名の変更 (sdimprocess から sdfixscan へ) などが挙げられる。さらに、最近 (CASA5.0 以降) の CASA 全体での大きな変更として、ドキュメント類が Plone ベースの統一されたスタイルで提供されるようになったことを付け加えておく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V138a スパースモデリングによる ALMA 向けイメージングツールの開発：(1)

池田 思朗 (統計数理研究所), 中里 剛, 小杉 城治, 本間 希樹 (国立天文台), 秋山 和徳 (NRAO/MIT)

VLBI (Very Long Baseline Interferometer) のイメージングに対してスパースモデリングの方法が有効であることは、すでに誌上で報告されている (Honma, et al. 2014, Akiyama, et al. 2017)。また、同じ方法が ALMA 望遠鏡のイメージングに対しても有効であることもすでに報告された通りである (山口他 2017 年春季年会 P233a)。

我々は、ALMA 望遠鏡のデータ解析の方法として CLEAN 法に代わってスパースモデリングの方法を選択できるように、ALMA 望遠鏡向けにイメージングツールの開発を行った。ALMA のビジビリティデータは膨大であるため、これまでの VLBI 向けのアルゴリズムにグリiddingを導入してデータを縮約し、FFT を利用することでパフォーマンスの向上を行った。

本発表ではスパースモデリングの理論、CLEAN 法との違い、調整可能なパラメータによる再構成イメージの振る舞い、そのパラメータの統計的な決定法などについて説明する。また、このイメージングツールにすでに実装されている機能と今後の課題についても述べる。

スパースモデリングの方法は開発段階であり、ユーザーと共に理想的な完成形を構築していく必要がある。本発表を通じてツールの機能に関する理解を共有したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V139a スパースモデリングによる ALMA 向けイメージングツールの開発：(2)

中里 剛 (国立天文台), 池田 思朗 (統計数理研究所), 小杉 城治, 本間 希樹, 山口 正行, 片岡 章雅 (国立天文台), 秋山和徳 (NRAO/MIT)

スパースモデリングによるイメージングツールを ALMA 望遠鏡データ向けに開発したので、報告する。

スパースモデリングとは、「解が疎である」という仮定の下で、本来は解けない問題に対する解を推定する技法である。スパースモデリングを電波干渉計イメージングに応用する試みはすでにいくつかなされており、その有効性が実証されつつある (本間他 2014; 山口他 2017 年春季年会 P233a)。我々は、これまでの研究で得られた知見をもとに、ALMA 望遠鏡のデータ解析ソフト CASA 上で動作するイメージングツール `almasparsemodeling` を開発した。`almasparsemodeling` は Python モジュールとして開発され、CASA にインポートして利用可能である。

本講演では特に技術的側面にフォーカスして、実装のデザインや CASA との関係、依存ライブラリなどについて詳細に解説する。また初期の結果として、ALMA による原始惑星系円盤 HD142527 の観測データをイメージングした結果を紹介する。最後に、今後の開発スケジュールおよびユーザーへの配布方法の検討状況について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140a Update on the ALMA band 2+3 receiver collaboration, and latest work at NAOJ

A. Gonzalez, K. Kaneko, S. Asayama (National Astronomical Observatory of Japan), H. Yamaya, T. Sakai (University of Electro-Communications)

The ALMA band 2 (67-90 GHz) is the last frequency band to be implemented in the ALMA telescope. In recent years, a consortium led by ESO (European Southern Observatory) has carried out a study to assess the possibility to install an extended band 2+3 (67-116 GHz) receiver in the ALMA band 2 cartridge slot. This slot does not have a 4K stage, and the coldest temperature to be used is 15K. This forces band 2 or 2+3 to be based on HEMT amplifiers instead of SIS mixers. NAOJ has been part of the consortium for the development of the ALMA band 2+3 receiver, and has contributed optics component designs: dielectric lens, corrugated horns and OMTs. In this paper, we review the latest results of components designed at NAOJ, in particular, an OMT with state-of-the-art performance. In addition, we will update on the latest status of the ALMA band 2+3 project, including the results and most important comments during the Preliminary Design Review (PDR) held in Garching (Germany) on 29-30 Dec. 2017.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141a SIS ミキサによるマイクロ波増幅効果とその原理実証

小嶋崇文 (国立天文台), 鶴澤佳徳 (情報通信研究機構), 単文磊 (国立天文台)

ミリ波サブミリ波帯において、ヘテロダイン受信機のマルチビーム化は重要な将来開発課題となっている。マルチビーム化における課題の一つは、中間周波数帯の初段に用いる冷却低雑音増幅器である。たとえば、現在主流となっている半導体増幅器の典型的な直流消費電力は1-10 mW程度あり、大規模なアレイ化は困難である。また、量子雑音に迫る低雑音と広帯域特性の期待できる超伝導パラメトリック増幅器に関しても周波数特性が大きいことやその動作物理温度が1 K以下であることなど、現状では実用上の課題が多い。

今回我々は低雑音かつ低消費電力、また、物理温度4 Kで動作する新たなマイクロ波超伝導増幅器を考案し、原理確認実験を実施した。本方式では、従来用いられてきた超伝導体-絶縁体-超伝導体 (SIS) ミキサを用いる。SIS ミキサはミリ波からマイクロ波への周波数ダウンコンバージョン時にある条件下で正の変換利得が得られることがよく知られている。一方、今回我々は、マイクロ波からミリ波への周波数アップコンバージョン時にも低雑音かつ正利得特性が得られることを実験的に観測した。これは2つのSIS ミキサを縦続接続し、それらを同一の局部発振器で駆動させることでマイクロ波増幅効果が得られる可能性を暗示している。

実験では野辺山宇宙電波観測所のFORESTに使われている100 GHz帯SIS ミキサを用いた。2つのSIS ミキサ間のインピーダンス干渉を避けるため、それらの間のミリ波導波管回路内に5-6 dB減衰器を挿入した。利得測定にはネットワークアナライザを用いた。周波数91.9 GHzの局部発振波を入力し、利得を測定した結果、3-6 GHzにおいて、典型的に3 dBの利得を観測した。これは減衰器での信号損失を除くとおよそ9 dBの電力増幅度が得られたことに相当する。詳細は講演の際述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V142a Next-generation multibeam SIS receiver development in NAOJ: strategy, roadmap, and proof-of-concept

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Shin'ichiro Asayama, Takashi Noguchi, Satoru Iguchi (NAOJ)

Arrayed SIS receivers are unique equipments in millimeter and submillimeter astronomical observation, which allow wide field-of-view (FoV) observation with high spectral resolution and high sensitivity inherently contributed by SIS mixers. Since a broad FoV is the fundamental requirement of various science demands, arrayed receivers are generally recognized to be essential for future development. However, despite the efforts from many instrumental teams in constructing multi-beam receivers by densely packing single-pixel modules, the construction of a large array is highly risky and the pixel count remains small.

This report is concerning the plan and the on-going activities of the multibeam receiver development in NAOJ. We have framed a concept of planar integration of SIS mixer array, which has the basic idea that the metal waveguide components, which are difficultly machined, are replaced by their planar circuit counterparts that are integrated with SIS mixers in the same integrated circuit (IC). As a result, the metal waveguides network for LO distribution is much simplified and can be embedded into the mixer mount. We have been carrying out proof-of-concept studies with prototyping a single-pixel integrated receiver, assuming to be able to readily extend it to many pixels. Our measurement results provide unambiguous evidences that a large-format SIS mixer arrayed receiver can be constructed based on the concept that we proposed. Also, relevant plan will also be presented in order to develop large-format and terahertz-frequency arrays.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V143a DESHIMA: 新技術「超伝導オンチップ・フィルターバンク」による初の天体スペクトル検出

遠藤光, David Thoen, Ozan Yurduseven, Sjoerd Bosma, Nuria Llombart, Teun Klapwijk (TU Delft), 唐津謙一, Robert Huiting, Vignesh Murugesan, Stephen Yates, Jochem Baselmans (SRON), Paul van der Werf (Leiden University), 石田剛, 谷口暁星, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰, 石井峻, 陳家偉, 前川淳, 川邊良平, 木挽俊彦, 浅山信一郎 (国立天文台), 鈴木向陽, 上田哲太郎, 田村陽一 (名古屋大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 藤田和之, 香内晃 (北海道大学), 中坪俊一 (ISAS/JAXA), Tom Bakx (Cardiff University), 他 DESHIMA チーム

超伝導オンチップ・フィルターバンクは、「観測可能帯域に比して実際に同時観測している帯域が狭い」あるいは「広帯域なスペクトルが得るにはスキャンが必要」という、既存のミリ波サブミリ波分光観測機器の弱点を打開し、数 100 GHz の超広帯域を真に周波数空間で同時に分光することを志向する新技術である。我々は、超伝導オンチップ・フィルターバンク分光器 DESHIMA を ASTE 望遠鏡に試験搭載し、同技術を用いた世界初の天体スペクトルの検出に成功した。この実験で使用したチップは 330-370 GHz の帯域を 49 チャンネルで分光することができ、この周波数帯ですでに他に類を見ないほど広い同時観測帯域を実現した。今後数年のうちにはチップと光学系の拡張でさらに 1 桁広い 240-720 GHz の同時観測（ほぼ ALMA バンド 6, 7, 8, 9 の全帯域に相当）を実現し、ミリ波サブミリ波 panchromatic 天文学を展開する計画である。本講演では 2017 年 10-11 月に DESHIMA を ASTE 望遠鏡に搭載した際の各種性能評価について報告するほか、次回の観測セッションを念頭に、桁違いな超広帯域分光技術の出現による観測的研究の展望について、日本天文学会の観測天文学者と議論を深めたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V144a DESHIMA: データ解析パッケージ DE:CODE の開発とその解析手法

石田剛, 谷口暁星, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 鈴木向陽, 田村陽一, 上田哲太郎 (名古屋大学), 遠藤光, David Thoen, Nuri van Marrewijk, Ozan Yurduseven, Sjoerd Bosma, Nuria Llombart (TU Delft), 陳家偉, 石井峻, 大島泰, 前川淳, 川邊良平 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大学), Tom Bakx (Cardiff University), 唐津謙一, Vignesh Murugesan, Juan Bueno, Stephen Yates, Jochem Baselmans (SRON), Paul van der Werf (Leiden University), 他 DESHIMA チーム

本講演では10-11月に行なった、次世代型超広帯域サブミリ波分光器 (DESHIMA: DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper) のASTE望遠鏡への搭載試験、および科学観測によって得られたデータの解析手法について報告する。DESHIMA チームではデータ解析ソフトウェアとして、Python パッケージ DE:CODE を開発している。DE:CODE では各チャンネルごとの時系列データおよび、時系列やチャンネルに付随する情報を統一的に扱うため、xarray パッケージを用いたデータ形式を採用した。観測データはON点 (P_{ON}) とOFF点 (P_{OFF}) に加えて、10 Hz で見ている 300 K の黒体 (P_{R}) からなる。そこで、リアルタイムに受信機のゲインを補正した $X_{\text{ON}} := P_{\text{ON}}/\bar{P}_{\text{R}}$, $X_{\text{OFF}} := P_{\text{OFF}}/\bar{P}_{\text{R}}$ を1温度チョッパーホイール法の観測方程式に代入し、ゲイン補正されたON点, OFF点の温度を導出した。さらに、OFF点の時系列データに対し、主成分分析 (PCA) を適用して大気の変動モードを推定し、それらをON点の時系列データに線形フィットすることで、ベースラインに相当する部分を差し引いた (Hunziker et al. 2017 で提案された手法を応用)。その結果、従来の単純なOFF点の差し引きに比べベースラインのうねりが少なく、良好な結果が得られ、PCAが大気変動の推定に非常に強力なツールとなり得ることを明らかにした。本解析に用いた DE:CODE はGitHub を通して公開されており、幅広いユーザが利用することを想定している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V145a DESHIMA: DE:CODE による DESHIMA 性能評価

鈴木向陽, 田村陽一, 上田哲太郎 (名古屋大学), 遠藤光, David Thoen, Nuri van Marrewijk, Ozan Yurduseven, Sjoerd Bosma, Nuria Llombart (TU Delft), 谷口暁星, 石田剛, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 陳家偉, 石井峻, 大島泰, 前川淳, 川邊良平 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大学), Tom Bakx (Cardiff University), 唐津謙一, Vignesh Murugesan, Juan Bueno, Stephen Yates, Jochem Baselmans (SRON), Paul van der Werf (Leiden University), 他 DESHIMA チーム

我々は、分光機能と検出機能を一つのチップ上に集積する超伝導フィルターバンクを用いたミリ波サブミリ波分光器である DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper) の開発を推進している。2017年10–11月に、DESHIMA の科学観測性能を実証することを目的として、DESHIMA を ASTE 望遠鏡に搭載し、初期科学観測を含むコミショニングを実施した。本コミショニングでは、DESHIMA データ解析ソフトウェア DE:CODE (本年会・石田講演を参照) を用いて、(1) 地球大気、および望遠鏡駆動追尾条件下における雑音特性の評価、(2) 惑星等の天体の撮像データを用いたフォーカス・指向精度等光学性能の評価、および (3) チョッパーホイール (10 Hz 回転) による強度・帯域透過特性の校正法の検証を行った。この結果、望遠鏡がクライオスタットで焦点を結び ASTE の回折限界を概ね達成すること、また DE:CODE における新しい強度校正・雑音除去アルゴリズムが正しく機能することがわかった。さらに、今回の観測から DESHIMA における雑音等価フラックス密度 NEFD、および望遠鏡のビーム能率を推定した。上記の結果により、DESHIMA での観測において Orion-KL や系外銀河 NGC 253 などの輝線の検出に成功し、DESHIMA の最終目標である遠方銀河の検出に向けた成果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V146a ALMA 単面鏡太陽観測のためのビームパターンモデルとデコンボリューション

岩井一正 (名古屋大学), Timothy Bastian (NRAO), Stephen White (AFRL), 下条圭美 (国立天文台), ALMA 太陽観測チーム

ミリ波・サブミリ波における太陽放射は彩層からの熱制動放射が中心であり、太陽大気加熱機構やダイナミクスを理解する上で重要である。2017年からはALMAによる太陽観測が本格的に始まり、多くの初期成果が得られている。一方、太陽は視直径が約0.5度の極めて広がった電波源であり、ミリ波・サブミリ波における典型的輝度温度が数千度にもなる特異な天体である。観測の結果、一般的な天体電波観測では現れない弱く広がったアンテナサイドローブが、特に単面鏡の観測結果に影響を与えることがわかってきた。そこで本研究では、ALMAのBand3/6において太陽の単面鏡観測におけるサイドローブの影響を評価し、その除去方法を開発した。

本研究ではALMAの単面鏡観測アンテナを用いて太陽を中心に3600秒角の範囲をFast Scanモードでマッピングした。その結果、主に副鏡を支える支柱の散乱に起因するサイドローブがビーム中心から1800秒角まで広がっていることがわかった。また、理論上は急峻なエッジになるはずのリムが、サイドローブの影響で大きく広がっていることもわかった。次に、これらのサイドローブをモデル化した。本研究では太陽ディスクと、広がったサイドローブを含むアンテナのビームパターンをそれぞれモデル化し、モデル化した太陽とアンテナビームの畳み込みが、実際に観測された太陽リムの形状を再現するようサイドローブのパラメータを最適化した。その結果、主ビームに対し10倍以上広がったサイドローブが太陽観測に影響を及ぼすことがわかった。最後に観測されたマップからモデル化したサイドローブをデコンボリューションした。CLEAN及び最大エントロピー法(MEM)を用い比較した結果、MEMの方が広がったサイドローブをうまく除去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](#)

V147a 1.85m 電波望遠鏡による広帯域観測のための新受信機システム開発

上田翔汰, 増井翔, 小西諒太郎, 後藤健太, 杉内拓, 高田勝太, 本間愛彩, 原田遼平, 岡田望, 阿部安宏, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 長谷川豊 (ISAS), 逆井啓佑, 佐谷昴樹, 佐伯駿, 稲葉哲大, 栗田大樹, 西村淳, 大浜晶生 (名古屋大学)

我々は口径 1.85 m の電波望遠鏡を開発し、野辺山宇宙電波観測所にて運用している。本望遠鏡の受信機には、215–245 GHz 帯の電波を RF の段階で 4 系統の信号に分離できる新受信方式を採用しており、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2-1$) の 3 輝線に加え、 CH_3OH などの微量分子の輝線も同時観測してきた。(上田他・2017 年秋季年会)

これまで、1.85 m 望遠鏡に搭載する SIS Mixer の選別は、バイアス電圧と LO 照射量を手動で調節し、最適な設定を探すことで行なってきた。しかし、この評価は多大な時間と労力を必要とするため、0.1 mV 以下の細かいバイアス電圧間隔で評価することが困難な上に、狭い電圧範囲でしか評価を行うことができなかった。そこで SIS Mixer の自動特性評価システムの開発を行なうことで、時間と労力を最小限に抑えつつ、より詳細 (バイアス電圧分解能: 0.01 mV) で、より広い電圧範囲のデータを取得することが可能となった。これらの結果をデータベースとしてまとめることで、今後の素子開発への重要なフィードバックにもなると考えられる。また、同様のシステムを 1.85 m 望遠鏡に搭載することで常に最適のバイアスポイントに電圧をかけることができ、より質の良いデータを観測全期間において得ることができる。

本講演では、この自動評価システムを用いた SIS Mixer 評価結果と、本システムを 1.85 m 望遠鏡に搭載して行なった試験観測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](#)

V148a 口径食の無い視野を持つ軸対称双反射鏡アンテナの開口能率

永井 誠 (国立天文台), 今田 大皓 (ISAS/JAXA)

開口能率は、電波望遠鏡の性能評価に使われる重要な特性の1つである。入射する一様平面波と給電部のガウス型ビームが円形開口において結合する場合の開口能率はよく知られている。しかし、広視野化・高周波数化・広帯域化していく次世代電波望遠鏡の開発においては、より一般の状況で開口能率の振る舞いを理解し設計に反映させていくことが望まれる。この動機の下に我々は、一般の開口アンテナの開口能率が、入射瞳スピルオーバー効率・ビーム結合効率・出射瞳スピルオーバー効率の3つの幾何学的因子と損失の因子の積で与えられることを示した(2015年秋季年会 V143b)。

カセグレン式アンテナに代表される軸対称な双反射鏡アンテナは、高い指向性と良好なビーム形状を持ち、電波望遠鏡に多く採用されてきた。軸対称双反射鏡アンテナでは副鏡により開口が遮蔽されるため、ビーム結合は中心に穴の開いた円環で起こる。今回、このような円環において一様平面波とガウス型ビームが結合する場合の開口能率を導出できた。さらに、副鏡が絞りとなる多ビームの望遠鏡において、口径食の無い視野を確保した場合の開口能率の3つの幾何学的因子の表式を得ることが出来た。口径食が無いという条件は、副鏡で反射した受信機ビームが全て主鏡によって反射されることに相当する。得られた開口能率は、無損失の系で収差が無い理想的なビーム結合によって得られる上限値で、3つの独立変数を使った有理関数と指数関数で表される。独立変数の組としては、主鏡径と副鏡径の比、主鏡の F 値 F_1 と視野半径 ϕ_{FoV} の正接の積 $F_1 \tan \phi_{\text{FoV}}$ 、および、エッジテーパを取れる。値 $F_1 \tan \phi_{\text{FoV}}$ が与えられると、開口能率が最大となる副鏡径/主鏡径比とエッジテーパが定まる。この結果は、双反射鏡アンテナを用いた広視野電波望遠鏡の設計において、強力な足掛かりとなる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V149a へら絞り法を用いた口径2mサブミリ波アンテナ面の製作と移動局実証計画

三好真、岡田則夫(国立天文台)、春日隆(法政大)、関戸衛、岳藤一宏(NICT 鹿嶋)、坪井昌人(宇宙研)、岡朋治(慶應大)、他きゃらばんチーム

サブミリ波のVLBIによって我々の銀河系中心ブラックホール $SgrA^*$ などのブラックホール・降着円盤やホライズンの撮像をめざす「きゃらばん・サブミリ計画」を進めている。南米アンデス高地に移動型電波望遠鏡(きゃらばん局)を含むVLBI網を作り、1~2千kmの短基線VLBI(230GHz帯)を実現し、ブラックホールの撮像をめざす。きゃらばん局では口径2mアンテナ複数枚で構成される開口面からの受信信号を低損失オーバサイズ導波管によって合成、一つの受信機に注入する複合鏡方式を想定している。

また低コストのサブミリ波アンテナを実現するため、へら絞り法による製作を検討してきた。これまでに口径1m試作では $30\mu m rms$ 、口径30cm試作では $15\mu m rms$ の面精度を達成している。熟練工によるへら絞りは加工精度が非常に高く、高精度金型を利用し、使用材であるアルミ板の残留応力を焼き鈍しで除去すれば、 $20\mu m rms$ 程度のアンテナ面が実現される見通しを北嶋絞製作所の協力によって得た。2016年度より大澤科学財団の支援を得て、口径2.4m金型の精密切削(伊勢領/日造精密研磨/日立造船)を行った。さらに、その内径部分を用いて口径2mのへら絞りアンテナを試作している。金型面作成、焼き鈍し工程を含んだへら絞りアンテナ試作の結果を報告する。

移動型VLBI局はSX帯測地VLBI観測においてはNICT、国土地理院での運用実績がある。それに比して2ケタ高周波数であるミリ波・サブミリ波でのVLBI観測実績はまだないので、その実証を試作アンテナを用いて行うことも検討している。その概要を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V150a 超小型探査機による火星大気のTHz波ヘテロダイン分光観測計画

前澤裕之, 松本怜, 西田侑治, 木村公洋,(大阪府立大), 笠井康子, 黒田剛史, 落合啓, Richard Larsson, 佐藤滋 (NICT), 今村剛, 阪上遼, 高橋亮平, 和地瞭良, 中須賀真一 (東京大学), 長谷川豊, 西堀俊幸 (JAXA/ISAS), 佐川英夫 (京都産業大), 笠羽康正, 寺田直樹 (東北大学)

火星は過去に温暖湿潤な環境だったのか？火星で発見された低高度でのメタンや酸素濃度の上昇は生物起源によるものか？非磁化惑星では O_x やメタンはどの程度バイオマーカーとしてのポテンシャルをもつのか？主星(太陽)の活動のもと、火星大気の物理/化学的環境はどの様にバランスしているのか？これらの基礎的な理解は、系外惑星のハビタビリティの理解に直結する急務な課題である。

本研究では、東京大学工学系研究科の中須賀研究チームが推進する超小型火星周回機や着陸機にテラヘルツ(THz)波ヘテロダイン分光装置を世界で初めて搭載し、火星の昼夜/季節を通じた HO_x 、 O_x 、COや関連する同位体の変動の実態解明、ゼーマン効果による低高度の火星磁場の計測などを実施し、火星環境の大気化学反応ネットワークとダイナミクスを紐解く。THz帯ヘテロダイン分光は、惑星大気の微量分子の広範の高度分布を高精度に導出できる他、エアロゾル/ダストの影響を受けにくく、ダストストーム発生時でも見通しが良い特徴を有す。また背景光源が不要であり昼夜の面問わず大気を観測できる強みをもつ。受信機には、IceCube衛星(NASA)で実績のあるSBDミキサと通倍型の局部発振器を内蔵した常温のヘテロダイン検出器に、導波路型の円偏波分離を直接実装し、分光計にはJUICE衛星(ESA)用のチャープ変換型を採用し、省電力化を目指す。アンテナ(口径~30 cm)や筐体は炭素繊維強化プラスチックを用い、駆動部も強度校正用の小型ミラーのみとし、システムの超小型/軽量化を目指す。本講演では、本計画とシステムの検討状況について紹介・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](#)

V151a 周波数変調局部発振器による新しいミリ波サブミリ波分光法：VII. 輝線埋め込みシミュレーションと天体信号による総合性能評価

谷口暁星 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 河野孝太郎 (東京大学), 高橋茂, 豊谷仁男, 前川淳, (国立天文台), 堀込治 (富士通/ゼロ), 酒井剛 (電通大)

我々は、ヘテロダイン受信機の局部発振器 (LO) の出力を周波数変調 (FM) することで単一鏡分光観測の感度を向上させる、新しいミリ波サブミリ波分光法 “FMLO” を開発している。本手法では従来のポジションスイッチ、周波数スイッチ観測におけるオフ点 (参照スペクトル) の取得が不要なため、観測効率の大幅な改善による感度の向上が可能である。これは、分光計出力を高周波 (10 Hz) で取得しつつ LO を周波数変調させることで時間空間上で天体信号を高周波成分に変調し、低周波成分が卓越した $1/f$ 状の相関雑音を信号処理で分離することで実現する。また、系外銀河の広輝線観測等で不利なベースラインうねりの低減、サイドバンド分離も同時に達成する。

本講演では、2016–2017 年度に行われた野辺山 45m/ASTE の FMLO 観測の総合性能評価について紹介する。野辺山 45m ではプランクスカイの FMLO 観測を実施し、このデータにガウス/矩形関数型の輝線モデルを埋め込んだ上で解析することで、複数の線幅 (30, 100, 300 km/s)、S/N (5, 30 σ) でこれらの輝線が再現されることを確認した。これらの解析を複数の周波数変調パターンで実施することで、輝線幅より広い変調幅であれば輝線の再現性が十分担保されるという最適なパターンの指針を得た。また、およそ 1.7 倍 (3 倍) の感度 (観測効率) の改善を確認した。このパターンを利用した 45m/ASTE の天体信号の観測では、ゲイン推定と地球大気輝線除去を実装した新しい解析パイプライン (谷口他, 2017 年春季年会, NRO45m/ASTE Single Dish Science Workshop 2017) を利用することで、複数の系内天体においてポジションスイッチ法と矛盾ないスペクトル/マップを実証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V152a サブミリ波帯実験室分子分光計の開発と初期成果

千葉雄太郎 (東京大学, 理化学研究所), 坂井南美 (理化学研究所), 海老澤勇治, 山本智 (東京大学), 吉田健人 (東京大学, 理化学研究所), 渡邊祥正 (筑波大学), 酒井剛 (電気通信大学)

電波天文観測において、観測天体に含まれる分子種を同定したり、天体の内部運動によるスペクトル線のドップラーシフトの解析を行ったりするには、様々な分子のスペクトル線の静止周波数を正確に知っておくことが不可欠である。それらの周波数の値は実験室での分子分光実験をもとにデータベースとして整理されているものの、周波数精度が分子種の同定や速度構造の議論にあたっては不十分なこともあり、しばしば観測データの解析に不確定性と制限を与えている。したがって、天体観測に対応して実験室で分光実験を行うことは、観測感度の高まりによって今まで見えなかった微弱な輝線まで容易に観測できるようになりつつある ALMA の時代にあつてますます重要になっている。

このような状況にあつて、我々は、理化学研究所において、新しいサブミリ波帯実験室分子分光計を開発している。長さ約 2 m のガラスセルの中に測定対象の分子ガスを数 Pa 程度の圧力で満たし、その放射をサブミリ波観測のために開発された超伝導 SIS ミクサー受信機を用いて測定する。分子からのサブミリ波放射は受信機・IF 系を経て 0.2-2.2 GHz 帯にダウンコンバートされ、最高で 15 kHz のスペクトル分解能をもつデジタル分光計 XFPTS でスペクトル分析される。今のところ、周波数帯域は 210-260 GHz であるが、実験に用いている受信機が ALMA カートリッジタイプであり、テラヘルツ帯のカートリッジを用いることでそれらの周波数の測定も可能なことから、将来的にはテラヘルツ帯にも測定範囲を広げることが計画している。

講演では分光計の概要および、試験測定により得られたいくつかの分子種のスペクトル線について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V153a テラヘルツ強度干渉計の実現に向けて

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, 志岐成友 (産業技術総合研究所), 坂田美紗樹 (電気通信大学)

将来のテラヘルツスペース干渉計の実現を目指した強度干渉計の開発を進めている。我々は、光子バンチを用いた遅延時間測定で強度干渉計による画像合成が可能であることを提案し、マイクロ波干渉計でその原理を実証した(2014年秋季年会 V141a)。本講演では、テラヘルツ領域での強度干渉計の実現を目指した画像合成シミュレーションの結果と、強度干渉計の高感度化を目指したテラヘルツ光子検出器の開発状況について報告する。

シミュレーションにおいては、光子バンチを用いた遅延時間測定を定式化し、電界振幅を用いた干渉計との得失を明らかにした。光子バンチによる手法は、電界の位相を用いた手法に比べ長時間の計測が必要であり、強度干渉計による画像合成で困難な点である。一方で、大気揺らぎなどの位相雑音が大きい場合、電界の相関は失われるが、強度の相関は影響を受けにくい。このため、強度干渉計はテラヘルツ領域においてコンパクトで高輝度な天体の長基線高解像度観測で威力を発揮するものと期待される。宇宙空間からの観測では、高感度のテラヘルツ光子検出器を用いることで超高感度の干渉計を実現することが可能となり、赤外線天文衛星「あかり」でカタログされた多くの点源を高解像度で分解することが可能と期待される。

テラヘルツ光子検出器の開発では、産業技術総合研究所の CRAVITY の設備を用いることで、0.7 K 以下の極低温で超低リーク電流 (1 pA) のトンネル接合素子 ($3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$, $J_c = 200 \text{ A/cm}^2$) の作成に成功した(2017年秋季年会 V137b)。テラヘルツ帯のアンテナと高速の読み出し回路と組み合わせることでテラヘルツ光子検出器としての評価を進めている。講演では、テラヘルツ光子検出器の設計と実験成果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](#)

V154a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の準備状況

長谷川雅也 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 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/LBNL), 鈴木有春 (LBNL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 田島治 (京都大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 濱田崇穂 (東北大), 服部香里 (産総研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研)、他 POLARBEAR collaboraition

宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を通して宇宙誕生及び進化の謎の解明を目指す POLARBEAR は、2012 年より南米チリのアタカマ高地にて定常観測を開始し、初年度の観測データを用いて (CMB のみを用いた) 重力レンズ起源の B モード偏光の初観測に成功等の成果をすでに報告している。現在は観測する空の範囲を拡張し、インフレーション起源の B モード偏光の検出を狙って観測を続けている。POLARBEAR の今後の展開として、望遠鏡を 3 台に増設し、それぞれに新型のレシーバシステム (POLARBEAR-2 レシーバ) を搭載して観測を行う「Simons Array 計画」を進めている。POLARBEAR-2 レシーバには、これまでの 6 倍にあたる 7588 個の TES ボロメータを搭載して統計感度の向上をはかると共に、アンテナをシニアスアンテナに変更して、95GHz, 150GHz (3 台目のみ 220GHz, 280GHz) の 2 バンド同時観測を実現する。これにより、Simons Array では B モード偏光探索に関して前景放射の寄与を十分小さく抑えられる事が期待出来る。1 台目のレシーバは、現在高エネルギー加速器研究機構で組み立て、性能評価が行なわれている。本講演では POLARBEAR-2 の概要とレシーバシステムの開発状況、特に現在進行中の、ボロメータ及び低温光学系の性能評価試験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](#)

V155a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレシーバーシステムの光学性能評価 1

金子大輔 (Kavli IPMU), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (KEK 素核研), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 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), 服部香里 (産総研), 濱田崇穂 (東北大), 南雄人 (KEK 素核研), Frederick Matsuda (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR コラボレーションでは宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光を観測することで、宇宙初期に起こったとされる未解明の物理現象を探索している。

POLARBEAR-1 受信器による観測は南米のアタカマ砂漠にて 2012 年開始し、すでに成果をあげてきている。宇宙初期のインフレーションによる CMB 偏光の観測へ向けて、受信器を大型化してセンサーである TES ボロメータの個数を約 6 倍に増加させ、2 帯域同時測定を行うように改良を加えた POLARBEAR-2 での観測を準備している。最終的には同型の受信器 3 台による測定の Simons Array 実験へと拡張される計画である。

発表時点で POLARBEAR-2 受信器の実験室での試験は完了し、現地への輸送の段階にある予定である。本講演は実験室で実施された試験のうち、光学的な性能評価試験の総括としての結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V156a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレシーバーシステムの光学性能評価 2

濱田崇穂 (東北大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (KEK 素核研), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 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), 服部香里 (産総研), 南雄人 (KEK 素核研), Frederick Matsuda (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2(PB-2) 実験は、インフレーション理論が予測する原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) に刻んだ B モード偏光を精密観測することにより同理論の検証を目指す、地上観測実験である。また、同実験は、宇宙の大規模構造による重力レンズ効果が生む B モード偏光の観測より、ニュートリノ質量和に制限を与えることも目指す。

PB-2 は検出器として、現行の POLARBEAR-1 実験の 6 倍に及ぶ 7588 個もの超伝導転移端素子 (Transition Edge Sensor, TES) ポロメータを用い、高い統計感度を得る。また、95GHz と 150GHz の 2 帯域同時観測により、前景放射の除去を行う。将来的に、PB-2 を 3 台並べて観測を行う Simons Array 計画へのアップグレードが行われる。PB-2 のレシーバシステムは高エネルギー加速器研究機構で開発し、冷却試験、読出試験、光学試験を合わせた統合試験により性能評価を行った。発表者は光学性能評価試験の部分を担当し、バンド、ビーム、偏光、光学効率の測定を行った。本講演では、PB-2 レシーバシステムの光学試験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](#)

V157a CMB 偏光観測実験 POLARBEAR による雲の偏光の評価

高倉理, ほか POLARBEAR Collaboration

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光ゆらぎは、宇宙誕生直後に起こったと考えられるインフレーションや、ニュートリノの質量和についての情報を含んだ、極めてユニークな観測対象である。様々な実験が観測を行っており、現在、多数の超伝導検出器を搭載した地上実験が最も高い統計精度の観測を達成している。

地上実験は地球の大気を通して CMB ゆらぎの観測を行うため、大気ゆらぎが観測の邪魔になりうる。ただし、大気中の水蒸気等の分子によるマイクロ波の輻射は無偏光であり、偏光観測には問題ないと考えられてきた。

しかし、より大きな水滴や氷晶で構成されている雲の場合、散乱の効果が大きくなる。すると、主に下側から入射する地面の熱輻射を散乱するため、雲は水平方向に偏光していると考えられる。また、六角柱、六角板状をしている氷晶は空気抵抗により水平に整列しやすく、より偏光を生みやすいはずである。

POLARBEAR 実験は、チリ・アタカマ砂漠 (標高 5200 m) に設置された口径 2.5 m の望遠鏡に、150 GHz 帯に感度を持つ 1274 個の超伝導検出器を搭載し、CMB 偏光観測を行っている。2014 年からは連続回転半波長板を搭載しており、偏光信号のみを変調することで、極めて精度よく無偏光と偏光を分離することができる。

本講演では、CMB 偏光観測中に、雲が観測領域を横切ってしまったデータを解析し、雲の偏光度を評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V158a Simons Observatory 計画と望遠鏡の光学設計

松田フレドリック, Simons Observatory Collaboration

宇宙初期のビッグバンは時空の加速度的膨張「インフレーション」により生み出されたと推測されている。インフレーションの決定的証拠となりうるのが宇宙創生時の重力場の量子ゆらぎから生まれる「原始重力波」であり、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光成分の大角度 (2°) スケール「Bモード」シグナルの元となっている。小角度 (0.1°) スケール「Bモード」の銀河団による重力レンズ効果シグナル計測からニュートリノ質量和を求められる。Simons Observatory (SO) 国際共同プロジェクトは原始重力波とニュートリノ質量和の計測をCMBの偏光観測で行う史上最大のCMB望遠鏡群次世代実験である。チリのアタカマ高知 (海拔 5200 m) に 6 m 級と 0.5 m 級望遠鏡の両方を開発し、地上から過去にない精度でこれらの物理を追求する。高分解能 6 m 級 Crossed-Dragone 設計望遠鏡により小角度観測、そして複数の広範囲視野 0.5 m 級屈折型望遠鏡により大角度観測を行う。史上最良精度観測により宇宙創生、ニュートリノ質量、フォアグラウンド、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果、銀河団などの幅広い物理を研究する。本公演では SO プロジェクト計画と現段階の望遠鏡の光学設計案と光学解析を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V159a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念設計

関本裕太郎 (JAXA/ISAS), 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。

この目的を達成するため、約 30 分角の角度分解能で広視野 20×10 度をカバーする反射型低周波望遠鏡 (Low frequency telescope: LFT)、および高周波望遠鏡 (High frequency telescope: HFT) を搭載する。どちらも機械式冷凍機や放射冷却によって 5K 程度に冷却され、光子雑音を抑える。また、100mK に冷却された多色超伝導検出器アレイにより、40-400 GHz の周波数帯域をカバーする多周波観測を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。LiteBIRD は JAXA 宇宙科学研究所の概念設計フェーズ (phase A1) にあり、物理光学による光学設計や熱構造設計を進めている。米国 LiteBIRD チームも NASA のサポートを受けた開発研究を進めている。ヨーロッパに LiteBIRD コンソーシアムが立ち上がりつつあり、概念設計に参加している。本講演では、LiteBIRD の概念設計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](#)

V160a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XI

永田竜 (KEK), 今田大皓 (ISAS), 金井啓晃 (横浜国立大) ほか LiteBIRD 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、ファーサイドロープを経由した銀河面からの輻射流入による偏光地図の汚染について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V161a 大角度スケールCMB 偏光観測実験 GroundBIRD - 回転読み出し性能評価

長崎岳人 (KEK), Jihoon Choi(IFS), Ricardo T. Génova-Santos(IAC, ULL), 服部誠 (東北大), 羽澄昌史 (KEK, 総研大), 石塚光 (総研大), 唐津謙一 (TU Delft), 官野史靖 (東北大), 木内健司 (東大), 小峯順太 (京大), 古谷野凌 (埼玉大), 沓間弘樹 (東北大), Kyungmin Lee(Korea Uni.), 美馬覚 (理研), 永井誠 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大), 岡田智香 (東北大), 小栗秀悟 (理研), Rafael Rebolo(IAC, ULL, CSIC), Jose A. Rubiño-Martin(IAC, ULL), 関本裕太郎 (ISAS/JAXA), 鈴木惇也 (KEK), 瀬本宗久, 田井野徹 (埼玉大), 田島治 (京大), 富田望 (東京大学), 内田智久 (KEK, 総研大), Eunil Won(Korea Uni.), 吉田光宏 (KEK, 総研大)

GroundBIRD 実験は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の高精度な偏光観測により、インフレーション宇宙論の有力な証拠となる原始重力波の実証を目指している。地上からの大角度スケール観測において大きな問題となる大気等の信号強度の変動を抑えるため、回転速度 20RPM で観測し回転変調によりノイズを低減する。高速な回転のため、検出器は高時間分解能を有する Microwave Kinetic Inductance Detectors(MKIDs) を採用する。観測帯域は CMB 用の 145GHz 帯 (330 素子) と前景放射であるダスト用の 220GHz 帯 (112 素子) を予定している。伝送光学系は主鏡以下を真空チャンバー内に搭載して 4K で運用し、Cross-Dragon 条件を採用するなどにより偽偏光を低減する。2018 年度内にスペイン領カナリア諸島での観測を開始する予定である。

今回、プロトタイプである 145GHz 帯 10 素子の MKIDs アレイを搭載し、望遠鏡全体を連続回転した状態で読み出し試験を行った。また、145GHz 帯のさらなる低雑音化を目的としたデザインの素子を作成し、理研の希釈冷凍機で 200mK 以下に冷却して性能試験を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [H会場]

V201a	13:30	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的進捗 郷田直輝 (国立天文台)
V202a	13:42	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発 山田良透 (京都大学)
V203b	13:54	小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 上田暁俊 (国立天文台)
V204b	13:54	JASMINE における星像位置の高精度決定実証 矢野太平 (国立天文台)
V205b	13:54	実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析 鹿島伸悟 (国立天文台)
V206a	14:06	民生品を用いた・新型スタートラッカの開発 小澤俊貴 (東京工業大学)
V207a	14:18	紫外線広視野サーベイのためのキューブサットの開発 谷津陽一 (東京工業大学)
V208a	14:30	ロケット観測実験 CIBER-2: プロジェクト進捗状況 佐野圭 (関西学院大学)
V209b	14:42	ロケット観測実験 CIBER-2: 振動試験と振動シミュレーション 太田諒 (関西学院大学)
V210b	14:42	第8回すばる望遠鏡主鏡再蒸着作業報告 沖田博文 (国立天文台)
V211b	14:42	MOIRCS 用マイクロレンズアレイ面分光ユニットの開発: IFU の冷却試験 石垣剛 (岩手大学)
V212b	14:54	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)
V213b	14:54	「なゆた望遠鏡」の可視光分光器 MALLS に取り付ける新 CCD カメラの開発 杉江祐介 (兵庫県立大学)
V214b	14:54	可視赤外線同時カメラ HONIR における一露出型含む偏光モードの性能評価 長木舞子 (広島大学)
V215b	15:06	全反射型口径 1 m 宇宙太陽望遠鏡の設計検討 末松芳法 (国立天文台)
V216b	15:06	太陽フレア望遠鏡搭載 InGaAs 近赤外カメラピクセル毎非線形感度補正 森田諭 (国立天文台)
V217b	15:06	太陽磁場測定のための近赤外線偏光観測用カメラの冷却システムの開発 石塚典義 (東京大学 / 国立天文台)
V218b	15:18	明野 50cm 可視光望遠鏡の 2017 年度運用実績 村田勝寛 (東京工業大学)
V219b	15:18	惑星用補償光学系の開発の進捗状況 (3) 渡邊誠 (岡山理科大学)
V220c		「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (10) 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [H会場]

V221a	09:30	地球型惑星検出用すばる赤外線ドップラー分光器 13: 装置現状とコミッショニング 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総合研究大学院大学)
V222a	09:42	赤外線視線速度測定装置 IRD の性能検証 2: すばる望遠鏡搭載後の評価 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
V223a	09:54	Status of KAGRA Mark Andrew Barton (NAOJ)
V224a	10:06	重力波望遠鏡 KAGRA のための防振懸架系の開発 正田亜八香 (国立天文台)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V225a	10:18	重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた連星合体の早期方向特定性能の見積もり 藤井善範 (東京大学)
V226a	10:30	次世代赤外線天文衛星計画 SPICA の最新状況 金田英宏 (名古屋大学)
V227a	10:42	スペース中間赤外線高分散分光の実現に向けた CdZnTe イメージングレーティング用コーティングの評価 道井亮介 (東京大学)
V228a	10:54	国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 に搭載する近赤外線偏光分光装置 SCIP 勝川行雄 (国立天文台)
V229a	11:06	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen Q0 の性能評価 小島悠人 (東京大学)
V230a	11:18	反射率測定の問題点と分光光度計の開発 沖田博文 (国立天文台)

3月16日(金) 午後(13:30-15:30) [H会場]

V231a	13:30	TMT 計画 - 進捗報告 白田知史 (国立天文台)
V232a	13:42	TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造準備 齋藤正雄 (国立天文台)
V233a	13:54	TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 II 大屋真 (国立天文台)
V234a	14:06	望遠鏡光学系用ガラス材のコーティング剥離プロセスについて 林左絵子 (国立天文台)
V235a	14:18	TMT 第一期観測装置 IRIS の開発: 瞳アラインメントと観測感度の解析 鈴木竜二 (国立天文台)
V236a	14:30	東京大学アタカマ天文台 TAO プロジェクト:口径 6.5m 望遠鏡の進捗状況 峰崎岳夫 (東京大学)
V237a	14:42	TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発進捗報告 小西真広 (東京大学)
V238a	14:54	超精密加工による SWIMS-IFU 用ミラーの試験加工 河野志洋 (東京大学)
V239a	15:06	TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線装置 MIMIZUKU の輸送後性能評価試験 上塚貴史 (東京大学)
V240a	15:18	MIMIZUKU 反射光学系の冷却下における結像性能・歪曲収差の評価 森智宏 (東京大学)

3月17日(土) 午前(9:30-10:18) [H会場]

V241a	09:30	恒星フレア研究のための中央大学 36cm 望遠鏡: SCAT の立ち上げ 河合広樹 (中央大学)
V242a	09:42	高精度測光分光のための集積回路における長期的な信号変動の補正方式 合田翔平 (大阪大学)
V243a	09:54	多地点複数望遠鏡の観測マーシャルシステムの構築 伊藤亮介 (東京工業大学)
V244a	10:06	K-dark バンドでの南極大気光スペクトルを調べる小型南極カメラの開発 津村耕司 (東北大学)

V201a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的進捗

郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 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), 吉岡 諭 (東京海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大), 梅村雅之 (筑波大), 西 亮一 (新潟大), 浅田秀樹 (弘前大), 長島雅裕 (長崎大), 石村康生 (宇宙研/JAXA), 中須賀真一, 酒匂信匡 (東大工), ほか JASMINE ワーキンググループ同

超小型衛星の Nano-JASMINE は、Gaia では星像中心の位置決定が困難となる明るい星に対しての測定を行えること等で Gaia チームからの期待も大きく、打ち上げ実機 (FM) の維持管理、地上通信局、データ解析開発等の準備が引き続き進んでいる。また、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交渉、調整等いくつかの検討が併行して進められている。一方、小型 JASMINE は、銀河系中心核バルジの星、8900 個程度に対して年周視差を 20μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 20μ 秒角/年以内) で測定する。こうして得られる星の位置天文情報を用いて、天の川銀河の探求を通しての銀河の形成進化の解明を目的とし、銀河系中心核バルジ内での力学構造や巨大ブラックホール・星・星団の形成、共生 X 線連星等の解明、重力レンズ効果によるブラックホール探査、ミラ型変光星やセファイド変光星の距離測定等を科学目標とする。また、その他興味ある特定天体 (CygX-1 やガンマ線連星、褐色矮星の系外惑星等) に対しても公募により観測を行う。さらに、小型 JASMINE のデータを用いて期待できる科学的成果を広げるための国際協力等も行っている。また衛星システム全体の詳細検討や技術実証実験、今後の開発計画等の詳細化を進めてきている。以上の進捗の概要を報告する。なお、JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへ応募しているが、その後の審査状況等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](#)

V202a Nano-JASMINE と小型 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), 小林行泰、郷田 直輝、矢野 太平、吉岡 諭 (海洋大)、穂積俊輔 (滋賀大)、酒匂 信匡、中須賀真一 (東京大学)

Nano-JASMINE は、日本初の位置天文観測衛星、小型 JASMINE は赤外線によるスペース位置天文としては世界初の衛星である。Nano-JASMINE のデータ解析は、Gaia チームとの協力で進めてきて、ESA の大型位置天文観測衛星 Gaia 用に構築された core 解析ソフトウェア AGIS (Astrometric Global Iterative Solution) を、Nano-JASMINE 用に一部修正して用いることは、本学会でも何度か紹介してきた。

小型 JASMINE は、本講演申込時には国際審査の準備中であり、間もなくミッション定義フェーズに上る予定である。ミッション提案時に提出した LOI に基づき、現在 Heidelberg 大学とデータ解析に関する協力を進めている。そのための DLR 予算の獲得の話も進行中である。

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、他のハードウェアコンポーネント同様、ソフトウェア開発の WBS を作る必要があるが、Heidelberg 大学のチームはすでに Gaia のソフトウェア開発において経験があるため、WBS の構築に関する議論を進めてきた。現在、衛星運用との関連をもとにソフトウェア動作の時間チャートを整理し、必要な機能の洗い出しを行った。これをソフトウェアコンポーネントに落とし込み、開発手順を整理している。コンポーネントレベルでの開発時間は、およそ Gaia のソフトウェアの 1 iteration の時間に相当しており、妥当な WBS が構築できた。

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](#)

V203b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証

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(国立天文台)、山田良透(京大理)、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。システムの個別要素技術の開発について、課題を解消できた部分も増えつつあるため、各要素技術の組み合わせ試験を行うフェーズへ移行している。今年度は、望遠鏡精密モデルと望遠鏡熱制御試験の検証を行うべく、準備を進めている。熱制御の検証では、スペースチャンバー内で、望遠鏡の精密モデルをヒーターパネルで囲み、熱流入の分布に対する望遠鏡の熱応答を見る。望遠鏡は0.1度の熱安定度を求められているため、熱流入を10倍程に拡大し、その振る舞いを確認する。熱試験前の事前熱検証解析は終了したため、試験モデルの構築及び試験系の構築を進めている。講演では、試験事前解析と試験系について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](#)

V204b JASMINE における星像位置の高精度決定実証

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 宇都宮真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎, 井上登志夫 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), ほか 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。現在 JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへ応募し、評価委員会から高精度位置決定の実現性についての実証を行うことが課され、我々は実験室における実験や数値シミュレーションを用いて高精度位置決定が確かにできている事を示してきた。

さらに放射線などによって検出器の特性が比較的短いタイムスケールで変動した場合、短期的変動の影響も懸念されており、その影響がどのように効くのかについて検討をおこなった。放射線による検出器の感度変化により星像の中心位置がずれるが、定常的な感度の影響については我々のミッションでは問題とならない。むしろ、一定時間（ミッション期間と比べて十分短い時間）で感度が回復するケースで問題となる可能性がある。放射線の数とその影響によっていくつかの場合わけをし、それぞれについてどのような影響となるのか、またどのようにその影響を補正するのかについて報告を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b 実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析

鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 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)

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 というのは”Bidirectional Reflectance Distribution Function”の略で $1/\text{sr}$ を単位とする数値データであり、昨今の照明解析ソフトの多くで扱える散乱特性を表す汎用形式である。

本発表では、散乱特性の高精度実測に関する具体的な手法や装置、その結果である BRDF データ、及びそれを用いた迷光解析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](#)

V206a 民生品を用いた・新型スタートラッカの開発

小澤俊貴, 谷津陽一, 吉井健敏, 間宮英生, 河合誠之 (東工大理学院), 菊谷侑平, 林雄希, 新谷勇介, 小泉翔, 増田雄斗, 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)

我々は超小型衛星による紫外線観測ミッションの実現のための要素技術の獲得を目指して、民生品を用いた低コスト・小型スタートラッカと地球カメラの開発を行っている。現在超小型衛星の開発競争は激化し、今日では cubesat 用の安価な高性能な姿勢センサが市販されるに至っている。しかしこれらのセンサの多くは軌道上実証されているものは少なく、センサの確実な動作は宇宙科学ミッションを行う際のひとつの懸念事項となる。また天体観測ミッションでは通信の制約から軌道上で取得したすべての画像を地上へ下ろすのは現実的ではない。そこで取得した画像に対していくつかの処理を軌道上で行う必要があり、そのためには軌道上で運用実績がある計算機が必要になる。我々は軌道上でも確実に動作する姿勢センサと衛星搭載計算機、また実用的なシステム設計手法の習得を目標に民生品を用いた低コスト・小型スタートラッカと地球カメラの開発を行っている。この技術は軌道上 WCS 書き込みとして観測衛星の要素技術となる。

スタートラッカの目標性能は、科学観測ミッションでの利用を想定して姿勢決定精度 10 秒角・更新頻度は 1Hz を目指す。一方、搭載計算機には CPU クロックが 1GHz 以上のシングルボードコンピュータを搭載し、Deep Learning を含む高度な画像処理を軌道上で実現する。このシステム設計にあたっては柔軟な操作性と信頼性向上を目的として、高信頼の低機能 CPU を採用し、コマンドハンドリングとハウスキーピング、全系の電源スイッチングを行う。本講演ではミッションの概要、システム設計、姿勢計算アルゴリズム、軌道上での運用計画について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207a 紫外線広視野サーベイのためのキューブサットの開発

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, 松下将典, 松永三郎 (東工大), 富永望 (甲南大), 田中雅臣 (国立天文台), 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 (株式会社ジェネシア)

我々は、電磁波天文学においてほとんど未踏の帯域である「近紫外線 (235~270 nm)」における突発天体の広視野サーベイを目的として、6Uサイズの超小型観衛星 (キューブサット) の開発を行っている。本講演ではその概念設計と開発状況について紹介する。紫外線域で期待される突発現象は多岐にわたる。特に確実な成果が期待されるのは、重力崩壊型超新星のショック・ブレイクアウト、潮汐破壊現象、そして昨年はじめて発見された中性子星連星合体からの早期紫外線放射などがあり、世界的にも注目を集めつつある。我々はこの帯域を浅く広く監視して、条件の良い明るい天体のみを探し出し、地上の中小望遠鏡と連携した密な観測を行う。

紫外線観測の技術的障壁は、地球大気による吸収と、紫外線用の撮像素子技術の二つである。我々は世界に先駆けて観測を実現するために、開発期間の短い超小型衛星を利用することにした。撮像素子には JPL が開発する”delta-doping”裏面照射型 CMOS を採用する。また、バンドパスフィルタはセンサ表面に直接積層し、観測帯域での高透過率と可視光遮蔽を両立する。衛星の規格から光学系の主鏡口径は 8 cm に制限されてしまうが、高い透過率により 20 等級の検出限界と ~20 平方度の視野を実現する。軌道上ではタイリング観測を行う予定であり、例えば 100 平方度スキャンで期待される年間イベント数は、重力崩壊型超新星が ~3 回、潮汐破壊現象が ~2 回程度となり、おおよそ月に 1 回のビッグ・イベントが約束される。さらに、現状の aLIGO の射程内で中性子星連星合体が起これば、その早期紫外線放射も確実に検出することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V208a ロケット観測実験 CIBER-2：プロジェクト進捗状況

佐野圭, 松浦周二, 児島智哉, 太田諒, 瀧本幸司, 岩崎稔広, 檀林健太, 山田康博 (関西学院大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 津村耕司 (東北大学), 松本敏雄 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

我々は、日米韓台の国際協力によるロケット観測実験 Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER-2) を進めている。これまでの CIBER 実験や衛星観測の結果によると、近赤外線宇宙背景放射には通常の銀河以外に、宇宙再電離期の初代星や銀河ダークハロー浮遊星など未知の天体からの放射が含まれる可能性がある。それら未知天体の宇宙背景放射への寄与を明らかにするためには、近赤外線に加えて可視光における空間ゆらぎおよび放射スペクトルを高い精度で測定することが有用である。そこで CIBER-2 実験では、NASA の観測ロケット Black Brant に口径 28.5 cm の冷却望遠鏡を搭載し、波長 0.5–2.0 μm において 6 つの測光バンドでの撮像観測と、リニアバリアブルフィルターによるスペクトル観測を行う。

2018 年中頃の観測を目標として、日本チームは望遠鏡と後置レンズ光学系の製作と、その光学性能および振動特性の評価に取り組んできた。2017 年にはレンズ系を模擬したダミー部品を製作し、全体系および望遠鏡単体の振動試験を実施した。その結果、ロケット打ち上げ時に望遠鏡の結像性能が劣化するおそれがあることが判明した。そこで、振動を緩和する機構を新たに開発し、振動試験を再度実施する計画である。それと並行して、フライトモデル部品の製作が完了し、常温における光学性能を評価中である。2018 年はじめにはカリフォルニア工科大学において CIBER-2 の全体系を組み立てるとともに、低温における光学性能評価、測光較正、最終振動試験を行う予定である。本講演では、プロジェクトの進捗状況と今後の計画を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209b ロケット観測実験 CIBER-2：振動試験と振動シミュレーション

太田諒, 松浦周二, 佐野圭, 児島智哉, 瀧本幸司, 岩崎稔広, 檀林健太, 山田康博 (関西学院大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 津村耕司 (東北大学), 松本敏雄 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

我々は、宇宙赤外線背景放射の空間的ゆらぎと放射スペクトルを高精度に観測するロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) プロジェクトを進めている。既に観測を終えた CIBER では近赤外線の大きなゆらぎ成分が検出されたため、CIBER-2 では、より高い精度で可視域まで拡張した放射スペクトルを測定し、宇宙再電離期の放射の観測を目指す。日本では主に望遠鏡システムの開発を担い、2018 年の打ち上げを目標とする。CIBER-2 の望遠鏡は、冷却に伴う熱収縮によるひずみを最小限に抑えるため、主鏡と副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全体をアルミニウム (A6061-T6) で製作した口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式の液体窒素冷却望遠鏡である。これまで、観測装置の構造設計の妥当性を確かめるために構造解析ソフトウェアを用いて振動シミュレーションを行ってきた。また、2017 年にはレンズ系の質量、重心、形状を模倣した部品をアルミニウムで作製し、そのダミーシステム全体と望遠鏡部分のみの振動試験を行い、振動特性を評価した。振動試験の結果とシミュレーションを比較した結果、ロケット打ち上げ時には主鏡部分にアルミニウムの降伏応力を越える応力がかかる危険性があることが分かった。そこで、ダイナミックダンパーなどの減衰機構を考慮した振動シミュレーションを行った後、再び振動試験を実施する計画である。本講演ではそ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](#)

V210b 第8回すばる望遠鏡主鏡再蒸着作業報告

沖田博文（国立天文台ハワイ観測所）、ほか主鏡再蒸着チーム、作業支援者、ハワイ観測所一同

国立天文台ハワイ観測所では数年に1度の頻度ですばる望遠鏡の主鏡の再蒸着を実施している。主鏡再蒸着はハワイ観測所における最大の保守作業で、多くの時間、費用、マンパワーが必要となる作業である。今回は2017年10月2日～12月13日にかけて一般共同利用観測を停止（ダウンタイム）し、第8回目の主鏡再蒸着及び関連保守作業を実施した。

主鏡再蒸着作業は(1)事前準備、(2)分解、(3)洗浄、(4)傷検査、(5)再洗浄、(6)蒸着、(7)関連保守作業、(8)組立、(9)PA/MA、(10)事後作業、と大きく10の行程に分けられる。本講演ではそれぞれの工程の概要を解説するとともに、新たな取り組みや改善点について報告する。

今回の主鏡再蒸着作業によってすばる望遠鏡の主鏡の反射率は92.1% (@400nm)、90.5% (@600nm)、85.8% (@800nm)となった。作業前（前回2013年の蒸着から約4年が経過）の反射率は70～76% (@400nm)、75～80% (@600nm)、73～78% (@800nm)であったため、特に短波長側で20%近く反射率が回復したことになる。また蒸着したアルミニウムの膜厚は110～120nm程度と推定される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211b MOIRCS用マイクロレンズアレイ面分光ユニットの開発：IFUの冷却試験

石垣剛, 加賀亨 (岩手大学), 岩田生, 服部堯, Julien Rousselle, 西村徹郎, 田中壘, 田中陽子, 尾崎忍夫, 小俣孝司 (国立天文台), 有本信雄 (ソウル大)

すばる望遠鏡多天体近赤外分光器 MOIRCS のアップグレードの一環として、マイクロレンズアレイ (MLA) を用いる面分光ユニット (IFU) の開発を進めている。IFU は MLA (advanced microoptic systems 製、3mm ピッチ、 9×31 レンズ)、拡大レンズ、フィールドレンズ、4枚の平面ミラーから成り、空間サンプリング $0.2''$ で視野 $1.8'' \times 6.2''$ 、HK500 グリズムと組み合わせれば、波長分解能 $R \sim 860$ で波長範囲 $1.4\text{--}2.3\mu\text{m}$ のスペクトルが、VPH グリズムを用いれば、各グリズムの波長範囲で $R \geq 4000$ のスペクトルが得られる設計となっている。光学素子ホルダーは全て岩手大学高度試作加工センターで製作し、素子単体での冷却試験を国立天文台先端技術センターで行い安定性を確認した (2015 年春季年会)。その後、ハワイ観測所において、IFU を実際の観測でも使用する予定の冷却実験用真空チャンバー (Mini Lab) に組み込み、IFU 全体での冷却試験を進めてきた。

Mini Lab 内で 110K に冷却した下で、IFU により結像されたマイクロピューピル像の形状を測定したところ、常温における形状からの変化は見られなかった。また、IFU 内で光束の大きなけられが無いことを確認した。冷却時における IFU の結像性能に問題が見られなかった一方で、透過率の低下が明らかになった (大きいときには可視光 550nm の測定で常温時の 50% 以下)。これは Mini Lab 内の出ガスの光学素子への付着が原因と考えられたことから、冷却前にベイクング等の対策を行った結果、透過率の低下は大幅に軽減した (可視光 550nm で常温時の $70\text{--}80\%$ の透過率)。この透過率の低下は波長 650nm での測定の方が小さい (550nm の 80% に対して $\sim 85\%$)。今後はベイクングを十分に繰り返すなどの対策を行い、さらに透過率の低下を抑えることを目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V212b 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、日本最大口径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、可視光撮像装置・可視分光装置・近赤外撮像装置・可視光ターゲット観測システム・可視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。

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 40 夜から 45 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、2017 年 6 月に起きた雷事故についてやや詳細に発表する。原因や事後処理、再発防止策などについて報告する。また、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](#)

V213b 「なゆた望遠鏡」の可視光分光器 MALLS に取り付ける新 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。MALLS には FLI 社の CCD カメラ (PL23042-1-B) が搭載されており、使用されている CCD 素子は 2000 × 2000 ピクセルの e2V 社製 230-42 である。

我々は MALLS にエシェ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 社の新しい CCD 素子 (型番: CCD261-84) を購入した。この素子は 2000 × 4000 ピクセルの画素数を持ち、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。

今までにこの CCD 素子を収納するカメラ容器を製作し、真空・冷却試験を行った。デュワー容器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。真空試験では、当初十分な真空度が得られなかったが、O リングや真空バルブ等のデュワー容器の構成部品の見直しを行い、冷却時に 1.57×10^{-6} Torr の真空度を達成した。また、冷却時の温度は CCD チップの搭載場所で約 -100 を目標としているが、現時点では約 -70 までしか冷えない。これに関しては熱パスの部品構成を再検討することで改善を試みている。CCD の駆動回路と読み出し回路は MESSIA6+Mfront2 を使用する予定である。

本講演では、これまでに製作した真空デュワー容器の詳細、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](#)

V214b 可視赤外線同時カメラ HONIR における一露出型含む偏光モードの性能評価

長木舞子, 川端弘治, 中岡竜也, 川端美穂, 森裕樹, 松場祐樹 (広島大), 伊藤亮介 (東京工業大), 秋田谷洋 (埼玉大), 吉田道利 (国立天文台)

HONIR は可視光と近赤外線での同時観測が可能な観測装置で、広島大学 1.5m かなた望遠鏡の主力装置となっている。HONIR は直線偏光測定機能も有しており、可視近赤外同時偏光観測という世界的にもユニークな機能を持つ装置として活躍している。HONIR の偏光観測モードは、通常モードと一露出型モードの 2 つがある。2017 年秋季年会において、YLF 製ダブルウォラストンを用いた一露出型モードの評価結果について、偏光能率 (器械消偏光) などの基本特性は、通常モードの YLF 製ウォラストンプリズム (WP) とほぼ同じであることを報告した。しかし、2017 年 7 月に新たなコリメータレンズ系を導入して以降、通常モードの偏光能率に大きな変化が見られたため、一露出型を含めて、HONIR の偏光観測の再評価を実施した。

まず、今年 6 月以前の偏光能率を再確認したところ、通常モード、一露出型モードともに、V, R, Ks バンドでそれぞれ約 50%、約 61%、約 95% であった。次に、8 月以降に取得された 100% 偏光を生じるワイヤグリッドを挿入して観測したデータ及び強偏光標準星データをリダクションしたところ、通常モード、一露出型モードともに、V, R, Ks バンドでいずれも 99% 以上の高い偏光能率が得られた。通常モードのスペアの WP (以前、HONIR に装着して冷却下においても現行の WP と偏光能率が同じであることを確認済) を実験室にて評価したところ、500-650nm の入射光に対し 95% を超える偏光能率が確認できたことから、6 月までの可視域の偏光能率が良くなかった原因は、現行の WP ではなく、以前のコリメータレンズ系によって消偏光効果があったと考えるのが自然であろう。講演では、以前使用していたコリメータレンズ系の調査も含めて本件の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215b 全反射型口径 1 m 宇宙太陽望遠鏡の設計検討

末松芳法, 原弘久, 勝川行雄, 鹿野良平 (国立天文台), 一本潔 (京都大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA), SOLAR-C WG

太陽磁気活動現象のエネルギー源となる下部光球から、磁気エネルギー・質量の輸送・解放の現場となる彩層・コロナまで、切れ目なく高い空間・時間分解能で観測し、太陽磁気大気の成因及びその加熱・ダイナミクスの起源解明を行うためには、宇宙から、紫外から近赤外にわたる有用なスペクトル線で高精度偏光分光観測を行う必要がある。太陽望遠鏡としては、熱設計がしやすく排熱が効率的に行えるグレゴリー反射系が有利である。次期太陽観測衛星の科学目的を達成するため、口径 1m のグレゴリー光学系を元に、視野 300 秒角にわたり、色収差のない回折限界性能を達成する光学系を設計した。望遠鏡と焦点面装置と緩い位置トレランスで結合し、射出瞳位置 (瞳径 ~40 mm) に可動光学系 (回転波長板、像安定 Tip-Tilt 鏡) を配置するため、3 枚の非球面からなるコリメータ系をグレゴリー焦点に配置する。グレゴリー系の像面湾曲を許し、視野端の収差を小さくするよう、グレゴリー系とコリメータ系を最適化すると視野角 300 秒角にわたり Strehl 比が 1 に近い系の設計が可能なが分かった。焦点面の再結像系としては、像面湾曲が逆の符号を持つカセグレン系 (焦点調整機構を考慮して、光路に遮蔽のない軸外し系) が設計可能なが分かった。これにより、紫外から近赤外まで色収差がなく回折限界性能を持つ全反射光学系が可能となる。製作面から、グレゴリー系、コリメータ系、軸外しカセグレン系の光学特性、太陽望遠鏡としての利点を詳述する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216b 太陽フレア望遠鏡搭載 InGaAs 近赤外カメラピクセル毎非線形感度補正

森田 諭, 花岡庸一郎, 桜井 隆 (国立天文台)

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡の口径 15cm 第 2 望遠鏡は、高速偏光変調が可能なポラリメーター、分光器、高速読み出しが可能な近赤外カメラ (Xenics 社製 Xeva InGaAs 640 CL TE1: 最大 90 fps, 512×640 ピクセル) からなる分光偏光観測装置を搭載し、シーイング起因の偽偏光の発生を抑えながら、He I $1.0830 \mu\text{m}$ 、Fe I $1.5648 \mu\text{m}$ 、及び、Si I $1.0827 \mu\text{m}$ 吸収線付近での太陽全面フルストークススペクトルのモニター観測を、2010 年度より定常的に行っている。2015 年にはグレーティング下流に搭載する近赤外カメラを、それまでの 1 台から 2 台に増やし、上記 3 つの吸収線を同時にカバーできる様になった。現在は 2 時間 20 分の時間間隔にて上記 3 つ吸収線での太陽全面フルストークススペクトルを同時取得している。

使用の Xeva InGaAs 640 CL では、受光感度特性に無視できない非線形性がある。この特性はピクセル間でもカーブが異なるため、ピクセル毎にて非線形応答補正を施す必要がある。我々は代表的な使用温度に対して室内実験を行い、ピクセル毎の受光感度特性カーブを、同一ピクセルにて同一カウントを与えた入射光量は同一であるという作業原理のみにて数学的に求めた。次に、ピクセル毎に独立に得られたカーブ間でのスケール合わせを、フラット導出に利用される Kuhn のアルゴリズムを応用することにより行った。得られた非線形感度補正用の Look up table の保持には、カメラダイナミックレンジ \times ピクセル総数の配列が必要となる。一方で、定常観測がもたらす補正すべき画像の総撮像枚数は 2 時間 20 分毎に 3 万 6 千枚にも及ぶ。定常観測にピクセル毎の非線形応答補正を組み込むためには現実的なメモリサイズ、処理時間で行わなければならない。我々は、Look up table を等間隔に間引き、処理手順を工夫することにより、これを解決した。本講演ではこれらについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217b 太陽磁場測定のための近赤外線偏光観測用カメラの冷却システムの開発

石塚典義 (東京大学/国立天文台), 花岡庸一郎, 勝川行雄, 森田諭, 鎌田有紀子, 原弘久 (国立天文台)

我々は、太陽磁場を測定するため、近赤外偏光観測用のカメラシステムの開発を行っている。Teledyne 社の HAWAII-2RG を用いて、高速 (35fps)、大フォーマット (2k×2k)、低ノイズなカメラを目指す。近赤外線帯にはゼーマン効果に高い感度を示すスペクトル線が存在し、代表的な観測波長は、HeI の $1.083\mu\text{m}$ や FeI の $1.6\mu\text{m}$ である。そのため、カットオフ波長 $1.7\mu\text{m}$ の素子を利用する。冷却システムへの要求は、(1) 暗電流を抑えるため -110 以下に冷却すること、(2) 検出器の破損を防ぐため冷却時や昇温時の温度変化を 1 分あたり 1 以内に抑えること、である。そこで、スターリング冷凍機を用い、冷凍機への供給電力を制御して、この 2 つの要求を満たすように検出器の冷却・低温維持・昇温を行うシステムの製作を行っている。まず、検出器を搭載しない状態で冷却システムの到達温度を確認する実験を行った。その結果、冷凍機が最大出力のとき、-128 まで冷却できた。また、ヒーターで検出器からの 1W の熱を模擬したとき、-115 まで冷却できることを確認した。検出器からの熱 1W は、検出器の駆動による発熱 0.3W に加え、検出器読み出し回路からケーブルを通して伝導する熱や、検出器の赤外吸収率が高いことによる放射から受け取る熱の増加を含んでいる。次に、熱収支を計算し、それを検証する実験を行った。例えば、内部の温度計やヒーターと接続している導線からの熱伝導と、窓からの熱放射が、支配的な熱流入となり、熱流入の合計は 0.8W となった。以上の実験、計算結果から熱モデルを作成し、そのモデルを基に温度情報を得ながら自動で冷凍機への供給電力を制御するシステムを製作する計画である。本講演では、冷却システムの仕組み及び熱計算とその検証実験について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218b 明野 50cm 可視光望遠鏡の 2017 年度運用実績

村田 勝寛, 伊藤 亮介, 河合 誠之, 谷津 陽一, 橘 優太郎, 吉井 健敏, 針田 聖平, 森田 浩太郎, 間宮 英生, 白石 一輝 (東京工業大学), 黒田 大介, 柳澤 顕史, 花山 秀和 (国立天文台)

明野 50cm 可視光望遠鏡はガンマ線バーストの残光追跡観測を行う MITSuME (Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) の中の一つで 2005 年度より東京工業大学が運用している。継続時間の短いガンマ線バーストの即時フォローアップ観測を実行するため、ガンマ線バースト観測衛星からの発見アラート受信後に即座にフォローアップ観測をする体制がしかれており、最短で 1 分以内に観測を開始することが可能である。このために、観測システムのほとんどは自動化されており、東京工業大学の大岡山キャンパスからリモートで観測の監視と運用を行っている。年間で 30-40 件程度のフォローアップ観測を行っており、今年度は 2017 年 11 月 30 日時点で 2 件の残光検出に成功し報告している (GCNC 22001 Harita et al. 2017, GCNC 21124 Morita et al. 2017)。また、ガンマ線バーストの観測という本来の目的に加えて、現在は、活動銀河核のモニター観測や光赤外線大学間連携事業による観測も行っている。本講演では、明野 50cm 可視光望遠鏡の運用体制について紹介し、さらにガンマ線バーストフォローアップを中心に今年度の観測実施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](#)

V219b 惑星用補償光学系の開発の進捗状況(3)

渡邊誠, 寺地慶祐, 鎌苅リズキー洋志 (岡山理科大学), 大屋真 (国立天文台)

岡山理科大学では、北海道名寄市に設置した北海道大学 1.6 m ピリカ望遠鏡に搭載するための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、多層共役補償光学系 (MCAO) により、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ている。波面測定の参照光源には、広がった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。これまでに、MASS-DIMM を用いた名寄サイトの大気擾乱高度プロファイルの測定 (合田他: 2014 年春季天文学会) と MCAO 補正性能の計算機シミュレーション (渡辺他: 2015 年春季天文学会) の結果から、システムの基本構成を、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 MEMS 型可変形鏡と 4 台の 11 \times 11 素子のシャックハルトマン波面センサ (それぞれ視野 18 \times 18 秒角) を用いた MCAO システムとして、光学系と機械系の設計・製作を進めてきている (渡辺他: 2017 年春季天文学会)。

機械系の設計・製作は当初の計画よりも遅れているが、これまでに、AO モジュール全体エンクロージャー、主光学系のミラーマウントなど光学機械系の製作が完了し、組み立てと光学調整を進めている段階である。波面センサについても 4 台分の光学機械系の設計が完了し、2018 年 1 月末頃までに製作完了の予定である。これらに並行して、可変形鏡の制御ソフトウェア作成や駆動試験、波面センサカメラのデータ読み出しソフトウェアの作成なども進めており、2018 年 3 月までに実験室にて模擬光源を用いて補償光学系の閉ループ試験を行う予定である。本講演では装置の組み立て・調整状況、および実験室における閉ループ試験の進捗状況と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](#)

V220c 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (10)

山村一誠 (ISAS/JAXA)、「あかり」チーム

われわれ「あかり」チームは、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、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5年間の予定で進められてきており、本年度をもって終了の予定である。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ただけでなく、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）ではこれらのデータの内容、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](#)

V221a 地球型惑星検出用すばる赤外線ドップラー分光器 13: 装置現状とコミッションング

小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 周藤浩士 (ABC/NAOJ), 西川淳 (NAOJ/総研大/ABC), 上田暁俊, 大宮正士, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 鈴木竜二, 工藤智幸, 日下部展彦, 原川紘季, 林正彦, 福井暁彦, 小西美穂子, Oliver Guyon(NAOJ), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行 (NAOJ/総研大), 堀安範, 橋本淳, 葛原昌幸 (ABC), 馬場はるか, 細川晃, 石川裕之 (総研大), 黒川隆志 (NAOJ/農工大), 森貴宏, 小久保宰, 田中洋介 (農工大), 柏木謙 (産総研), 池田優二 (Photocoding), 佐藤文衛, 玄田英典, 平野照幸, 藤井友香 (東工大), 成田憲保, 生駒大洋, 河原創, 石塚将斗 (東大), 町田正博 (九大), 松尾太郎 (阪大), 長田哲也 (京大), 荻原正博 (二一ス大), 比田井昌英 (東海大), 西山正吾 (宮城教育大学), 權静美 (ISAS), 呉大鉉 (NMSC Korea), Don Hall, Klaus Hodapp, Shane Jacobson(ハワイ大), IRD チーム

IRD(Infrared Doppler) は、M 型星まわりの地球型惑星検出や惑星形成過程を明らかにするためのすばる望遠鏡用赤外線高分散分光器である。IRD は 2017 年 8 月にすばる望遠鏡でのファーストライトを迎え、970-1750nm において波長分解能最大 70,000 のデータ取得に成功した。将来の大規模サーベイによりハビタブルゾーンにある 1 地球質量惑星の検出を含む様々な惑星の発見が期待される。本講演では装置の現状と試験観測の結果について報告する。1m/s の高精度視線速度測定を達成するためのレーザー周波数コムや、安定性を追求した冷却系・光学系、モーダルノイズを低減するスクランブラーなどについて詳しく述べる。試験観測では装置安定性や効率評価のために視線速度標準星や M 型星などの観測を行ったが、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](#)

V222a 赤外線視線速度測定装置 IRD の性能検証 2: すばる望遠鏡搭載後の評価

葛原昌幸 (ABC/NAOJ), 平野照幸 (東工大), 大宮正士, 橋本淳, 日下部展彦, 小西美穂子 (ABC/NAOJ), 小谷隆行, 西川淳 (NAOJ/総研大/ABC), 黒川隆志 (NAOJ/農工大), 小久保宰, 森貴宏, 田中洋介 (農工大), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 石塚将斗 (東大), 上田暁俊, 細川晃 (NAOJ/総研大), 工藤智幸 (NAOJ), Shane Jacobson, Klaus Hodapp (ハワイ大), IRD 装置チーム

我々はすばる望遠鏡において赤外線視線速度観測を行い, 低温 M 型星を周回する惑星を探索する計画, InfraRed Doppler(IRD) を進めている. 我々は, IRD で用いる高分散分光器やレーザー周波数コムのみすばる望遠鏡への搭載を 2017 年に進めた. IRD の目標である地球型惑星の検出のためには, 高精度かつ高い安定性の視線速度観測が必要である. そこで我々は, ハワイ大学 IfA の実験室での性能検証 (2017 年春季年会, V232a 参照) に引き続き, IRD の性能評価を行うための測定や試験観測をすばる望遠鏡で進めてきた.

本講演ではすばる望遠鏡での IRD の性能評価について報告する. すばる望遠鏡では IfA と異なる電源環境のために, 検出器の読み出し雑音異なる可能性がある. しかし, 我々が採用した読み出し方法を用いた場合, IfA での場合と同様に, 期待される光子雑音 ($> \sim 100 e^-$) よりも, 読み出し雑音は十分に低減できた. また, トリウム・アルゴンなどのホロカソードランプやレーザー周波数コムを参照光として IRD で繰り返し測定することで, 視線速度安定性を調べた. 安定性の基準となる 2 つのファイバーからのスペクトルの相対視線速度変動の標準偏差は, これまでの測定と解析の結果ではどちらの参照光においても, およそ 2 m s^{-1} 以下であった. さらに, 我々は恒星に対する視線速度安定性を検証するために, 視線速度標準星の試験観測も行った. 本講演では, 視線速度標準星から得られた視線速度安定性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](#)

V223a Status of KAGRA

Mark A. Barton on behalf of the KAGRA Collaboration

Advanced LIGO, which consists of two gravitational wave detectors in the US, has detected several gravitational wave signals from black hole binary coalescences since coming on line in September 2015. Since being joined by the Virgo gravitational wave detector built near Pisa, Italy, it has also detected a neutron star binary coalescence with optical, gamma-ray and other electromagnetic counterparts. Further improvement of source localization is extremely important for the observation of electromagnetic counterparts, so it is desirable to establish an international cooperative observation network including LIGO, Virgo and the KAGRA detector in Japan. The large-scale cryogenic gravitational wave telescope KAGRA is a project involving more than 70 universities and institutes in Japan and overseas. KAGRA is a laser-interferometric gravitational-wave telescope with a baseline length of 3 km and is installed about 200 meters underground at Mt. Ikenoyama, in Hida City, Gifu Prefecture, where seismic activity is about 1/100 of that at the ground surface. The effects of ground vibration on the mirrors are further reduced with with multistage pendulums. In order to reduce the thermal noise from the interferometer mirrors and suspension wires, the test masses and nearby parts of the suspension system are cooled down to about 20 K. From March to April 2016, we conducted a room temperature test operation with a simple interferometer configuration. In this presentation we will report progress toward the cryogenic operation planned for the first quarter of 2018.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224a 重力波望遠鏡 KAGRA のための防振懸架系の開発

正田亜八香, KAGRA collaboration

2015年のLIGOによる重力波の初直接検出された。LIGO, Virgoの観測により、電磁波では見つからなかったブラックホールの発見や、中性子連星合体からの重力波の直接検出、および対応天体からのガンマ線、kilonovaの同時観測など、様々な天文学的発見が相次いでいる。しかし、重力波および重力波源の性質の詳細にさらに迫るためには、より良い感度での観測のほか、より多くの重力波望遠鏡で同時に重力波を検出することが重要である。例えばもう一台の重力波望遠鏡を稼働させることによって、重力波源の方向決定精度の向上、重力波の偏光分離による重力理論の検証などが期待できる。

そこで現在日本の岐阜県飛騨市で開発が進められているのが重力波望遠鏡のKAGRAである。KAGRAでは複数の鏡を用いた干渉計を構築し、重力波による空間の歪みを検出する。重力波の観測に必要な感度を達成するためには、これらの鏡を振子を用いて防振し、地面振動による雑音を低減することが必要である。そこでKAGRAでは、大きく分けてType-A, B, Bp, Cの4種類の防振システムを採用している。

現在、KAGRAの本格稼働に向けてそれぞれの防振システムのインストールおよび運用が進められている。本公演では、これらの開発の現状や性能評価について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V225a 重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた連星合体の早期方向特定性能の見積もり

藤井善範 (東京大学), Thomas Adams, Frederique Marion(LAPP), Raffaele Flaminio(国立天文台)

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める効果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、2017年までに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。このうち、有力な重力波源と考えられている中性子星連星合体や超新星爆発では、重力波とともに電磁波も放出されると考えられており、重力波の信号を用いて波源位置を早期に特定し、光学望遠鏡でのフォローアップ観測を早期に行うことができれば、天文学の更なる発展が期待される。重力波検出器による波源の方向特定には、複数台の重力波検出器間でのコインシデンス解析を用いるが、建設完了時期より重力波検出器の感度は異なることが想定され、感度の低い検出器をより有効に利用するためには、解析に用いる信号の閾値を調整する必要がある。その閾値を全ての検出器にて等しく設定すると、すべての検出器でのコインシデンスを取ることはより困難となるが、これに対して、感度の高い検出器間でコインシデンスが取れた信号に関してのみ、感度の低い検出器の信号をより低い閾値で用いる、階層的な観測ネットワーク解析を行うことで、感度の低い検出器をより有効に活用することができると思われる。

本講演では、連星合体からの重力波に対する、米国と伊の重力波検出器3台による早期方向特定のための階層的な観測ネットワークの概要と、その解析方法で予測される早期方向特定性能のシミュレーション結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226a 次世代赤外線天文衛星計画 SPICA の最新状況

金田 英宏 (名古屋大学)、芝井 広 (大阪大学)、小川 博之、中川 貴雄、松原 英雄、山田 亨 (ISAS/JAXA)、尾中 敬、河野 孝太郎、土井 靖生 (東京大学)、SPICA プリプロジェクトチーム

次世代赤外線天文衛星計画 SPICA は、「あかり」や Spitzer、Herschel に続く、将来の中間・遠赤外線天文学のための宇宙大型冷却望遠鏡 (有効口径 2.5 m、温度 8 K 以下) である。日欧協力を軸とする国際共同計画であり、ISAS/JAXA 戦略的中型ミッションおよび欧州宇宙機関 ESA Cosmic Vision 中型ミッションとして提案されている。2028 年頃の打ち上げを目指しており、運用期間は 5 年を目標とする。波長 12–350 μm を中間赤外線観測装置 (SMI、日本が主導) および遠赤外線観測装置 (SAFARI、欧州が主導) がカバーし、未踏の高感度スペクトル観測を主軸に、撮像 / 偏光観測を実現する。今年度、SPICA は文部科学省ロードマップ 2017 の大型研究計画 7 件の一つとして最高評価 aa で選定された。SPICA が実現すれば、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。

現在、我々は、望遠鏡部を含む極低温冷却システム全体および SMI について、要求仕様に対する設計のさらなる最適化、要開発項目の洗い出しなどを、SPICA 観測系アドバザリーボードによる助言を得つつ、精力的に進めている。並行して、焦点面観測機器サブシステムとして SAFARI と SMI の各種インターフェース調整を欧州メンバーを交えて行っている。また、11 月に国内研究会を開催し、遠赤外線偏光観測の科学的意義などを議論した。なお、ESA への計画提案は未だ審査中であり、もうまもなく一次選抜の結果が発表される予定である。本講演では、SPICA の最新状況と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](#)

V227a スペース中間赤外線高分散分光の実現に向けた CdZnTe イメージンググレーティング用コーティングの評価

前嶋宏志, 道井亮介 (東京大学、宇宙科学研究所), 中川貴雄, 権静美 (宇宙科学研究所), 猿楽祐樹 (京都産業大学)

分子の振動回転遷移が集中する中間赤外線領域の高分散観測は、原始惑星系円盤研究などにおいて極めて有用であるが、中間赤外線領域の多くの波長帯では地球大気の影響で観測が困難である。そのため例えば、次世代赤外線天文衛星 SPICA ではスペースから $12 - 18 \mu\text{m}$ 領域の高分散分光観測 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 28,000$) が行われる計画である。これにより、速度分解された ($\Delta v \sim 10 \text{ km/s}$) H_2O 輝線観測による原始惑星系円盤中のスノーライン検出などが期待されている。衛星搭載可能なコンパクトな分光器の実現にはイメージンググレーティング (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であり、同波長分解能を達成する場合、IG は古典回折格子に比べサイズを $1/n$ にコンパクト化できる。 $12 - 18 \mu\text{m}$ 領域ではこの波長域で透過性の高い CdZnTe を媒質に用いた IG (CZT-IG) の利用が最適である (Sarugaku et al. 2017, Journal of Electronic Materials, 46, 282)。

本講演では CZT-IG へのコーティング開発について報告する。CZT-IG は、コーティング未実装のものは既に製作され、目標とする波長分解能と回折効率の達成が確認されている (Ikeda et al. 2015, Applied Optics, 54, 5193)。CZT-IG の実用化には IG 入射面/回折面への反射防止/反射コーティングによる回折効率の向上が必要である。そのため我々は $12 - 18 \mu\text{m}$ 領域用のコーティング開発を進めている。そこで我々はまず CdZnTe 基盤にコーティング試験を行った。FTIR での測定により波長 $4.5 \mu\text{m}$ での反射防止/反射コーティングの透過率/反射率はともに 95% が確認された。その結果コーティングを施した CZT-IG では回折効率 $\approx 65\%$ となる見込みである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228a 国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 に搭載する近赤外線偏光分光装置 SCIP

勝川行雄, 久保雅仁, 原弘久, 都築俊宏, 浦口史寛, 田村友範, 末松芳法, 石川遼子, 鹿野良平 (国立天文台), 清水敏文, C. Quintero Noda, 石川真之介, 大場崇義, 川畑佑典 (ISAS/JAXA), 一本潔, 永田伸一, 阿南徹 (京都大), J. C. del Toro Iniesta (IAA-CSIC), S. Solanki (MPS)

太陽大気で起きるダイナミックな現象が担う磁気エネルギーの輸送・散逸過程を調べるには、光球より上空の磁場構造とその時間発展を観測することが必要である。そこで、2021年に計画する国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 に向けて、偏光分光装置 SCIP (スキップ、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) をスペイン・ドイツと共同で開発している。SCIP は波長 850 nm と 770 nm の近赤外線域にある多数のスペクトル線を同時に偏光分光観測することで、光球・彩層の 3 次元磁場・速度構造を取得できる装置である。SUNRISE の口径 1 m 光学望遠鏡に SCIP を搭載すれば、シーイングと大気吸収の影響を受けない高高度気球観測により、0.2 秒角の解像度 (波長 850 nm の回折限界)・高分散 ($R \sim 2 \times 10^5$)・10 秒の時間分解能で偏光精度 0.03% (1σ) を達成することができる。SCIP はエシェル回折格子を使った分光器と回転波長板による偏光解析装置から構成され、太陽観測衛星 SOLAR-C やロケット実験 CLASP のために開発してきた技術を最大限に活用する。本講演では、高解像度・高波長分解能の鍵となる光学・構造設計とともに、高精度偏光観測の鍵となる回転波長板の開発について報告する。観測運用時に想定される温度範囲 1030 K で光学偏光性能を保証するため、光学系を低熱膨張の CFRP 光学ベンチ上に設置する。所定の性能を達成するため、光学系の公差解析をもとに波面誤差配分を設計するとともに、熱変形の小さい光学系保持機構の設計を行っている。波長板や偏光ビームスプリッタは、実際に試作し偏光特性の温度依存性を測定することで、目標とする偏光精度を達成する目途が立ちつつある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen Q0 の性能評価

小島悠人, 酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 一木真, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小西真広, 満田和真, 有馬宣明, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一, 森由貴, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 山下卓也, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘, 猪岡皓太 (国立天文台), 春日敏測 (京都大学), 富永望 (甲南大学), 猿楽祐樹 (京都産業大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 吉川真 (宇宙航空研究開発機構), 浦川聖太郎, 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 佐藤幹哉 (日本流星研究会)

東京大学木曾観測所では 105 cm シュミット望遠鏡に搭載される広視野カメラ Tomo-e Gozen の開発を進めている。シュミット望遠鏡の $\phi 9$ 度の視野全域に 84 枚の CMOS センサを配置することで、Tomo-e Gozen は計 20 平方度を最大 2 Hz で撮像可能である。Tomo-e Gozen は 4 つの同設計のカメラユニット (Q1, Q2, Q3, Q4) から構成される。我々はカメラユニット Q1 の四隅に CMOS センサを搭載して (以下、Q0 と呼ぶ)、2017 年 10 月に 3 週間の試験観測を行った。視野の全域にわたりシーイングサイズ (3 秒角) で収差のない星像が得られることを確認した。これはシュミット望遠鏡の球面状 (曲率半径 $R=3,300$ mm) の焦点面に沿って、センサが正確にアライメントされていることを示している。Tomo-e Gozen は真空冷却装置を搭載せず、自然放熱によってセンサを冷却する。観測中の筐体温度は外気温+5 度以内で推移していた。外気温 14 で観測した時の暗電流は $0.7 e^-/\text{sec}/\text{pix}$ であり、背景フラックス ($50 e^-/\text{sec}/\text{pix}$) よりも十分低いことを確かめた。センサの読み出しノイズは 2 Hz での観測で $2 e^-$ を達成した。また、GPS 受信機との同期により、ミリ秒の精度でタイムスタンプを記録することに成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230a 反射率測定の問題点と分光光度計の開発

沖田博文, 高遠徳尚 (国立天文台ハワイ観測所), 林左絵子 (国立天文台 TMT 推進室)

望遠鏡の主鏡の反射率は望遠鏡の性能を表す最も基本的なパラメーターであり、これまでも様々な方法で定期的に測定されてきた。一般に小さな光学部品の反射率は実験室に据え置きの測定器(分光光度計)を用いることで容易に測定することができるが、望遠鏡の主鏡のような大型の光学部品の場合は測定器に入らないため、次に挙げるような方法で主に測定がなされてきた: (1) ポータブル測定器によるその場 (in-situ) 測定、(2) ウィットネスサンプル(プレパレート)を用いたサンプル測定。しかし(1)の測定は測定器の構造から特定の波長でしか測定することができず、また現地で校正することができないことから反射率の絶対値も得られないといった問題があった。一方(2)のウィットネスサンプルもコーティング直後の劣化していない反射率の測定では問題ないが、経年劣化した反射率を評価する場合、望遠鏡に組み込まれた主鏡とウィットネスサンプルの環境が完全に一致しているとは限らないため測定結果が正しいか常に疑問が残るといった問題があった。

そこで我々は望遠鏡に組み込んだ状態の主鏡の絶対分光反射率をその場で (in-situ) 測定することが可能な小型の分光光度計を開発した。この分光光度計は波長 380nm ~ 950nm の絶対反射率を波長分解能 2nm で測定することが可能である。測定ビームサイズは直径約 10mm で、入射角は 12 度である。光量 0% と 100% のデータを測定毎に取得することで反射率の絶対値を得ることが可能である。本分光光度計を用いる事で望遠鏡に組み込んだままの状態の主鏡の絶対分光反射率の経年劣化を正確にモニターすることが可能となった。

本講演ではこれまでの反射率測定の問題点を指摘し、分光光度計の原理と開発、性能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](#)

V231a 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, 柏川伸成, 齋藤正雄, 宮下隆明 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 2015 年 4 月よりハワイマウナケア山頂域での建設作業を本格的に進める予定であったが、同年 12 月 2 日、ハワイ州最高裁判所が TMT 計画のための保護地区利用許可 (CDUP) の承認を差し戻す判決を出したことにより、現地工事は中断した。TIO は、土地利用許可申請者であるハワイ大学と協力して CDUP 承認に向けて取り組み、2016 年 10 月 20 日から 2017 年 3 月 2 日の合計 44 回におよぶ公聴会などを経て、2017 年 9 月 28 日に CDUP の再承認を得ることができた。10 月には TMT 建設反対派から、CDUP 承認は不適切との訴訟が起こされており、裁判には数か月かかる見通しであるが、CDUP は有効であるため建設のための山頂へのアクセスは可能な状態である。2017 年 12 月時点で、TIO としては、2018 年 4 月からの現地建設開始、2027 年度完成を目標に、地元関係者と協議しながら、今後予想される現地での建設反対運動への対応を含めた建設再開準備を慎重に進めている。

TMT 全体の進捗状況としては、国内では、主鏡の加工が量産工程に入っている (大屋講演) 他、コーティングの検討も行なっている (林講演)。望遠鏡本体構造・制御系は、詳細設計を終え、製造準備を進めている (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 (鈴木講演)。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なっている。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](#)

V232a TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造準備

齋藤正雄、杉本正宏、寺田宏、楠本弘、稲谷順司、田澤誠一、臼田知史（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をすべて実施した。現在は来るべき製作へ向けて引き続き作業を進めている。本講演ではこれを踏まえた望遠鏡構造の進捗、他サブシステムとのインターフェース、TMT 全体の安全設計への対応、および製作のリスク軽減のための試作について報告する。特にインターフェースは数多くのサブシステムとの間で決める必要があるにもかかわらず、設計が十分進んでいないサブシステムもあるため、未決事項が残っていた。そうしたインターフェース課題を少しずつ解決し、実際への製造へと入る予定である。TMT 全体の安全設計の方針がより明確になり、望遠鏡構造として対応すべき事項も明らかになった。あわせてこのような複雑なシステムでの課題管理も一筋縄ではいかないため、系統的に管理するツールを使うこととした。ツールの使用により課題状況が視える化し、対応作業が未実施のまま放置されることが少なくなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V233a TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 II

大屋 真、山下卓也、宮下隆明、林左絵子、臼田知史、家 正則、ほか TMT 推進室メンバー (国立天文台・TMT 推進室)

Thirty Meter Telescope (TMT) は対角が 1.44m の六角分割セグメント鏡を 492 枚組み合わせた口径 30m の次世代超大型望遠鏡である。国立天文台は TMT International Observatory (TIO) の一員としてこの計画を進めている。主鏡の製作は日本の貢献の大きな柱の一つである。米国に加えインド・中国も分担するが、その中で日本は全セグメントの硝材を表裏球面研削したメニスカス形状 (ブランク材) で提供すると共に、その後の非球面研削・研磨、そして六角形への外形加工・支持機構搭載に関しても全体の 30% のセグメントを分担する。分割式主鏡の場合、開口面上の位置に応じて各セグメント表面の軸外し非球面量が変化する。非球面研磨には Keck 望遠鏡で実績がある曲げ研磨方式を採用している。硝材円板の外縁に剪断荷重と曲げモーメント荷重を加えることにより表面を非球面形状に撓ませた状態で球面研磨すれば、荷重解放時に非球面形状になる。荷重を変化させることで異なるセグメントの非球面形状に対応できる。この方式では研磨作業自体は球面研磨であるので大きな研磨皿を使って効率よく研磨できる利点がある。

平成 29 年度はブランク材の継続的な米国輸出に加え、インド・中国へも加工試作用材を輸出した。ブランク材については品質保証のための追加試験も行った。例えば、球面研削時の Sub-Surface Damage (SSD) について加工砥石使用開始時の試験は量産開始前に既に行っていたが砥石の寿命時点でも摩耗状態による SSD の差が無いことを確認した。また非球面研磨も今年度中に 22 枚目まで完成の見通しであり、TIO への受け入れ合意に関して最終的な議論を詰めつつある。これらの活動を報告すると共に次年度以降の計画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](#)

V234a 望遠鏡光学系用ガラス材のコーティング剥離プロセスについて

林左絵子、山下卓也、大屋真、宮下隆明、臼田知史、家正則、TMT 推進室メンバー（国立天文台）

TMT の望遠鏡光学系に関し、コーティングおよびその剥離に関する検討が始められている。

望遠鏡光学系、特に大型になる主鏡は形状安定性からガラス材が用いられており、そのために熱膨張率の低い材料が求められて来た。現在ではホウケイ酸系のもの（パイレックス、E6 など）とガラスセラミック系のもの（セルビット、ゼロデュア、クリアセラムなど）や Corning ULE が大口径の鏡に用いられている。金属膜のコーティングを施すことで反射面とし、ガラスとの付着力や耐久性を高めるために、そのほかの物質の薄い被膜も加える場合がある。TMT については金属 + 複数の物質のレイヤーにより、広い波長域での高性能反射面を目指しているが、そのコーティング工程およびそれらの被膜の剥離プロセスはいずれも詳細がまだ決まっていない。

望遠鏡を設置する環境によっても、植物の樹脂、イオウ雰囲気、酸性雨などにより表面への影響が異なる。このごろの大型望遠鏡は、市街地から遠く離れたサイトに建設されるため、人工的なあるいは動植物に由来する汚れが主なものではなくなっている。コーティングの剥離プロセスを繰り返した際に鏡材面が荒れないことも、長期の運用のために重要な要素である。これらを勘案し、TMT の望遠鏡光学系の再コーティング時に用いる剥離剤として適切なものや、繰り返し使用した場合の変化についても、検討を行っている。

本講演では従来用いられているガラス材と剥離剤の組み合わせをまとめるとともに、TMT に適用可能なものに関する議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235a TMT 第一期観測装置 IRIS の開発：瞳アライメントと観測感度の解析

鈴木竜二, 田中陽子, 大淵喜之, 中本崇志, 早野裕 (国立天文台), Brent Ellerbroeck, Gelys Tranco(TIO), Glen Herriot, Jean-Pierre Veran(NRC)

赤外線観測装置では、望遠鏡構造物からの熱輻射による背景光の増加を防ぐために、観測装置内に望遠鏡の瞳像を作り、瞳位置に瞳像と同じ形をした冷えた開口（コールドストップ）を設置する。望遠鏡の瞳像は、望遠鏡と観測装置との間のアライメント誤差、重力変形、熱変形等の影響で動くため、コールドストップの開口部は通常瞳像より小さく製作される。しかし、小さいコールドストップは望遠鏡で集めた光を遮蔽する他、瞳の形状を変えるため、そのフーリエ変換である PSF の形状も変えてしまうことから、観測感度に影響を与える。我々は Thirty Meter Telescope の第一期観測装置である近赤外線撮像分光装置 IRIS について、コールドストップの大きさと望遠鏡の瞳像の位置ずれが、背景光の増加、透過率の減少、PSF 形状の変化を通じて観測感度にどのような影響を与えるかを計算した。結果、観測感度は望遠鏡の瞳像とコールドストップの位置ずれに対して極めて敏感な関数であること、望遠鏡の副鏡を支えるスパイダーが大きな影響を与えること、が明らかになった。この結果を受け、TMT では望遠鏡から観測装置までの瞳のアライメントバジェットを更新し、AO の波面センサーと望遠鏡の第三鏡を用いた閉ループコントロールや瞳撮像光学系を採用することで、望遠鏡の瞳像とコールドストップの位置ずれを 1% から 0.4% まで減少させることにした。これにより、観測感度の低下は 70% から 88% に改善できることが分かった。本講演では、上記解析とバジェットの他、赤外線用望遠鏡で採用されている背景光低減対策が観測感度に与える影響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](#)

V236a 東京大学アタカマ天文台 TAO プロジェクト:口径 6.5m 望遠鏡の進捗状況

峰崎岳夫 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 甘日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学) 他

東京大学では南米チリ/アタカマ高地にあるチャナントール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m 赤外線望遠鏡を建設する東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画を推進している。本講演では望遠鏡本体を中心に進捗を報告する。

TAO 望遠鏡は主鏡に口径 6.5m のハニカム軽量鏡を採用し、経緯台式架台は静油圧軸受とフリクションドライブにより駆動される。リッチークレチアン型光学系の採用により直径 25 分角の広い視野をもち、最適な光学系を保つため副鏡光軸および主鏡鏡面形状の能動制御を行う。2 つのナスミス焦点と 2 つのペントカセグレン焦点を第三鏡の向きによって容易に切り替えることができ、焦点面にて装置交換することなく使用観測装置を迅速に切り替えることができる。望遠鏡架台・鏡筒・制御装置の製作については国内企業が担当し、現在兵庫県播磨町にて仮組み立てと試験が進行中である。望遠鏡運用に必要な周辺装置 (観測装置台車など) との嵌合試験も実施している。今後、これらの物品は 2017 年度内に仮組調整を終えて解体され、部品ごとに梱包のうえ現地建設スケジュールに合わせてチリへ輸出される予定である。主鏡・副鏡・第三鏡およびそれらの制御機構の製作についてはアリゾナ大学が担当している。主鏡支持機構・温度調整機構の主鏡セルへの組み込みが進行中であり、2018 年には主鏡鏡面形状の制御試験を行う予定である。また第三鏡位置回転機構も製作が進行中である。これらの物品は部品ごとにチリへ輸出され、現地にて再組立後、望遠鏡本体に組み込まれる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発進捗報告

小西真広, 本原顕太郎, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 大橋宗史, 河野志洋 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 上塚貴史, 大澤亮, 内山允史, 森智宏, 山口淳平, 吉田泰 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5m 赤外線望遠鏡が建設されるチリ・アタカマ高地のチャナトール山山頂 (標高 5640m) は、乾燥した気候と高い標高のため非常に優れた赤外線大気透過特性を実現する。この利点を活かした観測を実現するために、我々は TAO 6.5m 望遠鏡の第一期観測装置として近赤外線多天体分光カメラ SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発を進めている。

この装置は波長 0.9–2.5 μm において、(i) 2色同時広視野撮像と、(ii) 波長分解能 $R \sim 1000$ の多天体同時分光または広視野面分光により全波長域スペクトルを一度に取得する、という2つの特長を有する。

TAO 6.5m 望遠鏡に搭載して迅速かつ安定的に科学観測を遂行出来るようにするため、2018年5月にすばる望遠鏡を用いて機能試験観測を実施し観測性能を評価する予定である。そのために本装置を国立天文台ハワイ観測所へ輸送し、機械的・光学的性能の最終確認を行ってきた。本講演では、装置の検出器性能、結像性能等の装置性能と観測制御システムの準備状況を報告し、試験観測計画、および今後のスケジュールについてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V238a 超精密加工による SWIMS-IFU 用ミラーの試験加工

河野志洋 (東京大学), 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 尾崎忍夫 (国立天文台), 本原顕太郎, 高橋英則, 北川祐太郎, 小西真広, 加藤夏子, 寺尾恭範, 大橋宗史, 櫛引洸佑 (東京大学)

現在東京大学天文学教育研究センターでは、東京大学アタカマ天文台 (TAO) プロジェクトとしてチリのチャナントール山に建設中の 6.5m 赤外線望遠鏡に、第 1 期装置として搭載する近赤外撮像分光装置 SWIMS を開発している。SWIMS では撮像・多天体分光観測モードに加えて、面分光観測モードの実装を計画しており、面分光ユニット (SWIMS-IFU) はスリットマスクと同様に取り扱える小型かつ軽量の設計となっている。スリット幅は $\sim 0.5''$ 、波長分解能は $R \sim 1000$ であり、既存の近赤外面分光装置の中で最大の視野 $17.2'' \times 12.8''$ を有している。SWIMS-IFU には上述の光学系を実現するために複雑な形状をした 3 つのミラーアレイがあり、これらの相対的な位置ずれを減らすために各ミラーアレイを一体加工することを予定している。さらに、表面粗さとして $PV < 100$ nm, $RMS < 10$ nm といった高い精度が要求されている。我々はこの複雑なミラーアレイの加工を超精密加工によって実現することを目指しており、これまでに角度の異なる 26 面の平面鏡で構成されたスライスミラーに関しては、フラットエンドミルを用いることで製作可能であることが確認できている。

本講演では、球面鏡や軸外し楕円面鏡で構成されたミラーアレイの製作可能性の検証を目的として行った試験加工について報告する。曲面加工に適したボールエンドミルを用いて超精密加工を行い、製作した球面・楕円面は設計形状からのずれが 1.4 mm 四方で $PV \sim 700$ nm と要求通りの形状が得られたが、表面粗さは $PV \sim 350$ nm, $RMS \sim 70$ nm と要求精度を満たさなかった。比較として製作した平面鏡では $PV \sim 60$ nm, $RMS \sim 10$ nm が得られたことから、曲面加工での粗さの要因は同時多軸制御による駆動精度や曲面の線分補完など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](#)

V239a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線装置 MIMIZUKU の輸送後性能評価試験

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 内山允史, 森智宏, 山口淳平, 吉田泰, 尾中敬, 左近樹 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 高橋英則, 小西真広, 寺尾恭範, 大橋宗史, 河野志洋 (東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) は、東京大学がチリ共和国アタカマ砂漠に位置する標高 5640 m のチャナンツール山山頂にて建設中の天文台で、口径 6.5 m の望遠鏡を備える。その第一期中間赤外線観測装置として開発しているのが Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe (MIMIZUKU) である。MIMIZUKU は 2 – 38 μm の広い波長における撮像・低分散分光機能を持つ。さらに、離角 25 分角以内の標準星・観測天体ペアを同時観測する機能を持ち、時間変動に影響されない大気透過率較正を実現する。これにより高精度の測光・分光観測を可能とし、中間赤外線観測では未だ例の少ない長期モニタリング観測を実現する。

TAO の完成にさきがけ、MIMIZUKU は 2018 年度にすばる望遠鏡での試験観測を予定している。このためのすばる観測所への輸送を 10 月に完了した。輸送後の装置の状態と性能を評価すべく、すばる観測所山麓施設にて室内実験を行った。結果、検出器を 4 K 以下に冷却できること (要求温度 8 K 以下)、光学系が中間赤外線 (波長 $> 8 \mu\text{m}$) にて回折限界を達成できること、 N および Q バンドの撮像の装置効率が 10 – 20%、分光の装置効率が 3 – 10% であることを確認した。これらの性能は輸送前の測定と同等であり、輸送が問題なく完了できたことを示す。以上の試験結果とこれに基づく最新の観測性能、さらに試験観測の内容について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V240a MIMIZUKU 反射光学系の冷却下における結像性能・歪曲収差の評価

森智宏, 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 内山允史, 山口淳平, 吉田泰 (東京大学)

MIMIZUKU (Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe) は TAO (Tokyo Atacama Observatory) 望遠鏡に搭載予定の第一期中間赤外観測装置である。MIMIZUKU の光学系は 3 種類の光学チャンネル (NIR 系: $\lambda=2-5.3 \mu\text{m}$, MIRS 系: $\lambda=6.8-26 \mu\text{m}$, MIRL 系: $\lambda=20-38 \mu\text{m}$) で構成されており, それらは広視野かつコンパクトを実現するために, 複数枚のアルミ切削非球面ミラーの反射光学系を採用している。必要な結像性能 ($8 \mu\text{m}$ でストレール比 0.85) を達成するために, 各非球面鏡はそれぞれ位置 0.05 mm, 角度 0.05° の精度で設置することが要求される。過去の常温下の試験では, この光学系の結像性能が要求精度を満たしており, 実用に耐える性能を有していることが示されていた。冷却時の熱収縮の影響を抑えるために, 鏡はすべてアルミ合金で作成されている。しかし, 常温下と同等の性能が冷却下においても実現できるかは自明ではなかった。

本研究は, 実際に MIMIZUKU デュワー内に搭載した光学系について, 冷却下 (約 30 K) における NIR 系と MIRS 系の光学系性能評価試験を行った。光学系焦点にピンホールを設置し, 検出した像から結像性能を評価した。さらにピンホールを焦点面上で移動させることで, 検出器上の様々な位置における結像性能及び歪曲収差の評価も行った。その結果, 焦点面中央部で検出された PSF の幅は FWHM で, NIR 系において $\sim 1.6 \text{ pix.}$, MIRS 系で $\sim 0.8 \text{ pix.}$ であり, これらは設計時の値と整合的であった。特に, $8 \mu\text{m}$ でのストレール比の値は 0.87 であり, 要求される結像性能が冷却下においても達成されていることを確認できた。さらに, 冷却による歪曲収差の影響も十分小さいことを確かめた。以上の評価試験から, MIMIZUKU 光学系は, 冷却下で運用する実際の観測においても要求精度を満たし, 回折限界に近い結像性能を得ることができると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a 恒星フレア研究のための中央大学 36cm 望遠鏡：SCAT の立ち上げ

河合広樹, 坪井陽子 (中央大学), 飯塚亮, 菅原泰晴 (ISAS/JAXA), 山田宗次郎 (中央大学)

星でフレアが起こると、複数の波長で増光する。それぞれの波長域での時間変化を明らかにすることは、星のフレアの発生機構やフレア領域の構造を解き明かすことにつながると考えられるが、過去の同時多波長観測は、主にポインティング観測においてなされ、放出エネルギーが大きく、発生頻度が低い超巨大フレアについてはほとんど報告例がなかった。

我々は、中央大学後楽園キャンパス屋上に測光用望遠鏡 CAT (Chuo-university Astronomical Telescope) を 2012 年度に設置し、全天 X 線監視装置 MAXI が X 線巨大フレアを検出した旨のメールをトリガーとして自動追尾を開始するシステムを構築し、その内容を 2017 年春季天文学会で報告した (河合 他)。本講演では、2016 年度に新たに中央大学後楽園キャンパス 6 号館屋上に建設した可視光分光の望遠鏡 SCAT (Spectroscopic Chuo-university Astronomical Telescope) の立ち上げについて報告する。SCAT の鏡筒は口径が 36 cm、焦点距離は 2845 mm である。分光器は Shelyak 製 Alpy 600 を用いており、スペクトル領域は 400 - 750 nm、波長分解能は 650 nm 付近で 600、限界等級は 10 等ほどである。SCAT も、MAXI で検出したフレアを追尾して、超巨大フレアの分光観測を行うことを主目的としているが、現状では手動で追観測している。2016 年度から 1 年間で同時観測を 4 件成功させ、 $H\alpha$ 線と軟 X 線帯域の放出エネルギーの比例関係をエネルギーの大きい方へ 2 桁程度拡張する成果を出している (2017 年秋季天文学会 河合 他)。本講演では、SCAT の性能評価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](#)

V242a 高精度測光分光のための集積回路における長期的な信号変動の補正方式

合田翔平, 松尾太郎, 井戸雅之, 伊藤哲史, 芝井広, 住貴宏 (大阪大学), 山室智康 (オプトクラフト)

ハビタブルゾーンにある地球型系外惑星の食分光による大気組成の決定には、数十万分の一の分光測光精度が要求される。科学衛星に搭載される汎用の分光装置においては、望遠鏡の姿勢変化や主鏡の歪みなどの光学的擾乱による信号変動に加えて、集積回路で発生する電気的な信号変動が系統誤差として分光測光精度を制限する。2019年に打ち上げ予定の James Webb Space Telescope (JWST) では、数万分の一の分光測光精度に留まることが予想されている。

このような背景に基づき、私たちは集積回路で発生する長期的変動を補正する、新しい方式を提案する。本方式は、光学的擾乱による系統誤差を最小化できる瞳分光方式を発展させるものである。検出面と光学的な共役面にマスクを置くことにより、検出面の広い領域にわたって天体および背景光を完全に遮断することが可能となる。また、焦点面を分割することにより天体の光と背景光を同じ検出面で別々に取得する。その結果、天体の信号、背景光の信号、暗電流の信号の3種類が得られる。私たちは、JWSTの Mid-Infrared Instrument (MIRI) に搭載される検出器と集積回路における電気信号のモデル化を行い、3種類の信号を利用することで、そのモデル上で非ランダム性の電気的な信号変動をランダムな信号変動に変えられることを示した。NASAが計画する Origins Space Telescope に搭載される瞳分光装置に本方式を応用する場合、約10回の食観測で数十万分の一（約3ppm）の分光測光精度を達成できることが分かった。本講演では、集積回路で発生する信号の長期的変動の補正方式について述べ、将来の宇宙望遠鏡に本方式を応用する場合の到達性能について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243a 多地点複数望遠鏡の観測マーシャルシステムの構築

伊藤亮介, 村田勝寛, 谷津陽一, 河合誠之, 橘優太郎, 吉井健敏, 針田聖平, 森田浩太郎, 間宮英生, 白石一輝 (東京工業大学), 柳澤顕史, 黒田大介 (国立天文台)

東京工業大学では2005年より明野50cm可視光望遠鏡を用いたガンマ線バースト (GRB) の残光追跡を主とした突発天体の即時フォローアップ観測を行ってきた。また、2017年11月より国立天文台岡山天体物理観測所の50cmロボット望遠鏡と連携した2台体制で観測を行っている。設置場所の異なる複数台の観測を最大限に効率よく運用するためには、従来のスケジュールリストを用いた観測では対応しきれず、天候や観測された画像のクオリティなどをリアルタイムで評価、把握しながら状況に応じて各望遠鏡に指令を行う必要がある。また、GRBや重力波天体などの可視光対応天体探査、GROWTHやJ-GEM, OISTERなどの多機関共同観測にも柔軟に対応できる制度設計が必要とされている。

そこで我々は望遠鏡・カメラ制御システムは従来そのままに、2台の望遠鏡に対して最適な天体をリアルタイムで判定し、観測に必要な状況を提供するマーシャルシステムを新たに構築している。本システムにより、従来通りGRBなどに必要とされる即応性を保持したまま、パトロール観測を効率的に実施できるようになることが見込まれている。また、重力波天体や全天X線検出器MAXIなどで発見された、位置誤差の大きい天体に対しては、エラー領域を2望遠鏡で分割して効率的に探査が行えるようになる。本講演では開発したシステムの概要と将来的な発展について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244a K-darkバンドでの南極大気光スペクトルを調べる小型南極カメラの開発

津村耕司, 市川隆, 板由房 (東北大学)

地上からの天文観測の最大の障害である大気光の原因はOH分子による輝線であるが、 $2.4\mu\text{m}$ 帯にはK-darkバンドと呼ばれる「OH輝線の窓」がある。しかしこの「OH輝線の窓」は通常は地球大気の大気放射により覆い隠されてしまう。地球上で唯一この「OH輝線の窓」を活用出来る可能性があるのは、上空が -70 度という低温になる南極である。もし南極でのK-darkバンドにおける大気光が十分暗く安定であれば、大気光に影響されない宇宙望遠鏡による天文観測を凌駕する観測を、南極でK-darkバンドを用いることで実現出来る可能性がある。そこで本研究では、K-darkバンドでの天文観測の有用性を南極において実証するための大気光観測装置(南極カメラ)を開発している。

我々は今までに東北大学にて南極で使用できるカメラの開発して来た。このカメラには 256×256 ピクセルのInSb検出器が用いられており、機械式冷凍機でこの検出器を冷却して用いる。このカメラに簡易的なレンズ光学系を取り付けることで、大気光の観測を実現させる。また、このカメラにはフィルターホイールも内蔵されており、各種バンドでの観測が可能である。ここにK-darkバンドフィルターに加え、場所ごとに透過波長が異なるリニアバリアブルフィルター(LVF)も設置することで、南極大気光の「OH輝線の窓」のスペクトルの全体像を簡単に取得することを目指している。

本発表では、南極カメラの開発状況、特にレンズ光学系およびLVF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](#)

【V3. 観測機器】

3月15日(木) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V301b	13:30	すざく衛星搭載 XIS 応答関数の Si-K edge 付近残差の解消 岡崎貴樹 (大阪大学)
V302b	13:30	MAXI GSC ガスカウンターの稼働状況と性能変化 杉崎睦 (理化学研究所)
V303b	13:30	CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) のエネルギー応答関数の開発 山田祐輔 (青山学院大学)
V304a	13:42	「ひとみ」HXI を用いた軌道上中性子バックグラウンドの評価 鈴木寛大 (東京大学)
V305a	13:54	X 線天文衛星代替機計画の現状 田代信 (埼玉大学/宇宙航空研究開発機構)
V306a	14:06	X 線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の開発の現状 石崎欣尚 (首都大学東京)
V307a	14:18	X 線天文衛星代替機 (XARM) 搭載軟 X 線撮像装置の開発 富田洋 (宇宙航空研究開発機構)
V308a	14:30	X 線衛星代替機 XARM における科学運用計画 寺田幸功 (埼玉大学)
V309b	14:42	X線天文衛星「ひとみ」搭載軟X線撮像検出器 SXI における日照中の校正線源からの輝線中心値の変動調査と光漏れ経路の検討 本田大悟 (宮崎大学)
V310b	14:42	X 線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Soft X-ray Imager (SXI) に向けた小型試作 CCD の性能評価 中嶋大 (大阪大学)
V311b	14:42	次期 X 線天文ミッション搭載に向けた小型 X 線 CCD カメラシステムの開発 岩垣純一 (大阪大学)
V312a	14:54	X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 玉川徹 (理化学研究所)
V313a	15:06	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 (2) 三石郁之 (名古屋大学)
V314b	15:18	IXPE 搭載 X 線望遠鏡用サーマルシールドの開発における環境試験 (2) 二村泰介 (名古屋大学)
V315b	15:18	高エネルギー X 線の偏光を検出するマイクロパターン TPC 型偏光計の開発 若松孝也 (東京理科大学/理化学研究所)
V316b	15:18	高速自転する中性子星からの定常重力波の検出に向けた、X線による連携観測の開拓 1 北口貴雄 (理化学研究所)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [F会場]

V317a	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 (6) 森浩二 (宮崎大学)
V318a	09:42	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 27:これまでの到達点と今後の開発 鶴剛 (京都大学)
V319a	09:54	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 28:サブピクセルレベルでの X 線応答評価 大野顕司 (東京理科大学)
V320a	10:06	サブ秒角で X 線天体を撮影する多重像 X 線干渉計 MIXIM (1) 概念検討と観測目標 林田清 (大阪大学)
V321b	10:18	FORCE 計画用 Si 基板反射鏡の散乱測定実験 松本浩典 (大阪大学)
V322b	10:18	サブ秒角で X 線天体を撮影する多重像 X 線干渉計 MIXIM (2) 開発の現状 花坂剛史 (大阪大学)
V323a	10:30	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 II 大橋隆哉 (首都大学東京)
V324a	10:42	小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型望遠鏡における性能劣化要因の評価 大塚康司 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

V325a 10:54 JAXA 宇宙科学研究所標準平行 X 線光源室用可視光平行光源の立ち上げと性能評価 浅井龍太（首都大学東京/宇宙航空研究開発機構）

V326a 11:06 X 線望遠鏡用炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 反射鏡と位置調整法の開発 大上千智（愛媛大学）

V327a 11:18 次世代 X 線天文衛星を目指すシリコン高温塑性変形を用いた全反射鏡の開発 中庭望（首都大学東京）

3月16日（金）午後（13:30-15:18）[F会場]

V328a 13:30 符号化マスクを用いた広領域ガンマ線小型撮像装置の研究 大下紗百合（宇宙航空研究開発機構/東京大学）

V329a 13:42 超高角度分解能 X 線望遠鏡のイメージ再構成法 森井幹雄（統計数理研究所）

V330a 13:54 軟 X 線全天観測超小型衛星 HaloSat の性能評価とサイエンス検討 (2) 石原雅士（名古屋大学）

V331a 14:06 超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子の X 線精密分光プロジェクト (4) 早川亮大（首都大学東京）

V332a 14:18 Pt/C 多層膜ブラッグ反射による低エネルギー X 線用分光器の開発 武尾舞（首都大学東京）

V333a 14:30 Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (14) 窪秀利（京都大学）

V334a 14:42 CTA 大口径望遠鏡初号機の焦点面カメラ統合試験 平子丈（京都大学）

V335a 14:54 CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発状況 黒田隼人（東京大学）

V336a 15:06 CTA 大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの開発状況 深見哲志（東京大学）

3月17日（土）午前（9:30-10:54）[F会場]

V337a 09:30 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 澤野達哉（金沢大学）

V338a 09:42 Kanazawa-SAT³ 搭載広視野 X 線撮像検出器のバースト時刻決定・撮像性能評価 加川保昭（金沢大学）

V339c Kanazawa-SAT³ 搭載 X 線撮像検出器の真空環境における X 線計測 吉田和輝（金沢大学）

V340a 09:54 ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 米徳大輔（金沢大学）

V341a 10:06 重力波対応天体の追観測を目指した超小型 GRB 観測衛星における位置決定精度の評価 田中晃司（広島大学）

V342a 10:18 GRB 位置決定のための小型衛星搭載用大型 CsI シンチレータの MPPC 読み出し性能評価 鳥越健斗（広島大学）

V343a 10:30 SPHiNX 衛星で用いる GAGG シンチレータの温度特性 内田和海（広島大学）

V344a 10:42 地上と宇宙から探る雷放電に同期する突発ガンマ線観測への取り組み 中澤知洋（東京大学）

V301b すざく衛星搭載XIS 応答関数の Si-K edge 付近残差の解消

岡崎貴樹、林田清、中嶋大、正村陸、米山友景、松本浩典、常深博(大阪大学)、森浩二(宮崎大学)、辻本匡弘(JAXA)

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 edge(1.839 keV) 付近に天体由来とは考えにくい10%程度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ことを許す応答関数の導入で、残差が削減できることを示した。FI と BI では跳びが逆方向になっており、これはX線吸収位置から電極までの移動距離が大きいほど波高が低くなる現象が起こっているとすると、定性的には理解できる。ただし、応答関数の行列に導入した波高のとびは整数チャンネル単位の調査にとどまっていた。

今回、応答関数を作成するソフトである「xisrmfgen」のソースコードを書き換えることで、応答関数における波高のとびの最適値をより詳細(0.1チャンネル単位)で調査した。まず、連続X線が支配的で明るいX線天体であるLMC X-3(連星系ブラックホール)の観測スペクトルによって跳びの最適値を求め、そして、Si-K edge 付近に輝線をもつペルセウス座銀河団のスペクトルで妥当性を検証した。さらに、複数回観測されているPKS2155のスペクトルで経年変化をチェックした。Si-K edge 付近の残差の解消は、すざく XIS で観測した連続成分、Siの高階電離の輝線のスペクトルの解析にとって重要であるばかりでなく、現在運用中、今後打ち上げ予定のX線 CCD カメラの較正にとっても重要である。本講演では、これらの最適化および検証の結果を、改訂版応答関数作成ソフト(公開方法は現在検討中)とともに紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302b MAXI GSC ガスカウンターの稼働状況と性能変化

杉崎睦 (理研)、他 MAXI チーム

2009年8月より国際宇宙ステーション日本実験棟曝露部で実験を続けている全天 X 線監視装置 MAXI の主要な観測装置である GSC ガスカウンターの軌道上での応答関数の変化と最新の状況を報告する。運用初期に放電や放射線バックグラウンドのイベントレートに応じてガスカウンターの炭素芯線の消耗が無視できないことが判明し、12台のガスカウンターのうち3台で一部の芯線に損傷があったと考えられたため、その後は稼働カウンターを限定して慎重な運用を続けてきた。現在運用8年を過ぎ、さらなる延長運用を見越して、芯線損傷があったと考えられるカウンターも部分的に稼働実験を始めている。これらのカウンターでは稼働検出器領域が限られるため、X線に対する有効面積は半分になりバックグラウンドも高いが、予想される性能が出ていることは確かめられた。今後、応答関数を校正することによって、科学データ解析に利用していく計画である。また、他の1台のカウンターでは、2013年6月から緩やかにガス圧が低下している兆候が見られ、日々ガスゲインと検出効率を校正、応答関数を修正しながらデータ処理を行っている。応答関数の変化から、2017年10月の時点でガス圧が初期の1.4気圧から0.05気圧程度まで低下したと予想される。本カウンターについて、最新の応答関数の校正データを用いたガス圧の診断状況を報告する。残る8台のカウンターについては、ガスゲインの変化は8年間で1%の範囲内に収まっており、今後も定常的な観測運用が期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V303b CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) のエネルギー応答関数の開発

山田祐輔, 坂本貴紀, 吉田篤正, 川久保雄太, 森山光明 (青学大理工), 山岡和貴 (名大 ISEE 研), 中平聡志 (JAXA), 高橋一郎 (IPMU), 石崎渉, 浅野勝晃 (東大宇宙線研), 浅岡陽一, 鳥居祥二 (早大理工研), 小澤俊介 (早大先進理工), 清水雄輝, 田村忠久 (神奈川大学), Sergio B.Ricciarini (U of Florence), Michael L.Cherry (LSU), Pier S.Marrocchesi (U of Siena) 他 CALET チーム

CALorimetric Electron Telescope (CALET) は、2015年8月に国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームに設置され、以降基本性能のチェックアウトを完了し2015年10月から定常運用を行っている。CALET には、観測装置の1つである CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) が搭載されている。CGBM は 7 keV ~ 1 MeV に感度を持つ2台の硬 X 線モニター (HXM) と 100 keV ~ 20 MeV に感度を持つ1台の軟ガンマ線モニター (SGM) の2種類の検出器から構成される。CGBM の機上トリガーで検出した GRB に対しては、自動的に Gammaray Coordinates Network (GCN) で世界中の研究者へ速報される。今まで、74 個の GRB を検出している。

我々は現在、スペクトル解析を行うためのエネルギー応答関数の較正を地上データ、及び機上データを用いて行っている。多くの GRB が *Swift*/BAT や *Fermi*/GBM で同時に検出されているため、それらのデータと CGBM のデータを同時に解析し、エネルギー応答関数の相互較正を進めている。他の検出器と比較した結果、HXM は、30keV 以下の有効面積を過大評価している可能性があり、SGM では、SGM のエネルギー領域内の有効面積を過小評価している可能性がある。本発表では、エネルギー応答関数の開発、及び較正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](#)

V304a 「ひとみ」HXIを用いた軌道上中性子バックグラウンドの評価

鈴木寛大, 中澤知洋 (東大理), 萩野浩一 (東理大), 国分紀秀, 佐藤悟朗, 高橋忠幸, 渡辺伸, 太田方之, 佐藤理江, 森國城 (ISAS/JAXA), 村上浩章, 三宅克馬, 古田禄大, 馬場彩 (東大理), 鶴剛, 田中孝明, 榎戸輝揚, 小林翔悟 (京大理), 寺田幸功 (埼大理), 内山秀樹 (静大教), 谷津洋一 (東工大理), 野田博文 (東北大学際), 田島宏康 (名大 ISEE), 山岡和貴 (名大理), 林克洋 (名大理, ISAS/JAXA), 深沢泰司, 水野恒史, 大野雅功, 高橋弘充, 勝田隼一郎 (広大理), 中森健之 (山形大理), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教大理), 牧島一夫, 小高裕和, 湯浅孝行, 中野俊男 (理研), 片岡淳, 三村健人 (早大理工), Francois Lebrun, Olivier Limousin, Philippe Laurent, Daniel Maier (APC/CEA), 武田伸一郎 (沖縄科技大), 森浩二 (宮崎大), および「ひとみ」HXI チーム

「ひとみ」硬X線イメージャ(HXI)は、徹底したアクティブシールドとSi, CdTe 検出器の多層構造により、世界最高の低バックグラウンドを示した。次期X線衛星FORCEは角分解能の向上でこれをさらに1桁上回る高感度観測を目指しているが、特に広がった放射の観測のためには、検出器バックグラウンド(NXB)の低減が必須である。NXBは主に一次宇宙線による検出器の放射化と二次宇宙線電子・中性子の成分に分けられる。荷電粒子成分については報告があり(萩野他、別講演)、シールドの工夫などによる削減の目処がある。だが、中性子成分はアクティブシールドによる除去が非常に難しいため、検出器感度向上の最後の壁となる。今回は、中性子成分の理解のため、HXI主検出器のうち放射化と電子の影響が小さいSi検出器の2-4層目のデータに着目した。得たNXBの空間分布はCut Off Rigidityに対する負の相関を示し、中性子成分が主だと考えられる。本講演では、NXBに含まれる放射化や電子成分の影響を見積もり、中性子成分の抽出を行った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](#)

V305a X線天文衛星代替機計画の現状

田代 信 (埼玉大, ISAS/JAXA), 前島弘則, 戸田謙一, 竹井 洋, 富田 洋 (ISAS/JAXA), R. Kelley, L. Reichenthal, J. Lobell, R. Petre, M. Edison, L. Angelini, G. Sneiderman (NASA/GSFC), M. Guainazzi (ESA), E. Costantini, M. Grim, J-W. den Herder (SRON), 石崎欣尚 (首都大), 藤本龍一 (金沢大), S. Paltani (ジュネーブ大), 林田 清 (大阪大), 森 浩二 (宮崎大), 寺田幸功 (埼玉大), 松下恭子 (東京理科大), ほか XARM team

「ひとみ」が扉を開いた、高温プラズマの超高分解能分光観測による宇宙の重元素生成と循環、および高エネルギー天体から星間空間・銀河間空間にいたるエネルギーの輸送の観測的研究の画期的な進展への期待が高まっている。X線天文衛星代替機 (XARM) は、JAXA が、NASA、ESA との協力のもと、「ひとみ」のめざしたサイエンスのうち、特に超高分解能 X 線分光撮像を継承するミッションとして準備を進めている衛星計画である。すなわち、2台の高効率 X 線反射鏡による結像に、X 線マイクロカロリメータによる超高分解能 X 線分光、X 線 CCD カメラによる広視野撮像を組み合わせることで、1) 銀河団にみる宇宙の構造形成、2) 超新星爆発や銀河風にみる重元素の生成と循環、3) 輻射と運動による大規模なエネルギー輸送、の3つの問題の解明と、さらに4) 超高分解能 X 線分光による新しい宇宙物理学の開拓を目標に加え、2020年代の X 線天文学のさらなる展開を目指す。2017年4月にミッション定義審査、システム要求審査を終え、11月にプリプロジェクトチームを設立、現在は、2018年はじめのプロジェクト開始、2020年代初頭の打ち上げに向け計画決定段階にある。本講演では計画の概要と現状を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306a X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の開発の現状

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, A. Hoshino^A, Y. Ichinohe, R. Iizuka^H, K. Ishibashi^I, M. Ishida^H, K. Ishikawa^H, C.A. Kilbourne^A, S. Kitamoto^J, S. Koyama^H, M.A. Leutenegger^A, Y. Maeda^H, D. McCammon^K, I. Mitsuishi^I, H. Mori^A, S. Nakashima^L, H. Noda^M, T. Ohashi, T. Okajima^A, S. Paltani^E, F.S. Porter^A, K. Sato^N, M. Sawada^A, H. Seta, P.J. Shirron^A, G.A. Sneiderman^A, Y. Soong^A, A.E. Szymkowiak^O, Y. Takei^H, T. Tamagawa^L, M. Tsujimoto^H, S. Ueda^H, C.P. deVries^B, S. Yamada, N.Y. Yamasaki^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線天文衛星代替機 (X-ray Astronomy Recovery Mission; XARM) に搭載される *Resolve* は、50 mK の極低温で動作する 6×6 ピクセルのマイクロカロリメータと、5.6 m の焦点距離の多重薄板 X線望遠鏡で構成される。XARM は「ひとみ」の代替機であり、日米欧の国際協力で開発が進められている。*Resolve* は、「ひとみ」Soft X-ray Spectrometer (SXS) と Soft X-ray Telescope (SXT) の再製作を基本とするが、「ひとみ」の教訓を元に、いくつかの設計変更も行う。2017年11月に、NASA 担当であるマイクロカロリメータ検出器、断熱消磁冷凍機、それらの制御機器の詳細設計審査が実施され、FM 製作が開始されている。日本では、液体 He デュウ周辺の設計変更箇所の洗い出しと、BBM による要素試験を開始している。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](#)

V307a X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載軟X線撮像装置の開発

富田洋, 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (JAXA), 林田清, 中嶋大, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 小林翔悟 (京都大学) 幸村孝由, 萩野浩一 (東京理科大学), 岡島崇 (NASA), 村上弘志 (東北学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (奈良女子大), 平賀純子 (関西学院大), 他 XARM 軟 X 線撮像装置開発チーム

ひとみ衛星 (ASTRO-H) のリカバリーミッションとして 2020 年度の打ち上げを目指している X 線天文衛星代替機 (XARM) には、軟 X 線分光器 (Resolve) と軟 X 線撮像装置 (Xtend) が搭載される。Xtend は軟 X 線反射鏡と X 線 CCD カメラを組み合わせた構成で、0.4~13 keV のエネルギーバンドで 38 分角という広い視野をカバーする。

X 線望遠鏡と X 線 CCD カメラは共にひとみ衛星搭載品のデザインをベースとするが X 線 CCD カメラではとくに CCD で改善を行う。改善点は可視光遮断膜のピンホール数の減少、電化転送効率の向上 (電荷転送チャンネルの幅を小さくする)、S/N 比改善を目指したしたゲイン向上などで、現在試作 CCD を制作中である。試作 CCD はパッケージをフライト品と同等としたタイプと比較的簡便に評価可能な小型素子がある。これらの評価を経て 2018 年 5 月までにフライト品の仕様を決定する。本講演では Xtend 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](#)

V308a X線衛星代替機 XARM における科学運用計画

寺田幸功 (埼大), 田代信 (埼大,JAXA), 海老沢研 (JAXA), 深沢泰司 (広大), 飯塚亮 (JAXA), 勝田哲 (埼大), 北口貴雄 (理研), 久保田あや (芝浦工大), 水野恒史 (広大), 中島真也 (理研), 中澤知洋 (東大), 信川正順 (奈良教育大), 大野雅功 (広大), 太田直美 (奈良女大), 志達めぐみ (理研), 菅原泰晴 (JAXA), 高橋弘充 (広大), 田村隆幸 (JAXA), 田中康之 (広大), 寺島雄一 (愛大), 坪井陽子 (中央大), 内山秀樹 (静大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 渡辺伸 (JAXA), 山内茂雄 (奈良女大)

X線天文衛星「ひとみ」で実現しようとしていた軟X線での超高分解能分光観測を回復すべく、X線衛星代替機 (X-ray Astronomy Recovery Mission, XARM) 計画が進められている。XARMによる科学観測のアウトプットを最大化すべく、これまでのX線衛星以上にゲスト観測者のサポート活動を深く行うチームとして、搭載検出器の開発チームや衛星の運用チームとは独立に、科学運用チーム (Science Operation Team, SOT) を立ち上げ、打ち上げ前の早い段階から、軌道上での科学運用をスムーズに実施できる体制を整える予定である。現在は、こうした科学運用のコンセプトに従い、SOTで実際に実施する活動を定義している段階である。たとえば、提案された観測の効率を最大化するための運用計画の補助や、衛星テレメトリーの高次データ処理とアーカイブ、衛星データ解析用のソフトウェアと較正データベースの開発、および、検出器性能向上のためのスタディ、ユーザーサポート・ヘルプデスク等の活動を展開する予定である。本講演では、XARM SOTで展開する科学運用のコンセプト、および、具体的な活動計画について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309b X線天文衛星「ひとみ」搭載軟X線撮像検出器 SXI における日照中の校正線源からの輝線中心値の変動調査と光漏れ経路の検討

本田大悟, 別府達彦, 金丸善朗, 佐藤仁, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 林田清, 中嶋大, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 富田洋, 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 小林翔悟 (京都大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 幸村孝由, 萩野浩一 (東京理科大学), 平賀純子 (関西学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 他 XARM 軟X線撮像装置開発チーム

X線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager; SXI) は、高感度・広視野を誇るX線 CCD カメラである。通常運用移行後におよそ3週間に渡り複数天体を観測し、期待通りの撮像分光性能を発揮した。一方で、衛星のマイナスZ軸 (後方) が昼地球を見ている時間帯では、昼地球からの光が衛星のベースプレートに空いた穴を経由して衛星内部で反射し SXI に入射することで、擬似イベントを生成するなどの影響がでた (2016年秋季年会、内田ほか)。その後の調査により、この「マイナスZ昼地球時間帯」を除去した後でも、日照中は校正線源からの輝線中心値が有意に変動している様子がわかった。日陰では変動はみられず、日照になった直後に輝線中心値が段階的に上昇し、また、太陽高度が上昇するにつれ輝線中心値もさらに上昇することから、この変動も光漏れが原因であると考えられる。ただし、擬似イベントは生成されていないことから、マイナスZ昼地球時間帯よりも強度の弱い光漏れであり、これが CCD 端面から入射することで電荷転送効率に影響を与えていると考えている。X線天文衛星代替機 (XARM) の開発においては、この光漏れ対策が重要項目の一つになる。本講演では、この輝線中心値変動の詳細と、光漏れの経路の検討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](#)

V310b X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Soft X-ray Imager (SXI) に向けた小型試作 CCD の性能評価

大西里実、岩垣純一、中嶋大、林田清、松本浩典、常深博 (大阪大学)、鶴剛、田中孝明、内田裕之、小林翔悟 (京都大学)、富田洋、堂谷忠靖、尾崎正伸 (JAXA)、森浩二、山内誠、廿日出勇 (宮崎大学)、幸村孝由、萩野浩一 (東京理科大学)、村上弘志 (東北学院大)、内山秀樹 (静岡大)、山岡和貴 (名古屋大)、信川正順 (奈良教育大)、信川久実子 (奈良女子大)、平賀純子 (関西学院大)、他 XARM SXI 開発チーム

我々は、X線天文衛星代替機 (XARM) に搭載される Soft X-ray Imager (SXI) の開発を進めている。SXI は、XARM 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の焦点面検出器であり、大面積裏面照射型 X線 CCD 素子を 4 枚配置することで、0.4–13 keV のエネルギー帯域で 38 分角四方という広い視野をカバーする。CCD 素子は、ひとみ衛星に搭載された X線 CCD カメラのものをベースとしながらも、特に以下の二点を中心に、改善を図る。

一つは、可視光の遮光率向上である。特に、X線入射面上に形成された可視光遮断層におけるピンホール数を低減し、観測効率を向上させる。もう一点は、電荷転送効率の向上である。ウエハ内電荷転送路の静電ポテンシャルにノッチ構造を持たせることで、電荷転送路の幅を小さくする。これにより信号電荷が電荷トラップを通る確率が低くなり、電荷転送効率が向上し、結果として放射線損傷を軽減させる。

我々は試作 CCD としてまず、比較的短時間に製造可能であり、低コストで評価可能な小型素子を用いて、上記改善箇所を重点的に評価する。評価試験のために大阪大学で構築している実験システムについて説明するとともに、最初の試作素子の評価結果についてもあわせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311b 次期X線天文ミッション搭載に向けた小型X線CCDカメラシステムの開発

岩垣純一、大西里実、花坂剛史、岡崎貴樹、朝倉一統、米山友景、中嶋大、能町正治、林田清、松本浩典、常深博（大阪大学）、John P. Doty(Noqsi Aerospace Ltd.)

我々は、X線天文衛星代替機、および超小型衛星計画ORBISを念頭に置き、小型X線CCDカメラシステムの開発を行っている。CCDセンサは浜松ホトニクス社製で、ひとみ衛星搭載センサの小型バージョン(7.7×6.1mm)を使用する。我々は、ひとみ衛星で課題となった以下の問題の改善を図っている。1つは可視光の遮光率向上であり、特に、X線入射面上に形成された可視光遮断層におけるピンホールの数を低減し、観測効率を向上させる。もう1つは、電荷転送効率の向上であり、ウエハ内電荷転送路の静電ポテンシャルにノッチ構造を持たせることで、電荷転送路の幅を小さくする。これにより信号電荷が電荷トラップを通る確率が低くなり、電荷転送効率が向上し、結果として放射線損傷を軽減させる。

また、科学衛星で用いられる通信規格SpaceWireと、超小型衛星で用いられるRS422の変換基板の開発も行っている。これらの通信規格は、通信速度が異なるため(SpaceWire 10Mbps, RS422 9600bps)、損失なくパケットを送受信するためには、規格間にバッファリングの機能を挟むが必要である。この変換基板は、FPGA(field-programmable gate array)を用いてバッファリング機能を実現しようとするものであり、もし実現すれば、簡単で安価な手段として、今後の様々な利用が期待される。本講演では、このCCDとデジタル系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](#)

V312a X線偏光観測衛星 IXPE への参加現状

玉川 徹, 早藤麻美, 北口貴雄, 岩切 渉, 中野俊男 (理研), 三石郁之 (名古屋大), 郡司修一 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 林田 清 (大阪大) ほか IXPE-J 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をすることが決まっている(玉川ほか, 2017年秋季年会)。提供するハードウェアは、名古屋大学が開発した受動型熱光学素子であるX線望遠鏡サーマルシールドと、理化学研究所が開発した、X線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイルである。現在は、NASA/MSFC、イタリアと調整しつつ、2018年初頭に提供する予定のエンジニアリングモデルの開発と試験を進めている。また、サイエンスワーキンググループへの参加など、ハードウェア以外での貢献もNASA/MSFCと調整中である。本講演では、IXPE衛星計画の現状、ハードウェア提供とX線偏光計の詳細、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](#)

V313a 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 (2)

三石郁之, 二村泰介, 清水貞行, 田原譲, 立花一志, 大西崇文 (名古屋大学), 玉川徹 (理研)

2021年に打ち上げが予定されている NASA 主導 X線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X線望遠鏡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 (TS) を開発している。TS の実体はシールド本体の金属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製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 (PI) フィルムの使用を予定している。

2018年2月中のエンジニアリングモデルユニット納品を目指し、熱シミュレーションや機械強度評価試験を実施し、設計検討を進めてきた (三石他 日本天文学会 2017年秋季年会)。すでに設計が決まり、PI フィルムは $1.4\ \mu\text{m}$ 厚程度、金属枠にはアルミ製全周構造を、メッシュはステンレス製でこれまでで最も大きな 8 mm 角の高開口効率 ($\sim 98\%$) デザインを採用している。さらに全周アルミ枠は迷光成分削減のため中空構造としない。本講演ではエンジニアリングモデルユニットの製作および評価の現状とあわせ、今後の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](#)

V314b IXPE 搭載 X 線望遠鏡用サーマルシールドの開発における環境試験 (2)

二村泰介, 清水貞行, 田原譲, 三石郁之, 立花一志, 大西崇文, 立花健二 (名古屋大学), 玉川徹 (理研)

2021年に打ち上げが予定されている NASA 主導の X 線偏光観測衛星 The Imaging X-ray Polarimetry Explorer (IXPE) に搭載する、X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールド (TS) の開発を行っている。望遠鏡からの輻射や太陽直射光により望遠鏡の温度環境には変動がある。望遠鏡内の温度環境維持のために、TS の開発が進められている。TS の主な構成要素は、本体となる金属薄膜付きプラスチックフィルム、フィルム支持材としての金属メッシュ、機械強度部材としての金属フレームである。

名古屋大学では 2018 年 2 月中の TS エンジニアリングモデルの完成を目指し、設計検討のため様々な環境試験を行った。望遠鏡デザインに合わせ TS の金属フレームはスポークの本数が少ないデザインを採用したため、従来のものに比べ機械強度の劣化が懸念された。この事から打ち上げ時の振動や熱負荷を考慮し、静加圧試験、加熱後のサンプルへの加圧を行った。静加圧試験では 0.01 atm でフレームとメッシュの剥離が起き、音響試験の要求値を耐圧性の指標とすると、15 倍程度のマージンを持つ事がわかった。打ち上げ時の熱シミュレーションの結果から、加熱温度は 100 及び 150 とした。100 及び 150 にサンプルを加熱した後に行った加圧試験からは、有意な機械強度の劣化は見られず、前述の試験同様に 15 倍程度のマージンを持つ事がわかった。またエポキシの流動性の変化による機械強度の劣化を評価するため、サンプルを同時に加熱・加圧する試験を行った。結果として 0.05 atm でメッシュとフィルムの剥離が起きたが、機械強度としては問題にならないものであった。以上の試験結果、及びメッシュとフレームをネジ止めする機構の追加を考慮すると、十分な機械強度がある事が実証された。本講演では IXPE 搭載 TS 開発のために行った以上の環境試験について、詳細な報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V315b 高エネルギー X 線の偏光を検出するマイクロパターン TPC 型偏光計の開発

若松 孝也, 大久保 美穂, 窪田 恵, 周 圓輝, 小田 苑会 (東京理科大, 理研), 早藤 麻美, 中野 俊男, 北口 貴雄, 岩切 渉, 玉川 徹 (理化学研究所), 榎戸 輝揚 (京都大)

X 線偏光観測は、ブラックホールなどの天体の物理状態を探る重要な手法の一つである。2021 年に NASA が打ち上げる IXPE 衛星は、2–8 keV のエネルギー帯域で高感度の X 線偏光観測を初めて実現する計画である。一方で我々は将来の偏光観測のために、IXPE 衛星が感度を持たない 8 keV 以上の X 線偏光観測を目指し、NASA/GSFC と共同開発した Time Projection Chamber 型の偏光計を開発している。両偏光計は、1 光子毎に光電吸収により放出された光電子の飛跡イメージを取得し、光電子の放出方向分布から偏光度・偏光角を検出する。

8 keV 以上の X 線に感度を持たせるため、偏光計に X 線ターゲットガスとして Ar、クエンチャーとしてジメチルエーテル (DME) を混合比 Ar:DME=6:4 にして 1 気圧で詰めて、偏光検出の性能評価をした。偏光観測の重要なパラメータである電子ドリフト速度を測定したところ、実測値とシミュレーションとの差は約 5%以内という結果を得た。また、X 線発生装置からの Mo Ka 輝線 (17.5 keV) を利用して飛跡が取得できることを確認した。(早藤 2017 秋季年会)。今回は、実際に偏光計として機能することを確認するため、無偏光 X 線と偏光 X 線を別々に偏光計に照射し計測を行なった。特性 X 線は無偏光であることから、Mo Ka 輝線を用いて、変調カーブが平坦になるよう校正した。次に、偏光 X 線として、X 線発生装置の管電圧を 20 kV に設定し、制動放射 (18–20 keV) の偏光度を計測した。その結果、制動放射の偏光角と一致する変調を 5 以上の有意度で検出でき、偏光に感度があることを確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316b 高速自転する中性子星からの定常重力波の検出に向けた、X線による連携観測の開拓 1

北口貴雄 (理研), 榎戸輝揚 (京都大), 伊藤洋介 (大阪市大), 岩切涉 (理研), 小島康史, 高橋弘充 (広島大), 南部陽介 (大阪府大)

ブラックホール同士および中性子星同士の合体による重力波が検出され、天文学の新時代が始まった。そして「突発的な」重力波信号を放射する対応天体を多波長電磁波で探ることが、世界的潮流である。これに対し、我々は「定常的に」生じる重力波源の検出を目指し、それをサポートするX線観測超小型衛星の概念設計を進めている。

高速自転する中性子星は質量分布の異方性により、自転周期の倍波の定常重力波を生じることが理論予想されている (e.g. Wagoner+84, ApJ)。そこで距離が近く (2.8 kpc)、X線で全天一明るい、弱磁場中性子星を含む連星系さそり座 X-1 (Sco X-1) に着目した。中性子星の自転周期に応じて重力波データを折り畳むことで S/N 比を劇的に改善でき、現状の重力波干渉計で観測できるはずである。しかし Sco X-1 の自転周期は運用を終えた RXTE 衛星の結果であり、伴星からの質量降着量の変化に応じて時間変動するため、重力波は未検出である。

Sco X-1 はX線で一番明るいいため、X線で自転周期を精度良く決めれば、重力波探査の計算コストを劇的に減らし、現実的な探査が可能になる。Sco X-1 からはコヒーレントな周期は見つかっていないが、双子の準周期振動が検出されていて、その差分周期 ~ 300 Hz が自転周期に対応すると考えられている。そこで Sco X-1 からのX線を長期に専有してモニタリングし、自転周期の時間変動を追跡するための超小型衛星を提案する。本講演では、概念設計の途中報告として、NICER による Sco X-1 モニタリング計画と、それをスケールダウンして見積もった超小型衛星での観測実現性、および搭載装置の候補となる検出器の開発状況を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V317a 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 (6)

森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉), 久保田あや (芝浦工業), 中澤知洋, 馬場彩 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一 (東京理科), 小高裕和, 中島真也 (理研), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸, 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之, 小林翔悟 (京都), 松本浩典, 中嶋大, 常深博 (大阪), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 伊藤真之 (神戸), 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, 山口弘悦, 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、既存の硬X線ミッションと比較して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。ミッション機器は、高角度分解能を有するX線スーパーミラーと、軟X線から硬X線を1台でカバーする広帯域X線撮像検出器から構成される。現時点で2020年代に世界に確定した硬X線ミッションは存在せず、NuSTAR, ひとみから続く硬X線撮像分光の流れを、本計画が継承し発展させる。本講演では、サイエンス検討の進捗、検出器・望遠鏡開発の状況、および、今後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](#)

V318a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 27:これまでの到達点と今後の開発

鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 松村英晃, 林秀輝, 立花克裕, 原田颯大(京都大学), 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), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真, 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)

SOIPIXはSOI半導体プロセスを応用した日本独自の検出器である。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なことから、他の方法では不可能な高い性能の実現が可能である。私たちは、X線CCDの持つ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持つことで、 $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現する。本講演では、下記の内容を中心に開発の現状を報告し、今後の見通しを述べる。

これまでの開発から、センサ領域と回路層に容量カップリングが存在することでノードゲインが期待通り上がらないことを発見していた。これを解決するために、新たにダブルSOI構造やPDD構造というウェハを開発し、トリガを利用しないフレーム読み出しで $15e(\text{rms})$ 以下読み出しノイズを達成した。トリガを利用するイベント駆動読み出しでは、ゲインの問題に加え、デジタル回路の動作がセンサ領域に干渉を及ぼしていることも発見していた。これを削除するためにもダブルSOIやPDDが有効であり、導入により大幅な性能向上を実現し、 6keV で 300eV (FWHM)のエネルギー分解能を達成した。中型素子($14\text{mm} \times 22\text{mm}$)の開発し、イベント駆動に成功している。その他、薄い裏面不感層の開発、放射線損傷の評価、サブピクセルレスポンスの評価を進めている。また素子を複数枚スタックすることで、非同時計数や偏光X線検出実験を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 28:サブピクセルレベルでのX線 応答評価

大野顕司, 幸村孝由, 萩野浩一, 小木曾拓, 根岸康介, 鎌田敬吾 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 松村英晃, 立花克裕, 林秀輝, 原田颯大 (京都大学), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真, 福田昂平 (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), 他 SOIPIX グループ

我々は、次世代のX線天文衛星の搭載に向けて、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、SOI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。また、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。

我々の先行研究では、KEK-PFのBL-11Bにおいて $\Phi=4\mu$ mに絞った2-5 keVの単色のX線ビームをプロトタイプ素子XRPIX3b-FZ(ピクセルサイズ:30 μ m四角)に裏面側から照射し、サブピクセルレベルの応答を評価した。その結果、ピクセル内の相対検出効率のバラツキが最大で約30%であることが分かった。また、4ピクセルにまたがる領域から抽出したエネルギースペクトルは、ピクセルの中心領域と比べ、スペクトルの中心値が低エネルギー側にズレ、またスペクトルの山の形状も崩れ、結果的にエネルギー分解能が悪い $\sim 4000\text{eV}$ @5keVのものであった。この原因は、素子の電荷を読み出す回路部と検出部の電気的な干渉によるものであった。

そこで、我々は干渉を軽減させるために、回路層のデザインをダブルSOI構造に変更した新しい素子XRPIX6D-PCZ(ピクセルサイズ:36 μ m四角)を開発し、2017年12月にBL-11BにおいてXRPIX6D-PCZのサブピクセルレベルの応答の評価を行なった。その結果、コーナー領域のスペクトルでは中心値のズレが改善され、形状はよりシャープであることが分かった。本講演では、XRPIX6Dのサブピクセルの応答評価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](#)

V320a サブ秒角でX線天体を撮影する多重像X線干渉計MIXIM(1) 概念検討と観測目標

林田清, 川端智樹, 花坂剛史, 朝倉一統, 中嶋大, 井上翔太, 松本浩典, 常深博(大阪大学), 粟木久光(愛媛大学)

我々は、反射鏡を用いない新しいタイプのX線干渉計を提案している(Hayashida et al.2016)。X線回折格子とX線ピクセル検出器を組み合わせた単純な構造で、タルボ効果による生じる多数の自己像を撮影し、解析で重ね合わせることで、光源プロファイルを測定する。例えば、検出器から50cmの距離においた $5\mu\text{m}$ ピッチ、開口率0.2の格子で、0.1nmのX線に対して0.4秒角の像幅が得られ、超小型衛星サイズでChandra衛星の角度分解能0.5秒角を凌駕することが見込まれる。この多重像X線干渉計(MIXIM, Multi Image X-ray Interferometer Module)は、集光系を用いないため、有効面積とバックグラウンドの制限から数mCrab以上の明るさの天体がターゲットになる。具体的ターゲットとして、近傍($\sim 10\text{Mpc}$)活動銀河核のトーラスの空間分解(0.1秒角,5pc)を目指す。MIXIMでは複数の次数のタルボ条件を満たすエネルギーが同時に利用できる。25.6 keV(次数 $m=1$), 12.8 keV($m=2$), 8.5 keV($m=3$), 6.4 keV($m=4$), 5.1 keV($m=5$)付近の、それぞれ10/%程度の幅のバンドを利用し、吸収、散乱成分と鉄輝線の空間分布を中心核周辺数秒角の領域で測定したい。現在のMIXIMの技術的問題のひとつは検出器の位置分解能として数ミクロン以下を確保することである。最新の微小ピクセルCMOS検出器の導入を開始しているが、微小ピクセル検出器はX線偏光測定を可能にする。例えば、1型活動銀河核の中心核を囲むトーラス周辺に同心円状の偏光パターンを検出することで、統一モデルの検証が可能となる。以上の概念検討と観測計画に関して、克服すべき課題とともに紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V321b FORCE 計画用 Si 基板反射鏡の散乱測定実験

松本浩典 (大阪大学), 田村啓輔, 中野慎也, 横田翼, 大塚康司, 二村泰介, 吉田篤史 (名古屋大学), 花坂剛史, 朝倉一統 (大阪大学), Will Zhang, 岡島崇 (NASA GSFC)

ワイドバンド X 線天文衛星計画 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution) は、未だ観測されていない様々な質量範囲の「ミッシングブラックホール (BH)」を X 線で観測し、BH の進化を解明することを目指す。ミッシング BH とは、吸収が非常に大きくこれまでの観測で引っかからなかった「埋もれた」巨大 BH、未だに存在そのものが議論されている中間質量 BH、連星系になっていない孤立した恒星質量 BH、である。

この目的のためには、エネルギー 1–80 keV の X 線を角度分解能 15 秒角で集光できる X 線望遠鏡が必要である。硬 X 線は到来数が少なく、大面積 X 線望遠鏡が必要となる。限られた重量で大面積を達成するため、X 線望遠鏡は薄板多重型となる。現在 NASA/GSFC では、シリコン結晶を 0.4 mm 厚程度で Wolter-I 型に切出した高形状精度の薄板の開発を進めている。FORCE 計画ではこれを反射鏡基板として使用する予定である。さらに、硬 X 線をブラッグ反射させるため、重元素と軽元素の薄膜を交互に積層した多層膜を基板表面に成膜する。しかし、多層膜を利用することにより、正反射と異なる角度に出る反射光 (散乱光) が correlated roughness によって増大する可能性が懸念される。そこで、2017 年 11 月 20 日から 11 月 24 日にかけて、NASA/GSFC で作成された Si 基板サンプルに、大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 で、20 keV と 30 keV の平行 X 線ビームを照射し、散乱光を測定する実験を行った。今回測定したサンプルは、長さ 100 mm・厚さ 1 mm・口径 315 mm の Si 基板に、20 keV の X 線に対し入射角が 0.4° でブラッグピークを持つ Pt/C 多層膜 (膜厚 48.8Å、重元素比 0.4、積層数 30) を成膜したものである。本講演ではこの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](#)

V322b サブ秒角でX線天体を撮影する多重像X線干渉計 MIXIM (2) 開発の現状

花坂剛史, 川端智樹, 林田清, 朝倉一統, 中嶋大, 井上翔太, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 粟木久光 (愛媛大学)

我々は、光学系を用いない新しいタイプの X 線干渉計を提案している。X 線回折格子と X 線ピクセル検出器を組み合わせた単純な構造で、タルボ効果により生じる多数の自己像を撮影し重ね合わせることで、光源のプロファイルを測定する。例えば、波長 0.1nm の入射 X 線に対して、 $5\ \mu\text{m}$ ピッチ、開口率 0.2 の格子を検出器から 50 cm の距離に置くことで、0.4 秒角の像が得られる見込みである。我々は、これを多重像 X 線干渉計 (MIXIM, Multi Image X-ray Interferometer Module (Mission)) と呼んでいる。ピクセルサイズ $30\ \mu\text{m}$ の XRPIX2b 検出器を用いて、マイクロフォーカス X 線源 (W ターゲット)、X 線回折格子 ($4.8\ \mu\text{m}$ ピッチ, $17\ \mu\text{m}$ 厚 Au) と組み合わせ、4.4 倍の拡大率で干渉縞の検出に成功している (2017 年春季年会)。しかし、天体からの X 線は平行光のため、検出器にはより高い位置分解能が必要である。そこで、ピクセルサイズ $4.25\ \mu\text{m}$ の可視光用の CMOS イメージセンサ (Gpixel 製 GSENSE 5130) に着目した。可視光用ではあるが、X 線にも感度を持ち、5.9 keV の X 線に対して約 240 eV エネルギー分解能を得ている (2017 年秋季年会)。

今回の発表では、この GSENSE 5130 と $4.8\ \mu\text{m}$ ピッチ格子を組み合わせて、SPring8 BL20B の光源サイズ 0.04×0.28 秒角の準平行光 (12.4 keV, 24.8 keV) を照射した実験に関して報告する。干渉縞検出の有無に加え、偏光検出能力の評価についても報告する。また、同センサおよび GSENSE 2020-BSI にマイクロフォーカス X 線源の X 線を照射した実験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](#)

V323a 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 II

大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也、一戸悠人 (首都大)、山崎典子、満田和久 (ISAS/JAXA)、田原 譲、三石郁之 (名古屋大)、大里 健 (東京大)、太田直美 (奈良女子大)、佐藤浩介 (埼玉大)、旧 DIOS ワーキンググループ

本グループは、数 100 万度という中高温の銀河間物質として宇宙の大構造に沿って分布するダークバリオンを、赤方偏移した酸素輝線でマッピング観測することを目指す小型衛星 DIOS の検討を進めてきた。X線天文衛星代替機を実施することから、当初の計画通り 2020 年代はじめに DIOS を実現させることは不可能となり、ワーキンググループも 2016 年秋に一旦解散した。一方、バリオンの存在形態を確認し、宇宙の熱史や構造形成の歴史を、星や銀河の形成とは異なった角度から知るという観点からも、DIOS がめざしたサイエンスの重要性と独自性は変わらない。そこで、Athena (2028 年を予定) より後となる 2030 年ごろに目標を定めて、能力を大幅に増強した Super DIOS の検討を開始している。

Super DIOS の観測系は、広視野軽量 X 線望遠鏡、TES カロリメータ、無寒剤の冷凍機からなる。約 30 分角の広視野と 2 eV ほどのエネルギー分解能を実現する点は、DIOS とほぼ同じだが、X 線望遠鏡の角分解能を約 10 秒角へと高め、合わせて TES カロリメータの素子数もこれまでの 400 素子程度から約 3 万素子へと大幅に増強する点が大きな違いで、能力的には XMM-Newton をやや小型化した TES カロリメータ版とも言える。X 線望遠鏡は名古屋大学を中心に、米国との国際協力も視野に入れつつ検討を開始している。TES カロリメータは米国で提案されている Lynx 計画と能力的に近いこともあり、引き続き日米協力を軸に開発を進める。Super DIOS を想定したダークバリオン検出の新たなシミュレーションも開始しており、サイエンスの見通しを含めた現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324a 小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型望遠鏡における性能劣化要因の評価

大塚康司, 関大策, 石原雅士, 清水貞行, 馬場崎康敬, 田原譲, 三石郁之 (名古屋大学)

小型衛星計画 DIOS では広視野・大有効面積を実現するため、光学系として Wolter-I 型光学系を 4 回反射へと拡張した反射型望遠鏡 (FXT : Four-stage X-ray Telescope) の搭載を予定している。この FXT は従来の Wolter-I 型光学系を 4 回反射へと拡張し、円錐近似した厚さ 0.22 mm の反射鏡を同心円状に並べた光学系であり、1200 mm の短焦点かつ、600 mm の大口径を特徴としている。FXT は反射鏡の搭載数が 4000 枚以上となり、従来の望遠用と比べ非常に増加しているため、反射鏡の形状誤差や位置決め誤差が結像性に顕著な影響を及ぼし、開発において大きな課題となっている。

この課題に対し、ハウジングに組み込んだ状態での鏡面側 3 次元表面形状と X 線集光イメージとの比較をすることで、性能劣化の要因を切り分けを目指している。4 回反射させた結像イメージから性能劣化の要因を切り分けるのは困難であるため、3 次元表面形状測定用のため特別に製作したミニチュアハウジングに、1 段目の反射鏡のみを搭載することで、比較を行った。これにより、3 次元鏡面形状の測定から予想される X 線の理想的な結像位置からのずれと、宇宙研の 27 m ビームラインを使用し、X 線を当てた際の結像位置のずれの方向が一致していることが判明した。また、異なる反射鏡やアルミ基板をミニチュアハウジングの同じ段にセットした際、サンプルによらず数 $10 \mu\text{m}$ 程度のうねりがほぼ同一の位置に確認できたことから、反射鏡形状がハウジング内の望遠鏡支持機構 (アライメントプレート) に大きく左右されている可能性が浮上した。そのため、現在は望遠鏡支持機構の形状を測定し評価を行っている。本講演では上記内容の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a JAXA 宇宙科学研究所標準平行X線光源室用可視光平行光源の立ち上げと性能評価

浅井龍太, 中庭望, 倉嶋翔, 佐藤寿紀, 武尾舞, 石田学 (首都大/宇宙研), 飯塚亮, 前田良知 (宇宙研)

宇宙科学研究所の先端宇宙科学実験棟、標準平行X線光源室には30mの長さのX線ビームラインが設置されており、飛翔体に搭載するX線観測装置の性能評価等に用いられている。真空槽に入れる前にX線観測装置の性能を簡易的に測定できるように、可視光の平行光源を設置する。本実験ではニュートン式望遠鏡を組み立て横に倒し、接眼部からピンホールを通して光を出すことで平行光源として用いた。望遠鏡は安価、熱伝導率が0に近い、大口径が得やすいなどの理由から、Sky Watcher ドブソニアン望遠鏡「DOB 18」を採用した。平行光源の口径は458mm、焦点距離は1900mm、口径比(F値)はF4である。なお使用したピンホールのサイズは直径100 μ mである。本講演では、この可視光平行光源の平行度と光量一様性の測定結果を発表する。

平行度の測定は、口径50mmのセオドライト(ライカT3000)で平行光源の口径を87の測定点に分割し、稠密にマッピングすることで行った。平行度の目標としてXMM-Newtonと同程度の分解能で測定ができるよう、 ± 5 秒角以内とした。その結果、ビームの仰角は ± 5 秒角以内、方位角はおよそ ± 10 秒角以内という平行度を得た。仰角、方位角をベクトルとし2次元マッピングとしてまとめ、そこから測定点の66%でビームが ± 5 秒角以内の平行度に収まっていることを確認した。光量一様性の測定にはNikonのデジタルカメラD600を用いた。平行光源からの平行光を星の光と見立て、星の測光を行う要領で光量の一様性を測定し2次元マップを作成した。そこから平行光源の全観測点で概ね50%以内の一様性が得られている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a X線望遠鏡用炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 反射鏡と位置調整法の開発

大上 千智, 粟木 久光, 大松 茉喜, 吉田 鉄生 (愛媛大学), 横田 翼, 三石 郁之, 田村 啓輔, 石田 直樹, 中野 慎也, 大塚 康司, 吉田 篤史 (名古屋大学), 松本 浩典 (大阪大学)

Wolter-I型のX線望遠鏡は回転放物面、回転双曲面の2種類の反射鏡を組み合わせ、放物面側と双曲面側でそれぞれ反射させ集光させる仕組みを特徴とする。これまで日本で開発されてきた望遠鏡は大有効面積を重視し、薄く軽いアルミニウムを基板とした多重薄板型であったが、角度分解能が数分角程度で十分な性能は得られていない。また、現状の望遠鏡ではアライメントバーと呼ばれるくし状の治具で反射鏡の位置決めをしているため、複数層の反射鏡を別々に位置調整することができない。

我々は、大有効面積に加えて高角度分解能を達成するために、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 基板にPtを鏡面とした反射鏡の開発を行なっている。鏡面形成は、2017年春季年会で横田が報告したガラス母型を用いて形成する方法と、X線天文衛星「ひとみ」でも採用したアルミ金型と薄板ガラスを用いる方法 (GCM法) の2種類で行なった。また、口径200 mmの二段一体型1/4周反射鏡の12箇所あるいは15箇所を、ピエゾアクチュエータを用いて調整する方法を開発した。この方法により一層一周分の反射鏡の各位置をサブミクロンの精度で調整することに成功し、調整後の反射鏡形状はPV(Peak to Valley)値で約 $10\ \mu\text{m}$ であった。このように調整した反射鏡に対し、2017年11月27日から12月1日にかけて、大型放射光施設SPring-8にてエネルギー20keVのX線ビームを使った結像性能の評価実験を実施した。本講演では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](#)

V327a 次世代X線天文衛星を目指すシリコン高温塑性変形を用いた全反射鏡の開発

中庭 望, 江副祐一郎, 沼澤正樹, 佐藤拓郎 (首都大学東京), 石田 學, 石川久美, 満田和久 (ISAS/JAXA), 森下浩平, 中嶋一雄 (東北大学)

X線望遠鏡には共通の焦点を持つ回転放物面鏡と回転双曲面鏡の2回反射で集光する Wolter-I 型斜入射光学系が用いられる。集光面積を拡げるために反射鏡を同心円状に多数積層するとき、軽量化のために薄い基板を使用すると鏡面精度が上がらず解像度は落ちる。しかし、シリコン基板は表面粗さが数 Å rms と滑らかでかつ平坦なものが市販されており、密度も 2.5 g/cm^3 と軽量なため、次世代の X 線光学系として理想的な反射鏡となりうる。一方で、曲げるのが難しいという難点がある (Baydaz et al. 2006 SPIE, Hudec et al. 2006 SPIE)。

我々は、高温塑性変形 (Nakajima et al. 2004 Nature Materials) という日本発祥の技術を用いた反射鏡基板の成形に取り組んでいる。高温下でシリコンの結晶面を保ったまま塑性変形させるため、変形後の基板は変形前と同等の粗さを持つと考えられる。これまでに我々は 4 inch Si(111) 基板を球面に変形して、世界で初めて表面での全反射を実証し、表面粗さが 1 nm rms 以下を保持できることを示した。(Ezoe et al. 2009 Applied Optics)

我々はシリコン基板用高温塑性変形装置を首都大に導入し、Wolter I 型光学系用の全反射鏡の開発に本格的に着手した。実際の望遠鏡を想定して、厚さ $300 \mu\text{m}$ の Si(110) 基板を、表面積 $60 \times 30 \text{ mm}$ 、曲率半径 $\sim 100 \text{ mm}$ で設計している。しかし、変形時に基板を円錐治具で挟む際に治具同士の噛み合わせが μm 単位で悪いと、形状にうねりが生まれて角度分解能が劣化する。また、X 線の全反射を得るには、基板そのものの表面粗さを 1 nm rms 以下に保つ必要がある。我々は ISAS 30 m ビームラインにて $0.1 \times 1 \text{ mm}$ に絞った Al-K 1.49 keV のビームを変形した基板に照射し、形状と表面粗さを評価した。本発表では、詳細な測定結果と今後の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](#)

V328a 符号化マスクを用いた広領域ガンマ線小型撮像装置の研究

大下紗百合, 桂川美穂, 藪悟郎, 米田浩基, 古川健人, 渡辺伸, 高橋忠幸 (JAXA/東大),
武田伸一郎, 織田忠 (OIST)

符号化マスク (Coded Aperture) を用いたイメージングシステムは、X 線・ガンマ線天体に対する効率的な観測手法として広く用いられてきた。我々は、ひとみ衛星の硬 X 線撮像検出器 (HXI) に用いられた、両面ストリップ CdTe 検出器 CdTe-DSD (CdTe Double-sided Strip Detector) の性能を生かし、100 keV 前後の硬 X 線にまで感度のある、広視野で小型の全天モニターの開発を進めている。

符号化マスクを観測に用いる際の利点となる、高い角度分解能を確保するためには、符号化マスクの穴径を検出器の位置分解能と同程度とする必要がある。我々は、 $250\mu\text{m}$ の位置分解能を持つ CdTe-DSD と、最小要素が $300\mu\text{m}$ 角で $300\mu\text{m}$ 厚のタングステン製符号化マスク (URA) を組み合わせることで、マスクと検出器の距離を数十 cm 程度に近づけたガンマ線カメラを実現した。これを実際の天体観測に適応する場合、点線源とみなせる天体だけではなく、広がりを持った天体観測に対しても高感度に観測できることが必要である。それを実現するためには、マスクの最適設計や高精度化、広がった線源領域に対する定量的な試験が重要である。そこで、カメラの性能検証として、3cm ほどの広がりを持つ線源領域に対する撮像実験を行い、マスクのパターンと穴径、また線源との距離によるイメージング性能の差について評価を行った。マスクパターンとして URA とランダムパターンを用いることで、広がった線源に対しては URA パターンを持つ符号化マスクが有効であることが分かった。さらに、視野範囲の確認と撮像に必要なジオメトリ条件が確認できた。本講演では、符号化マスクの種類と、カメラと線源部間のジオメトリ条件によるイメージング性能について評価を行っ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](#)

V329a 超高角度分解能 X 線望遠鏡のイメージ再構成法

森井幹雄, 池田思朗 (統計数理研究所), 前田良知 (ISAS/JAXA)

従来、X 線望遠鏡の角度分解能は集光光学系の加工精度によって制限されると考えられてきた。ところが、前田良知ら (2017 年春季、秋季年会) は、前置型光学系に Coded Mask を導入し、かつ焦点から検出器をずらすことにより、集光光学系の角度分解能を超える分解能が達成可能であることを示した。これにより、大有効面積かつ広帯域に感度を持つ超高角度分解能 X 線望遠鏡が実現可能となる。ただし、イメージ再構成には、入射光子の方向の関数としての Point Spread Function のモデルを用いて、イメージの Deconvolution を行う必要がある。本講演では、このイメージ再構成アルゴリズムを提案する。

検出器上の光子分布が Poisson 分布に従うと仮定すると、イメージの Deconvolution は、最尤法によって可能である。最尤推定値を求める方法として、古くから Richardson–Lucy アルゴリズム (R–L 法) が知られている。しかし、光子数が少ない場合には、この方法で再構成されるイメージは安定しない。そこで、スパースモデリングの方法を応用し、点源が優勢である対象であっても、超新星残骸のように広がった天体であっても対応できる新たなイメージング法を提案する。イメージングのアルゴリズムは R–L 法と近接勾配法とを組み合わせで導出した。シミュレーションを用いたイメージング結果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](#)

V330a 軟 X 線全天観測超小型衛星 HaloSat の性能評価とサイエンス検討 (2)

石原雅士、三石郁之、中野慎也、田村啓輔、宮田喜久子、松下幸司、立花一志、西田和樹 (名古屋大学)、玉川徹、岩切渉 (理化学研究所) Philip Kaaret (アイオワ大学)

HaloSat は 2018 年 4 月打ち上げ予定の 6U サイズ (100 × 200 × 300 mm) の超小型衛星である。軟 X 線帯域 (<2 keV) にて高分光性能 (<100 eV) の全天観測を実施し、軟 X 線背景放射成分の温度・強度の全天マップ作成を目指す。PI のアイオワ大学がミッション機器開発全般を、バス機器を NASA が、名古屋大学が環境試験 (熱真空試験、放射線耐性試験等) とサイエンス検討の一部を担当する (石原他 日本天文学会 2017 年秋季年会)。

熱真空試験では軌道上で予想される温度環境 (-40 ~ +40) に対し、ゲインシフトやエネルギー分解能、ノイズレベルの変化に着目し、検出器の性能評価試験を実施する。本試験は名古屋大学が所有する超小型衛星用熱真空槽を用いる予定のため、それに見合う小型 X 線源開発が必要となる。さらに本衛星は軟 X 線が対象のため、低エネルギー帯での特性 X 線評価が重要である。我々は上記 2 つの条件を満たす 10 cm 角の X 線装置を設計した。1 次ターゲットにアルミ、2 次ターゲットにフッ素樹脂を用いることで、炭素 (0.28keV)、酸素 (0.53keV)、フッ素 (0.68keV)、そして、アルミ (1.48keV) の特性 X 線を得ている。これらを用い今後の性能評価試験を行う。

またサイエンス検討も同時に行い、特に銀河面軟 X 線放射 (中野他 日本天文学会 2017 年秋季年会等) の観測提案を進めている。まず我々は銀河中心から離れた (l,b)=(174,0) において、HaloSat の視野相当である半径 6 度の領域で ROSAT データを解析し、CXB や銀河系内軟 X 線放射の温度や強度を調べた。これをもとに HaloSat による観測シミュレーションをし、観測時間 10 ks で着目成分の温度/強度が、約 10 / 20 % の精度で求まることを確認した。本発表では視野内の点源等のコンタミによる影響を含めた詳細な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](#)

V331a 超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子の X 線精密分光プロジェクト (4)

早川亮大, 山田真也, 石崎 欣尚, 一戸悠人 (首都大理), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 岡田信二 (理研), 橋本直 (原研), 野田博文 (東北大), 竜野秀行 (ルンド大), HEATES チーム

2012 年より, K 中間子原子からの X 線を超伝導遷移端型 X 線検出器 (TES) を用いて精密分光し, ストレンジュネスを含む強い相互作用を測定し, 中性子星の状態方程式を制限すべく宇宙と原子核の共同実験 (HEATES) を進めている。ATHENA 衛星や (super) DIOS 計画など, X 線代替機を桁で上回るピクセル数で精密 X 線分光を目指す計画はあるが, TES は宇宙で動作実証が未だになく, 過酷な地上実験に応用し技術成熟度を高める。

2013 年 9 月に 160pixel の TES を実験室で評価し, 2014 年 10 月, スイスの加速器 (PSI) で π -C の 4-3 遷移からの X 線をエネルギー分解能 $\Delta E \sim 5$ eV (@6keV) で測定することに成功した。2016 年 6 月, TES を J-PARC の K1.8BR ビームラインに設置し, K-ビーム環境下での TES の性能評価試験を行い, ビーム無しで $\Delta E \sim 5.0$ eV @6keV に対して, ビーム環境下で $\Delta E \sim 6.7$ eV @6keV を達成した (過去の年会にて報告)。2016 年 12 月, 本試験で用いる He ターゲットシステムを TES システムと接続し, 6 月の試験時と比較し影響を調べた。He ターゲットシステムは, 有効立体角を最大にするため TES と機械的に接続しており, 真空ポンプの振動が分解能に影響を与える懸念はあったが, 冷凍機の温度揺らぎは 6 月の試験時と同程度の $\sim 5\mu\text{K}$ 程度と抑えられて影響がないことを確認した。2017 年末から, 本試験に向けた最終セットアップで試験を進めている。TES の性能評価, X 線入射窓の最適化, ターゲットの影響を評価し, 2018 年春に予定されている本試験に向けて最終調整を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a Pt/C多層膜ブラッグ反射による低エネルギー X線用分光器の開発

武尾 舞, 佐藤寿紀, 中庭 望, 浅井龍太, 大橋隆哉 (首都大), 石田 學, 前田良知, 飯塚 亮 (宇宙研)

X線ビームから利用したいエネルギーの X線のみを取り出す場合、金属フィルタを通して吸収端で連続 X線を取り除くか、より単色度を上げるために二結晶分光器 (DCM) の Bragg 反射を利用する。しかし DCM の光学素子として結晶を使う場合、格子間隔が数Å以下に制限されるため、エネルギーの低い X線の単色化が困難である。実際、宇宙科学研究所の先端宇宙科学実験棟 1階の X線ビームラインでは、Ge 結晶を用いた DCM による分光の下限が Ti-K の 4.51keV となっている。そこで新たに、ビームライン利用者からの要望が強い低エネルギーの Al-K (1.49 keV) や Cu-L (0.93 keV) でも分光可能な DCM の設計・製作を行うことにした。

光学素子としては、インハウスで Pt/C 多層膜を成膜した縦 30mm、横 70mm のガラス板を用いる。対象の X線が低エネルギーであり波長が 10Å 程度と長いと、周期長が典型的な結晶の格子間隔よりも一桁程度長い約 40Å の多層膜を用いることにした。二回反射で良い反射率を出すためには、多層膜周期長の差がない二枚のガラス板を揃える必要がある。今回は用意した 5 枚のガラス板の角度反射率測定を行った。結果、多層膜周期長の差が 1% 以下のペアを見つけることができた。最後に、DCM から取り出される単色 X線ビームのビーム幅を最大にするようなガラス板の配置を考える。Bragg 角の関係上、ビーム幅の最大値は Al-K が Cu-L の 60% ほどしかないため、Al-K のビーム幅を優先させて考えることにした。計算結果から、2 枚のガラス板を長手方向に 43.20mm ずらして 4.53mm 間隔で配置すると、Al-K と Cu-L のビーム幅がそれぞれ 7.301mm、8.930mm で最適化される。本発表では、Al-K、Cu-L 特性 X線用 DCM の具体的な製作方法、および動作検証実験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](#)

V333a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告（14）

窪秀利，井岡邦仁（京都大学），手嶋政廣，戸谷友則，吉越貴紀（東京大学），田島宏康（名古屋大学），田中康之（広島大学），山本常夏（甲南大学），吉田龍生（茨城大学），他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による天体観測は、2000年代に入って大口径・ステレオ化した大気チェレンコフ望遠鏡アレイによって飛躍的に発展し、検出天体数は、銀河系内外合わせて現在200を超え、天文学の新たな一分野を形成した。さらに発展すべく、大（23 m）・中（10-12 m）・小（4 m）口径の望遠鏡計約100台からなる、世界で一つの大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ – CTA (Cherenkov Telescope Array) – の準備研究が、日本からの119名を含めた32か国約1400名の国際共同により進められており、2021年から公開天文台として運用、2024年に全アレイによる観測が開始する予定である。CTA計画では、望遠鏡アレイをスペイン・ラパルマとチリ・パラナルに建設し、現状より一桁以上高い感度（かに星雲強度の0.1%）、4桁のエネルギー領域（20 GeVから300 TeV）、高い角度分解能（1 TeVで2分角）で全天を観測する。銀河系内外から1000を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体のガンマ線放射機構および高エネルギー粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、赤外可視背景放射による星形成史の研究、ダークマター探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論や基礎物理まで研究範囲は広がり、観測計画の詳細検討が進んでいる。現在、カメラ開発で日本が貢献している中・小口径望遠鏡プロトタイプの実験が進む一方で、鏡・カメラ開発などにおいて日本が中心的役割を果たしている大口径望遠鏡初号機の建設が、ラパルマで2016年に開始され、2018年中頃に、北サイトで最初にファーストライトを迎える予定である。さらに、同じく北サイトに建設される大口径望遠鏡2-4号機の鏡・カメラの要素生産も順調に進んでいる。本講演では、CTA計画全体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](#)

V334a CTA 大口径望遠鏡初号機の焦点面カメラ統合試験

平子丈, 窪秀利, 今野裕介, 野崎誠也, 増田周 (京都大学), 稲田知大, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 林田将明, 深見哲志, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 猪目祐介, 高原大, 山本常夏 (甲南大学), 奥村暁 (名大 ISEE), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学), 木村颯一郎, 櫛田淳子, 辻本晋平, 西嶋恭司 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 砂田裕志, 寺田幸功, 永吉勤, 西山楽 (埼玉大学), 馬場彩 (東京大学), 片岡淳 (早稲田大学), 澤田真理 (青山大学), 池野正弘, 田中真伸 (KEK, Open-It), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画は、LST(口径 23 m)、MST(口径 12 m)、SST(口径 4 m) の異なるエネルギー観測範囲を持つ大気チェレンコフ望遠鏡を並べ、全天観測を行う国際計画である。北半球のラ・パルマ島(スペイン)、南半球のパラナル(チリ)に計約 120 台建設される予定で、全体で 20 GeV-300 TeV のエネルギー観測範囲を持ち、従来の大気チェレンコフ望遠鏡の 10 倍の感度を持つ。CTA 計画には 32ヶ国が参加しており、その中でも CTA Japan グループは 20 GeV-1 TeV の低エネルギー側の観測範囲を受け持つ LST のカメラ建設の中心的役割を担っている。カメラ部は 7 本の PMT と GHz 波形サンプリング回路基板などを 1 つのモジュールとして、265 個のモジュールからなる。2018 年中頃に LST 初号機がファーストライトの予定であり、現在日本で量産された LST 初号機用モジュールは、19 モジュール毎に全ての品質管理が終了し、2017 年 12 月より組上げを開始する。その後統合試験を経て、LST 初号機への取り付けが行われる。本講演では LST 初号機の建設状況と、フルカメラでの品質管理試験、統合試験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](#)

V335a CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発状況

黒田 隼人, 加賀谷 美佳, 稲田 知大, 齋藤 隆之, 手嶋 政廣, 中嶋 大輔, 林田 将明, 深見 哲志 (東大宇宙線研), 奥村 暁 (名大 ISEE), 片桐 秀明, 吉田 龍生 (茨城大理), 千川 道幸, 李 健 (近畿大理工), 野田 浩司 (IFAE), 山本 常夏 (甲南大理工), 他 CTA-Japan コンソーシアム

チェレンコフ望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array, CTA) 計画とは大中小 3 種の口径を持つ解像型大気チェレンコフ望遠鏡をラ・パルマ島及びパラナルに設置する計画であり、現行のガンマ線望遠鏡と比べ 10 倍以上の感度向上を目標としている。その中でも低エネルギー領域の観測を担当する大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope, LST) の主鏡は対辺間 1.51m の六角形の球面分割鏡 198 枚で構成されており、全体として直径 23m の放物面を形成している。球面分割鏡に要求される結像性能は平行光を入射した際に結像する像の光量 80%が入る円の直径が 16.7mm 以下となることであり、焦点距離は 28m–29.2m 以内となることである。現在、結像性能の評価方法には 2f 法と 1f 法と呼ばれる 2 つの測定法が存在する。2f 法とは焦点距離の二倍の位置に LED 光源とスクリーンを設置し、結像した反射光のスポットサイズを測定する方法であるが、LST 用分割鏡では測定のために 60m 程度の広い実験施設を用意する必要がある。それに対し 1f 法は分割鏡を向かい合わせに設置することで平行光を作り省スペース化を実現した実験であるが、測定結果から分割鏡 1 枚の情報を得ることが難しい。本講演では 2f 法により測定された分割鏡の性能分布やラ・パルマ島で行われた 1f 法を用いた抽出検査、及び分割鏡本体の形状に関する研究など、LST の分割鏡の結像性能評価の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](#)

V336a CTA 大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの開発状況

深見哲志、稲田知大、黒田隼人、齋藤隆之、手嶋政廣、中嶋大輔、林田将明（東大宇宙線研）、奥村 暁（名大 ISEE）、加賀谷美佳、片桐秀明、吉田龍生（茨城大理）、千川道幸、李健（近畿大理工）、野田浩司（IFAE）、山本常夏（甲南大理工）、他 CTA-Japan Consortium

CTA 計画は大中小3種類の異なる口径の望遠鏡を多数配置し、20GeV-300TeV のエネルギー帯のガンマ線を現行の望遠鏡を一桁以上上回る感度で観測する大型地上大気チェレンコフ望遠鏡である。最も口径の大きい大口径望遠鏡は主に日本が主導して開発を進めており、2018年夏頃に初号機の建設が完了する予定である。大口径望遠鏡が高い感度を持つ20GeV-1TeV程度の比較的低いエネルギー帯のガンマ線は、CTAのカバーする他のエネルギー帯と比べ系外背景光との相互作用が起きにくいいため、遠方の系外ガンマ線天体の観測に適している。大口径望遠鏡には一枚50kgの分割鏡が約200枚設置され、計10トンに達する分割鏡や分割鏡支持構造の自重によって、主鏡全体の放物面からのずれが生じる。また気温や強風などの天候の変化等によっても歪みが生じうるため、観測中リアルタイムでの分割鏡補正を可能とする能動的分割鏡補正システム（Active Mirror Control, AMC）が採用される。このシステムでは分割鏡一枚一枚にCMOSカメラを設置するという新しい手法を用いている。CMOSカメラが光軸レーザーのスポットをモニターし、分割鏡支軸であるアクチュエータを伸縮させ各分割鏡の方向を微調整する。本講演では大口径望遠鏡の光学系システムとなるAMCシステムのソフトウェア開発状況を主とした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](#)

V337a 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

澤野達哉, 八木谷聡, 米徳大輔, 笠原禎也, 井町智彦, 後藤由貴, 吉田和輝, 加川保昭, 伊奈正雄, 北昂之, 太田海一, 小川勇太, 河越幸平, 瀬川浩史, 濱野拓也, 鈴木大智, 竹下黎, 中嶋拓也, 宮尾耕河, 源輝也, 渡辺彰汰 (金沢大学), 三原建弘 (RIKEN), 高尾祐介 (立教大学), 池田博一 (ISAS/JAXA)

重力波 GW 170817 と短時間ガンマ線バースト (sGRB) GRB 170817A の同時検出により、sGRB の親星がコンパクト天体の連星合体とする従来の仮説が強く支持されたが、相対論的ジェット駆動のメカニズムは未だ解明が待たれている。*Fermi*/GBM によるガンマ線観測が合体衝突から 1.7 秒遅れていることと、X 線残光観測のライトカーブの振る舞いは、重力波観測による連星の公転軸への制限と矛盾せず、今後、到達時間差と連星の公転軸、さらに sGRB の光度などの観測量を組み合わせることで相対論的ジェットの構造に迫ることが期待される。さらに、望遠鏡の視野 1 度以下での位置決定により可視光・近赤外望遠鏡による追観測を促し、r 過程元素合成により加熱された物質からの放射、いわゆるマクロノヴァの観測数を増やすことも重元素生成現場の理解に重要である。

我々は超小型衛星搭載のコーデッドマスク型の広視野 X 線撮像検出器 T-LEX による重力波天体の X 線対応天体の検出、位置情報と時刻情報の地上即報を目指した計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。これまでに T-LEX のプロタイプモデル (PM) の開発とその撮像実証試験を行ってきた。2017 年度は衛星熱構造モデル (STM) の設計と製造を行い、10 月に熱真空試験、11 月に振動試験を行った。計算機上に構築した STM による熱解析・構造解析の結果とのコリレーションを調べ、熱環境の成立性と、熱構造モデルの妥当性を検証した。また、これまでの T-LEX PM 実験結果やコーデッドマスクの数値的検討から T-LEX の衛星搭載モデルの設計仕様が概ね決定された。本講演ではフライトモデルの設計・製作の状況と、期待される観測イベント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](#)

V338a Kanazawa-SAT³ 搭載広視野X線撮像検出器のバースト時刻決定・撮像性能評価

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉, 吉田和輝, 伊奈正雄, 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)

a-LIGO, a-Virgo により観測された連星中性子星の合体とされる重力波イベント GW170817 は、重力波と電磁波の双方から母天体の情報が得られたマルチメッセンジャー天文学の大きな成功例となった。さらなる観測統計により重力波天文学を発展させるには、重力波干渉計の粗い方向決定精度 (数十平方度) を補うことができ、合体後の早い段階で等来方向を数分角で決定可能な、合体直後の強い X 線・ガンマ線帯観測が重要となる。迅速な追観測を実現可能となる。また、重力波と電磁波の同時観測からこれらの到来時間差を見ることで連星合体後のブラックホールや相対論的ジェット形成メカニズムの議論が期待できる。

金沢大学では超小型衛星 Kanazawa-SAT³ の 2019 年度の打上げ計画を進めており、連星中性子星の衝突・合体により生じる短時間ガンマ線バーストや付随する Extended Emission などの X 線放射を観測し、重力波源の同定を目指す。搭載する検出器 T-LEX はストリップ型シリコンセンサーと 1 次元符号化マスクによる撮像システムで、2017 年半ばに検出器のプロト-フライトモデルを作成した。これまでのプロトタイプモデルに比べセンサーの幾何面積を 2 倍にすることで、検出器規模の拡大を図った。今回、X 線ビームを用いたプロト-フライトモデルの検出器性能評価を行った。検出器に搭載する FPGA-CPU 上に構築したオンボードの解析システムには重力波と電磁波の到来時間差の議論のためにトリガーの絶対時刻の決定におよそ 10 ミリ秒の精度を要求する。また、X 線撮像イメージは 100 ミリ秒から数 10 秒と様々な時間積分にて取得するが、オンボード解析にて最適な積分時間イメージを抽出し、即時アラートとして通達する。本講演ではこれらの機能・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](#)

V339c Kanazawa-SAT³ 搭載 X 線撮像検出器の真空環境における X 線計測

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達哉, 加川保昭, 伊奈正雄, 太田海一, 鈴木大智, 宮尾耕河, 渡辺彰汰 (金沢大学), 三原建弘 (理化学研究所), 池田博一 (宇宙科学研究所)

昨年、中性子星連星の衝突合体による重力波が LIGO によって検出され (GW 170817)、その 2 秒後にフェルミ衛星がガンマ線バーストを検出した (GRB 170817A)。Virgo を含めた重力波観測とガンマ線観測のそれぞれから求まる天体方向の情報を元に世界中の地上望遠鏡が追観測を行い、重力波に対応した電磁波天体を初観測した。しかし、中性子星連星の衝突合体後からガンマ線バーストや r 過程元素合成の起因である kilonova が発生するまでの過程にはまだ不明な点も多く、今後は重力波の発生と同時に、または発生から少しでも早いタイミングで多波長の追観測を行うことがより重要となる。

我々は重力波対応の X 線突発天体を監視する超小型衛星計画 Kanazawa-SAT³ を進めており、2018 年度末から 2019 年の打ち上げを目指している。視野 1 sr、方向決定精度 15 分角を有する X 線撮像検出器で 2–20 keV の帯域を観測する。検出器は 1 次元のランダム符号化マスクとシリコンストリップ検出器で構成されており、本検出器専用に開発したアナログ読み出し ASIC を用いて数 keV の X 線を 1 ミリ秒以下の速度で計測する。これまで年會でも報告してきた性能評価試験は大気圧下で行っており、エネルギー校正では ⁵⁵Fe 線源の 5.9 keV が最も低いエネルギーの X 線であった。そのため、それ以下のエネルギー範囲では実験から外挿した値で検出器の性能を見積もってきたが、軌道上のバックグラウンドやガンマ線バーストのスペクトルを考えると、数 keV 帯における検出器性能が最も重要である。そこで真空下で検出器を動作させる環境及び、X 線発生装置と特性 X 線を利用したエネルギー校正システムを新たに構築した。本講演ではこのシステムを用いた性能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](#)

V340a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗

米徳大輔（金沢大学）、HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

HiZ-GUNDAM は、時間領域天文学・マルチメッセンジャー天文学を強力に推進する計画である。高感度の広視野 X 線撮像検出器による突発天体の発見と、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測により、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態の観測、また重力波と同期した突発天体の観測などブラックホール形成の瞬間の物理を主要課題として掲げている。

これまでに検討してきた符号化マスク型の X 線撮像検出器だけでなく、ロブスターアイ光学系を用いた撮像システムの採用も検討している。これまでの広視野 X 線モニターと比べても、さらに 1 桁程度（過去のシステムと比べると 2 桁程度）の高感度を実現し、高赤方偏移 GRB の発見数が圧倒的に多くなり、第一世代星を起源とする pop-III GRB の探査が現実的となってくる。また、近赤外線望遠鏡については光学系の検討のほかに、構造やアライメント方法についても検討を進めている。本講演では HiZ-GUNDAM が目標とする科学・ミッションの概要を紹介した上で、最近の検討状況について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341a 重力波対応天体の追観測を目指した超小型 GRB 観測衛星における位置決定精度の評価

田中晃司, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功, 内田和海, 鳥越健斗 (広大理), Norbert Werner (MTA-Eotvos Univ./Masaryk Univ./Hiroshima Univ.), Andras Pal (Konkoly Observatory), Zsolt Frei (Eotvos Univ.), Laszlo Kiss (Konkoly Observatory), Tarcai Norbert (C3S LLC), 中澤知洋 (東大理), 榎戸輝揚 (京大理), 小高裕和 (理研), 一戸悠人 (首都大理工), 他

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) の中でも、特に継続時間が短いショート GRB は、重力波対応天体からの信号の有力な候補であると言われている。ショート GRB と重力波天体との対応を明らかにするためには、その発生方向を知ることが重要である。我々は、巨大な幾何学面積をもつ CsI シンチレータを用いたガンマ線検出器を搭載した超小型 GRB 観測衛星を複数打ち上げ、全天観測を行うプロジェクトを計画している。距離の離れた複数個の衛星が GRB を検出した場合、それぞれの衛星の検出時刻の差から GRB の到来方向を制限することができる。全天をカバーした精度良い位置決定を行うことで多波長での追観測が可能となる。

本研究では、Geant4 によるモンテカルロシミュレーションを用いて大型のシンチレータを読み出す際に生じるガンマ線光量の位置依存性を始めとした検出器の複雑なガンマ線応答を再現したシミュレーターを開発し、光子統計が GRB の入射方向によって変化する効果を正確に考慮した上で、到来時間差による位置決定精度の評価を行っている。その結果、明るい GRB であれば、到来時間差をミリ秒の時間分解能で計測することで、10 分角程度の精度で到来方向が制限できることが分かった。本講演で、GRB の明るさや光度曲線の形状などが位置決定精度に及ぼす影響や、検出器毎の検出効率を利用してさらに到来方向を制限する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](#)

V342a GRB 位置決定のための小型衛星搭載用大型 CsI シンチレータの MPPC 読み出し性能評価

鳥越健斗, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功, 田中晃司, 内田和海 (広大理), Norbert Werner (MTA-Eotvos U./Masaryk U./Hiroshima U.), Andras Pal (Konkoly Observatory), Zsolt Frei (Eotvos U.), Laszlo Kiss (Konkoly Observatory), Tarcai Norbert (C3S LLC), 中澤知洋 (東大理), 榎戸輝揚 (京大理), 小高裕和 (理研), 一戸悠人 (首都大理工)

我々は、日欧共同でショートガンマ線バースト (SGRB) の検出と位置決定を目的とした小型衛星を検討している。SGRB は重力波源の電磁波対応天体の有力な候補のひとつである。複数の小型衛星を打ち上げ、各衛星での検出時間の差を利用することで GRB の正確な位置決定を行う。したがって、位置決定精度を上げるためには、正確な時間情報と十分な光子統計量が必要となる。そのため、各衛星の時間情報を GPS を用いて同期し、大面積でエネルギーレスショルドの低いシンチレータを使用する。そこでシンチレータには CsI を、その読み出しには小型で消費電力の低い Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) の採用を検討している。

本講演では大型の CsI シンチレータを MPPC で読み出した結果について報告する。シンチレータには 3U サイズの衛星への搭載を見こして $150 \times 75 \times 5 \text{ mm}^3$ のものを、MPPC には浜松ホトニクス社の S13360-6050CS (受光面サイズ $6 \times 6 \text{ mm}^2$) を使用した。ひとつの MPPC で読み出したところ、エネルギーレスショルドが 10 keV 以下であることを確認できたが、受光面に対してシンチレータが大きいため、光量の位置依存性が高かった。そこで、2つの MPPC で読み出した結果、合計の光量は単体の約 2 倍となり、受光面の増加によって光量がほぼ均一化した。ノイズの評価や詳細なエネルギー応答についても評価を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V343a SPHiNX 衛星で用いる GAGG シンチレータの温度特性

内田和海, 鳥越健斗, 高橋弘充, 大野雅功, 水野恒史, 深沢泰司 (広大理), 山岡和貴 (名大理), ほか
SPHiNX チーム

ガンマ線バースト (GRB) は、宇宙のある一点から突然大量のガンマ線が到来する現象であり、宇宙最大の爆発現象と言われているが、その物理はよく分かっていない。そこで我々は、50keV-500keV のガンマ線帯域で GRB の偏光観測を行い、その放射機構を明らかにする SPHiNX (Satellite Polarimeter for High eNergy X-rays) 衛星を、2021 年の打ち上げを目指してスウェーデンと共同で開発を進めている。SPHiNX 衛星はコンプトン運動学を用いたガンマ線偏光計を搭載し、散乱体としてプラスチックシンチレータ、吸収体として GAGG シンチレータを蜂の巣状に並べ、各々からのシンチレーション光を光電子増倍管 (PMT) と Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) で読み出す構造である。この対称的な構造によって、統計誤差を抑え、従来のガンマ線偏光計より高精度での偏光観測が可能となる。1 年間で数十もの GRB の偏光を観測し、統計的な議論から放射モデルに強い制限を与える。SPHiNX 衛星では 60mm×13.75mm×5mm もの大きな GAGG シンチレータを使い、軌道上での温度は-5 から 40°C 程度と大きく変動する。加えて、GAGG が実際に軌道上でデータを取得した例はまだ無い。そこで本講演では、GAGG の発光量の温度依存性について報告する。実験では、MPPC よりゲインの温度依存が少ない PMT に GAGG を取り付け、恒温槽内にて ^{137}Cs のガンマ線を照射した。恒温槽で温度を +25°C から -25°C まで変化させることで ^{137}Cs が放出する 662keV のガンマ線の光電吸収ピークの変動を調べた。得られたデータから PMT の 1photo-electron ピークの変動を引き、GAGG の発光量の温度依存性を算出した。その結果、+25°C の室温状態に対して、-25°C の低温状態では約 10% の発光量の上昇が確認された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V344a 地上と宇宙から探る雷放電に同期する突発ガンマ線観測への取り組み

中澤知洋(東大理)、榎戸輝揚(京大白眉)、和田有希(東大理・理研)、古田祿大、松元崇弘、春日知明、奥田和史(東大理)、湯浅孝行、中野俊男、榎本大悟、加藤博、牧島一夫(理研)、佐藤光輝(北大理)、佐藤陽祐(名大工)、土屋晴文(原研)、ほか GROWTH コラボレーション

雷放電に同期して放射される、20 MeV に達する突発的なガンマ線放射は、人工衛星から Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF) として観測され、200 μ s 程度で減衰する突発ガンマ線放射と2次的な電子線などを含むとされる。同様に放電に同期するものとして、冬季の日本海沿岸の地上ガンマ線観測で見られる、ショートバーストと呼ばれる現象がある。こちらは、60 ms 程度の減衰時定数を持ち、TGF とは異なる現象と考えられてきた。我々は2017年2月6日に新潟県柏崎市で発生したショートバーストを4箇所のガンマ線検出器で観測し、そのデータ解析から、世界で初めてこれが TGF とよく似た突発ガンマ線放射を起源とし、付随する光核反応を見ていることを発見した (Enoto et al. Nature 2017)。光核反応で生成された高速中性子が減衰し大気中の原子核に吸収されると考えると、60 ms の時定数もスペクトルも良く説明できる。その後には、1分程度にわたって 511 keV 輝線が検出されており、光核反応のもう一つの生成物 ^{13}N などの β^+ 崩壊によるものと解釈できる。本体の突発ガンマ線は明るすぎて、 ~ 1 ms にわたって回路が飽和したためその詳細は記録できておらず、今後の課題であるが、この発見は TGF を含む雷放電に付随する電子加速の詳細を探る上で、非常に重要である。この結果を受けて我々は、突発ガンマ線放射と光核反応による中性子成分の観測の強化を狙い、地上観測の改良を始めている。さらに、2019年にフランスから打ち上げ予定の TGF・雷観測専用の小型衛星、TARANIS 計画に参加し、宇宙と地上の観測を組み合わせた研究を立ち上げつつある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W1. コンパクト天体】

3月15日(木) 午後(13:54-15:30) [A会場]

W101a	13:54	GW170817のSwiftとChandraによるX線・ガンマ線観測	坂本貴紀(青山学院大学)
W102a	14:06	MAXIによるGW170817からのX線放射の探索	杉田聡司(東京工業大学)
W103a	14:18	GW170817: すばる望遠鏡HSCを用いた可視光対応天体の探索	富永望(甲南大学)
W104a	14:30	GW170817: J-GEMによる可視近赤外線追跡観測	内海洋輔(スタンフォード大学)
W105a	14:42	GW170817: 光赤外線対応天体とrプロセス元素合成	田中雅臣(国立天文台)
W106a	14:54	中性子星合体におけるr-process元素合成のX線診断	井上進(理化学研究所)
W107a	15:06	単独中性子星のkeV-excess探索と質量-半径測定	米山友景(大阪大学)
W108c		MOAグループによる重力波天体GW170817/AT2017gfoの観測	阿部文雄(名古屋大学)
W109b	15:18	GROWTHによる重力波イベントGW170817の観測	伊藤亮介(東京工業大学)
W110b	15:18	Swift衛星によるNGC1313 X-1の1600日連続観測	吉田鉄生(愛媛大学)
W111b	15:18	2017.11.7 Crab pulsar large glitch 観測速報(1): 概要	寺澤敏夫(理化学研究所)
W112c		2017.11.7 Crab pulsar large glitch 観測速報(2): 波形変化の有無検証	木坂将大(青山学院大学)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [A会場]

W113a	09:30	GW170817の電磁波対応天体は全てガンマ線バーストジェットで説明できるか?	井岡邦仁(京都大学)
W114a	09:42	GW170817/GRB 170817Aのカウンター・ジェット放射	山崎了(青山学院大学)
W115a	09:54	ガンマ線バーストの散乱とGW170817/GRB 170817A	木坂将大(青山学院大学)
W116a	10:06	GW170817可視赤外線対応天体は中心エンジンの活動で説明できるか?	松本達矢(京都大学)
W117a	10:18	中性子星物質の織り成す多様な状態と中性子星の冷却	野田常雄(久留米工業大学)
W118a	10:30	フェルミ・ガンマ宇宙望遠鏡によるGemingaパルサーの観測	吉野裕太郎(立教大学)
W119a	10:42	MAXI, Swift, RXTE衛星によるBe型X線連星パルサーX Perseiの約7年の長周期X線活動の発見	中島基樹(日本大学)
W120a	10:54	Ghosh & Lamb降着トルクモデルのX線連星パルサーX Perseiへの適用	谷田部史堯(立教大学/理化学研究所)
W121b	11:06	振動数依存型一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションコードの開発	高橋博之(国立天文台)
W122b	11:06	高温降着円盤の大域的乱流場中での乱流加速シミュレーション	木村成生(ペンシルベニア州立大学)
W123b	11:06	特殊相対論的MHDに基づいた磁気回転不安定性の線形解析	荒尾圭唯(東北大学)
W124b	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	中村賢仁(九州産業大学)

(次頁に続く)

【W1. コンパクト天体】

W125b	11:18	X線連星電子-イオン二温度ジェットに関する3次元磁気流体数値実験：ジェットの構造とダイナミクス 大村匠（九州大学）
W126b	11:18	可視光望遠鏡 AROMA-N 及び、MAXI/GSC を用いた突発天体の多波長観測 北岡佳貴（青山学院大学）
W127c		電磁波観測による BH とグラバスターの判別可能性に関する理論的考察 大神隆幸（山口大学）

3月16日（金）午後（13:30-15:30）[A会場]

W128a	13:30	MAXI/GSC の7年間のデータを用いた低銀緯領域での X 線天体カタログ 堀貴郁（京都大学）
W129a	13:42	4つの X 線新星 MAXI J1535-571, J1621-501, J1630-276, Swift J0243.6+6124 の発見とその正体 - MAXI/GSC が検出した 2017 年度後半の突発現象- 根來均（日本大学）
W130a	13:54	明るいブラックホール新星 MAXI J1535-571 の発見と X 線スペクトル状態遷移の観測 中平聡志（理化学研究所）
W131a	14:06	全天 X 線監視装置 MAXI/GSC のデータを用いた MAXI J1535-571 の X 線短時間パワースペクトル解析 川瀬智史（日本大学）
W132a	14:18	IRSF1.4m 望遠鏡による X 線新星 MAXI J1535-571 の近赤外線追観測 森田浩太郎（東京工業大学）
W133a	14:30	V364 Lib はブラックホール連星か 田邊健茲（岡山理科大学）
W134a	14:42	フェルミガンマ線宇宙望遠鏡によるマイクロユーザー Cyg X-3 の観測 林直志（立教大学）
W135a	14:54	デカメータ電波パルスの観測に基づき我が銀河系中心に発見された巨大ブラックホール・バイナリーの存在の検証 大家寛（東北大学）
W136a	15:06	ブラックホールへ間欠的に落下するガス雲の光度変動と偏光の関係 森山小太郎（京都大学）
W137a	15:18	ブラックホール回転エネルギーの四重極フォースフリー磁場による引抜きの数値シミュレーション 小出眞路（熊本大学）

3月17日（土）午前（9:30-11:06）[A会場]

W138a	09:30	超臨界降着するブラックホールと中性子星の輻射スペクトル比較 川島朋尚（国立天文台）
W139a	09:42	ブラックホール超臨界降着流に付随するコロナからの X 線放射スペクトル 川中宣太（京都大学）
W140a	09:54	モーメント法に基づく輻射磁気流体コードを用いたブラックホール降着円盤の状態遷移シミュレーション 五十嵐太一（千葉大学）
W141c		ブラックホールの超臨界成長・円盤スペクトルの効果 竹尾英俊（京都大学）
W142a	10:06	ブラックホール X 線連星 H 1743-322 の観測データを用いた熱駆動型円盤風モデルの検証 志達めぐみ（理化学研究所）
W143a	10:18	相対論的輻射流体の自己相似解について：平行平板流の場合 福江純（大阪教育大学）
W144a	10:30	輻射圧駆動降着円盤風における相対論的輻射輸送 II 竹田奈央（大阪教育大学）
W145a	10:42	磁気回転不安定性の飽和値に対する方位角方向解像度依存性 町田真美（九州大学）
W146a	10:54	マグネター磁気圏のエネルギー蓄積と開いた構造（フレア状態）への遷移 小嶋康史（広島大学）

W101a GW170817 の *Swift* と *Chandra* による X 線・ガンマ線観測

坂本貴紀 (青学大), Amy Lien (GSFC/UMBC), Elenora Troja (GSFC/UMCP)

最初の中性子星合体に伴った重力波イベント GW170817 は重力波発生後、1.7 秒後に 2 秒程度の弱いガンマ線放射が *Fermi* 衛星の GBM 検出器 と *INTEGRAL* 衛星の SPI-ACS 検出器で検出されたという報告がなされている。この検出が本当ならば、この放射は継続時間の短いガンマ線バースト (SGRB) である可能性が高く、重力波に同期した SGRB の検出を意味し、SGRB の起源に迫る発見となる。しかし、GBM 検出器と SPI-ACS 検出器で検出した信号は非常に弱く、その有意度もそれほど高くない。そのため、同時刻、運用していた他の広視野ガンマ線検出器のデータによる詳細な確認が必要である。本講演では、GW170817 発生時運用していた *Swift* 衛星の BAT 検出器の結果について報告する。

また、GW170817 の電磁波対応天体からの X 線放射は重力波検出 14.4 時間後から *Swift* 衛星の X 線望遠鏡 XRT により、高い頻度でのモニター観測が行われたが、何も検出されなかった。2.2 日後には *Chandra* 衛星による追観測が行われたが、その観測においても X 線は未検出であった。我々は、X 線が遅れて増光する可能性を探るため、さらなる *Chandra* 衛星による追観測を GW170817 発生 9 日後に行った。その観測において、GW170817 の電磁波対応天体からの X 線放射の検出に成功した。1 週間以上遅れて増光する X 線放射は、ガンマ線バーストのジェットを斜めから観測した時の残光放射の予想とほぼ一致していた。ただし、検出した X 線放射がジェットを斜めから観測した際の X 線残光だとすると、単純なジェットでは、GBM 検出器や SPI-ACS 検出器で観測したガンマ線バースト本体の放射が明るすぎるなどの問題もある。本講演では、*Swift* 衛星と *Chandra* 衛星による X 線の観測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](#)

W102a MAXI による GW170817 からの X 線放射の探索

杉田聡司, 河合誠之 (東京工業大学), 根來均 (日本大学), 芹野素子, 坂本貴紀 (青山学院大学), 中平聡志, 三原建弘, 松岡勝 (理研) ほか MAXI チーム

国際宇宙ステーションに搭載された全天 X 線観測装置 MAXI は、92 分の軌道周期で全天の約 85% の領域をスキャン観測することができるため、重力波望遠鏡が検出した重力波源の広い誤差範囲をカバーし早期 X 線放射の観測が期待できる。LIGO と Virgo によって 2017 年 8 月 17 日に検出された重力波源 GW170817 の発生時、MAXI は高バックグラウンド帯にいたため高圧を落としており、最初に観測を実施できたのは重力波検出の 4 時間 40 分後であった。それでも可視光の対応天体が発見される数時間前に観測しており、世界で最も早い X 線放射の上限値を求めることができた。本公演では MAXI の GW170817 観測結果を含めた LIGO O2 期間の運用と重力波源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](#)

W103a GW170817: すばる望遠鏡 HSC を用いた可視光対応天体の探索

富永望 (甲南大学), 田中雅臣, 田中賢幸, 吉田道利 (国立天文台), 諸隈智貴, 山口正輝, 安田直樹 (東京大学), 内海洋輔 (Stanford 大学), ほか J-GEM collaboration

2017年8月17日、アメリカとヨーロッパの重力波検出器 Advanced LIGO, Advanced Virgo によって中性子星合体からの重力波 GW170817 が検出された。我々J-GEM は LIGO/Virgo からのアラートを受け、可視光対応天体探索および GW170817 対応天体の可視光・赤外線追観測を行った。本講演では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた GW170817 可視光対応天体の探索について発表する。

重力波検出器3台による観測により、GW170817の到来方向は赤経13h、赤緯 -22° を中心とする28平方度に絞られ、その距離は 40^{+8}_{-14} Mpcということが明らかとなった。これまでにないほど到来方向が狭く制限され、またその距離も近かったことから、世界中の望遠鏡で追観測が行われた。我々も、薄暮にのみ観測可能という悪条件ではあったものの、すばる望遠鏡 HSC を用いた z バンド可視光対応天体の探索観測を遂行した。

GW170817の到来方向の $\sim 57\%$ をカバーする探索観測の結果、我々はGW170817の到来方向・距離分布に含まれる可能性のある銀河外変動天体の候補を60天体発見した。そのうち1天体(J-GEM17btc、別名SSS17a/DLT17ck)はGW170817の距離誤差内に含まれる近傍銀河NGC 4993(距離 36 ± 4 Mpc)に付随していたが、他の59天体については距離の情報がなかった。そこで、我々は銀河の光度関数を用いて、それぞれの天体が距離誤差内に含まれる確率を計算した。その確率はJ-GEM17btc以外の59天体の母銀河について0.2%以下であり、また59天体のいずれかが距離誤差内に含まれる確率もわずか3.2%であった。この結果は、J-GEM17btcがGW170817の可視光対応天体として非常に有力な唯一の天体であり、他に比肩する天体が存在しないことを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W104a GW170817 : J-GEM による可視近赤外線追跡観測

内海洋輔 (Stanford 大学), 田中雅臣, 吉田道利, 黒田大介 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 朝倉悠一郎, 阿部文雄 (名古屋大学), 川端弘治 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学), 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 大澤亮, 諸隈智貴 (東京大学), ほか J-GEM collaboration

J-GEM (Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electromagnetic Follow-up) は国内外に設置した可視近赤外線観測設備を用いて, 中性子星同士の衝突合体による重力波イベント GW170817 の電磁波対応天体 SSS17a の追跡観測を実施した. SSS17a が南天に出現したため, 南に位置する Subaru / HSC, MOIRCS, IRSF / SIRIUS, MOA-II / MOA-cam3, B&C / Tripol5 で質の良い追跡観測に成功した. 観測は重力波発生後の 0.7 日後から約二週間に渡った. SSS17a は母銀河 NGC 4993 から 10 秒角程度離れた場所に位置し, 母銀河の寄与が無視できなかった. 母銀河差し引きの有無や測光手法によって系統誤差が生じやすいので, 全ての観測システムで統一した測光手法を適用し, 系統誤差の低減を目指した. 測光の結果, 1) 可視光では数日のタイムスケールで減光すること 2) 近赤外線では 2 週間程度に渡って変動すること 3) 初期は青かったことが明らかになった. 可視で急減光する点は超新星では説明することができず, 可視で急減光し近赤外線で光り続けた点は中性子星合体時に生じた r 過程元素が光るキロノバのモデルと一致した. 一方で, 衝突合体時に放出質量 $0.01M_{\odot}$ を仮定したキロノバと比べ 2 等程度明るかった. このことは衝突合体時により大きい質量放出が起こったか, その他のエネルギー源による放出物質の加熱を要求する結果となった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W105a GW170817: 光赤外線対応天体と r プロセス元素合成

田中 雅臣 (国立天文台), 内海 洋輔 (Stanford 大学), 富永 望 (甲南大学), 吉田 道利 (国立天文台), 関口 雄一郎 (東邦大学), 諸隈 智貴, 本原 顕太郎 (東京大学), 太田 耕司 (京都大学), 川端 弘治 (広島大学), ほか J-GEM collaboration

2017年8月17日に中性子星合体からの重力波 GW170817 が観測され、電磁波による追観測の結果、電磁波対応天体の詳細な観測データが得られた。対応天体 J-GEM17btc (SSS17a/DLT17ck) の明るさは絶対等級-15等から-16等 (総放射光度 $10^{41} - 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$) に達し、可視光で急激な減光を示した一方で、近赤外線では2週間程度光り続けた。このような性質は、以前から予想されていた r プロセス元素合成に伴う電磁波放射 (キロノバ/マクロノバ) の性質に一致しており、重力波観測と電磁波観測から宇宙の重元素合成を研究する道がひらけたと言える。

我々は、中性子星合体 GW170817 における元素放出量と元素組成を詳細に調べるため、中性子星合体からの放出物質における輻射輸送シミュレーションを行った。シミュレーションの結果、合体から5日以降の近赤外線が卓越する放射を説明するには、ランタノイド元素を含む0.03太陽質量程度の放出物質が必要であることが明らかになった。また、初期のより青い放射を説明するには、比較的電子割合の高い成分 ($Y_e > 0.25$) も必要であることも明らかとなった。これは、中性子星合体が幅広い r プロセス元素を合成していることを示唆している。重力波観測から推定された中性子星合体の頻度 ($1540_{-1220}^{+3200} \text{ Gpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) と GW170817 で放出された物質の量 (約0.03太陽質量) は、銀河系内の r プロセス元素量を説明でき、中性子星合体が宇宙の r プロセス元素の起源である説を支持している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W106a 中性子星合体における r-process 元素合成の X 線診断

井上進 (理研), 仏坂健太 (CfCA NY), 村瀬孔大 (Penn State), 馬場彩 (東大理), 長瀧重博 (理研), 寺田幸功 (埼玉大理)

中性子星連星合体は、長年の謎である r-process 元素の起源とともに、short GRB の起源として有力視されている。重力波源 GW170817 に伴う GRB 170817 および kilonova AT 2017gfo の発見は、この描像の観測的検証に向けた大きな一歩であり、中でも赤い kilonova 成分の観測は、重たい r-process 元素が合成された痕跡と考えられるが、決定的証拠とはまだ言い難い。また、予想される元素合成の詳細、特に r-process 元素の3つのピークの組成比はモデルによって大きく異なるものの、AT 2017gfo の観測では十分に制限できておらず、より直接的な測定が望まれる。

一方で、連星合体後の中心エンジンは、比較的長時間に渡り、様々な機構で X 線を放射している可能性があり、short GRB で見られる extended emission や plateau emission などの原因になっていると考えられる。このような放射の一部は、中性子星エジェクタ物質を照射し、その際に生じる 10-80 keV 帯域の吸収・反射成分は、r-process 元素に特徴的なスペクトル構造を含んでいると期待される。この放射成分は、kilonova 放射に比べ、1) エジェクタ物質の電離状態などに大きく依存せず、元素組成をより直接的に反映する、2) 吸収については、Doppler broadening の効果がより少ない、という特長が予想される。このような X 線放射の NuSTAR もしくは FORCE による今後の分光観測を通じ、中性子星合体における r-process 元素合成のより直接的な検証とモデル判定ができる可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W107a 単独中性子星の keV-excess 探査と質量-半径測定

米山友景, 林田清, 中嶋大, 井上翔太, 松本浩典 (大阪大学)

単独中性子星の一種族である XDINS は、1990 年代に ROSAT 衛星で 7 つ発見された。中性子星の中で唯一、電波から γ 線までのあらゆる波長で非熱的放射が観測されておらず、スペクトルが $kT \sim 50 - 100$ eV の黒体放射のみで再現できることを特徴とする。我々は、これまでの研究で XDINS の 1 天体、RX J1856.5-3754 に関して、 $kT \sim 60$ eV の黒体放射からの超過成分「keV-excess」を発見した (Yoneyama et al. 2017)。

今回我々は、残り 6 個の XDINS の XMM-Newton 衛星によるデータを解析し、そのうち 5 個から同様の keV-excess を発見した。このことにより、keV-excess は XDINS に普遍的なものであることを確認した。これらは全て $kT \sim 100 - 150$ eV の黒体放射で再現できるが、冪関数テールで再現できるものもあった。また、RX J1856 については、その X 線ライトカーブに 7.06 s 周期、振幅約 1 % のモジュレーションが知られていたが、keV-excess を含む 0.8 - 1.2 keV のエネルギーバンドでは同周期で振幅が 10 % 程度であることを発見した。これは、RX J1856 の keV-excess はこの中性子星表面のホットスポットからの放射であることを示唆する。これが他の XDINS に関しても正しければ、keV-excess を利用して XDINS の質量と半径の測定が可能となる。5 天体での keV-excess 発見と、質量-半径測定の方法及びその現状に関して紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W108c MOA グループによる重力波天体 GW170817/AT2017gfo の観測

阿部文雄 (名古屋大学), 朝倉悠一郎 (名古屋大学), 宮崎翔太 (大阪大学), 住貴宏 (大阪大学), P. J. Tristram (カンタベリー大学), MOA 共同研究

GW170817 は、2017年8月17日に重力波検出器 LIGO によって検出された、最初の中性子星連星合体による重力波検出である。重力波とほぼ同時に、FermiGBM および Integral によるガンマ線バースト GRB170817A の検出が行われ、さらに光学的対応天体 AT2017gfo が発見された。この発見とその後の観測により、従来想像の域を出ていなかった中性子星連星合体と短ガンマ線バースト、キロノバの関係を支持する結果が得られ、重元素の起源とされる r プロセスの解明に大きく前進した。

ニュージーランド・マウントジョン天文台で観測を行っている MOA グループは、重力波追観測を行っている日本のグループ J-GEM のメンバーとして、追観測に参加している。最初の重力波検出となる GW150914 を始め、LIGO O1 および O2 の重力波事象の追観測を行い、観測手法を確立する事に成功した。2017年7月に起きた不幸な事故により、その後の重力波追観測を断念していた。しかし、GW170817/GRB170817A の発見により急遽観測を実施し、重力波検出の 1.78 日後の重力波天体 AT201708gfo の観測に成功した。観測は、MOA II 1.8m 望遠鏡による R(ワイド) および V、61cm の B&C 望遠鏡による i, r, g で行われ、この時点ではこの天体が青かったことを確認した。この天体は、発見当時太陽の南東にあり、北半球からは観測が困難だった。今回は、南半球の地の利を活かして歴史的なイベントに貢献することができた。

本講演では、GW170817 の光学的対応天体 AT2017gfo の、MOA グループによる観測について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W109b GROWTH による重力波イベント GW170817 の観測

伊藤亮介, 谷津陽一, 河合誠之, 村田勝寛, 橘優太郎, 吉井健敏, 針田聖平, 森田浩太郎, 間宮英生, 白石一輝 (東京工業大学), 花山秀和 (国立天文台), Mansi Kasliwal (Caltech)

レーザー干渉計重力波望遠鏡 LIGO/VIRGO によって検出された中性子星連星合体による重力波イベント GW170817 では、ガンマ線から電波までの幅広い帯域での電磁波対応天体が検出され、宇宙における重元素合成の理解が進むものと期待されている。東京工業大学明野観測所では、突発天体観測のための天文台全球リレー (Global Relay of Observatories Watching Transients Happen: GROWTH) プロジェクトに参画し、全地球規模での突発天体多波長観測体制を構築してきた。GROWTH プロジェクトには現在 7 カ国 13 機関が参加しており、これまで数々の突発天体の連携観測が実施されてきた (e.g., Kasliwal et al. 2017, Itoh et al 2017)。中でも重力波天体の電磁波対応天体探査観測は GROWTH プロジェクトの大きな目標の一つである。我々は観測に必要な情報等を一元的に管理し、観測結果や各観測サイトの情報をシェアするデータベースや web サービスの開発、実際に明野望遠鏡を用いた観測で貢献してきた。

GROWTH チームでは、GW170817 に対してフォローアップ観測を実施し、南天の地上望遠鏡及び宇宙望遠鏡を中心として電波、近赤外線、可視、X 線各帯域での観測に成功した。これら多波長観測の集約の結果、GW170817 は r-process による重元素生成の現場であることが示された。また典型的な short-GRB としては比較的弱いガンマ線放射は、従来の off-axis jet による放射ではなく、広角度に広がったコクーン状のジェットからの放射として説明できる可能性がある (M. M. Kasliwal et al. 2017)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W110b Swift 衛星による NGC 1313 X-1 の 1600 日連続観測

吉田鉄生 (愛媛大学), 川島朋尚, 高橋博之 (国立天文台)

ULX(Ultraluminous X-ray source) とは、系外銀河の核でない場所に発見される 10^{39} erg/s を超える点源状の天体であり、ブラックホールであると思われる。ULX は比較的安定した光度で輝き続けるが、時に数倍から 10 倍程度の光度変化 (アウトバースト) を起こすことが知られている。これまで、すざく衛星などによって良質なスペクトルが得られ、低光度状態/高光度状態それぞれのスペクトルが詳細に分かってきたが、離散的な観測であるために、アウトバーストの発生期間やその頻度についての基本的な情報が分からないでいた。

我々は、Swift 衛星によって 2013 年 6 月から行われている NGC 1313 X-1 の長期間モニタリングに注目し解析を行った。観測期間 1600 日のうち初めの 1000 日間において、大きなアウトバースト (~ 7 to 30×10^{39} erg/s; day-scale) は 2014 年 5 月下旬から 7 月中旬という短い期間中に数回検出されたのみであった (2016 年春季年会)。類似のアウトバーストは XMM-Newton 衛星やすざく衛星によって 2003 年、2005 年にも捉えられており、一定期間ごとに発生期間の短いアウトバーストを繰り返していると推測される。しかし今回、これまでとは対照的に、2016 年 2 月下旬から 600 日もの長期間に渡り、同程度の光度上昇を伴うアウトバーストが頻繁に検出された。本講演では、発生期間が異なる 2 種のアウトバーストを比較することで、降着質量率や磁場流入の時間変化が降着流に与える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](#)

W111b 2017.11.7 Crab pulsar large glitch 観測速報 (1) : 概要

寺澤敏夫¹、徳丸宗利²、俵海人²、岳藤一宏³、関戸衛³、三澤浩昭⁴、土屋史紀⁴、村田泰宏⁵、竹内央⁵、米倉覚則⁶、青木貴弘⁷、新沼浩太郎⁷、藤澤健太⁷、本間希樹⁸、小山友明⁸、榎戸輝揚⁹、木坂将大¹⁰、柴田晋平¹¹、浅野勝晃¹²、田中周太¹³; ¹理研、²名古屋大学、³情報通信研究機構、⁴東北大学、⁵宇宙航空研究開発機構、⁶茨城大学、⁷山口大学、⁸国立天文台、⁹京都大学、¹⁰青山学院大学、¹¹山形大学、¹²東京大学、¹³甲南大学

2017/11/7にCrab pulsarで過去最大のglitch(自転周波数 ν の突発的な増加)が発生した、とのAtel#10939が流れた($\delta\nu/\nu \sim (0.471 \pm 0.003) \times 10^{-6}$)。名古屋大学豊川観測所では、2017年9月以降ほぼ毎日、南中時を中心とする6分間のCrab pulsar観測(0.3GHz帯)を続けており、glitch発生前後も観測を継続中であった(Atelによるglitch推定時刻は11月7日13:19UTC \pm 4分であり、当日の観測(17:15-17:21UTC)の4時間前であった)。早速、数十日にわたる豊川データを解析したところ、preliminaryな結果ではあるが、この日と前日の間に自転周波数変化のジャンプがあり、その値はAtel報告とconsistentであることを見出した。現在、処理手順を整備しつつあり、それによりrefineした $\delta\nu$ の値、およびglitch後数十日間の自転パラメタ(ν 、 $\dot{\nu}$ 、...)の変化状況について学会で述べる予定である。

glitchのAtel情報に比較的早く対応することができたのは、ISS搭載NICERと日本の地上望遠鏡群によるCrab pulsarのX線と電波同時観測のキャンペーンを11/10に実施したため、データ取得体制が整っていたことによる。Ootyのグループが報告(Atel#10947)したglitch前後のパルス波形変化の有無についても、日本のデータを用いて検証作業中であり、結果は並行するc講演(木坂他)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](#)

W112c 2017.11.7 Crab pulsar large glitch 観測速報 (2) : 波形変化の有無検証

木坂将大¹, 榎戸輝揚², 寺澤敏夫³, 徳丸宗利⁴, 俵海人⁴, 岳藤一宏⁵, 関戸衛⁵, 三澤浩昭⁶, 土屋史紀⁶, 村田泰宏⁷, 竹内央⁷, 米倉覚則⁸, 青木貴弘⁹, 新沼浩太郎⁹, 藤澤健太⁹, 本間希樹¹⁰, 小山友明¹⁰, 柴田晋平¹¹, 浅野勝晃¹², 田中周太¹³; ¹ 青山学院大学, ² 京都大学, ³ 理研, ⁴ 名古屋大学, ⁵ 情報通信研究機構, ⁶ 東北大学, ⁷ 宇宙航空研究開発機構, ⁸ 茨城大学, ⁹ 山口大学, ¹⁰ 国立天文台, ¹¹ 山形大学, ¹² 東京大学, ¹³ 甲南大学

多くの回転中性子星は glitch と呼ばれる突発的な spin up ($\delta\nu > 0$) を起こす。glitch は $\delta\nu = 10\mu\text{Hz}$ を境目として「大 glitch」「小 glitch」のグループに分かれることが知られている (Fuentes+, arXiv:1710.00952)。Atel#10939 により報告された Crab pulsar の glitch ($\delta\nu \sim 14\mu\text{Hz}$; 日本での観測概要は寺澤他の b 講演参照) は、Crab pulsar として初めて「大 glitch」グループに属するものとなった (従来のは最高は 2004 年 3 月の $\delta\nu \sim 6.37\mu\text{Hz}$)。

従来、glitch 現象は中性子星内部に起因する現象と考えられてきたが、最近、glitch 前後でのガンマ線・電波放射の状態遷移が報告されている。例えば、「大 glitch」の後に PSRJ1119-6127 では電波パルスのピーク数の変化や散発的な明るい電波パルスが見られている (Weltevrede+, 2011)。こうした現象は、表面近くや外部磁気圏の局所的強磁場の変動が磁気圏電流の構造変化を引き起こして放射に影響を与えたものとの解釈がありうる。今回の Crab の glitch の前後でも、電波パルス波形の変化が報告 (Ooty グループ, Atel#10947) されており、その詳細を知ることは磁場変化の様相を探る上で重要である。本発表では、Crab pulsar の glitch 前にも観測を行っていた飯館、鹿島、臼田のデータを用いて glitch 前後のパルス波形変化の有無を検証するとともに、結果に対する理論的考察についても述べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W113a GW170817の電磁波対応天体は全てガンマ線バーストジェットで説明できるか？

井岡邦仁(京大基研), 中村卓史(京大)

2017年8月17日にアメリカの重力波望遠鏡 LIGO とヨーロッパの Virgo によって、連星中性子星合体による重力波イベントが初めて発見された。「GW170817」と名付けられたこのイベントは、約40Mpcの距離で起こった1.2-1.6太陽質量の2つの中性子星の合体であった。それだけでなく、重力波が到達した後、Fermiガンマ線衛星によるガンマ線検出を皮切りに、光赤外線、X線、電波と、あらゆる波長域で電磁波対応天体が検出された。まさに、マルチメッセンジャー天文学の新時代が始まったのである。

我々は、連星中性子星からの相対論的ジェットを制限するために、(1) 横向きジェットからのショートガンマ線バースト sGRB 170817A (2) ジェットで加熱・加速されたコクーンからの可視赤外マクロノバ(キロノバ)、特に青色マクロノバ (3) ジェットと星間物質の相互作用によるX線と電波の残光を計算した。その結果、典型的なショートガンマ線バーストのジェットは現状の電磁波対応天体の観測と無矛盾であることが分かり、ジェットの等方エネルギー $\sim 10^{51}-10^{52}$ erg、ジェットの開き角 $\sim 20^\circ$ 、ジェットの見込み角 $\sim 30^\circ$ というパラメータで統一的に観測を説明できることが分かった。我々はまた、連星合体時に飛散する物質に、ジェットがエネルギーをつぎ込むことで、コクーンができ、その速度が典型的に $\sim 0.3-0.4 c$ 程度になることを解析的に示した。これは青色マクロノバの観測から得られる光球面の速度と合致する。周りの物質密度は $10^{-3}-10^{-6} \text{ cm}^{-3}$ と低い可能性があり、将来の電波やX線の観測で、ジェットや飛散物質と星間物質の相互作用を調べることで、テストできる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W114a GW170817/GRB 170817A のカウンター・ジェット放射

山崎 了 (青山学院大), 井岡 邦仁 (京大基研), 中村 卓史 (京大)

GW170817 は連星中性子星の合体による重力波イベントであり、重力波放射がおわってから 1.7 秒後に継続時間の短いガンマ線バーストも検出された。Ioka & Nakamura (2017) では、ガンマ線バーストの継続時間や isotropic gamma-ray energy、重力波とガンマ線の到着時間の差、また電波や X 線の残光のふるまい等の観測結果は、ガンマ線バーストのジェットを非軸方向から見たものであるとして定量的に説明できることを示し、ジェットのローレンツ因子を 100 程度とすると、ジェット開き角は 20 度程度、ジェットを見込む角 (つまり視線方向とジェットの軸のなす角) は 30 度程度、ガンマ線の放射半径は 10^{13} cm 以下と見積もった。

本講演では継続時間の短いガンマ線バーストのカウンター・ジェットの放射を計算し、GRB 170817 と同じようなジェット放射であればカウンター・ジェットの放射も可視光帯域で LSST のような望遠鏡で観測可能であることを示す。我々の計算の結果、GRB 170817 のようなイベントに対して、距離が 40 Mpc のとき、r バンドで 23-26 等級の放射が重力波放射終了から数分後くらいに観測され、これは macronova 放射よりも明るくなる。カウンター・ジェット放射の開始時刻と終了時刻がわかれば、ガンマ線バーストを起こすフォワード・ジェットの観測量とあわせることでジェットのローレンツ因子等のモデルパラメータを決定することができる。DECIGO のような低周波の重力波観測が実現すれば連星中性子星の合体の数年前から合体時刻と位置を正確に予言できるので、カウンター・ジェットの放射を検出するための早期観測の実現可能性が飛躍的に増大するだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W115a ガンマ線バーストの散乱と GW170817/GRB 170817A

木坂将大 (青山学院大学), 井岡邦仁 (京都大学), 櫻山和己 (東京大学), 中村卓史 (京都大学)

連星中性子星の合体はショートガンマ線バーストの起源の一つと考えられてきた。合体に伴う重力波とガンマ線を同時に検出できればシナリオを検証できるものの、ガンマ線バーストは相対論的速度を持つジェット状の流体からの放射であるため、同時に検出できる確率は低い。ただし相対論的ジェットの軸でない方向からの観測であっても、その存在に起因する電磁波放射が検出される可能性はあることから、ガンマ線バーストに対する連星合体シナリオを検証できるかもしれない。

最近検出された連星中性子星合体イベント GW170817 に伴って検出されたガンマ線 GRB 170817A は、平均的なガンマ線バーストと比べて光度が 4-5 桁小さいもののエネルギースペクトルのピークの値は同程度であった。このイベントに対して相対論的ジェットの軸から外れた方向から見た放射などのモデルが提案され、光度などの特徴が説明されている (Ioka & Nakamura 2017)。ただし、観測されたピークエネルギーは測定エラーが大きいもののモデルが示唆する値より高い傾向にある。

我々は、散乱されたガンマ線バーストのプロンプト放射が検出される可能性を提案する。連星合体では、周囲に太陽質量の%の物質が放出され、この中を相対論的ジェットが伝播する。ジェットから放射されたガンマ線は周囲の放出物質に散乱され、ジェットの開き角より広い角度方向に放射される可能性がある。トムソン散乱と見なせるエネルギー範囲内であれば、エネルギースペクトルはあまり変化を受けない。この散乱モデルを GRB 170817A に適用したところ、平均的な特徴のガンマ線バーストが散乱された場合の光度、ピークエネルギーで観測結果を説明できることがわかった。講演ではガンマ線バーストの放射機構へ与える制限に対しても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W116a GW170817 可視赤外対応天体は中心エンジンの活動で説明できるか?

松本達矢, 井岡邦仁 (京都大学), 木坂将大 (青山学院大学), Ehud Nakar (Tel Aviv 大学)

連星中性子星合体に伴う重力波イベント GW170817 では、重力波の検出後にガンマ線から電波に至る様々な波長で電磁波対応天体が観測された。可視赤外線での対応天体はマクロノヴァ(またはキロノヴァ)と呼ばれており、今回の観測では合体から数日後で可視光から近赤外線に波長が遷移するのが確認され、それぞれ青い・赤いマクロノヴァの呼ばれている。マクロノヴァを駆動するエネルギー源として、イジェクタ内で合成された重元素(r プロセス元素)の放射性崩壊による加熱が有力視されており、観測されたマクロノヴァを説明する試みも多く行われている。しかし、このシナリオでは光度曲線の再現に従来の連星合体の数値計算から示唆されていたよりも多くのイジェクタを必要とする。そこで、我々は放射性元素の崩壊による加熱ではなく、連星合体後に形成される中心エンジンの活動によってイジェクタが加熱されるシナリオを考え、観測されたマクロノヴァが説明できるかを検討する。このエンジン駆動モデルでは、より幅広いイジェクタ質量で観測を説明できる。通常の合体で放出されるイジェクタに加え、Ioka & Nakamura (2017) で議論されているようなコクーン成分も考え、これらがそれぞれ中心エンジンからの X 線照射とジェットからのエネルギー注入によって加熱・放射するモデルを構築した。コクーンとイジェクタはそれぞれ青い、赤いマクロノヴァの光度曲線を再現する。エンジン駆動シナリオは早期、後期(数十日以降)の多波長観測によって重元素の崩壊加熱モデルと区別できる可能性がある。また、エネルギー源のモデルに依らず、観測されたタイムスケールのみから、重元素が合成されたことが議論できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W117a 中性子星物質の織り成す多様な状態と中性子星の冷却

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 橋本正章, 松尾康秀 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (京都大学), 藤本正行 (北海学園大学)

中性子星物質は、核子の様々な超流動・超伝導状態や、クォーク物質・ハイペロン混合・メソン凝縮といった、様々な興味深い状態を示すと考えられている。このような高密度物質の状態は地上実験での検証は困難であり、中性子星の発見から50年となる今日においても、様々な観測からの制限こそあるものの解明には至っていない。

中性子星の熱的進化におけるもっとも支配的な機構は、高密度物質によるニュートリノ放射である。ニュートリノ放射は物質の状態に依存するため、観測結果と数値シミュレーションとを比較することで、その状態に制限を与えることができる。

50年にわたる中性子星の観測は、様々な観測的制限を与えてきた。近年の $2M_{\odot}$ の質量やマルチメッセンジャー観測によって、中性子星物質に強い制限を与えてきたが、依然として様々な物質の状態の可能性は残る。その一つがクォーク物質である。クォーク物質は中性子星内部に出現する際にはカラー超伝導状態となると考えられているが、カラーとフレーバーの自由度のため複数のペアリングが考えられ、CFL状態や2SC状態が出現しうるとされている。このペアリングの違いはニュートリノ放射機構に顕著な違いをもたらし、星の熱的進化を変えうる。

本研究では、カラー超伝導状態のペアリングの違いが中性子星の熱的進化に及ぼす影響を調査した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W118a フェルミ・ガンマ宇宙望遠鏡による Geminga パルサーの観測

吉野 裕太郎, 内山 泰伸, 荒川 真範, Dmitry Khangulyan, 江畑 敦弘 (立教大学)

Geminga パルサー は GeV 帯域では全天で 2 番目に明るいパルサーであり、距離は約 160 pc 程度と非常に近く、地球に飛来する高エネルギー電子・陽電子の多くが生成されている可能性があると考えられている。X 線観測から Geminga パルサーは年間約 0.17 秒角の横断速度で移動し、他に類を見ない特徴的な Pulsar Wind Nebula(PWN) が確認されている (Posselt et al. 2016)。最近では TeV 帯域での非常に大きく広がった放射が HAWC によって観測されている。

今回フェルミ衛星の観測データ (0.2–500 GeV) を用いて、Geminga パルサーを起点とする双方向に大きく広がったガンマ線放射領域が発見された。これは Geminga から流れ出た高エネルギー粒子によるものと考えられる。Geminga パルサーからの放射に比べて 1 % 程度の弱い放射であるが、全体で視野角 4° 程度の広がりを持っている。これは Geminga パルサーまでの距離を考慮すると、数 pc という非常に大規模な構造になっている。今回は HAWC での観測結果などと比較しながらこの放射構造について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W119a MAXI、Swift、RXTE 衛星による Be 型 X 線連星パルサー X Persei の約 7 年の長周期 X 線活動の発見

中島基樹、根來均 (日本大学)、三原建弘、杉崎睦、谷田部史堯、牧島一夫 (理研)、他 MAXI チーム

X 線連星パルサーは、伴星からの質量降着により多様な周期性の X 線活動を示す。星周円盤を伴う 10 倍太陽質量以上の Be 星と、強磁場中性子星からなる Be 型 X 線連星パルサー (Be/XRB) においては、中性子星が近星点を通過するさいに normal (type-I) outburst と呼ばれる周期的な X 線増光が観測されている。これに加え、近星点以外で生じる giant (type-II) outburst と呼ばれる X 線大増光が数年から数十年に一度、観測されている。これまで、giant outburst の周期性についての報告は無かった。Laplace et al. (2017) は、Be/XRB の一つである EXO 2030+375 において giant と normal outburst 活動の約 20 年の周期性に気づき、中性子星へのガス供給源である Be 星の星周円盤が、古在機構 (Kozai 1962) によって振動している可能性を指摘した。この様な長周期の変動についての研究はまだ他に例が無い。

我々は、2009 年から運用している全天 X 線監視装置 MAXI の観測データ、及び Swift 衛星 BAT 装置、RXTE 衛星 ASM 装置の長期 X 線モニタデータを用いて、Be/XRB の一つである X Persei の周期性について調べた。パルサーは軌道周期 250 日 (軌道離心率=0.11) で伴星の周囲を公転しているが、他の Be/XRB で見られるような normal outburst は観測されていない。これは Be/XRB としては例外的に大きな、かつ円に近い軌道であることが関係しているのかもしれない。しかし、2003 年から約 7 年おきに (2003, 2010, 2017) X 線フラックスが約 2 倍増加していることを発見した。1996 年には X 線増光は観測されていない。さらに、3 回の X 線増光全てで 1 軌道程度での急激な減光のタイムスケールが同じであることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W120a Ghosh & Lamb 降着トルクモデルの X 線連星パルサー X Persei への適用

谷田部史亮, 牧島一夫, 三原建弘, 杉崎睦, 高木利紘 (理研), 中島基樹 (日大)

Ghosh & Lamb (1979) の降着トルクモデル (GL 式) では、降着駆動型 X 線パルサーにおいて、降着ガスから中性子星への角運動量の受け渡しを考え、自転周期の変化率 \dot{P} と光度 L の関係を導いている。GL 式には中性子星の質量 M 、半径 R 、磁場強度 B などが含まれるため、観測から \dot{P} と L の関係を決定することでこれらの値を推定することができる。GL 式は断片的に検証されてきたものの、本格的な検証は全天 X 線監視装置 MAXI などによる高感度の連続観測により初めて可能になった (Takagi+16, Sugizaki+17)。

今回我々が GL 式を適用した天体は、自転周期 $P = 835$ s で光度 $\sim 10^{34}$ erg/s の Be 型 X 線連星パルサー X Persei で、予備的結果は牧島他 (2017 春 W101a) で報告した。RXTE 衛星の ASM と MAXI で得られた 1996 年から 2017 年までのデータを 250 日ごとに分け、X 線強度 (フラックス)、 P 、 \dot{P} を求めた。フラックスは 5~6 倍の変動を示し、 P は 1996~2003 年では spin down、2003~2017 年では spin up していることが分かった。 \dot{P} とフラックスには spin down 期、spin up 期を通して明らかな逆相関が見られた。この関係に、中性子星の質量 $M = 1.0 - 2.4M_{\odot}$ 、半径 $R = 8.5 - 15.5$ km、距離 $D = 0.5 - 1.1$ kpc の範囲で制限して GL 式を適用したところ、磁場強度 $B = (4 - 15) \times 10^{13}$ G の範囲で同様に良く、モデルは観測結果に合致した。他方、スペクトルの ~ 30 keV のへこみをサイクロトロン共鳴と解釈して求めた $B = 2.6 \times 10^{12}$ G (Coburn+01) など、通常のパルサーに見られる磁場強度を仮定すると、データは全く再現できなかった。

この結果から、X Persei の磁場強度はマグネター並みに強いと考えられる。また、 $R = 12.0$ km、 $D = 0.7$ kpc、 $B = 7 \times 10^{13}$ G を 仮定すると、中性子星の質量は $M = 1.85 \pm 0.06M_{\odot}$ と精度よく求められることが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W121b 振動数依存型一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションコードの開発

高橋博之, 大須賀健 (国立天文台), 小川拓未 (京都大学)

ブラックホール降着円盤の理解にはプラズマ、磁場、輻射、相対論的効果が無矛盾に扱う数値シミュレーションが不可欠である。これらを考慮した一般相対論的輻射磁気流体コードは一定度以上の成果を収めてきた (Sadowski '15, '16, McKinney '16, 高橋 '16, 高橋 '17, 等)。しかし、これらの研究では、輻射輸送方程式を運動量空間で積分したモーメント量に基づく定式化を用いて輻射場を解いていた。そのためシミュレーションから直接輻射スペクトルを得ることは出来ないという問題がある。この問題を根本的に解決するには、6次元ボルツマン方程式に基づく一般相対論的輻射輸送計算によって輻射場を求める必要があるが、計算量が多く、長時間計算をすることは難しい。計算量を抑えるため、振動数空間で積分した5次元輻射輸送方程式を解く解法も開発されているが (朝比奈ら, W114b) やはり輻射スペクトルを得ることはできない。

計算量を抑えつつも輻射スペクトルの情報を得るため、本研究では振動数依存型のモーメント量を解く、4次元輻射輸送方程式の数値解法を考案する。基礎方程式は柴田 ('11) に基づくが、数値解法は異なる。本研究ではテンソル形式をそのまま用いてコードに実装することにより、従来の振動数に依存しない輻射輸送コードをそのまま適用する。Opacityが振動数に依存するため、ガスと輻射の相互作用は複雑になるが、自由-自由放射・吸収、シンクロトロン放射・吸収、等方散乱の場合は単純な行列の形で書くことが出来るので、計算コストが抑えられる。本発表ではこの数値計算コード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](#)

W122b 高温降着円盤の大域的乱流場中での乱流加速シミュレーション

木村成生 (ペンシルベニア州立大学), 富田賢吾 (大阪大学)

質量降着によるエネルギー解放率がエディントン光度と比べて小さい場合、中心天体の周囲には高温降着円盤が形成され、降着物質は高温で希薄な無衝突プラズマとなる。高温降着円盤内では磁気回転不安定性により乱流電磁場が生成され、磁気リコネクションにより非熱的な宇宙線が生成される。高エネルギーとなった宇宙線は大きなスケールの乱流場と相互作用し、さらに加速されることが期待される。我々は磁気流体シミュレーションにより得られた電磁場中でテスト粒子軌道を計算し、降着円盤内での乱流加速過程を調べた。高温降着円盤は幾何学的に厚く大域的構造が重要となるため、まず高温降着円盤の大域的磁気流体シミュレーションを行い、大域的な乱流場を求めた。高温降着円盤の速度場は回転速度が乱流速度や音速より大きく、軸対称ではなく球対称に近い構造をしている。磁場は差動回転により引き延ばされるため方位角方向が卓越する。この乱流場の中で約2万個の宇宙線粒子の運動方程式を解き、降着円盤での乱流加速過程を調べた。宇宙線粒子はランダムにエネルギーを増減させ、その分布関数は運動量空間中を拡散していく。運動量分布関数の分散から運動量空間での拡散係数を見積もった結果、拡散係数は運動量の二乗に比例することがわかった。これは大スケールの遅い磁気音波による散乱が宇宙線加速を担っている場合の理論 (Lynn et al. 2014, ApJ, 791, 71) と整合的である。また、Shearing box 近似を用いた局所計算 (Kimura et al. 2016, ApJ, 822, 88) と違い、シア加速は見られない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W123b 特殊相対論的MHDに基づいた磁気回転不安定性の線形解析

荒尾圭唯, 加藤雄人 (東北大学)

ブラックホールや中性子星などの高密度天体周辺に形成される降着円盤において、円盤内での角運動量輸送を引き起こす乱流の駆動源として、差動回転する円盤中に背景磁場が存在することによって発生する磁気回転不安定性 (Magneto-Rotational Instability: MRI) が重要視されている。ケプラー回転する降着円盤において、高密度天体近傍では円盤の回転速度が光速に対して無視できない大きさとなることから、Balbus and Hawley (1991) らによって示されたMRIの線形成長に対する相対論効果の影響が指摘される。本研究では特殊相対論的MHD方程式系を用いたMRIの線形解析を行い、高密度天体近傍での降着円盤におけるMRIの線形成長に対する相対論効果の寄与について考察する。本研究では完全電離した降着円盤を対象として、規格化したMHD方程式系に対して線形化を施し、整理した後に固有値を計算することで、円盤内での分散関係を数値的に導出した。得られた結果から、相対論的速度でケプラー回転する降着円盤において、円盤回転速度の上昇に伴いMRIの成長率分布が高波数領域へ遷移する様相が明らかとなった。すなわち、非相対論的MHDに基づくMRIの最大成長波長が $15^{1/2}/4 (\Omega/V_{Az})$ 、正の成長率を示す波数領域の最大値が $3^{1/2} (\Omega/V_{Az})$ であるのに対して、円盤回転速度が光速の0.5倍となる条件ではそれぞれ $\sim 1.12 (\Omega/V_{Az})$ 、 $\sim 2.00 (\Omega/V_{Az})$ となることが示された。ここで、 Ω は円盤の回転角周波数、 V_{Az} は背景磁場の円盤回転軸方向の成分から計算したアルフベン速度である。この結果は降着円盤中のMRIについて、中心天体へ近づくにつれて正の成長率を示す波長帯がより短波長の領域へ広がることを表している。降着円盤を対象とした数値シミュレーションでは、MRIの最大成長波長を十分に分解できる空間分解能を確保することが考慮されるが、本研究の結果は円盤回転速度を考慮した検討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](#)

W124b 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

中村賢仁(九州産業大)、町田真美(九州大)、松元亮治(千葉大)

X線連星のハード状態からソフト状態への遷移では、質量降着率の増大に伴う密度の増加の効果により光学的に薄い移流優勢降着流から光学的に厚い標準円盤へと遷移する。この時、熱伝導は円盤構造を決める重要な要因であるが、降着円盤とハローは磁力線でつながれているために、非等方熱伝導の効果を検討する必要がある。そこで我々は、ブラックホールまわりの光学的に薄く幾何学的に厚い移流優勢円盤に関し、制動放射と非等方熱伝導の影響による円盤構造の変化を確かめるため、CANS2Dを用いた軸対称2次元円筒座標 (r,z) MHD数値実験を行った。磁気流体計算についてはMLW法、熱伝導計算についてはBiCGstab法を用いている。

初期磁場として、プラズマ $\beta = 1000$ の弱いポロイダル磁場を仮定する。磁気回転不安定性による磁気乱流が角運動量の再配分を促し、トーラスから準定常な円盤が形成されるところで、冷却や熱伝導をオンにする。

輻射冷却有・熱伝導無の計算では、移流優勢円盤の密度が高い赤道面近傍領域では、輻射冷却により、さらに密度が高まっていき、磁気圧優勢な低温高密度円盤が形成された。この円盤のスケールハイト H は、 $H \sim 0.4r$ 程度で比較的幾何学的に厚くなった。輻射冷却有・熱伝導有の計算では、輻射冷却のタイムスケールが熱伝導のタイムスケールより短い場合、赤道面近傍では低温高密度円盤が形成された。円盤のスケールハイトは $H \sim 0.1r$ 程度で、この低温円盤を包むように、高さが半径と同程度まで高温円盤が形成された。また、円盤表面からハロー中にガスが蒸発し満たしていった。今回の質量供給を行わない数値実験では、輻射冷却のタイムスケールが熱伝導のタイムスケールよりも長い場合、円盤の活発な蒸発が起き、完全に蒸発した。本講演では、基準半径、初期密度、プラズマ、熱伝導率を変えた数値実験を行い得られた結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W125b X線連星電子-イオン二温度ジェットに関する3次元磁気流体数値実験：ジェットの構造とダイナミクス

大村匠, 町田真美 (九州大学), 中村賢仁 (九産大), 工藤祐己 (鹿児島大), 朝比奈雄太 (国立天文台), 松元亮治 (千葉大)

原始星やX線連星、活動銀河核など様々なスケールの天体から宇宙ジェットと呼ばれる細く絞られた高速なプラズマが噴出していることが知られている。その中でも、我々はブラックホールX線連星(BHXB)ジェットに着目している。BHXBジェットは、X線スペクトル状態がハード状態の場合に観測され、ハード状態は光学的に薄く非常に高温な放射不良降着流(RIAF)に対応している。ジェットが噴出するブラックホール近傍のRIAFは高温低密度であることから、電子とイオンのカップリングが弱まり電子温度とイオン温度が乖離する二温度プラズマとなると考えられる。そのため、ジェットも二温度となっていると考えられるので、BHXB二温度ジェットの数値実験を行うことはとても重要である。

我々は2017年秋季年会において、二次元軸対称を仮定した二温度ジェット伝搬計算に関するMHD数値実験の結果について報告した。ここでは、ジェットのコクーン内部において、イオン温度 10^{11}K に対し電子温度は 10^9K 程度にとどまること、また両者の温度分布が大きく異なることを示した。

本講演では、輻射冷却として制動放射と取り入れて実施した二温度ジェットに関する3次元MHD数値実験を紹介し、また解析を行った二温度ジェットの構造とダイナミクスについて一温度ジェットの結果と比較しながら紹介する。今回の計算・解析により、3次元計算においてもコクーンは二温度が保たれること、制動放射は先端部分と中心軸近傍で優勢に働くがジェットのダイナミクスへの影響はほぼ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](#)

W126b 可視光望遠鏡 AROMA-N 及び、MAXI/GSC を用いた突発天体の多波長観測

北岡佳貴, 坂本貴紀, 芹野素子 (青山学院大学)

可視光望遠鏡 (AROMA-N) は口径 30 cm の望遠鏡であり、60 秒の露光でおよそ 16 等級まで観測が可能である。AROMA-N にはバンドフィルターが装着されており、フィルターを通して天体からの電磁波を可視光域から紫外域にかけて I, R, V, B, U の 5 つのバンドで光度変化を観測している。AROMA-N は全天 X 線監視装置 MAXI/GSC が観測している天体を地上から観測し、X 線領域と可視光領域で突発天体の光度変化を随時並行してモニターしている。

MAXI は、国際宇宙ステーションに搭載されている X 線観測装置である。MAXI には 2 種類の観測機器が備えられており、ガス比例計数管を用いた Gas Slit Camera (GSC) と、X 線 CCD カメラを用いた Solid-state Slit Camera (SSC) である。これら 2 種類の観測機器を用いて、MAXI は定常的に突発天体を 2-30 keV と 0.5-12 keV の X 線波長域で観測している。ブラックホールや中性子星連星などの突発天体の放射メカニズムは、未だ明確に判明していないものが多くあり、我々は可視光領域と X 線領域による放射メカニズムの解明を試みている。

AROMA-N は一月におよそ 10 回、一回の観測で 30 個程度の天体の自動観測を行っており、2016 年 1 月から現在までに I, R, B バンド、60 秒露光で約 300 個の天体を観測している。本発表では、その中から MAXI/GSC の X 線観測で時間変動の激しいブラックホール連星、中性子星連星などを中心に、約 30 個の天体の光度変化および、同時期に MAXI/GSC で観測したデータを照らし合わせた解析結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W127c 電磁波観測によるBHとグラバスターの判別可能性に関する理論的考察

大神隆幸, 坂井伸之 (山口大学)

一般相対性理論によって存在が予言されていたブラックホール (BH) は非常に強い重力を引き起こす天体であり、未だに謎の多い重力の理解に対して重要な役割を持つ。多くの研究者がこの BH の存在を検証しようとあらゆる方法を用いてチャレンジしてきたが、重力波を用いた観測によってアメリカの LIGO やヨーロッパの Virgo がこれを成し遂げている。しかし重力波観測によって理解されることは重力そのものの性質であり、例えば強い重力下での電磁波の振る舞いなどは別の方法によって観測される必要がある。ところでこの BH は特異点問題と情報消失問題と呼ばれる二つの問題を孕んでいる。これらの問題は未だに解決されていないが、問題を生じさせる領域を球殻で遮り別の時空解で置き換えてしまうという方法によって回避するアイデアが Mazur と Mottola によって考えられた。このような天体はグラバスターと呼ばれ、理論的なトイモデルとして扱われているが、現在までに電磁波観測によって BH と予測されているコンパクトな天体の中にこの天体が含まれていないとも限らないため、観測的帰結を理論的に予測しておく事は重要となる。球殻の外側では BH と同様の時空解を持ち、この二つを区別するためには天体の大きさを分解できるような直接的な観測が必要となる。そこで本研究ではグラバスター周辺の光源ガスの分布を解析的に議論し、測地線方程式と輻射輸送方程式を数値的に解くことで天体サイズスケールの強度分布を得た。球殻を構成する物質と光子との相互作用に関して二つのモデルを仮定したが、光源ガスの状況によってはモデルに依存せず、グラバスターと BH を観測によって区別することが可能であると分かった。ポスター講演では、光源ガスの分布に関する考察と数値的に得られた強度分布結果について詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W128a MAXI/GSC の 7 年間のデータを用いた低銀緯領域での X 線天体カタログ

堀貴郁 (京都大学), 志達めぐみ (理研), 上田佳宏 (京都大学), 川室太希 (国立天文台), 森井幹雄 (数理研究所), 中平聡志 (理研), MAXI チーム

全天 X 線監視装置 (MAXI) に搭載されている Gas Slit Camera (GSC) は、2–10 keV のエネルギーバンドで全天観測装置において過去最高の感度を誇り、これを用いた無バイアス X 線天体カタログは、2 keV 以下をカバーする ROSAT カタログや 10 keV 以上 をカバーした Swift カタログと相補的で、独自の科学的価値をもつ。

銀河系内の X 線天体は星の終末を迎えた天体が多く、天の川銀河形成史を研究する上で非常に重要な対象である。銀河面カタログの作成はこういった研究の根幹をなす。しかし、銀河面を含む低銀緯領域は、明るい天体の数密度が大きく天体混入の影響がより厳しくなること、銀河面リッチ X 線放射 (GRXE) を考慮する必要があることから、解析が困難であった。我々は点限応答関数 (PSF) の校正、GRXE のモデル化によってこれらの問題を克服することに成功した。

銀河面カタログの作成にあたって、光子統計を最大限にあげるため、運用当初 (2009 年 8 月) から 2016 年 7 月までの 7 年間の積分データを用いた。さらに 73 日 (1/5 年) ごとに分割した観測データを用いて、一時期だけ明るい変動天体ももれなく探査した結果、銀河中心領域 ($l < 30^\circ, 330^\circ < l \text{ \& } |b| < 5^\circ$) を除く低銀緯領域 ($|b| < 10^\circ$) において 221 天体を 6.5σ 以上の有意度で検出した。さらに各天体について 1/5 年ピンの光度曲線を作成し、7 年平均のハードネス比を求めた。これら全ての天体について同定作業を行い、176 天体 (80%) について対応天体を決定した。未同定天体の多くは、変動が大きく、比較的硬 X 線が強いため、Blazar か X 線連星であると考えられる。本講演では、カタログの詳細および各種族の統計的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](#)

W129a 4つのX線新星 MAXI J1535–571, J1621–501, J1630–276, Swift J0243.6+6124 の発見とその正体 –MAXI/GSC が検出した 2017 年度後半の突発現象–

根来 均, 中島基樹, 川瀬智史 (日大), 杉田聡司, 針田聖平, 河合誠之 (東工大), 中平聡志, 志達めぐみ, 三原建弘, 牧島 一夫, 松岡 勝 (理研), 橋本達也, 芹野素子 (青学), 河合広樹, 坪井陽子 (中央大) ほか
MAXI チーム

全天X線監視装置 MAXI に搭載された GSC 検出器により、2017 年度後半に発見検出された突発天体现象について報告する。前回の年会の報告で触れたX線新星 MAXI J1535–571 の発見 (Negoro+, ATel., 10699; 以下 ATel は番号のみ表示) に続き、突発天体発見システムによって、10 月 9 日には MAXI J1621–501 (Hashimoto+, 10869)、11 月 17 日には MAXI J1630–276 (Negoro+, 10984) が発見された。また、9 月 30 日に出現したX線新星を Swift に先立って検出報告したが (Sugita+, 10803, 10813)、0.4 度離れて位置する LS I+61 303 と位置的に区別できず、3 日後に Swift により新天体 Swift J0243.6+6124 として報告された。J1535-571 は出現後の状態遷移等の特徴を含めブラックホールと考えられ (Negoro+, 10708; Nakahira+, 10729; Shidatsu+, 11020)、Swift 新天体は Be X線パルサーであることがわかったが、残り 2 天体については正体は依然不明である。

また、9 月 15 日に RS CVn 型星 HR 1099 からのフレアの検出 (Kawai, H., 10753)、10 月に球状星団 NGC 6440 中の天体からアウトバースト (Negoro+, 10821) とX線バーストの検出 (Harita+, 10827)、Be X線パルサー GRO J1008–57 の遠星点でのアウトバースト (Nakajima+, 10902) を検出し、ATel に報告した。

X線天体以外に、GRB 171112A の検出 (Sugita+, GCN, 22118) と IceCube ニュートリノイベントの強度の上限値 (Negoro+, 10838) についても報告した。講演では、新天体発見の経緯と正体を中心に発表、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](#)

W130a 明るいブラックホール新星 MAXI J1535–571 の発見と X 線スペクトル状態遷移の観測

中平聡志, 志達めぐみ, 牧島一夫, 三原建弘 (理研), 根来 均, 川瀬智史 (日大), 河合誠之, 森田浩太郎 (東工大), 上田 佳宏 (京大), 山岡和貴 (名大)

MAXI J1535–571 は 2017 年 9 月 2 日 ($T=0$ 日) に MAXI によって発見された X 線トランジェント天体であり (Negoro+, ATel#10699)、その後の追観測により過去に知られているブラックホール X 線連星と共通した特徴を持つことがわかった。発見当初の X 線強度が ~ 34 mCrab (かに星雲強度の 3.4%) であったこの天体は、 $T=16$ に約 5 Crab まで増光し、今世紀に新たに見つかった中で最も明るい X 線新星となった。MAXI J1535–571 は見かけ上大きい明るさを持つので、MAXI にとっては 100 日以上に渡るアウトバースト全体の X 線放射状態の変化を時間的に細かく調べることができる貴重な観測対象となった。

MAXI J1535–571 はピークに達した後減光しながら一度ハード化し、再度軟化しながら減光することで、「8–20/2–8 keV ハードネス比」 vs 「2–20keV X 線強度」ダイアグラム上で、同種の天体でよく見られる q 形ではなく 形の軌跡を描いた。その光度の高い 1 度目の円では大きな硬 X 線時間変動が見られ、光度の低い 2 度目の円では硬 X 線成分の少ない安定的な降着円盤からの放射を示した。ピークに達する直前の $T=8-16$ では、ベースライン強度に対して 10–20% の強度で ~ 1 日程度の準周期的な、軟 X 線と硬 X 線が反相関する振動状態が発見された。本研究では MAXI/GSC を用い、状態遷移に伴って降着円盤の構造が変化様子、降着円盤からの直接放射と電子雲からのコンプトン放射との間のバランスが変化していく様子について詳しく示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W131a 全天X線監視装置 MAXI/GSC のデータを用いた MAXI J1535-571 の X 線短時間パワースペクトル解析

川瀬智史, 根来均 (日本大学), 中平聡志, 志達めぐみ (理研), ほか MAXI チーム

ブラックホール候補天体 (BHC) の low/hard 状態での X 線強度は激しい短時間変動を示すのに対し、high/soft 状態では変動が少ないことが知られている。よって、BHC の強度変動データを用いて短時間パワースペクトル解析を行うことで、その形状やパワーの大きさから降着円盤の状態を判別することができる。

2017 年 9 月 2 日に MAXI によって発見された MAXI J1535-571 は、エネルギースペクトルと短時間強度変動から low/hard 状態の BHC である可能性が示された (Negoro et al. 2017)。また、Swift と NICER によって準周期的振動 (QPO) が観測された (Mereminskiy et al. 2017, Gendreau et al. 2017)。

我々はこの天体について、MAXI/GSC のデータを用いて状態遷移後の時期も含めて 0.01-50Hz での短時間パワースペクトル解析を行った。発見当初 (MJD 58000-58003) のパワースペクトル (PSD) は 0.1Hz 付近に折れ曲がりを持つ flat-top 型であり、典型的な low/hard 状態の PSD と一致した。その後一段階ソフト化するが (MJD 58009-58013)、このときの PSD は intermediate 状態特有の形状で、1Hz 付近に折れ曲がりを持ち low/hard 状態よりパワーが一桁程小さい flat-top 型となった。さらにソフト化して完全に high/soft 状態に遷移したとされる時期 (MJD 58018-58023) は、GSC のスキャン観測に由来する三角形の窓関数の影響が支配的になるほど、パワーの非常に小さい PSD が得られた。また、MJD 58012-58013 の期間において QPO とと思われる構造を 2.4Hz 付近に発見した。本講演では MAXI/GSC のデータを用いた長期に渡る MAXI J1535-571 の短時間パワースペクトルとエネルギースペクトルとの相関について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W132a IRSF1.4m 望遠鏡による X 線新星 MAXI J1535–571 の近赤外線追観測

森田 浩太郎, 村田 勝寛, 杉田 聡司, 伊藤 亮介, 橘 優太郎, 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), 中平 聡志, 志達 めぐみ (理化学研究所) ほか
MAXI チーム

MAXI J1535–571 は、2017 年 9 月 2 日に全天 X 線監視装置 MAXI で発見された X 線新星であり、ブラックホールを含む低質量 X 線連星であることが示唆されている (Atel 10708 Negoro et al.)。この天体は発見されて以降増光を続け、9 月 19 日には X 線強度が ~ 5 Crab まで達し、今世紀で最も明るいブラックホール候補天体となった。発見翌日には可視光の対応天体が同定され、翌々日には近赤外線でも観測された (Atel 10702 Scaringi et al., 10716 Dincer)。

我々は発見 4 日後から、名古屋大学が南アフリカに所有する IRSF1.4m 望遠鏡で近赤外線 J 、 H 、 K_s の 3 バンドで観測を開始し、天体が地没で観測できなくなるまでの約 1 ヶ月にわたり観測を行った。赤外線では観測開始時は $J \sim 15$ 、 $H \sim 13$ 、 $K_s \sim 11$ 等で、その後 5 日間かけて、どのバンドも 1 等程度明るくなり、その後 K_s では 5 等ほど暗くなった。また、この間赤外線カラーは徐々に青くなっていた。一方、MAXI などの観測から、X 線では光子数が少なく硬 X 線成分の強いハード状態から、その逆のソフト状態への移行が起こっていることがわかっている (Atel 10729 Nakahira et al.)。さらに、9 月 28 日から 10 月 1 日においては、IRSF での観測時間中に Swift 衛星に連絡し毎日 15 分程度の X 線観測を行い、近赤外線と X 線との短時間変動を比較することが可能となっている。本講演では、IRSF の観測について報告し、その観測結果と Swift 衛星の X 線望遠鏡との同時観測結果との比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W133a V364 Lib はブラックホール連星か

田邊健茲, 福田尚也 (岡山理科大)

V364 Lib は当初 ASASSN J150946-2147.7 という番号がつけられていた激変星 (U Gem 型矮新星) である。伴星が楕円変光を示すことから得られた軌道周期 P は矮新星としてはきわめて長く (0.70243 日; Wils 2010)、しかもこの連星系の伴星は A 型と考えられるユニークな系である。この伴星の視線速度曲線は、2009 年のアウトバースト時にすばる望遠鏡に分光器 HDS を用いて、 $K_2=74.5 \pm 0.5\text{km/s}$ という値が得られている (石岡 2009)。

これらの観測結果と伴星の質量 M_2 から質量比 $q = M_2/M_1$ は、inclination i を用いて次の式で表される：

$$(q+1)^2 q = \frac{(2\pi)^3}{K_2^3 P} M_2 (\sin i)^3$$

この式の右辺に現れる係数は $(2\pi)^3/K_2^3 P=33.7$ である。ここで質量、時間、距離などの変数の単位はそれぞれ M_\odot 、year、および AU である。 M_2 の値の範囲を $2.0 \sim 2.5M_\odot$ と仮定すれば、 $M_1 > 1.5$ という条件に対してこの方程式を数値的に解くことにより、inclination i におよそ次のような制限が付けられる：

$$M_2 = 2.0 : \quad i = 28^\circ ; \quad M_2 = 2.5 : \quad i = 23^\circ$$

食を起こさない連星系であることから、そのための幾何学的条件 (r_1 、 r_2 はそれぞれ円盤、伴星の半径)

$$q+1 \geq \frac{2\pi}{K_2 P} (r_1 \sin i + r_2 \tan i)$$

から導かれる最も厳しい制限 $i \leq 37^\circ$ より、上の inclination の値は BH 連星の可能性を示唆していると思われる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W134a フェルミガンマ線宇宙望遠鏡によるマイクロクエーサー Cyg X-3 の観測

林直志, 内山泰伸, Dmitry Khangulyan, 江畑敦弘 (立教大学), Helen Poon (立教大学/広島大学)

マイクロクエーサーはジェットが存在する X 線連星であり、Cyg X-3 もその一つである。Cyg X-3 はコンパクト天体 (ブラックホールか中性子星) とウォルフ・ライエ星からなる軌道周期 4.8 時間の連星系である。電波ジェットが観測されている期間にガンマ線が検出されている (Abdo et al. 2009)。すなわち、ジェット由来のガンマ線を観測できる貴重なマイクロクエーサーである。ガンマ線放射機構の候補として leptonic 起源の逆コンプトン散乱が有力視されているが、十分に高精度のガンマ線スペクトルはまだ得られていない。

我々はフェルミ衛星の LAT による観測データを用いて Cyg X-3 の解析を行った。フレアを起こしている時のデータのみを抽出するため 1 日ごとの lightcurve を作成し、Cyg X-3 からのガンマ線放射が検出された日のデータのみを集め、0.1-10 GeV のエネルギースペクトルを調べた。その結果、 $\text{photon index} = 2.63 \pm 0.04$ のベキ型となった。ベキ型のスペクトルは逆コンプトン散乱を強く支持する結果である。また、軌道周期に対応した周期的変動も確認できており、Cyg X-3 のガンマ線放射が逆コンプトン散乱によるものだと明らかになった。電波フレアは電波の flux に応じて Major flare (> 10 Jy) と Small flare (< 1 Jy) の 2 種類に分類されるが、同時期に発生している電波フレアの規模に関わらず、ガンマ線のスペクトルが一定であることも分かった。更に、ガンマ線放射条件 (Corbel et al. 2012) を満たしているにも関わらずガンマ線検出が未報告であった期間において Cyg X-3 由来と思われるガンマ線が観測された。

以上の観測結果とジェットからのガンマ線放射モデルを用いてジェットの物理状態を推定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](#)

W135a デカメータ電波パルスの観測に基づき我が銀河系中心に発見された巨大ブラックホール・バイナリーの存在の検証

大家 寛(東北大学)

本研究は我銀河系中心部のデカメータ電波パルス観測を実施してきているが、観測されるパルス周期が Kerr ブラックホールのスピン周期と理解し我が銀河系中心にBHバイナリーの存在を結論している。(日本天文学会、2017 秋季年会講演予稿集 W124a, p267)。結果の要点は G_{aa} と G_{ab} 1 対のブラックホール・バイナリーの存在が判明し G_{aa} および G_{ab} のスピン周期はそれぞれ $176 \pm 2.8 \text{sec}$ および $147 \pm 1 \text{sec}$ で、円軌道を仮定する時の公転周期 $2200 \pm 100 \text{sec}$ に対し、視線速度がそれぞれ光速の 16.5 ± 1.0 及び 19 ± 1.0 となり、 G_{aa} , および G_{ab} の質量は 100 万太陽質量単位でそれぞれ 1.8 ± 0.1 及び 1.5 ± 0.1 となる。この結果に対し、以下の二点より銀河系中心に存在する巨大ブラック・ホールバイナリーの存在を検証した。電波源方位の検証 ブラックホール・バイナリーを結論づけるデカメータ・電波パルスの電波源方位の確定には東北大学・長距離基線デカメータ電波干渉計による 2016 年 6 月 5 日から 30 日にわたり銀河中心部の直接観測データに加え新たに 2017 年 6 月 7 日より 7 月 2 日に渡る観測データを加え、解析には電離層効果を除去出来る特殊解析法を採用して、パルス電波の到来方向が ± 0.1 度の精度で Sgr A(star) を中心にしていることが確認された。Close Binary 成立の考察 結論しているBHの質量、公転周期、速度から、軌道運動における摂動作用および重力波放射がBHバイナリーの存在を許さない早期の角運動量喪失の可能性につき、銀河系中心部に外部から供給されている大量の物質輸送を考慮するとき銀河中心より 0.1 pc の位置で中心に流入する物質可能性として持つ単位質量当たり角運動量はBHバイナリー系の単位質量当たり軌道運動の角運動量の 1000 倍以上に達しBHバイナリーの角運動量損失を十分に補う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W136a ブラックホールへ間欠的に落下するガス雲の光度変動と偏光の関係

森山小太郎, 嶺重慎 (京都大学), 高橋博之 (NAOJ)

ブラックホール近傍での時空構造の観測的解明は、事象の地平面の存在の有無、一般相対論の検証のための重要なテーマである。一般相対性理論は、ブラックホール時空が質量と角運動量 (スピン) にのみ依存することを理論的に予言する。質量はブラックホールから離れた星やガスの運動により、ある程度見積もられているが、スピンはブラックホール近傍の相対論的效果を厳密に考慮する必要があるため、測定が難しい。2015年春の年会 [J145a] では、降着円盤内縁から有限の角運動量を持って落下するガス雲からの放射を状況を想定し、その非周期的な光度変動から、スピンを原理的に測定できることを示した。次に2017年春の年会 [W136a] では、一般相対論的放射磁気流体シミュレーションデータ (Takahashi et al. 2016) を再解析することにより、我々が提唱するスピン測定法で前提とした、ブラックホールに間欠的に落下するアーク状のガス雲が存在することを報告した。

現実の観測に提唱したスピン測定法を適用するためには、落下ガス雲からの光度変動を特定する必要がある。そのためには、複数の放射プロセスにより構成されるであろう光度変動の中から、落下ガスの放射に対応するものを取り出す必要がある。発表者は落下ガス雲の放射を特定するための指標のひとつとして、偏光変動を提案する。今回は [W136a] で扱った間欠的に落下するガス雲のシンクロトロン放射による線偏光を想定し、その光度変動と偏光の変動の関係を調べた。その結果、以下の放射特性を発見した: (1) フラックスピーク時の偏光角度の大きな変動、(2) サブフレア時の $\sim 10^\circ$ の偏光角度変化、(3) $200cR_g$ 程度のタイムスケールで準周期的に変動する偏光角度 (ここで c は光速度、 R_g は重力半径)。最後にこれら3つの性質と、近年超長基線電波干渉系による直接撮像が期待されている、銀河中心のコンパクト電波光源 Sgr A* での近赤外線観測との類似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](#)

W137a ブラックホール回転エネルギーの四重極フォースフリー磁場による引抜きの数値シミュレーション

小出眞路，今村知貴（熊本大学）

活動銀河核とマイクロクエーサーからは相対論的ジェットが放出され，ガンマ線バーストの本体はローレンツ因子が数百にも達する相対論的ジェットと考えられている．最近の一般相対論的MHD（GRMHD）数値シミュレーションによりそのような相対論的ジェットは自転するブラックホールを貫く磁力線に沿って形成されると示唆されている．相対論的ジェット形成のエネルギー源はブラックホール回転エネルギーであるが，磁場を介してブラックホールからのエネルギーのやりとりが行われ，この場合はエネルギーの引き抜きが起こる．磁場を介したブラックホール回転エネルギーの引き抜き機構はブランドフォード・ナエク機構として知られている．

前回の天文学会秋季大会において，われわれはブランドフォード・ナエク機構における因果的過程を明らかにするために，自転するブラックホールのカーシルド座標を用いたフォースフリー電磁場の動的な1次元の数値計算結果を報告した．それによると，エネルギー流束はエルゴ領域付近にたかまその源があるようにブラックホール近傍から湧き出し，その源からエネルギー流束はほぼ定常解に一致する値で外側に広がってゆくことが示された．このエネルギー流束の湧き出しは空間の引きづり効果によって生じる．前回の数値計算では磁力線の初期形状は放射状を仮定した．今回は磁力線の形状が4重極磁場に相当する場合など一般の磁気形状についての結果を示す．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W138a 超臨界降着するブラックホールと中性子星の輻射スペクトル比較

川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (国立天文台), 高橋博之 (国立天文台)

超高光度 X 線源は系外銀河で観測される非常に明るい天体であり、その光度は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モデルとしては、長い間、恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流 (エディントン限界降着率を超える降着流) と、中間質量ブラックホールへの亜臨界降着流の 2 つが考えられてきた。ところが近年、一部の超高光度 X 線源において X 線パルスが発見されたことにより、超臨界降着する中性子星も超高光度 X 線源の中心天体候補として新たに加わった。X 線パルスを示す超高光度 X 線源の中には、これまでに観測されてきた超高光度 X 線源の典型的な輻射スペクトル形状を示すものもあり、パルスが検出されていない超高光度 X 線源の中にも多くの中性子星が潜んでいる可能性が示唆されている。パルスが検出されていない超高光度 X 線源の中心エンジンを明らかにするためには、理論計算により得られる輻射スペクトルと観測データを直接比較することが有効であると考えられる。しかし、超臨界降着するブラックホールの理論的な輻射スペクトル形状は完全には明らかにされておらず、また中性子星に関しては全くわかっていない。

そこで我々は、一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションのポストプロセス計算により超臨界降着するブラックホールと中性子星の輻射スペクトルを計算し、両者のスペクトルを世界で初めて比較する。輻射スペクトル計算には、我々が開発した Ray-Tracing 法と Monte-Carlo 法に基づく一般相対論的輻射輸送コードを用いる (2017 年秋季年会)。輻射過程は、超臨界降着において重要な制動放射・吸収およびコンプトン散乱を考える。本発表では特にブラックホールと中性子星の輻射スペクトルが判別可能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](#)

W139a ブラックホール超臨界降着流に付随するコロナからのX線放射スペクトル

川中宣太 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学)

超高光度 X 線源や狭輝線セイファート I 型銀河、また GRS 1915+105 のような非常に明るい X 線連星を説明するモデルとして、ブラックホールにエディントン降着率を超える量のガスが落ちている超臨界降着流が考えられている。これらの天体のスペクトルをモデルフィッティングした結果、X 線放射は降着円盤からの熱的光子が、比較的光学的に厚く ($\tau \gtrsim 3$) 温度は 1 桁以上低い ($T \lesssim 10$ keV) コロナ中の電子によって逆コンプトン散乱を受けて作られたと考えられることが分かっている。前回の年会では、このようなコロナの起源が超臨界降着円盤のシミュレーションでも存在が強く示唆されている輻射圧駆動型円盤風であるとするシナリオを提案した (2017 年秋季年会 W132a)。その際、コロナは円盤から浮上した磁力線がリコネクションすることによる加熱と、円盤からの熱的種光子を逆コンプトン散乱することによる冷却とが釣り合っていると仮定することにより、コロナの温度・サイズ・光学的厚みをブラックホール質量や降着率などの関数で表現した。今回の講演では、種光子としてコロナからの X 線に照射された円盤からの再放射を考慮に加えたモデル化を行い、コロナの性質はエディントン比にのみ依存すること、その典型的な光学的厚みは 1–10 程度で温度はエディントン比が大きいほど低温 ($\lesssim 10$ keV) 程度になることを示した。さらにコンプトン散乱のモンテカルロシミュレーションを行うことにより、円盤の再放射の寄与も加えた X 線スペクトルの計算を新たに行い、超高光度 X 線源の観測的特徴をよく再現することが分かった。また、この結果はブラックホール質量にはよらないため、狭輝線セイファート I 型銀河の軟 X 線超過の説明にも適用できる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W140a モーメント法に基づく輻射磁気流体コードを用いたブラックホール降着円盤の状態遷移シミュレーション

五十嵐太一 (千葉大学), 松元亮治 (千葉大学), 加藤成晃 (理化学研究所), 高橋博之 (国立天文台)

ブラックホール候補天体では降着率の増大に伴い、硬 X 線が優勢なハードステートから軟 X 線が優勢なソフトステートへの状態遷移が観測される。Machida et al.(2006) は降着率が増加し輻射冷却が効き始めると冷却不安定性の成長により、円盤が鉛直方向に収縮し磁気圧優勢な状態に至ることを磁気流体シミュレーションにより明らかにした。しかし、この研究では円盤は光学的に薄いと仮定され、輻射は冷却項として扱われていた。そのため降着率がさらに増大し、円盤が光学的に厚くなる状況を扱うことができなかった。

そこで本研究では光学的に厚い状況を扱うべく、輻射と流体を無矛盾に扱うことができる輻射磁気流体コードを実装した。輻射場は M1-closure に基づくモーメント式によって記述し、Takahashi & Ohsuga(2013) によって開発された相対論的な輻射磁気流体コードを磁気流体コード CANS+(松本'16) に組み込んだ (CANS+R) を開発した。一般相対論効果は、pseudo-Newtonian ポテンシャルを用いて近似的に取り入れた。非相対論化することにより高次精度化が可能となるだけでなく、演算量が減り冷却時間を超える 3 次元長時間計算が可能となった。初期磁場は、トロイダル磁場を用いた Machida et al.(2006) とポロイダル磁場を用いた Kato et al.(2004) の 2 モデルを用意した。このコードを用いて実施した、明るいハードステート円盤の 3 次元シミュレーション結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W141c ブラックホールの超臨界成長・円盤スペクトルの効果

竹尾英俊, 稲吉恒平, 大須賀健, 高橋博之, 嶺重慎

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 7$) における超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_\odot$) の存在は、ブラックホールが短時間で急成長したことを示唆するが、その具体的な過程は不明である。こうした急成長には、超臨界降着 (エディントン限界を上回る降着) が不可欠とされる一方、ガス降着に伴う輻射電離加熱により超臨界降着は困難とされてきた。

これまで我々は、多次元効果がブラックホール降着成長に与える影響を研究してきた。そして、非等方輻射 (降着円盤の回転軸方向に強く、赤道面方向には弱い) 中では、降着・輻射のすみ分けにより、超臨界成長が可能であること、また、 $M_{\text{BH}} \gtrsim 5 \times 10^5 M_\odot$ の大質量ブラックホールでは、電離領域が消滅すること (全系の中性化) を明らかにしてきた (e.g., 17年度春・秋年会における我々の講演, Sugimura *et al.* 2017)。

従来の研究では簡単のため、 $\propto \nu^{-1.5}$ という 13.6eV の電離光子を最も多く放出する、ソフトな輻射スペクトルが仮定されてきた。しかし、輻射源とされる降着円盤の温度は $\sim 10^8$ K 程度に達し、keV 領域にピークをもつハードな輻射を放出することが知られている。一方で、ハードな光子は電離吸収に対して光学的に薄く、輻射フィードバックへの寄与は減ると期待される。こうした効果によって、超臨界降着や中性化の条件がどう影響されるかは明らかにされていない。我々は、これまでの2次元輻射流体シミュレーションに、超臨界降着円盤モデル (スリム円盤, e.g. Watarai 2006) に基づくスペクトルを加味し、新しい超臨界条件を調べた。本講演では、上記計算結果に基づき、円盤スペクトルの超臨界降着への影響について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W142a ブラックホール X 線連星 H 1743–322 の観測データを用いた熱駆動型円盤風モデルの検証

志達めぐみ (理化学研究所), Chris Done (Durham 大学)

ブラックホール X 線連星から、降着円盤に沿った噴出流(「円盤風」)が、青方偏移した高電離ガスの X 線吸収線としてしばしば観測される。円盤風の駆動機構としては、X 線照射により降着円盤外縁部の表層ガスが加熱されることで駆動される(熱駆動)という説が有力であるが、降着円盤上の磁場により駆動される(磁気駆動)とする説もあり、未だ決着がついていない。

我々は、ブラックホール X 線連星 H 1743–322 を例にとり、熱駆動型円盤風モデルから予測される吸収線スペクトルと、Chandra 衛星で得られた実際の観測結果を比較することで、同モデルの検証を行った。まず、RXTE 衛星による同時観測で得られた広帯域 X 線データを用いて、X 線光度と連続スペクトルの形状を精度良く決定した。その結果を Done et al. (2017) の熱駆動型円盤風モデルに適用し、H 1743–322 の降着円盤のサイズや軌道傾斜角も考慮して、視線方向に対する円盤風の電離度・柱密度を見積もった。さらに、得られた値に基づいて、輻射輸送計算により電離吸収線スペクトルのシミュレーションを行い、Chandra で得られた高分散 X 線スペクトルと比較した。その結果、X 線光度が高く標準円盤からの軟 X 線放射が卓越している時期については、シミュレーション結果が、実際に観測された鉄の K 吸収線の構造を非常によく再現した。また、X 線光度が低く 10 keV 以上の硬 X 線成分が強い時期については、Chandra の観測で電離吸収線が有意に検出されていなかったが、シミュレーションでも同じ結果が得られ、X 線光度やスペクトル形状の変化にともなう吸収線構造の変化が、熱駆動型円盤風モデルでよく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](#)

W143a 相対論的輻射流体の自己相似解について：平行平板流の場合

福江 純（大阪教育大）

相対論的輻射流体における時間的な自己相似解は、光速や不透明度など次元をもつ定数が多いため構成しにくく、超相対論的などの極端な状況以外ではあまり見あたらない。一般相対論的な場合はなおさら、質量が時間に比例するなどの特殊な条件を置かないと、相似解が構成できないだろう。重力場のない特殊相対論的な球対称輻射流に対しては、相同的膨張（速度 $v = r/t$ ）の条件下で、共動系の物理量で記述した輻射場の相似解が見いだされている（Lucy 2005）。平行平板流に対しても、同様な条件で輻射場の相似解を得ることができる。

今回、輻射圧優勢な相対論的平行平板流において、相同的膨張の条件を外し、流体方程式と共動系でのモーメント式（+共動系でのエディントン近似）に対する相似解を求めたので、その結果を報告する（静止系の輻射場でも原理的には相似解を構成できるが、エディントン近似の表式が複雑になるので、非常に煩雑なものになる）。

相似変数を $\zeta = z/ct$ と置くと、時間のべきと相似変数の関数で物理量を置き換え、光速と不透明度を繰り込んで、流体方程式 + モーメント方程式を相似変換できる。得られた相似方程式系は、流速がフレーム速度に一致する特異性に加え、エディントン近似に由来する特異性ももつ。そのため、原点近傍の漸近解から解いていくと、たとえば流速は最初は線形に増加するが（相同的膨張に近い）、ある値（特異性）で発散してしまう。

この特異性は定常解で知られていたタイプと同じく、モーメント量を有限で打ち切ったために生じる病的特異性と思われる（定常解では、エディントン因子を $1/3$ と置くと、流速 $v/c = 1/\sqrt{3}$ で発散が起こる）。今回の自己相似解ではエディントン因子を $1/3$ としたが、定常解の場合と同様に、光速に近づいたときにエディントン因子も 1 に近づけると、特異性は追いやることができる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W144a 輻射圧駆動降着円盤風における相対論的輻射輸送 II

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。

先行研究として、相対論的平行平板流における相対論的形式解を行い、相対論的平行平板流の問題に適用した (Fukue 2014, 2015)。これらの先行研究では重力場は入っていなかったが、今回は輻射圧で駆動される降着円盤風を念頭に置き、中心天体の重力を考慮し、相対論的輻射輸送方程式と相対論的流体方程式を同時に説くことを試みた。

方法としては、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う逐次近似を用いた。

中心部で重力が強くなる球対称風と異なり、降着円盤では円盤面で鉛直方向の重力が働かなくなるため、円盤風は輻射圧からのみ影響を受け、円盤を離れるとその速度場は円盤のエディントン光度比 Γ_d の影響を受ける。特に $\Gamma_d = 1$ ぐらいでは重力が強くと働きの円盤風の流速が下がることや、円盤風の高度がエディントン光度比 Γ_d の変化に伴い大きくなることが確認された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W145a 磁気回転不安定性の飽和値に対する方位角方向解像度依存性

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)

ブラックホール X 線連星や活動銀河中心核で観測される X 線の放射は、ブラックホール周りの降着円盤からガスが落下する際に開放する重力エネルギーが起源である。この角運動量輸送を担う物理は、差動回転円盤内部で発達する磁気回転不安定性 (MRI) が生成する磁気乱流であると考えられている。MRI の飽和値に関する研究は、降着円盤の一部を取り出す局所計算と降着円盤全体を系に含む大局計算で行われている。局所計算では、結果が計算領域に依存する事が知られており、粘性係数と磁気粘性係数の比である磁気プランドル数を考慮する事で、収束が得られる事が知られている。一方、大局計算は、計算コストの問題により、MRI の最大成長波長を分解できる解像度を達成する領域は限られるのが実情である。Hawley ら (2013) では、MRI の最大成長波長を分解するために 20 メッシュ程度は必要である事を示唆しているが、この飽和値は数値計算コードの空間精度にも依存している可能性が高い。

本講演では、空間 5 次精度、時間 3 次精度を担保する CANS+ を用いて、降着円盤全体を計算領域に含む数値計算を実施し、特に方位角方向の空間解像度依存性について検証した結果を報告する。数値計算は $(N_r, N_\varphi, N_z) = (256, 128, 512)$ を基本モデルとし、方位角方向メッシュ 128 の結果と 64 の結果を報告する。128 メッシュの結果は、64 メッシュ計算に比べ、MRI の線形成長段階での磁気エネルギーは高くなったが、乱流が成長する非線形段階になると逆に磁気エネルギーがファクター程度低下する事がわかった。この結果は、太陽ダイナモにおいて指摘される、中程度の空間解像度では乱流を捕捉する事が可能となることにより散逸が大きくなる結果と類似している。この他、円盤内部の構造、鉛直方向振動に関する解析結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W146a マグネター磁気圏のエネルギー蓄積と開いた構造（フレア状態）への遷移

小嶋康史, 岡本聖樹 (広島大)

太陽フレアのモデルとの類推により、マグネター磁気圏には準静的にエネルギーとヘリシティ（よじれ）が貯蓄され、ある限界を超えると突発的現象（フレアやバースト）で多量のものが放出されるという考えがある。自転を無視し、一般相対論的な星の外部にできる force-free 磁気圏を調べた。表面では磁気双極子的とし、ある電流モデル (power-law model) を用いて静的な解を系統的に数値解法により求めた。その結果、一般相対論の効果である空間の曲がり的重要性であることがわかった (Kojima2017, arXiv:1703.02273, MN468, 2017 年春季年会)。平坦な時空での取り扱いでは、真空の磁気双極子の持つエネルギーに比べ、電流が流れる force-free 磁気圏のエネルギーは増加するが、その最大値は 20 % 程度の増加に留まる。一般相対論的な取り扱いでは 100 % 以上の増加が可能で、天体がより相対論的になると、その磁気圏に蓄積される量がより増加することがわかった。

そのような磁気圏構造で内蔵したプラズマが放出されて磁気圏が開いた構造に変遷するかを今回検討した。そのために、「開いた磁気圏構造」における磁気エネルギーを計算し、force-free 磁気圏のものと比較した。前者が後者より大きい場合はエネルギー的に「開いた磁気圏構造」への遷移が可能である。その条件や蓄積されるエネルギーの増加と磁気圏構造の関係等も報告する予定。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W2. コンパクト天体】

3月15日(木) 午前(9:30-11:30) [A会場]

W201a	09:30	スパースモデリングを用いた新しい Eclipse Mapping 手法の開発 若松恭行 (京都大学)
W202a	09:42	矮新星アンドロメダ座 RX の降着円盤における全変動最小化を用いた変動の可視化 大島誠人 (兵庫県立大学)
W203a	09:54	Novalike 期を経験した ER UMa 型矮新星 RZ LMi の観測的特徴およびスーパーサイクルの変化 小路口直冬 (大阪教育大学)
W204a	10:06	種族 II 矮新星で初めて観測されたスーパーアウトバースト 大西隆平 (京都大学)
W205b	10:18	OV Boo の 2017 年アウトバースト時における測光観測 福田尚也 (岡山理科大学)
W206b	10:18	FRB 121102 に対する中性子星電波パルスモデル 木坂将大 (青山学院大学)
W207b	10:18	Blue Compact 銀河中の ULX の X 線観測 古市拓巳 (大阪大学)
W208a	10:30	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)
W209a	10:42	数値シミュレーションから明らかにする光球面放射の性質 伊藤裕貴 (理化学研究所)
W210a	10:54	すざく衛星搭載広帯域全天モニタ WAM による GRB 第一カタログ構築 大森法輔 (宮崎大学)
W211a	11:06	MAGIC 望遠鏡による short GRB160821B の観測 野田浩司 (Institut de Fisica d'Altes Energies)
W212b	11:18	初代星起源ロングガンマ線バースト発生率 衣川智弥 (東京大学)

3月15日(木) 午後(13:30-13:56) [A会場]

W213a	13:30	高エネルギーニュートリノと重力波の同時検出可能性 木村成生 (ペンシルベニア州立大学)
W214a	13:42	GW170817 残光から探る Off-axis GRB 説の検討 浅野勝晃 (東京大学)

W201a スパースモデリングを用いた新しいEclipse Mapping手法の開発

若松恭行, 磯貝桂介, 森田貴士, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 植村誠 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 他 VSNET Collaboration

矮新星における突発的増光現象(アウトバースト)は、主星の周囲に形成されている降着円盤内の不安定性によって引き起こされると考えられている。この降着円盤の構造を調べる方法として、Eclipse Mapping と呼ばれる手法が開発されている。この手法は、伴星が降着円盤の前を横切る際に起こる食を連続観測することで、伴星によって隠される円盤上の領域の変化による光度の変化から、降着円盤の輝度分布を調べる手法である。しかし、二次元の円盤の輝度分布の情報が一次元の情報である光度曲線に圧縮されてしまい、また、一つの食に対して得られるデータの数も限られているため、そのままでは解くことができない(不良設定問題)。この問題を解決する方法として、従来は最大エントロピー法と呼ばれる方法が用いられていた。これは尤もらしい滑らかな円盤を仮定し、そこにできるだけ近づくように解を選ぶという方法である。しかし、この方法では滑らかな円盤を解として選ぶため、円盤内の局所的構造が不鮮明になるという欠点がある。アウトバースト中の光度変化には円盤内の局所的構造が関与していると考えられているため、この方法ではそのような局所的構造を調べるのが難しい。

我々は、この従来の方法に代わる方法として、スパースモデリングと呼ばれる概念を用いた新しい方法を提案する。スパースモデリングは、情報の疎性を用いて、少ないデータから正確でより多くの情報を取り出すモデリング手法であり、近年積極的に研究されるようになってきた。このモデリング手法を Eclipse Mapping に適用することで、円盤内のより局所的な構造が調べられると期待される。本講演では、このスパースモデリングを用いた Eclipse Mapping 手法の開発について、結果とともにその進展を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W202a 矮新星アンドロメダ座RXの降着円盤における全変動最小化を用いた変動の可視化

大島誠人（兵庫県立大学西はりま天文台）、植村誠（広島大学）

きりん座Z型の矮新星は、1020日の間隔でアウトバーストを繰り返す他にスタンドスティルといわれる中間光度にとどまる状態を示すことを特徴とする天体である。高いアウトバースト頻度は伴星からの大きな質量移動率を反映しており、スタンドスティルはその質量移動率の高さから時折熱的不安定性のサイクルが起こらなくなるために起こる現象だと考えられる。また、これに加え、天体によっては静穏状態の光度の変化や、アウトバーストの周期の長期的な変化が見られるものもあり、質量移動の時間的な変動が起きていると考えられる。これまでの矮新星の長期的な変動は主に光学的な変動のみに注目が集まっていたが、円盤の詳細な構造についてはこれだけでは明らかにすることができない。

当発表では、きりん座Z型矮新星の一つ、アンドロメダ座RXについて、さまざまな状態の時期に、それぞれ連続分光観測を行うことにより、 $H\alpha$ 輝線プロファイルの時間変動を求め、得られたスペクトルから降着円盤における輝度分布の再現を行った。この際、求められたスペクトル各時期の円盤の状態を再現するにあたって、全変動最小化を用いたドップラートモグラフィを用いた。アンドロメダ座RXの軌道周期は、0.210日と矮新星としてはかなり長いため、公転周期をカバーするには条件が整わないと難しいが、全変動最小化の採用により観測時間が一周分分に足りない場合も含めて解析できるため、さまざまな状態の系を観測することが可能となった。

当発表では、得られたドップラーマップを用いて、降着円盤上でのアウトバーストの広がり方について分析する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W203a Novalike 期を経験した ER UMa 型矮新星 RZ LMi の観測的特徴およびスーパーサイクルの変化

小路口直冬, 杉浦裕紀, 松本桂 (大阪教育大), 加藤太一, 磯貝桂介 (京都大), 清田誠一郎, 伊藤弘, 前田豊 (VSNET), E. Pavlenko (CrAO), S. Shugarov (SAS), 他 VSNET Collaboration

激変星は主星に白色矮星, 伴星にロッシュローブを満たした主系列星を持ち, 伴星から主星に質量が輸送され主星の周りに降着円盤を形成している。なかでも降着円盤が突発的に増光する天体が矮新星である。ER UMa 型矮新星と呼ばれる天体はスーパーアウトバーストが観測され, またアウトバーストの頻度が高い。これらは短い軌道周期であることと, 伴星からの質量輸送率が大きいことに起因すると考えられている。Kato et al. (2016) では, 2015–2016 年の観測から ER UMa 型矮新星に属する RZ LMi のスーパーサイクルが 35, 32, 60 日と長くなっていることがわかった。またスーパーサイクル中にスーパーアウトバーストを起こしている期間が占める割合が約 80% にまで到達し, 質量輸送率は最大で約 99% であった。このことから novalike 期を実質的に経験したと考えられている。

今回, 我々は VSNET を通じて 2016–2017 年にかけて RZ LMi の国際的な観測を前シーズンに引き続き行った。今シーズンの観測の結果, スーパーサイクルは 15, 42, 20, 32, 19, 27 日であった。前シーズンの観測に引き続き, スーパーサイクルは Robertson et al. (1995) 及び Olech et al. (2008) で想定されていた安定なものではないという結果となった。また, スーパーサイクル中にスーパーアウトバーストが占める期間の割合は大きいときで約 80% となり, 質量輸送率は高いときで約 98% あった。スーパーサイクルは 2015–2016 年よりも短くなっているがまだ実質的な novalike 期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](#)

W204a 種族II矮新星で初めて観測されたスーパーアウトバースト

大西隆平, 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), 向井優 (JCPM 鹿児島ステーション), 黒田大介, 柳澤顕史 (国立天文台), Colin Littlefield, Geoff Stone, ほか VSNET team

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。

軌道周期と質量比は、静穏状態の分光観測や食の観測から推定されてきた。しかし、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)。この手法により、矮新星進化を観測的に得ることができると期待される。ただし、それはスーパーアウトバースト中の降着円盤の振る舞いについての理論的な解釈に基づいているので、金属量が小さい場合でも適用できるかどうか確かめる必要がある。

2017年3月、種族II矮新星として唯一知られている OV Boo が初めてスーパーアウトバーストを起こした。可視測光観測を行った結果、増光幅は約7等級、期間は約30日間であり、再増光は観測されなかった。この観測から質量比と軌道周期を求めたところ、食の観測から求められている値とよく一致した。これにより、スーパーアウトバーストの解釈が種族II矮新星でも正しいということが確認された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W205b OV Booの2017年アウトバースト時における測光観測

福田尚也, 田邊健茲, 水谷正則, 赤澤秀彦 (岡山理科大学)

OV Boo(SDSS J1507+52) はSDSSのサーベイによって発見された激変星の一つである。光度曲線は深い食を示し、軌道周期が67分と求められている (Szkody et al. 2005)。この値はWZ Sge型矮新星で下限とされる軌道周期の78分よりも短く、OV Booは極めて短い軌道周期を持つ特異な激変星である。発見後は静穏期にあり、静穏期においての研究が進められた。Littlefairら(2007)は連星系のパラメータを標準のCVsモデルで推定し、伴星が褐色矮星の非常に特異な系であると指摘した。系が約167km/sと大きな速度を持つこと (Patterson et al. 2008) や距離が 250 ± 50 pcと推定されること (Uthas et al. 2011) から銀河系のハローの天体である可能性が指摘されている。

このOV Booのアウトバーストが2017年3月14.63日にMISAOプロジェクトの鹿児島の向井優氏によって検出され、11.4等までの増光が認められた。その報告を受けて、赤澤らを中心とした観測グループが報告の3時間後から定期的に測光モニター観測をはじめ、80日間を超える詳細な光度曲線を得た。今回、我々はその観測データを解析したのでその結果を報告する。初期の減光曲線においても複雑な時間変動はあるものの周期的な変光があり、1周期の間に弱い増光と強い増光が見られた。PDM解析により得られたO-Cダイアグラムでは、アウトバーストからごく初期の減光フェーズにみられた変動において、67分の周期にピークがあることがわかった。これは過去に食から求めた軌道周期と一致する。アウトバーストから約2週間経過し、2等以上暗くなった後の光度曲線には、食によると考えられる深い減光も見え始めた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W206b FRB 121102 に対する中性子星電波パルスモデル

木坂将大 (青山学院大学), 榎戸輝揚 (京都大学), 柴田晋平 (山形大学)

Fast Radio Burst (FRB) とは、継続時間がミリ秒のオーダーの電波帯域における突発現象である。測定された分散測度 (dispersion measure) はその方向の銀河系内の寄与では説明できないほど大きいことから、銀河系外で起きている現象と考えられている。

バーストを繰り返す FRB 121102 が確認されたことから、その起源として中性子星が有力である。このイベントは追観測により母銀河が特定され、対応天体としての定常電波源も見つかった。定常電波源の特徴から、中性子星と周囲の環境に対する議論が行われている (Metzger et al. 2017, Kashimaya & Murase 2017 など)。

中性子星が周囲に形成する磁気圏からのパルス放射モデルの場合、距離の同定により得られたバースト自身の最大光度と最長の継続時間からもそれぞれスピンドアウン光度と回転周期に制限を与えられる。これにより、FRB 121102 は年齢が $\lesssim 4$ 年程度の非常に若い中性子星からの放射でなければならないことがわかった。得られた制限は定常電波放射から得られる独立な制限よりも厳しい。また、電波放射がパルサーで通常用いられているコーン状であれば、年齢の制限は放射の立体角には依存しないことがわかった。ポスターでは、他の FRB に対する制限についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W207b Blue Compact 銀河中の ULX の X 線観測

古市拓巳、林田清、米山友景、中嶋大、松本浩典 (大阪大学)

Blue Compact 銀河 (Blue Compact Dwarf galaxy ; BCD) 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。近傍にありながら、ある面では、銀河形成時に準ずる環境を再現している天体として重要である。我々は、代表的な BCD である IZw18 と VIIZw403 に関するすざく衛星の観測データを解析した。IZw18 に関しては、2014 年 5 月と 10 月の 2 回の観測があり、それぞれ 3 天体が検出できた。このうち、2 天体は 10^{39} erg/s 台、1 天体は 10^{40} erg/s を超え、10 倍太陽質量の天体のエディントン限界を超えるという意味で Ultra Luminous X-ray Source (ULX) と分類できる。 10^{39} erg/s 台の 2 天体は光子計数 2~3 のべき関数型で近似できるが、 10^{40} erg/s の天体はよりハードで、しかも低エネルギー側に別の成分 (例えば降着円盤黒体放射) を必要とする。XMM-Newton 衛星による過去の観測結果と比較して長期変動を検証し、また、BCD ではない銀河にみられる ULX の性質と比較して、これらの天体の起源、さらに、BCD 中の ULX の特徴を議論する。

一方、VIIZw403 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 に報告されている。過去の観測に比べて 7~130 倍明るくなった 1 天体が ULX として検出されており、そのスペクトルは降着円盤黒体放射と、それを種光子とする逆コンプトン放射でモデル化されている。今回、この結果を確認するとともに、かつて、ROSAT の観測で指摘された広がった X 線放射の有無を検証する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W208a 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, 大平豊 (青山学院大学)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的衝撃波下流での、加速された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。つまり衝撃波圧縮以外の磁場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、ワイベル不安定性を励起させるのに必要な温度非等方性が、衝撃波下流の広い領域で一様な場合よりも高い値で維持されている事が分かった。この温度非等方性によって、GRB 残光の観測が要求するような、衝撃波下流の広い領域で磁場が生成すると期待される。本講演では、下流で残った温度非等方性の起源について主に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W209a 数値シミュレーションから明らかにする光球面放射の性質

伊藤裕貴, 松本仁 (Leeds 大学), 長瀧重博, Don Warren(理化学研究所), Maxim Barkov(Perdue 大学), 米徳大輔 (金沢大学)

ガンマ線バーストは大質量星の重力崩壊時に形成される相対論的ジェットによって引き起こされていると考えられている。しかし、ジェットからどのようにしてガンマ線が放射されているか(放射機構)は発見から約40年が経過した現在においても解明されていない。そのような中で、近年有望視されている理論モデルとして、ジェットが光学的に厚い状態から薄い状態に遷移する間に解放する光子を起源とする“光球面放射モデル”がある。光球面放射を正確に評価するためには、星の内部を伝搬するジェットの多次元、非定常なダイナミクスを明らかにし、ガンマ線が放たれるまでの輻射輸送計算を行う必要がある。

本研究ではその要請を満たすために、ジェットが星の外層を突き破り光学的に薄くなるまでの伝搬ダイナミクスを三次元相対論的流体シミュレーションを用いて計算し、そこで得られた時間発展データを背景流体として採用し、輻射輸送計算を行った。2017年秋期年会においては、我々の計算によって、光球面放射は放射のピークエネルギー(E_p)と最大光度(L_p)の相関関係である“米徳関係”を自然に再現されることが明らかになったことを報告した。本講演においては、再度その結果について報告するとともに、観測から示唆されているように、放射全体のみならずいかなる時間間隔に置いても E_p と L_p 相関関係が成立していることが明らかになったことについて報告する。これらの結果は、光球面放射が主な放射機構を担っている事を示唆している。また、我々の計算からは光球面放射は偏光を伴っており、暗いバーストほど偏光度が高くなることが示唆され、そ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](#)

W210a すざく衛星搭載広帯域全天モニタ WAM による GRB 第一カタログ構築

大森法輔、山内誠(宮崎大)、山岡和貴(名古屋大)、大野雅功(広島大)、杉田聡司(東工大)、浦田裕次(NCU)、田代信、寺田幸功、勝倉大輔、高橋海斗、小高勝也、村上爽太、千葉友樹(埼玉大)、岩切涉(理研)、他 すざく WAM チーム

ガンマ線バースト (GRB) は突発的に発生し他の天体より強いガンマ線を数十ミリから数百秒間放射する爆発現象である。CGRO/BATSE を始め多くのカタログが作成されることにより GRB の系統的性質の研究がなされているが、未だ GRB の放射起源は明らかになっていない。

我々は GRB の系統的性質を探るため、すざく衛星搭載広帯域全天モニタ (Wide-band All-sky Monitor; WAM) で検出された GRB のカタログを構築している。WAM 検出器のエネルギー帯域は、50–5000 keV と広帯域であり、有効面積は 1 MeV においても $\sim 400 \text{ cm}^2$ と世界最大であるため、GRB の観測でその性能を発揮する。

GRB の継続時間に関する先行研究ではすざく打ち上げから 2010 年 12 月までに WAM で検出されたデータを用いているので、この期間に他検出器で位置決定できた 457 個のデータを用いて第一カタログを構築する予定である。スペクトル解析にはべき関数 (Power-law), 折れ曲りを持つべき関数 (Cut-off power-law)、2 つのべき関数を滑らかにつないだバンド関数 (GRB モデル) を使用し、スペクトルパラメータをまとめ分布を作成した。スペクトルパラメータのうち、ピークエネルギーの平均値は long, short GRB でそれぞれ約 600 keV, 1 MeV となった。本講演では long, short GRB のスペクトルパラメータ分布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](#)

W211a MAGIC 望遠鏡による short GRB160821B の観測

野田浩司 (IFAE), Pierre Colin (Max-Planck-Inst. für Phys.), 深見哲志, 井上進, 稲田知大, 岩村由樹, 久門拓, 黒田隼人, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 中嶋大輔, 永吉勤, Daniela Hadasch, 林田将明 (東大宇宙線研), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. für Phys.), 窪秀利, 野崎誠也, 平子丈, 増田周 (京都大学), 神本匠, 木村颯一郎, 櫛田淳子, 種田裕貴, 辻本晋平, 西嶋恭司 (東海大学), 折戸玲子 (徳島大学), 他 MAGIC Collaboration

ガンマ線バースト (GRB) の理解における多波長観測の重要性は、赤方偏移や周辺環境の推定、対応天体の観測などにおいて既に示されてきている。X線や GeV ガンマ線の衛星観測により、数百秒程度続く X線放射や同程度以上遅れて発生する高エネルギー放射が多くの GRB で見られることが知られている。しかしその機構は依然謎のままであり、ここでも多波長観測、特に大気チェレンコフ望遠鏡による数十 GeV 以上の観測の有用性は疑いが無い。MAGIC 望遠鏡は 2004 年から GRB の天体物理を 1 つの大きな目的として運用しており、2009 年からは 2 台の望遠鏡による観測を続けている。そして昨年 2016 年には複数の興味深い GRB 観測に成功した。その 1 つ short GRB160821B は、赤方偏移が 0.16 と MAGIC の GRB 観測史上最も近いものであり、またその発生後 24 秒後からの素早い観測開始に成功した。月齢や天候の観測条件は最適ではなかったものの、特殊な解析を適用することにより、GRB からの数百 GeV ガンマ線の初検出に近づく結果を得ることに成功した。本講演ではまず、以上の解析結果と多波長観測結果が示唆する GRB 放射モデルの可能性を議論する。また、今後同程度に近い short GRB が起こった場合に考えられうる成果、特に重力波対応天体との関連性についても展望する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W212b 初代星起源ロングガンマ線バースト発生率

衣川智弥, 浅野勝晃 (東大宇宙線研)

宇宙最大の爆発現象としてガンマ線バースト (GRB) が存在する。GRBのうち継続時間が2秒以上のものをロング GRB (LGRB) という。LGRBは大質量星の重力崩壊に伴う相対論的なジェットだと考えられており、主に観測されているものは $z > 1$ 以上の遠方のものである。すでに観測されている再遠方のもので $z=9.4$ と非常に遠く、宇宙初期の天体を探るプローブとして期待されている。実際に High z GUNDAM といった、high z の LGRB を検出する観測計画が動き出している。そこで、我々は初代星の星形成の情報を LGRB の観測を通じて得られないかと考えた。初代星は太陽質量の 10-100 倍程の重い星として誕生すると考えられており、普通の星に比べ LGRB 発生率が高い可能性がある。ただし、LGRB の母天体にはジェットを駆動するために大きな角運動量が必要となり、それに対して、初代星がどの程度の角運動量を持って誕生するかはよくわかっていない。そこで、筆者は連星合体を考えれば、角運動量の初期値によらずスピナップをすることに着目した。また、単独星の場合では初代星が崩壊する際には大きな外層が残り、ジェットが外層を突き破るのに失敗したり、成功した場合も、低光度で継続時間が長くなり、観測的に発見し難いと思われる。一方、連星合体を経た星は高速回転により、化学組成が一様なコンパクトな星として進化する。この場合は通常の GRB と同様に、高光度の放射が期待できる。従来の LGRB についても、元は連星系だった天体が PostMS 時に共通外層状態となって外層を吹き飛ばしながら連星合体を起こし、回転の速いヘリウム星を作りだし LGRB を起こすという連星合体モデルが Fryer&Heger2005 によって提唱されている。筆者はこのモデルに基づき初代星の場合では連星進化により、どの程度がスピナップし LGRB が起こせるかを見積り、初代星 LGRB 発生率と High z GUNDAM での観測可能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](#)

W213a 高エネルギーニュートリノと重力波の同時検出可能性

木村成生, 村瀬孔大, Peter Meszaros (ペンシルベニア州立大学), 木内建太 (京都大学)

中性子星連星の合体は短いガンマ線バーストの起源と考えられてきた。2017年8月には中性子星合体による重力波と短いガンマ線バーストの同時検出が報告され、中性子星の合体が短いガンマ線バーストの起源であるという説は確立されつつある。ガンマ線バーストは高エネルギーニュートリノ発生源として広く議論されている。しかし、重力波と高エネルギーニュートリノの同時検出を議論した研究は行われてこなかった。そこで、本研究では短いガンマ線バーストからのニュートリノと重力波の同時検出の可能性について議論する。一部の短いガンマ線バーストには、即時放射のあとに長期放射（100秒程度続くX線放射）などが付随しており、長期にわたる中心エンジンの活動が示唆されている。我々はこのような長期の中心エンジンの活動を考慮に入れた上で中性子星合体時に放出される高エネルギーニュートリノを計算し、長期放射の際にニュートリノが効率よく放出されることを示した。また、重力波の検出可能距離で短いガンマ線バーストが発生した際のニュートリノ検出可能性を見積もった。長期放射を担うジェットローレンツ因子分布関数が対数正規分布に従うと仮定して見積もった結果、将来計画のIceCube-Gen2実験であれば高い確率でニュートリノと重力波の同時検出が可能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](#)

W214a GW170817 残光から探る Off-axis GRB 説の検討

浅野勝晃, 杜驍 (東大宇宙線研)

中性子星連星合体イベント GW170817 からは、弱いガンマ線放射が確認され、さらにキロノバ、つまり合体時の放出物からの原子核崩壊起源の UV・可視・赤外放射が観測された。合体から 10 日程経った後に X 線や電波でも放射が確認された。最初の弱いガンマ線放射は、短いガンマ線バースト (GRB) を Off-axis で観測したものだとする解釈がすぐに提案され、X 線や電波は GRB が作った外部衝撃波からの残光が、その減速に伴いビーミング効果が弱まったために、遅れて観測されたものとされた。一方で、この連星合体には GRB は付随しておらず、mildly relativistic なコクーンなどからの放射で説明できるという対立した説も提案されている。実際電波は 100 日程に渡って増光を続けており、単純な Off-axis 説の予言とは合致しない。Off-axis 説では連星周囲の星周物質密度を 10^{-3} cm^{-3} 以下としなければ、遅れた X 線残光を説明できない。一方で、キロノバの観測から、放出物の質量や速度が求められており、これは GRB 残光やコクーン (質量や速度はパラメータ) とは異なるユニークな点である。キロノバ放出物を作る残光も将来観測されることが期待されるが、上記のような低い密度ではその検出は難しい。しかし、GRB を伴わないモデルでは、星周物質密度が高くても構わない。将来キロノバ放出物由来の残光が確認できれば、それは非 GRB 説をさらに補強することとなる。本講演では時間発展シミュレーションに基づいた、コクーンやキロノバ放出物由来の残光放射計算を紹介し、上記の描像を定量的に議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【X. 銀河形成】

3月15日(木) 午前(9:30-11:30) [J会場]

X01a	09:30	宇宙再電離の光子源種別と水素・ヘリウムの電離分布の関係について 長谷川賢二(名古屋大学)
X02a	09:42	初代銀河の多波長輻射特性と検出可能性 荒田翔平(大阪大学)
X03a	09:54	21cm線-LAE相互相関を用いた電離光子脱出率のハロー質量依存性の検証 金氏智也(熊本大学)
X04a	10:06	赤方偏移 $\sim 6-9$ における銀河紫外光度関数とサイズ-光度関係の同時決定 川俣良太(東京大学)
X05a	10:18	Kinematics in a $z = 7.15$ Lyman Alpha Emitter Revealed by the [OIII] 88 micron and [CII] 158 micron Lines Detected with ALMA 橋本拓也(大阪産業大学/国立天文台)
X06a	10:30	Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs): Early Evolution of Super Massive Black Holes Probed by Low-Luminosity Quasars at $z \sim 6$ 尾上匡房(総合研究大学院大学)
X07a	10:42	Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs): Star formation properties of the host galaxies at $z \gtrsim 6$ 泉拓磨(国立天文台)
X08a	10:54	超巨大ブラックホールへの dusty gas の超臨界降着 豊内大輔(京都大学)
X09a	11:06	準解析的銀河形成モデルを用いた超大質量ブラックホールへのガス降着タイムスケールに関する研究 白方光(北海道大学)
X10b	11:18	すばる HSC を用いた $z \sim 6-7$ の原始銀河団の探査 樋口諒(東京大学)
X11b	11:18	[CHORUS] $z = 7.0$ の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数で探る宇宙再電離 伊藤凌平(東京大学)
X12b	11:18	ダストガス間の速度差を考慮した巨大ブラックホールへの質量降着 一色翔平(北海道大学)

3月15日(木) 午後(13:30-11:30) [J会場]

X13a	13:30	Census of $\text{Ly}\alpha$, [OIII]5007, Ha, and [CII]158um Line Emission with 1000 LAEs at $z=4.9-7.0$ Revealed with Subaru/HSC 播金優一(東京大学)
X14a	13:42	HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ Brightest Cluster Galaxy の検出 伊藤慧(総合研究大学院大学)
X15a	13:54	高赤方偏移銀河のダスト温度および質量推定について 井上昭雄(大阪産業大学)
X16a	14:06	ALMA twenty-Six Arcmin ² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO): The survey design and project overview Kotaro Kohno (The University of Tokyo)
X17a	14:18	ALMA twenty-Six Arcmin ² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO): X-ray AGN Properties of Millimeter-Selected Galaxies Yoshihiro Ueda (Kyoto University)
X18a	14:30	ALMA twenty-Six Arcmin ² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO): Multi-wavelength properties of ASAGAO continuum sources Yuki Yamaguchi (The University of Tokyo)
X19a	14:42	ALMA twenty-Six Arcmin ² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO): Clustering of faint submillimeter galaxies Yuki Yoshimura (The University of Tokyo)
X20b	14:54	チャンドラ衛星深宇宙探査データで探る赤方偏移 3-4 の超大質量ブラックホールの定常的な成長モード 今野雄介(東北大学)
X21b	14:54	Cosmic Variance in Angular Correlation Functions and Dark Matter Halo Masses 日下部晴香(東京大学)
X22b	14:54	Subaru/MOIRCS 狭帯域フィルターで探る $z > 3$ ペアクエーサーの周辺環境 竝木茂朗(総合研究大学院大学)
X23b	15:06	AKARI-MaNGA: 可視面分光データと赤外線データで求める星形成率の比較 村田一心(宇宙航空研究開発機構)
X24b	15:06	HSC-SSP データと Deep Learning で探る極金属欠乏銀河 小島崇史(東京大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X25b	15:06	吸収線でさぐる CGM、IGM のガスの物理状態 清水一紘 (大阪大学)
X26b	15:18	<i>NuSTAR</i> と <i>Gemini/GMOS IFS</i> による近傍 Ly- α blob ($z \sim 0.3$) の観測 川室太希 (国立天文台)
X27c		可視光から赤外線における宇宙背景放射の測定: 惑星間塵の再評価 佐野圭 (関西学院大学)
X28c		WISE データによる高赤方偏移クエーサーの静止系可視光 SED 分析 加藤奈々子 (愛媛大学)
X29c		すばる望遠鏡 HSC データを用いた、 $z > 1$ のクエーサー母銀河のスタッキング解析 佐衛田祐弥 (愛媛大学)
X30c		すばる望遠鏡 HSC データで探る $z < 1$ におけるクエーサー母銀河の性質 石野亨 (愛媛大学)

3月16日(金) 午前(9:30-11:30) [J会場]

X31a	09:30	ダークマターハローの $V_{max} - R_{max}$ スケーリング則 森正夫 (筑波大学)
X32a	09:42	宇宙論的 N 体シミュレーションを用いた銀河団領域の銀河分布 大木平 (カブリ IPMU)
X33a	09:54	Integral Approach を用いた新しい Godunov SPH 法の開発 藤原隆寛 (筑波大学)
X34a	10:06	アルマ望遠鏡による SSA22-LAB18 の CO(J=4-3) 輝線と 3 mm 連続波観測 加藤裕太 (東京大学/国立天文台)
X35a	10:18	原始銀河団における銀河進化と星形成史 矢島秀伸 (東北大学)
X36a	10:30	Subaru/IRCS+AO188 で分解する $z \sim 2$ のフィールド銀河の星形成領域 美濃和陽典 (国立天文台)
X37a	10:42	Subaru/IRCS+AO188 で分解する $z \sim 2.5$ の原始銀河団銀河の星形成領域 鈴木智子 (国立天文台)
X38a	10:54	ALMA 3mm 帯データを用いた無バイアスのミリ波輝線銀河探索 李建鋒 (東京大学)
X39a	11:06	The Physical Origin of Diffuse Ly α Halos and High Ly α Escape Fractions of LAEs 日下部晴香 (東京大学)
X40a	11:18	高赤方偏移におけるクエーサー放射フィードバックの系統的研究 内山久和 (総合研究大学院大学)

3月16日(金) 午後(13:30-15:18) [J会場]

X41a	13:30	ALMA 1.3mm 帯データを用いたミリ波輝線銀河探索: COSMOS 領域で検出されたミリ波輝線銀河候補天体の物理的性質 山下祐依 (東京大学)
X42a	13:42	すばる HSC で探る、銀河団の進化段階と内部の銀河の星形成活動 山元萌黄 (総合研究大学院大学)
X43a	13:54	The Missing Satellite Problem Outside of the Local Group 田中賢幸 (国立天文台)
X44a	14:06	狭輝線 1 型セイファート銀河核からの高速ガス噴出のすばる補償光学付き面分光観測による測定 川口俊宏 (尾道市立大学)
X45a	14:18	Intrinsic scatter in star formation rate of galaxies with strong H α at $z \sim 2$ 寺尾恭範 (東京大学)
X46a	14:30	化学進化からみる赤方偏移 1.4 の星形成銀河の星形成とガスの流出入 深川奈桜 (総合研究大学院大学)
X47a	14:42	星の年齢速度分散関係におけるガス降着史への依存性 熊本淳 (東北大学)
X48a	14:54	赤方偏移 1.52 の銀河団で探る星質量-金属量関係の環境依存性 竝木茂朗 (総合研究大学院大学)
X49a	15:06	The most accurate luminosity function of local infrared galaxies based on the AKARI all sky survey Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)

X01a 宇宙再電離の光子源種別と水素・ヘリウムの電離分布の関係について

長谷川賢二 (名古屋大学)

近年の観測機器の発達により、宇宙再電離の時間進化の理解が深まっている。しかし、再電離を理解する為の重要な鍵である再電離の光子源種別については、未だ強い観測的制限が得られていない。赤方偏移 6 以上の高赤方偏移銀河は多数発見されている為、これまではこれら高赤方偏移銀河が主な電離光子源として有力と考えられていたが、暗い活動銀河核が多数存在すれば、これらが主たる光子源となって現状の再電離の観測的制限と矛盾しない電離史を再現できることを示す理論的研究も行われている (e.g., Yoshiura, Hasegawa et al. 2017)。

この現状を踏まえ、本研究ではスペクトルの型に敏感なヘリウムの電離状態に着目し、これを用いた電離光子源判別法を検討した。我々は、単純化した様々な電離光源スペクトルモデルを我々が開発した再電離シミュレーションコード (2017 年天文学会春季年会 X19a) に実装し、水素とヘリウムの電離分布を計算した。その結果、星からの放射を模した黒体放射を仮定した場合と、活動銀河核からの放射を模した冪乗分布を仮定した場合では、HI と HeII の空間的相関関係に大きな違いが出ることを見出した。

HeII 同位体 ($^3\text{HeII}$) は HI の 21cm 線同様に spin-flip 遷移によって電波を放射する為、これらの放射が検出できれば再電離期の HI と HeII の空間分布の相関関係を調べることができる。そこで我々は、次世代の大型電波干渉計 SKA での検出可能性を見積もった。その結果、ヘリウムのスピン温度がガス温度と強く結合すれば HI 21cm 線と同程度のシグナルノイズ比で $^3\text{HeII}$ が検出可能であることがわかった。講演では、これらの結果を詳細に紹介するとともに、ガス温度とスピン温度の強い結合を実現する為に必要な条件などについて議論も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a 初代銀河の多波長輻射特性と検出可能性

荒田翔平 (大阪大学), 矢島秀伸 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学)

JWST や TMT など次世代の観測計画では、赤方偏移 10 を超える高赤方偏移銀河 (初代銀河) の検出が期待されている。理論的には、高精度な宇宙論的流体計算によって初代銀河の形成メカニズムが調べられ、超新星爆発のフィードバックによってガスの構造と星形成率が銀河進化とともに大きく変化することが示唆された。しかし、将来の観測予想を立てるには、このような初代銀河形成期のガスダイナミクスに伴う輻射特性を理解する必要があり、その間の関連性については未だ明確になっていない。我々は赤方偏移 6-11 の初代銀河について、多波長輻射輸送計算によってその輻射特性を調べた。結果として、星形成率がフィードバック効果で変動するのに応じてライマン α 光度も変動することが分かった。また、ダークハロー中心に蓄積するガスのコンパクトネスが変化することで、紫外線光度の脱出率、サブミリ波強度も変化することが分かった。本講演では、視線方向の依存性を含めてこれらの影響を考慮し、次世代観測器による初代銀河の検出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](#)

X03a 21cm 線-LAE 相互相関を用いた電離光子脱出率のハロー質量依存性の検証

金氏智也(熊本大学), 久保田賢志(熊本大学), 吉浦伸太郎(熊本大学), 長谷川賢二(名古屋大学), 高橋慶太郎(熊本大学)

宇宙初期に形成された星や銀河の放射により周囲の中性水素は電離され、やがて宇宙は完全電離した状態となる。この時代のことを宇宙再電離期と呼ぶ。近年のすばる望遠鏡やPLANCKの観測により、再電離期の理解は進んだが、まだ全貌解明には至っていない。再電離期を探る有効な手段として中性水素の超微細構造によって生じる21cm線の観測が挙げられる。しかし、21cm線のシグナルは非常に弱く、銀河系のシンクロトロン放射や系外電波といった強烈な前景放射に覆い隠されるため、未だ検出に至っていない。そこで我々はそれらの前景放射の影響を軽減するために21cm線と電離源候補の一つとされるLAEの相互相関に注目した。21cm線観測における前景放射とLAE観測における前景放射は相関がないとされ、21cm線の検出が期待される。今回は輻射feedbackを考慮した光源モデルを搭載した最新の大規模再電離シミュレーションとそれから想定されるLAE分布を用いて21cm線-LAE cross-power spectrum(CPS)を計算した。そして、単純な光源モデルを採用した先行研究の結果と比較すると、小スケールでのCPSの振る舞いが異なった。そこで、21cm線強度が中性率と密度揺らぎに依存する性質を用いてCPSの成分解析を行うと、電離バブル中に残った中性率の揺らぎがその振る舞いに影響していることが分かった。我々のモデルでは電離光子脱出率のハロー質量依存性を考慮しており、重いハロー質量の銀河の電離光子脱出率が小さくなるために電離バブル内に中性率の揺らぎが生成されている。そこで、銀河の電離光子脱出率のハロー質量依存性を無視すると、CPSが先行研究の結果と一致した。ここから、小スケールで21cm線-LAE CPSの観測をすることにより電離光子脱出率のハロー質量依存性を検証できることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X04a 赤方偏移 $\sim 6 - 9$ における銀河紫外光度関数とサイズ-光度関係の同時決定

川俣良太, 石垣真史, 嶋作一大, 大栗真宗, 大内正己, 谷川真悟 (東京大学)

Hubble Frontier Fields (HFF; Lotz et al. 2017) は、重力レンズ効果の強い6つの銀河団を *HST* で深く撮像し、銀河団背景にある増光された遠方銀河を探索するプロジェクトである。前回までに我々は、4つのHFF銀河団領域のデータを用い、 $z \sim 6 - 7$ の銀河サイズを測定し、 $-22 \lesssim M_{UV} \lesssim -13.5$ の銀河サイズサンプルを構築した。このサンプルは、 $M_{UV} \gtrsim -18$ の暗い等級範囲において過去最大であった。大きく暗い銀河を見落とす incompleteness を補正しつつ、サイズ-光度 ($r_e - L$) 関係と光度関数を同時決定した結果、 $r_e - L$ 関係が急な場合、呼応して光度関数が緩やかになり、再電離への銀河の寄与の議論に影響が出ることを発表した (2017年春季年会 X27b 参照)。これは、以前の光度関数や再電離の研究では、緩やかな $r_e - L$ 関係を仮定していたためである。

今回は、HFF の全6つの銀河団領域のデータを用いて決定版のサンプルを構築 (Ishigaki et al. 2017) し、 $z \sim 6 - 7$ の結果を更新した。 $r_e - L$ 関係の傾きは $\beta = 0.46^{+0.08}_{-0.09}$ ($r_e \propto L^\beta$) と急であり、光度関数の傾きは $\alpha = -1.86^{+0.17}_{-0.18}$ と緩やかであった。 α と β には強い相関があり、同時決定の重要性を強く示唆する。先行研究は全て緩やかな β を仮定している中で、 $\alpha - \beta$ 平面上では本研究と無矛盾な研究があった一方、過度に緩やかな β を仮定しつつ α が本研究と無矛盾な研究もあった。これは α 単独の比較では判明しない相違で、 β の重要性を示すとともに、依然として光度関数の導出手法に差異があることを示唆する。また、 $z \sim 8$ と $z \sim 9$ のサンプルも同様に解析した結果、 $z \sim 8 - 9$ では標本誤差が非常に大きいため $r_e - L$ 関係がほぼ決まらず、光度関数の傾きにも $\Delta\alpha \simeq 0.9 - 1.5$ の大きな不確かさがあることがわかった。これは、再電離への銀河からの寄与の議論においても大きな不定性をもたらす。物理的モデルに基づき、 $z \sim 6 - 7$ の急な β も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](#)

X05a Kinematics in a $z = 7.15$ Lyman Alpha Emitter Revealed by the [OIII] 88 micron and [CII] 158 micron Lines Detected with ALMA

T. Hashimoto¹, A. K. Inoue¹, K. Mawatari¹, Y. Tamura², H. Matsuo³, H. Furusawa³, T. Shibuya⁴, K. Kohno⁴, H. Umehata⁵, E. Zackrisson⁶, N. Yoshida⁴, I. Shimizu⁷, N. Kashikawa³, T. Okamoto⁸, K. Ota⁹, Y. Taniguchi⁵, Y. Harikane⁴, M. Ouchi⁴, Y. Ono⁴, D. Watson¹⁰, and K. Knudsen¹¹
(¹Osaka-Sangyo Univ., ²Nagoya Univ., ³NAOJ, ⁴UTokyo, ⁵Open Univ., ⁶Uppsala Univ., ⁷Osaka Univ., ⁸Hokkaido Univ., ⁹Univ. of Cambridge, ¹⁰Univ. of Copenhagen., ¹¹Chalmers Univ.)

We present a kinematics result of a Ly α emitter at $z = 7.15$ revealed by our ALMA observations (PI. A. K. Inoue). Our target is a very bright ($M_{UV} = -22.4$) galaxy whose weak Ly α (EW = 3.7 \AA) has been spectroscopically identified (Furusawa et al. 2016). With our ALMA Band 6 observations, we have detected [CII] 158 μm (S/N \sim 11) and dust continuum emission (S/N \sim 5). Furthermore, with our ALMA Band 8 observations, we have detected [OIII] 88 μm (S/N \sim 8). The [OIII] and [CII] lines have consistent redshifts of $z = 7.1517$. We find that [OIII] exhibits a luminosity twice that of [CII], showing that [OIII] is a powerful tracer of high- z galaxies. With these spectral lines, we discuss two kinematics results. Firstly, with Ly α , we derive the Ly α velocity offset with respect to the systemic redshift defined by [CII] and [OIII]. The velocity offset is measured to be very large, $677 \pm 85 \text{ km s}^{-1}$. We discuss the implications for reionization studies. Secondly, we show that flux-weighted velocity maps of [CII] and [OIII] reveal velocity gradients. Combining the velocity gradients with an HST image, we discuss a presence of merger, outflow/inflow, and or rotation in the target.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X06a Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs): Early Evolution of Super Massive Black Holes Probed by Low-Luminosity Quasars at $z \sim 6$

Masafusa Onoue (Sokendai), Nobunari Kashikawa, Takuma Izumi (NAOJ), Yoshiki Matsuoka, Tohru Nagao (Ehime Univ.) and the HSC-SSP project 18 members

広視野サーベイ観測により宇宙再電離期である $z > 6$ の時代に 200 個以上のクェーサーが発見されている。これらの多くは非常に明るく、 $M_{\text{BH}} \sim 10^{9-10} M_{\odot}$ のブラックホール質量で総じてエディントン限界 ($L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}} \sim 1$) で質量降着をしていることから、初期宇宙における非常に活発な超巨大ブラックホール成長が示唆されている。また母銀河との共進化の観点から、これらのブラックホール – 母銀河星質量比が近傍と比べて高い傾向が報告されている。しかしこれらの結果は最も明るいクェーサーから得られたもので、再電離期のより一般的なブラックホール成長の描像を得るには $z > 6$ で低光度クェーサーの性質を調べる必要がある。我々は、2014 年春に開始した Hyper Suprime-Cam すばる戦略枠プログラム (HSC-SSP) 初年度データを用いて、SDSS クェーサーに比べて ~ 2 等暗い低光度クェーサーを > 50 個発見することに成功した。本講演では、そのうち $z = 6.1 - 6.7$ の 5 天体 ($L_{\text{bol}} \sim 10^{46} \text{ erg s}^{-1}$) について Gemini/GNIRS, VLT/XSHOOTER を用いた近赤外分光追観測を行った結果を報告する。計 32 時間の分光観測の結果、全てのターゲットから観測波長 $1 - 2 \mu\text{m}$ に連続光とブラックホール質量の指標となる MgII $\lambda 2798$ 、CIV $\lambda 1549$ 輝線を検出した。Single-epoch method を用いて得られた質量は平均で $\langle \log M_{\text{BH}} (M_{\odot}) \rangle = 8.4$ 、エディントン比は $\langle \log L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}} \rangle = -0.16$ と高く、内 3 天体が $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}} \gtrsim 1$ であった。これは同時代の明るいクェーサー ($L_{\text{bol}} \gtrsim 10^{47} \text{ erg s}^{-1}$) の傾向と同じであり、エディントン比分布が $z \sim 2 - 6$ で大きく進化し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](#)

X07a Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs): Star formation properties of the host galaxies at $z \gtrsim 6$

Takuma Izumi, Masatoshi Imanishi, Nobunari Kashikawa, Andreas Schulze (NAOJ), Masafusa Onoue (Sokendai), Hikari Shirakata (Hokkaido Univ.), Tohru Nagao, Yoshiki Matsuoka (Ehime Univ.), Kotaro Kohno, Yuichi Harikane, Seiji Fujimoto (Univ. of Tokyo), and HSC Prj. 123 team

We present our ALMA Cycle 4 measurements of the [C II] emission line and the underlying far-infrared (FIR) continuum emission toward four optically low-luminosity ($M_{1450} > -25$) quasars at $z \gtrsim 6$ discovered by the Subaru Hyper Suprime Cam (HSC) survey. The [C II] line and FIR continuum luminosities lie in the ranges $L_{\text{[CII]}} \simeq (4-10) \times 10^8 L_{\odot}$ and $L_{\text{FIR}} \simeq (1-2) \times 10^{11} L_{\odot}$ (star formation rate $\sim 23-40 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$), which are at least one order of magnitude smaller than those of optically-luminous quasars at $z \gtrsim 6$. Their line and continuum-emitting regions are resolved, and found to be comparable to those of optically and FIR-luminous quasars, suggesting that their gas mass surface densities (a key controlling parameter of black hole accretion) are accordingly different. Using the [C II] dynamics, we derived their dynamical masses within a radius of 1.5–2.5 kpc as $(1.4-8.2) \times 10^{10} M_{\odot}$. By interpreting these as stellar masses and placing the HSC quasars on the $z \sim 6$ star-forming main sequence, we suggest that they appear to be transforming into quiescent galaxies. Furthermore, we find that the ratios of black hole mass to host galaxy dynamical mass of these HSC quasars are consistent with the local value. The mass ratios of the HSC quasars can be explained by a semi-analytical model that assumes quasi-synchronized black hole-host galaxy evolution.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X08a 超巨大ブラックホールへの dusty gas の超臨界降着

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)

近年の観測により赤方偏移 $z \sim 7$ の初期宇宙において太陽の数億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールがすでに存在していることが明らかになっている。そのような初期宇宙における超巨大ブラックホール形成の有力な説のひとつとして銀河中心ブラックホールへの超臨界降着がある。ブラックホールへのガス降着および質量成長率に関してはボンディ半径から降着円盤へと向かうスケールに着目した輻射流体シミュレーションによって近年活発に調べられており、最近のシミュレーション結果によればブラックホール周辺のガスの数密度や温度の条件次第で超臨界降着が実現出来ることが示唆されている。しかしながら、これまでのシミュレーションは基本的に重元素を含まない原始ガスの場合でしか行われていなかった。最近になって Yajima et al. (2017) によりはじめてブラックホールへの dusty gas の降着過程が調べられ、ダストへの輻射圧によってブラックホールへのガス降着が大きく阻害されることが示されたが、このシミュレーションでは拡散光起源の輻射圧やダストとガス間の衝突冷却といった重要な効果が考慮されていない。そこで本研究では新たにガス中のダストの効果を厳密に考慮した輻射流体シミュレーションを行い、ブラックホールへの dusty gas の降着を調べた。その結果、ダストとガス間の衝突冷却によってガスが冷えることでボンディ半径が電離領域よりも大きくなる場合に超臨界降着が実現されることがわかった。さらに超臨界降着が実現される場合の降着率は拡散光起源の輻射圧について定義されるエディントン降着率によって決まることが明らかになった。このシミュレーション結果に基づき、本講演では銀河進化過程における中心ブラックホールの超臨界成長条件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](#)

X09a 準解析的銀河形成モデルを用いた超大質量ブラックホールへのガス降着タイムスケールに関する研究

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 川口 俊宏 (尾道市立大学)

これまでの観測・理論研究から、超大質量ブラックホール (SMBH) へのガス降着の持続期間に対する制限が 10^{7-8} 年であることが示唆されている (e.g., Yu & Tremaine 2002, Hopkins et al. 2005). しかしこの制限は可視光で明るい活動銀河核 (AGN) になりうる、質量が約 10^8 太陽質量以上の SMBH に対する制限であった. また、先行研究からはこのガス降着タイムスケールを決める物理量・物理的性質が明らかにされていない.

本研究では、銀河の観測諸量を再現しつつ AGN の光度関数を再現するためには、ガス降着タイムスケールがどのような依存性を持つ必要があるのかについて調べた. 可視光で明るい AGN については、従来の準解析的銀河形成モデルと同様に、ガス降着が SMBH 母銀河のバルジの力学的時間で起こると仮定することで AGN 光度関数を再現できる. このタイムスケールは先行研究で得られた 10^{7-8} 年のタイムスケールと矛盾しない. しかし、暗い AGN (2-10 keV の X 線光度が 10^{44} erg/s 以下) では母銀河のバルジの力学的時間より長いタイムスケールを仮定しなければ、観測で得られた AGN 光度関数より 1 桁程度 AGN 光度関数を過小評価してしまう. そこで、銀河中心部のガスが SMBH にたどり着くまでに、AGN トーラスや降着円盤がガスを一旦蓄え、ゆっくりと内側へ落とす reservoir として機能することを想定し、SMBH と降着するガスの両質量に依存するガス降着時間を現象論的に仮定し、準解析的銀河形成モデルの計算に加えた. その結果、このタイムスケールは比較的軽い SMBH を持つ天体でバルジの力学的時間より長くなるため、幅広い光度範囲にわたる AGN 光度関数を初めて再現することができた.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10b すばる HSC を用いた $z \sim 6 - 7$ の原始銀河団の探査

樋口 諒, 他 HSC Project 96

原始銀河団は $z = 0$ までに銀河団へ進化すると予想される、銀河の高密度領域である。原始銀河団の探査は宇宙再電離のプロセスを理解する上で重要である。宇宙再電離の主要な電離源の種類やその分布によって、宇宙再電離のプロセスには2つのモデルが考えられる。1つ目は銀河の高密度領域から宇宙再電離が進行したとするモデル (Inside-Out)、2つ目は銀河間水素の再結合率の低い低密度領域から優先的に宇宙再電離が進んだとするモデル (Outside-In) である。この2つのモデルを検証するためには、宇宙再電離期 ($z > 6$) と宇宙再電離後 ($z \lesssim 6$) において、原始銀河団周辺の銀河間水素の電離状態を統計的に調べる必要がある。しかし高赤方偏移の原始銀河団は数が少なく、 $z \sim 6$ より遠方の原始銀河団は数例しか知られていない (Ouchi et al. 2005; Toshikawa et al. 2012, 2014; Franck & McGaugh 2016a,b; Chanchaiworawit et al. 2017)。

本研究ではすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (Hyper-Suprime Cam, HSC) の約 $14 (21)$ 平方度の狭帯域撮像データから得られた $z = 5.7 (6.6)$ の Ly α emitter (LAE) のサンプルを用いて、高赤方偏移の原始銀河団の探査を行った。我々は Shibuya et al. (2017a) で得られた $z = 5.7 (6.6)$ の $1077 (1153)$ 個の LAE の分布から LAE の密度超過 δ を計算し、 $z = 5.7 (6.6)$ において δ が高い値を示す $14 (27)$ 箇所の高密度領域を確認した。理論モデルとの比較の結果、これらの領域は $z = 0$ までに銀河団に進化する可能性が高いことがわかった。本講演ではこれまでの原始銀河団探査の成果を報告すると共に、これらの結果を用いた宇宙再電離の Inside-Out/Outside-In のモデルの推定の議論も行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X11b [CHORUS] $z = 7.0$ の Ly α 光度関数で探る宇宙再電離

伊藤凌平、大内正己、Haibin Zhang (東京大学) 他 HSC Project 240

Ly α 光子は銀河間物質中の中性水素により散乱を受けることから、 $z > 6$ での Ly α 輝線銀河 (LAE) の Ly α 光度関数 (Ly α LF) の減少の速さを調べることで、宇宙再電離が時間的にどのように進行したのかを知ることができる。また、Ly α LF の明るい側と暗い側の進化の違いを調べることで、宇宙再電離がどのような領域から進行するかという空間的な進化のモデルを検証することができる。過去の研究で $z = 7.0$ の Ly α LF が求められてきたが、 $z = 6.6 - 7.0$ で急激に進化するという主張と、 $z = 7.0 - 7.3$ で急激に進化するという主張が対立している。また、 $z = 7.0$ の Ly α LF の明るい側で Schechter 関数に対する個数密度の大きな超過が見られ、明るい LAE の周りに巨大な電離泡が存在しているという主張と、そのような超過が見られないという主張が対立している。我々は Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS; PI: Inoue) のもと、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の NB973 を用いた撮像探査を行い、COSMOS と SXDS の 2 天域、計 $\sim 3.5 \text{ deg}^2$ の天域を観測した。この撮像データから、我々は計 ~ 40 個の $z = 7.0$ LAE 候補天体を検出した。これは、これまでの研究と比べて 2 倍程度大きく、 $z = 7.0$ の LAE サンプルの中では最大のものである。本講演では、CHORUS データを用いた $z = 7.0$ の Ly α LF の結果を報告する。本研究で得られた Ly α LF から、Ly α LF は $z = 6.6 - 7.0$ と比較して $z = 7.0 - 7.3$ で急激に進化することがわかった。この結果から宇宙再電離期 $z = 6.6 - 7.3$ での中性水素割合の赤方偏移進化について議論する。また、 $z = 7.0$ の Ly α LF の明るい側での超過を、Schechter 関数の steep な faint-end slope によって説明できる可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X12b ダストガス間の速度差を考慮した巨大ブラックホールへの質量降着

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 矢島秀伸 (東北大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

初期宇宙の超巨大ブラックホールは、既に大量のダストに覆われていることが観測により示唆されている (e.g., Maiolino et al. 2004). ダストは紫外線を効率良く吸収する事でガスダイナミクスに影響を与えるため、巨大ブラックホールの成長過程を理解する上で必要不可欠である. Yajima et al. (2017) は、ダストを考慮した輻射流体計算により、巨大ブラックホールへの質量降着過程を調べた. その結果、ダストに加わる輻射圧によって、ブラックホールへの降着率はダストがない場合と比べて一桁程度小さくなることが判明した. 加えて、ダストの影響を考慮しない場合と比較して、降着率の時間変動も小さくなることも合わせて判明した. しかし、この計算では、ダストとガスは完全にカップルした一流体として扱っている.

本研究では、本研究では、大小2サイズのダストとガスの三流体を考慮した次元輻射流体計算により (Ishiki et al. 2017), 巨大ブラックホール周辺のダストの空間分布や質量降着に与える影響を調べた. この時、ダストとガスの衝突による抗力に加え、ダストチャージによる抗力の影響も考慮した.

数値シミュレーションの結果、強い輻射圧によってダストの流れはせき止められ、ダストが溶けると予想される半径よりも広い範囲でダストのない領域がブラックホール周辺にできることが判明した. 加えて、ダストとガスの速度差を考慮した場合、速度差を考慮しなかった場合と比較して、降着率は時間に対して振動するようになることが分かった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a Census of Ly α , [OIII] λ 5007, H α , and [CII]158 μ m Line Emission with 1000 LAEs at $z=4.9-7.0$ Revealed with Subaru/HSC

Yuichi Harikane, Masami Ouchi, Takatoshi Shibuya, Takashi Kojima, Haibin Zhang, Ryohei Itoh, Yoshiaki Ono, Ryo Higuchi, Akio K. Inoue, Jacopo Chevallard, Peter L. Capak, Tohru Nagao, Masato Onodera, Andreas L. Faisst, Crystal L. Martin, Gustavo A. Bruzual, Stephane Charlot, Iary Davidzon, Seiji Fujimoto, Miftahul Hilmi, Olivier Ilbert, Chien-Hsiu Lee, Yoshiki Matsuoka, John D. Silverman, Sune Toft

We investigate emission lines of Ly α , [OIII] λ 5007, H α , and [CII]158 μ m from 1,125 galaxies at $z = 4.9 - 7.0$. Fluxes of strong rest-frame optical emission lines of [OIII] and H α (H β) are constrained by significant excesses found in the *Spitzer* 3.6 and 4.5 μ m photometry. In the presentation in the last ASJ meeting (X50b), we present relations of a [OIII]/H α flux ratio and a [CII] luminosity to star-formation rate ratio. In this presentation, we will show results about H α emission and physical origin of these relations. At $z = 4.9$, we find that the rest-frame H α equivalent width $EW_{H\alpha}^0$ and the Ly α escape fraction $f_{Ly\alpha}$ positively correlate with the rest-frame Ly α equivalent width $EW_{Ly\alpha}^0$. We carefully investigate the physical origins of these relations with stellar-synthesis and photoionization models covering the vast parameter space of metallicity, ionization parameter, and stellar age, and find that these relations are explained by a simple anti-correlation between $EW_{Ly\alpha}^0$ and metallicity, indicative of the detections of the very metal-poor ($\sim 0.04Z_{\odot}$) galaxies with $EW_{Ly\alpha}^0 \simeq 200\text{\AA}$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14a HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ Brightest Cluster Galaxy の検出

伊藤慧, 柏川伸成 (国立天文台), 利川潤, 樋口諒 (東京大学), 内山久和, 尾上匡房 (総合研究大学院大学), Roderik Overzier (ブラジル国立天文台), 石川将吾 (近畿大学), 他 HSC Project 96

銀河団は宇宙最大の構造である。銀河の進化は銀河の密度環境に大きく関係することが広く知られている。その依存性の起源の理解のためには、遠方宇宙における原始銀河団と呼ばれる銀河の高密度領域を理解することが重要である。近傍銀河団中の特異的に明るい銀河として Brightest Cluster Galaxy (BCG) が知られている。近傍においてはいくつかの性質が判っており、BCG は銀河団のメンバー銀河の中でもフィールド銀河と比べ特に性質が異なっている。しかし原始銀河団の個数密度は非常に低く、これまでに見つけられた原始銀河団の数は $z > 3$ で数十個であるために、高赤方偏移における BCG の性質に関して統計的な議論はなされていなかった。そこで本講演においては、BCG の形成起源に迫ることを目的として、すばる望遠鏡広視野撮像カメラ HSC の戦略枠観測に基づいて Toshikawa et al. (2017) において検出された g-ドロップアウト ($z \sim 4$) 原始銀河団候補 179 個を用い、BCG 候補を選び出した結果について発表する。

まず初期候補として、原始銀河団候補のメンバー銀河の中で最も明るい天体の中から BCG 候補を選び出した。明るいライマンブレイク銀河には、星や前景銀河等も含まれていると考えられ、これらを取り除くことが BCG 候補選択において重要である。本研究ではそれらの混入天体を取り除く手法を確立し、 $z \sim 4$ の銀河だと考えられる天体を選び出した。以上の方法で作成した手法を全原始銀河団候補 179 個に対して適用し、HSC Wide Layer での $z \sim 4$ BCG 候補カタログを作成した。本講演においては、このカタログを用いて色や原始銀河団候補中での位置関係等の性質について他の原始銀河団候補内の銀河との比較を行なった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](#)

X15a 高赤方偏移銀河のダスト温度および質量推定について

井上昭雄 (大阪産業大学)

ALMAにより、宇宙年齢10億年未満、赤方偏移6を超える銀河からの静止系遠赤外線観測が大きく進展している。大量のダストを持つサブミリ銀河 (Riechers et al. 2013) や、遠赤外線放射が検出された星形成銀河 (Watson et al. 2015, Laporte et al. 2017, Tamura et al. in prep., Hashimoto et al. in prep.) がある一方、ALMAの高感度をもってしても遠赤外線放射が未検出にとどまる銀河が依然大半である (Ouchi et al. 2013, Ota et al. 2014, Inoue et al. 2016, Hashimoto et al. submitted)。これら遠赤外線未検出銀河では、ダストがほとんど無いか、もしくはダスト温度が高いためにスペクトルピークが短波長に遷移した可能性が議論されている (Faisst et al. 2017)。

遠赤外線放射からダスト質量を推定するにはダスト温度が必要となる。複数観測点によりダスト赤外線放射のピークを捉えることができれば、修正黒体放射によりダスト放射温度を推定することができ、ダスト質量もより良く決まる。しかし、高赤方偏移銀河では、遠赤外線観測点は1ないし2点で、しかもしばしば上限値である。そのため適当なダスト温度を仮定するが、ダスト質量はこの仮定によって決まってしまうジレンマに陥る。

そこで本講演では、Hirashita et al. (2014) の輻射平衡からダスト温度を推定する手法について議論する。Hirashita et al. (2014) では紫外線輻射輸送が考慮されていないが、球対称な光源とダスト分布のもとでの解析解を用いてこの効果を取り入れた。また、クランピー媒質効果もメガグレイン近似 (Varosi & Dwek 1999, Inoue et al. 2005) により取り入れることができた。ダスト温度を決める重要な因子はダスト分布の空間サイズであり、よりコンパクトなダスト分布を持つ銀河はダスト温度が高くなる。ALMAでダスト放射が検出された銀河では、ダスト温度は30–60 K、ダスト質量は $\sim 1 \times 10^7 M_{\odot}$ が得られた。未検出の銀河では $< 0.01-1 \times 10^7 M_{\odot}$ 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](#)

X16a ALMA twenty-Six Arcmin² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO):
The survey design and project overview

Kohno, K., Hatsukade, B., Yamaguchi, Y., Wang, T., Yoshimura, Y., Fujimoto, S., Ouchi, M., Lee, M., Shimasaku, K., Kusakabe, H., Hayatsu, N., Yoshida, N., Yabe, K. (U. Tokyo), Ivison, R. (ESO) Ellis, R. (UCL), Rujopakarn, W. (Chulalongkorn U.), Dunlop, J. (ROE), Tamura, Y., Suzuki, K. (Nagoya U.), Wang, W.-H. (ASIAA), Rieke, G. (U. Arizona), Omont, A. (IAP), Tadaki, K., Matsuda, Y., Nakanishi, K., Iono, D., Espada, D., Ao, Y. (NAOJ), Ueda, Y., Ohta, K. (Kyoto U.), Ikarashi, S., Caputi, K., Caminha, G. B. (U. Groningen), Umehata, H., Taniguchi, Y. (Open U. Japan), Kodama, T., Akiyama, M. (Tohoku U.), Nakai, N. (U. Tsukuba), Morokuma, K., Yamada, T., Wada, T., Matsuhara, H. (ISAS), Nagao, T. (Ehime U.), Inoue, A. (Osaka Sangyo U.), Yun, M. S., Wilson, G. (UMASS), Hughes, D. H., Itziar, A. (INAOE) and ASAGAO team

We have conducted an unbiased deep imaging and spectroscopic survey using ALMA over ~ 26 arcmin² region in GOODS-S to unveil dust-obscured star-formation and nuclear activities in galaxies by exploiting richest multi-wavelength datasets with *Chandra*, *HST*, *Spitzer*, *Herschel*, *VLT* (Hawk-I and MUSE), *JVLA*, and so on. The resultant noise level of the 1.2-mm continuum image is $\sim 60 \mu\text{Jy}$ (1σ) after applying 250 k λ taper to have a modest beam size ($\sim 0.5''$). We put 2 frequency tunings to cover 244-248, 253-257, 259-263, and 268-272 GHz ranges (~ 16 GHz in total). The ASAGAO complements the ultra-deep HUDF surveys (~ 4 arcmin², Dunlop et al. and ASPECS-pilot/large) and a shallower survey (~ 70 arcmin², Elbaz et al.).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X17a ALMA twenty-Six Arcmin² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO):
X-ray AGN Properties of Millimeter-Selected Galaxies

Y. Ueda (Kyoto Univ.), B. Hatsukade, K. Kohno, Y. Yamaguchi (Univ. of Tokyo) , Y. Tamura (Nagoya Univ.), H. Umehata (Open Univ. of Japan), and ASAGAO team

We investigate the X-ray active galactic nucleus (AGN) properties of millimeter galaxies in the GOODS-S field detected with ALMA, by utilizing the Chandra 7-Ms data, the deepest X-ray survey to date. Our millimeter galaxy sample comes from the ASAGAO survey (12 sources at a 1.2-mm flux-density limit of ≈ 0.6 mJy), supplemented by the deeper but narrower 1.3-mm survey of a part of the ASAGAO field by Dunlop et al. (2017). Fourteen out of the total 25 millimeter galaxies have Chandra counterparts. The observed AGN fractions at $z = 1.5 - 3$ is found to be $90_{-19}^{+8}\%$ and $57_{-25}^{+23}\%$ for the ultra/luminous infrared galaxies with $\log L_{\text{IR}}/L_{\odot} = 12-12.8$ and $\log \log L_{\text{IR}}/L_{\odot} = 11.5-12$, respectively. The majority ($\sim 2/3$) of the ALMA-Chandra objects appear to be star-formation dominant populations, having $L_{\text{X}}/L_{\text{IR}}$ ratios smaller than the “simultaneous evolution” value expected from the local black-hole mass to stellar mass ($M_{\text{BH}}-M_{*}$) relation. On the basis of the L_{X} and stellar mass relation, we infer that a large fraction of star-forming galaxies at $z = 1.5-3$ have black hole masses smaller than those expected from the local $M_{\text{BH}}-M_{*}$ relation. Our results are consistent with an evolutionary scenario that star formation occurs first, and an AGN-dominant phase follows later, in objects finally evolving into galaxies with classical bulges.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X18a ALMA twenty-Six Arcmin² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO):
Multi-wavelength properties of ASAGAO continuum sources

Yuki Yamaguchi, Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Tao Wang, Yuki Yoshimura, Wiphu Rujopakarn (The University of Tokyo), and ASAGAO team

We present the results of a multi-wavelength analysis of sub-millimeter continuum sources detected by 1.2 mm deep and wide-field survey named ASAGAO. From 250k λ -tapered initial ALMA map, we extract 631 continuum source candidates with S/N > 3.5 ($1\sigma \simeq 60 \mu\text{Jy beam}^{-1}$). We find that 42 ASAGAO sources have K-band counterparts in ZFOURGE catalog. Their median redshift is estimated to be 1.97 ± 0.16 , which is consistent with results of faint sub-millimeter sources ($\lesssim 1 \text{ mJy}$) detected in recent deep surveys. They generally follow the tight relationship (so-called the main sequence) on the stellar mass vs SFR plane in the range of $M_* \simeq 10^{9-12} M_\odot$ and $\text{SFR} \simeq 10^{1-3} M_\odot \text{ yr}^{-1}$. On the other hand, we find that there are ZFOURGE sources which have similar star-forming properties of ASAGAO sources but are not detected at ALMA wavelength. The IRX- M_* and IRX- β relations of ALMA selected sources show systematical offset compared to relations of ZFOURGE galaxies, which are not detected at ALMA wavelength. This suggests that properties of dust-obscured star-formation of ALMA detected sources are different from ALMA non-detected sources even if they have similar star-forming properties. We also extract some ASAGAO source, which have very dark or no multi-wavelengths counterparts. This result shows that ALMA continuum surveys can unveil the dust-obscured star formation activities, which are missed in previous deep optical/NIR surveys.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a ALMA twenty-Six Arcmin² survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO):
Clustering of faint sub-millimeter galaxies

Yuki Yoshimura, Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Yuki Yamaguchi (The University of Tokyo),
Hideki Umehata (Open University of Japan/The University of Tokyo) and ASAGAO team

It has been reported that some sub-millimeter galaxies (SMGs) detected in single-dish surveys are blended and such a source blending results in an apparent enhancement of observed clustering signals. On the other hand, ALMA survey is free from source confusion and thus is a powerful tool to measure the connection between dusty star-forming galaxies and large-scale structure of the universe in an unbiased way. Here, we present the results of clustering analysis of faint SMGs detected by ALMA 1.2 mm deep and wide continuum survey named ASAGAO. Using 30 sources (0.3 – 1.2 mJy at 1.2 mm) with *K*-band counterparts in ZFOURGE catalog (Straatman et al. 2016) and its photometric redshift probability distribution, we measure the projected two-point cross-correlation function with ZFOURGE galaxies and constrain the correlation length and characteristic dark matter halo masses for sub-mJy sources at $z = 1 - 3$. Considering the auto-correlation of ZFOURGE galaxies, we estimate an auto-correlation length for faint SMGs of $r_0 = 6.0_{-1.0}^{+1.0} h^{-1} \text{Mpc}$ and a corresponding dark matter halo mass of $\sim 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$. The derived clustering signal is slightly weaker than that derived in previous studies for single-dish detected bright SMGs (Hickox et al. 2012 for sources with $870 \mu\text{m}$ flux $\gtrsim 4 \text{mJy}$). We discuss the effect of source blending on the clustering of single-dish detected SMGs and show the intrinsic luminosity dependence of their clustering.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20b チャンドラ衛星深宇宙探査データで探る赤方偏移3-4の超大質量ブラックホールの定常的な成長モード

今野雄介, 秋山正幸 (東北大学)

活動銀河核 (AGN) は銀河中心にある超巨大ブラックホールへ物質が降着する際に放射される光を見ていると考えられている。X線はAGNの発する全光度の~10パーセントを占め、通常の銀河では強いX線は放射されないため、物質が降着しているブラックホールの良い指標となる。また、超巨大ブラックホールの質量と銀河の質量には強い相関があると言われ、AGNからの膨大な放射エネルギーやジェットからのフィードバック効果により、銀河内部の星形成活動が影響を受けたことでその相関が出来た可能性も議論されている。今回は、星形成がピークを迎える赤方偏移 $z=3-4$ の宇宙の銀河について、その中心の超巨大ブラックホールへどのような降着が起こっているのかを定量的に評価するために、CANDELS/GOODS-S領域のカatalogにある銀河のうち赤方偏移 $z=2.5-4.5$ などの条件に合う合計 6699 個のサンプルに対して、Chandra Deep Field South (CDF-S) 7Ms の X線データのスタッキング解析を行った。銀河のサンプルを星質量や星形成率 (SFR) について一定の範囲で区切ることにより、それぞれのピンにおける平均の X線光度を求め、激しい活動性を示していない銀河の超巨大ブラックホールへの降着率を評価した。その結果、ブラックホールへの質量降着率と銀河の星質量、または星形成率の間に正の相関が見られ、質量降着率は $\dot{M} \approx 10^{-4.5} - 10^{-1.5} M_{\odot}/\text{yr}$ ($M_{*} = 10^8 - 10^{11} M_{\odot}$ または $SFR = 10^{-1} - 10^3 M_{\odot}/\text{yr}$) と算出され、赤方偏移 $z=2.5-4.5$ の銀河においては個別には強い活動性を示していない銀河においても低いレートでの質量降着が起こっており、超巨大ブラックホールの定常的な成長に寄与してい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](#)

X21b Cosmic Variance in Angular Correlation Functions and Dark Matter Halo Masses

日下部晴香¹, 嶋作一大¹, 浜名 崇² 1:東京大学, 2:国立天文台

遠方の天体の個数密度や角度相関関数 (angular correlation function, ACF) の測定値は、survey area が小さいと cosmic variance の影響を大きく受けて、不定性が大きくなることが知られている。個数密度に対する cosmic variance は、構造形成論から解析的に求められるのが一般的である (e.g., Moster et al. 2011)。ACF の cosmic variance は、ダークマターの分布の揺らぎとサンプルの数が有限であることに起因するエラーをもとに解析的に導出されているが (Cohn 2006, C06)、実際のクラスタリング解析では、jackknife 法等を使って限られた survey area での銀河の分布から経験的に推定されているにすぎない (e.g., Sobral et al. 2010; see also Norberg et al. 2009)。そこで本研究では、C06 に基づいて cosmic variance の赤方偏移 (z) や survey area (Ω) への依存性を確認し、実際の遠方天体の survey における ACF の cosmic variance の大きさを議論する。ここでは、C06 の式のダークマター分布のゆらぎに起因している項を cosmic variance と解釈する。cosmic variance による ACF の測定精度の限界 $(\Delta\omega/\omega)_{CV}$ はその survey area でのダークマターの ACF の相対誤差に相当しており、 z と Ω から求められる。 $(\Delta\omega/\omega)_{CV}$ は Ω の平方根に反比例する。 Ω が同じであれば、 $(\Delta\omega/\omega)_{CV}$ は $z > 3$ では z 依存性は小さく、survey の奥行方向 Δz を大きくしても改善しない。たとえば Kusakabe et al. 2017 の 1 deg^2 の $z = 2.2$ Ly α 輝線銀河サンプルの場合 $(\Delta\omega/\omega)_{CV} = 26\%$ である。ACF の測定精度の限界はダークマターハロー質量の測定精度にも伝搬する。本講演では、天体の z 、光度、survey area を与えた時に得られるダークマターハロー質量の精度の限界を abundance matching を用いて議論する。また、ある bias やダークマターハロー質量の精度を達成するのに必要な survey area も示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X22b Subaru/MOIRCS 狭帯域フィルターで探る $z > 3$ ペアクエーサーの周辺環境

竝木茂朗, 深川奈桜, 伊藤慧, 津久井崇史, 津田修一郎, 尾上匡房 (総合研究大学院大学), 鈴木智子, 今西昌俊, 小野寺仁人, 田中吉 (国立天文台), 他 HSC-SSP プロジェクト No.168 共同研究者

クエーサーは、一般に銀河同士の衝突によって大量の冷たいガスが銀河中心の超大質量ブラックホールに降着することで明るく輝いていると言われている。また、このような銀河の衝突は銀河が多いところでより起こりやすいと考え、クエーサーは原始銀河団のような高密度環境に位置している可能性が高い。しかし、観測的には低密度環境に存在する例も報告されており、遠方のクエーサーの周辺環境については未だに議論が続いている。このような現状の中、Onoue et al. 2017 (arXiv: 1704.06051) において、LBG の分布からペアクエーサーは単一のクエーサーよりも重いダークマターハローに属しており、その周辺には高密度領域が広がっている可能性が高いことが示唆された。しかし現在の LBG サンプルでは赤方偏移の不定性が大きく ($\Delta z \sim 1$)、原始銀河団のメンバーを同定することは難しい。そこで我々はこれら 2 つのペアクエーサー領域 ($z \sim 3.3, 3.6$) が真に高密度環境なのかどうかをより狭い赤方偏移の範囲で確かめるために、2017 年度総研大すばる観測実習において Subaru/MOIRCS の狭帯域フィルター (CO, Br γ , $\Delta z \sim 0.05$) を用いて [O_{III}] λ 5007 emitter をターゲットとしたフォローアップ観測を行った。この結果少なくとも片方のペアクエーサー領域で多数の [O_{III}] emitter が見られた。また、それらの多くは LBG サンプルには含まれておらず、空間分布も LBG のそれとは異なっていた。今回の年会では、LBG 及び [O_{III}] 銀河サンプルから明らかになったペアクエーサー周辺の密度環境と、そこでの [O_{III}] 銀河の星質量や星形成率について調べた結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X23b AKARI-MaNGA: 可視面分光データと赤外線データで求める星形成率の比較

村田一心, 小山舜平, 植村千尋 (宇宙科学研究所)

銀河中心に当てたファイバー分光により求められている星形成率は、過小評価されている傾向にあることがわかった。面分光サーベイ・MaNGA から求めた星形成率と赤外線天文衛星「あかり」から求めた星形成率との比較からわかった。

これまで「あかり」によって求められた星形成率は、SDSS/MPA-JHU により求められている星形成率に比べて大きく求まることが知られていた。特に比星形成率 (星形成率/星質量) が小さいほどその傾向は強く、寿命の長い星からの光が赤外線光度に寄与しているためと考えられていた。しかし、従来の SDSS による星形成率は、銀河中心の 3 秒角に当てたファイバー分光により測定した $H\alpha$ 輝線強度から求められており、ファイバー分光できていない領域への外挿が大きな不定性となっていた。

そこで本研究では、面分光サーベイ・MaNGA のデータを使い、銀河全域からの $H\alpha$ 輝線強度から星形成率を測定した。MaNGA と MPA-JHU、「あかり」のデータすべてが揃う 133 天体の銀河について、3 通りの星形成率を求めて比較した。その結果、「あかり」で求めた星形成率が MPA-JHU によるものと比べて 1 桁以上高かった銀河についても、MaNGA によるものと比べると 0.3dex 程度しか大きく見積もられなかった。これは銀河中心のファイバー分光による星形成率が過小評価していることを示している。ただし、「あかり」で求めた星形成率は MaNGA から求めたものよりも依然として大きく、寿命の長い星による赤外線光度への寄与は無視できないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24b HSC-SSP データと Deep Learning で探る極金属欠乏銀河

小島崇史, 大内正己, 林将央, 矢部清人, 梅村雅之, 天笠俊之, 北川博之, 他 10 名 (HSC project 251)

形成されてまもない銀河は、(1) 低金属量 ($Z/Z_{\odot} \sim 0.01-0.1$)、(2) 小星質量 ($M_{*}/M_{\odot} \lesssim 10^7$)、(3) 年齢が若い ($\lesssim 30\text{Myr}$) といった性質を備えていたと考えられる。このような銀河を高赤方偏移宇宙で発見し調査することは、現在の観測技術では困難である。一方、近傍宇宙 ($z \lesssim 0.02$) では極金属欠乏銀河と呼ばれる銀河が存在し、(1)–(3) の性質を持つことが知られている。原始的な性質を持つこの極金属欠乏銀河を調査することは、銀河形成と初期の銀河進化を理解する上で重要である。

本研究では、HSC-SSP データを用いて、近傍宇宙に潜む極金属欠乏銀河の探査を行う。極金属欠乏銀河は、暗く、近傍宇宙での個数密度が小さいため、HSC-SSP データ ($i_{limit} \sim 26\text{ mag}$) のような深く広い撮像データが必要不可欠である。HSC-SSP データにより、従来探査よりも 5 等級程度深い探査が可能となった。さらに、極金属欠乏銀河は強い [OIII], H α 輝線や星雲連続光などによって特徴的な色を持つため、その特徴的な色を利用して効率よく候補を選択することが必要であった。そこで我々は、Deep Learning に基づく新しい銀河選択手法を開発した。まず初めに、本手法が正しく極金属欠乏銀河が選択するかどうかを、SDSS の撮像+分光データ ($i \lesssim 21\text{ mag}$) を用いて確かめた。SDSS データから選ばれた約 20 個の候補のうち、半数以上は実際に強い輝線をもつ金属欠乏銀河であることが確認された。次に、実際に本手法を HSC-SSP データに適用したところ、約 10 個の極金属欠乏銀河候補が選択された。それらの候補に対する分光観測は、現在提案中である。本講演では、我々が開発した銀河選択手法を紹介しその有効性を報告する。さらに、極金属欠乏銀河の星間ガス金属量や電離状態から得られるとされている、大質量星の存在量と進化への制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X25b 吸収線でさぐる CGM、IGM のガスの物理状態

清水一紘、藤田勝美、長峯健太郎 (大阪大学)

銀河への inflow や銀河からの outflow といったガスの物質循環が銀河形成・進化において非常に重要なことが分かってきている。従って、circumgalactic medium (CGM) や intergalactic medium (IGM) のガスの状態を詳しく調べることは、物質循環を知るうえで非常に重要である。現状、QSO 吸収線を用いた CGM や IGM を調べる研究が盛んに行われているが、光源となる QSO のサンプル数が少ないためあまり理解は進んでいない。

そこで我々は、GADGET-3 に我々が独自開発した Osaka-feedback model を組み合わせたコードを用いて、宇宙論的流体計算を実行したのち、Trident (Hummels et al. 2017) を用いて水素だけでなく様々な金属の吸収線を計算した。本講演では我々の銀河形成モデルの妥当性をさまざまな観測と比較することで示したのち、 $Ly\alpha$ といった水素の吸収線だけでなく、C IV や Si IV といった金属吸収線について調べた。銀河とのインパクトパラメータと吸収線強度の関係、吸収線の強度分布、それぞれの金属吸収線空間分布のパワースペクトル、銀河と吸収線、C IV と Si IV などの吸収線の cross correlation の計算等を行った。さらに、将来観測計画の一つである Subaru Prime Focus Spectroscopy に向けた理論的予測をしていく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26b *NuSTAR* と *Gemini/GMOS IFS* による近傍 Ly- α blob ($z \sim 0.3$) の観測

川室太希 (NAOJ), Mischa Schirmer (MPIA), James E. H. Turner (Gemini South), Rebecca L. Davies (MPIE), 市川幸平 (NAOJ/Columbia Univ.)

Ly- α 輝線で明るく ($\sim 10^{42-44}$ erg s $^{-1}$) かつ、広がった系 ($> \sim 30$ kpc) である Ly- α blob は、その電離源について様々な機構が考えられている。特に主な電離源が見つからない場合には、消去法的に周りの物質に隠されて見えない活動銀河核 (AGN) が存在していると考えられてきた。

そこで、我々は近年 Schirmer et al. (2016) によって見つけられた観測の容易な近傍 ($z \sim 0.3$) の 2 つの Ly- α blobs (SDSS J0113 と SDSS J1155) に対して、透過力の高い硬 X 線 (> 10 keV) 観測衛星 *NuSTAR* を用いて観測を行った。結果、有意に硬 X 線を検出し、確かに吸収を受けた AGN が存在することを発見した (Kawamuro et al. ApJ, 848, 42)。そして、*Chandra* の軟 X 線データを組み合わせることで、広帯域 X 線 (0.5–30 keV) スペクトル解析を行った。SDSS J0113 は強く吸収を受けて ($\log N_{\text{H}} = 23.8$ cm $^{-2}$)、また、X 線光子が吸収を受けずに周りに漏れる散乱光の割合 ($f_{\text{scat}} \sim 0\%$ ($< 10\%$)) が小さい、埋もれた AGN が存在していることがわかった。一方、SDSS J1155 には、適度に吸収体に埋もれた ($\log N_{\text{H}} = 22.8$ cm $^{-2}$ かつ $f_{\text{scat}} \sim 1.2\%$) AGN がいることがわかった。また、*Gemini/GMOS IFS* 観測により得られた [O III] λ 5007 輝線の空間分布をそれぞれについて調査した結果、SDSS J0113 の方が、より動径方向に絞られており X 線から示唆された埋もれた AGN の存在と矛盾しない結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27c 可視光から赤外線における宇宙背景放射の測定：惑星間塵の再評価

佐野圭, 松浦周二 (関西学院大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学)

可視光から赤外線の宇宙背景放射には初代星や原始ブラックホールからの紫外光が赤方偏移した放射成分が含まれる可能性があり、宇宙初期の天体探査において重要な観測量である。宇宙背景放射を測定するためには、その前景光である太陽系内の惑星間塵による散乱光と熱放射成分を正確に除去する必要がある。これまでの衛星観測により、空の輝度から惑星間塵の寄与を除去して得られる等方的な放射の輝度は、通常銀河の積算光の数倍もあり、惑星間塵のスペクトルに似たスペクトルを持つことが報告されている。これは惑星間塵の寄与を除去しきれていないことを示唆しており、宇宙背景放射を測定してその起源を明らかにするためには惑星間塵の特性を再検討する必要がある。

従来の惑星間塵の空間分布と光学特性は、Cosmic Infrared Background Experiment (COBE) 衛星に搭載された Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE) によって観測された地球の公転運動による空の輝度変化に基づいて得られている。したがって、このモデルでは等方的な分布を持つ惑星間塵が存在したとしてもその寄与が考慮されない。等方的な惑星間塵による散乱光と熱放射の輝度は太陽離角に強く依存することが予測される。そこで、幅広い太陽離角を観測した唯一の衛星である DIRBE の全天マップの再解析を行った。その結果、空の輝度から従来のモデルによって惑星間塵の寄与を除去した成分に太陽離角に対する依存性が見出だされ、それは太陽を中心として数 AU の半径の等方的な惑星間塵によっておおむね説明可能である。本講演では、等方的な惑星間塵の成分を除去して得られる宇宙背景放射の輝度とその起源について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X28c WISE データによる高赤方偏移クエーサーの静止系可視光 SED 分析

加藤奈々子, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

高赤方偏移 ($z > 5.6$) のクエーサーは、これまでに HSC (SHELLQs), SDSS, CFHT Legacy Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1 などの広域探査によって約 200 天体発見されている。これらのクエーサーは、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成、母銀河の進化、宇宙再電離などを探る上で重要な役割を担っている。これまでに見つかった高赤方偏移クエーサーでは、ほとんどの場合、その光度の高さゆえにクエーサーからの放射のみ検出されている。対して、HSC によって発見された高赤方偏移クエーサーは、低光度であるため母銀河からの放射の検出が期待できる。高赤方偏移クエーサーの SED を分析することは、初期宇宙における母銀河の性質を理解する重要な手がかりとなる。

本講演では、測光データを使って、これらのクエーサーの静止系可視光 SED を分析した結果を報告する。測光データには上述した探査による i, z, y バンド、UKIDSS の J バンド、WISE の $W1 - W3$ バンドのデータを用いた。また、WISE で個々に検出されていない天体については、スタッキング解析を行って検出を試みた。さらに、近傍クエーサー (Vanden Berk et al. 2001) と $1 < z < 2.1$ における高光度クエーサー (Selsing et al. 2016) のテンプレートスペクトルと測光データを比較し、母銀河からの放射の有無を確認した。加えて、赤方偏移によって SED に違いがあるのか、またクエーサー光度によって違いがあるのかを調査した。違いがある場合、なぜそのような違いが生まれるのかを検討した。本講演ではそれらの結果を合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29c すばる望遠鏡 HSC データを用いた、 $z > 1$ のクエーサー母銀河のスタッキング解析

佐衛田祐弥, 石野亨, 松岡良樹 (愛媛大学)

超巨大ブラックホール (supermassive black hole: SMBH) の質量とその母銀河の質量の間にはマゴリアン関係と呼ばれる比例関係があると知られており、両者は共進化していると考えられている。この共進化についての理解を深めるためには、母銀河の形態や色を調べることで、母銀河の星形成活動が進んでいるのか、あるいは AGN フィードバックによって抑制されているのかを明らかにすることが重要である。特に $z > 1$ に位置するクエーサー母銀河について調べることで、宇宙史前半における共進化の様子について理解を深めることができる。しかしながら、高赤方偏移におけるクエーサー母銀河を調べることは感度や空間分解能の点で難しい。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC) の撮像データを用いて、HSC カタログと SDSS クエーサーカタログより選出した $z > 1$ クエーサー 3530 天体の母銀河の性質について研究を行った。HSC は高感度、高空間分解能を誇るために、クエーサーやその周辺環境を観測することができる。選出されたクエーサーに対して HSC 撮像データを取得し、psf プロファイルを基にして AGN 成分を引いた。残った母銀河の成分をスタッキング処理することで、母銀河成分の光度プロファイルを計測した。5 バンド (g, r, i, z, y) で同様のスタッキング解析を行い、母銀河の色や形について調査を進めている。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](#)

X30c すばる望遠鏡 HSC データで探る $z < 1$ におけるクェーサー母銀河の性質

石野亨, 佐衛田祐弥, 松岡良樹 (愛媛大学)

クェーサーの母銀河の性質を調べることは、クェーサーを含む active galactic nucleus (AGN) がどのような銀河で発現するか、また AGN が母銀河にどのような影響を及ぼしてきたかを調べる上で重要である。今日では巨大ブラックホールの質量と銀河の質量の比例関係から、銀河とその中心にある巨大ブラックホールは共進化していると考えられている。巨大ブラックホールと銀河の共進化を引き起こす原因として AGN フィードバックが提案されている。フィードバックにより AGN の周りのガスはエネルギーと運動量を得るので、母銀河の星形成は阻害されると考えられる。クェーサー母銀河の性質を調べることで、巨大ブラックホールと銀河の関係性や、AGN フィードバックの母銀河への影響について明らかにできると期待される。

本研究では、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いて、クェーサー母銀河の性質について調査を行っている。HSC は優れた感度と角分解能を持ち、先行研究に比べてより詳細に母銀河の性質について調べることができると期待される。我々は SDSS クェーサーカタログと HSC カタログを組み合わせ、 $z < 1$ の HSC でも撮像された SDSS クェーサーを 1040 天体選出して、各天体の HSC 画像を 5 バンド (g, r, i, z, y) それぞれで取得した。それら各天体の表面輝度プロファイルを psf モデルとセルシックモデルを組み合わせたものでフィッティングを行い、母銀河の成分を抽出した。抽出した母銀河の性質について解析し、AGN 母銀河と AGN を宿さない銀河との違いについて調査を行っている。本講演ではこれまでに得られた研究の結果について報告し、AGN の発生機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31a ダークマターハローの $V_{max} - R_{max}$ スケーリング則

森正夫, 田沼萌美 (筑波大学)

Cold dark matter (CDM) 模型は、現在、宇宙の構造形成に関する標準的パラダイムになっている。しかしながら、銀河団スケールより小さなスケールにおいては、理論と観測結果との間でいくつかの不一致が指摘されている。例えば、Missing satellite 問題、Core-cusp 問題、Too-big-to-fail 問題等が観測と理論の深刻な矛盾として挙げられる。我々は、銀河スケールのダークマター (DM) ハローのユニバーサルプロファイルと観測との矛盾やその検証作業、DM ハローがもつスケーリング則について研究を行っている。近年の高精度観測により、近傍矮小銀河に付随する DM ハローにはある種のユニバーサルなスケーリング則が成り立っていることが報告されてきている。Strigari et al. (2008) では、銀河中心から 300 pc 以内の DM ハローの総質量が一定になることが報告され、Kormendy & Freeman (2016) では、DM ハロー中心の面密度が一定になることが主張されている。また、最近の Hayashi et al. (2017) の近傍矮小銀河の研究では、DM ハローの Circular Velocity が最大 V_{max} となる半径 R_{max} の内側に存在する DM ハローの質量面密度 $\Sigma_{R_{max}}$ にもユニバーサルなスケーリング則が成り立っていることが報告されている。本研究では、Hayashi et al. (2017) の研究を発展させ、矮小銀河から楕円銀河や渦巻銀河、そして銀河団スケールにわたる幅広い質量範囲にわたる DM ハローで成り立つ V_{max} と R_{max} の間のスケーリング則を見出した。本発表では、スケーリング則の詳細と、Core-cusp 問題及び Too-big-to-fail 問題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](#)

X32a 宇宙論的 N 体シミュレーションを用いた銀河団領域の銀河分布

大木平, 吉田直紀, 西道啓博 (カブリ IPMU)

すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた観測により赤方偏移 1 までに ~ 2000 個の銀河団が発見され、銀河団銀河の統計的性質が明らかになってきている。銀河団領域の赤い銀河・青い銀河の空間分布、その星質量ごとの違いや銀河団中心からの距離依存性は銀河形成モデルに対する重要な制限となる。これは、これらの分布が高密度環境特有の星形成停止過程を反映していると考えられるためである。

銀河の色ごとの銀河分布をシンプルにモデル化する方法として、age matching による方法が知られている。age matching では、subhalo abundance matching に加えて、宇宙論的 N 体シミュレーションから得られるダークマターハローの年齢と星形成率を対応させることにより、ダークマターハローに銀河の星質量と星形成率を与えることができる。これまでに age matching で、赤い銀河・青い銀河のクラスタリングや重力レンズの観測結果をよく説明することがわかっている。しかしながら、銀河団銀河の空間分布については、これまでに age matching のテストが行われていない。

我々は宇宙論的 N 体シミュレーションに基づく subhalo abundance matching と age matching の方法を用いて、銀河団周辺の赤い銀河・青い銀河の動径分布を調べた。特に、銀河団のメンバー銀河全体に占める赤い銀河の割合 (red fraction) の動径分布を求め、近傍銀河の観測結果と比較した。その結果、標準的な age matching モデルでは、特に低質量銀河において、観測される red fraction の動径分布を再現できないことがわかった。これは、ハローの年齢と星形成率を対応させるシンプルな age matching モデルが不十分であることを示唆している。本講演では、これらの結果を示し、観測との不一致を解消する解決方策について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33a Integral Approach を用いた新しい Godunov SPH 法の開発

藤原隆寛, 森正夫 (筑波大学)

銀河形成シミュレーションを始めとして、宇宙物理の理論分野では Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法が流体計算に広く用いられている。しかしながら、SPH 法には流体の接触不連続面が上手く扱えないことや、離散化された方程式が空間ゼロ次の誤差項を持つことといった欠点が知られている。これらは流体の不安定性を扱う上で大きな障害となりうる問題であり、これまでに様々な解決策が提案されてきた。

例えば、Riemann solver を SPH 粒子の相互作用計算に組み込む Godunov SPH (GSPH) 法によって、接触不連続面を適切に扱えることが報告されている (Inutsuka 2002; Cha et al 2010)。GSPH 法は、通常の SPH 法で衝撃波を扱うために必要な人工粘性項を必要としないという長所も持っている。また、García-Senz et al. (2012) によって開発された Integral Approach (IA) には、物理量の一階微分を新しい手法で計算することで離散化によって発生する数値粘性を抑制し、空間ゼロ次の誤差を小さくする効果があることが確認されている。

我々は GSPH 法と IA を組み合わせることによって、人工的な散逸項を必要としない高精度の Lagrange スキームの開発を目指した。その際に、IA を使用したときに強い膨張波が発生する領域で内部エネルギーが過小評価されることと、それが GSPH 法とは関係無く、IA が本質的に抱える問題であることを発見した。この問題を改善するために、我々は IA での微分計算に使用していた行列に対して改良を加えた。その結果、膨張波領域の問題を解決できるようになっただけでなく、複数のテスト問題において元の IA より良い結果を示した。本講演では、我々の考案した新しい手法の有効性を物理的見地から考察した上で、静水圧平衡や流体不安定性、衝撃波といったテスト問題を行った結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34a アルマ望遠鏡による SSA22-LAB18 の CO(J=4-3) 輝線と 3 mm 連続波観測

加藤裕太 (東京大学), 松田有一, 伊王野大介, 川邊良平, 久保真理子, 但木謙一, 田中巻, 中西康一郎 (国立天文台), 太田耕司 (京都大学), 長尾透 (愛媛大学), 山田亨 (JAXA), 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 林野友紀 (東北大学), 廿日出文洋, 河野孝太郎, 小野宜昭, 大内正己 (東京大学), 梅村雅之, 森正夫 (筑波大学), 田村陽一 (名古屋大学), 谷口義明, 梅畑豪紀 (放送大学), 五十嵐創 (フローニンゲン大学)

ライマン α プロップ (LAB) は、高赤方偏移の銀河高密度領域で良く見つかる、空間的に大きく広がった $\text{Ly}\alpha$ 輝線のガス構造を示す天体で、形成期の銀河とその周辺の銀河間ガスにどのような物理過程が働いているのかを探ることができる天体である。LAB18 は、 $z = 3.1$ SSA22 原始銀河団の LAB の中で最も大きな $\text{Ly}\alpha$ 輝線のフィラメント構造を持ち、アルマの $860 \mu\text{m}$ 連続光観測によってフィラメント構造に沿った 4 つの爆発的星形成銀河の存在が明らかになっている (松田ほか, 2017 年秋季年会, X55a)。我々は、アルマを用いて CO(J=4-3) 輝線 ($3\sigma L'_{\text{CO}(4-3)} \sim 5 \times 10^8 \text{ K km s}^{-1} \text{ pc}^2$) と 3 mm 連続光観測 (空間分解能 $1.0''$, rms=5 $\mu\text{Jy/beam}$) を行った。その結果、4 つの爆発的星形成銀河から 3 mm 連続光が検出され、その内 1 つから CO(J=4-3) 輝線が検出された ($z_{\text{CO}} = 3.0936 \pm 0.0002$)。CO 輝線が検出された銀河は $860 \mu\text{m}$ ダスト連続光のコンパクトな星形成領域の周囲に回転円盤を持ち、 $\alpha = 4.36$ を仮定した分子ガス質量及び $860 \mu\text{m}$ 、3 mm 連続光に基づく星形成率からこの天体はガスの外部供給が無ければ約 200 Myr でガスが枯渇し $\log M_* > 11.0$ のような大質量銀河には成長できないことが分かった。また、 $860 \mu\text{m}$ 、3 mm、*Herschel*/SPIRE バンドの制限からダスト放射率インデックス β は全ての天体で 2 よりも大きいことが分かった。これは近年の実験結果からダスト組成を見直すことで再現可能であり、今後アルマによる様々な銀河の長波長側サブミリ波連続光観測でダスト組成の進化を追え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](#)

X35a 原始銀河団における銀河進化と星形成史

矢島 秀伸 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 荒田翔平 (大阪大学)

近年の大規模銀河サーベイにより、初期宇宙の原始銀河団候補が次々と発見されている。原始銀河団は、宇宙の大規模構造において非常に密度が高い珍しい領域である。原始銀河団の一つである赤方偏移3のSSA22領域では、ライマンアルファエミッターやサブミリ銀河などさまざまな種族の銀河が共存していることが近年の観測によって明らかになった。しかし、高密度領域で多様な銀河がどのように形成されたのか、銀河はどのように進化したのか、その環境効果は未だ謎である。我々は大規模構造の非常に銀河密度の高い領域に着目し、星形成とフィードバックを含む宇宙論的流体計算を実行した。結果として、原始銀河団領域では銀河進化が早く進み、大質量銀河が形成するとともに活発な星形成が行われる事が分かった。そして、原始銀河団を囲む $(30\text{Mpc}/h)^3$ の領域では、赤方偏移3.8において星形成率密度は平均的な密度領域に比べ3倍程度大きいことが分かった。本講演では、これら原始銀河団シミュレーションの初期成果として、銀河の星形成史、中性水素ガスの大域的分布、そして重元素汚染について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X36a Subaru/IRCS+AO188 で分解する $z \sim 2$ のフィールド銀河の星形成領域

美濃和陽典 (国立天文台ハワイ観測所)、小山佑世 (国立天文台ハワイ観測所)、但木謙一 (国立天文台)、児玉忠恭 (東北大)、鈴木智子 (国立天文台)、林将央 (国立天文台)、山元萌黄 (総研大)、嶋川里澄 (UCSC)、田中孝 (国立天文台ハワイ観測所)、James E. Geach (Univ. of Hertfordshire)、David Sobral (Lancaster Univ.)、John P. Stott (Lancaster Univ.)、岩田生 (国立天文台ハワイ観測所)、有本信雄 (ソウル大学)

遠方銀河の内部構造を調べ、いつどこで星形成活動が行われたか、個々の銀河がどのようにして質量を集積したかを明らかにすることは、近傍宇宙におけるハッブル系列銀河の起源を探る上で非常に重要である。本研究では、銀河進化の最盛期である $z \sim 2$ のフィールドにある $H\alpha$ 輝線により検出された星形成銀河について、すばる望遠鏡の補償光学システム (AO188) 及び近赤外線撮像装置 (IRCS) を用いた K バンド帯 ($1.9\text{-}2.3\mu\text{m}$) における高解像度の広帯域、狭帯域撮像を行った。その結果、 $8.5 < \log M_*/M_\odot < 11.5$ の星質量の範囲にある約 20 個の $z \sim 2$ の星形成銀河について、約 0.2 秒角 (~ 1.6 kpc) の空間分解能で、その内部における星質量、星形成率密度の分布を得ることができた。本講演では、 $z \sim 2$ の星形成銀河の内部構造についての結果を報告するとともに、その結果が示唆する銀河内部における星形成活動が中心から外側へと進行してきた様子 (inside-out growth) 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](#)

X37a Subaru/IRCS+AO188 で分解する $z \sim 2.5$ の原始銀河団銀河の星形成領域

鈴木智子 (国立天文台), 美濃和陽典, 小山佑世 (Subaru telescope), 児玉忠恭 (東北大学), 林将央, 但木謙一 (国立天文台), 嶋川里澄 (UCSC), 田中吉 (Subaru telescope), 山元萌黄 (総研大/国立天文台)

銀河形成の最盛期と呼ばれる $z \sim 2 - 2.5$ では、高密度領域でも活発に星形成が行われており、初期の頃の環境効果を調べる上で重要な時代であると考えられる。周囲の環境から何らかの影響を受ける時、それは特に銀河の構造に強く反映されると期待されるが、銀河の構造と環境との関係については $z > 2$ ではまだ十分に調べられていない。この時重要となるのは、銀河内部の星だけではなく星形成領域の内部構造を調べることである。星形成領域の分布を調べることによって、銀河の構造がこの先どう進化していくのかを議論することが可能となる。そこで我々は、 $z = 2 - 2.5$ の様々な環境下に存在する星形成銀河をターゲットとし、すばる望遠鏡の IRCS の狭帯域フィルターと補償光学装置 AO188 を組み合わせることで、銀河の $H\alpha$ 輝線放射領域、すなわち星形成領域を $0.1 - 0.2$ 秒角の分解能で捉えるという観測を進めてきた。本研究では、そのプロジェクトの一環として、MOIRCS に搭載されているものと同じ NB2315 フィルターを IRCS のために作成し、 $z \sim 2.53$ の原始銀河団領域に付随する星形成銀河を観測した。星の連続光と $H\alpha$ 輝線のスタックしたプロファイルを比較したところ、連続光に対して $H\alpha$ がより広がっているという結果が得られた。これは $z \sim 1.5$ の星形成銀河や同時代の一般フィールドの星形成銀河について得られているものと同様の傾向である。 $z \sim 2.5$ においては、原始銀河団領域においても一般フィールドと同様に銀河は内側から外側へと成長しており、そこに強い環境依存性は見られな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](#)

X38a ALMA 3mm 帯データを用いた無バイアスのミリ波輝線銀河探査

李建鋒, 河野孝太郎, 廿日出文洋, 山口裕貴, 山下祐依, 早津夏己, 大栗真宗 (東京大学), 梅畑豪紀 (東京大学/放送大学), 北山哲 (東邦大学), 上田周太郎 (宇宙科学研究所), 田村陽一 (名古屋大学), 松田有一, 赤堀卓也 (国立天文台)

宇宙における星形成率密度は、赤方偏移が 1-3 付近で最大となることが明らかになってきた。原因として、星形成の材料である分子ガスの量或いは星形成効率の増加などが考えられるが、解明には至っていない。それゆえ、分子ガス質量密度の赤方偏移進化をバイアスなく測ることは重要である。従来は、可視光等で選択された既知の銀河に対して CO 輝線の光度を測って議論することが多かったが、本研究では無バイアスのミリ波探査を行い、 $z \sim 1.0-4.5$ における分子ガス質量密度の進化を調査した。我々は、SPT-CL J2344-4243 ($z \sim 0.596$) 領域における広い (7 視野 mosaic) ALMA 3mm 帯 data の解析を行った (2017 年秋季年会 X48b)。今回、これに加えて SXDF-ALMA3 領域における 3mm 帯の data を合わせて用いてミリ波輝線銀河の探査を行なった。作成した 3 次元 data cube は周波数幅 15.6 MHz (~ 50 km/s)、noise level が約 0.1-0.3 mJy (1σ)、空間分解能は約 $1'' - 2''$ であった。1 視野であるが 5 tuning により約 84-115 GHz という広い周波数範囲を網羅しているため、候補輝線 CO(2-1), (3-2), (4-3) に対してそれぞれ $z=1.00-1.74$ 、 $z=2.01-3.12$ 、そして $z=3.01-4.49$ の範囲が探査できる。合わせて対応する探査体積は約 $3.6 - 7.8 \times 10^3 \text{ Mpc}^3$ であり、ASPECS-pilot 3mm 帯探査と比較して約 2 倍広い。CLUMPFIND を用いて $S/N > 5$ となる輝線銀河候補天体を 9 個検出した。ただし、他の波長での対応天体は見えていないため、検出の信頼性を慎重に検討している。探査体積を更に広げるため、3mm 帯の ALMA archive data も合わせて探査を行う。講演では、そこから導かれる CO 光度関数および宇宙分子ガス密度の制限について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X39a The Physical Origin of Diffuse Ly α Halos and High Ly α Escape Fractions of LAEs

日下部晴香¹, 嶋作一大¹, 百瀬莉恵子², 大内正己¹, 中島王彦³, 橋本拓也⁴, 播金優一¹ 1:東京大学, 2:国立清華大學, 3:ESO, 4: 大阪産業大学

遠方の星形成銀河は、UV 連続光で観測される銀河本体よりも数倍以上広がった Ly α 輝線の構造 (Ly α halo, LAH) をもつ。LAH の主な物理的起源は、A. 銀河本体で発生した Ly α 光子のハローの中性水素による共鳴散乱、B. 銀河に流入するガスの冷却放射、C. 衛星銀河の星形成などが考えられている。近年、 $z \sim 2$ の Ly α 輝線銀河 (LAEs) のスタッキング解析から、銀河本体の Ly α 光度と LAH の Ly α 光度の間に経験則的な関係が見つかった (Momose et al. 2016, M16)。VLT/MUSE による個別の LAEs の観測結果もこれと矛盾しない (Leclercq et al. 2017)。しかしこれまでは、LAH の物理的起源の理解に重要な銀河の星質量等の星種族パラメーターと LAH の性質は、同時には求められていなかった。そこで我々は、深い多波長のデータの揃っている SXDS と COSMOS の約 1000 個の $z \sim 2$ の LAEs をサブサンプルに分けてスタックし、LAH の光度と星種族パラメーターの相関関係を M16 の経験則と SED fit から調べた。その結果、星質量が増えても LAH の光度が増えないことがわかった。これを B と C の物理的起源で説明するには、銀河の星質量が大きくなっても、流入するガスの量や衛星銀河の星形成が増加しない必要がある。本講演では星質量以外のパラメーターも用いて LAH の物理的起源を議論する。また、我々の LAEs は、 $z \sim 2$ の H α 輝線銀河 (HAEs) と同様に Ly α 脱出率と星質量、ダスト減光、星形成率の間に逆相関 (Matthee et al. 2016) がみられるが、同じ星質量、ダスト減光、星形成率をもつ HAEs よりも一貫して Ly α 脱出率が高い。本講演ではこの高い Ly α 脱出率の物理起源についても議論をする。今後、このようなサブサンプルのダークマターハロー質量を Subaru/HSC の広領域のデータを用いて求め、議論に加える予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40a 高赤方偏移におけるクェーサー放射フィードバックの系統的研究

内山久和, 柏川伸成 (国立天文台), Roderik Overzier (ブラジル国立天文台), 利川潤 (東京大学), 石川将吾 (近畿大学), 尾上匡房, 伊藤慧, 竝木茂朗 (総合研究大学院大学)

クェーサーは一般的にガスを多く含む銀河の合体により形成されると考えられており、それゆえに銀河の高密度領域に存在すると考えられている。実際に $z > 2$ のクェーサー近傍で銀河が強くクラスタリングしている例が複数報告されている。一方、クェーサーの強い紫外放射により周辺の銀河形成を阻害する光電離が効果的であることも考えられ、これまでの流体シミュレーションから、この効果は特に低光度の銀河に対してより強く働くことが示されている。実際に $z \sim 5$ でのクェーサー周辺において一般的に低質量だと考えられるライマンアルファ輝線銀河がクェーサーを避けるように分布していることが報告されている (Kashikawa et al. 2007)。この現象をより系統的に特徴づけるために、われわれは $2 < z < 3$ の 11 個のクェーサー領域 (内 1 個はクェーサーが 2 つ存在する”クェーサーペア”領域) においてすばる望遠鏡の Suprime-Cam による広視野撮像観測を行った。この観測では、光電離効果が強く作用するであろう十分に低光度 ($M_{UV} > -20.5$)、すなわち低質量 ($M_{vir} < 10^{10} M_{\odot}$) の銀河まで捉えることができる。われわれはまずそれぞれのクェーサーと同じ赤方偏移に存在するライマンアルファ輝線銀河カタログを構築した。光電離効果の特徴づけるために、それら候補天体のライマンアルファ輝線の等価幅を見積もり、スタッキングすることでその効果の平均的な描像を得た。本講演ではこのサンプルの構築について、およびクェーサー周辺密度とその性質との関係、ならびにクェーサー近傍の等価幅分布についての成果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X41a ALMA 1.3mm 帯データを用いたミリ波輝線銀河探査 : COSMOS 領域で検出されたミリ波輝線銀河候補天体の物理的性質

山下祐依, 河野孝太郎, 廿日出文洋, 山口裕貴, 李建鋒, 早津夏己, Tao Wang (東京大学), 梅畑豪紀 (東京大学/放送大学), 田村陽一 (名古屋大学), 松田有一 (国立天文台)

近年、ALMA を使ったミリ波帯観測により、クエーサーの様な激しい星形成を伴う高赤方偏移大質量銀河の周辺で、[CII] や CO 輝線を放射する星形成銀河 (以下ミリ波輝線銀河) が多数報告されており、宇宙初期における銀河進化の理解に繋がることが期待されている。本研究では、ASTE 望遠鏡に搭載した AzTEC カメラ (波長 1.1mm 帯) で検出された、COSMOS 領域における 129 個のサブミリ波銀河を ALMA で観測した波長 1.3mm 帯データ (合計約 16 平方分、周波数範囲約 7.5GHz) を用いてミリ波輝線銀河探査を行った (山下他、2017 年秋季年会)。前回の報告内容を踏まえ、様々な線幅を持ち得る輝線銀河候補天体を系統的に探査するため、各領域に対して、周波数幅 15.625MHz (速度幅 $\sim 20\text{km/s}$)、およびその 2 倍, 4 倍, 6 倍, 8 倍, 10 倍の周波数幅を持つ 3 次元データキューブを作成し、データキューブ内の 3 次元的に閉じた構造を Clumpfind を用いて同定した。典型的なノイズレベルは $1.4\text{mJy}(1\sigma)$ であった。その上で、(1) peak flux の S/N 比 ≥ 5 , (2) 距離 $1''$ 以内に可視光・近赤外線対応天体をもつ, (3) データキューブ内で正の S/N ピーク $>$ 負の S/N ピークという条件を課したところ、ミリ波輝線銀河候補 17 天体を検出した。このうち少なくとも 6 天体は、COSMOS 領域の photo-z カタログ (Laigle et al. 2016) の赤方偏移と照らし合わせて、検出された輝線を同定できることがわかった (CO(3-2) $@z\sim 0.48$, CO(4-3) $@z\sim 1.0$, [CII](1-0) $@z\sim 1.0$ 等)。講演では、検出された輝線銀河候補の性質 (分子ガス質量と星質量や星生成率との比較等) について論じ、ミリ波輝線銀河の blind 探査を行うことによって、どのような銀河が検出され得るのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X42a すばる HSC で探る、銀河団の進化段階と内部の銀河の星形成活動

山元萌黄 (総合研究大学院大学)、児玉忠恭 (東北大学)、林将央、小山佑世、但木謙一、田中脛 (国立天文台)、嶋川里澄 (UCSC)、鈴木智子 (国立天文台)

遠方銀河団は未だ希少であり、銀河が暗いため詳細な研究も困難なことから、遠方銀河団の銀河種族の性質を統計的に調べた研究は稀である。そこで新たな銀河団探査として、HSC のすばる戦略枠観測を利用し、さらに2つの銀河団探査法を組み合わせた、HSC-HSC (Hybrid Search for Clusters with HSC) を現在推進している。2つの銀河団探査法とは、星形成銀河の放つ輝線を狭帯域フィルター (NB) で捉え、星形成銀河を探査する「Blue cloud サーベイ」と、広帯域フィルターを用いて、銀河団銀河特有の色等級図における赤色の系列を用いて、星形成を終了した赤い銀河を探査する「Red sequence サーベイ」であり、それぞれの銀河の密度超過領域を探り、銀河団を発見する。これまでに Blue cloud サーベイで、HSC-SSP のサーベイのうち約 16 平方度の領域において、赤方偏移 $z=0.63, 0.84$ の [OIII] 輝線銀河、 $z=1.19$ の [OII] 輝線銀河 (Hayashi et al. 2017) の高密度領域を探査した。その結果、3つの時代で合計約 80 個の銀河団候補を同定した。ほぼ輝線銀河のみが高密度で分布しているものと、赤い銀河も高密度になっているものの両方を見出す事が出来た。今回は銀河団銀河の星形成率分布を、前述の星形成銀河が支配的な銀河団と両方の銀河が多く群れている銀河団候補に分けて調べ、どの時代においても、2つのタイプの銀河団候補の間で、星形成率分布に有意な違いは見られなかった。星形成銀河が支配的な銀河団は、赤い銀河も多く存在する銀河団に比べ若い銀河が多く、銀河団の進化過程の早期段階にあると考えられる。従って、銀河団の進化段階により銀河の星形成率分布は変わらない事が示唆されたと言える。更に銀河団の進化により星形成を止めた銀河は増えている事から、銀河団中の銀河は非常に短いタイムスケールで星形成を弱めている事が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X43a The Missing Satellite Problem Outside of the Local Group

田中賢幸、小宮山裕、林航平 (国立天文台)、千葉柁司、田中幹人 (東北大学)

The missing satellite problem is one of the major challenges to the widely accepted Λ CDM paradigm, which over-predicts the abundance of dwarf galaxies in the Local Group. Recent work suggests that the baryonic physics plays a key role, but one of the main issues here is that the problem has been tested only in the Local Group, which may not be a representative halo in the Universe. Motivated by this, we have started a project to address the problem using a statistical sample of nearby galaxies outside the Local Group.

We have observed several galaxies with mass similar to that of the Milky Way Galaxy with Hyper Suprime-Cam as a pilot program. We first select dwarf galaxies using their low surface brightness and then further visually inspect all the candidates to eliminate fake sources. We find that (1) the abundance of dwarf galaxies is smaller by a factor of two than the prediction from one of the current hydro-dynamical simulations and (2) there is a large halo to halo scatter. Our results highlight the importance of a statistical sample of nearby galaxies to address the missing satellite problem. We conclude with future prospects of the project.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X44a 狭輝線1型セイファート銀河核からの高速ガス噴出のすばる補償光学付き面分光観測による測定

川口 俊宏 (尾道市立大), 尾崎 忍夫 (国立天文台), 菅井 肇 (東京大), 松林 和也, 服部 堯 (国立天文台), 下農 淳司 (東京大), 美濃和 陽典, 早野 裕, 青木 賢太郎 (国立天文台), 満田 和真 (東京大)

銀河と中心巨大ブラックホールの共進化に関して、ブラックホールへ落ち込むガスが放つ輻射によるガス噴出流が母銀河での星形成活動を抑制する(フィードバック)現象が示唆されている。これまで、銀河中心核からの高速ガス噴出は、今回観測対象とした狭輝線1型セイファート銀河のように中心ブラックホールへのガス降着率が大きい時に発生することを明らかにしてきた(Aoki, Kawaguchi, Ohta, 2005)。我々は、ガス噴出が起きていて最も近傍に居る天体について、すばる望遠鏡の補償光学機能と可視光面分光装置(AO188+Kyoto 3D II)を用いて観測を行い、“母銀河星形成抑制”仮説の検証を目指している(2017年秋期年会 S12b)。

そこで、狭輝線1型セイファート銀河 IRAS 04576+0912 の中心部、約 $3'' \times 2''$ ($\approx 2.2 \times 1.4 \text{kpc}$) にわたる約600個のlenseletのスペクトル(6600–7200Å)を解析したところ、多くのlenseletで[S II] $\lambda\lambda 6716, 6731 \text{\AA}$ 輝線の短波長側に裾野を引くblue tailが観えることがわかった。このblue tailが観られる領域は中心核周囲に対称に広がるのではなく、北西側に偏在していた。

次に、blue tailを示すlenseletからのスペクトルを集めS/Nを向上させた平均スペクトルに対して、[S II]を2速度成分に増やし解析した。その結果、blue tail成分が約1000 km/sの青方偏移速度を持つ高い密度($> 3000 \text{ cm}^{-3}$)のガスから放射されていることが分かった。一方、低速度成分のガス密度は50–300 cm^{-3} であった。補償光学と可視光面分光の組合せによって、初めて高速ガス噴出の広がりやガス密度が明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X45a Intrinsic scatter in star formation rate of galaxies with strong $H\alpha$ at $z \sim 2$

寺尾恭範 (東京大学), Lee Spitler (Macquarie University), 本原顕太郎 (東京大学)

There is a correlation between stellar mass and star formation rate (SFR) of galaxies, which is known as star formation main sequence (SFMS). Measurement of SFMS and its scatter is important to understand galaxy evolution. Observed small scatter in the SFMS, ~ 0.3 dex at $z \lesssim 2$, suggests that growth of galaxies is predominantly driven by gradual and continuous processes rather than short term starburst. However, recent simulations have not well reproduced the observed SFMS and specific star formation rate (sSFR), especially at $z = 1-2$. This discrepancy is probably due to not only a lack of our understanding of galaxy evolution, but also insufficiency of measurement accuracy, which arises from observational limitations and uncertainties. Specifically, for galaxies at high redshift, stellar mass can be overestimated when derived by SED fitting because such galaxies tend to have strong nebular emission lines which boost flux in filters. Therefore, precise measurement of SFMS and sSFR using accurate stellar mass and SFR is essential to constrain the galaxy evolution model. In this work, we examine the SFMS and sSFR for galaxies with strong $H\alpha$ emission at $z \sim 2$ using the Fourstar Galaxy Evolution Survey (ZFOURGE) catalog. For the Ks band including redshifted $H\alpha$, we find that the difference between observed and stellar continuum magnitude is ~ 3 times higher for lower mass galaxies than massive ones. Consequently, there are a number of low mass ($\lesssim 10^{8.5} M_{\odot}$) galaxies above the SFMS and constant sSFR. We also investigate the intrinsic scatter in them by creating scatter models to reproduce the observation assuming different shapes of distribution and completeness.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X46a 化学進化からみる赤方偏移 1.4 の星形成銀河の星形成とガスの流出入

深川奈桜 (総合研究大学院大学), 兒玉忠恭 (東北大学)

銀河のガスの流出入は、星形成史を左右する物理過程である。過去の研究では、銀河系の高速度で運動する中性水素ガス雲 (e.g., Oort 1966) やシミュレーション (e.g., Dekel et al. 2009) 等から、ガスの降着について議論されてきた。また、爆発的な星形成に伴うガスの流出も観測されている。一方、ガスの降着率・流出率を観測データを用いて定量的に調べるためには、ガスの状態や形状についての仮定が必要なことから、測定されるガスの降着率と流出率に不確定さがあることが知られている。そこで、ガスの流出入について知る手がかりとなるのが、銀河の金属量である。重元素は主に星により生成される。また、ガスの降着により星間ガスの金属量が薄められたり、ガスの流出により重元素が失われたりする。そのため、銀河の星形成とガスの降着率・流出率について金属量から間接的に知ることができるはずである。

本研究では、化学進化モデルを用い、宇宙で星形成が活発な時代の銀河の星形成とガスの流出入について調べた。このモデルにおいて、銀河の進化過程は、星形成率、ガスの降着率、流出率により決まる。モデルによる予測と観測データとの比較により、赤方偏移 1.4 の時代の星形成主系列銀河 (Seko et al. 2016) のガス質量比と金属量が説明されよう、モデルの物理量の範囲を決めた。その結果、質量が大きい銀河ほど、星形成効率が高いことが示唆された。従って、ガスが消費されるのに対し、星形成効率が上がることにより、銀河は星形成主系列に留まることになる。また、個々の銀河では、星形成とガスの流出によるガスの消費が、ガスの降着による獲得に比べて支配的である傾向が見られた。これらの銀河では今後ガスの量が減少し、星形成率が下がると予想される。これは、赤方偏移 1.4 では宇宙の平均的な星形成率が下がりつつあるという観測的な傾向と一致する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X47a 星の年齢速度分散関係におけるガス降着史への依存性

熊本淳 (東北大学), 馬場淳一 (国立天文台), 斎藤貴之 (東京工業大学)

太陽近傍の星々の観測から星の年齢と速度分散の間には正の相関があることが知られている (年齢速度分散関係)。我々はこれまでの研究において、星の速度分散の年齢に対する依存性は、過去のガスの物理状態に強く依存していることを発見した (2016年秋季年会にて発表; Kumamoto et al. 2017, PASJ, 69, 32)。このことは、現在の年齢速度分散関係が過去の銀河進化史情報を含んでいることを示唆している。

そこで、我々は観測される年齢速度分散関係から銀河進化史を読み解くことを目的とした研究を行っている。その第一段階として、ガス降着を考慮した円盤銀河進化シミュレーションを行った。シミュレーション内で形成される円盤銀河の最終的な年齢速度分散関係におけるガス降着史への依存性について得られた結果を報告する。本研究ではダークマターハローを定常外場として扱い、 N 体/SPH法を用いて銀河円盤にガスを降着させ、円盤銀河が成長する様子を再現した。本シミュレーションでは、自己重力、輻射冷却、星形成、超新星フィードバックを考慮している。

ガス降着史が異なるモデルで同様のシミュレーションを行い、形成される円盤銀河を比較することで、ガス降着のタイムスケールによって、星の速度分散の年齢に対する依存性が変化することを発見した。また、本講演ではこれらのモデルから得られた年齢速度分散関係を実際の観測結果と比較することで、天の川銀河のガス降着史についても言及を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X48a 赤方偏移 1.52 の銀河団で探る星質量-金属量関係の環境依存性

竝木茂朗 (総合研究大学院大学), 小山佑世, 柏川伸成, 林将央, 但木謙一, 岩田生, 小野寺仁人, 田中崚 (国立天文台), 兒玉忠恭 (東北大学)

近傍宇宙において、銀河団のような高密度環境と一般フィールドの銀河では銀河の形態、星形成率、金属量などに違いが見られることがこれまでの研究によって知られている。しかしその一方で、 $z > 1$ を超えるような遠方の宇宙ではサンプル数が少なく、はっきりとしたことは分かっていない。

このような現状を踏まえ、本研究では、より遠方 ($z > 1$) の高密度領域のサンプルを増やすことを目的として、 $z \sim 1.5$ の銀河団領域の星形成銀河について LBT/LUCI, Subaru/MOIRCS で近赤外線多天体分光観測を行った。この領域は、過去のすばる望遠鏡の観測によって電波銀河 4C65.22 付近に発見された高密度領域であり、中心部に赤い銀河が集中している様子からこの時代での成熟した銀河団であることがわかっている (Koyama et al. 2014)。今回の観測によって合計 34 個の銀河について赤方偏移を同定し、この領域が $z=1.52$ にある銀河団であることを確認した。また、これらの星形成銀河の $[N_{II}]/H\alpha$ 比から金属量を求め、フィールド銀河と比較したところ、特に低質量の銀河でフィールドに比べて金属量が高く、星質量の大きいものについてはフィールドと変わらないという結果になった。このような金属量の違いの原因は金属元素に富む銀河間ガスの存在や、銀河団環境でのアウトフローの抑制など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](#)

X49a The most accurate luminosity function of local infrared galaxies based on the AKARI all sky survey

Ece Kilerci Eser, and Tomotsugu Goto (NTHU)

Local infrared (IR) luminosity functions (LFs) are necessary benchmarks for high-redshift IR galaxy evolution studies. Any accurate IR LF evolution studies require accordingly accurate local IR LFs.

We constructed IR galaxy LFs at $z \leq 0.3$ from *AKARI* space telescope, which performed an all-sky survey in six IR bands (9, 18, 65, 90, 140 and 160 μm) with 3-10 times better sensitivity than its precursor IRAS. Availability of 160 μm filter is critically important in accurately measuring total IR luminosity of galaxies, covering across the peak of the dust emission. By combining mid-IR data from *WISE*, and spectroscopic redshifts from SDSS DR13, 6dFGS, and 2MRS, we created a sample of 15,638 local IR galaxies with spectroscopic redshifts, i.e., by a factor of 20 larger than the well-cited previous work from IRAS, let alone IRAS limit to $<100 \mu\text{m}$. After carefully correcting for volume effects in both IR and optical, the obtained IR LFs agree well with previous studies, but comes with much smaller errors. Especially both faint- and bright-ends of the LFs are better-determined, due to much larger size of the spectroscopic redshifts and the IR photometry.

Measured local IR luminosity density is $\Omega_{IR} = 1.19 \pm 0.05 \times 10^8 L_{\odot} \text{Mpc}^{-3}$. The contributions from luminous infrared galaxies and ultra luminous infrared galaxies to Ω_{IR} are very small, 9.3 per cent and 0.9 per cent, respectively. There exists no future all sky survey in far-infrared wavelengths in the foreseeable future. The IR LFs obtained in this work will therefore remain an important benchmark for high-redshift studies for decades.

[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14日(水) 午後(13:00-15:00) [G会場]

Y01a	13:00	インターネット版日本天文学会「天文学辞典」の制作と活用 縣秀彦(国立天文台)
Y02a	13:12	教員養成大学における小学校理科天文分野の理解度調査 加藤美帆(大阪教育大学)
Y03a	13:24	高校地学・高校物理における天体スペクトル教材の作成 山道千賀子(大阪教育大学)
Y04a	13:36	高校1年次「課題探究型授業」における天文教育の実践-色一等級図から星団の年齢を推定する教材を例に- 石田光宏(横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校)
Y05a	13:48	「みんなでつくるバタフライダイアグラム」の出前授業への展開 玉澤春史(京都大学)
Y06a	14:00	国友藤兵衛による太陽黒点スケッチのデジタル化により研究や教育への新展開 野澤恵(茨城大学)
Y07a	14:12	明治20年の皆既日食を撮影したと思われる写真の発見 大越治(国立天文台)
Y08b	14:24	埼玉大学における中・高校生への天文学の研究体験指導(2) 平塚雄一郎(埼玉大学)
Y09c		時間変動データを用いた自主学習型解析体験教材の開発I. 小惑星探査と視差 西浦慎悟(東京学芸大学)
Y10c		3次元バーチャルリアリティ天文学教材の開発 野田常雄(久留米工業大学)
Y11b	14:24	天文学は私たちの文化、最新天文学の普及をめざすワークショップの活動 大西浩次(長野高等専門学校)
Y12b	14:24	光速に近い速度の宇宙船からの星空シミュレーションと天の川の見え方 野本知理(千葉大学)
Y13b	14:36	「長野県は宇宙県」サマー・スタンプラリー・イベントについて 衣笠健三(国立天文台)
Y14b	14:36	TOYAKOマンガ・アニメフェスタでの天文イベント:5年の記録と評価 渡辺謙仁(北海道大学)
Y15b	14:36	国立天文台天文データセンターの共同利用新データ解析システム~機能・性能のアップグレードについて~ 田中伸広(国立天文台)
Y16b	14:48	夜空の明るさの継続的な測定方法および測定結果 柴山万優子(星空公園)
Y17b	14:48	八重山諸島における夜空のバックグラウンド測定結果 小野間史樹(星空公園)
Y18c		3度目の正直? 画像データからの流星目視カウント回数。 戸田雅之(日本流星研究会、チーム TUSK)
Y19b	14:48	第3代所長・池田徹郎が描いた緯度観測所絵巻 馬場幸栄(一橋大学)

3月15日(木) 午前(9:30-15:00) [G会場]

Y20a	09:30	X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)の危機対応広報とその結果 矢部あずさ(宇宙航空研究開発機構)
Y21a	09:42	アストロバイオロジーセンターの広報活動 日下部展彦(アストロバイオロジーセンター)
Y22a	09:54	Mitakaにおける科学的可視化について:その2 加藤恒彦(国立天文台)

Y01a インターネット版日本天文学会「天文学辞典」の制作と活用

岡村定矩（法政大学）、縣秀彦（国立天文台）、半田利弘（鹿児島大学）、制作委員会、日本天文学会天文用語検討WG、天文教育普及研究会天文用語検討・活用WG 他

日本天文学会は、創立100周年記念事業として編纂し2012年に刊行した「天文学辞典」の内容を更新し、無料で誰でもが利用可能なインターネット版日本天文学会「天文学辞典」を2018年1月に公開する。本講演はその経緯と目的を報告し、今後の進め方について議論するものである。

本事業は2016年度、理事会下に天文用語検討WGが設置されるとともに、外部資金として子どもゆめ基金助成金（教材開発・活用）を獲得し実施することが確定した。書籍版、すなわちシリーズ現代の天文学別巻天文学辞典（日本評論社）は約3000項目の天文学用語を40名の研究者が分筆している。子どもゆめ基金による助成が1年間の事業であることを考慮し、著者のうち12名がWGメンバーとして、分野毎の用語の再確認やこの5年間に新たに登場した重要用語を書き加えた。さらに、書籍版著者全員に対し著作権譲渡の了解を得ることが出来た。

インターネット版の特質として、図版や動画の利用が挙げられる。また、子どもゆめ基金の趣旨として初等中等教育での利用も含める必要があり、日本天文学会天文教育委員全員、天文教材委員会の有志3名及び、天文教育普及研究会の天文用語検討・活用WGが、用語や図版の整理・確認作業を行なった。本作業には総勢25名が協力している。

インターネット版日本天文学会「天文学辞典」 <http://astro-dic.jp>

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a 教員養成大学における小学校理科天文分野の理解度調査

加藤美帆、福江 純（大阪教育大）

小学校教員において、理科の中でもっとも苦手とされるのが、小学校第4学年「月と星」、小学校第6学年「月と太陽」であるといわれている。このことから、教員養成大学において、天文分野の基礎的な知識を学生に定着させることが求められる。

また、先行研究では、教員養成系の大学の「月の満ち欠け」に関する理解度調査において、平成10年改訂学習指導要領の改訂の前後で正答率が異なるという結果が報告されている。これは、平成10年改訂の学習指導要領では、小中学校の天文分野（地学分野）の学習内容が大幅に削減されたため、正答率が著しく低下したのではないかという見解であった。一方、その後の平成20年改訂学習指導要領では、小中学校の天文分野（地学分野）が増加した。したがって本調査では、現在の学生の学力の定着を測る目的と、平成20年改訂学習指導要領の後の調査としての目的がある。

調査問題は、平成20年改訂小学校学習指導要領に従い、第3学年「日影の位置と太陽の動き」「地面の暖かさや湿り気の違い」第4学年「月の形と動き」「星の動き」第6学年「月の位置や形と太陽の位置」とし、本大学の学部生1・2年生（理科・非理科）を対象に調査を行った。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](#)

Y03a 高校地学・高校物理における天体スペクトル教材の作成

山道千賀子、福江 純（大阪教育大学）

高校地学では「宇宙の構造」において、高校物理では「光の性質」において、光のスペクトルについて学ぶ。本研究では、高校地学および高校物理の授業で、天文にあまりなじみのない現場の教員でも容易に使えるように、具体的な天体のスペクトルを用いた天体スペクトル教材を作成する。

先行事例には、『宇宙スペクトル博物館_i可視光編_i天空からの虹色の便り』と、「JAHOU スペクトルカリキュラム」が挙げられる。前者はブラウザを起動して利用するデジタル教材で、「可視光」とは何かから、身近な色彩や風景、光学機器、そして星雲・星団・銀河などさまざまな天体の姿が紹介されている。名前のとおり博物館資料集に近い体裁で、カリキュラムは自分で組む必要がある。後者は「光やその波長の認識」「光のドップラー効果」から、銀河の運動や宇宙膨張など天文学研究の一線に近いテーマまでが、連続的になるような内容となっている。主に科学館・公共天文台での教室・講習会での利用や学校での課外授業での利用を想定しており、学校の授業でも利用は可能だが学習指導要領には対応していない。また両先行事例とも十数年前の古いものである。

そこで本研究では、最新の天体現象も念頭に置きつつ、授業時間中での利用（時間や単元）を想定して、天体スペクトル教材を作成することとした。

本研究で用いるスペクトルデータは、可能なものは美星天文台で新たに取得し、できるだけオリジナルデータを用いるようにしている。また、スペクトル教材が出来上がり次第、実際の学校現場で利用してもらい、効果の検証を行う予定である。教材全体はいろいろな天体を含む広範なものになる予定だが、年会ではその一部を紹介して、高校生がスペクトルを学習するのに適切な教材として利用可能か意見をいただきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a 高校1年次「課題探究型授業」における天文教育の実践- 色 等級図から星団の年齢を推定する教材を例に -

石田光宏, 小宮啓輔, 伊藤渉 (横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校)

講演者が勤務する横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校には、高校1年次において、理科、数学、情報などの様々な分野の研究者から専門的な講義を聴く「サイエンスリテラシー I(以下 SLI)」という授業がある。本校は理数科であり、SLIの履修をもって、文部科学省が定める「総合的な学習の時間」の履修に替えている。また、高校2年次には選択した分野で自分のテーマを定めて探究活動を1年間かけて行う、SLIIという授業があり、SLIはSLIIで探究活動を行うための基盤として位置付けている。

近年、講義中心のSLIに実習を取り入れ、よりSLIIへ繋がりやすくするよう、授業を改善する動きがでてきている。その中で、天文学に関しても実習を取り入れることが決定し、指導者3名が2回の授業の中で本校1年次238名に実習を行った。1回の授業時間は95分である。内容は、星団のアーカイブデータをすばる画像解析ソフトマカリで測光解析して色 等級図を作り、転向点から星団の年齢を求めるというものである。教材は、FITS画像を用いた教材を開発している PAOFITS ワーキンググループのサイトにある「星団のHR図を作ろう」を元に作成した。

授業終了後、アンケートを実施し分析した。授業が面白かったかという項目に関しては、受講者の76%が肯定的な回答であったが、データ解析の理解度を問う項目については47%に留まった。本講演では、アンケート結果から分かった授業での成果、問題点について報告し、高等学校「課題探究型授業」における天文教育の可能性について詳しく議論していきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y05a 「みんなでつくるバタフライダイアグラム」の出前授業への展開

玉澤春史，鴨部麻衣（京都大学），有本淳一（京都工学院高等学校/星のソムリエ京都），藤原雅二，和田浩一（星のソムリエ京都）

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「みんなで作るバタフライダイアグラム」を行っている。小学生の観測施設見学や一般公開などのイベントの際、来台者に太陽黒点の発生年月と緯度が記されたカードを一人ずつに配布、1人1人がシールを貼ることで11年以上に及ぶ花山天文台の観測データを用いてグラフ完成させるものである（鴨部他，2016年天文学会秋季年会 Y03a）。延べ1000人以上におよぶ参加者による作業である一方、完成するまでには時間がかかり、後日に参加者へ全体像をみせる工夫が必要である。2017年10月、星のソムリエ京都による「星空案内人養成講座」のうちの一コマの一部を利用し、おもに成人向けに一時間を使って太陽研究の解説とともにバタフライダイアグラムの作成を行った。紙面を分割しグループワークにより短時間で作成することで、完成したバタフライダイアグラムを参加者に見せ、達成感の共有を含めた学びの効果を得ることができた。今後は京都工学院高校など学校現場への展開も企画されている。次期学習指導要領に盛り込まれる「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）の教材として活用することで、太陽についての深い学びを提供、さらに単なる作業でなく、その中から生徒たちはどのようなことを気づき、考えていくのかということを授業実践により検討していく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06a 国友藤兵衛による太陽黒点スケッチのデジタル化により研究や教育への新展開

野澤恵 (茨城大学)、岩橋清美 (国文学研究資料館)、大辻賢一、玉澤春史 (京都大学)、萩野正興 (国立天文台)

国友藤兵衛 (1778-1840 年) による太陽観測による黒点スケッチ (1835 年 2 月から翌年 4 月までの 158 日に渡り記録した) はよく知られている。その黒点数の変化を欧米の観測者らの結果と比べ、月平均の変動は一致し、国友の黒点観測が学術的な意味があること明らかにした (久保田, 鈴木 2003)。そこで本研究は、この国友の黒点スケッチを画像として取り込み、研究や教育に使用できる環境の構築を行なった。

国友はスケッチには可能な限り午前と午後それぞれ一枚ずつの描写を行い、その日付と時刻を記していた。それらからスケッチ時間の推定などを行い、自転軸を北に合せる図を画像処理により作成した。国友が観測した 1835 年は太陽黒点周期のサイクル 8 の極大期に向う時期で、太陽黒点が比較的高緯度に出現すると言われる。これについて、位置の不確かさが相当程度あることを加味した上で、画像処理したスケッチで確認することができた。また、黒点の移動速度から、当時の自転周期と現在の値との差は計測誤差範囲内で一致することも確かめた。これらの画像はスケッチをサイエンスデータとして整備し、公開の準備 (Iwahashi et al. in prep) を行い、Dagik Earth のコンテンツとしても利用可能にする予定 (2018 年 2 月 18 日のオーロラハンター 3 を国文学研究資料館で開催) である。本発表では国友黒点の解析事例のいくつかや、今後の展開についても議論する予定である。

久保田諒, 鈴木美好 (2003) 「国友藤兵衛の望遠鏡と太陽観測」大阪経大論集第 54 巻第 1 号 97 頁

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07a 明治20年の皆既日食を撮影したと思われる写真の発見

大越 治（国立天文台）

明治20年（1887年）8月19日、新潟県から福島・茨城県にかけて皆既日食が見られた。この日食は近代になってから本州で初めて起きたもので、我が国の天文学者が初めて日食を科学的に観測し、政府（文部省）が一般市民に対して観測を奨励した日食としても知られている。日食当日は、皆既帯全域にわたって天候が思わしくなかった。そのため、新潟県三条で当時の内務省地理局観測隊の杉浦正治氏が撮影したコロナの写真は、世界的にも貴重な資料とされている。この日食の国内における観測についての調査は齊藤国治氏・篠沢志津代氏によって、東京天文台報に数回にわたって報告されている。この日食に関して新たな資料が見つかった。茨城県水戸市で撮影されたとみられる写真（紙焼きのプリント）である。撮影者は天文学者あるいはその指導を受けた観測隊員ではなく、町で開業している写真師であった。この写真ははたして本物であろうか。発見されたプリントを調べ、写真師を割り出し、当時の社会における写真の役割と技法を調べ、文部省の奨励によって残された数多くの一般市民のコロナスケッチ（国立天文台所蔵）と比較検討の結果、発見された写真の一部は実際に日食を撮影したものである可能性が高いことが分かった。本講演では発見の経緯から現在までに分かったことを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08b 埼玉大学における中・高校生への天文学の研究体験指導 (2)

平塚雄一郎、大朝由美子、小田達功、木内穂貴 (埼玉大学)

近年、学習指導要領によらない課題研究を通じた体験的・問題解決的な学習による人材育成が重要視されている。我々の研究室では、天文学の研究活動を通じた科学への啓蒙を目的とし、高校生対象の理工系人材を養成する「埼玉大学ハイグレード理数高校生育成プログラム (HiGEPS)」の一環で観測実習を行ってきた。加えて、教員養成学部の大学2年生対象に必修の地学実験でも行った。前回、測光的手法に基づいた研究に絞って紹介した(小田 2017 年秋季学会)が、本講演では分光をテーマにした研究について紹介する。分光の原理については、中高の物理でも学んでいるため、天文教育だけでなく物理教育にもつながる研究指導を狙いとしている。

分光の研究体験は 2016 年度と 2017 年度に 1 名ずつの高校生、2016 年度に 7 名、2017 年度に約 50 名の大学 2 年生を対象に実施した。高校生の実習では埼玉大学 55cm 望遠鏡 (SaCRA)/埼玉大学中分散エシエル分光器 (SuSA_{no})、大学生の実験では 2016 年度は SaCRA/SuSA_{no}、2017 年度はデジタル一眼レフカメラ/回折格子を使用した。SaCRA を用いた観測実習では、研究の一連の流れを理解し、科学的な思考力を育むことを目的として、受講生の興味・関心に合わせてテーマを設定し、高度な研究活動を主体的に行うことで、観測の立案もしくは実際の観測・データ解析と議論まで年間を通じて研究を進めた。その結果、先行研究で前主系列星候補と報告された (Li et al.2000) 天体が、主系列星である可能性が高いこと等が分かった。2016 年度の高校生はこれらの成果をまとめ、HiGEPS の研究発表会で発表を行い、2017 年度の高校生も天文学会ジュニアセッションで発表予定である。一眼レフカメラを用いた実験では、学生の分光に対する理解を促すことを目的として、高校や大学の講義で学ぶ原理だけでなく、身近なものを使用することで、学生が教育現場で実践できることも狙いの一つである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09c 時間変動データを用いた自主学習型解析体験教材の開発I. 小惑星探査と視差

西浦慎悟 (東京学芸大教育), 山縣朋彦 (文教大教育), 伊藤信成 (三重大教育), 浜部勝 (日本女子大理)

我々は、2011年から、主にアーカイブ・データを用いた自主学習型解析体験教材の開発に取り組んでいる。これは、複数の課題毎に観測データ・解析用ソフトウェア・解説マニュアルなど一式を取り揃え、初学者ではあるが天文学領域に高い関心を持つ中学・高校生の、自主的な研究体験学習を可能にすることを最終目標としている (伊藤他 2012 秋季 Y05b; 2013 秋季 Y13b; 2014 春季 Y10a; 西浦他 2014 春季 Y11c; 2016 春季 Y17c; 伊藤他 2016 秋季 Y14c)。特に 2017 年度からは、変光や固有運動といった時間変動現象を扱った教材開発に主眼を置いている。

今回我々は、黄道上の衝となる天域に対して、真夜中とこの前後 1 時間に 3 回の撮像観測を行うことで小惑星を検出し、視差を用いてその距離を求める教材セットを作成した。観測には、東京大学木曽観測所の 105cm シュミット望遠鏡と Kiso Wide-Field Camera (=KWFC) を使用し、2016 年 08 月 08 日 23 時から翌 09 日 01 時にかけて、 V および R_c バンドによる各露光時間 300 秒および 180 秒の撮像観測を行った。

従来、中学・高校生を対象とした小惑星の検出には、画像解析ソフトのプリンク機能を用いることが多かったが、我々は、観測で得られた 3 枚の画像を擬似カラー合成することで、小惑星のような移動天体を視覚的に浮き出させる方法 (山縣他 2017, 文教大学紀要, in press) を採用し、これがプリンクを用いた従来の検出方法よりも、高い検出率を達成でき得ることを確認した。ポスターでは、この方法を具体的に解説し、プリンクによる検出との比較・考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y10c 3次元バーチャルリアリティ天文学教材の開発

佐藤彰紀, 杉浦大祐, 野田常雄, 中村理央 (久留米工業大学)

天文学・宇宙物理学において、もっとも支配的な力は万有引力である。しかし、万有引力の影響で天体がどのような運動をするのか、イメージできる大学生は理系でも少ない。教科書や2次元のモニタでのシミュレーション等で学ぶと、天体の運動は複数の天体でも同一面に乗って運動するものと誤解していることも多い。天文学系の講義において、Mitaka 等を利用し視点を変えながら解説を行っても、3次元での天体の運動をイメージさせることは容易ではない。

近年、バーチャルリアリティ(VR) デバイスが比較的安価に入手できるようになってきた。VR デバイスを用いることで、コンピュータによって構築された3次元の仮想空間内に自己を投射し、そこでの現象を“見る”ことが容易にできるようになった。また、VR 空間内で手の動きを加えるコントローラも発売され、これらを用いることで仮想空間内の物体に“触れ”、その動きに干渉することができるようになってきた。

本研究では、3次元の仮想空間内に恒星系を模した環境を構築し、VR 環境として“見る”ことができるようにした。その恒星系に小惑星を“投げ入れる”ことで、恒星系における物体の運動を再現する教材の開発を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11b 天文学は私たちの文化、最新天文学の普及をめざすワークショップの活動

大西浩次(長野高専)、本間隆幸(府中市郷土の森博物館)、根本しおみ(国立天文台)、波田野聡美(国立天文台)、豊増伸治(豊橋市視聴覚教育センター)、塚田 健(平塚市博物館)、永井智哉(筑波大学計算科学研究センター)

科学教育に携わる人が、最先端の科学を学ぶことは、科学教育普及活動で重要な意味を持つ。しかし、科学教育や天文教育の現場に携わる人々が系統的に学習する機会は極めて限られている。そこで、「最新の天文学の普及をめざす会」では、2004年から毎年、天文教育に携わる人々と研究者との連携による最新天文学のワークショップを開催してきた。最近の例では、電波天文学最前線、アストロバイオロジー、重力波天文学などをテーマとした。

このようなワークショップを通じて、天文学を伝える科学コミュニケーターに最新の天文学の成果を学ぶ機会を提供すると共に、科学コミュニケーターと研究者との交流や共同作業などを通じて、天文教育普及活動や研究者のアウトリーチの手法の向上をはかってきた。このような活動の具体的な成果として、複数のプラネタリウムの番組の制作や、展示企画、講演会の実施などが挙げられる。

2017年の第13回では「シミュレーション天文学」をテーマとし、牧野淳一郎(神戸大/理研 AICS)、堀田英之(千葉大)、小南淳子(東工大)、木内建太(京大)、大須賀健(国立天文台)、吉田直紀(東大/IPMU)の皆さんを講師として、講義と共に、グループワークや交流会、スーパーコンピュータ「京」の見学などを行なった。

この様な活動を通じて、ひとつに天文教育普及に携わる人々のためのワークショップであると同時に、最前線の研究者の皆さんも「天文学の素晴らしさを伝える力」を磨く機会にもなり、天文学の文化を育てるための有効な手段と考える。今後の継続的な運営に協力をお願いしたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12b 光速に近い速度の宇宙船からの星空シミュレーションと天の川の見え方

野本知理 (千葉大院工)

科学ライブショー「ユニバース」(科学技術館(東京)の定期プログラム)では、恒星間航行シミュレータ HippLiner (<http://t.nomoto.org/HippLiner/>)を開発して太陽系近傍の恒星分布や固有運動の可視化を行うと共に、光速を超えることができないという現実の物理法則に即した星間旅行シミュレーションを行うライブショープログラムの開発・上演を近年行ってきた。

宇宙船が光速に近づいた時見える星空は光行差やドップラー効果によって通常我々が目にするものとは大きく異なるものになる。こうした星空をシミュレーションする試みは HippLiner を含めいくつかあり (McKinney (J. Am. Phys., 47, 309, 1979), *StarStrider* (1999) など)、星が虹のように見える効果 (スターボウ (星虹)) はありえないことなども示されている。一方、これまでのシミュレーションは多くても Hipparcos 星表の 10 万個程度の星を使用したものであり、より暗い天の川の見え方まで示されたことはなかった。

そこで今回、Hipparcos、Tycho2 星表、および HSOY 星表に含まれる Gaia DR1, 2MASS, USNO-B1.0 のデータから、複数の波長で等級値を持つ 4.2 億個の星を使用して、光速に近づいた宇宙船から見た星空を再現した。このため、各星表の等級から有効温度を概算した上で星のスペクトルを黒体輻射として近似し、ドップラー効果・光行差の効果を加えた後の可視域のスペクトルを方向ごとに足し合わせて CIE XYZ 色空間に変換することで、人間が見た星空に対応する全天球画像を生成する可視化プログラムを制作した。

得られた画像は速度増加に従って天の川に由来するリング状の光分布が進行方向に集まり、また進行方向に応じてその分布や色が変化して見えるものとなり、これまでとは大きく印象が異なるものになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13b 「長野県は宇宙県」サマー・スタンプラリー・イベントについて

衣笠健三, 縣秀彦, 堀内貴史 (国立天文台)、川村晶 (星の手帖社)、他「長野県は宇宙県」連絡協議会メンバー

2016年11月に開かれた第一回「長野県は宇宙県」ミーティングでの「松本宣言」より長野県下の関連施設・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(事務局:国立天文台野辺山宇宙電波観測所)は、その第一弾企画として、2017年夏において、県内約50の施設や天文イベントをつないだ『「長野県は宇宙県」サマー・スタンプラリー・イベント』を実施した。これは、長野県下に限らず広く一般市民や子どもたちの興味・関心を喚起し、県内における天文・宇宙関連のさまざまな活動や星空環境を広く周知することを目的としたものである。

実施期間は2017年7月22日(土)~8月31日の41日間で、夏休み期間とあわせたものであり、JRと長野県を中心に実施した「信州デスティネーションキャンペーン」と連動した企画のひとつとなった。

イベントに先立って、5月18日~6月29日の43日間においてクラウドファンディングにて実施資金の寄付を募った。また、専用口座においても、個人、企業、団体から寄付金や協賛金を申し受けることもできた。イベント実施にあたっては、メディア等に広く広報をし、上田創造館などにて開催初日にキックオフイベントを実施するといった活動も行った。ただし、この期間は、例年に比べても雨や曇りなどの天候が多く、企画していたイベントの多くは実施することができなかった。最終的な参加人数は、スタンプラリーに使ったシートの残数からの推計ではあるが、およそ16500名となった。また、スタンプラリーの景品についてはおよそ4000名の方々に届いたと思われる。

本講演では、このイベントとともに、「長野県は宇宙県」関連の他の動きについてもあわせて紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14b TOYAKO マンガ・アニメフェスタでの天文イベント：5年の記録と評価

渡辺謙仁 (北海道大学 / 札幌宇宙科学研究会)

「TOYAKO マンガ・アニメフェスタ」(以下、TMAF)とは、北海道洞爺湖町において2010年から毎年6月の2日間に行われているマンガやアニメの祭典である。地元住民の手によって企画・運営され、第5回以降の来場者数は5万人を超えている(主催者発表)。温泉街などが丸々コスプレ会場になり、コスプレパレード、痛車と呼ばれるアニメ調の絵が描かれた自動車の展示、同人誌即売会、声優やアーティストによるステージイベント、アニメなどの複製原画展などが行われる。参加者は若い女性のコスプレイヤーや彼女たちを撮影するカメラマンが多いように見受けられる。

著者はこのTMAFにおいて、2013年から毎年計5回、天文イベントを開催してきた。各年のイベントはそれぞれ多様な背景や狙いに基づいていたが、共通するのはホルツマン(2014)の言うような「プレイ(遊演)」を通じた既存の文脈を乗り越えるような学びのステージを構築してきたことである。また、天文講演会を聴きに来るような中高年の男性でも、公開天文台やプラネタリウムに来るような家族連れやカップルでもない、コスプレをする若い女性らに天文に親しむ機会を提供したことは、特筆すべきことである。

天文イベントの参加者に対し、クレスウェルとプラノークラーク(2010)による混合研究法に基づき、質と量の両面から天文イベントを評価するように設計されたアンケート調査を実施した結果、天文イベントは普段天文に馴染みがない参加者の多くにポジティブな天文イメージをもたらしたことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15b 国立天文台天文データセンターの共同利用新データ解析システム～機能・性能のアップグレードについて～

田中伸広, 磯貝瑞希, 巻内慎一郎, 亀谷和久, 小澤武揚, 山中郷史, 藤川真記子, 古澤久徳, 高田唯史, 市川伸一 (国立天文台)

国立天文台天文データセンターでは、共同利用として、天文学および関連分野の研究のために、データ解析用計算機システム(多波長データ解析システム)を提供・運用を行っている。当システムは、様々な天文データの解析とそれを用いた研究のために、広範囲の波長域をカバーする多種多様なソフトウェアが使用できる環境を備えている。このため、当システムのユーザは、様々な波長域の天体観測データを用いた研究を効率よく進めることができる。

現在、我々は計算機システムのリプレース作業を進めている。本リプレース作業によってリニューアルされるデータ解析システムは、現行システムと比較して、総合的な計算機性能が約4倍、ディスク容量が約2倍にアップグレードされ、よりパワフルな解析環境をユーザへ提供することが可能になる。また、将来的にはさらなる性能向上も検討している。新解析システムは2018年3月1日に運用開始の予定である。本発表では、そ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](#)

Y16b 夜空の明るさの継続的な測定方法および測定結果

柴山万優子, 小野間史樹 (星空公団)

自然光以上に夜空のバックグラウンドが明るくなるいわゆる「夜空の明るさ」は、これまでの調査によって人間活動に伴う照明の上方放射が主な原因であることが明らかになっている。また、上空の散乱率によっても夜空の明るさが変化することも明らかになっており、夜空に対する照明の影響を評価する上で、天候と夜空の明るさの関係を明らかにすることも必要となっている。このため星空公団では、2017年7月から広島市こども文化科学館の屋上にカメラを設置し、この夜空の明るさを継続的に測定している。

市販のデジタルカメラと制御用のワンボードコンピュータを組み合わせることで、夜空の画像を自動的に撮影しオンラインで解析することが可能となっている。デジタルカメラによる撮影結果はRAW形式で保存し、明るさに対する測定値の線形性を確保した。撮影は日没後の19時から明け方の5時まで15分ごとに行い、RGB各色の背景の明るさとそのばらつきを評価した。

測定結果より、夜空の明るさは生活リズムによって変化するカーブを描き、天候により1等級ほど日々変化することが確かめられた。また、夜空の明るさと天候の関係を明らかにするため、撮影した画像から等級とRGB各素子の値、背景のばらつきとの関係を求めた。その結果、雲がある画像では、雲に地上の光が反射するためGに対するRの割合が増えること、ばらつきが大きくなることが明らかになった。この関係は、夜空の明るさ測定を自動化する際、天候判断に実用できる。講演では、カメラ装置の紹介や実際の撮影画像とともに具体的な例を示し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y17b 八重山諸島における夜空のバックグラウンド測定結果

小野間史樹 (星空公団), 竹植希 (東京工業大学), 越智信彰 (東洋大学)

八重山諸島では、国内初の星空保護区である「ダーススカイプレイス」の認定取得のため「光害」の対策や啓発活動といった星空保護の取り組みが進められている。しかしながら、八重山諸島で夜空のバックグラウンドを定量的かつ網羅的に測定した報告はほとんどなく、認定を目指す上で全島での夜空の明るさの状況把握が強く望まれている。このため我々は、デジタル一眼カメラを使用し、八重山の各島において夜空のバックグラウンドを測定した。

本調査では、低輝度での夜空のバックグラウンドを調査するため、デジタル一眼カメラを用いて撮影した画像から、標準星のカウント値とバックグラウンドのカウント値を比較し、背景の明るさを測定した。あわせて低空の恒星の明るさを高度を変えて測定し、大気的光学的厚みを算出することで標準星の輝度の補正を行った。測定は八重山諸島のうち、石垣島、西表島、小浜島、黒島、波照間島の5島で行った。調査の結果から、月出時のみでしか観測できなかった波照間島をのぞき、すべての地点で $21.6221.99 \text{ mag/arcsec}^2$ と非常に良好な星空環境が保存されていることが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y18c 3度目の正直？ 画像データからの流星目視カウント回数。

戸田雅之（日本流星研究会, チーム TUSK）

高感度一眼レフデジタルカメラと明るい広角レンズを用いた秒単位のシャッタースピードによる連続撮影を行っている。当時最高感度 25,600 を達成したニコン D 3 を 2007 年 11 月に導入し、レンズやシャッタースピードの選択や実際に観測しながら試行錯誤を繰り返し、2009 年 1 月から主要流星群の流星観測を実施している。カメラセッティングは対角線画角 74 度の 28mm F/1.4 レンズにシャッタースピード 1 秒（後に $1 / 1.3$ 秒 = 0.77 秒に変更）、ISO 感度は空の透明度、観測地の光害状況に応じて 6,400 から 25,600 の間を選択して連続撮影を実施している。流星群が最も活動する極大日は容易に知ることが出来るが、個々の流星がいつ・どこで・どの方向に何等の明るさで出現するかの予測は不可能なので、写野内に流星群放射点を入れて連続撮影を行い、流星が出るのを待ついわゆる「待ち受け撮影」を行っている。1 時間 3000 コマを超える画像データセットから流星と流星痕を抽出する現時点の方法は「人力」。撮影画像を 1 コマずつ PC 画面に表示して目視で判別している。3 度見直せば見落としはより減らせるとされている。本発表では目視で抽出した流星の抽出記録から何回目抽出したかを記録したデータを用いて解説と考察を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y19b 第3代所長・池田徹郎が描いた緯度観測所絵巻

馬場幸栄（一橋大学）

国立天文台の前身組織のひとつである緯度観測所（岩手県）の風景を描いた絵巻物が、滋賀県の民家で見つかった。天文学者であり気象学者でもあった池田徹郎（1894 - 1981年）が緯度観測所の第3代所長を務めていた時代に水彩絵の具を用いて制作したもので、幅2メートル56センチの大作である。この緯度観測所絵巻には当時同所にあった多数の建造物群が描写されており、現存する事務所（現・木村栄記念館）、本館（現・奥州宇宙遊学館）、眼視天頂儀室のほか、取り壊されて今となっては実物を見ることができない新館、赤道儀室、新眼視天頂儀室、浮遊天頂儀室、小使室、所長官舎なども描かれている。これらは国立天文台水沢 VLBI 観測所が所蔵する緯度観測所の写真とは異なる視点から各建造物の外観をとらえているため、緯度観測所に存在した建造物群の構造・様子をより正確に理解するうえで重要な史料である。さらにこの絵巻は、第2代所長・川崎俊一（1896-1943年）の娘・るい氏が滋賀県で結婚することになった際、結婚祝いとして池田徹郎からるい氏に贈られたものであり、池田と川崎という二人の科学者の家族ぐるみの交流・友情を理解するうえでも貴重な史料であると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y20a X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)の危機対応広報とその結果

矢部あずさ, 生田ちさと (JAXA 宇宙科学研究所)

X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)に関する広報活動は2つに分けることができる。1つは、主に打上げ前に行っていた、プロジェクトの認知度向上及び、X線天文学・衛星の科学目的についての理解を深めてもらうための活動である。もう1つは、軌道上で衛星に異常事象が発生した後、組織の信用・信頼へのダメージを最低限に抑えるための危機対応である。

ASTRO-Hは2016年2月17日に種子島宇宙センターから打ち上げられた、日本で6番目のX線天文衛星である。しかし、打上げから約1ヶ月後の3月26日に通信不通となり、4月28日には運用断念(衛星の喪失)に至った。異常事象発生後は継続的に記者会見を開催し、ASTRO-Hの状況や、推定されるメカニズムについての情報提供を行った。厳しい批判に曝されることは避けられない事態ではあったが、会見内容や報道を受けてのソーシャルメディア上(Twitter)での反応は中立的なものが多かった。

本発表では、ASTRO-Hの異常発生後を事例に、組織の危機とその対応体制、記者会見・プレスリリース、個別取材・問い合わせへの対応の内容について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y21a アストロバイオロジーセンターの広報活動

日下部展彦 (ABC)

アストロバイオロジーセンター (ABC) は、宇宙生物学という学際的研究を推進するため、2015年に自然科学研究機構内に設置された新しいセンターである。とりわけ、太陽系外惑星観測の著しい進展を背景として、「宇宙における生命」を科学的に探査し、その謎を解き明かすアストロバイオロジーの研究を目指している。近年では、太陽系外惑星の発見数も4000個近くなり、宇宙生命の議論に直接つながるようなハビタブルゾーンに存在する地球型惑星も発見されるようになった。しかし、アストロバイオロジー研究はまだ新しい分野であり、その広報活動の例はまだ少ないのが現状である。

「宇宙における生命」というテーマは、天文学の中でも最も興味深い分野の一つであり、様々な一般向け雑誌などで系外惑星などの特集が組まれる中、まるで見てきたかのような「系外惑星の地上風景」が描かれ、SF映画の中では多様な「宇宙生命」のキャラクターが登場している。

一方、太陽系外惑星の風景はデータに基づく想像図であり、生物系研究者と共同研究を進めていても、「宇宙人の姿」を直接研究しているわけではない。そこで、このような背景を考慮し、アストロバイオロジーという研究分野を社会に浸透させるため、科学的成果に基づいた広報活動を行っている。これらの取り組みについて紹介し、今後の課題について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a Mitaka における科学的可視化について：その2

加藤恒彦, 小久保英一郎, 縣秀彦, 中山弘敬, 長谷川鋭, 福士比奈子 (国立天文台)

国立天文台 4次元デジタル宇宙 (4D2U) プロジェクトでは、天文シミュレーションソフト「Mitaka」の開発をしている。これは宇宙の様々な観測や理論モデルに基づいて、地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して様々な天体や構造を見る事ができるソフトである。これまで、国立天文台三鷹キャンパスにある立体視ドームシアターで一般向け公開の上映などに使用されてきたほか、フリーソフトとしても公開をしており (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>)、教育用途、上映、展示、講演、個人での利用、など様々な用途で広く使われてきた。最近ではバーチャルリアリティ (VR) にも対応をしている。

Mitaka の主要な機能は天体の位置データに基づいた宇宙の階層構造を見せることであるが、そのほかにも一部の天体については物理法則に基づいた「科学的可視化」を行っている。現行バージョンでは地球大気、銀河系モデル、土星リング、月などで、光の散乱・吸収の物理モデルと輻射輸送の方程式に基づいた可視化をしている。前回 2017 年秋の年会では、土星リングや月の可視化について紹介をした。今回は、Gaia 衛星による恒星の観測データを用いた天の川の可視化、銀河系モデルの可視化、ブラックホールの重力レンズ効果の可視化などについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z1. すばる PFS】

3月14日（水）午後（13:00-15:00）[B会場]

Z101r	13:00	PFS で挑むサイエンス 村山齊 (UC Berkeley/東京大学)
Z102r	13:24	PFS プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2018 田村直之 (東京大学)
Z103a	14:00	PFS 予想される装置性能 矢部清人 (東京大学)
Z104a	14:12	Proto-type Server of Science Database for HSC + PFS 峯尾聡吾 (国立天文台)
Z105a	14:24	すばる PFS が拓く宇宙論：ダークエネルギー、ニュートリノ質量、重力理論 高田昌広 (東京大学)
Z106a	14:36	PFS に向けた大規模シミュレーション群と機械学習を用いた精密理論予言 西道啓博 (東京大学)
Z107a	14:48	Splashback Radius of Non-spherical Dark Matter Halos from Cosmic Density and Velocity Fields Teppei Okumura (ASIAA)

3月15日（木）午前（9:30-11:30）[B会場]

Z108r	09:30	すばる PFS による銀河分光サーベイへの期待 太田耕司 (京都大学)
Z109a	10:06	PFS Galaxy Evolution Survey. I: Galaxy formation and evolution at $0.7 < z < 7$ with Subaru Prime Focus Spectrograph Silverman, John (The University of Tokyo)
Z110a	10:30	PFS Galaxy Evolution Survey. II: Opening New Windows of Galaxy Formation Study — Large-Scale Interplay between Galaxies and the IGM — 大内正己 (東京大学)
Z111a	10:42	PFS Galaxy Evolution Survey. III: Modeling for PFS using cosmological simulations: feedback, metals, and IGM Kentaro Nagamine (Osaka University)
Z112a	10:54	PFS AGN survey: science cases and observing strategy Yoshiki Matsuoka (Ehime University)
Z113a	11:06	HI Tomographic survey in the SSA22 field (SSA22-HIT) (I): Overview and initial results 馬渡健 (大阪産業大学)

3月15日（木）午後（13:00-15:00）[B会場]

Z114r	13:30	ハワイ観測所からの PFS への期待 吉田道利 (国立天文台)
Z115a	14:06	すばる PFS が拓く近傍宇宙論と銀河暗黒物質の正体の解明 千葉柁司 (東北大学)
Z116a	14:30	PFS による銀河系外部ハローの元素組成分布の解明 石垣美歩 (東京大学)
Z117a	14:42	PFS による銀河系内に生き残った初代星の探査 石山智明 (千葉大学)
Z118a	14:54	すばる PFS による銀河系矮小銀河観測を用いた暗黒物質ハロー構造の精密測定 林航平 (国立天文台)
Z119a	15:06	矮小楕円体銀河からのガンマ線を用いた暗黒物質間接検出の精密化 堀米俊一 (東京大学)

Z101r PFS で挑むサイエンス

村山 斉 (東京大学カブリ IPMU)

PFS (Prime Focus Spectrograph) は今までにない大規模な次世代のファイバー多天体分光器で、すばる望遠鏡の大口径と超広視野を生かして、近傍宇宙から最遠方宇宙までサーベイを行うことができる装置である。Hyper Suprime-Cam (HSC) の Subaru Strategic Program (SSP) による imaging と組み合わせる spectroscopic followup のサーベイとなる。宇宙論、銀河形成・進化、銀河考古学の3本の柱を持ち、世界でトップのサイエンスとレガシーデータを生み出すことを目指している。国際協力で建設が進められ、2020年末から2021年はじめに科学観測の開始を念頭に、SSPの提案書も執筆が始まっている。コミュニティの多くに今後の議論に広く参加していただくことを期待し、今までのサイエンスの検討内容を大まかにレビューする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z102r PFS プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2018

田村直之 (東京大学カブリ IPMU), ほか PFS プロジェクトオフィス、PFS コラボレーション

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野ファイバー多天体分光器である。すばる主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーに天体や空からの光を導入し、「青」「赤」「近赤外」3つのカメラからなる分光器システムで 380nm から 1260nm の波長範囲に及ぶスペクトルを一度に取得する。PFS と、すでに稼働中の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は SuMIRe 計画 (“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts) の両輪であり、遠方銀河と星の広天域巨大統計から、ダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成、進化の物理過程に迫るのが目的である。PFS の開発は、東京大学カブリ IPMU を中心とした国際チームにより、2019 年半ばの試験観測開始、2020 年終わりから 2021 年初頭の科学運用開始を目指し進めている。現在は、ファイバーポジショナー “コブラ”、サイエンスグレード検出器 (CCD、H4RG) といった重要な個別要素の調達を完了し、サブシステムの組上、試験を行っている。例えば、“コブラ” は 57 本ずつのモジュールに組み上がり始め、良好なファイバー配置性能が確認されつつある。ファイバー配置の際ファイバーの現在位置を精密測定するためカセグレンに搭載されるメトロロジカメラについては、2018 年春頃のすばるへの納入を目指し組上試験が進められている。分光器は、赤カメラを搭載した状態で性能試験が進められている。これらと並行してコミショニング計画の立案を行い、装置の運用についてハワイ観測所と相談を進め流とともに、サイエンスチームのすばる戦略枠観測計画検討に合わせ観測準備ツールやシミュレータの整備、データベースの開発等も進めている。本発表では、プロジェクトの概要、装置開発の最近の進捗、期待される装置性能概略と、今後の予定について紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z103a PFS 予想される装置性能

矢部清人, 田村直之, 高田昌広, 下農淳司, 森谷友由希 (東京大学、カブリ数物連携宇宙研究機構), 他
PFS コラボレーション

現在、我々は2020年末からの科学運用を目指し、すばる望遠鏡主焦点多天体分光器 (PFS) の開発を進めている。それと並行し、すばる戦略枠観測 (SSP) の枠組みにおける大規模分光サーベイの計画立案も進めている。具体的なサーベイ計画を策定するにあたり、予想される装置性能が重要となるが、PFS プロジェクトオフィスでは、装置の各コンポーネントの仕様値や一部の実測値などを元にして、期待される装置性能の評価を現在行っている。380 nm から 1260 nm の波長範囲において 20-30% の装置効率が達成される見込みで、期待される点源に対する検出限界 (1 時間積分、 5σ) は連続光については 22 等 (AB) 程度、輝線については $1 \times 10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 程度を見込んでいる。これは、他の望遠鏡の装置と比較し、ほぼ同様の装置性能となっている。これらの結果を取り込んだ Exposure Time Calculator (ETC) を公開しており、様々なケースに対して予想されるスペクトルのシミュレーションを行うことが可能である。本講演では、装置性能の評価の詳細について述べ、幾つかのサイエンスケースについて予想されるスペクトルの例などを示す。また、現在想定している SSP サーベイ計画およびそのシミュレーションについても簡単に触れる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z104a Proto-type Server of Science Database for HSC + PFS

峯尾聡吾, 田中賢幸, 小池美知太郎, 山田善彦 (国立天文台), Ani Thakar, Dmitry Medvedev, Sue Werner (JHU), 他 HSC+PFS teams

国立天文台と Johns Hopkins University (JHU) を中心とするチームで 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。我々はすでに Hyper Suprime-Cam (HSC) データ公開のために、天体カタログ検索 (CAS Search)・データ検索 (DAS Search)・hscMap(画像ブラウザ)・各種ツールを開発し、データ公開サイトで提供しており、これらを発展させて PFS のデータも扱えるようにする予定である。

ユーザーはこれらを使って手元のパソコン等にカタログ (の一部) や画像データをダウンロードして科学的成果を得る訳だが、それぞれのツールを使って別々にダウンロードして、手元でそれらをまとめる必要があり、手間が煩雑になることがある。そこで、現在運用しているカタログ・画像データ検索と 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 等の、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を作成しようとしている。これにより、データの置いてあるリモート側で、データを一元的に扱い、ある程度の解析・作業をし、手元にダウンロードしてくるのは最小限のデータや画像・プロット等のみということもできるようになるであろう。

講演では、これらの機能を提供するプロトタイプサーバー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](#)

Z105a すばる PFS が拓く宇宙論：ダークエネルギー、ニュートリノ質量、重力理論

高田昌広 (カブリ IPMU) PFS 宇宙論チーム

広天域銀河分光サーベイは、銀河の3次元分布を通して、宇宙の大規模構造を詳細に調べることを可能にする。特に、銀河分布のバリオン音響振動スケールの測定から宇宙論距離を正確に推定することができ、また、銀河の固有運動が引き起こす赤方偏移歪み効果 (redshift space distortion) を測定することで、構造形成の成長率 (growth rate) の制限および宇宙論スケールにおける重力理論を検証できる。

すばる望遠鏡の集光力、PFSの広視野、高感度、2394天体の同時分光の性能の威力を最大限活用することにより、約すばる100晩のPFS宇宙論サーベイは、広い赤方偏移範囲 $z = [0.6, 2.4]$ に渡り、極めて効率良く、数百万個の [OII] 輝線銀河を広い天域領域に渡り分光サーベイすることを可能にする。PFS宇宙論の科学目標は、分光銀河サーベイから得られる宇宙論観測量から、(1) ニュートリノ質量を $\sum m_\nu < 0.1 \text{ eV}$ (95% CL) の精度で制限する、(2) ダークエネルギーの密度の時間進化あるいは宇宙論スケールにおける重力理論の破れの検証から、構造形成の標準模型 Λ CDM モデルを棄却する (あるいは高精度でテストする)、ことである。また、このPFS宇宙論は、すばる Hyper Suprime-Cam のイメージング銀河サーベイによる重力レンズ宇宙論とも相補的であり、両者を組み合わせることで、さらに強力な宇宙論研究を展開できる。本講演では、現時点のPFS宇宙論のサーベイ案 (露出時間、サーベイ領域、輝線銀河のターゲット選定、宇宙論観測量など) を紹介し、このデータで可能になる宇宙論について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z106a PFSに向けた大規模シミュレーション群と機械学習を用いた精密理論予言

西道啓博、小林洋祐、高田昌広 (Kavli IPMU)

銀河赤方偏移サーベイに見られる赤方偏移歪みを用いることで、銀河の特異速度場を間接的に測定することができる。銀河の速度場は、これを駆動する重力法則と重力源である暗黒物質の密度に強い感度を持っており、バリオン音響振動などから来る宇宙膨張への制限と組み合わせることで、暗黒エネルギーと修正重力を区別できる。

従来、このテストではあらゆる非線形効果をモデル化して取り除くことで揺らぎの線形成長率パラメタを導き出し、重力法則を特徴付ける指針としていた。こうすることで、相対的に理論的理解の乏しい非線形領域に左右されないロバストなテストを行うことが、これまで主流の方法論であった。一方で、非線形領域にも宇宙論的に重要な情報が隠れている。これを取り出すには高度な解析的計算や大規模なシミュレーションが必要であり、非線形領域にどこまで迫れるかが今後の観測のポテンシャルを引き出す上での大きな鍵となる。

本講演ではこれに向けた大規模宇宙論的 N 体シミュレーションプロジェクトを紹介する。我々は6次元宇宙論パラメタ空間を効率よくサンプリングし、100 億体クラスの大規模数値シミュレーションを約 200 ラン実行することで、銀河をホストする重いハローのクラスタリングを宇宙論パラメタの関数として明らかにした。これを機械学習にかけることで、パラメタ空間内の任意のパラメタセットについて予言する数値コードの開発を進めている。これを用いることで、通常議論される線形成長率を介することなく非線形領域の持つ情報まで取り入れてどのような宇宙論的制限が得られるか議論できるようになった。講演では、物質の密度パラメタ Ω_m と揺らぎの大きさを規定するパラメタ σ_8 との縮退が解け、赤方偏移歪みだけからこれらのパラメタを決定できることを実証する。今後これをさらに発展させ、PFS に向けてどのような予言が可能になるのか、見通しについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z107a Splashback Radius of Non-spherical Dark Matter Halos from Cosmic Density and Velocity Fields

Teppei Okumura (ASIAA/Kavli IPMU), Takahiro Nishimichi (Kavli IPMU), Keiichi Umetsu (ASIAA), Ken Osato (Univ. of Tokyo)

We investigate the splashback features of dark-matter halos based on cosmic density and velocity fields. Besides the density correlation function binned by the halo orientation angle which was used in the literature, we introduce, for the first time, the corresponding velocity statistic, alignment momentum correlation function. Using large-volume and high-resolution N -body simulations, we measure the alignment cross-momentum correlation function of halos and subhalos. On halo scales, $x \sim 1\text{Mpc}/h$, we detect a sharp steepening in the momentum correlation associated with the physical halo boundary, or the splashback feature, which is found more prominent than in the density correlation. We also find that, if the density field traced by subhalos is used, the splashback radius is determined to be $\sim 5\%$ smaller than the true value due to the halo bias. On the other hand, the momentum field provides the unbiased estimator of the splashback features. Using the HSC survey to identify clusters of galaxies and the PFS survey to obtain galaxy redshifts, one will be able to determine the splashback features based on the cosmic velocity field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z108r すばる PFS による銀河分光サーベイへの期待

太田耕司 (京都大学)

すばる望遠鏡の次世代観測装置として、主焦点多天体分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS) の開発が進んでいる。PFS は、広い視野に多数のファイバーを設置することで、また可視から J バンド付近までの波長をカバーすることで、中間赤方偏移から高赤方偏移までの銀河を大量に分光観測することを可能にする。PFS を用いた銀河の大規模な分光サーベイによって、銀河形成・進化のいろいろな側面の理解が飛躍的に進むものと期待される。例えば、宇宙における星形成の歴史、星質量集積の歴史、化学進化、銀河のガス流出・流入、銀河間ガスの存在形態、AGN フィードバック、宇宙の再電離、これらの環境による違い、等々多くの側面に、これまでに達成し得なかった大量サンプルを用いて迫っていくと期待される。現在、PFS チームによってサイエンスの検討が進んでいるが、これを念頭に、チーム外の目から見て、PFS によるサーベイ観測への期待を述べたい。また、(もしあれば) こんなサイエンスにも挑んで欲しいといった新たな提案やサーベイの進め方等についても触れられればと考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z109a PFS Galaxy Evolution Survey. I: Galaxy formation and evolution at $0.7 < z < 7$ with Subaru Prime Focus Spectrograph

John Silverman on behalf of the PFS Galaxy Evolution Survey Team

We will review the primary science goals and design of a spectroscopic survey of close to 350,000 galaxies over 15 square degrees of the HSC SSP Deep layer. Key science topics include the star formation history and mass assembly of galaxies as a function of environment, chemical enrichment, outflows, connection of galaxies/AGN to the larger-scale gas reservoirs, and the physics of the epoch of reionization. A broad overview will be presented with more detailed presentations on tomographic mapping of the HI gas distribution, reionization, and supporting simulations to follow. Furthermore, we will briefly touch upon synergy with other facilities such as VLT/MOONS and WFIRST.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z110a PFS Galaxy Evolution Survey. II: Opening New Windows of Galaxy Formation Study — Large-Scale Interplay between Galaxies and the IGM —

Masami Ouchi (U. Tokyo) on Behalf of the PFS Galaxy Evolution Survey Team

Following the overview talk of the PFS galaxy evolution survey, we present the study of large-scale interplay between galaxies and the IGM, one of the key science drivers in the PFS galaxy evolution survey. We suggest to observe 24k galaxies at $z > 2$ acting as background probes of intervening absorbing gas, and to generate a 3D HI map ($2.1 < z < 2.5$) with an effective resolution of 3 comoving Mpc (cMpc) that will resolve filamentary structure and identify proto-clusters. We also plan to obtain a large sample of 19k Ly α emitters (LAEs) up to $z = 7$, beyond the scale of average-size ionized bubbles (> 100 cMpc), while drilling to the limits of the high-redshift and low-mass ends. The PFS 3D HI map and the LAE sample will allow cross-correlation between gas (HI, metals) and galaxies (+AGN) and reveal the large-scale interplay between galaxies and the IGM via gas and radiation exchange at $z \sim 2$ and 7 that includes physical process of cosmic reionization, thus opening new windows in such studies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z111a PFS Galaxy Evolution Survey. III: Modeling for PFS using cosmological simulations: feedback, metals, and IGM

Kentaro Nagamine (Osaka U.) on behalf of the PFS Galaxy Evolution Survey Team

In the current cosmological framework of Lambda-CDM, galaxies form out of diffuse IGM, subject to the gravity of dark matter. The gas flows into the dark matter halo potential well via cold flow, and mechanical and/or radiative feedback from supernova & AGN will enrich the IGM with metals as galaxies merge and assemble their stellar mass. This inevitably brings complicated interplay between galaxies and IGM, and PFS+HSC data will present us with a unique opportunity to study the galaxy-IGM connection. In this presentation, we discuss the modeling for PFS using cosmological hydrodynamic simulations, and what we can learn about feedback by studying the correlation between HI, metals, and galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z112a PFS AGN survey: science cases and observing strategy

Yoshiki Matsuoka (Ehime), on behalf of the PFS-AGN collaboration

Understanding the birth and growth of supermassive black holes (SMBHs) is a key to unravelling the riddle of galaxy evolution across cosmic time. On the observational side, it requires a sufficiently complete sample of active galactic nuclei (AGNs), selected over a wide range of the electromagnetic spectrum. We aim to carry out such a comprehensive AGN survey, exploiting the exquisite survey ability of the Subaru Prime Focus Spectrograph. Our survey plan can be accomplished with only a few per cent of fiber-hour resources being considered in the Galaxy Evolution and Cosmology surveys, and yet it will provide crucial insight into the fundamental roles that SMBHs have played in galaxy evolution. In this talk, we will briefly review the science cases raised by the community so far, and our observing strategy, including target selection from existing multi-wavelength dataset.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z113a HI Tomographic survey in the SSA22 field (SSA22-HIT) (I): Overview and initial results

馬渡健 (大阪産業大学), 大塚拓也 (東北大学), 山田亨 (JAXA), 林野友紀 (東北大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), Khee-Gan Lee (Berkeley), 山中郷史 (国立天文台), 柏川伸成 (国立天文台), 松田有一 (国立天文台), 岩田生 (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大学), 梅畑豪紀 (放送大学), David Schlegel (UCO), Xavier Prochaska (UCSC), Nicolas Tejos (UCSC), Joe Hennawi (MPIA)

近年、銀河を背景光源としたスペクトル吸収線解析から銀河間物質 (Inter-galactic medium; IGM) の空間分布を調べる研究が行われ始めている (IGM トモグラフィー; Lee et al. 2014, 2016, 2017 など) が、こうした研究は PFS の登場により飛躍的に発展すると期待されている。我々は PFS 観測の先駆け的研究として、Keck/DEIMOS 分光器を用いて、これまでで最も広視野の IGM 中性水素 (HI) トモグラフィー観測を SSA22 原始銀河団領域 (Steidel et al. 1998, Hayashino et al. 2004, Yamada et al. 2012, Mawatari et al. 2017 など) において行った。具体的には、 $50\text{Mpc} \times 30\text{Mpc} \times 2\text{Gpc}$ (共動座標系、奥行き方向には、 $2.7 < z < 5.5$) の体積中の約 500 個の銀河を分光した。本観測プロジェクトのメインサイエンスとして我々は以下の 3 点を考えている: (1) 原始銀河団領域における HI ガスと銀河の 3 次元大規模空間構造の比較 (2) 多様な銀河 (LBG, LAE, LAB, SMG など) の銀河周辺物質 (Circum-galactic medium; CGM) 中の HI や金属含有量の解明 (3) 赤方偏移 4 以上の銀河構造探査。2 年に渡る観測の結果、我々は $z = 2425$ 等の深さを達成し、原始銀河団における HI トモグラフィーを行うための背景光源を主とする多数天体の赤方偏移が決まった。本講演では本プロジェクトの概要とリダクション・赤方偏移カタログ整備について説明し、初期サイエンス成果と今後の展望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](#)

Z114r ハワイ観測所からのPFSへの期待

吉田道利（国立天文台ハワイ観測所）

すばる Prime Focus Spectrograph (PFS) は、8–10m 級望遠鏡の多天体分光器として、傑出した多重性と視野を持ち、完成時には他の追随を許さない性能を発揮するであろうと期待されている。2010年代に入ってから、宇宙論、銀河進化、銀河考古学といった分野で、可視近赤外線による広視野撮像・分光観測の重要性が高まってきた。すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) の開発とその共同利用は、こうしたサイエンスの需要とマッチし、今やその広視野サーベイ能力がこれらのサイエンスに留まらず様々な天文学研究に威力を発揮している。PFS は HSC によって開かれたサイエンスをさらに進める画期的な装置である。ハワイ観測所は、PFS をすばる望遠鏡の次期主力観測装置として位置づけ、その受け入れ準備を行っている。現在、PFS チームにおいて、PFS を用いたすばる戦略枠プログラムの検討が進んでいる。講演では、こうした取り組みや共同利用を通じて、PFS の果たすべき役割と期待される成果等について、ハワイ観測所および一研究者としての立場からお話したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z115a すばる PFS が拓く近傍宇宙論と銀河暗黒物質の正体の解明

千葉 証司 (東北大学), PFS 銀河考古学チーム

私たちが住む銀河系に代表される銀河が、どのように形成され進化し現在に至ったかを明らかにすることは、銀河天文学において最も重要な課題である。また、銀河形成過程の中で最も本質的な役割を演じているのは暗黒物質である。暗黒物質の小塊が階層的に合体しながら、その重力によってバリオン物質が集められて星が生まれ、矮小銀河のような小さな銀河が形成される。さらにこれらが暗黒物質の重力の影響で合体を繰り返しながら、銀河系のような銀河が形成される。したがって、暗黒物質の性質を理解することが銀河の形成進化の真の理解とつながっている。

標準モデルでは冷たい暗黒物質が主流であるが、銀河系や矮小銀河に付随する暗黒物質の観測と矛盾する結果を予言しており、他の暗黒物質理論 (暖かい暗黒物質: WDM、自己相互作用する暗黒物質: SIDM) も検討されていて、混沌としている状況である。ここで大きな鍵となるのは、銀河系や矮小銀河のような空間スケールにおいて暗黒物質がどのように存在しているのか、具体的には暗黒物質ハローの詳細な密度分布、銀河系やアンドロメダ銀河内での暗黒物質サブ構造の存在形態を明らかにすることにある。また、暗黒物質の性質が如何に現存する恒星系の分布や形成史、化学進化史と関係しているかを調べる必要がある。

すばる PFS は広い視野に渡って多くの恒星のスペクトル観測を達成することができるので、(1) 恒星系の視線速度分布から背景の暗黒物質分布に関する詳しい情報を導出でき、(2) 恒星の大気スペクトルにある化学組成情報から銀河の星形成・化学進化史を導出することができる。本講演では、このような恒星系のスペクトルデータから解明すべき重要課題について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z116a PFSによる銀河系外部ハローの元素組成分布の解明

石垣美歩 (Kavli IPMU)、林航平 (国立天文台)、千葉証司 (東北大学)、矢部清人 (Kavli IPMU)、Judith G. Cohen (Caltech)、Rosemary F. G. Wyse (JHU)、Evan N. Kirby (Caltech) and PFS/GA team

現在標準的な宇宙論である Λ CDM 理論では、銀河系恒星ハローは矮小銀河の衝突・合体を通して形成され、その痕跡は既存の分光観測装置では到達できていない外部ハロー (約 20 kpc より遠方) により多く残されていると予測している。外部ハローの主要な構成員である金属欠乏星 ($[Fe/H] < -1$) の元素組成は、その星が生まれた当時の組成を星表面大気に保持していると考えられ、銀河系形成においてどのような矮小銀河がビルディングブロックとして寄与したかを探る貴重な手がかりとなる。なかでも炭素組成 ($[C/H]$) は、初代星の重力崩壊型超新星爆発で放出される元素汚染を色濃く反映していることが示唆されており、未知の初代星の性質及びそれらによって元素汚染された矮小銀河の化学進化を明らかにする上で格好のトレーサーとなる。PFS による銀河系考古学サーベイでは、銀河系内部から外部ハローに到るまでの炭素組成分布を世界に先駆けて明らかにする可能性がある。本発表では、PFS による銀河系考古学サーベイが外部ハローの炭素組成を用いた Λ CDM 理論の検証及び初代星元素合成の解明に極めて重要であることを紹介する。さらに PFS の性能を考慮した擬似スペクトルを用いた元素組成測定精度の評価と、精度向上へ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](#)

Z117a PFSによる銀河系内に生き残った初代星の探査

石山智明(千葉大学), 須藤佳依, 横井慎吾(甲南大学), 長谷川賢二(名古屋大学), 富永望, 須佐元(甲南大学)

過去20年以上にわたる研究により、宇宙論的な枠組みの中での初代星の形成過程が明らかになってきた。現在まで生き残ることが可能なほどの、低質量の初代星の存在が示唆されているが、銀河系内のどこにどれくらい生き残っているかはわかっていない。

そこで本研究では、まず初代星をホストする暗黒物質ミニハローを分解でき、銀河サイズのハローの形成を追うことが可能な、暗黒物質のみの高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションを行った。そして、Lyman Werner 輻射場下においても初代星を形成しそうなミニハローを同定し、さらに同様のミニハローとの合体を経験していないミニハローが、現在の銀河サイズのハローのなかでどのように分布しているかを調べた。

銀河ハローに取り込まれたミニハローの数は初代星形成モデルに大きく依存し、最大2桁程度の違いがあるが、ミニハローの質量分布などが近年の系統的な大規模宇宙論的初代星形成シミュレーションと矛盾しないモデルを採用した場合、およそ数十万個になることがわかった。ミニハローを構成していたいくつかの粒子の位置が初代星の位置に対応すると仮定すると、生き残った初代星の通常の星に対する個数比は高銀緯領域が最も大きく観測に適している。現在までにゼロメタル星が観測されていない事実から、ミニハローあたり10個以上の低質量初代星が形成するシナリオは既に棄却されている。本講演ではこれらの結果の詳細について述べるとともに、すばる超広視野多天体分光器PFSによる新しい観測や、超広視野主焦点カメラHSCによる測光観測との組合せによる、生き残った初代星探査のための戦略についてや、初代星初期質量関数がどのように制限されるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z118a すばる PFS による銀河系矮小銀河観測を用いた暗黒物質ハロー構造の精密測定

林航平 (国立天文台), 石垣美歩 (Kavli IPMU), 小宮山裕 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学), Judith G. Cohen (Caltech), Rosemary F. G. Wyse (JHU), Evan N. Kirby (Caltech) and PFS/GA team

銀河系矮小銀河は力学的質量と星質量との比が大きく、暗黒物質が支配的な系である。したがって矮小銀河は暗黒物質の基本的性質を知る上で重要な天体として注目されている。矮小銀河の暗黒物質ハロー構造を調べるには、その星の視線速度分布の動力学解析に基づくのが一般的である。近年では非球対称性を考慮したモデルを用いたより現実的な暗黒物質ハロー構造の測定が行われている (Hayashi et al. 2016 など)。この暗黒物質ハロー構造の精密測定には矮小銀河全体に広がる数多くの星の分光データが必要不可欠であるが、現行の分光観測では視野と限界等級の制限から矮小銀河の広天域における観測データが十分とは言えないのが現状である。

すばる望遠鏡の次世代大型分光器である PFS は、すばる望遠鏡の広視野と集光力、約 2400 天体を同時観測できる分光ファイバーを兼ね備えた世界最大級の分光装置であり、矮小銀河のより広範囲でより暗い星までの大量の分光データを一度に取得できる。したがって PFS を用いた銀河系矮小銀河観測は、その暗黒物質ハロー構造の精密測定を行う上で非常に重要な観測となる。

本研究ではすばる主焦点カメラで観測された銀河系矮小銀河の星の測光データを用いて、PFS 観測をした場合に見込まれる星数などを評価するフィジビリティスタディを行い、さらにその見込まれる星数で暗黒物質ハロー構造への制限がどの程度改善されるのかを定量的に調べた。本講演ではこれらの結果をより詳細に述べ、PFS を用いた矮小銀河観測の重要性を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z119a 矮小楕円体銀河からのガンマ線を用いた暗黒物質間接検出の精密化

堀米俊一 (Kavli IPMU), 市川幸史 (NEC), 石垣美歩 (Kavli IPMU), 松本重貴 (Kavli IPMU), 伊部昌宏 (ICRR, Kavli IPMU), 菅井肇 (Kavli IPMU), 林航平 (国立天文台)

暗黒物質 (DM) の検出は天文学、素粒子物理学の両者から見て重要な問題である。特に、矮小楕円体銀河 (dSph) および近年の観測深度の向上により見つかった ultra-faint dSph (UFD) には DM が豊富に存在することが期待され、DM の間接検出の立場から非常に重要な天体である。DM の間接検出において期待されるガンマ線フラックスは、DM 自身の特性によって決まる項と DM の分布によって定まる項 (J -factor) の積で表される。dSph の DM 分布は Jeans 方程式に基づき構成される星の運動学を逆解きすることによって求めることができるため、適当な DM を分布を仮定すれば、分光・測光の観測データから DM 分布のパラメータ、および J -factor を決定することができる。しかしこの J -factor 推定においてはさまざまな誤差要因が存在し、これらの影響を加味し DM 分布を正しく推定しないかぎり、DM の間接検出を精密化していくことは困難である。

J -factor 推定の立場からは、すばる超広視野多天体分光器 PFS はその広い視野により dSph 周囲を含む広い範囲の分光観測を一度に行えるというメリットがある。そこで我々は、特に classical dSph を凌駕する J -factor を持つ可能性のある UFD に着目し、将来の PFS 観測データが J -factor 推定にどのようなインパクトを与えるかについて解析を行った。解析においては特に dSph 前方の前景星の混入を考慮し、これに起因する系統誤差を統計的に評価した。解析の結果、PFS から得られる多量の前景星データを用いることで、前景星の混入により DM 分布のパラメータ推定の収束性が悪くなることを避け UFD の J -factor を適切に推定できることが明らかとなった。本講演ではこの研究について詳細に述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z2. マゼラン雲】

3月16日（金）午前（9:30-11:30）[B会場]

Z201r	09:30	大小マゼラン雲におけるミリ波・サブミリ波観測の現状 大西利和（大阪府立大学）
Z202a	10:00	Tracing the evolution of GMCs in the LMC with CO (2-1) ALMA observations Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University / NAOJ)
Z203a	10:12	ALMAによる大マゼラン雲の巨大分子雲 N159 の観測 I: 空間分解されたフィラメント分子雲と CO Pillar 徳田一起（大阪府立大学/国立天文台）
Z204a	10:24	ALMAによる大マゼラン雲の巨大分子雲 N159 の観測 II: N159 W 領域のフィラメント衝突における大質量星形成 原田遼平（大阪府立大学）
Z205r	10:36	星間媒質の動的進化 井上剛志（名古屋大学）
Z206a	11:06	分子雲衝突による大質量コア形成シミュレーション 島和宏（北海道大学）
Z207a	11:18	衝撃波圧縮を受けた低金属度ガス雲の熱進化と分裂片質量について 仲内大翼（東北大学）
Z208a	11:30	大マゼラン雲における潮汐相互作用が誘発する大質量星形成 柘植紀節（名古屋大学）

3月16日（金）午後（13:30-15:30）[B会場]

Z209r	13:30	マゼラン雲の観測で探る低金属量銀河の星間化学 下西隆（東北大学）
Z210a	14:00	近赤外撮像観測による LMC/30Dor 大質量星クラスターの性質調査 高橋英則（東京大学）
Z211a	14:12	マゼラニックシステムにおける金属量の分布の探査 山本宏昭（名古屋大学）
Z212r	14:24	X線・ガンマ線で見えたマゼラン雲 - ideal laboratory か monster factory か? - 馬場彩（東京大学）
Z213b	14:54	ALMA 望遠鏡による小マゼラン雲内の星形成初期段階領域 N83C の中性炭素原子観測 II 本間愛彩（大阪府立大学）
Z214b	14:57	大マゼラン雲の超新星残骸に付随する分子雲の探査 佐野栄俊（名古屋大学）
Z215b	15:00	超新星残骸 N49 の衝撃波と中性星間ガスとの相互作用 山根悠望子（名古屋大学）
Z216a	15:06	ALMAによる超新星残骸 N63A の CO 観測:星間物質と衝撃波の相互作用に迫る 長屋拓郎（名古屋大学）
Z217a	15:18	ALMA/ATCAによるスーパーバブル 30 Doradus C に付随する星間ガスの観測 山根悠望子（名古屋大学）

Z201r 大小マゼラン雲におけるミリ波・サブミリ波観測の現状

大西利和（大阪府立大学）

大小マゼラン雲はその近さから銀河全域を詳細に観測することが可能であり、銀河における星・星間物質の進化を詳細にトレースする事ができる非常に貴重な天体である。また、銀河系を含めシステム全体として多大な相互作用を経験しており、銀河衝突を含む様々な規模の衝突現象が星間物質・星形成におよぼす影響の理解にも重要である。可視光・赤外線等、様々な波長での詳細観測が進み、ミリ波・サブミリ波領域でも ALMA の登場により、1 パーセクを切る空間分解能のデータがそろい始めた。系外銀河においても、銀河系で行われてきたような詳細な観測研究が可能となってきたのである。

本講演では、大小マゼラン雲におけるミリ波・サブミリ波観測の現状をレビューする。大マゼラン雲で見られる大規模な星団形成の要因としての分子雲同士の相互作用、小マゼラン雲における低重元素量下における分子雲・星形成の様子等に注目する。重元素量をはじめとする様々な環境パラメータが大きく変化することにより、それが星・星間物質の進化にどのような影響を与えるのかの詳細な研究が進みつつあり、これらは宇宙の進化の理解にも非常に大きな制約を与えることになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z202a Tracing the evolution of GMCs in the LMC with CO (2-1) ALMA observations

Sarolta Zahorecz, Tokuda Kazuki (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Kawamura Akiko, Saigo Kazuya (NAOJ), Goto Kenta, Takada Shota, Onishi Toshikazu, Harada Ryohei, Homma Aya (Osaka Pref. Univ.), Margaret Meixner, Omnarayani Nayak (STScI), Marta Sewilo (NASA / GSFC), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia, NRAO), Fukui Yasuo (Nagoya Univ.)

Giant Molecular Clouds (GMCs) are known to form massive stars together with a huge number of low-mass stars, regulating the evolution of a galaxy. The Large Magellanic Cloud (LMC) is the nearest neighbor to the Milky Way at 50 kpc. Its nearly face-on view allows us to unambiguously identify young objects associated with GMCs over a galaxy. This makes the LMC one of the most suitable targets to study the ISM and star formation in details over an entire galaxy, making it possible to gather information about GMCs at various evolutionary stages. Based on our previous ALMA observations of GMCs in different evolutionary stages in ^{13}CO (1-0), we have found that the GMCs are dominated by filamentary/clumpy structures. The evolution leads to more prominent filaments. The size-linewidth relation does not show significant difference for the evolutionary stages. As a follow-up project we observed three GMCs in different evolutionary stages with three times higher resolution ($\sim 1''$) in ^{12}CO and ^{13}CO (2-1). The typical rms is ~ 0.4 K at a velocity resolution of 0.5 km/s. We resolved a more detailed spatial distribution of the CO gas and we have found that the typical width of the filaments is 0.4 pc. The ratio of ^{13}CO (2-1)/(1-0) is ~ 0.8 which is higher than that in the Orion molecular cloud (Nishimura et al. 2015). The high ratio indicates warm and / or dense emitting region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z203a ALMAによる大マゼラン雲の巨大分子雲 N159 の観測 I: 空間分解されたフィラメント分子雲と CO Pillar

徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 福井康雄, 立原研悟, 西村淳, 佐野栄俊, 犬塚修一郎, 井上剛志, Doris Arzoumanian (名古屋大学), 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史, 南谷哲宏 (国立天文台), Sarolta Zahorecz (大阪府立大学/国立天文台), 原田遼平, 高田勝太, 本間愛彩, 大西利和 (大阪府立大学)

N159 領域に存在する巨大分子雲は大マゼラン雲内でも最も大規模なもの 1 つであり、複数の星団が形成されていることから、大質量星/星団形成を探る上で非常に重要な天体である。我々はこれまでの ALMA を用いた空間分解能 $\sim 1''$ (~ 0.24 pc) の CO 及びその同位体等の観測により、多くのフィラメント状/シェル状分子雲により構成されていること、そのフィラメント雲同士の衝突が大質量原始星を形成するトリガーとなっている可能性等を示してきた (Fukui et al. 2015, Saigo et al. 2017)。しかしながら、これらの観測は太陽系近傍等で見られている典型的な分子雲のフィラメント幅 (~ 0.1 pc) の分解はできておらず、その性質や大質量星形成との関係の詳細を探るには必ずしも十分ではなかったため、空間分解能 $\sim 0.''3$ (~ 0.07 pc) の追観測を ALMA Cycle 4 にて実施した (P.I. Fukui et al. #2016.1.01173.S)。本講演では主に N159E-Papillon 領域の結果について紹介する (N159W 領域は原田ほか 本年会を参照)。先行観測では 1 本のフィラメントとみなしていたものが複数本に空間分解されたこと、およびそのフィラメントの典型的な幅は ~ 0.1 pc と太陽系近傍分子雲と同程度であったことが大きな特徴である。N159E における大質量星原始星 (通称 Papillon nebula) に付随する H II 領域周辺には高温 (~ 70 K) かつ高密度 ($\sim 10^5$ cm $^{-3}$) の Pillar 状分子雲が確認できた。この Pillar はその他のフィラメント雲と同程度の幅を示しており、それらフィラメント状分子雲が初期条件となって Pillar を形成したと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z204a ALMAによる大マゼラン雲の巨大分子雲 N159 の観測 II: N159 W 領域のフィラメント衝突における大質量星形成

原田遼平 (大阪府立大学), 福井康雄, 立原研悟, 西村淳, 佐野栄俊, 犬塚修一郎, 井上剛志, Doris Arzoumanian (名古屋大学), 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史, 南谷哲宏 (国立天文台), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府立大学/国立天文台), 高田勝太, 本間愛彩, 大西利和 (大阪府立大学)

N159 領域には大マゼラン雲の中でも最も大規模となる $10^7 M_{\odot}$ を超える巨大分子雲が存在し、現在でも複数の星団が形成されつつあることから、星団・大質量星の形成を探る上で非常に重要な天体であるといえる。我々の ALMA を用いた空間分解能 $\sim 1''$ の ^{12}CO 及び ^{13}CO 等の観測により、N159W-South 領域において、幅 $\lesssim 1\text{pc}$ 、長さ 10pc を越える大規模で直線的なフィラメント構造や系外銀河で初となる大質量星原始星からのアウトフローを検出してきた。そのフィラメント状分子雲は異なる相対速度を持っており、その交点に大質量原始星が存在することから、分子雲同士の衝突が星形成をトリガーしていることを示唆してきた (Fukui et al. 2015)。空間分解能 $\sim 0.''3$ ($\sim 0.07\text{pc}$) の追観測を ALMA Cycle 4 にて実施したところ (観測の詳細は徳田ほか本年会参照)、上記の直線的なフィラメント雲は特にその交点において空間、速度分布が非常に複雑であることが明らかとなった。これらは、異なる速度を持ったガス同士が反相関的な分布を有しているなど、分子雲衝突により誘発されたと考えられている銀河系内の大質量星形成領域やそれらを想定したシミュレーション等で示されている特徴的な構造と酷似している。また、これまで大質量星原始星が存在すると思われていた 1.3mm ダスト連続波の強度中心が、本観測では2つの局所的なピークに分解され、それぞれからアウトフローが起因と思われる ^{12}CO の高速度成分が確認できるなど、複数の原始星が形成されている可能性が明らかとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z205r 星間媒質の動的進化

井上剛志 (名古屋大学)

近年の星間媒質観測の急速な進展によって、原子ガスから分子ガス、そして星形成へと至る星間媒質の進化過程への理論的な理解が必要とされる時代になった。星間媒質は輻射を介した加熱冷却が有効な開放系であり、さらに、超新星爆発等による強い揺動に頻繁にさらされる媒質である。このような性質を持ったプラズマの物理的性質を調べることは難しく、十数年ほど前までは熱平衡状態等の限られた性質だけが調べられてきた。しかしながら、近年の計算機的高速化に伴い、輻射加熱、磁場の効果、化学進化や自己重力まで含んだ星間媒質の動的性質が数値流体力学の手法で調べられるようになってきた。

本公演ではそのような星間媒質の動的な進化過程の理論的理解について、マゼラン雲に対するものも含んだ近年の観測と比較しながら公演を行う。特に、中性水素雲に関してはその構造と磁場の相関に注目し、分子雲に関しては近年注目を集めているフィラメント状構造の形成機構や、分子雲衝突と大質量星、星団形成に注目する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z206a 分子雲衝突による大質量コア形成シミュレーション

島和宏 (北大), Elizabeth J. Tasker (ISAS/JAXA), Christoph Federrath (ANU), 羽部朝男 (北大)

分子雲同士の衝突によって引き起こされる衝撃波がガスを圧縮することで、短時間で質量の大きな高密度コアが形成されると考えられる。そのコアが高い質量降着率を持つことで大質量星や大質量星団形成を引き起こす可能性が高い。近年は大質量星・大質量星団形成領域に付随する分子雲の観測から、分子雲衝突の重要性が多数示されている。

我々は分子雲衝突と高密度コア形成の関係、また大質量星形成を仮定した場合の HII 領域形成とその photoionization フィードバックによる影響を明らかにする目的で、AMR コードである Enzo を用いた 3 次元シミュレーションを進めている。

前回の年会 (2017 年秋季年会 P161a) では、分子雲衝突の衝撃波中で形成された大質量星からのフィードバックが周囲のガスを掃き集めることで誘発的な星形成が引き起こされた結果について話した。これにより星団が効率的に形成される可能性がある。

我々の銀河に比べてマゼラン雲では、その金属量が小さい、10 倍質量の大きな星団が形成されているなどの特徴がある。今回の発表ではシミュレーションのパラメータを変化させることで、分子雲衝突による大質量星や大質量星団の形成の多様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](#)

Z207a 衝撃波圧縮を受けた低金属度ガス雲の熱進化と分裂片質量について

仲内 大翼, 大向 一行 (東北大学), Raffaella Schneider (ローマ・ラ・サピエンツァ大学)

初代星は重元素を含まない始原ガス雲から形成されるが、近年の理論的研究から典型的に大質量 (10-1000 太陽質量) であったと考えられる。他方、第二世代以降では低質量な星も多数形成されることが観測的に明らかとなっている。しかしながら、その母体となるガス雲の形成過程や典型的な質量は十分に理解されていない。第二世代星の形成時期には、銀河合体や銀河へのガス流入、超新星爆発に伴い発生する衝撃波により圧縮を受け、密度が高くなった領域で星形成が誘発される。そこで本講演では、衝撃波による圧縮を受けた低金属度ガス雲の熱進化を簡単なモデルを用いて計算する。その際には、外部紫外線照射の効果も考慮に入れる。十分に冷却が進んだガス層で自己重力的な不安定性が成長してガス雲の分裂が起こるので、形成される分裂片質量を評価する。さらに、分裂を経験したガス雲が自己重力的な収縮をする際にたどる熱進化の様子についても調べる。収縮するガス雲の熱進化や形成される分裂片質量が金属度や初期密度、外部紫外線強度によりどのように変化するかを述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z208a 大マゼラン雲における潮汐相互作用が誘発する大質量星形成

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) の巨大星団 R136 に着目し、この課題に取り組んできた。水素原子ガス (HI) の空間分布と速度構造の詳細解析、*Planck* 衛星による 353 GHz での光学的厚み (τ_{353} ; *Planck* collaboration et al. 2014) と HI 強度の比較を行った結果、大小マゼラン雲の潮汐相互作用による HI ガス同士の衝突によって R136 が形成されたというシナリオを提唱した (Fukui, Tsuge et al. 2017)。一方 LMC には R136 の他にも大質量星を含む星団が多く存在し、電離領域としてカタログされている (Ambrocio-Cruz et al. 2016)。これらの形成機構を明らかにできれば、LMC 全体での大質量星形成機構とその歴史の理解に繋がる。

今回我々は LMC の H α で明るい (面輝度 $>10^{-4}$ [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ sr $^{-1}$]) 20 個の大質量星形成領域に着目した。これらの空間分布は LMC の南東から中心領域に集中している。全領域について HI ガスの空間分布と速度構造の詳細解析を行い、以下 3 種の衝突の痕跡を調べた; (1) 超音速の速度差を持つ 2 つの速度成分の存在、(2) それらをつなぐ中間速度成分の存在、(3) 2 つの速度成分の相補的な空間分布。これらは、ガス雲同士の衝突領域で見られる観測的特徴である (Fukui, Torii et al. 2017)。

解析の結果、13 領域で (1)–(3) のガス衝突の痕跡をみいだした。これは O 型星およびウォルフ・ライエ星の総数の少なくとも 70% 以上が衝突で形成されたことを示唆する。本講演ではこれらの結果から、LMC 全面の大質量星形成において HI ガス同士の衝突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](#)

Z209r マゼラン雲の観測で探る低金属量銀河の星間化学

下西隆 (東北大学)

マゼラン雲の特徴である低い金属量環境は、同様の低金属量環境を持つ過去の銀河における星間物質の化学進化を理解する上で重要な環境的特性である。近年の赤外線及び電波観測の進展により、マゼラン雲内の分子雲や原始星周囲における星間分子の化学組成が明らかになりつつあり、天の川銀河内の類似天体との比較研究が行われている。これらの観測が示す低金属量環境下の星間分子の化学組成は、炭素原子が少なければ炭素系分子が少なくなる、といった単純な振る舞いを示すのではなく、元素組成の差異に加えて、固相・気相の化学反応の影響が顕著にあらわれる興味深い振る舞いを示している。本講演では、まずマゼラン雲の星間化学の研究において重要な基礎データを提供してきた、「あかり」、Spitzer、Herschel などによる大小マゼラン雲の大規模赤外線サーベイ観測の結果を概観する。続いて、マゼラン雲の星間分子に関連する最新の赤外線及び電波観測の結果に基づき、低金属量環境下の星間化学の特徴を固相・気相の両面から議論する。赤外線観測については、上述の宇宙望遠鏡群や VLT などの地上望遠鏡により得られたマゼラン雲内の大質量原始星周囲の氷ダストの化学組成に関する研究結果を紹介する。電波観測については、ALMA、Mopra、ASTE などにより得られたマゼラン雲内の高密度分子雲及びホットコアに付随する気相分子の観測結果を紹介する。最後に、当該分野における今後の課題について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z210a 近赤外撮像観測による LMC/30Dor 大質量星クラスターの性質調査

高橋英則, 田中培生, 大澤健太郎 (東京大学), 奥村真一郎 (日本スヘースカート協会), 他 TAO クループ

Ib/c 型超新星の母天体である Wolf-Rayet 星 (WR) の他、LBV、YHG、RSG などを含む大質量星クラスターの形成・進化過程および年齢、さらにその空間分布や星間物質への寄与などの解明を目的とした研究を行っている。観測は近赤外線波長連続的なデータ取得が可能なチリ・チャナトール山頂の miniTAO/近赤外線カメラ ANIR を用いた。フィルターとして広帯域 Ks ハントと 2 枚の狭帯域 (N187=1.875 μ m, N207=2.07 μ m) を選択した。N187 は電離水素 Pa α 輝線や He 輝線が観測でき、WR、LBV などの検出に有効で、N207 は WC 型 WR 星に特徴的な [CIV] 輝線を効率的に検出できる。このフィルターセットから得られる 2 色図は、輝線星の検出のみでなく、減光の大きな領域での減光量を補正した Ks 等級とカラー情報を精度良く与えるため、若い天体も含めた大質量星の形成から終末に至るあらゆる進化段階の天体の検出に有効である。

本講演では、天の川銀河とは金属量が異なる LMC について報告する。観測は LMC の中でも大質量星が多く存在し、星形成が活発な 30Doradus 周辺の R136 から N158–N160 領域へと星形成活動が連続的に変化している領域を選んだ。特に R136 領域は 150 太陽質量を超える超巨大質量星が存在するとされ、星の誕生や進化過程に銀河系内クラスターと違いがあると考えられる。2 色図からは多くの大質量星が同定された。また 2 色図の領域ごとの分布の違いはクラスターの IMF や年齢に依存する他、周辺環境や金属量にも関係する可能性がある。さらに Ks 等級 vs N187 excess 図においては検出天体の分布にいくつかのシーケンスが見られるか、これは Ofpe 型星から WN 型 WR 星にかけてのサブクラス分類に対応しており、この図が新たな詳細分類や Mass loss 量を推定するツールとして用いることかでき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](#)

Z211a マゼラニックシステムにおける金属量の分布の探査

山本宏昭、古賀真沙子、岡本竜治、林克洋、早川貴敬、佐野栄俊、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学)

マゼラニックシステムは、大小マゼラン雲 (LMC、SMC)、マゼラニックブリッジ (MB)、マゼラニックストリーム (MS) により構成される。MB、MS は LMC、SMC の潮汐力等によって引き出されたガスと考えられており、分布を説明するために多くの理論的研究がなされてきた (Fujimoto & Sofue 1976 他)。また、近年の可視光や紫外線の吸収線観測により、MB や MS の金属量が測定され、その起源が観測的にも明らかになってきた (Fox et al. 2013 他)。しかし、吸収線の観測は観測点数に限られるなどシステム全体における描像を明らかにすることができない。そこで本研究では、全天をカバーする中性水素原子 (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を用いて、マゼラニックシステムの広範囲にわたる金属量の比較を行った。

まず、HI の速度情報を基に前景成分の除去を行い、各成分の解析を行った。主な結果を以下に示す。(1) LMC では W_{HI} (HI の積分強度) / τ_{353} (353GHz での光学的厚み) 比は領域毎に異なり、HI-Ridge では、 W_{HI}/τ_{353} 比が LMC の他の領域に比べて大きいことがわかった。(2) SMC では W_{HI} と τ_{353} は非常に良い線形の相関を示し、 W_{HI}/τ_{353} 比は LMC の 7 倍程度であった。(3) MB では前景の HI ガスが比較的光学的に薄い箇所を選んで解析したところ、 W_{HI}/τ_{353} 比は LMC の 3.9 倍程度となった。(4) MS 領域では τ_{353} は非常に小さく、前景成分を差し引いた後の τ_{353} の空間分布図には、MS に相当する成分は見られなかった。 W_{HI} が強い箇所でも τ_{353} との相関は見られなかった。そこで、 τ_{353} の不確かさの情報を用いて W_{HI}/τ_{353} 比の下限値が LMC の 40 倍であることを導出した。以上から金属量は LMC > MB > SMC > MS となることがわかった。この結果を受けて、各成分間の力学的相互作用によるガスの混合の重要性を指摘し、今後の展望を示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z212r X線・ガンマ線で見えたマゼラン雲 - ideal laboratory か monster factory か? -

馬場彩 (東京大学)

マゼラン雲は近距離にある face-on galaxy であるため、(1) 距離の不定性がない、(2) 星間物質による吸収の影響が少ない、という観測上の長所がある。電離した O, Ne, Mg など軽い元素の輝線は、星間吸収の影響を受ける軟 X 線帯に集中する。銀河系内に存在する天体は多くが星間物質吸収により軟 X 線観測が十分に出来ない状態であり、マゼラン雲は X 線天文学黎明期から恰好の観測対象となってきた。実際、Einstein、ROSAT、ASCA、XMM-Newton など多くの衛星のマゼラン雲天体カタログが作成されている (Long et al. 1981, Williams et al. 1999, Nishiuchi 2001, Maggi et al. 2016)。最新のカタログでは、40 を超える超新星残骸をはじめ、high mass X-ray binary、low mass X-ray binary、super-bubble など多くの天体からの X 線の性質が調べられている。

一方ガンマ線帯域では、Fermi 衛星や H.E.S.S. 超高エネルギーガンマ線望遠鏡が、格段に向上した空間分解能と感度で成果を挙げている。ガンマ線望遠鏡は空間分解能があまり良くないため、周辺为天体やバックグラウンドからの放射混入に弱い。天体が視線方向に重なりにくいマゼラン雲は、ガンマ線観測にも最適と言える。近年、パルサー星雲 B0540-69 や N157B、超新星残骸 N132D、super-bubble 30 Dor C など多くの天体からガンマ線が見つかっている。

このように、マゼラン雲は高エネルギー天体の系統的研究に最適に見える。しかし発見された天体は、発見されている中で最も GeV ガンマ線で明るい超新星残骸やガンマ線連星、唯一非熱的放射の確認されている super-bubble など、“monster” と言ってもよいものばかりである。本講演では、マゼラン雲は本当に銀河を代表出来る理想的な研究室なのかお化け屋敷なのかも議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z213b ALMA 望遠鏡による小マゼラン雲内の星形成初期段階領域 N83C の中性炭素原子観測 II

本間愛彩, 原田遼平, 大西利和, 村岡和幸, 高田勝太, 前澤裕之 (大阪府大), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府大/NAOJ), 河村晶子, 西合一矢, 水野範和, 南谷哲宏 (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Margaret Meixner (Johns Hopkins), Remy Indebetouw (NRAO), Marta Sewilo (NASA/GSFC), Alberto Bolatto (Univ. of Maryland)

本研究の対象である N83C は、銀河系から近く (~ 60 kpc) 重元素量が銀河系の約 $1/5$ である小マゼラン雲内に位置する活発な星形成領域で、低金属量環境下での星形成や分子雲の特徴及び炭素原子の振る舞い等を調べる上で重要なターゲットである。我々は ALMA による CO 同位体及び [C I] の観測を推進しており、これまでに (1) CO 輝線がトレースしている密度領域が銀河系のそれより一桁大きい 10^4 cm^{-3} 程度であること (Muraoka et al. 2017)、(2) 中性炭素原子と CO 分子との空間的な位置関係は大局的によく一致しているが、柱密度の比 ($N(\text{C I})/N(\text{CO})$) が銀河系の一般的な星形成領域より有意に高いこと等が明らかとなった (本間他 2017 年秋季年会)。

本講演では、[C I] $1-0$ の観測結果の内、12 m array (最大基線長 ~ 700 m) で観測された高分解能 (~ 0.3 arcsec, ~ 0.09 pc) データの解析結果を紹介する。CO クラウドピークに存在する 2 つの大質量原始星付近にそれぞれ 1 pc 以下のコンパクトな C I クランプを検出した。北部原始星の位置では 0.6 mm の連続波の強度のピークが確認でき、それを含むように C I クランプがシェル状に分布している。この C I クランプのビリアル質量は $\sim 5 \times 10^2 M_{\odot}$ であり、一様密度球を仮定し導出した水素平均密度は 10^5 cm^{-3} となったことから、[C I] 観測は分子雲全体だけでなく、原始星付近に存在する高密度な部分をトレースする可能性があると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z214b 大マゼラン雲の超新星残骸に付随する分子雲の探査

佐野栄俊, 吉池智史, 山根悠望子, 長屋拓郎, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 藤井浩介 (東京大学), 水野範和, 河村晶子 (国立天文台), 徳田一起, 大西利和 (大阪府立大学), Kevin Grieve, Miroslav Filipovic (西シドニー大学), Fabien Voisin, Gavin Rowell (アデレード大学)

超新星残骸 (SNR) に付随する星間ガスの特定は、宇宙線加速やエックス・ガンマ線の放射機構を探る上で本質的である。ガンマ線と全星間ガスの空間分布の一致は、SNR における宇宙線陽子加速の必要条件を与える (e.g., Fukui et al. 2012)。SNR 衝撃波と非一様星間ガスの相互作用は、ガス塊周辺で乱流磁場を増幅させ、シンクロトロン放射の増光や、宇宙線電子の最大エネルギー上昇をもたらす (e.g., Sano et al. 2015)。過電離状態の熱的 X 線プラズマについては、低温分子雲との衝突・熱伝導による形成機構が注目され始めた (Matsumura et al. 2017)。

一方で、銀河系内の SNR に付随する星間ガスの特定は容易ではない。銀河円盤に対して真横から観測せざるを得ないため、星間物質が幾重にも重なりコンタミネーションが多い。天体までの距離決定にも不定性が残る。そこで我々は、大マゼラン雲 (LMC) の SNR に着目した。LMC は銀河系から見て face on に位置しており見通しが良い。距離 50 kpc と知られていることから、物理量の不定性が少なく、SNR の統計的探査に適している。

今回我々は、LMC に位置するエックス線で明るい SNR 25 天体について、Mopra を用いた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測 (角度分解能 $\sim 45''$) を行った。検出感度は、 3σ レベルで $\sim 50 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ である。結果として、22 天体において 3σ 以上の有意度で CO を検出した。うち少なくとも 10 天体は、X 線シェルと良い空間対応を示している。付随分子雲の質量は、 $\sim 6,000\text{--}20,000 M_{\odot}$ とバラエティーに富む。本講演では、これらの観測結果を概観するとともに、ASTE / ATCA / ALMA を用いたフォローアップ観測の現状と今後の展開について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z215b 超新星残骸 N49 の衝撃波と中性星間ガスとの相互作用

山根悠望子, 佐野栄俊, 吉池智史, 長屋拓郎, 山本宏昭, 立原研悟, 田村陽一, 福井康雄 (名古屋大学), 内田裕之, 田中孝明 (京都大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 藤井浩介 (東京大学)

超新星残骸 (SNR) で“衝撃波星間ガス相互作用”により磁場が増幅され, シンクロトロン放射由来の硬 X 線や電波が増光することが明らかになってきた (井上ほか 2012). また, 分子雲と熱的プラズマの衝突・熱伝導による電子の急冷却が過電離プラズマ (RP) を形成し, 硬 X 線放射につながる可能性も指摘されている (松村ほか 2017).

大マゼラン雲の SNR N49 では RP が検出されている (内田ほか 2015). また, ALMA Cycle 3 band 3 の分解能 $\sim 3''$ (~ 0.7 pc) のデータより, シェル南東部で半径 $\sim 1-2$ pc の CO clump が同定された. さらに SNR に付随する CO clump 周りで *Chandra* 硬 X 線 (2-7 keV) の増光が見られた (日本天文学会 2017 年秋季年会 山根ほか).

今回我々は, ATCA 1.4 GHz の電波連続波 (分解能 $\sim 5''$) のデータを解析し, N49 に付随する CO clump の空間分布と詳細に比較した. N49 の電波連続波は CO clump が分布する南東部で明るい, 非対称なシェル構造であった. また, ALMA CO の分布と比較することで, 電波連続波ピークの周りを取り囲むように CO clump が $\sim 1-3$ pc 離れて分布している様子が見えた. これらの CO と電波連続波, および上述の硬 X 線との位置関係は, 銀河系内の SNR RX J1713 や RCW 86 (佐野ほか 2013, 2017) と類似する. しかし, N49 の硬 X 線には非熱的成分はほぼ含まれないことが知られており, 硬 X 線との関係は低温ガス周りでの RP 形成を示していると解釈できる. 以上のことから N49 では, “衝撃波星間ガス相互作用”によるシンクロトロン電波と, 低温ガスとの熱伝導により形成された RP 由来の硬 X 線が共存していることが示唆された. 以上は, LMC の SNR が銀河系内の SNR と並んで, SNR の硬 X 線放射や電波連続波を理解する上で有用なことを裏付けるものである.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z216a ALMAによる超新星残骸 N63A の CO 観測: 星間物質と衝撃波の相互作用に迫る

長屋拓郎, 佐野栄俊, 山根悠望子, 吉池智史, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 藤井浩介 (東京大学), 徳田一起 (大阪府立大学), 佐々木愛美 (フリードリヒ・アレクサンダー大学)

N63A は、大マゼラン雲の北端の OB アソシエーション NGC 2030 方向に位置する重力崩壊型 SNR であり (Chu & Kenniutt 1988)、年齢は 2000–4500 年と見積もられる (Hughes et al. 1998)。今回、ALMA cycle 3 による CO 観測結果 (PI: Fujii, 2015.1.01130.S) を解析したので報告する。N63A はほぼ真円に近いシェル状分布を示すが、HST によってシェル内西部に強く励起された光学星雲が検出されており、星間物質と衝撃波面との相互作用が予想される (Levenson et al. 1995)。我々は、Mopra 22 m 鏡と ASTE 10 m 鏡による CO ($J = 1-0 \cdot J = 3-2$) 観測により励起状態の高い分子雲の存在を把握し、ALMA による follow-up 観測を行なった。角度分解能は 1.9 秒角 (ほぼ 0.47 pc に相当) を達成し、CO 分子雲を検出して HST イメージ (SiII, OIII, H α ; Chu et al. 1999) および X 線・電波連続波 (Dickel et al. 1993) との比較を行なった。CO 分子雲は N63A 領域で 4 個検出され、内 2 個が光学星雲に付随する。そのうち小質量の分子雲は H α の強い星雲東部に存在する。質量の大きい分子雲は星雲の西方に付随し、可視光分布と顕著な反相関を示す。さらに、SiII と H α の強度比から光学星雲は SNR の衝撃波により励起されたと推定される。また、この方向では熱的電波連続波がより広い範囲に分布している。以上から、N63A は平均密度の低い環境下で生まれ、強く局在した分子雲 2 個と相互作用して光学星雲を形成・励起したと推定される。この星雲の東部、シェルの中心方向では、すでに中性雲の一部は散逸/加熱されたと見られる。今後 ALMA による C_I 観測等により、衝撃波面と星間物質の相互作用に迫る可能性があり、天体のユニークネスに照らして注目される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z217a ALMA/ATCA によるスーパーバブル 30 Doradus C に付随する星間ガスの観測

山根悠望子, 佐野栄俊, 吉池智史, 長屋拓郎, 山本宏昭, 立原研悟, 田村陽一, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), Kevin Grieve, Miroslav Filipovic (西シドニー大学)

井上ほか (2012) は超新星残骸において, “衝撃波と高密度星間ガスの相互作用”により磁場が増幅され, シンクロトロン X 線を増光させることを示した. この現象は佐野ほか (2013) により SNR RX J1713.7–3946 における X 線と分子雲分布の $\sim 0.1\text{--}2$ pc の反相関関係として観測的に示された. また, 原子雲の空間分布も重要であることが示唆されている. 現象の普遍性を探るためには, 様々な性質の SNR やその複合体での追検証が必要である.

30 Doradus C は, 大マゼラン雲に位置する直径 ~ 80 pc の SNR 複合体 (スーパーバブル) であり, シンクロトロン X 線で明るい特徴を持つ. これまでに我々は, ASTE による CO($J = 3\text{--}2$) 観測により付随分子雲を特定し, X 線強度ピークと ~ 5 pc の空間的相関を示した (日本天文学会 2016 年秋季年会 山根ほか).

今回我々は, 新たに ALMA と ATCA を用いて $^{12}\text{CO}(J = 1\text{--}0)$ 及び H α の高空間分解能観測を行った. 前者は ALMA Cycle 3 で 12 m 及び ACA を用いて取得し (PI: Sano, 2015.1.01232.S), 分解能は $\sim 3''$ (~ 0.7 pc) である. 後者は ATCA による長基線観測 (基線長 6 km ほか) を行い, Kim ほか (2003) の H α データとコンパインすることで, 分解能 $\sim 12''$ (~ 3 pc) を達成した. *Chandra* X 線と空間分布を比較した結果, 北西のシンクロトロン X 線シェルに沿った, 幅 ~ 2 pc, 長さ ~ 25 pc にわたる CO のフィラメント構造が $V_{\text{LSR}} \sim 270$ km s $^{-1}$ にみられた. CO は X 線強度ピークを取り囲むように, $\sim 1\text{--}2$ pc もしくはそれ以下の距離離れて相補的に分布していた. H α も同様に $V_{\text{LSR}} \sim 270$ km s $^{-1}$ 付近で X 線と相補的な空間分布を示した. 以上の結果から本講演では, 30 Doradus C における衝撃波–星間ガス相互作用について, 分子雲・原子雲両方を考慮して論じる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)