

2017年 秋季年会

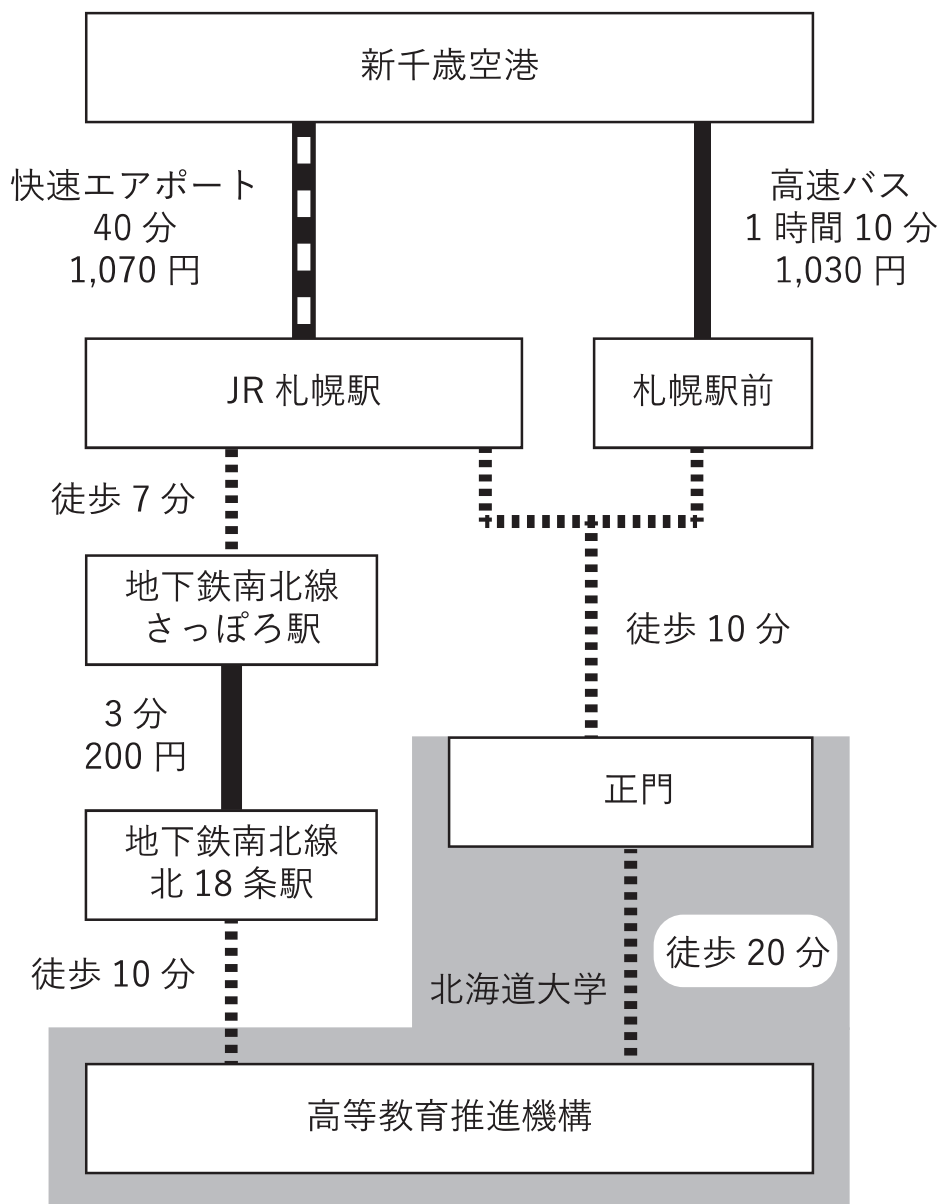
講演予稿集

電子版

於 北海道大学

2017年9月11日(月) ~ 9月13日(水)

北海道大学へのアクセス



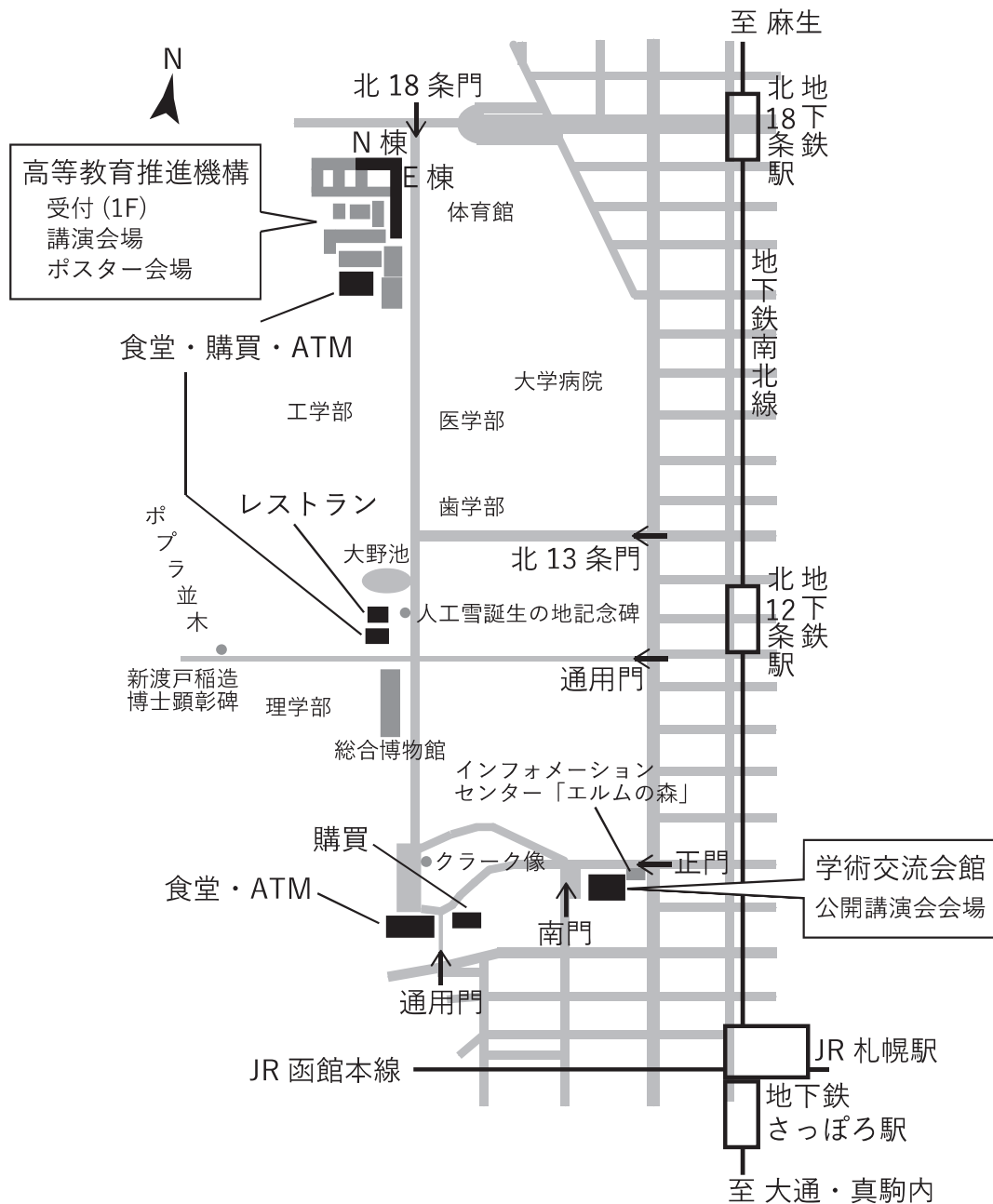
懇親会会場（麒麟ビール園）までのアクセス

- ・地下鉄南北線北18条から中島公園駅まで8分 250円
- ・中島公園駅1番出口より徒歩2分

学術交流会館までのアクセス

- ・JR札幌駅から徒歩10分（正門を入れてすぐ）

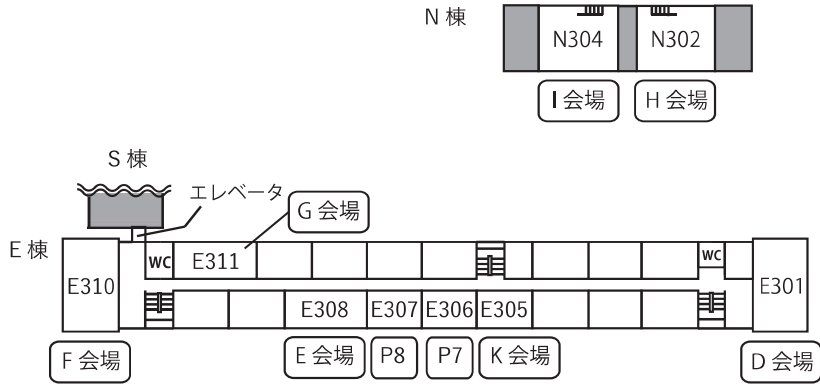
北海道大学 札幌キャンパス



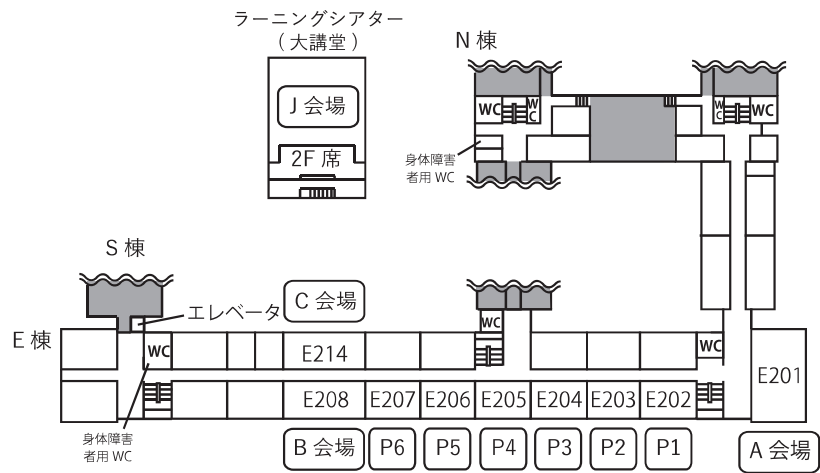
- ・車、オートバイ等での入構はできません。
- ・正門から高等教育推進機構まで徒歩で20分程度です。
- ・キャンパス内は指定場所以外は禁煙となっております。
- ・無線LANはeduroamをご利用いただけます。
- ・無線LANは高等教育推進機構内の各会場とその周辺でご利用いただけます。

会場案内図

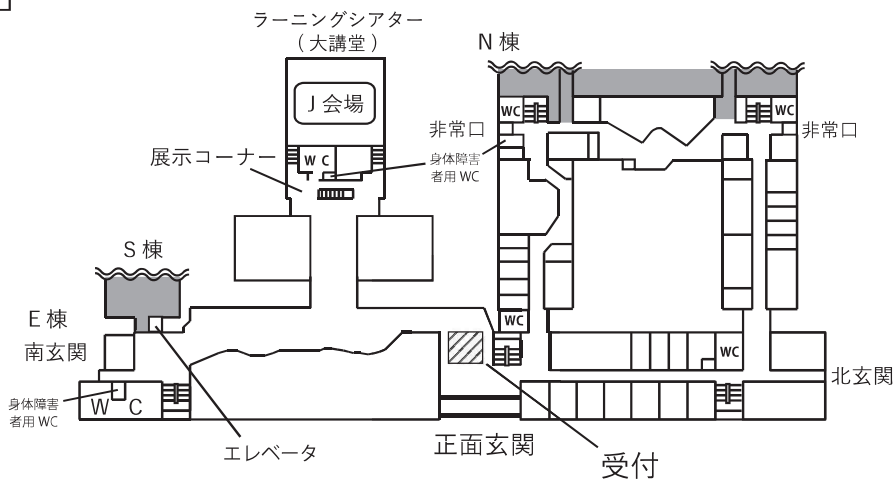
3F



2F



1F



色付き・・・立入禁止区域
P・・・ポスター会場

口頭セッション 9月11日(月)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場	K 会場
開始時刻	【観測機器】	【銀河団】	【コンパクト天体】	【恒星】	【太陽】	【星・惑星】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河形成】	【宇宙論】
10:30	V101a	T01a	W201a	N01a	M01a	P101a	Q01a	V201a	V301a	X01a	U01a
10:42	V102b V103b V104b	T02a	W202a	N02a	M02a	P102a	Q02a	V202a	V302a	X02a	U02a
10:54	V105a	T03a	W203a	N03a	M03a	P103a	Q03a	V203b V204b V205b	V303a	X03a	U03a
11:06	V106a	T04a	W204a	N04a	M04a	P104a	Q04a	V206a	V304a	X04a	U04a
11:18	V107a	T05a	W205a	N05a	M05a	P105a	Q05a	V207b V208b V209b	V305a	X05a	U05a
11:30	V108a	T06a	W206a	N06a	M06a	P106a	Q06a	V210a	V306a	X06a	U06a
11:42	V109a	T07a	W207a	N07a	M07a	P107a	Q07a	V211a	V307b V308b V309b	X07b X08b X09b	U07a
11:54	V110a	T08a	W208a	N08a	M08a	P108a	Q08a	V213b V214b V215b	V310a	X10a	U08a
12:06	V111a	T09a	W114b*	N09a	M09b M10b M11b	P109a	Q09a	V216a	V312a	X11a	U11a
12:18	V112b V113b V114b	T10a	-	N10b N11b N13b	M12b M13b M14b	P110b P111b P112b	Q10a	V217a	V313b V314b V315b	X12a	U12b U14b U15b
12:30	-	-	-	-	M15b M17b M18b	P113b P114b P115b	Q11a	-	-	-	-
12:42	-	-	-	-	-	P116b P117b P118b	Q12b Q13b Q14b	-	-	-	-
12:54	-	-	-	-	-	-	Q15b	-	-	-	-
12:30	昼休み										
13:30	ポスター										
開始時刻	【観測機器】	【銀河団 / 銀河】	【コンパクト天体】	【恒星】	【太陽】	【星・惑星】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河形成】	【宇宙論】
14:30	V116a	T11a	W101a	N16a	M19a	P119a	Q16a	V218a	V316a	X13a	U17a
14:42	V117a	T12a	W102a	N17a	M20a	P120a	Q17a	V219b V220b V221b	V317a	X14b X15b X16b	U18a
14:54	V118a	T13a	W103a	N18a	M21a	P121a	Q18a	V222a	V318b V319b V320b	X17a	U19a
15:06	V119a	T14a	W104a	N19a	M22a	P122a	Q19a	V223a	V322a	X18a	U20a
15:18	V120a	T15a	W105a	N20a	M23a	P123a	Q20a	V224b V226b V227b	V323a	X19a	U21a
15:30	V121b V122b V123b	T16a	W106a	N21a	M24a	P124b P125b P126b	Q21a	V228a	V324a	X20a	U22a
15:42	V124a	T17b	W107a	N22a	M25a	P127b P128b P129b	Q22a	V229b V230b V232b V233b	V325a	X21a	U23a
15:54	V125a	R01a	W108a	N23a	M26a	P130a	Q23a	V234b V235b	V326a	X22a	U24a
16:06	V126a	R02a	W109a	N24a	M27a	P131a	Q24a	V237a	V327b V328b V329b	X23a	U25a
16:18	V127b V129b V130b	-	W110a	N25a	M28a	P132a	Q25a	V238b	V330a	X24a	U26a
16:30	V131a	-	W111b W112b W113b	-	M29a	P133a	Q26a	-	-	-	-
16:42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	理事会										

*プログラムが変更になりました。

口頭セッション 9月12日(火)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場	K 会場
開始時刻	【観測機器】	【銀河】	【コンパクト天体】	【恒星/星・惑星】	【活動銀河核】	【星・惑星】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【銀河形成】	【太陽系】
09:30	V132a	R05a	W118a	N26a	S01a	P134a	Q28a	V239a	V331a	X25a	L01a
09:42	V133a	R06a	W119a	N27a	S02a	P135a	Q29a	V240a	V332a	X26a	L02a
09:54	V134a	R07a	W120a	N28a	S03a	P136a	Q30a	V241a	V333a	X27a	L03a
10:06	V135a	R08b R09b R10b	W121a	N29a	S04a	P137a	Q31a	V242a	V334a	X28a	L04a
10:18	V136b V137b V138b	R11a	W122a	N30a	S05a	P138a	Q32a	V243a	V335a	X29a	L05a
10:30	V139a	R12a	W123a	P201a	S06a	P139a	Q33a	V244b V245b V246b	V336a	X30a	L06b L07b L08b
10:42	V140a	R13a	W124a	P202a	S07a	P140a	Q34a	V247a	V337a	X31a	L10a
10:54	V141a	R14a	W125a	P203a	S08a	P141a	Q35a	V248a	V338a	X32a	L11a
11:06	V142a	R16b R17b R18b	W126a	P204b P205b P206b	S09a	P142b P144b P145b	Q36a	V249b V250b V251b	V339a	X33b X34b X35b	-
11:18	V143b	R20a	W127a	P208b P209b P210b	S10a	P146b P147b P148b	Q37a	V254b V255b V256b	V340b V341b V342b	X36b X37b X38b	-
11:30	昼休み（代議員総会）（B会場）										
開始時刻	【観測機器/教育・他】	【銀河】	【コンパクト天体】	【星・惑星】	【活動銀河核】	【星・惑星】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器/太陽】	【銀河形成】	【超新星爆発】
13:00	V144a	R22a	W128a	P211a	S11b S12b S13b	P149a	Q38a	V257a	V343a	X39a	K01a
13:12	V145a	R23a	W129a	P212a	S14b S15b S16b	P150a	Q39a	V258a	V344a	X40a	K03a
13:24	V146a	R24a	W130a	P213b P214b P215b	S18a	P151a	Q40a	V259a	V345a	X41a	K04a
13:36	Y01a	R25a	W131a	P216a	S19a	P152a	Q41a	V260a	V346a	X42a	K05a
13:48	Y02a	R27a	W132a	P217b P218b P219b	S20a	P153a	Q42a	V261a	M30a	X43a	K06a
14:00	Y03a	R28a	W133a	P220a	S21a	P154a	Q43a	V262a	M31a	X44a	K07a
14:12	Y04a	R29a	W134a	P221a	S22a	P155a	Q44a	V263a	M32a	X45a	K08a
14:24	Y05b Y06b Y07b	R30a	W135a	P222a	S23a	P156a	Q45a	V264a	M33a	X46b X47b X48b	K09a
14:36	Y08b Y09b Y10b	R31a	W136a	P223a	S24a	P157a	Q46a	V265a	M34a	X49b X50b X51b	K10a
14:48	Y11b Y12b Y13b	R32a	-	P224b P225b P226b	S25a	P158a	Q47a	V266a	M35a	X52a	K11a
15:00	-	R33a	-	-	S26a	-	Q48a	-	M36a	-	K12b K13b
15:30	全員全体集会（J会場）										

口頭セッション 9月13日(水)

	A 会場 【教育・他】	B 会場 【銀河】	C 会場 【コンパクト天体】	D 会場 【星・惑星】	E 会場 【活動銀河核】	F 会場 【星・惑星】	G 会場	H 会場 【観測機器】	I 会場 【太陽】	J 会場 【銀河形成】	K 会場 【超新星爆発】	
09:30	Y18a	R34a	W137a	P228a	S27a	P159a	-	V267a	M37a	X53a	K14a	
09:42	Y19a	R35a	W138a	P229a	S28a	P160a	-	V268a	M38a	X54a	K15a	
09:54	Y20a	R36a	W139a	P230a	S29a	P161a	-	V269a	M39a	X55a	K16a	
10:06	Y21a	R37a	W140a	P231a	S30a	P162a	-	V270a	M40a	X56a	K17a	
10:18	Y22a	R38a	W141a	P232a	S31a	P163a	-	V271a	M41a	X57a	K18a	
10:30	Y23a	R39a	W142a	P233a	S32a	P164a	-	-	M42a	X58a	K19a	
10:42	Y24a	R41a	W143a	P234a	S33a	P165a	-	-	M43a	X59a	K20a	
10:54	-	R42a	W144a	P235a	S34a	P166a	-	-	M44a	X60a	K21a	
11:06	-	R43a	W145a	P236a	S35a	-	-	-	M45a	X61a	K22a	
11:18	-	R44a	-	P237a	-	-	-	-	M46a	X62a	K23a	
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	M47a	-	K24a	
11:42	-	-	-	-	-	-	-	-	M48a	-	-	
11:54	-	-	-	-	-	-	-	-	M49a	-	-	
11:30	昼休み											
12:30	ポスター											
開始時刻				【星・惑星】	【活動銀河核】					【銀河形成】		
13:30	天文教育 フォーラム	-	-	P238a	S36a	-	-	-	-	X63a	-	
13:42		-	-	P239a	S37a	-	-	-	-	X64a	-	
13:54		-	-	P240a	S38a	-	-	-	-	X65a	-	
14:06		-	-	P241a	S39a	-	-	-	-	X66a	-	
14:18		-	-	P242a	S40a	-	-	-	-	X67a	-	
14:30		-	-	P243a	-	-	-	-	-	-	-	-
14:42		-	-	P244a	-	-	-	-	-	-	-	-
14:54		-	-	P245a	-	-	-	-	-	-	-	-
15:06	-	-	-	P246a	-	-	-	-	-	-	-	
15:18	-	-	-	P247a	-	-	-	-	-	-	-	

【K. 超新星残骸】(3)					【R. 銀河】(13)				
K02c	K12b	K13b			R03c	R04c	R08b	R09b	R10b
					R15c	R16b	R17b	R18b	R19c
【L. 太陽系】(4)					R21c	R26c	R40c		
L06b	L07b	L08b	L09c		【S. 活動銀河核】(7)				
					S11b	S12b	S13b	S14b	S15b
【M. 太陽】(10)					S16b	S17c			
M09b	M10b	M11b	M12b	M13b	【T. 銀河団】(1)				
M14b	M15b	M16c	M17b	M18b	T17b				
【N. 恒星】(6)					【U. 宇宙論】(7)				
N10b	N11b	N12c	N13b	N14c	U09c	U10c	U12b	U13c	U14b
N15c					U15b	U16c			
【P1. 星・惑星】(22)					【V1. 観測機器】(18)				
P110b	P111b	P112b	P113b	P114b	V102b	V103b	V104b	V112b	V113b
P115b	P116b	P117b	P118b	P124b	V114b	V115c	V121b	V122b	V123b
P125b	P126b	P127b	P128b	P129b	V127b	V128c	V129b	V130b	V136b
P142b	P143c	P144b	P145b	P146b	V137b	V138b	V143b		
P147b	P148b				【V2. 観測機器】(37)				
【P2. 星・惑星】(17)					V203b	V204b	V205b	V207b	V208b
P204b	P205b	P206b	P207c	P208b	V209b	V212c	V213b	V214b	V215b
P209b	P210b	P213b	P214b	P215b	V219b	V220b	V221b	V224b	V225c
P217b	P218b	P219b	P224b	P225b	V226b	V227b	V229b	V230b	V231c
P226b	P227c				V232b	V233b	V234b	V235b	V236c
【Q. 星間現象】(5)									
Q12b	Q13b	Q14b	Q15b	Q27c					

V238b V244b V245b V246b V249b

V250b V251b V252c V253c V254b

V255b V256b

【V3. 観測機器】(17)

V307b V308b V309b V311c V313b

V314b V315b V318b V319b V320b

V321c V327b V328b V329b V340b

V341b V342b

【W1. コンパクト天体】(7)

W111b W112b W113b W114b W115c

W116c W117c

【X. 銀河形成】(18)

X07b X08b X09b X14b X15b

X16b X33b X34b X35b X36b

X37b X38b X46b X47b X48b

X49b X50b X51b

【Y. 教育・他】(13)

Y05b Y06b Y07b Y08b Y09b

Y10b Y11b Y12b Y13b Y14c

Y15c Y16c Y17c

【K. 超新星爆発】

9月12日(火) 午後(13:00-15:12) [K会場]

K01a	13:00	重力崩壊型超新星の3次元長時間計算に向けて 中村航(福岡大学)
K02c		回転する重力崩壊型超新星の系統的解析 坪根達之(福岡大学)
K03a	13:12	ボルツマン輻射輸送計算による回転星の超新星爆発 原田了(東京大学)
K04a	13:24	原子核状態方程式が超新星からのニュートリノ放出に与える影響 中里健一郎(九州大学)
K05a	13:36	重力崩壊型超新星に用いられる親星モデルの爆発優位性の解析 山本佑(早稲田大学)
K06a	13:48	Pair-instability supernova から放出されるニュートリノの観測可能性 藤本空(東京大学)
K07a	14:00	重力波の円偏角観測によって探る超新星爆発の物理 端山和大(東京大学)
K08a	14:12	恒星風加速の超新星への影響 守屋堯(国立天文台)
K09a	14:24	IIP型超新星の星周ダストが作る偏光 長尾崇史(京都大学)
K10a	14:36	強い重力レンズを用いた超新星予報 諏訪雄大(京都大学)
K11a	14:48	すばる HSC データを使用した機械学習による超新星タイプ分類 高橋一郎(東京大学)
K12b	15:00	すばる HSC を用いて発見した母銀河のない超新星の候補 山口正輝(東京大学)
K13b	15:00	低光度 IIP 型超新星 SN 2016bkv における星周物質 中岡竜也(広島大学)

9月13日(水) 午前(09:30-11:42) [K会場]

K14a	09:30	炭素燃焼過程における共鳴が Ia 型超新星に及ぼす影響 森寛治(東京大学)
K15a	09:42	Properties of An Early-Phase Type Ia Supernova Found by The MUSSES Project Ji-an Jiang (The University of Tokyo)
K16a	09:54	重力崩壊型超新星の爆発エネルギーの成長時間と元素合成の相関性 澤田涼(京都大学)
K17a	10:06	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? 須田拓馬(東京大学)
K18a	10:18	failed supernovae の銀河の化学進化への影響 鈴木昭宏(京都大学)
K19a	10:30	Failed Supernova におけるニュートリノ振動 財前真理(東京大学)
K20a	10:42	Radio Emission from Embryonic Super-Luminous Supernova Remnants Conor Omand (The University of Tokyo)
K21a	10:54	超新星残骸 RX J1713.7-3946 からの熱的 X 線放射の発見 勝田哲(中央大学)
K22a	11:06	X 線観測によるケプラーの超新星残骸の明るい塊構造の三次元速度測定 佐藤寿紀(首都大学東京/宇宙航空研究開発機構)
K23a	11:18	iPTF13bvn の親星系に存在するブラックホールの起源について 平井遼介(早稲田大学)
K24a	11:30	白色矮星と中性子星の合体に伴う突発天体現象に関する研究 谷川衝(東京大学)

K01a 重力崩壊型超新星の3次元長時間計算に向けて

中村航, 固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台)

近年、数値計算手法と計算機性能の向上にともない、2次元空間中での重力崩壊型超新星の進化を数秒にわたって計算した例が報告されつつある (Mueller 2015)。私も昨年度、同種の2次元長時間計算をおこなった (Nakamura et al. 2016)。しかし軸対象を仮定したこれらの2次元計算では衝撃波が極方向に選択的に発達する傾向にあり、赤道方向からの質量降着が止まらずブラックホールになる、爆発エネルギーが典型的な値と考えられている 10^{51} エルグに収束しない等の問題が見られた。

これらの問題を解決し、重力崩壊型超新星の姿を再現するには、空間3次元における長時間計算が不可欠である。超新星内部のニュートリノ輻射輸送と原子核反応エネルギーを考慮したセルフコンシステントな空間3次元長時間計算に向けて、計算コストの問題を粗視平均化と呼ぶ方法で克服し、超新星の真に現実的なモデルを作成することを目指す。今回の発表では、11.2 太陽質量の親星モデル (Woosley, Heger, & Weaver 2002) を使用した計算の結果を報告する。球状に近い衝撃波、爆発エネルギーの増加等、空間2次元での計算との差異を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K02c 回転する重力崩壊型超新星の系統的解析

坪根達之, 中村航, 固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台)

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爆発現象である。その爆発機構はいまだ未解明な部分も多いが、中心から放出されるニュートリノが衝撃波背面の物質を加熱して爆発に至るニュートリノ加熱シナリオが有力視されている。一方、一般に星は回転している。回転星の爆発は無回転の場合とは異なる様相を示し、その影響はニュートリノや重力波、電磁波といった観測量に現れると考えられる。回転速度と観測量との関係を解明することは、観測が困難な超新星の中心の情報を得るうえで重要である。そこで本研究では、回転による重力崩壊型超新星への影響を空間 2 次元の数値計算によって系統的に調査した。

重力崩壊する直前のコアの回転速度はよくわかっていない。今回の計算では、中心の鉄コアはほぼ剛体回転していると仮定して角速度分布を与え、その大きさはパラメータとして扱った。計算の結果、バウンス直後に停滞する衝撃波の半径は回転しているモデルの方が大きい傾向にあった。一方、回転モデルでは中心で形成される原始中性子星が遠心力によって支えられ、そこから放出されるニュートリノの光度や平均エネルギーは無回転モデルに比べて著しく減少した。衝撃波の膨張は停滞衝撃波の復活を助け、ニュートリノ光度やエネルギーの減少は復活を妨げる方向に働く。相反する効果により、回転が爆発を助けるモデルと妨げるモデルが現れた。特に 15 太陽質量のモデルで違いが顕著に現れた。回転による爆発への影響と親星構造との関係を系統的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a ボルツマン輻射輸送計算による回転星の超新星爆発

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る。大質量星は進化の最後に中心の鉄コアで重力崩壊を起こし、中心が核密度に達する頃にバウンス衝撃波を形成する。バウンス衝撃波はやがてエネルギーを失い停滞するため、爆発するためにはこれを復活させるメカニズムが必要となる。メカニズムの最有力仮説はニュートリノ加熱メカニズムである。これは、バウンス後に中心に残される原始中性子星からニュートリノが放射され、それをエネルギー源として衝撃波が復活するというものである。

しかしながら、これを確かめるために行われてきたニュートリノ輻射流体シミュレーションの結果は、研究者グループによって違う。ニュートリノ輸送は一般に計算コストが高く、多くのグループが近似的輸送計算を行うことで計算コストを抑えているが、この近似方法の違いが結果の違いの一つの原因であると考えられる。そこで我々のグループでは、ニュートリノ輸送を近似せず、ボルツマン方程式を直接解くコードを開発した。これにより、人為的な仮定を用いない第一原理的計算を行うことができる。このコードを用いて、我々は太陽の11倍程度の質量を持つ親星の重力崩壊計算を行い、近似的ニュートリノ輸送とどのような違いが出るかを調べてきた。

本講演では特に親星の自転に着目する。上記の親星に自転速度を与えた上で重力崩壊計算を行い、その結果得られたニュートリノ分布等について、特に回転によって初めて表れる側面を中心に報告する。また、自転が衝撃波ダイナミクスに与える影響等も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04a 原子核状態方程式が超新星からのニュートリノ放出に与える影響

中里健一郎 (九州大学), 富樫甫 (理研), 住吉光介 (沼津高専), 鈴木英之 (東京理科大学)

重力崩壊型超新星はマクロなガスダイナミクスにミクロな物理過程が影響を与える複雑な現象であるため、その全容の解明にはニュートリノや原子核の相互作用といった subatomic レベルの物理の理解が不可欠である。現在、原子核状態方程式が爆発のしやすさにどのような影響があるか、あるいは、ニュートリノの観測から爆発のメカニズムにどの程度せまれるか、といった観点からさまざまな研究が進められている。

今回の研究では、既存の状態方程式テーブルに加えて、新たに作成された状態方程式を用いて超新星からのニュートリノ放出に関する数値計算を行い、状態方程式による違いを調べた。この新しい状態方程式は、現実的核力に基づいたクラスター変分法による有限温度の一樣核物質相と、それに基づく Thomas-Fermi 計算による非一樣核物質相から成る。また、ニュートリノ放出の計算は球対称を仮定しつつもバウンス後、数十秒という長いタイムスケールを追った。その結果、状態方程式による違いは特に原始中性子星冷却のフェーズにおけるニュートリノ放出に影響を与え、新しい状態方程式では既存の Lattimer-Swesty や Shen のものと比べてニュートリノ光度、平均エネルギーとも高くなることがわかった。本講演ではこれらの計算について解析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](#)

K05a 重力崩壊型超新星に用いられる親星モデルの爆発優位性の解析

山本佑 (早稲田大学)

本研究は前回の春季年会の発表に引き続き、重力崩壊型超新星爆発のメカニズムを親星依存性の観点から議論していく。そのためにまず星の進化モデルから得られた結果を参考に、より内部構造を簡略した親星モデルを複数構築した。これらの「人工親星モデル」をニュートリノを簡易的に扱った GR1D コード (O'Connor & Ott 2010) を用いて数値シミュレーションを行った。

パラメータにコア質量、シリコン層の質量、そしてエントロピーの質量分布を採用し、全部で70モデル程用意することによって、親星の爆発のしやすさが鉄コア中心部の密度と Gibbs 自由エネルギー密度に強く関連することが明らかになった。上記の傾向がニュートリノ輸送方程式をきちんと解いた数値スキームでも見られるかを確認し、最終的に星の進化モデルと人工親星モデルがどの様に対応しているかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a Pair-instability supernova から放出されるニュートリノの観測可能性

藤本空 (東京大学) 吉田敬 (東京大学) 梅田秀之 (東京大学) 高橋亘 (ボン大学)

Pair-instability supernova は電子と陽電子の対生成によって生じる動的な重力収縮と爆発的な元素合成によって起こる超新星である。また、Pair-instability supernova は 120-260 太陽質量の初期質量を持つ低金属量の星がなり得る。最近、このような大質量かつ低金属量の星が銀河系近傍でも発見され始めており、銀河系近傍において Pair-instability supernova が観測される可能性がある。Pair-instability supernova の観測については様々な方法で議論がなされているが、ニュートリノによる観測可能性については議論されていない。

そこで、本研究においては Takahashi et al.(2015) の Pair-instability supernova のモデルを用いて、ニュートリノのスペクトルの計算を行った。これにより、放出されるニュートリノの平均エネルギーは Core-collapse supernova と比べて低く、0.6MeV から 3MeV 程度となることが分かった。また、初期質量が大きく Metallicity がある方がスペクトルのピークの値は大きく、ピーク時のエネルギーも大きくなる。Pair-instability supernova となるモデルのうち最大の初期質量を持つ 260 太陽質量のモデルにおいて、bounce 時には電子ニュートリノと μ, τ ニュートリノがそれぞれ秒間 2.5×10^{55} , 4.2×10^{54} 個放出されることなどが分かった。更に、ニュートリノ振動の効果を考慮した場合のスペクトルについても調べた。それらのスペクトルを用いて、地球上において Hyper-Kamiokande や KamLAND 等の観測装置で観測を行う場合の、ニュートリノの観測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](#)

K07a 重力波の円偏向観測によって探る超新星爆発の物理

端山和大(宇宙線研)、黒田仰生(ダルムシュタット工科大)、中村航(福岡大)、山田章一(早稲田大)、
滝脇知也(国立天文台)、固武慶(福岡大)

We propose to employ the circular polarization of gravitational waves emitted by core-collapse supernovae as an unequivocal indication of rapid rotation deep in their cores just prior to collapse. It has been demonstrated by three dimensional simulations that nonaxisymmetric accretion flows may develop spontaneously via hydrodynamical instabilities in the postbounce cores. It is not surprising, then, that the gravitational waves emitted by such fluid motions are circularly polarized. We show, in this Letter, that a network of the second generation detectors of gravitational waves worldwide may be able to detect such polarizations up to the opposite side of the Galaxy as long as the rotation period of the core is shorter than a few seconds prior to collapse.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08a 恒星風加速の超新星への影響

守屋堯 (国立天文台), S.-C. Yoon (ソウル大学), G. Gräfener (ボン大学), S. Blinnikov (ITEP)

近年の突発天体サーベイの発展により、超新星が爆発後数時間以内に発見され、その直後にスペクトルが取られるような観測が可能になり始めている。中でも超新星 2013fs は爆発後約 6 時間後にスペクトルが取られた初めての IIP 型超新星である。爆発 6 時間後のスペクトルには非常に細い水素の輝線が存在し、親星が高い質量放出率を持った状態で爆発していたことが明らかになった。ところが、スペクトルのモデルから見積もられた爆発直前の親星の質量放出率が $10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ であるのに対し、光度曲線のモデルからは $0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 以上という見積もりが得られ、2つの方法で見積もられた親星の質量放出率に大きな隔たりがあった。この講演では、恒星風加速の効果により、質量放出率が一定であっても、親星に近づくにつれて恒星風が減速する効果で星周密度が大きくなる事を考慮することでこの隔たりを説明できることを示す。恒星風加速の効果を取り入れることにより、親星の爆発の質量放出率は光度曲線の観点からも $10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程度で超新星 2013fs の初期観測量を説明できることが分かった。IIP 型超新星一般の可視光光度曲線の立ち上がりと恒星風加速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](#)

K09a IIP 型超新星の星周ダストが作る偏光

長尾崇史, 前田啓一 (京都大学), 田中雅臣 (国立天文台)

IIP 型超新星は重力崩壊型超新星の大半を占める超新星であり、多くの大質量星の最期の姿である。これらの超新星は、光度が一定のプラトー段階を経たのち、急激な光度の減光と共に偏光度の増加を示す。一般的には、光球が非対称な内側コアに達することで、偏光の急激な増加が生じると考えられている。この非対称性の情報は爆発メカニズムの制限に使われるため、偏光の起源の解明は爆発メカニズムの解明に繋がる重要な課題である。一方で、超新星 SN1987A の偏光を星周ダストによる散乱エコーで説明する試みもある (Wang & Wheeler 1996)。ダスト散乱により偏光したエコーは、超新星本体の光に比べ遅れて観測者に届く。超新星が急激に暗くなる際には相対的に散乱光の寄与が大きくなり、超新星としての偏光度が増加する。急激な減光期を示す IIP 型超新星において重要な効果となり得ることが期待されるが、この偏光のメカニズムはこれまで IIP 型超新星を対象としては議論されてこなかった。本研究では、三次元輻射輸送計算を用いて、様々な分布と量の星周ダストをもつ IIP 型超新星における星周ダスト起源の偏光の時間進化を計算した。その結果、観測者に対して非対称的に分布する星周ダストでの散乱により、IIP 型超新星の偏光の特徴を説明できることを明らかにした。また、その結果を二つの超新星 (SN 2004dj と SN 2006ov) の観測結果と比較することで、観測を説明できる最適な星周ダストの分布と量を特定した。分布はプロブやジェット構造で、質量は $10^{-3}M_{\odot}$ 程度と求まった。これは、IIP 型超新星の親星である赤色超巨星の質量放出率ともよく一致する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K10a 強い重力レンズを用いた超新星予報

諏訪雄大（京都大学）

超新星爆発の初期光度曲線への注目は年々高まっている。ショックブレイクアウトと呼ばれる衝撃波が星の表面を貫いた瞬間を観測することで得られる情報は多い。こうした超新星極初期の観測を行なうには、天球面の広い範囲を高頻度で観測するサーベイが有効である。しかし、こうしたサーベイ観測では、サーベイによる発見ののちにフォローアップ観測を行なうため、多波長同時観測を行なうことはできない。

本講演では、広視野サーベイ以外の超新星ショックブレイクアウト観測方法として、強い重力レンズ効果を用いた超新星予報の可能性を議論する。2022年頃から稼働する The Large Synoptic Survey Telescope (LSST) によって、年間 10 発程度の重力レンズ超新星が観測されると期待されている。特に、4重像を作る重力レンズ天体に着目する。このとき、最初の3つの像の位置や増光率、そして時間差を用いることで重力レンズポテンシャルを制限することができ、それらの情報を用いることで4つ目の像の出現時間や位置の予言が可能であることが分かった。こうした超新星予報を活用することで、ショックブレイクアウトの多波長同時観測が可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K11a すばる HSC データを使用した機械学習による超新星タイプ分類

高橋一郎 (Kavli IPMU), 木村昭悟, 上田修功 (N T T コミュニケーション科学基礎研究所), 安田直樹, 鈴木 尚孝 (Kavli IPMU), 田中雅臣, 守屋堯 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 諸隈智貴 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU), ほか HSC Transient チーム

我々は2016年11月から2017年4月にかけて、すばる望遠鏡とHyper Suprime-Cam(HSC)による超新星サーベイ観測を実施し、約2平方度のCOSMOS領域(一部期間は約8平方度)において、52回(異なる日時とフィルターの組み合わせ)の観測を行った。これらの観測データと約1年前までに取得されたデータの差分を取ることで時間変動天体の検出を行った結果、約7万個の変動天体が見つかり、1000天体以上の超新星を検出した。

この超新星サーベイと同時期に、遠方($z > 1$)のIa型超新星を利用した宇宙論パラメータの制限を目的として、地上の大型望遠鏡(すばる/Keck/VLT/Gemini)での分光観測やハッブル宇宙望遠鏡による追観測を予定していたため、大量に見つかる超新星(数週間で新たに100個)の中から追観測すべきIa型超新星の迅速かつ正確な分類と厳選が必要となった。そこで我々は機械学習(ディープニューラルネットワーク)による超新星のタイプ分類を試みた。まず、サーベイが始まる前に、シミュレートした擬似超新星データを入力として、Ia型とそれ以外の二値分類タスクのテストを行った。その結果、非常に高い識別率(ROC曲線のAUC評価で0.96以上)でIa型を分類できることを確認した。サーベイ観測中はその分類器を従来の分類方法であるライトカーブのテンプレートフィッティングと併用し、追観測するIa型超新星を厳選した。サーベイ終了後、実観測における分類器の識別率を確認したところ、ROC曲線のAUC評価で0.9以上の優秀な成績を得た。

本講演では実施した分類方法とその結果に加え、現在検証中のマルチタイプ分類の現状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](#)

K12b すばる HSC を用いて発見した母銀河のない超新星の候補

山口正輝 (東京大学)、田中雅臣、守屋堯 (国立天文台)、富永望 (甲南大学)、諸隈智貴 (東京大学)、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により、どの銀河にも属していないように見える超新星を 50 個程度発見した。一般的には、超新星の親星は銀河に所属していると考えられる。しかし、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。(1) の場合、銀河間空間の種族や化学組成のほぼ唯一の情報源となるが、(2) の混入が避けられない。(2) の超新星は、より深いサーベイを行うことにより母銀河を同定できると考えられる。そこで我々は、これまでになく深いサーベイデータ (i バンドで 27 等級) を用いた無母銀河超新星の探査を行った。

用いたデータは、HSC によって 2016 年 11 月から 2017 年 4 月に取得したものである。COSMOS 領域とその周辺領域に対し、計 52 回 (g,r,i,z,Y フィルタの合計) の観測を行った。約 1 年前までに HSC で取得した参照画像とこれらのデータとの差分をとり、約 1300 個の超新星を発見した。これらの超新星に対し、銀河のサイズと形状を取り入れた距離指標を用いて母銀河を同定し、母銀河同定されなかった超新星を無母銀河超新星の候補とした。その結果、無母銀河超新星の候補を 50 個程度発見した。本講演では、これらの超新星のタイプも報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K13b 低光度 IIP 型超新星 SN 2016bkv における星周物質

中岡竜也, 川端弘治, 山中雅之 (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)

重力崩壊型超新星は太陽の8倍以上の質量を持つ大質量星が親星だと考えられている。爆発後数日から~100日以上、可視光で光度がほとんど変化しないプラトーを持つIIP型超新星(SN IIP)の中でも際立った特徴を示すサブグループとして、低光度IIP型超新星(LL SN IIP)が挙げられる。これまでの爆発前画像の解析から、LL SNe IIPの親星は $8-12M_{\odot}$ 程度の比較的軽い初期質量であることが報告されているが、その起源は不明瞭なままである。また、近年はSNe IIPの爆発直後に星周物質との相互作用の兆候と見られる水素輝線が検出される例が報告されている。これは大質量星が進化の最終段階に起こす質量放出で説明可能であり、輝線強度から爆発前の質量放出率、加えて親星の質量を推定できると期待されるが、LL SNe IIPにおいてはそのような報告例はない。

我々は、LL SN IIP 2016bkv が~140日以上にもなる長いプラトー持つことから、親星が厚い水素外層を有していた可能性が高いことを見出した。この結果から、SN 2016bkvの親星が他のLL SNe IIPと比較して大質量であり、LL SNe IIPの親星質量に広い分布がある可能性がある(2017年春季天文学会 K06a)。さらに我々は解析を進め、この超新星が初期の光度曲線において~1等の増光、及び同時期のスペクトルにおいて水素輝線が見られ、LL SN IIPにおいて初めて高密度星周物質との相互作用の可能性のあることを見出した。星周物質が親星(赤色超巨星)からの星風によって形成されたと仮定すると、爆発の約5年前から $5.0 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ year}^{-1}$ に到達する爆発的な質量放出を経験したと考えられる。LL SNe IIPにおいても、一部のSNe IIPに見られるような爆発的な質量放出を伴う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](#)

K14a 炭素燃焼過程における共鳴がIa型超新星に及ぼす影響

森寛治 (東京大学), Michael A. Famiano (Western Michigan University), 梶野敏貴 (国立天文台)

超新星爆発のうち、スペクトルに水素の吸収線が見られず、かつケイ素の吸収線が強いものをIa型超新星と呼ぶ。Ia型超新星の親星はいまだ明らかとなっていないが、有力なシナリオとして、白色矮星に伴星から質量が降着しチャンドラセカール質量近くまで成長すると超新星爆発に至るSingle Degenerate (SD) シナリオと、白色矮星連星が重力波を放出しつつエネルギーを失い合体に至り、超新星として爆発を起こすというDouble Degenerate (DD) シナリオがある。SDシナリオでは、超新星爆発の直前に白色矮星の内部で $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 反応(炭素燃焼過程)が開始し、対流が発生することが知られている。この進化段階はcarbon simmeringと呼ばれており、電子捕獲反応を通して親星の中性子度を変化させ、超新星爆発の元素合成に影響を及ぼす可能性がある。一方、DDシナリオでは、連星合体後の進化の様子は $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 反応の反応率に敏感に依存する。

このように $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 反応は重要な素過程であるが、その反応断面積を実験的に測定することは難しい。これは、天体物理的な環境では熱的に分布するプラズマ中で反応が起こるため、低エネルギー領域における反応断面積が重要になるためである。特に、低エネルギー領域に共鳴が存在した場合、従来の研究で用いられている反応率と比べて数桁大きな反応率を用いる必要がある。本講演では、最新の実験的知見と核物理学に基づく理論的な考察によって適切な反応率を導くとともに、そうして得られた新しい反応率がIa型超新星に及ぼす影響を探る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K15a Properties of An Early-Phase Type Ia Supernova Found by The MUSSES Project

Ji-an Jiang, Mamoru Doi, Keiichi Maeda, Toshikazu Shigeyama, Naoki Yasuda, Ken'ichi Nomoto, Tomoki Morokuma, Nozomu Tominaga, Masaomi Tanaka, Nao Suzuki, Hisanori Furusawa, Ž. Ivezić, A. J. Connolly, P. Ruiz-Lapuente, S. W. Jha, F. Patat, M. Stritzinger, P. A. Mazzali, J. Mould, D. Baade, L. Wang, D. Jones

Type Ia supernovae (SNe Ia) have been used as “standard candles” to demonstrate the accelerating expansion of the universe though the nature of their progenitor systems and how the stars explode are still obscured. Photometric information of SNe Ia within a few days after their explosions (early-phase SNe Ia) is important for solving such long-standing issues of SNe Ia, and the systematical study of early-phase SNe Ia has been carried out with the new generation large field camera of the 8.2-m Subaru telescope—Hyper Suprime-Cam (HSC). In this presentation, we report an abnormal early-phase SN Ia found in the first observing run of “the **M**ulti-band **S**ubaru **S**urvey for **E**arly-phase **S**Ne Ia” (**MUSSES**) in 2016. We will present the details on observational results and theoretical interpretations, and discuss the scientific importance of this interesting object. As the first early-phase SN Ia survey with 8-m class telescopes, more exciting findings for the further understanding of the SNe Ia explosion and progenitor issues can be expected 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](#)

K16a 重力崩壊型超新星の爆発エネルギーの成長時間と元素合成の相関性

澤田涼, 前田啓一 (京都大学)

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

近年の第一原理からの研究では、「爆発エネルギーは長い時間 ($O(1)$ [s]) をかければ超新星の典型値 10^{51} [erg] まで成長しうる」と示唆されている (e.g. Nakamura et al. 2014)。さらには、爆発エネルギーが 10^{51} [erg] まで成長する時間 (t_{grow}) は、 ^{56}Ni の合成量に強く影響を与えることが示唆されている (Suwa, Tominaga & Maeda 2017)。

以上を踏まえて本研究では、典型的な超新星が再現される「爆発エネルギーの成長時間 t_{grow} 」の範囲について検討した。成長時間 t_{grow} をパラメーターに流体・元素合成計算を行い、 ^{56}Ni の合成量と観測量との比較を行った。その結果、成長時間 t_{grow} が 200 [ms] 以下であれば典型的な超新星を再現し得ることが分かり、爆発メカニズムに対して強い制約がかけられた。本講演では、更に ^{44}Ti の合成量と成長時間 t_{grow} の相関性、近傍超新星残骸における観測量との比較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](#)

K17a 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？

須田拓馬（東京大学）、齋藤貴之（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。この観測事実に対する最も簡単な解釈は、連星間質量輸送によって表面に AGB 星の外層が降り積もったという仮説であるが、これらの星には連星間質量輸送と強い相関がある炭素の過剰は必ずしも見られない。また、リチウム減少は金属量と相関がある可能性が指摘されており、金属量の少ない星ほどリチウム減少が見られる。

本研究では、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連星仮説を提唱する。II 型超新星の爆風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検証する。本研究は、大質量星の進化、超新星爆発のモデル、超新星爆発の伴星への影響、大質量星と低質量星からなる連星の探査の 4 項目について検討する。本講演では、金属欠乏大質量星の恒星進化モデルの計算、超新星爆発モデルの計算、SPH 流体計算を用いた爆風と低質量星の相互作用の計算、および近傍 OB 型星の視線速度変動観測による連星探査の現状について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K18a failed supernovae の銀河の化学進化への影響

鈴木昭宏、前田啓一（京都大学）

近年の超新星親星探査やサーベイ観測などから、 $8-10M_{\odot}$ より大きな質量を持って生まれ、本来であれば重力崩壊型超新星爆発を起こすと考えられてきた大質量星であっても、爆発を起こさずに星の大部分がブラックホールへ落ち込むものが存在する可能性が指摘されている。このようなイベントは failed supernova と呼ばれ、理論的には弱い力学的エネルギーで飛び出した星の外層が暗く赤い熱放射を行うことが予想されている (Nadezhin 1980, Lovegrove & Woosley 2013)。このような現象の候補天体も報告されており、大質量星全体の 10%程度を占めるのではないかという見積もりもある (Adams et al. 2016a,b)。このように静かな最期を迎える星は、観測的に確認されている II 型超新星の親星 (初期質量 $\sim 9-17M_{\odot}$) より重い初期質量 $20-30M_{\odot}$ 程度の星と考えられ、理論的にもこの質量範囲にある星は超新星爆発を起こしにくいとされている。

大質量星の内のある質量範囲が選択的に爆発しない場合、その影響を多方面から考えることが重要である。特に銀河の化学進化においては、超新星による星間ガスへの重元素の供給は本質的な役割を果たしている。 $20M_{\odot}$ を超える星は酸素の供給源として重要で、これらの星が爆発しない場合には $[\text{Fe}/\text{O}]-[\text{O}/\text{Fe}]$ 分布に深刻な影響を与える可能性がある。そこで、私達は one-zone の銀河化学進化モデルを用いて、failed supernovae がどのようにその結果に影響するかを調べた。その結果、II 型超新星の親星として観測的な裏付けがある $8-20M_{\odot}$ の星が爆発するだけではやはり酸素の供給が足りないことを確認した。さらに超新星として爆発する星の質量範囲を変えたいくつかのモデルの結果を示し、II 型超新星となる星よりも重い星 ($> 20M_{\odot}$) の最期について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K19a Failed Supernova におけるニュートリノ振動

財前真理 (東京大学), 吉田敬 (東京大学), 住吉光介 (沼津高専), 梅田秀之 (東京大学)

Failed Supernova とは、大質量星がコアバウンスした後次々と降着してくる物質に衝撃波が押しつぶされてそのままブラックホールを形成するものである。普通の超新星のように明るく輝くこともない。このときの中心部では原始中性子星の質量限界を越えてもまだ物質降着が続くために大量のニュートリノが発生し、平均エネルギーも上昇し続けることになる。それ故に観測されると超新星ニュートリノとは異なる性質が見られ、ブラックホール形成理論を知る上では電磁波ではなくこのニュートリノが鍵となる。Super-Kamiokande など現在稼働している検出器であれば 1987A のときと比べて大量のニュートリノが検出される。しかしそれらはニュートリノ振動による影響を受けているため、全貌を把握するにはまずニュートリノ振動の詳細な理解が必要である。

超新星内部でのニュートリノ振動は真空振動、物質振動 (MSW 効果)、そして集団振動 ($\nu\nu$ 相互作用) の 3 つに分けられる。前二つの振動は線型効果であるため解析的に既によく理解されている。3 つ目の集団振動は中心部での超高密度ニュートリノ同士の衝突による非線型効果であり、実験で再現できないため未だにわからないことが多い。本研究ではその検証も兼ねて 1 次元シミュレーションによる Failed Supernova ($40M_{\odot}$ モデル) を仮定し、コアバウンス後からブラックホール形成直前までの数 snapshot に対して振動効果の計算を行った。コアバウンス後 150ms 以降では質量逆階層性において反電子ニュートリノは集団振動によってスペクトルのほぼ 100% が入れ替わり、その後 MSW 効果の resonance を通過する際に再びスペクトルが変化する様子が得られた。本発表では計算により得られた様々な時間帯でのスペクトルをもとに Super-Kamiokande での検出可能性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](#)

K20a Radio Emission from Embryonic Super-Luminous Supernova Remnants

Conor Omand (University of Tokyo), Kazumi Kashiyama (University of Tokyo), Kohta Murase (Pennsylvania State University, Kyoto University)

A central engine, like a fast spinning newborn pulsar, is thought to power the extremely rare Type-I superluminous supernovae (SLSN). Quasi-thermal optical supernova emission can not differentiate between different engines, but there may be non-thermal emission unique to a pulsar engine. Young NSs and magnetars are also candidate progenitors for long Gamma-Ray Bursts, type Ibc supernovae, and the recently discovered fast radio bursts (FRBs), and the recent localization of the source for the repeating FRB 121102 with a host galaxy similar to observed SLSN hosts motivates follow-up observations of candidates for pulsar-driven supernovae, for which SLSN are among the most interesting. We gathered suitable optical SLSN data from six supernovae that we fit with a NS-driven model to obtain possible NS parameters. We then calculated radio light curves while varying observed frequency, absorption, and NS parameters to understand the full range of possible emission. We then compare the calculated fluxes to previous observational limits from VLA and ALMA to determine the feasibility of observational follow-up. We found that at 1 GHz, two to five supernovae would be detectable on a timescale of ~ 10 -30 years. These supernovae also show emission broadly consistent with the persistent source of FRB 121102. In the 100 GHz band, three to six supernovae are detectable on a timescale of ~ 1 -3 years. With this, we show that ALMA detection of NS-driven SLSN non-thermal emission is feasible.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K21a 超新星残骸 RX J1713.7-3946 からの熱的 X 線放射の発見

勝田 哲 (中央大), Fabio Acero (CEA Saclay), 富永 望 (甲南大), 福井康雄 (名古屋大), 平賀純子 (関西学院大), 小山勝二 (京都大), Shiu-Hang Lee (京都大), 森 浩二 (宮崎大), 長瀧重博 (理研), 大平 豊 (青山学院大), Robert Petre (NASA GSFC), 佐野栄俊 (名古屋大), 武内陽子 (理研), 玉川 徹 (理研), 辻 直美 (立教大), 常深 博 (大阪大), 内山泰伸 (立教大)

RX J1713.7-3946 は、全天で最も強くシンクロトロン X 線を放射する超新星残骸で、宇宙線加速研究において中心的役割を果たす天体である。しかしこの天体からの熱的 X 線放射は、20 年におよぶ熱心な探査にも関わらず検出されて来なかった。

我々は、X 線天文衛星「XMM-Newton」及び「すざく」がこれまでに取り溜めたアーカイブデータ全てを包括的に解析した。その結果、残骸中心領域のスペクトル中に輝線構造を発見した。この輝線は熱的放射モデルでよく再現でき、Ne Ly α , Mg He α などに対応することが判明した。解析の結果、鉄に対する重元素組成比 (X/Fe) が太陽組成と比べ著しく高いことも判り、この熱的放射はリバースショックで加熱された爆発噴出物に由来する可能性が高いことを突き止めた。測定した重元素組成比 (Mg/Ne \sim 2.0–2.6, Si/Ne \sim 1.5–2.0, Fe/Ne \lesssim 0.05) は、親星の質量が比較的軽い ($\lesssim 20 M_{\odot}$) ことを示唆する。一方、衝撃波速度が比較的速い (>6000 km/s) ことは、超新星タイプが stripped-envelope 型 (SN Ib/c) であったことを示唆する。そこで我々は、これらの観測結果を矛盾なく説明する親星・超新星シナリオとして、質量 $\lesssim 20 M_{\odot}$ の親星が連星系を成しており、連星相互作用によって H and/or He 外層がはぎ取られた状態で超新星爆発した可能性を提案した。本講演では、熱的 X 線放射発見の経緯からその解釈まで簡潔に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K22a X線観測によるケプラーの超新星残骸の明るい塊構造の三次元速度測定

佐藤寿紀(首都大/宇宙研)、John P. Hughes(Rutgers University)

Ia型超新星残骸において、星周物質(爆発前に恒星風で撒き散らされた物質)の存在は、白色矮星が恒星からの質量降着によって臨界質量(約1.4太陽質量)に達し超新星を起こした事を示す、有力な証拠となる。本研究の対象であるケプラーの超新星残骸は、1604年にヨハネス・ケプラーによって発見されたIa型超新星の残骸であり、赤外やX線の観測からは、星周物質との衝突が示唆されている(e.g., Reynolds et al. 2007, Williams et al. 2012)。その分布は、北部や中心部領域に非対称的に集中しており、残骸の構造進化にも、影響を与えていると考えられている(e.g., Vink 2008, Chiotellis et al. 2012, Burkey et al. 2013)。この非対称的な星周物質の分布や構造進化の調査は、降着型のIa型超新星の爆発時の周辺環境を理解する上でも重要な情報となりうる。

本研究では、残骸内に存在する14個の明るい塊状のX線構造に着目し、その二次元面上での固有運動とX線ドップラー偏移を用いた視線方向の速度を同時に測定する事で、それぞれの三次元速度を見積もり、この超新星残骸の周辺環境のさらなる詳細構造に迫った(Sato & Hughes 2017, submitted to Apj)。その結果、最も速いものはIa型超新星の初速度と同程度の速度($\lesssim 10,000$ km/s)を持ち、ほぼ減速を受けていない状態($0.75 < m < 1.0$: $r \propto t^m$)で膨張し続けている事がわかった。一方で、最も遅い塊構造は、速度 $\sim 1,000$ km/s程度で減速具合も著しい($m \sim 0.1$)。X線スペクトルから、これらの構造内の元素組成比を調べると、前者は爆発噴出物が支配的で、後者は星周物質を多く含んでいる事がわかった。これらの結果は、残骸周辺にこれまでに考えられていた濃い星周物質だけでなく、希薄な領域も混在している事を意味し、ケプラーの超新星の爆発時の周辺環境が非常に複雑であった事を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K23a iPTF13bvnの親星系に存在するブラックホールの起源について

平井遼介（早稲田大学）

iPTF13bvnは爆発前の画像や光度曲線の形などから親星が連星系であったことが確実視されている。また、後期の観測によって残されたはずの伴星の明るさへ非常に深い制限がかけられている。これらのことから、この親星の伴星はブラックホールである可能性が高い(Hirai 2017)。観測から得られている全ての制限を満たすような星に至るために必要な初期連星パラメータ（主星質量、軌道長半径、ブラックホール質量）の範囲も示されている。しかし、その伴星ブラックホールがどのように形成されたのかについては議論されていない。Hirai 2017で議論されている連星進化経路は全体の第二段階で、ブラックホールが形成される前には恒星同士の連星系が進化する第一段階があったはずである。第二段階の必要条件を満たすような第一段階の進化経路が存在しなければこのシナリオ自体が破綻する。

本発表では、この第一段階を詳細に議論する。特に、Hirai 2017で示された第二段階の必要条件を満たすような第一段階の進化経路が存在するかどうか鍵となる。様々な計算の結果、主星質量が $70M_{\odot}$ 以上で、共通外層状態を経れば第二段階に必要なブラックホール質量及び軌道長半径が得られることが分かった。このような系は非常に珍しいと思われる。iPTF13bvnは爆発前画像が受かっている唯一のIb型超新星であるが、それは珍しいケースを見ていたためだと考えられ、今後爆発前画像が受かっているIb型超新星が見つかることは少ないと予測される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K24a 白色矮星と中性子星の合体に伴う突発天体現象に関する研究

谷川衝 (東京大学)、柴田大 (京都大学)、前田啓一 (京都大学)

白色矮星 (WD) と中性子星 (NS) からなる連星 (WD-NS) は、連星進化の最終形態の 1 つである。WD-NS の距離が十分短い場合、WD-NS は重力波放出により宇宙年齢以内に合体する。そのような WD-NS を、ATNF Pulsar Catalogue の中に、10 個程度確認することができる。WD と NS はどちらもほぼ 1 太陽質量 (M_{\odot}) である一方で、WD の大きさは NS の大きさの 10^2 から 10^3 倍である。そのため、WD-NS の合体は、WD から NS への質量輸送で始まる。軽い WD の場合、質量輸送は安定である。一方、重い WD の場合、質量輸送は不安定であり、WD は短い時間で潮汐破壊される。質量輸送が不安定となる境界は、WD-NS の軌道角運動量が保存されている場合であっても、質量比 0.5 程度である。我々は質量輸送が確実に不安定となる $1M_{\odot}$ WD と $1.4M_{\odot}$ NS の合体を、過去の研究に比べて高解像度の Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) シミュレーションを用いて調べた。

その結果、質量輸送は確かに不安定であったが、WD から NS への質量輸送が始まってから WD が潮汐破壊されるまで、WD-NS は少なくとも 20 回転することが明らかになった。これは過去の研究 (e.g. Fryer et al. 1999) と比べて遥かに長い時間である。過去の研究において潮汐破壊までの時間が短かったのは、低解像度のシミュレーションであったことと、NS の潮汐力による WD の歪みを考慮した初期条件を用いていなかったからである。また、シミュレーション結果の解析により、WD が NS に潮汐破壊された直後に WD 残骸の中でデトネーションが発生する可能性があることがわかった。Fernández & Metzger (2013) も WD 残骸の中でデトネーションが起こることを示しているが、WD が NS に潮汐破壊されてから長く時間が経過したあとなので、我々とは異なる状況である。我々はこのデトネーションによって引き起こされる WD-NS 由来の突発天体現象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](#)

【L. 太陽系】

9月12日(火) 午前(09:30-11:06) [K会場]

L01a	09:30	「あかり」遠赤外線全天画像に見られる形成途中の小惑星ダストバンド 大坪貴文(宇宙航空研究開発機構)
L02a	09:42	17P/Holmes 彗星の中間赤外線分光観測による鉱物組成比 新中善晴(国立天文台)
L03a	09:54	近日点通過前後の C/2007 N3(Lulin) 彗星の化学組成比変化 小林仁美(LLP 京都虹光房/京都産業大学)
L04a	10:06	OASES 広視野動画同時観測が切り拓く太陽系の新たな地平 有松亘(国立天文台)
L05a	10:18	木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機による微光流星観測 大澤亮(東京大学)
L06b	10:30	望遠鏡による微光流星観測効率の計算 大澤亮(東京大学)
L07b	10:30	C/2015 V2(Johnson) 彗星のガス輝線の空間構造の Abel 変換による解析 長谷川隆(群馬県立ぐんま天文台)
L08b	10:30	火星衛星の捕獲説の再検討:火星原始大気の影響について 鈴木智浩(東京工業大学)
L09c		東北大学ハレアカラ観測所で捉えた木星の模様の変化 浅田正(九州国際大学)
L10a	10:42	相対性理論による太陽系惑星軌道「ボーデ法則」の証明および土星リングの軌道・個数の算出 犬山文孝(九電産業株式会社環境部OB)
L11a	10:54	黒点変動と太陽系天体位置との興味ある関係 藤原ケイ()

L01a 「あかり」遠赤外線全天画像に見られる形成途中の小惑星ダストバンド

大坪貴文, 瀧田怜, 川田光伸, 北村良実, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 土井靖生 (東大総文), 松浦周二 (関西学院大), 臼井文彦 (神戸大), 有松亘 (NAOJ), 石原大助 (名古屋大), 他「あかり」チーム

太陽系の惑星間空間には粒径が $\mu\text{m}\sim\text{mm}$ 程度の固体微粒子 (惑星間塵) が広く分布しており、太陽光を散乱あるいは吸収・熱再放射して、黄道光・黄道放射として特に赤外線波長域で明るく光っている。これまで、IRAS や COBE/DIRBE など過去の赤外線衛星の観測により、黄道放射の空間的構造の中でも小規模な構造として、黄経方向に帯状に広がった小惑星ダストバンド構造が中間赤外線で検出されていた。しかし、黄緯 $\pm 1.4^\circ$, $\pm 2.1^\circ$, $\pm 10^\circ$ の主要な3つのダストバンド以外の微細な構造に関しては、まだ十分な研究がなされていない。

赤外線衛星「あかり」の遠赤外線全天画像 (Doi et al. 2015, Takita et al. 2015) は、黄道放射研究にとっても重要なデータである。これまでの我々の解析で、「あかり」の遠赤外線画像の短波長側2バンド (65, 90 μm) でも明るさ数 MJy/sr 以下のダストバンド構造が検出できている (Ootsubo et al. 2016)。前回の年会では、IRAS や DIRBE よりも空間解像度の良い「あかり」全天画像にハイパスフィルタなどの画像処理を施すことで、主要3バンドに加え、ダストバンドの形成途中に対応すると考えられる $\pm 17^\circ$ 付近のバンド構造を 3σ レベルで検出できていることを報告した (2017年春季年会、大坪他)。今回更に、「あかり」全天画像により複数の形成途中の若いダストバンドを遠赤外線ですべて初めて検出することに成功した。これらのダストバンドは、現在から ~ 1 Myr 以内の衝突で形成された比較的新しい小惑星族に由来すると考えられる。例えば $\pm 17^\circ$ バンドは Emilkowalski cluster 起源、 $\pm 6^\circ$ バンドは Datura cluster 起源と推定される。本講演ではこれら若いダストバンドに関して、「あかり」の観測で明らかになった構造を紹介し、ダストバンドの形成時期と対応する小惑星族について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a 17P/Holmes 彗星の中間赤外線分光観測による鉱物組成比

新中善晴 (国立天文台, 日本学術振興会特別研究員PD), 山口充 (京都産業大学), 大坪貴文 (ISAS/JAXA), 河北秀世 (京都産業大学), 左近樹 (東京大学), 本田充彦 (久留米大学), 渡部潤一 (国立天文台)

彗星核中には星間空間にはほとんど存在しない結晶質シリケートのダストが含まれている (Messenger et al., 1996, *Lun. Planet. Sci.*, **27**, 867; Wooden et al., 1999, *ApJ*, **517**, 1058 など)。この結晶質シリケートは、元は星間空間でアモルファス状態であったものが原始太陽系円盤の太陽近傍でアニーリングされて結晶化し、その後太陽系の低温度領域まで輸送されることで彗星核に取り込まれたと考えられている。原始太陽系円盤外側への輸送は円盤内の乱流等が原因と考えられており、太陽から遠方ほど結晶質ダストの存在度は小さくなると予想される (Gail, 2001, *A&A*, **378**, 192; Bockelée-Morvan et al., 2002, *A&A*, **384**, 1107)。即ち、彗星に含まれる結晶質ダストの存在量比は「物質輸送の程度 (円盤中の質量降着率等の円盤パラメータに依存)」と「彗星核形成時の日心距離」に関連する。

結晶質ダストの存在量比は、彗星に含まれるシリケート鉱物が波長 $10 \mu\text{m}$ 付近に持つ Si-O 伸縮振動バンドの分光観測から、シリケート鉱物の結晶質およびアモルファスのバンド形状が異なることを利用して決定する。本発表では、2007年10月にすばる望遠鏡に搭載された冷却中間赤外線分光撮像装置 COMICS よって得られたアウトバースト直後の 17P/Holmes 彗星の高 S/N 比の中間赤外線スペクトルについて、我々が開発した塵粒子の熱輻射モデル (Ootsubo et al., 2007, *P&SS*, **55**, 1044) を適用し、シリケート鉱物の結晶質/アモルファス比を決定した。得られた質量比から原始太陽系円盤中での同彗星の核の形成領域について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a 近日点通過前後の C/2007 N3(Lulin) 彗星の化学組成比変化

小林仁美 (LLP 京都虹光房/京都産業大学), 河北秀世 (京都産業大学), 新中善晴 (国立天文台), 橋本末緒 (佐賀県立宇宙科学館), N. Dello Russo, R. J. Verback Jr., H. A. Weaver (JHU/APL)

彗星は原始太陽系円盤内で形成された始原天体であり、太陽系形成時の複雑な化学進化・力学進化・物理進化を解明する大きなヒントになると考えられている。特にその化学組成比は、原始太陽系円盤内の化学反応、その際の温度・密度環境、微惑星集積過程などを解き明かすのに有用である。しかし化学組成比は彗星核の主成分である水に対する各分子の量であるため、太陽からの距離、彗星核の自転、彗星核の非均質性、近日点通過前後の彗星活動度の変化などにより、値が変化してしまう。そのため化学組成比を議論する上では、1つの彗星を継続して観測することが重要になる。例えば近年探査が行われた 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星では、近日点通過前後で水の生成量が増加しただけでなく、CO₂、CH₄、OCS の組成も最大 2 倍変化している。

そこで我々は彗星核の近日点通過前後の化学組成変化を見るために、C/2007 N3 (Lulin) 彗星 (以下、Lulin 彗星) の近赤外線高分散分光を、近日点通過前の 2008 年 8 月 11 日と、近日点通過後の 2009 年の 1 月末から 3 月始めまでの間の 7 夜に実施した。観測にはすばる望遠鏡、ケック望遠鏡、IRTF の 3 つの望遠鏡を使用した。近赤外線波長域 (L-band および M-band) では、化学組成比の基準となる H₂O に加え、HCN、C₂H₂、CH₃OH、CH₄、C₂H₆、CO などの揮発性有機分子が検出される。近日点通過後の各観測日におけるこれら分子の化学組成比を決定し比較したところ、彗星核の自転に伴うと考えられるコマの化学組成の変化は見られなかったことから、Lulin 彗星の彗星核は均質であったと考えられる。本講演では、近日点通過前後の彗星の化学組成比の変化を他の彗星の観測結果と比較し、議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04a OASES 広視野動画同時観測が切り拓く太陽系の新たな地平

有松亘, 渡部潤一, 市川幸平, 小谷隆行 (国立天文台), 津村耕司 (東北大学), 臼井文彦 (神戸大学), 猿楽祐樹 (東京大学), 大坪貴文, 和田武彦, 長勢晃一 (宇宙科学研究所)

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES) は直接観測では検出不可能なキロメートルサイズの太陽系外縁天体 (TNO) の個数密度に観測的制約を与えることを目指し、沖縄県宮古島市に設置した2台の可視光望遠鏡を用いて、TNOによる恒星掩蔽イベントを捜索している広視野高速観測プロジェクトである。キロメートルサイズのTNOによる恒星掩蔽の発生頻度は恒星一つあたり 0.01 年^{-1} 以下と極めて低く、さらに減光の継続時間は1秒未満と短いことが予想される。そのため本研究では約4平方度の視野内の恒星に対して、15 Hz のフレームレートで連続高速同時モニタ観測を実施している。解析の結果、OASES 観測システムから得られたデータからは最大4000以上の恒星の光度曲線が同時測定可能であることがわかった。これは、OASES 観測システムが既存の観測装置としては最大天体数の高速同時測光が可能であり、効率よくTNOによる恒星掩蔽現象を検出できることを示している。さらにOASES 観測データには恒星だけでなく、微光流星やスペースデブリなどの時間変動現象が大量に写り込んでいる。OASES は約40メートル離れた2地点から同一視野の同時観測を実施しているため、これらの時間変動現象が同時に検出できるだけでなく、視差を測定することにより変動現象の発生距離に制約を得ることが可能である。

本講演では2016年および2017年に実施しているOASES 広視野高速モニタ観測とデータ解析の進捗状況について報告するとともに、OASES の観測結果を通して明らかになった可視動画同時観測の可能性について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L05a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機による微光流星観測

大澤亮, 酒向重行, 猿楽祐樹 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 大坪貴文 (JAXA), 佐藤幹哉 (日本流星研究会), 藤原康徳 (総合研究大学院大学), 有松亘, 春日敏測, 渡部潤一 (国立天文台), 土居守, 小林尚人, 高橋英則, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小西真広, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一, 森由貴, 中田好一, 満田和真, 一木真, 有馬宣明, 小島悠人, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和 (東京大学), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 山下卓也, 田中雅臣, 前原裕之, 猪岡皓太 (国立天文台), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 浦川聖太郎, 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)

流星とは惑星間空間に存在するダストが地球大気に突入し発光する現象である。流星の可視光での光度は流星物質の質量のよい指標であり、流星の光度関数から惑星間ダストのサイズ分布を探ることができる。サイズ分布を包括的に理解するためには、光度関数をより暗い流星 (~12 等) まで延長する必要がある。この目標を達成するためには望遠鏡と広視野カメラを用いた動画観測が有効である。

東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター附属木曾観測所では 105 cm シュミット望遠鏡に搭載する超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の開発を進めている。Tomo-e Gozen は約 20 平方度の視野を 2 Hz で連続的に監視 (動画観測) することが可能である。我々は 2015 年 12 月に試験機 (Tomo-e PM) を開発し性能評価を実施した。ここでは 2016 年 4 月 11, 14 日に実施した流星観測の結果を報告する。我々は 2 晩の観測で絶対等級にしておよそ 4-11 等の範囲の流星を合計 2220 件検出した。観測結果は $N(<M) = 3.17^M \times 10^{-5.42}$ という光度関数によってよく説明され、これまでの観測的研究と整合することを確認した。発表では流星の研究における広視野 CMOS カメラの有用性を実際のデータに基づき議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L06b 望遠鏡による微光流星観測効率の計算

大澤亮, 酒向重行, 猿楽祐樹 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 大坪貴文 (JAXA), 佐藤幹哉 (日本流星研究会), 藤原康徳 (総合研究大学院大学), 有松亘, 春日敏測, 渡部潤一 (国立天文台)

流星とは惑星間空間に存在するダストが地球大気に突入する現象である。流星の可視光での光度は流星物質の質量のよい指標であり、流星の光度関数を求めることで惑星間ダストのサイズ分布を得ることができる。しかしながら、先行研究の多くではおよそ 7-9 等級が検出限界となっており、レーダーによる観測や人工衛星でのその場観測の結果と接続するためにはさらに 4-5 等級ほど暗い流星を検出する必要がある。現状を打破するためには 1m 級以上の口径を持った望遠鏡と高感度ビデオカメラを組み合わせた観測が必要となる。

眼視による流星観測では有効観測視野をある高度 (~100 km) において投影した面積で評価することが一般である。一方で、望遠鏡による観測では眼視観測に比べて視野が狭いため視野を等高度面に投影した面積では有効観測視野を過小評価してしまう。流星が発光する高度の幅を考慮に入れて有効観測視野を計算することが必要である。また、近年の広視野観測装置は複数の検出器や複数のカメラから構成されることが多い。こうした複雑な視野を持つ観測装置について有効観測視野を計算する手法を確立する必要がある。我々は流星が観測可能な空間を六面体によって近似し、乱数によって流星を発生させることで有効観測視野の面積を計算する方法を提案する。我々の計算によれば、 $1^\circ \times 1^\circ$ の視野を持つカメラを天頂に向けた場合、高度 100 km に投影した面積はおよそ 3 km^2 であるが、流星の有効観測視野は 83 km^2 に相当することが示された。10 等級まで検出可能なビデオカメラを搭載すれば、 $1^\circ \times 1^\circ$ の視野でも 1 時間に 100 イベント以上の流星の検出が期待できる。計算結果は CMOS モザイクカメラ Tomo-e Gozen 試験機による観測結果と概ね整合することが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L07b C/2015 V2(Johnson) 彗星のガス輝線の空間構造の Abel 変換による解析

長谷川 隆 (群馬県立ぐんま天文台)、河北 秀世 (京都産業大学)

2015 年春季年会 (L09a) および同年秋季年会 (L01a) において C/2013 R1(Lovejoy) 彗星ガス輝線の表面輝度データに Abel 変換を適用して空間の輝度密度を復元する解析について報告した。本報告ではその解析の精度について再吟味した結果 (Hasegawa & Kawakita, PASJ, 2017, 69, 54) と、同変換の C/2015 V2(Johnson) 彗星の輝線への適用結果について報告する。

解析精度について、Haser モデルに従う輝度分布を作成し、シーイングとサンプリングに留意して再吟味した結果、Haser モデルを仮定できる場合の親/娘分子のスケール長は 2%程度で復元されることが確認された。復元が難しくなるのは Haser モデルが仮定できない場合で、この場合の親分子のスケール長はシーイングがコンパラになるケールでは過大評価されることが示された。

C/2015 V2(Johnson) 彗星について、2017 年 5 月 28 日 (UT) にぐんま天文台 65cm 望遠鏡による観測を行い、CN、C₃、C₂、H₂O⁺ の 4 分子の輝線の表面輝度を得た。CN は C/2013 R1(Lovejoy) 彗星よりはるかに弱く、C₃ もほとんど受からなかった。一方、C₂、H₂O⁺ については解析が可能な程度の輝度があった。これらの輝線の表面輝度に対して Abel 変換を適用したところ、C₂ については娘分子のスケール長は広く十分な制限ができなかったが、親分子については $\sim 6.4 \times 10^4$ km であった。ただし、中心部分では輝度密度は Haser モデルで予想されるより強い立ち上がりが見られる。これは C/2013 R1(Lovejoy) 彗星の CN 輝線と同様の傾向である。H₂O⁺ については親分子のスケール長は短すぎて測定できなかったが、娘分子については $\sim 3.5 \times 10^4$ km 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](#)

L08b 火星衛星の捕獲説の再検討：火星原始大気の影響について

鈴木智浩 (東京工業大学), 玄田英典 (地球生命研究所), 黒川宏之 (地球生命研究所), 樋口有理可 (東京工業大学), 井田茂 (地球生命研究所)

火星には二つの衛星、Phobos と Deimos が存在している。火星衛星の起源としては主に捕獲説と衝突説が議論されてきたが、決着はついていない。Phobos と Deimos の反射ペクトルが C 型や D 型の小惑星のそれに類似しているという点は捕獲説を支持するが、二つの衛星が小さな軌道傾斜角を持っている (ほぼ火星赤道面上を公転している) という点を自然には説明できない。火星との潮汐相互作用や火星周りの静止した原始大気ガス抵抗によって衛星の離心率が現在のようにほぼ 0 になることがわかっている (Hunten, 1979; Sasaki, 1990; Burns, 1992) が、軌道傾斜角の問題は解決されていない。そこで、本研究では火星周りの原始大気が静止しているのではなく、火星の自転方向に回転しているような場合を考慮すれば、衛星の軌道傾斜角も変化するのではないかと考えた。本研究では、回転速度をパラメータとして、Sasaki (1990) で用いられた原始大気ガス密度分布を考慮して、捕獲後の衛星の軌道傾斜角の変化を数値的に計算した。その結果、ガスの回転速度が火星周りのケプラー速度の 50% 以下ではあまり変化がないことがわかった。Ormel et al. (2015) は、原始惑星系円盤ガス中で成長する原始惑星が捕獲する大気の運動に関して流体計算している。彼らの計算結果によると、火星質量の天体が捕獲する原始大気回転速度は、ケプラー速度の 10% 程度であることが示されているので、本研究で得られた結果を適用すると、小天体がランダムな傾斜角で火星に捕獲された後に現在の軌道になる確率は従来の確率からわずかにしか上がらない。しかし、火星のヒル圏に入り捕獲される小天体の軌道傾斜角には制約があることが考えられる (Higuchi and Ida, 2017) ので、この点を考慮した確率についても議論した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09c 東北大学ハレアカラ観測所で捉えた木星の模様の時間変化

浅田正 (九州国際大学), 坂野井健, 鍵谷将人 (東北大学惑星プラズマ大気研究センター)

昨年から、ハワイ・マウイ島ハレアカラ山頂にある東北大学惑星プラズマ大気研究センターの60cm反射望遠鏡を、日本から遠隔操作して木星の撮像観測を行っている。

今シーズンは、2016年12月から2017年6月までの7箇月、100分間隔で1日3回、RGBと赤外線連続光、メタンバンドの5種類のフィルターで撮像を行った。

12月と5月は晴天率がやや低かったものの、5月末現在、全体では140夜中84夜が晴天(60.0%)であった。時間変化の追跡に使える画像も、5月末の時点で64枚得ている。

高い晴天率と比較的落ち着いた気流により、木星の模様の短時間の時間変化を追跡することが可能となった。2016年シーズンと2017年シーズンの間に北温帯縞(NTB)が復活したことや、2017年シーズンの間に永続白斑(STB Oval)の西方に暗斑が形作られる時間変化が捉えられた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L10a 相対性理論による太陽系惑星軌道「ボーデ法則」の証明および土星リングの軌道・個数の算出

犬山文孝(九電産業株式会社 環境部 B)

太陽系惑星軌道に関する「ボーデ法則」は力学的な必然でなく偶然だとする考えが主流になっている中、著者は小惑星群軌道や土星リングの安定性・外乱修復性を考えると何らかの必然性があると主張するものであり、相対性理論とエネルギー極小原理に基づき次の計算手順によって「ボーデ法則」を数学的に証明するほか、同一の微分方程式から土星リングの繊細な線条軌道と最大リング個数を算出する。

1) 本解析の前提条件として、解析対象の空間は巨大質量の中心核星から十分離れており、一般の極座標が適用可能。2) 中心核星の質量・回転・電荷に関わる天体物理定数 $m \cdot a \cdot e$ を取り込んだ、相対論カー・ニューマン解の時空方程式を利用。3) 特殊相対論のローレンツ変換係数を拡張した一般相対論カー・ニューマン解の から、エネルギー方程式 $E = (-\dot{m})$ を仮定。4) E を天頂角 で偏微分すると E 極小は $= /2$ 、以降回転中心核星の赤道面について解析。5) 回転の遅いカー・ニューマン解に変分原理を適用して時間成分を導出。6) 近日点・遠日点距離 R で $dR = 0$ であることから、角運動量相当 J を導出。7) R は E と J の関数であるので R を E で偏微分した後、 J を代入して Space Fantasy 微分方程式を導出。8) 微分方程式の解から $dE = 0$ としてエネルギー極値となる (E, R) の関係を算出。9) 微分方程式の近似解の積分定数式をマクロ リン級数展開すると、「ボーデ法則」と一致。10) 微分方程式の係数判別式の符号 \pm を反転して微分方程式を解き、土星リング群・線条軌道方程式を導出。11) E 2次オーダのエネルギー極小式を使うとリング群方程式のベキ乗次数から、土星のリング数は最大31個存在する可能性あり。計算過程の詳細をインターネットに公開する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L11a 黒点変動と太陽系天体位置との興味ある関係

藤原ケイ

太陽黒点の発生及び変動要因は 太陽内部にあるとする説が有力であるが、未だ解決には至っていない。そこで 筆者は視点を広げ、太陽以外の周囲天体も関与しているのではないかと考えて 黒点変動と太陽系天体位置とを比較して検討した。その結果 いくつかの 非常に興味ある関連を見出した。内容は 講演の中で詳説するが、「太陽の黒点数と天体位置が関係している」ということは、「黒点数が天体運行を支配している」とは考えられないので「天体運行が黒点数を決めている」となるだろう。すなわち 黒点の発生及びその変動の「一次要因」は太陽を取り巻く諸天体であり、太陽磁場、内部流動等はこれに伴って発生する「二次的な要因」ということである。このことは これまでの常識では考えられないことなので、筆者の考察と これらを説明するための仮説 及び いくつかの新しい概念、モデルを提案するつもりである。尚 太陽黒点のデータはウォルフ黒点相対数(月平均値)を使用し、天体位置は JPL の小惑星データから計算したものをを使用した。また惑星軌道は 天体位置表等も参考にした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

9月11日(月) 午前(10:30-12:42) [E会場]

M01a	10:30	SUNRISE-3 気球実験：近赤外線偏光分光装置 SCIP の進捗 久保雅仁(国立天文台)
M02a	10:42	Mg II k 線でのハンレ・ゼーマン効果を用いた磁場導出手法の検討 石川遼子(国立天文台)
M03a	10:54	太陽 X 線観測ロケット実験 FOXSI-3 の準備状況 石川真之介(宇宙航空研究開発機構)
M04a	11:06	軟 X 線撮像分光観測によるコロナループの加熱・冷却過程の診断 川手朋子(宇宙航空研究開発機構)
M05a	11:18	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ミッション- PPhysics Of Energetic and Non-thermal plasma In X region (PHOENIX) - の紹介 成影典之(国立天文台)
M06a	11:30	高感度紫外線撮像分光装置 EUVST が目指すサイエンス検討 今田晋亮(名古屋大学)
M07a	11:42	次期太陽観測衛星計画に関する NGSPM-SOT 検討に基づく提言 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)
M08a	11:54	ALMA によるプラズモイド放出現象の観測 下条圭美(国立天文台)
M09b	12:06	太陽フレアにおける彩層応答と白色光放射との関係 渡邊恭子(防衛大学校)
M10b	12:06	太陽フレアループ内の電子-イオン 2 温度進化に関する流体シミュレーション 横澤謙介(名古屋大学)
M11b	12:06	プロミネンスの緯度分布と太陽の周期活動 萩野正興(国立天文台)
M12b	12:18	非対称磁気リコネクションの強非対称極限での振る舞い 新田伸也(筑波技術大学)
M13b	12:18	CALLISTO 受信機を用いた太陽電波観測 津田菜月(茨城大学)
M14b	12:18	II 型太陽電波バーストのリアルタイム自動検出へ向けた試み 久保勇樹(情報通信研究機構)
M15b	12:30	情報通信研究機構?東北大学統合太陽電波観測データアーカイブ 久保勇樹(情報通信研究機構)
M16c		Deep Learning を用いた生成モデルの太陽観測への応用 加納龍一()
M17b	12:30	飛騨天文台 SMART/SDDI による太陽彩層速度場全面モニタリング 大辻賢一(京都大学)
M18b	12:30	スペクトル線 He I 1083 nm と Ca II 854 nm の偏光スペクトルの比較 阿南徹(京都大学)

9月11日(月) 午後(14:30-16:42) [E会場]

M19a	14:30	高速成分を持つ小プラズマ塊の太陽面での発生分布解析 廣瀬公美(京都大学)
M20a	14:42	Reconnection enhancement in 3D evolution of a current sheet Shuoyang Wang (The University of Tokyo)
M21a	14:54	大規模な太陽フレアを生じやすい活動領域の数値シミュレーション 鳥海森(国立天文台)
M22a	15:06	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)
M23a	15:18	黒点の逆回転と大規模フレア 長谷川隆祥(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
M24a	15:30	太陽フレア放射スペクトル予測モデルの構築 西本将平(防衛大学校)
M25a	15:42	太陽電波ゼブラパターンの準周期的変動 金田和鷹(東北大学)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M26a	15:54	Multi-wavelength observations of solar flares as basement of diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations 増田智 (名古屋大学)
M27a	16:06	コロナ温度構造診断で見たシグモイド構造の短時間スケールでの発現 土井崇史 (東京大学)
M28a	16:18	コロナ質量放出到来のリアルタイム予測に向けたパラメータ決定手法の開発 塩田大幸 (情報通信研究機構)
M29a	16:30	鉛直 1 次元温度場中の非フォースフリー太陽磁場モデルに対する磁気流体力学緩和法 三好隆博 (広島大学)
9月12日(火)午後(13:48-15:12) [I会場]		
M30a	13:48	テイラープラウドマン状態を破る磁場の役割 堀田英之 (千葉大学)
M31a	14:00	磁気要素追跡手法を用いた太陽表面速度長期変動について 藤山雅士 (名古屋大学)
M32a	14:12	黒点データ及びマグネトグラム観測を用いた Active Longitude に関する研究 近藤克哉 (名古屋大学)
M33a	14:24	太陽観測衛星「ひので」を用いた静穏領域磁束管形成過程の統計的研究 二宮翔太 (京都大学)
M34a	14:36	太陽彩層ジェットの領域依存性における磁束管膨張率の効果 飯島陽久 (名古屋大学)
M35a	14:48	ALMA による黒点暗部増光の発見 岩井一正 (名古屋大学)
M36a	15:00	浮上磁場領域における最初の活動現象としての H-alpha surge の発生 石井貴子 (京都大学)
9月13日(水)午前(09:30-12:06) [I会場]		
M37a	09:30	CLASP/SJ で捉えたライマン α 線の散乱偏光の 2 次元分布と太陽彩層構造 鹿野良平 (国立天文台)
M38a	09:42	Comparison between chromospheric field derived from He I 10830 Å observation and nonlinear force-free field modeling from photosphere 川畑佑典 (東京大学)
M39a	09:54	フィラメントの小スケールな内部運動に見られる噴出の前兆 関大吉 (京都大学)
M40a	10:06	H α 、H β 、Ca II 8542 Å の同時観測によるプロミネンスの温度測定 岡田翔陽 (京都大学)
M41a	10:18	プロミネンスの質量凝縮率に対する Rayleigh-Taylor 不安定の影響 金子岳史 (名古屋大学)
M42a	10:30	熱的プラズマのドリフト運動とプロミネンス支持機構 柴崎清登 (太陽物理学研究所)
M43a	10:42	温度と視線速度の位相差から探る、プロミネンス中の波動の性質 町田亜希 (京都大学)
M44a	10:54	噴出するプロミネンスに見られた波動現象 花岡庸一郎 (国立天文台)
M45a	11:06	Hinode-IRIS による MHD 波動同時観測 阿部仁 (東京大学)
M46a	11:18	彩層中のモード変換による高周波アルフベン波の生成 庄田宗人 (東京大学)
M47a	11:30	コロナループの 3 次元磁気流体シミュレーション 松本琢磨 (名古屋大学)
M48a	11:42	3 次元太陽風グローバルシミュレーション: 加熱モデルと高速太陽風について 田光江 (情報通信研究機構)
M49a	11:54	Hinode/XRT を用いた活動領域マイクロフレアの統計解析 上村亮弥 (名古屋大学)

M01a SUNRISE-3 気球実験：近赤外線偏光分光装置 SCIP の進捗

久保雅仁, 勝川行雄, 原弘久, 末松芳法, 都築俊宏, 浦口史寛, 田村友範, 石川遼子, 鹿野良平 (国立天文台), 阿南徹, 永田伸一, 一本潔 (京都大学), Carlos Quintero Noda, 清水敏文, 石川真之介, 伴場由美, 大場崇義, 川畑佑典 (ISAS/JAXA)

太陽彩層で発生する磁気リコネクションに伴うジェット現象や磁気流体波動の偏光分光観測は、今後の太陽観測の中心課題である。そこで、SUNRISE-3 国際大気球太陽観測実験に近赤外線偏光分光装置 SCIP を搭載して、2020 年の飛翔観測を目指している。SCIP は、Ca II 854 nm 線と K I 769 nm 線の 2 つの帯域を観測することで、ゼーマン効果を利用して光球-彩層中部までの連続的な 3 次元磁場構造およびその時間変化を定量的に明らかにする。口径 1m 望遠鏡の回折限界分解能 (0.2 秒角) で、彩層磁場観測に必要な 3×10^{-4} (1) の偏光測定感度を、10 秒間の積算で達成することができる光学設計がほぼ完成した。鍵となる光学素子 (エシェル回折格子、偏光ビームスプリッター、波長板、狭帯域フィルター等) を試作し、性能評価を実施している。高精度偏光分光観測には、回転波長板、高速読出カメラ、スキャンミラーを同期制御し、出力データを機上演算処理するシステムが必要である。機構部については、回転波長板駆動機構の高精度化やその実証の準備、スキャンミラーへの性能要求の検討を中心に進めている。高速同期制御や機上演算処理については、7 月にスペインの担当者が国立天文台に滞在して設計を進める予定である。一方、光球・彩層中の輻射輸送とゼーマン効果で発生する偏光を計算することで、現実に近い Ca II 線や K I 線の偏光スペクトルを再現することに成功している (Quintero Noda et al. 2016, 2017)。また、冒頭で述べたような彩層活動を再現する 3 次元輻射 MHD 数値計算を用い、それらの磁場・速度構造が SCIP による偏光観測で優位に検出できることも実証している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a Mg II k 線でのハンレ・ゼーマン効果を用いた磁場導出手法の検討

石川遼子 (国立天文台), 後藤基志 (核融合科学研究所), 飯田佑輔 (関西学院大学), 常田佐久 (宇宙科学研究所)

紫外線領域での偏光分光観測は、コロナ直下 (彩層上部 ~ 遷移層) の磁場情報にアクセスできる新しい太陽物理の扉として、その開拓が待ち望まれている。数ある紫外線域のスペクトル線の中でも、その有用性が期待されているのが、ハンレ効果が作用するライマン α 線 (121.6 nm) である。その偏光スペクトルは、観測ロケット実験 CLASP によって世界で初めて観測され (Kano et al. 2017)、ハンレ効果を検出し (Ishikawa et al. 2017)、定量的に磁場情報を導出する試みが始まっている。しかし、ライマン α 線の観測のみから磁場を導出する際に克服すべき課題の一つとして、解の非一意性がある。これは、ハンレ効果に感度がある直線偏光 2 成分のみから、磁場 3 成分を一意に決定することができないことによる (Ishikawa et al. 2014)。

これを克服する一つの手法を持つと期待されるのが、電離マグネシウム k 線 (279.6 nm) である。このスペクトル線は、ハンレ効果が作用するのに加え、ライマン α 線に比べて波長が長くまたドップラー広がりも狭いため、比較的磁場の強い領域ではゼーマン効果による円偏光が生じる。我々は、円偏光を観測することで、解の縮退及び不定性がどのように低減されるかを調べた。その結果、直線偏光の観測のみでは、解の候補が弱磁場領域から強磁場領域まで広がっていたのに対し、[1] 円偏光の観測を加えることで、解が弱磁場領域にあるかを判断できること、さらに、[2] 円偏光が検出できれば、ベクトル磁場を複数の縮退のみで決定できること、を明らかにした。講演では、ライマン α 線と電離マグネシウム k 線を同時に偏光分光観測することで、解の縮退、不定性をさらに低減できるか、最適なスペクトル線の組み合わせは何か、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](#)

M03a 太陽X線観測ロケット実験 FOXSI-3 の準備状況

石川真之介, 高橋忠幸, 渡辺伸, 古川健人 (ISAS/JAXA), 萩野浩一 (東京理科大), 武田伸一郎 (OIST), 成影典之 (NAOJ), 川手朋子 (ISAS/JAXA), ほか FOXSI-3 チーム

我々は、ミネソタ大学、カリフォルニア大バークレー校および NASA と共同で、観測ロケットによる史上初の太陽硬 X 線集光撮像観測 Focusing Optics Solar X-ray Imager (FOXSI) を行っている。FOXSI は X 線望遠鏡と低ノイズ・高分解能の半導体イメージング検出器による直接撮像で、4–20 keV の高感度・高ダイナミックレンジ観測を実現する。2012 年と 2014 年の打ち上げ成功に続く 3 回目の打ち上げ計画 (FOXSI-3) がすでに NASA に採択されており、2018 年 8 月に打ち上げ予定である。FOXSI-3 では、過去 2 回の打ち上げで用いた Si 検出器を全て CdTe 検出器に置き換え、高エネルギー帯域における有効面積を向上させる (検出器の最新状況の詳細については X 線・線観測機器セッションにて古川他が発表予定)。また、視野外からの迷光を除去するコリメータの搭載により、感度向上を図る。高いアスペクト比を実現するため、1 mm の穴径によるハニカム構造を持つコリメータを開発している。さらに、新開発の軟 X 線検出器を搭載して検出可能エネルギー範囲を低エネルギー側に ~0.5 keV まで広げ、検出可能なプラズマの温度範囲を広げる予定である (軟 X 線観測のサイエンスについては川手他が発表予定)。裏面照射型 CMOS センサーの高速読み出しにより、太陽において初めての軟 X 線撮像分光観測を実現する (コンセプトとセンサーの基礎評価は前回の年会にて成影他が発表)。我々日本の FOXSI チームは、CdTe 検出器製作、X 線コリメータ開発、軟 X 線検出器開発の全てを行っており、それぞれ開発に目処をつけてフライト品の製作を開始している。本講演では、来年度の打ち上げに向けたフライト品製作及び試験の最新情報を報告する。軟 X 線観測の鍵となる、X 線望遠鏡の軟 X 線域での有効面積の測定結果についても併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M04a 軟 X 線撮像分光観測によるコロナループの加熱・冷却過程の診断

川手朋子 (宇宙科学研究所), 成影典之 (国立天文台), 石川真之介 (宇宙科学研究所), 今田晋亮 (名古屋大学)

コロナ加熱問題は太陽物理学の中で未解決である問題の一つである。加熱モデルの中にはインパルスな加熱が多数発生する「ナノフレア加熱」と光球からの定常的な MHD 波動がコロナで散逸する「波動加熱」があり、これらを観測的に区別するためには加熱の頻度を知ることが重要な鍵となる。

加熱過程が空間・時間的に局所的である場合、観測から得られる温度・密度構造は空間および時間積分した物理量として得られる。この局所的な時間発展を理解するための一つの方法として、電離の時間差を用いる方法がある。軟 X 線スペクトルには自由電子からの熱放射による連続光とイオンの脱励起反応による輝線の両方が含まれている。連続光は電離の影響を受けない。一方、特に高階電離したイオンからの輝線放射は加熱時間が電離の時間スケールに比べて短い場合非平衡状態となり、輝線輝度は加熱の時間スケールを反映している。したがって軟 X 線分光による連続光と輝線の同時観測を用いることで加熱量・加熱頻度の診断が可能となる。

本研究ではイオンの電離過程を含めた一次元流体力学数値計算を行い、加熱条件の異なるコロナループの連続光・輝線の強度の時間変化を導出した。また時間積分したスペクトルおよび温度構造から differential emission measure を導出し、両者を比較した。その結果輝線においては電離平衡時に比べて差が見られ、また加熱頻度の違いで輝線強度の振る舞いに差が発生した。これらの数値的な考察、および FOXSI-3 ロケット実験にて実証予定の軟 X 線撮像分光装置での観測により、コロナループの加熱・冷却過程への条件を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a 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ミッション-
PHysics Of Energetic and Non-thermal plasma In X region (PHOENIX) – の紹介
成影典之 (国立天文台), ほか PHOENIX チーム

太陽コロナには、「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」という分野横断的(プラズマ物理学的)に学術的価値の非常に高いサイエンスがまだ眠っている。例えば、太陽で現実に行き起きているリコネクションとモデルの間には乖離があり、その物理過程の解明には観測によって新たな情報を付加する必要がある。粒子加速に関しては、加速場所さえ十分に特定されていない。その理由は、既存の観測手法では、空間・時間・エネルギー分解能のバランスが不十分の上、ダイナミックレンジも不足しており、これらのサイエンスへのアプローチが困難だったためである。しかし、最新技術の登場により、観測に必要な要素がまさに今このタイミングで実現可能となった。CMOSを用いた高速度カメラにより太陽においても軟X線帯域の光子計測が可能となり、高精度斜入射ミラーにより高い空間分解能とダイナミックレンジも確保できるようになった。そこで本ミッションは小型衛星を用い、世界に先駆け、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目指す。観測装置はシンプルで、本衛星単機での科学目的達成が可能である。得られる成果は太陽物理学の発展だけでなく、リコネクションと粒子加速を取り扱う、実験室プラズマ、地球磁気圏・惑星磁気圏プラズマ、高エネルギー宇宙物理学の各分野にも大きく波及する。また、取得するデータはX線光子1個1個の持つエネルギーという最も基本的な情報であるため、上記サイエンスだけでなく他の様々なテーマの科学課題にも活用できる。例えば、太陽コロナの加熱問題に迫ることが出来る。一方、超強磁場をもつ天体(マグネター)のショートバーストの観測も可能である。本講演ではミッションの科学目的について議論し、装置概要と今後の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](#)

M06a 高感度紫外線撮像分光装置 EUVST が目指すサイエンス検討

今田晋亮（名古屋大学）、川手朋子、清水敏文（宇宙科学研究所）、EUVST 検討チーム

SOLAR-C 計画において、軸となる望遠鏡の1つとして高感度紫外線撮像分光装置（EUVST）がある。EUVST はこれまでの極端紫外線・真空紫外線線域において1桁程度大きい有効面積を実現する望遠鏡であり、この有効面積のおかげで、これまでより高い時間分解能を実現し、アルベントタイムを超える時間分解能でコロナ・遷移層・彩層のダイナミクスを観測することを目指すものである。同時に空間分解能も「ひので」衛星の10倍程度（0.3秒角）を実現することを目指しており、コロナにおける最も小さいスケールの磁気ループ（索ループ）を分解して、コロナのダイナミクスを議論する。本講演では、このEUVSTの高時間分解・高空間分解の性能を活かして、SOLAR-C 計画における課題、1）彩層・コロナと太陽風の形成機構の究明、および2）太陽面爆発現象の発現機構の究明、にどのように挑むかを議論する。サイエンスターゲットである活動領域、フレア、太陽風、スピキュールなどの例をもとに、何がどこまでわかるかを検討した結果を紹介する。特に、「ひので」衛星に搭載されている極端紫外線撮像分光装置（EIS）から時間分解が1桁上がりコロナにおけるアルベントタイムを超える観測することの重要性を、これまで得られた「ひので」の結果をもとに議論する。また、太陽物理だけでなく、様々な天文学分野で近年注目されつつある、電離非平衡プラズマの診断という視点からも、どういう観測ができて、何がわかるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07a 次期太陽観測衛星計画に関する NGSPM-SOT 検討に基づく提言

清水敏文 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 一本潔 (京都大学/国立天文台), 草野完也 (名古屋大学), 原弘久, 関井隆, 渡邊鉄哉 (国立天文台)

NGSPM-SOT (Next Generation Solar Physics Mission's Science Objectives Team) は、2020 年代に実現を目指す太陽観測衛星ミッションの科学目的やその優先度・実現方法を検討する国際チームで、2016 年 7 月に 3 つの宇宙機関の合意のもと活動を開始した。2015 年に提案された SOLAR-C 元案は、国際協力調整の不首尾の結果、日本国内では戦略的中型衛星 (SOLAR-C 尖鋭化案) ならびに公募型小型衛星などを利用した観測衛星案を検討し、2020 年代中盤以降の青写真を再構築しようとしている。このような状況の中で、このチームは、太陽物理学における喫緊の観測課題を洗い出しかつ優先度を評価して、その課題に取り組む観測装置について、米国 NASA、欧州 ESA、および日本 JAXA の国際協力のもとで飛翔実現する方策を検討してきた。

SOLAR-C 元案の科学課題に囚われず、研究コミュニティから寄せられた 34 件の white paper 提案もおおいに参考にして、太陽研究の科学課題の精査を行い、そして様々な視点で科学課題の優先度付けの検討を行った。その結論として、新たな視点からグローバルに太陽を観る研究も、要素スケールで太陽を詳しく観る研究も、共に優先度は高い。しかし、科学目的の達成に必要なミッション規模等の観点やできるだけ多数の科学目的に適用でき科学成果を最大化できることを考慮することで、5 つの装置モデルを優先度が高い観測装置を選んだ。そして、3 つの宇宙機関の国際協力連携によって、このモデル装置の実現方法の検討の最終段階にある。6 月に最後の検討会議を行ったのちに、7 月に最終報告書を宇宙機関に提出する予定である。本発表は、宇宙機関に提出した最終報告書に書かれた提言を中心に太陽観測研究の将来を討議する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a ALMA によるプラズモイド放出現象の観測

下条圭美 (国立天文台), H.S. Hudson (University of Glasgow/UCB), S.M. White (AFRL), T.S. Bastian (NRAO), 岩井一正 (名古屋大学)

太陽フレアなど太陽大気中で発生する爆発現象に伴うプラズマ放出現象 (プラズモイド/フィラメント/プロミネンス放出・ジェットなど) は、爆発現象の発生メカニズムを理解する上で非常に重要である。なぜならば、爆発現象を引き起こしている磁気リコネクションにおいて、カレントシートからの磁気アイランド含むプラズマ放出は、高いリコネクション率を説明する鍵だからである。近年、極端紫外線による撮像観測、特に SDO/AIA の 304Å バンド (He II 線) により、極域コロナジェットのような非常に小さな爆発現象においてもフィラメント放出現象が観測されている。しかし He II 線の放射は周囲からの X 線・紫外線放射量に強く依存しているため、304Å バンドデータから物理量を導出することは不可能であり、放出物のエネルギー等を議論することができなかった。

我々は、2017 年 1 月に公開された ALMA SV データの中から、ブライティングを起こしている XBP からのプラズモイド放出現象を発見した。このプラズモイドは SDO/AIA の 94Å バンドを除く全ての EUV バンドで検出できた一方、Hinode/XRT では XBP のブライティングは検出できたが、プラズモイド自体は検出できなかった。ALMA・SDO/AIA・Hinode/XRT 全ての観測結果を説明できるプラズモイドの温度構造を検討したところ、1) 100 GHz にて光学的に薄い、温度 10 万度程度・密度 $4 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ の等温プラズマか、2) 100 GHz の放射を担う 1 万度程度のプラズマと EUV 放射を担う 50~100 万度程度のプラズマを含む多温度プラズマ、の二つで説明できることがわかった。どちらの温度構造が真であるかは、DEM を求めることが直接的な解決方法である。しかし ALMA の分解能が Cycle 4 で実現できる分解能であれば、形状の違いで見分けることが可能であろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09b 太陽フレアにおける彩層応答と白色光放射との関係

渡邊恭子, 沼田広葵 (防衛大学校), Kyoung- Sun Lee (国立天文台)

我々は太陽フレアに伴って可視連続光の増光が観測される「白色光フレア」現象の統計研究を行っている。これまでに「ひので」可視光望遠鏡のデータを用いて行った「白色光フレア (WLF)」と「白色光を伴わないフレア (NWL)」との比較研究により、白色光放射は「大量の加速電子」が「狭い領域」に「短時間」に降り込むことが、白色光増光の鍵であることが分かってきた (北川 2015 年 など)。また、太陽フレアの激しさ (impulsivity) と白色光の有無についての関係を調べたところ、軟 X 線放射の時間微分のピーク値が高いフレア (閾値: 約 $1 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$) に白色光の放射が伴っていたことが分かった (渡邊他、2014 年日本天文学会春季年会 M48a)。

一方、Pereira et al. (2015) は、*IRIS* 衛星で観測されている Mg II line の line core と wing の強度比を用いることにより、彩層の温度変化を測定する方法を示唆している。Mg II ラインにより求められる彩層の温度変化は硬 X 線放射と時間的に (空間的にも) 相関があり、白色光放射の伴っていることが多くある。そこで、Lee et al. (2017) では 2014 年 10 月 22 日に発生した X1.6 クラスフレアについて、彩層の温度変化より求めた彩層で散逸したエネルギー量と、硬 X 線放射より求めたフレアで観測された非熱的加速電子のエネルギー量、また白色光放射のエネルギー量を比較し、非熱的加速電子のエネルギーで彩層放射と白色光放射のエネルギーをまかなえることを示した。

今回は Mg II line の有無と白色光放射有無について統計的に解析することにより、これらの放射の関係性について報告する。また硬 X 線のデータも使い、彩層と光球における放射と加速粒子のエネルギーとの関係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](#)

M10b 太陽フレアループ内の電子-イオン 2 温度進化に関する流体シミュレーション

横澤謙介, 高棹真介, 犬塚修一郎, 井上剛志 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学)

太陽フレアはコロナと低層大気が熱伝導や高エネルギー電子によるエネルギー輸送によって動的にカップルする爆発現象である。太陽フレアの物理を理解する為、熱伝導や彩層蒸発の効果を考慮したシミュレーションが行われてきた (Yokoyama & Shibata 2001, Takasao et al. 2015)。こうした過去の太陽フレアのシミュレーション研究のほとんどでは、電子とイオンは十分衝突して両者の温度は常に等しいという 1 温度近似が置かれている。しかし実際は何らかの原因によりイオンが加熱されると電子はイオンとの衝突を介して加熱されるはずである。ここで注意すべき点は、フレアのような高温プラズマではイオンと電子が衝突緩和によって熱交換を行う時間スケールがフレアの力学的な時間スケールと同程度以上になりうる点である。過去にフレアの 2 温度構造を調べた研究はあったが (Longcope & Bradshaw 2010) フレアループの温度・密度を決める上で重要な彩層の影響は考慮されていなかった。そこで我々はフレアループの熱構造進化を正しく取り扱うべく、電子とイオンのそれぞれの温度を独立に扱い彩層蒸発の影響も考慮した初めての 1 次元 2 温度流体シミュレーションを行った。本研究では太陽フレア加熱を想定してエネルギー注入を様々な形で与えてシミュレーションを行った。その結果、ループトップのガスが衝撃波を通じて加熱されたようなイオンのみが加熱された場合はイオンの冷却が 1 温度近似のときより非効率になることがわかった。これはループトップのガスが急膨張して希薄になることで電子-イオンの衝突緩和時間スケールが長くなり、イオンと電子間での熱交換が非効率になるためである。この結果は衝撃波で解放されたエネルギー輸送の理解や観測データの解釈に重要となる可能性がある。本発表では幅広いパラメータのシミュレーション結果に基づき、観測への示唆や様々なスケールのフレアにおける電子とイオンの 2 温度構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11b プロミネンスの緯度分布と太陽の周期活動

萩野正興, 櫻井 隆, 篠田一也, 入江 誠 (国立天文台), 浜屋ひかり, 石塚千彰 (明星大), 藤森賢一

H α 線で見えるプロミネンスは大局的な磁気中性線の上に行けるので、その蝶形図（横軸に時間、縦軸に緯度をとった分布図）を作ると、太陽活動の極大期に低緯度から高緯度へ向かって輸送される、極磁場を反転する磁束のフロントを見ることができる。我々は、1975年から2016年までの藤森の写真観測、および1949年から1964年までの東京天文台のスペクトロヘリオスコープの眼視観測スケッチから、太陽縁に見えるプロミネンスの緯度を求め、蝶形図を作った。これにより、第19, 21, 22, 23, 24極大（1957, 1979, 1989, 2000, 2014年付近）について、極磁場反転の時期と、極域へ向かうプロミネンス帯の速度を導出した。求められた速度には $3.0 - 5.5 \text{ m s}^{-1}$ のばらつきがあり、これが子午面環流の変動を表すものか、次のサイクルの極域の磁束（ひいては次のサイクルの黒点数）と関係するのかが、などが興味深い問題である。

東京天文台のプロミネンス観測データは、1933年くらいからスペクトロヘリオグラフによる写真乾板が残っている。今回ギャップとなっている1965年から1974年についても、乗鞍コロナ観測所での写真観測（フィルム）が残っているので、今後順次デジタル化、測定を行い、80年以上にわたる太陽極域磁場の反転の様子を調べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12b 非対称磁気リコネクションの強非対称極限での振る舞い

新田伸也（筑波技大）、丸山翔矢（愛媛大）、近藤光志（愛媛大）

講演者らは、初期の物理量分布が電流シートに対して非対称である等温平衡系で生じる磁気リコネクションの時間発展の漸近解（自己相似解）としての構造を議論してきた。このような非対称電流シートでのリコネクションについての共通認識と言えるモデルは未だ確立していない。

非対称リコネクションでは、対称リコネクションの代表的モデルである Petschek モデルによって広く浸透した描像とはかなり異なる構造を作る事が講演者らの MHD シミュレーション研究によって判明した (Nitta+2016 ApJ: 電流シート両側の磁場強度比 k で $1 < k \leq 2$ について) : 1) リコネクションジェットが加速層と高速層に2層化し、高速層では流れと磁力線がほぼ並行になる。2) 強磁場側プラズモイド中に弱磁場側プラズマが浸入し、これまで知られていなかった接触不連続を生じる。3) 弱磁場側プラズモイド前方にこれまで知られていなかった長大で強い Fast 衝撃波を生じる。

今回、シミュレーションの空間分解能を高め、更に顕著な非対称性 ($2 < k \leq 20$) を持つ場合の漸近的な振る舞いにまで議論を拡張し、等温平衡から始まる非対称リコネクションの描像をまとめた。特に以下の漸近挙動が確認された。1)、2) は、強非対称の場合にも保たれるが、アウトフローに占める弱磁場側プラズマ成分の割合が増大する。3) の Fast 衝撃波は、強非対称になると減衰し、やがて発生しなくなる。この非対称リコネクションモデルから演繹される特徴の現象論的意義についても検討した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13b CALLISTO 受信機を用いた太陽電波観測

津田菜月, 鷺田英舞, 野澤恵 (茨城大学), 岩井一正 (名古屋大学)

太陽ではフレアと呼ばれる突発的な爆発現象が起こり、様々な波長から電磁波が放射されるが、その詳細はまだよくわかっていない。その中でもフレアによって放射されるメートル波電波バーストは、放射される電波の周波数の時間変化などによって様々な種類がある。太陽電波 III 型バーストは数 kHz から数 GHz の周波数帯に出現し、高い周波数から低い周波数へ短時間で大きな周波数のドリフトが見られる。この III 型バーストはフレアにより加速された高エネルギー粒子によって放射されると考えられている。茨城大学では、フレアにおける高エネルギー粒子の生成過程の理解を目的とし、メートル波帯域のログペリオディックアンテナと CALLISTO (全世界ネットワークによる太陽電波バースト受信網) 受信機を用いて太陽の自動観測を行っている。

2017 年 4 月 2 日、02:45 (UT) に C8 クラスのフレアが発生し、このフレアが原因の III 型バーストを捉えることで、本装置による初めての太陽電波バースト観測に成功した。本研究では観測されたデータと GOES 衛星 X 線フラックス、飛騨天文台 SMART の $H\alpha$ などとの比較を行った。

太陽電波 III 型バーストの強度のピークは、X 線フラックスのピークや $H\alpha$ 強度のピークの少し前に現れることが知られている。本研究で観測された III 型バーストの強度のピークと X 線フラックスのピーク、 $H\alpha$ 強度のピークのあいだにもそのような関係が見られた。本講演ではこれらの比較結果をもとに III 型バーストとフレアの関係や、他の波長の観測データ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](#)

M14b II型太陽電波バーストのリアルタイム自動検出へ向けた試み

直井隆浩, 久保勇樹, 西塚直人 (情報通信研究機構)

現代社会は人工衛星や複雑な電子機器に強く依存した社会であり、地球近傍空間や太陽活動を継続して監視することは極めて重要である。太陽活動のひとつとして太陽電波バーストが観測されることがある。その中でII型と分類される電波バーストは、太陽から放出されたプラズマ雲に先行する磁気流体衝撃波から放射されたものと考えられており、電子密度の比較的低いコロナで周辺プラズマ周波数 f_p のラングミュア波を励起し、電波へ変換されたものと解釈されている。II型電波バースト発生源の移動速度はだいたい500 から 1,500 km/s であり、数日以内に地球へ影響を及ぼす擾乱の前兆として観測される。

情報通信研究機構では、1996年から2016年まで平磯太陽観測施設にて、2016年からは山川電波観測施設にて、MHz帯からGHz帯における太陽電波観測を行っている。我々はこの長年蓄積されたデータを用いて、II型電波バーストをリアルタイムで自動検出する手法開発を行っている。II型電波バーストは一般にVHF帯で強く検出され、何分間か継続して観測される。また時間とともに周波数が低くなる動的スペクトルを有しており、 $f_p \propto t^{-1}$ の関係のあることが指摘されている。そこで、本研究では、分光画像からノイズを取り除きバーストの信号を強調したりするなどの複数の画像処理を行った後、この関係を利用することでII型バースト検出に成功した。

本講演では、これらのII型電波バースト自動検出手法の開発について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M15b 情報通信研究機構 - 東北大学統合太陽電波観測データアーカイブ

久保勇樹 (情報通信研究機構), 三澤浩昭 (東北大学), 直井隆浩 (情報通信研究機構), 岩井一正 (名古屋大学), 土屋史紀 (東北大学), 石橋弘光 (情報通信研究機構)

近年、太陽電波観測の重要性が再認識されつつある。GHz 帯電波バーストが宇宙天気災害に直接関わりがあることが明らかになってきており、例えば太陽電波バーストが GNSS 信号と混信して測位誤差の増大を引き起こしたり、空港のレーダーシステムが乱され航空機の発着が中断したという報告もなされている。このように GHz 帯の電波バーストのモニタリングは宇宙天気災害の監視という観点で非常に重要である。一方で、MHz 帯の電波バーストは、コロナ衝撃波の発生・伝搬のシグナルとして今なお重要な観測であることは言うまでもない。また、MHz 帯と GHz 帯の電波バーストはいずれもコロナ中で加速される高エネルギー電子が起源となっているという点で密接に関連しており、科学研究という観点からも見ても広帯域の太陽電波バースト観測は重要である。

情報通信研究機構では 70-9000MHz をカバーする広帯域の太陽電波観測を行っており、一方で東北大学ではさらに低周波数の 20-150MHz をカバーする太陽電波観測を開始している。これらの観測はお互いが観測していない周波数帯域をカバーしているため、両者が協力することできわめて広帯域の太陽電波バースト観測が実現できる。これを実現するため、情報通信研究機構と東北大学の協力の基に、統合太陽電波観測データアーカイブの開発を行っている。本データアーカイブにより、情報通信研究機構平磯、山川及び東北大学飯館、蔵王の太陽電波観測データを一元的に公開することが出来るようになり、超広帯域太陽電波観測データの利用が可能となる。本講演では、開発中の情報通信研究機構-東北大学統合太陽電波観測データアーカイブについて紹介する。

本開発は、東北大学 PPARC 共同研究の支援を受けて行っています。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16c Deep Learning を用いた生成モデルの太陽観測への応用

加納龍一 (個人), 川畑佑典 (東京大学)

本講演では、Deep Learning を用いた生成モデルのひとつである Generative Adversarial Network(GAN) を太陽観測データへと応用した結果を報告する。生成モデルとは訓練データを学習し、訓練データの特徴を模倣した全く新しいデータを生成するモデルのことである。その中でも GAN は Generator と呼ばれる画像生成のためのネットワークと、Discriminator(または Critic) と呼ばれる偽物と本物を見分けるためのネットワークを共進化させて学習を行うことを特徴としている。

Deep Learning を用いた生成モデルは社会的には異常検知や超解像、ノイズ除去などに広く用いられてきており、天文学においても Schawinski et. al (2017) において、銀河の観測データに対するノイズ除去方法として GAN が初めて用いられた。

今回我々は、Hinode 衛星の観測した静穏領域 (粒状斑) と、SDO 衛星の観測した活動領域 (黒点) を訓練データに用いて、GAN の一例である Wasserstein GAN のフレームワークのもとで画像生成機の獲得を行った。その結果、生成されたデータは、訓練データの持つ特徴を非常によく再現できていることを確認できた。例えば粒状斑に関しては対流セル構造や粒状斑間隙に見られる輝点などが、黒点に関しては暗部や半暗部、ライトブリッジ構造などが鮮明に再現できていた。我々の知る限りでは、Deep Learning を用いた生成モデルの太陽観測データへの応用に成功した前例は無い。

上記の結果の紹介に加えて、獲得した画像生成機を用いた宇宙天気予報アルゴリズム構築への応用についても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](#)

M17b 飛騨天文台 SMART/SDDI による太陽彩層速度場全面モニタリング

大辻賢一, 石井貴子, 一本 潔 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の SMART/SDDI(Solar Dynamics Doppler Imager) では、 $H\alpha \pm 9\text{\AA}$ の波長域を 0.25\AA の波長分解能、時間分解能 15 秒で太陽彩層全面像が取得されている。本ポスターでは、SDDI データに Beckers のクラウドモデルおよび local correlation tracking を適用することにより、彩層上空のフィラメントやプロミネンスの 3 次元速度場を導出するシステムの開発について解説する。現在システムのプロトタイプが完成し、ケーススタディ的に実際の観測データを用いた速度場導出を行い、いくつかの科学的成果を生み出している (石井講演、Seki et al. 2017, ApJL in press, arXiv:1705.09041 を参照)。今後のリアルタイム処理に際しては、観測シーケンスへの組み込みおよび計算の高速化のための並列処理の調整等が課題として挙げられる。

本システムによってもたらされるフィラメント等の太陽全面リアルタイム速度場は、世界で他に例がない観測データとしてユニークであり、またフィラメント噴出の前兆現象検出や噴出後の惑星間空間伝播シミュレーションの初期値として用いることが期待される等、宇宙天気予報に対する重要な観測データとなりうる。本ポスターではこれら宇宙天気予報の観点から見た彩層速度場データの利用方針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](#)

M18b スペクトル線 He I 1083 nm と Ca II 854 nm の偏光スペクトルの比較

阿南徹, 一本潔, 永田伸一 (京都大学), 原弘久, 鳥海森 (国立天文台), 海宝孝祐 (茨城大学)

これまでひので衛星などにより太陽光球の磁場測定は詳細に行われ、太陽現象には磁場が密接に関わっていることが明らかにされた。今後は、磁気圧優勢な彩層やコロナで磁場がプラズマにどのように働くか定量的に評価することが、コロナ加熱問題をはじめとした様々な現象のメカニズム解明に重要である。He I 1083 nm と Ca II 854 nm は彩層磁場測定に適したスペクトル線であり、特に He I 1083 nm は数あるスペクトル線の中でも最も適していると考えられている。しかし、観測装置の開発において、装置の大きさや重量、予算の制限から He I 1083 nm の観測が困難なことがある。たとえば衛星観測による広視野で高精度な He I 1083 nm の偏光観測をするためには高額な大容量で高精度な赤外カメラが必要であり、さらには 170 K 程度の冷却が必要である。これらは衛星の軌道や熱処理の設計に大きな影響を与える。

本研究の目的は、Solar-C などの将来の観測装置が測定するスペクトル線を選定するために、He I 1083 nm と Ca II 854 nm の彩層磁場診断能力を評価し比較することである。彩層磁場診断能力のみを比較するために、私たちは飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に開発された多波長同時偏光分光観測装置を用いて He I 1083 nm と Ca II 854 nm における偏光スペクトルを同時に測定した。観測対象は、黒点、プラージュ領域、ダークフィラメントである。その結果、Ca II 854 nm においてダークフィラメントのコントラスト及び偏光度が検出が困難なほど小さく、ダークフィラメントの磁場測定において He I 1083 nm が有利であることが明らかとなった。ダークフィラメントの磁場測定を鍵とする観測装置は、He I 1083 nm の観測が必須である。本ポスターでは、各観測対象の偏光度の違いなども紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M19a 高速成分を持つ小プラズマ塊の太陽面での発生分布解析

廣瀬公美, 一本潔, 大辻賢一, 石井貴子, 浅井歩 (京都大学), 京都大学 SMART チーム

京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡により、60km/s 以上という高い視線方向速度成分を持つプラズマ塊の運動が多数観測されるようになったが、その現象の太陽面上での発生分布について議論する。

京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡には、2016 年 4 月に Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) が新設された。SDDI を用いることにより、太陽全面を $H\alpha$ 線中心の波長だけでなく、そのウィング $\pm 9.00\text{\AA}$ まで 0.25\AA 刻みで観測することができ、この 73 波長を 1 sequence として 15 秒間隔で定常的に観測を行っている。定常観測後、 $H\alpha$ 線ウィング、特に $\pm 1.25\text{\AA}$ から $\pm 2.00\text{\AA}$ で、 $10\sim 20$ arcsec 程の空間スケールのイベントが頻発していることが分かった (廣瀬ほか 2016 年秋季年会)。これは視線方向速度にして $60\sim 90$ km/s 程度、空間スケールでは 1 万 km 程度に相当する、比較的小さなプラズマ塊による運動によるものであると考えられる。2016 年 8 月後半の、天候の安定していた延べ 10 時間分のデータについて目視で調べた結果、発生頻度は、平均して 1 時間あたり 10 イベント以上である。また、およそ 8 割がブルーシフトとして観測された。

私たちは、頻発する小プラズマ塊の運動の太陽面上で発生しやすい場所や発生分布の時間的な変化を調査するため、自動検出アルゴリズムを開発した。

本講演では、この自動検出アルゴリズムによる発生分布の解析結果と SDO 衛星による AIA や HMI とのデータを比較した結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20a Reconnection enhancement in 3D evolution of a current sheet

Shuoyang Wang, Takaaki Yokoyama

Magnetic reconnection is thought to explain various energy release astronomical activities. But how to reach fast reconnection remains unsolved. In our previous study, we noticed that when multiple tearing layers coexist in the same sheared current sheet, inflow and outflow of diffusion regions on different tearing layers couple with each other and trigger fast overall reconnection.

In order to have a clear picture of the reconnection enhancement, we simplify the initial condition by perturbing a sheared magnetic field with a pair of rotational-symmetric tearing instabilities. We notice that when new tearing layers are activated near the boundary of current sheet, the total reconnection is boosted accordingly. The new tearing layers are mediated by the inner modes that an increase of wavenumber along global guide field is observed. It guarantees a local fast reconnection due to the shorter tearing wavelength. Interactions between tearing layers, which are similar to what we identified in the previous study, are always observed. As a result, magnetic field is transported into the current sheet continuously and participate into global reconnection while reconnection rate is enhanced step-likewise.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21a 大規模な太陽フレアを生じやすい活動領域の数値シミュレーション

鳥海森 (国立天文台), 高棹真介 (名古屋大学)

大規模な太陽フレアは活動領域の周辺、特に正極・負極磁場の密接したデルタ型黒点で発生しやすいことが知られている。デルタ黒点は大局的な磁束浮上・黒点運動の結果として形成され、光球には垂直磁場勾配とシアの強い磁気中性線が、上空には非ポテンシャル的な磁場構造が現れる。Zirin & Liggett (1987) はデルタ黒点を (1) 正負極が密集して出現、(2) 既存の黒点に隣接して浮上磁場が出現、(3) 2つの浮上磁場が衝突、の3種類に分類した。また、大規模フレアはデルタ黒点以外にも (4) 2つの独立した活動領域の中間に生じることがある (Toriumi et al. 2017)。そこで本研究では、大規模なフレアを生じやすい活動領域の形成過程、特にシア磁場構造の成長過程を調べるため、上記 (1)–(4) を再現する浮上磁場シミュレーションを行った。計算条件は (1) ねじれの強い磁束管がキンク不安定によって浮上、(2) 主要な磁束管に付随して小規模な磁束管が浮上、(3) 1本の磁束管が2箇所浮上、(4) 2本の磁束管が独立して浮上、とした。その結果、(1)–(3) では光球に正負極の近接したデルタ型の磁場構造と、その中間に垂直磁場勾配とシアの強い磁気中性線が形成された。解析の結果、磁気中性線のシア成分は、黒点の相対運動に伴う磁場の引き伸ばしと移流によって強化されていることが明らかになった。また、全ての計算例で上空に非ポテンシャル的な磁場構造が形成された。コロナ中の自由磁気エネルギー（実際の磁気エネルギーとポテンシャル磁場の磁気エネルギーとの差分）は活動領域の成長とともに増大し、特にシアした磁場構造の付近に蓄積されていた。以上の結果は、太陽表面下における浮上磁場構造の多様性が、太陽表面に出現する活動領域の複雑さや、発生するフレアの強度に影響を与えている可能性を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M22a 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。このため、フレアの発生予測は宇宙天気予報にとって重要である。しかし、太陽フレアの発生機構は十分に解明されていないため、フレア発生の正確な予測は未だ実現できていない。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) は、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 (2016 年春季大会 M25a, submitted to ApJ) は磁場のねじれ (magnetic twist) 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の磁場データを使って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の総フラックスとの相関解析を行った。春季大会では初期結果としてフレア活動と自由エネルギーの関係について報告したが、今回はより関係性の強いパラメタを探るため、磁場のねじれやそれに関連するパラメタについての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](#)

M23a 黒点の逆回転と大規模フレア

長谷川隆祥 (東京大学/宇宙航空研究開発機構), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

太陽フレアは、コロナに蓄えられたエネルギーが、磁気リコネクションによって急速に解放される現象である。しかし、観測からは光球面の磁場しかわからず、エネルギーはコロナ中で散逸してしまうため、コロナのエネルギー状態を観測から直接評価することはできない。この評価のためには、磁気ヘリシティ (Berger & Field 1984) をエネルギー状態の代替として用いるのが最適である。コロナ磁場のヘリシティも直接求めることはできないが、光球磁場からコロナへのヘリシティ入射量の測定から、磁場の活動性を探ることができる (Kusano et al. 2002)。

この測定によって、フレアが [A] 「ヘリシティが閾値を超えて発生」するものと、[B] 「ヘリシティが飽和あるいは減少する過程で発生」するものがあることが分かった (Park et al. 2012)。これは、フレアにはエネルギー蓄積だけでなく、トリガーとなる機構が必要であることを示しているが、この機構は現在でも解明されていない。

[B] に関しては、フレア前に逆極のヘリシティをもった構造が現れる場合がある (Park et al. 2010)。しかし、[課題] この逆極のヘリシティ入射の正体やフレアへの寄与を突き止めた例はほとんどない。

我々は、[課題] について探るため、[B] のフレアを起こした活動領域を解析した。結果、フレア前に黒点が逆回転を始め、逆極のヘリシティを入射していた。そこでさらに、逆回転の原因と、フレアへの影響を解析した。

結果、黒点のすぐ北で発生した磁気浮上に伴う磁場の結びつきの変化と浮上磁場の運動によって、黒点磁場が強くなじり直され、黒点の逆回転として現れたことがわかった。このねじれ構造では大きな電流が流れ、フレアの発生につながったと考えられる。黒点の回転とフレアとの関係を調べた例はあるが、本研究は、黒点の逆回転に伴う磁場のねじり直しがフレアに寄与していることを初めて解明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M24a 太陽フレア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、太陽フレアと太陽地球圏環境への影響との関係を解明するために、観測データの統計的解析により、太陽フレア放射スペクトルの導出を進めている (西本ほか、2017 年春季年会 M50a)。太陽からの放射強度を見積もるための既存の数値モデル (e.g. Flare Irradiance Spectral Model (FISM) P. C. Chamberlin et al., 2006) は、経験則に基づいて構築され、特に、フレアによる変動が大きい波長帯における精度が十分でないことが報告されている。したがって、本研究では、経験則ではなく物理過程を理解するために、フレアの物理的構造に基づいた数値モデル (Imada et al., 2015) を用いて、太陽フレアスペクトルを予測するモデルの構築を目指している。そのために、今回は、上記の数値モデルのインプットとなるフレアリボンの幾何学的特徴について SDO/AIA 1600Å による観測データを用いて統計解析を行った。「ひのでフレアカタログ」(Watanabe et al., 2012) に掲載されている太陽フレアのうち、M3 クラス以上のイベントに対して解析を行った結果、フレアリボンの長さ、幅、面積がフレア継続時間と正相関の関係にあることが確認できた。本発表では、これらの関係およびフレアの物理的構造に基づいた数値モデルによるフレアスペクトル予測を行い、観測結果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](#)

M25a 太陽電波ゼブラパターンの準周期的変動

金田和鷹、三澤浩昭（東北大学）、岩井一正、増田智（名古屋大学）、土屋史紀、小原隆博、加藤雄人（東北大学）

フレアの光度曲線は、しばしば準周期的な時間変動を示す。この準周期的変動は、その周期などから様々な物理量を推定することができると考えられており、直接観測ができないコロナを観測する手段として有力である。太陽電波バースト中の微細構造においても、準周期的変動をもった構造が観測されている。本研究では、ゼブラパターン（ZP）と呼ばれる微細構造の準周期変動に着目した。ZPはIV型バーストの広帯域連続放射を背景に、狭帯域のバンド構造が縞模様状に並んだ特徴的なスペクトルを示す。このような縞構造の形成について、多くのモデルが提唱されているが、統一的理解はされていない。ZPの生成機構を理解するうえでの重要な情報のひとつとして、縞の周波数間隔（ Δf ）が挙げられる。しかしながら、 Δf の時間変動、特にその周期性に関する研究は非常に少ない。そこで本研究では、AMATERASにより観測された高分解スペクトルデータを用いて、 Δf とその時間変動に関するイベント解析を行った。解析したイベントは2011年6月21日のC7.7クラスフレアに伴って発生した現象で、30本以上の縞構造を持つZPが観測された。この現象について、スペクトルから縞構造のピーク周波数を抽出し、隣り合うピーク同士の周波数間隔とその時間変動を調べた。その結果、 Δf の不均一構造が高周波数から低周波数側へドリフトしていること、またそのドリフト構造が準周期的に繰り返し出現していることがわかった。周波数ドリフトは2 - 5 MHz/s程度、繰り返し周期は1 - 10 s程度であった。観測された準周期的なドリフト構造は、ZP放射源における密度あるいは磁場の擾乱が、数秒程度の周期で低高度から高高度へ伝搬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](#)

M26a Multi-wavelength observations of solar flares as basement of diagnostics of mechanism of quasi-periodic pulsations

S. Masuda (Nagoya University), E. G. Kupriyanova (Pulkovo Observatory), L. K. Kashapova (Institute of Solar-Terrestrial Physics, Russia), H. A. S. Reid (University of Glasgow), Z. Xu (Yunnan Observatory), I. N. Myagkova (Moscow State University)

Quasi-periodic pulsations (QPPs) are frequently observed feature of significant number of solar flares. The most discussed explanations of QPPs are MHD waves and periodic reconnection. Appropriate objects for testing the different models are the flares with the QPPs that are pronounced simultaneously in the several bands through the electromagnetic spectrum. Analysis of the parameters of the QPPs in the different wavelengths (and, therefore, at the different heights in the solar atmosphere) allows to narrow class of mechanisms responsible for the QPPs. We use original combination of the standard methods (de-trending, correlation, Fourier, and wavelet) to examine the periods, phases, and amplitudes of QPPs, and relationships between them in different wave ranges. We tested our method on two flares observed in X-ray, microwave, radio wave, and $H\alpha$ ranges. We used the observations of NoRH, NoRP (Nobeyama, Japan) and SSRS (Badary, Russia) in the GHz range, RSTN (Lermonth, Australia) and AMATERAS (Japan) in MHz range, RHESSI, FERMI, KONUS/WIND, KORONAS-F in hard X-rays, and NVST (Yunnan, China) for $H\alpha$. The periodic variations with the time scales 50 s and 150 s, which are individual for each flare, are found at most of the wave bands. We interpret the results as quasi-periodic injections of non-thermal electrons, produced by magnetic reconnection.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M27a コロナ温度構造診断で見たシグモイド構造の短時間スケールでの発現

土井崇史 (東京大学), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

大規模フレア発生前に、軟 X 線で S 字型の明るい構造 (シグモイド) が観測されることがある。これはコロナにおけるねじれた磁束ロープの存在を示唆し、フレア発生時に解放できる磁場の自由エネルギーが高いことが推察される。光球での磁気中性線への流れに伴う磁場のつなぎ替えにより、全体としてヘリカル構造を持つ磁束ロープが形成されることが理論的に示されており、形成前にこのような光球運動が観測されたものがシグモイド構造の約 6 割であり、ほとんどのシグモイド構造がフレア発生の約 2-3 日前から観測されることが過去の統計的研究にて分かっている。一方で、M クラスフレアが発生した活動領域 NOAA11692 にて観測されたシグモイドは、フレア発生 9 時間前にて J 型コロナループの急速な増光が起こった後に形成され、上述のシグモイド存続時間の統計的傾向と比較して短い時間スケールでの発現であることがひので衛星/X 線撮像望遠鏡 (XRT) により確認された。

本研究では、NOAA11692 における短時間スケールでのヘリカル構造の形成で必要となるコロナ中での細かな磁気リコネクション (MRX) がどこでどのように起きるかを、MRX による加熱や軟 X 線増光という振る舞いから把握するために、XRT のデータのフィルター比法を用いて、活動領域における温度・エミッションメジャー (EM) の空間分布を算出した。その結果、J 型の増光が見られた時刻にて J 型のシース領域での温度 ($\log T[\text{K}] \sim 7$) が周囲 ($\log T \sim 6.5$) より高くなり、その後、空間的にほぼ一様な温度分布 ($\log T \sim 6.7$) を持つ 1 本の S 字構造に発展した。また、シグモイド構造形成後も一貫して S 字構造内部での EM が周囲より高い状態となっている。これらはシグモイド構造形成初期の磁束ロープと周囲の磁場との間での相互作用による加熱、形成後も磁束ロープ内部で冷却しないようリコネクションが起き続けていることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M28a コロナ質量放出到来のリアルタイム予測に向けたパラメータ決定手法の開発

塩田大幸（情報通信研究機構）、八代誠司（カトリック大学/NASA）、草野完也（名古屋大学）

コロナ質量放出（CME）特に CME 内部の南向き磁場は宇宙天気擾乱の主要因の一つである。そのため CME による南向き磁場の規模と到来時刻を予測する手法の開発は、磁気嵐の発生予測にとって重要な課題の一つである。

我々のグループでは近年、内部にねじれた磁束管を持った複数の CME を太陽風の中に伝搬させる 3 次元磁気流体シミュレーションを開発した (Shiota & Kataoka 2016)。このシミュレーション (SUSANOO-CME) では、解析的なモデルで磁場を計算した CME の情報を 30 太陽半径の内部境界に太陽風の分布に加えた内部境界条件を与えることで、外側の惑星間空間・内部太陽圏での太陽風・CME の伝搬を解く。磁場を与える CME モデルは、CME の磁束量や磁場の向きなど、観測から単純に決めることが難しいパラメータがいくつかある。そこで本研究では、CME を伴った太陽フレアのリアルタイムに得られる観測データ (SDO/AIA or SOHO/EIT、GOESX 線ライトカーブ、LASCO CME カタログにある速度、Angular width) を使用し、太陽フレアの輻射エネルギーと CME の磁気エネルギーが等しいと仮定して磁束を決定する手法を考案した。

2005 年 5 月–9 月は、太陽活動が活発であり、高速の CME を伴う太陽フレアが数多く観測された時期である。この期間の高速で幅の広い CME を伴った 44 例の太陽フレアの観測データを入力として使用して太陽風・CME のシミュレーションを実行し、CME およびその内部磁場の地球への到来する割合を調べた。その結果、44 例中 23 イベントで衝撃波が地球へ到来し、6 イベントで CME 内部の磁気雲が地球に到来した。それらのイベントを調べると、観測を良く再現するものがある一方で、再現性が悪いものも見出された。講演では再現性の優劣を決める要因に関する考察も含めて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M29a 鉛直1次元温度場中の非フォースフリー太陽磁場モデルに対する磁気流体力学緩和法

三好隆博(広島大学), 草野完也(名古屋大学), 井上諭(名古屋大学)

太陽大気中の爆発現象は、太陽大気に蓄積された磁場の自由エネルギーの突発的な解放過程であると考えられる。したがって、その発達過程や発生機構の解明には、太陽大気磁場の3次元分布の情報が必要不可欠である。しかし、太陽大気磁場の直接観測は技術的に容易ではない。そこで直接観測が可能な光球面のベクトル磁場の2次元分布から、太陽大気中の3次元磁場分布を外挿する方法が必須となる。

太陽コロナではプラズマベータ β が小さいため、ローレンツ力と比較しガス圧や重力の寄与が小さく、ローレンツ力が0となるフォースフリー磁場近似がよく成立する。近年、光球面磁場を境界条件として、非線形フォースフリー磁場を再構成する数値手法が精力的に開発され、一部の観測を再現することが可能になった。しかし、光球面では β が大きく、観測から得られる光球面磁場は一般にフォースフリーではない。また彩層においても、磁場分布はフォースフリー磁場から外れると予想される。

そこで本研究の目的は、光球面ベクトル磁場分布から、彩層とコロナを共に含む太陽大気中の非フォースフリー平衡磁場を再構成する新たな磁気流体力学緩和法を開発することにある。特に鉛直1次元温度モデルを仮定することによって、重力の効果を適切に取り込むことに成功した。基礎方程式の理論解析を行い、重力項に関する安定性の指標を議論した。またロバストな数値解法を検討し、数値実験によって検証を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a テイラープラウドマン状態を破る磁場の役割

堀田英之 (千葉大学)

高解像度計算を実行することで、ダイナモによって生成された磁場がテイラープラウドマン状態を壊す効果があることを発見した。日震学により測定された太陽の差動回転は、それまでに予想されていた角速度の分布が回転軸方向に変化しないテイラープラウドマン状態ではなく、動径方向にほぼ一様な角速度を分布であった。この状態を実現するには、緯度方向にエントロピー勾配を持つことが重要であったが、これまでの対流層のみの計算ではこのエントロピー勾配を実現することができなかった。また、これまでの計算から回転速度が速くなれば速くなるほど、テイラープラウドマン状態になりやすくなることがわかっている。そこで、我々は太陽の五倍回転を利用した超高解像度計算を実行し、磁場がテイラープラウドマン状態を壊す役割について調査した。その結果を見ると、大規模磁場が差動回転を抑えること、小規模磁場が熱対流速度を抑えること、小規模磁場が上昇流と下降流を抑えることが原因となり、磁場の効果のみで回転の速い状態でのテイラープラウドマン状態を回避可能なことを発見した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M31a 磁気要素追跡手法を用いた太陽表面速度長期変動について

藤山雅士, 今田晋亮, 飯島陽久, 町田忍 (名古屋大学)

太陽は約 11 年周期で活動の大きさが変動することが知られており、極大期、極小期を繰り返している。それに伴い人工衛星の故障や、通信障害を引き起こす要因となるフレアや CME の回数も変化する。そして、周期毎の活動の強さや周期の長さが異なることが過去の長期に渡る観測によって報告されている。そのため、長期的な宇宙開発計画のためには、太陽活動サイクルの予測が必要不可欠となる。太陽活動極小期において、極磁場の強さと次サイクルの太陽活動度には強い相関があり、極小期の極磁場を知る事は次期太陽サイクルを予測するのに有用である。より早く太陽活動サイクル予測を行うことを目的とし、極磁場予測を考える。そのためには、表面磁束輸送モデル計算が有用とされており、その数値計算のためには様々なパラメータが必要となる。本研究ではこのパラメータに含まれる差動回転、子午面循環流という 2 つの太陽表面上の動きに着目する。

太陽観測衛星 SOHO/MDI 及び SDO/HMI の磁場観測データを用いて、磁気要素追跡手法によってパラメータを算出するモジュールを開発し、実際のデータ解析に用いた。解析により過去 2 サイクルに渡る表面速度を算出し、活動領域に伴う速度場の変化を捉えた。この結果は Hathaway et. al, 2011 の結果と一致する。また、開発した手法を Hinode/SOT の磁場観測データにも適応することで、未だ解明されていない太陽極付近の速度を求めた。さらに、検出した磁気要素一つ一つの磁束量や経度分布など活用することで、太陽表面速度に関して多角的に考察を行った。これらの結果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](#)

M32a 黒点データ及びマグネトグラム観測を用いた Active Longitude に関する研究

近藤克哉, 今田晋亮, 藤山雅士, 町田忍 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

太陽表面に見られる太陽黒点の数は周期的に増減を繰り返しており、11年の周期的な活動をしていることが広く知られている。太陽活動の極大期では、太陽表面において黒点が多くみられ、黒点にともなう活動を通して、地球環境へ様々な影響を及ぼしている。黒点の出現には緯度依存性があることが古くより知られていて、太陽周期の初めは緯度 ± 30 度付近に、終盤では赤道付近に多く出現する。一方で、経度依存性の理解はそれほどされていないのが現状である。そこで、本研究では黒点の出現の経度依存性に関する調査を行う。太陽の磁場構造は基本的に軸対称な構造をしていると考えられており、ほとんどの研究で経度方向の依存性は無視されてきた。大局的な磁気構造は確かに軸対称であるが、擾乱成分のようなものには大きな偏りが生じる可能性も否定できず、黒点出現位置が経度方向に偏る可能性は以前より考えられてきた。本研究では Debrecen Photoheliographic Data (DPD) による黒点面積等のデータ、及び衛星から得られた太陽表面の磁場データから Active Longitude (AL; 黒点が出現しやすい経度) を同定し、1) 黒点データ (強い磁場領域のみ) から同定される AL とマグネトグラム (弱い磁場も含む) を用いて同定した AL の差異、2) AL の南北非対称性、3) AL の磁気的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](#)

M33a 太陽観測衛星「ひので」を用いた静穏領域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束密度が強くなり、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。数値シミュレーションによると、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ない。高空間分解の観測を用いた磁束管形成過程の統計的な解析は、まだほぼ行われていない。

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、上昇流があるところに位置する磁束密度が大きい磁束管も見られた。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](#)

M34a 太陽彩層ジェットの領域依存性における磁束管膨張率の効果

飯島陽久（名古屋大学）、横山央明（東京大学）

スピキュールやフィブリルのような太陽彩層ジェットは、太陽彩層で最も顕著な構造の一つである。光球から彩層にかけての激しい密度成層とそれに伴う衝撃波などによる非線形性の高さのために、彩層ジェットの駆動メカニズムを知るのは容易ではない。そこで、同様のメカニズムで駆動されていると思われる彩層ジェットが、活動領域や静穏領域、コロナホールなどの各領域における光球やコロナの状態に対してどのような依存性を示すかを調べることで、間接的に彩層ジェットのメカニズムを知ることにつながる。

Shibata & Suematsu (1982) は、1次元流体シミュレーションを用いて、特に密度成層下での音波の増幅率を調べることで、遷移層やコロナの状態が彩層ジェットのスケールを変化させ、領域依存性を生み出していると提案した。Iijima & Yokoyama (2015) は、輻射による音波のダンピング等も考慮したより現実的な状況では、Shibata & Suematsu (1982) で得られたコロナの状態による依存性がより弱くなると報告している。

本研究では、太陽彩層をセルフコンシステントに生成出来る3次元輻射磁気流体計算を用いることで、彩層ジェットの光球やコロナへの応答を調べる。具体的には、コロナの温度および領域内の総磁束量をパラメータとして、彩層ジェットの空間サイズがどのように変化するかを調べた。その結果、静穏領域のように磁場が弱くコロナが冷たいほうが、活動領域のように磁場が強くコロナが熱い場合より背の高い彩層ジェットを持つことがわかった。パラメータに対する依存性を定量的に調べると、彩層ジェットの領域依存性を説明するためには、コロナの状態に対する依存性だけでなく、磁場の膨張率に対する依存性が必要であることがわかった。講演では、この依存性の理由や、実際の太陽における領域依存性の起源、彩層ジェットのメカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a ALMA による黒点暗部増光の発見

岩井一正 (名古屋大学), Loukitcheva Maria (NJIT), 下条 圭美 (国立天文台), Solanki Sami (Max Planck Institute), White Stephen (AFRL)

本研究ではミリ波サブミリ波の電波干渉計 ALMA による 3mm 帯域における「黒点暗部増光」の発見について報告する。黒点は非常に強い磁場を持つため、光球面においてその中心部 (暗部) は周囲より暗く見える。一方、上層の彩層において、黒点の大気構造はほとんど理解されていない。ミリ波・サブミリ波の太陽電波は主に彩層からの熱制動放射であり、輝度温度分布は彩層の大気状態を直接的に診断できる。本研究では ALMA による最初の太陽観測公開データに含まれる 3mm (100GHz) のモザイク観測画像を解析し、黒点周辺の輝度温度分布を調べた。本データは活動領域 AR12470 を含む 300 秒角四方の領域を、3mm においては今までで最も高空間分解な 2.2 秒角の空間分解能でモザイク観測している。解析の結果、3mm の輝度温度は半暗部の外側で高く、半暗部の内側から暗部の外側にかけて低くなった。そして暗部の中心部が周辺に比べて最大で 800K も高い輝度温度であることを発見した。この 3mm 帯域における暗部増光領域は、IRIS 衛星で観測された 1330 Å と 1400 Å の slit-jaw 画像で明るい領域と対応しており、その近くにはライトブリッジが存在していた。暗部増光領域は 10 秒角未満の大きさで、これを分解できる観測は今回が初めてである。本現象が黒点に普遍的に存在する場合、彩層における黒点の暗部または半暗部の大気モデルを見直す必要がある。一方で例えば黒点振動に対する umbral flashes のような、変動現象の増光のタイミングを捉えた可能性もある。または暗部増光領域は 171 Å の画像で観測されるコロナループの根元に対応しており、coronal plume 領域において、ループに沿ったプラズマの下降流が電波の増光に関連している可能性も考えられる。参考文献：Iwai et al, 2017, ApJ Letters 841, L20

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M36a 浮上磁場領域における最初の活動現象としてのH-alpha surgeの発生

石井 貴子, 大辻 賢一, 阿南 徹, 一本 潔 (京大・理・天文台)

京都大学飛騨天文台 Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) / Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) を用いた太陽彩層 (H-alpha) 全面速度場観測において、浮上磁場領域の発達過程を pore 形成前から時間変化を詳細にとらえた結果を報告する。

2017年5月22日(日本時間)、のちの NOAA12660 になる活動領域が、太陽ディスクセンター付近 (EW0S10)、NOAA12658 の東側に出現した。SMART/SDDI では、21日22時 UT 前(22日07時 JST 前) から、22日09時 UT 前(22日18時 JST 前) まで、ほぼ終日観測を行えた。SMART/SDDI H-alpha と、SDO/HMI の磁場データを併用して、磁場変化と H-alpha での活動を比較した結果、以下のことがわかった。

- (1) 観測開始時(21:45UT) の段階では、この領域は負極性の弱い磁場におおわれている。
- (2) 22:00UT から 01:00UT ごろまで、点状の surge が絶え間なく発生している。
- (3) 22:30UT ごろ、正極性の磁場が出現する。
- (4) 03:00UT ごろ、H-alpha で、AFS(Arch filament system) が確認でき、負極性の pore が形成される。
- (5) 05:00UT ごろ、正極性の pore が形成される。
- (6) 01:00UT ごろから、ジェット状の surge が発生し始め、AFS 形成以降、大きな速度をもった surge が複数回発生する。

これらは、浮上磁場領域の最初の活動として H-alpha surge が発生するという Kurokawa (1988 *Vistas in Astronomy*) の主張を、磁場データも用いて検証した初めての観測結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M37a CLASP/SJで捉えたライマン 線の散乱偏光の2次元分布と太陽彩層構造

鹿野良平, 久保雅仁, 石川遼子, 成影典之, 勝川行雄, 坂東貴政 (国立天文台), 石川真之介 (ISAS/JAXA), G. Giono (総研大), 原 弘久, 末松芳法 (国立天文台), 常田佐久 (ISAS/JAXA), J. Trujillo Bueno (IAC), A. Winebarger, K. Kobayashi (NASA/MSFC), F. Auchère (IAC), 他 CLASP チーム

観測ロケット実験 “Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter (CLASP)” では、その偏光分光装置 (SP) にて太陽からくるライマン 輝線 (121.6nm) が確かに散乱偏光していることが明らかとなった (Kano et al., 2017, ApJL; Ishikawa et al., 2017, ApJ)。一方、同じく CLASP に搭載された 2次元モニター光学系 (SJ) は、分光スリット周辺の彩層構造をライマン 線の広帯域フィルター (FWHM ~ 3.5nm) にて撮像観測したが、(1) 回転半波長板を SP と SJ の光路が分離される前の光路に置いたこと・(2) SJ 光学系の多層膜の折返し鏡が効率 ~ 20% の偏光板として機能すること、(3) SJ の撮像間隔 (0.6s) が回転半波長板の回転 (4.8s/回転) とちょうど良いタイミングで同期していたことから、広帯域の Stokes Q/I 画像を取得する装置にもなっていることが判明した。

SJ は広帯域フィルター観測なので、それによる直線偏光 Q/I は、SP で大きな散乱偏光が観測されたライマン 線裾野の成分が主要項であり、両者は偏光強度としても対応する。また、SJ による Q/I 画像の空間構造にも、ライマン 線裾野を持つ散乱偏光の特徴: (a) 明確な center-to-limb 変化・(b) $10'' \sim 20''$ の空間スケールで変動する偏光の局所構造・(c) ライマン 線輝度と直線偏光にある反対称関係が確かに現れており、SP 視野からは外れた活動領域内では広い範囲で Q/I がほぼなくなるなど、輝度との反対称性はより顕著に現れている。この輝度と偏光との反対称性は、Belluzzi et al. (2012, ApJL) による複数の太陽大気モデルに対する、ライマン 線の裾野の Q/I 偏光計算でも現れていることから、太陽各点での太陽大気の物理状態の違いで現れ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](#)

M38a Comparison between chromospheric field derived from He I 10830 Å observation and nonlinear force-free field modeling from photosphere

Yusuke Kawabata (The University of Tokyo), Andrés Asensio Ramos (IAC), Satoshi Inoue (Nagoya University), Toshifumi Shimizu (ISAS/JAXA)

In the solar corona, magnetic field plays an important role in the dynamics of the plasmas, although it is difficult to be observed due to the weakness of coronal magnetic fields and therefore low polarization signal. As an alternative, nonlinear force-free field (NLFFF) modeling has been used to derive magnetic field in the corona. However, the assumption of NLFFF modeling that the plasma β is low ($\ll 1$) is thought to be incorrect in the photosphere. We derived the chromospheric field by two different methods, from He I 10830 Å observation and NLFFF modeling from photosphere. We discuss the difference between them and the cause of the difference.

We analyzed He I 10830 Å data of the pore region observed with the GREGOR telescope. We inverted the polarimetric data by HAZEL code (Asensio Ramos et al. 2008). We applied NLFFF modeling to photospheric field observed with *Solar Dynamics Observatory*. We compared chromospheric magnetic field distributions derived from each method, and found that in stronger field regions ($>500\text{G}$), they show positive correlation although there are large dispersions. On the other hand, in the weaker field region ($<500\text{G}$), the magnetic field from He I 10830 Å shows stronger field strength. Because the chromospheric magnetic field map derived from He I 10830 Å shows less smooth distribution in some regions, we will discuss the validity of the inversion result and the possibility of the derivation of the magnetic field from the low He I 10830 Å absorption region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M39a フィラメントの小スケールな内部運動に見られる噴出の前兆

関大吉, 大辻賢一, 磯部洋明, 石井貴子, 坂上 峻仁, 廣瀬公美 (京都大学)

太陽コロナ中には、フィラメントという周囲より低温高密なプラズマが磁場により支えられているが、しばしば磁場の不安定化により噴出する。噴出の前にはその前兆として、フィラメントのゆっくりとした上昇や内部運動の活発化など、様々な動きを示すことが知られているが、この運動の定量的な評価は、あまりなされていなかった。

京都大学飛騨天文台の Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) に 2016 年度に新設された Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) は、フィラメントの視線方向速度場を測定し、フィラメントの運動の定量評価を可能とする観測装置である。そこで我々は、SMART/SDDI を用い、2016 年 11 月 5 日に噴出したフィラメントの噴出前の視線方向速度場を導出し、そのヒストグラムを作成した。もし、フィラメントの小スケールな内部運動が活発化した場合、その視線方向速度の速度分布の幅が広がると考えられるため、このヒストグラムの標準偏差は「フィラメントの小スケールな内部運動の活発さ」を定量化した値と見做せる。

この標準偏差の時間変化を追跡した結果、フィラメントが噴出する約 1 時間前に 2.8 m s^{-2} で標準偏差が急激に増加していく様子が確認された。この増加は、噴出の前兆としての「フィラメントのゆっくりとした上昇」に相当する。また、噴出の約 3 時間前から 30 分ほど、 1.1 m s^{-2} で標準偏差が徐々に増加したが、この時フィラメント全体は静止していたため、これが「フィラメントのゆっくりとした上昇」の前兆と考えられる。さらに、この標準偏差を噴出予測の指標として用いることで、フィラメント噴出を約 1 時間前に予測可能である、という宇宙天気の重要な成果も示唆された。今後、フィラメント周囲の磁場やその高さ、全体的な振動の周期なども組み合わせることで、正確な噴出予測が可能となることが期待される。(Seki et al. 2017, ApJL in press, arXiv:1705.09041)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、Ca II 8542 の同時観測によるプロミネンスの温度測定

岡田翔陽、町田亜希、徳田怜実、一本潔、浅井歩、上野悟、柴田一成（京都大学）

太陽物理学の大きな課題の一つにコロナ加熱問題がある。コロナが100万度である理由はわかっていないが、プロミネンス（コロナ中の1万度のプラズマ）に見られるような波によるエネルギー輸送と熱化が鍵である可能性が指摘されている（Okamoto and Antolin 2016）。この波の熱化過程を理解するためにはプロミネンスの振動や温度変化を詳しく調べて、波の性質を理解することが不可欠である。

プロミネンスの温度を求める最も一般的な方法は、質量が異なる2つの原子の輝線のドップラー幅を使う方法である（ex. Park et al 2013）。すなわち、輝線の幅を原子質量に依存する熱運動と原子質量に依存しない乱流運動による寄与の和と考え、観測された輝線プロファイルを1次元スラブモデルでfittingすることによって温度と乱流速度を求めることができる。しかし2本の輝線のみを使う方法ではfittingのパラメータ（ドップラー幅、視線速度、光学的厚み、源泉関数）が多いため、求まる温度の不定性が大きいという問題点があった。プロミネンス中の波動による温度変動などを調べるためには、より精度の高い温度測定が必要である。

そこで本研究では、2016年10月16日に飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡でプロミネンスの3波長同時分光観測（ $H\alpha$ 6563、 $H\beta$ 4861、Ca II 8542）を行った。 $H\alpha$ と $H\beta$ を組み合わせることでfittingの不定性を減らし、従来よりも温度を高い精度で測ることが目的である。さらに本研究では、より正確に温度を求めるためにバルマー線のエネルギー準位の微細構造も考慮したモデルを用いてfittingを行った。本講演では、3波長同時観測による高精度の温度測定の方法論と得られたプロミネンスの温度構造について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M41a プロミネンスの質量凝縮率に対する Rayleigh-Taylor 不安定の影響

金子岳史 (名古屋大学), 横山央明 (東京大学)

本研究では、プロミネンス内部の動的微細構造をシミュレーションで再現し、Rayleigh-Taylor 不安定 (RT 不安定) がプロミネンスの質量凝縮率に与える影響を議論する。

近年、ひのでや SDO の高解像度観測により、プロミネンス内部の上昇流や下降流、微細構造が鮮明に捉えられるようになった。プロミネンスの力学平衡モデルでは、質量が磁場によって支えられる静的平衡状態が想定されることが多い。一方、近年の観測では、内部下降流による質量排出とコロナプラズマの凝縮による質量供給が釣り合う動的平衡状態にあることが示唆されている。このように内部鉛直流と凝縮はプロミネンスの質量収支を解明するための重要な要素である。

これまで複数の理想 MHD シミュレーションにより、プロミネンス内部の鉛直流は RT 不安定によって再現されている。一方、これらのシミュレーションでは放射冷却などの熱力学過程が考慮されておらず、RT 不安定と凝縮の物理的關係は明らかにできない。本研究では、非線形非等方熱伝導と放射冷却を含む 3 次元 MHD シミュレーションにより、プロミネンスの形成を動的内部構造まで含めて再現した。プロミネンスの形成 (コロナの低温高密度化) は、我々が提案しているリコネクション凝縮モデルによる。リコネクションを起こすためにコロナ磁場の足元に与える収束運動の大きさを磁気中性線に沿ってランダムに変えたところ、凝縮とともに RT 不安定が発生し、プロミネンス内部に下降流と鉛直微細構造が形成された。RT 不安定が発生する場合としない場合の結果を比較したところ、RT 不安定が発生する場合にはプロミネンスの質量凝縮率が増加することを発見した。この結果はプロミネンスの質量が下降流と凝縮の相互作用で動的平衡状態として維持されることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M42a 熱的プラズマのドリフト運動とプロミネンス支持機構

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

磁場中の荷電粒子に力が働くと、力の方向および磁場の方向の両方に直交する方向にドリフト運動をする。力が荷電に依存しない場合ドリフト運動はドリフト電流となり、この電流にかかるローレンツ力が、働いた力に対する反作用となって平衡が保たれる。以上はプラズマの粒子的描像であるが、2017年春季年会 (M40a) において示したように、ドリフト運動は荷電粒子のラーモア運動とは独立に存在するので、頻繁な粒子間衝突によってラーモア運動が中断されてもドリフト運動は影響を受けない。ドリフト運動は荷電粒子の運動方程式から直接導かれるものであり、軌道理論近似における案内中心の運動による説明に依存する必要はなく、流体としての熱的プラズマにおいても成り立つ。

この結果を用いると、プロミネンス物質が重力に抗してコロナ中の水平にのびた磁力線によって支えられていることが理解できる。重力は電荷に依存しないので、ドリフト電流を発生し、そのローレンツ力によってプロミネンス物質は支えられている。プロミネンス物質は多くの中性粒子を含むが、荷電粒子との衝突によってドリフト電流を発生させ、反作用として平衡が保たれる。プロミネンス中の磁場強度を 10 ガウス程度とすると、陽子のドリフト速度は秒速 3mm、電子はその 2 千分の 1 程度である。ドリフト電流は電場が関与しないのでオームの法則は適用できない。また、重力の方向と運動の方向が直交するので、重力は仕事をせず、よって散逸も伴わない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M43a 温度と視線速度の位相差から探る、プロミネンス中の波動の性質

町田亜希, 岡田翔陽, 徳田怜実, 一本潔, 浅井歩, 上野悟, 柴田一成 (京都大学)

太陽は100万度の高温で希薄なプラズマ(コロナ)に覆われており、コロナの加熱機構は未解決問題である。一つの仮説として、コロナ中の波動のエネルギーが散逸してコロナが加熱されるという考えがある。この波動現象の理解は、宇宙プラズマ中での磁気流体波の一般的性質の理解につながり重要である。しかし、コロナは希薄であり、観測で波動をとらえることは難しい。そこで、プロミネンスと呼ばれる、コロナ中で磁場の力に支えられて浮かぶ低温(1万度)高密度なプラズマの雲に注目する。実際、プロミネンス中には波動が観測されており、その波動現象の理解から、コロナ加熱問題への示唆が得られると期待される。

その鍵となるのは、視線速度に加えて温度の時間変化も同時に観測することである。温度の周期性の有無からは、その波動が圧縮性を持つかどうか分かり、温度と視線速度の位相差からは、その波が伝搬波か定在波かもわかる。さらに、温度の時間変化から、波が減衰して熱エネルギーに変換される過程をとらえることもできる。Okamoto et al. (2015)では、衛星観測による高空間分解能の観測データに基づき波動の運動と温度の同時測定を行ったが、温度情報については撮像データに基づいた粗いものであった。また、Suematsu et al. (1990)では、分光観測による視線速度と温度変動の同時測定はしているものの、フィルムを用いていたため、両者の位相差を議論できるほど温度推定に精度はなかった。波動の性質を議論するには、これまでにない高い精度での温度推定が求められる。

我々は、2016年10月16日、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いてプロミネンスを観測した。高時間・高波長分解能で、 $H\alpha$ (6563Å)、 $H\beta$ (4861Å)、 $Ca II$ (8542Å)のCCDによる3波長同時観測を行い、温度と視線速度の準周期的な時間変化をとらえた。本講演では、両者の位相関係に着目して議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a 噴出するプロミネンスに見られた波動現象

花岡庸一郎 (国立天文台), 浅井歩 (京都大学)

プロミネンス・フィラメントにおいて振動・波動現象が見られるのは珍しいことではない。噴出を起こすようなプロミネンス・フィラメントについても、その噴出に先立って振動現象が見られることがあることが知られている。今回、これとは異なり、噴出しつつあるプロミネンス自身での波動と思われる現象を見出したので、報告する。

これは2015年10月19日に太陽の東のリムで発生したプロミネンス噴出に伴う現象で、国立天文台三鷹のフレア望遠鏡で、 $H\alpha$ 中心で30秒毎、 $H\alpha \pm 0.5\text{\AA} \cdot \pm 0.8\text{\AA}$ で150秒毎、に行っている太陽全面像撮像でとらえられた。プロミネンス自体は約 20kms^{-1} で上昇しているように見える。 $H\alpha$ 中心波長での画像では上昇するプロミネンスに明暗の縞が見え、この縞はプロミネンス本体より速い約 70kms^{-1} で上昇している。縞はリムにほぼ平行で間隔(波長)はおよそ50000km、周期は約12分である。オフバンド画像まで含めたスペクトル情報と比較すると、プロミネンスは全体として red shift で、 $H\alpha$ 中心画像の明るい縞の部分が平均より blue shift、暗い縞が red shift に対応していて、明暗の縞が視線方向の波動的な速度場 ($\pm 10\text{km}$ 程度と思われる) を反映したものであることが分かる。この波がプロミネンス本体の動きより遥かに速く伝わっていることになる。なお、SDO/AIA の He 304 \AA 画像ではこのような縞は見え、ドップラー速度により見かけ上の縞ができていることを裏付けている。

このような現象は、噴出プロミネンスの諸物理量を知り、また噴出を起こした磁場変化がどのようなものであったかを知る手がかりとなる。年会では現象の詳細を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M45a Hinode-IRIS による MHD 波動同時観測

阿部仁 (東京大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽では、下層大気の光球よりも、熱源から離れた上層大気の彩層・コロナの方が高温である。これは非熱的なメカニズムによって維持されているはずであり、このメカニズムの有力な説として「波動による加熱」がある。この説の観測的証拠を得るために、大気中の波動によるエネルギーフラックスの推定が重要である。Kano et al. (2016) は、黒点暗部で Hinode と IRIS 衛星で同時に光球と彩層の波動観測を行った。そして、光球と遷移層下部でエネルギーフラックスを推定し、彩層加熱に十分なエネルギーが散逸することを示した。このような観測は、比較的波動が明瞭に観測される黒点暗部のみで行われており、より観測の難しいプラージュ領域では行われていない。そこで、本研究の目的はプラージュ領域で Hinode と IRIS 衛星の同時観測を行い、彩層でのエネルギー散逸を見積もることである。本研究では Hinode の偏光分光データを用いて、光球において、アルフベン波の兆候を掴むため、リム近傍 ($\theta = 65^\circ$) のプラージュ領域で、高時間分解能 (ケイデンス 22s) の波動観測を行い、3つの物理量 (ドップラー速度・視線方向磁場・放射強度) の時間変動を測定した。それらの位相関係から、エネルギーフラックスの推定に重要な波動モードの特定をした。また、IRIS 衛星の分光データを用いて、同領域の彩層でドップラー速度を測定した。結果として、光球ではいずれの物理量においても約5分の周期的な振動が見られたが、彩層では様々な周期の混ざった振動が見られた。また、物理量の位相差は、ドップラー速度と放射強度が -90° 、ドップラー速度と磁場強度が -90° 、放射強度と磁場強度が 0° であった。この位相関係は fast-mode の定常波であることを示唆する (Moreels & Van Doorselaere, 2013) が、過去の研究では光球での fast-mode の波は見つかっていない。本講演では、この位相関係が得られた原因として、今回の観測位置がリム近傍であることについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M46a 彩層中のモード変換による高周波アルフベン波の生成

庄田宗人, 横山央明 (東京大学)

スピキュールを伝播するアルフベン波は 40-50 秒周期の高周波成分を持つことがわかっている (He et al. 2009; Okamoto and De Pontieu 2011)。波の生成源と考えられている光球の対流運動は典型的に数分程度の時間スケールが支配的であるので、高周波成分の起源を光球と考えるのは不自然であり、従ってどこで、どのようにして観測される高周波の横波 (アルフベン波) が生成されるかは非自明な問題であると言える。

私たちは一次元数値計算を用い、縦波から横波へのモード変換がこの高周波成分の生成をよく説明することを示した。モード変換は周波数が大きいほど効率的に起こる過程であるため、高周波成分の選択的な生成、増幅を自然に説明出来る。観測される周期 (40-50 秒) はモード変換過程の継続時間として説明でき、また計算された波の振幅にハイパスフィルターをかけると振幅も観測と一致することが示された。以上の結果は、彩層中でモード変換が生じていることを強く支持する。モード変換はコロナへと抜けていくエネルギーフラックスに無視できない影響を与えるため、すべてのコロナ加熱モデルはモード変換も考慮する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M47a コロナループの3次元磁気流体シミュレーション

松本 琢磨

太陽の活動領域周辺にはコロナループと呼ばれる X 線や極端紫外線で輝く細いループ状の構造がしばしば観測される。これらの観測から、高温かつ周囲より密度の高いプラズマが磁力線に沿って存在していると考えられている。なぜ高温の構造が、輻射や熱伝導による冷却にもかかわらず維持されているのかという問題は、コロナ加熱問題と呼ばれており、未だ解決に至っていない。

コロナを加熱する有力な機構の一つとして考えられているのが磁気流体波動の散逸であり、波動加熱仮説と呼ばれている。この仮説に基づいて行われた2次元磁気流体シミュレーションによると、支配的な波動の散逸機構は大気高度によって、衝撃波散逸から乱流散逸へと変遷していくことが示唆されている。しかしながら、乱流の駆動機構は2次元と3次元で大きく違うことが知られており、どの散逸機構が真に支配的であるのかは理解されているとはいえない。

そこで本研究では過去の2次元モデルを拡張し、コロナループの3次元磁気流体シミュレーションを行った。初期磁力線構造は、光球で kG 程度、コロナでは 10G の磁場強度を持つ磁束管を仮定し、その足元に波動の駆動源として白色雑音のスペクトルを持つ力を加え続ける。波動散逸による加熱と輻射や熱伝導による冷却がほぼバランスした結果、約 0.5 MK 程度の低温なコロナが形成された。本年会ではシミュレーション中のエネルギー輸送・散逸機構に関して発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M48a 3次元太陽風グローバルシミュレーション：加熱モデルと高速太陽風について

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

宇宙天気予報のリードタイムを延ばすことを目的に、情報通信研究機構（NICT）では太陽表面から地球軌道を含む領域のグローバル太陽風シミュレーションモデルの開発を行っており、これまでその進捗について報告してきた。我々のシミュレーションモデルは加熱モデルを入れることによりコロナを加熱し、太陽風を加速して太陽風構造を求めており、太陽表面のコロナホールからグローバルな太陽風構造の再現が可能である。前回の年会では、再現されたコロナホールと高速流から、高緯度から低緯度へまたがるコロナホールの影響の予測の可能性について示した。

我々の加熱モデルは、太陽風速度と相関がよい太陽面の磁力線の開き具合を表す expansion factor に基づいているが、これまでのモデルでは太陽風のセクター構造や高速風・低速風の期間などはおおよそ再現出来ている一方で、高速風のピークの到来が1日程度遅れる傾向があった。今回はこの問題を改善するため、Kojima et al(2007)の研究を参考にして expansion factor（逆数）とさらに磁場強度を乗じた量を加熱モデルに採り入れて太陽風風速度の再現を試みた。

結果の傾向として、より早いタイミングで高速太陽風のピークが到来し、また定量的にもより加速がされることが分かった。

ここでは、シミュレーション結果と考察について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M49a Hinode/XRT を用いた活動領域マイクロフレアの統計解析

上村亮弥, 増田智 (名古屋大学), 鹿野良平 (国立天文台)

コロナ加熱の有力な説の一つである「マイクロフレア加熱」について、本研究ではこれまで Yohkoh/SXT よりも時間・空間分解能に優れた軟 X 線望遠鏡・Hinode/XRT を用いてマイクロフレアを検出し、そのエネルギー頻度分布を求めてきた。前回の発表 (日本天文学会 2017 年春季大会 M41a) では、Yohkoh/SXT による解析よりも 1 桁低いエネルギー域にて頻度分布がより急峻であるとの初期解析結果を発表した。ただし、イベント検出閾値をイベント発生直前の 1 撮像でのカウント値で決定していたために、フォトン数が少ないイベントの検出の際にノイズによる変動を含んでしまっていた。そこで、今回はイベント発生前 10 枚 (~ 1 分間) の撮像の X 線強度平均値からイベント検出閾値を決定することで、ノイズ起因の変動の除去に成功し、さらにその閾値を 5σ から 3σ に下げることができた。また、今回は温度診断のために時間分解能はあまり高くないデータを用いていたが、より小さなイベントの短時間の増光まで捉えられるように、今回はイベントの温度を固定し高時間分解能 (3-6sec) データで検出を行った。なお、コロナ加熱の環境が異なる活動領域と静穏領域を混ぜて頻度分布をとることは、結果を曖昧にしかねないため、今回は十分なフォトン数がある活動領域のみに着目した。解析には 2006 年 11 月 13 日に XRT が観測した活動領域 NOAA10923 のデータを用いた。その結果、およそ $10^{25} \sim 10^{27}$ erg の範囲において、マイクロフレアのコロナ加熱への寄与の指標となるべき指数 -2 よりも急な傾きが得られた。総エネルギー量としては、今回検出したエネルギー域のみでは、活動領域の加熱に必要なとされている典型的なエネルギー注入量 (Withbroe and Noyes 1977) よりも小さな値で不足しているが、より低いエネルギー域までこのべき指数で頻度分布が延びていけば、コロナ加熱を説明できる可能性がある。解析手法の妥当性と解析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](#)

【N. 恒星】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [D会場]

N01a	10:30	局所理論での Semiconvection zone 梅津実(東北学院大学)
N02a	10:42	恒星の自転の進化-恒星内部の粘性係数の評価 勝田豊(北海道大学)
N03a	10:54	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 山田志真子(北海道大学)
N04a	11:06	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 小野里宏樹(東北大学)
N05a	11:18	星震学と SDSS/APOGEE で見つかった特異な恒星種族の可視光高分散分光観測 松野允郁(総合研究大学院大学)
N06a	11:30	星震学を用いた恒星の自転傾斜角測定 of 系統誤差評価 上赤翔也(東京大学)
N07a	11:42	ケプラー連星カタログに含まれる接触型連星の質量移動率の性質 高妻真次郎(中京大学)
N08a	11:54	VERA を用いた OH231.8+4.2 に付随する水メーザーの位置天文観測 大山まど薫(鹿児島大学)
N09a	12:06	Physical properties of the C ₆₀ PN SaSt 2-3 and its surrounding environment 大塚雅昭(ASIAA)
N10b	12:18	惑星状星雲の赤外線のカラー 伊藤洋一(兵庫県立大学)
N11b	12:18	適応的交換モンテカルロ法を用いたスーパーフレア星の多次元パラメータ推定 幾田佳(京都大学)
N12c		全天 X 線監視装置 MAXI を用いた星のフレアサーチシステムの開発 塚田晃大(中央大学)
N13b	12:18	Be 星プレオネにおける伴星の近日点通過後の H α 輝線変化 本田敏志(兵庫県立大学天文科学センター)
N14c		アンドロメダ銀河領域でのかんむり座 R 型変光星の観測 新倉広子(東京大学)
N15c		Near-Infrared Thirty "Millimeter" Telescope (IR-TMT) による銀河面変光星探査 板由房(東北大学)

9月11日(月) 午後(14:30-16:30) [D会場]

N16a	14:30	近赤外線高分散分光器 WINERED が拓く short-NIR 領域での恒星物理学 池田優二(京都産業大学)
N17a	14:42	近赤外線高分散分光器 WINERED: A 型星の近赤外線ラインリスト 鯨島寛明(京都産業大学)
N18a	14:54	近赤外線高分散分光器 WINERED : z', Y, J バンドにおける晩期型星の元素組成解析 福江慧(京都産業大学)
N19a	15:06	近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた Y, J バンドのライン強度比からの晩期型巨星有効温度の決定法 谷口大輔(東京大学)
N20a	15:18	全天 X 線監視装置 MAXI によって得られた dMe 型星のフレア発生頻度分布 佐々木亮(中央大学)
N21a	15:30	恒星フレアの軟 X 線と H α 線放射領域の高度比 河合広樹(中央大学)
N22a	15:42	星のフレアの相関内に見られる微細構造 坪井陽子(中央大学)
N23a	15:54	恒星フレア影響の評価に向けた、太陽系外惑星データベース ExoKyoto の整備 山敷庸亮(京都大学)
N24a	16:06	Spectroscopic observations of solar-type superflare stars found from Kepler short (1-min) time cadence data 野津湧太(京都大学)
N25a	16:18	太陽型星の巨大黒点群の時間発展 ~ 太陽黒点との比較 ~ 行方宏介(京都大学)

(次頁に続く)

【N. 恒星】

9月12日（火）午前（09:30-10:30）[D会場]

N26a	09:30	熱パルス AGB 段階での磁気駆動風の生成	保田悠紀（北海道大学）
N27a	09:42	初代星への星間物質中の金属降着に対する恒星風の影響について	田中周太（甲南大学）
N28a	09:54	Wolf-Rayet 星の構造と質量放出率について	仲内大翼（東北大学）
N29a	10:06	Wolf-Rayet 星における $1.87\mu\text{m}$ 超過と K_s 絶対等級との相関の理論的計算	大澤健太郎（東京大学）
N30a	10:18	長周期 Wolf-Rayet 連星系 WR 19 の X 線モニタリング観測 II	菅原泰晴（宇宙航空研究開発機構）

N01a 局所理論での Semiconvection zone

梅津 実 (東北学院大学 (非))

大質量星の進化のモデルで、化学元素が一様に分布する中心対流核の外側に、その分布が一様でない層 (semi-convection zone) を導入する必要がある場合がある。その層の化学元素の分布が従う条件として、二つの条件 (Ledoux の中性条件と、Schwarzschild の中性条件) が提唱された。線形安定解析によれば、Schwarzschild の中性条件がよりよい というものであった。

ところで、化学元素の分布は、不安定性によって、どのようにその化学元素が輸送されるかにも関係する。具体的にいうと、計算に使われることが多い、拡散方程式の、拡散係数の評価にも影響される。拡散係数がくふうされ、Schwarzschild の中性条件を満たすような解も得られてきていた。Ledoux の中性条件を満たす層は、その輻射層との境界近くに、極端に薄い、熱力学第2法則に反するような、輸送現象が生じないと、できない。

本計算では、これまで使用されてこなかった、局所化された Xiong の方程式から出てくる2組の方程式系を使った。その中の一組は、Schwarzschild の中性条件を、満たす時に、速度がゼロとなる性質をもつ。これを、semi-convection zone と予想される層に使用した。この組の方程式系では、化学元素の流束は、その勾配に比例していないが、見かけ上、拡散方程式に合うようにして、数値計算を行った。もう一組は、混合距離理論と同じ式になるが、これは、対流領域に適用した。

結果は、化学元素が一様に分布する中心対流核の外では、ほとんど化学元素が輸送されないモデルができた。つまり、局所的な理論では、Schwarzschild の中性条件は成立しない可能性もあり、さらなる検討が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02a 恒星の自転の進化 – 恒星内部の粘性係数の評価

勝田豊 (北海道大学), 岡崎敦男 (北海学園大学), 須田拓馬 (東京大学), 藤本正行 (北海道大学・北海学園大学)

恒星の自転の進化を解明する上では回転によって引き起こされる子午還流や乱流の生成や成長と、それに伴う角運動量や物質輸送の効率が鍵となるが、これらによる輸送効率に関しては十分に説明する理論が無く、回転星の進化の理論には大きな不定性が伴っている。しかしながら恒星の回転は角運動量分布に加えて、慣性モーメントの分布に依存する。そこで我々は恒星の進化に伴う慣性モーメントの変動に着目することにより、回転星の進化を議論する簡便な手法を提案した。

一方で、近年の星震学の研究からは進化した恒星の内部での回転の様子、例えば、低中質量星において主系列から離れた直後の段階ではコアが加速しており (Deheuvels et al. 2014)、そののち赤色巨星に進化する過程でコアが減速に転じる (Mosser et al. 2012) ことなどが報告されている。

本講演では、恒星が一様回転を維持するために必要とされる粘性係数を恒星の構造変化から見積る手法を紹介し、観測との比較により恒星内部で実際に働いている角運動量輸送をもたらすのに必要な粘性係数に制限を与えられること、必要な粘性係数は初期の回転速度に依存しないことを示す。

また、この結果を星震学によって得られた進化した恒星での回転プロファイルの変動と照合し、進化に伴うコアの加減速の様子から恒星内部で働いている角運動量輸送に必要な粘性係数の上限と下限を制限できる例などを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N03a *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

山田志真子 (北海道大学), 須田拓馬, 小宮悠 (東京大学), 藤本正行 (北海道大学, 北海学園大学)

銀河系ハローで観測される超金属欠乏星では、炭素過剰を示す星 (CEMP) の割合が多く見つかっており、それらは *s*-過程元素である Ba の過剰を示す CEMP-*s* と過剰を示さない CEMP-no に分類される。更に、CEMP の中には、Ba に比して *r*-過程元素である Eu の過剰を示す CEMP-*r* や CEMP-*r/s* の subclass が存在する。CEMP-*r* は炭素過剰を示さない超金属欠乏星と同程度の Eu/Ba 比を示す。CEMP-*r/s* は、典型的な *r*-と *s*-過程元素の中間に位置する Eu/Ba 比を有している。これらの組成分布の起源を明らかにすることは、CEMP 星ひいては宇宙初期における星・連星形成過程を明らかにする上で重要である。

本研究では、CEMP の Ba と Eu 組成の特性について詳しく解析した結果を述べる。特に、AGB 星での He flash 対流層への水素混合に起因する *s*-過程核種合成によって到達できる Eu と Ba の比の上限値を求めた。更に、その上限値と AGB 星における *s*-過程元素の生成効率を表す炭素組成で規格化した Fe に対する Ba の増加量である $[Ba/Fe/C(+N)]$ を利用することで、CEMP の Ba と Eu 組成が誕生時のガスに含まれる *r*-過程組成、若しくは降着物質の *s*-過程組成どちらを反映しているのか判断することができる。CEMP-*r/s* においては Eu が誕生時のガスの組成を反映するものと降着物質内の組成を反映する 2 つのグループがあることがわかった。Dardelet et al.(2015) と Hampel et al.(2016) らは後者の $[Eu/Ba]$ を *r*-と *s*-過程の中間の中性子密度での *i*-過程での中性子捕獲反応によって達成される平衡値によって再現しようとしたが、再現には至っていない。我々は、CEMP-*r/s* の $[Eu/Ba]$ は、AGB 星での He flash 対流層への水素混合に起因する *s*-過程核種合成が、Ba から Pb 形成への移行する過渡期において達成されることを示す。又、CEMP の *s*-過程元素生成効率の金属量依存性についても調べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N04a 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

小野里宏樹, 板由房 (東北大学), 中田好一 (東京大学)

レッドクランプ星は光度がコンパクトに分布し、天体数も多いため、有用な距離指標天体として用いられている。このとき重要になってくるのがレッドクランプ星の絶対等級の金属量や年齢への依存性である。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が、年齢に関しては 2 Gyr より古いと依存性が小さいが、若いと依存性が大きいと考えられている。そのため、2 Gyr より若いレッドクランプ星の絶対等級への依存性を観測的に知ることは非常に重要である。観測的には、金属量依存性や古いレッドクランプ星の年齢依存性が小さいことは太陽近傍や天の川銀河の星団の中のレッドクランプ星を用いて確認されている。しかしながら、重要な 2 Gyr よりも若いレッドクランプ星に対しては、天の川銀河に若く、レッドクランプ星を多数含む星団がほとんど存在しないためにこれまで十分な検証を行うことができていない。

そこで我々は、口径 4m の VISTA 望遠鏡で行われている大小マゼラン雲のサーベイ観測である VMC survey のデータを用いて、大マゼラン雲のレッドクランプ星について調べることにした。大マゼラン雲には 2 Gyr よりも若い星団が多数存在していて、若いレッドクランプ星の絶対等級の年齢依存性を調べるのに格好のターゲットであるのだが、これまでレッドクランプ星まで届く深い観測がなかったために調べることができていなかった。VMC survey の新しい深いデータを用いて金属量や年齢への絶対等級への依存性を調べた結果、理論的に予想されていた若いレッドクランプ星の絶対等級への年齢依存性は見られなかった。また、金属量や古い年齢への依存性についても先行研究と同様に見られなかった。本講演ではこの解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05a 星震学と SDSS/APOGEE で見つかった特異な恒星種族の可視光高分散分光観測

松野允郁（総合研究大学院大学）、青木和光（国立天文台）、石垣美歩（東京大学）

CoRoT や Kepler などの衛星観測データに対する星震学の適用と、赤外高分散分光サーベイ SDSS/APOGEE に基づいた化学組成解析によって、質量が重く、年齢が若いと考えられるにも関わらず、古い恒星に特徴的な化学組成を持つ恒星種族（以下、若い α 元素過剰星）の存在が明らかになってきた。こうした種族の存在は従来の化学進化モデルでは説明できず、その存在の確認と起源の解明が望まれている。起源の候補としては、銀河系内での局所的なガスの流入もしくは伴星からの質量の降着が考えられている。

本研究では、Keck 望遠鏡の高分散分光器 HIRES を用いて、14 個の若い α 元素過剰星に対し $S/N \geq 150$ の可視光スペクトルを取得した。これらの可視光スペクトルの解析に基づいて、 α 元素と鉄族元素、中性子捕獲元素の組成の測定を行った。個々の吸収線ごとに恒星間の組成差を導出する差分組成解析を行うことで、高い精度で若い α 元素過剰星の組成を銀河系円盤に所属する通常の恒星と比較した。はじめに、可視光スペクトルを用いても APOGEE と同様に高い α 元素組成が得られることを確認した。さらに、APOGEE では測定することができない中性子捕獲元素の組成からは、質量輸送の強い証拠となるような s 過程元素過剰は見られず、また局所的にガスが流入した場所で星が形成されたことを示唆するような極端な組成異常も見られない、という結果を得た。したがって若い α 元素過剰星の組成は、 α 元素のみならず中性子捕獲元素についても、通常の古い恒星に見られる値に近い。伴星からの質量降着で質量が増えたのであれば、伴星は AGB 星ではなく赤色巨星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](#)

N06a 星震学を用いた恒星の自転傾斜角測定の系統誤差評価

上赤翔也 (東京大学), Othman Benomar (NYU Abu Dhabi), 須藤靖 (東京大学)

太陽型星の表面には恒星全体の音響振動に由来する微小な光度変動が現れる。この変動を解析して恒星の内部状態を探る星震学の枠組みの中では、光度変動のパターンの違いを通じて恒星の自転傾斜角 (極から赤道にかけて、我々がどの方向から恒星を見込んでいるかに対応する角度) を推定することができる (Gizon and Solanki 2003)。ここで求まる恒星の自転傾斜角は天文学の様々な分野に応用可能である。例えば、この手法をトランジット惑星 (我々が公転面を真横から見込むことで主星に対して定期的に食を起こす惑星) を持つ恒星に応用することで、惑星の公転軸とそれを保有する主星の自転軸の向き (同方向か、異なる向きか) を推定することができる。この2軸間の角度の分布は惑星系の起源を反映するため、恒星の星震解析は系外惑星系の進化の歴史を観測から検証する手段の一つとして用いることができる。しかし、特に恒星が我々に極/赤道を向けている場合、この星震解析を通じた自転傾斜角決定には大きな不定性が伴うことが知られており、その信頼性の検証は十分には行われていない。

互いに空間的に十分離れた恒星を十分な数考慮すれば、それらの自転軸は等方的に分布すると期待される。よって本研究ではケプラー宇宙望遠鏡で観測された主系列星のうち、十分な強度の星震が検出されている60個程度の天体に対し星震解析からその自転傾斜角を測定し、その分布の等方性からのずれを定量化することで星震学的手法の背後にある系統誤差を評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N07a ケプラー連星カタログに含まれる接触型連星の質量移動率の性質

高妻真次郎（中京大学）

連星系における質量移動現象は、連星間での質量交換および系から質量が失われる質量損失の2つに大別することができる。いずれにおいても、連星を構成する星々の質量が変化するため、質量移動が連星系の進化に与える影響は大きい。したがって、質量移動率がどのように進化していくのかを調べることは、連星系の進化を解明するためにも非常に重要である。

質量移動率は、連星系の公転周期、各星の質量、公転周期の変化率の4種類の物理量があれば計算することができる。Kepler eclipsing binary catalog では、overcontact と分類された連星には質量比が求められている。そこで、これらの天体を対象に、その光度曲線の極小時刻から得られる $O-C$ 図を利用して公転周期の変化率を算出した。さらに、Temperatures for Kepler eclipsing binary stars カタログによって導出されている主星の温度および Harmanec (1988) の質量-温度関係をもとに主星の質量を見積もり、各連星系の質量交換/損失率を求めた。

得られた質量移動率をもとに、接触型連星の質量移動率が連星系の各種パラメータにどのように依存するのかを調べた。その結果、質量が大きな星から小さな星への質量交換が起きる場合には進化とともに質量交換率が増加していく一方、質量が小さな星から大きな星への質量交換が起きる場合には進化とともに質量交換率が減少していくと解釈すると、各種パラメータとの相関関係が矛盾なく説明できることがわかった。講演では、質量移動率と連星系の各種パラメータとの相関関係とその解釈の詳細について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08a VERA を用いた OH231.8+4.2 に付随する水メーザーの位置天文観測

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)。鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡によるモニタリングの結果では、その変光周期は 548 日であるということがわかっている。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約 3 年間、22 回にわたって観測し、その年周視差が $\pi=0.61\pm 0.03$ ミリ秒角、距離は $D=1.65^{+0.08}_{-0.07}\text{kpc}$ であると求めた。また、水メーザーは主に 100 ミリ秒角四方の範囲内の北部に 2 カ所、南部に 2 カ所の計 4 カ所で検出され、その広がりには約 140au であることがわかった。さらに、OH231.8+4.2 の固有運動は $\mu = (-4.54\pm 0.18, -0.92\pm 0.18)\text{mas yr}^{-1}$ が求められ、水メーザー間の相対運動の分析により内部固有運動が得られた。その結果、ある点から約 15kms^{-1} の速度で南北に広がるようなメーザーの運動が検出できた。このメーザーの広がりや速度のスケールは一般的なミラ型変光星と同程度であり、原始惑星状星雲の南北の双極流の大きさと速度のスケールに比べて極めて小さいということがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N09a Physical properties of the C₆₀ PN SaSt 2-3 and its surrounding environment

大塚雅昭 (台湾中央研究院天文及天文物理研究所)

We performed detailed analyses of the very young and interesting fullerene C₆₀-containing planetary nebula (PN) SaSt 2-3 to investigate physical properties of the central star (B0-1III) and nebula and its surrounding environment. We derived the abundances of the nine elements using our own Subaru/HDS and the archived Spitzer/IRS spectra. By analysing the stellar absorption, we derived the effective temperature, surface gravity, and photosphere He/C/N/O/Si abundances. We first report time-variation of the radial velocity measured using the stellar absorption, indicating a binary central star. Comparison between the observed elemental abundances and the prediction by asymptotic giant branch (AGB) nucleosynthesis models indicates that a progenitor was an initially $\sim 1.25 M_{\odot}$ star with $Z = 0.001$ and α -element rich ($[\alpha/\text{Fe}] \sim +0.3-0.4$). We tried to derive the distance (10.75 kpc) to be consistent with the post-AGB evolution of the $1.25 M_{\odot}$ stars. By adopting a cylinder-shape nebula, we can explain the energy balance between the central star and the gas and dust as well as all the observed quantities in the photoionization model. We detected several diffuse interstellar bands (DIBs) toward this PN. Amongst these bands, the radial velocity of the DIB centered at 4428 Å proposed as a candidate for larger fullerene is consistent with the systemic radial velocity of SaSt 2-3. We could not detect three UV electronic transition C₆₀ bands in the HDS spectrum. These facts imply that the progenitor was born in the large fullerene-rich ISM and SaSt 2-3 has a nebula enriched with larger fullerene and fullerene/PAH adducts rather than pure C₆₀.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N10b 惑星状星雲の赤外線の色

伊藤洋一 (兵庫県立大学)

我々はスピッツァー宇宙望遠鏡のアーカイブデータを用いて、連鎖的星形成領域 W5 East の星雲の色を調査した (伊藤 2016 年秋季年会)。この領域では O 型の励起星が作る HII 領域と分子雲が接している。解析の結果、分子雲は HII 領域に面している部分で強く光っており、赤外線カメラ IRAC の $3.6\mu\text{m}$, $4.5\mu\text{m}$, $5.8\mu\text{m}$ の色は、PAH の放射モデルが予測する色と一致することがわかった。また、分子雲の縁では色が青く、このことは紫外線などによる分子雲内のダストの破壊過程を示しているものと解釈できる。

そこで、ダストの主要な供給源の一つと考えられている惑星状星雲について、IRAC のアーカイブデータを用いて赤外線の色 ($[3.6]-[4.5]$, $[4.5]-[5.8]$) を調べた。対象とした惑星状星雲は、中心星が O 型星で周囲のダストを強く励起する可能性のある天体とした。解析の結果、NGC7027 の IRAC の色は PAH の放射モデルが予測する色と一致した。色は比較的赤く、小さなダストが少ないと考えられる。NGC6543 の色は特に $[4.5]-[5.8]$ で青く、ショック励起の水素分子輝線のモデルで説明可能である。

講演ではその他の惑星状星雲の色についても述べ、惑星状星雲の星周環境を IRAC の色で判別することの有効性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](#)

N11b 適応的交換モンテカルロ法を用いたスーパーフレア星の多次元パラメータ推定

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)

フレアとは星表面にある黒点に蓄えられた磁気エネルギーを解放する爆発現象である。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一万倍にも及ぶスーパーフレアが報告されている (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からは、スーパーフレアを引き起こすような巨大な黒点が存在して自転していることが示唆されている。また、太陽黒点の大きさと寿命の比例関係からは太陽黒点の数十倍以上の大きさの巨大黒点では寿命は数年程度となる (Shibata et al. 2013)。

スーパーフレア星の光度変化は、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、光度変化をモデル計算することで黒点の大きさの時間変化が推定できる。そこで多次元パラメータ (自転速度, 差動回転速度, 黒点の大きさと位置の時間変化など) で理論的な光度変化を計算し、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて最適化することで、それらのパラメータを推定した (2017 年春季年会 N11a, 幾田他)。その一方で、自転周期の十倍程度以上の期間に及ぶ推定はパラメータの推移効率が悪く、最適解の推定が困難であった。

そこで本研究では、パラメータの推移効率を向上させるために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を改良した手法である適応的交換モンテカルロ法 (Araki & Ikeda 2013, Neural Networks, 43, 33-40) を導入した。これによって、より長期間での黒点の大きさの時間変化の推定が可能となった。本講演では、その手法や経過を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12c 全天X線監視装置 MAXI を用いた星のフレアサーチシステムの開発

塚田晃大, 坪井陽子, 佐々木亮, 勝田哲, 湯川千夏 (中央大学)

恒星フレアは星表面で起こる爆発現象である。その増光や減光のパターンは様々で、フレア発生のメカニズムは未だ解明されていない。解明には、フレアの統計数の増加が必要である。統計数が増加すればフレアのメカニズムだけでなく、フレア発生頻度等の議論の展開を可能とする。

統計数の増加にはサーベイ観測が有効である。全天X線監視装置 MAXI は ISS に搭載され、92 分で地球を 1 周する全天X線モニターである。現在 MAXI での恒星フレアの調査は主に Nova-Alert System の自動検出で行われている。我々はここで見逃されたフレアを積分画像や光度曲線 (LC) の目視で調査してきたが、膨大なデータからフレア候補を探すには多くの時間と系統誤差が生じる。そこで我々はフレアを検出する Flare-Search-Program (FSP) を開発した。FSP では LC 中のある 1 つの bin のカウントが、定常的な明るさと考えられる複数の bin (バックグラウンド (BG) の bin) のカウントの標準偏差に比べて 6 倍以上であればフレアとみなす。ここで 1bin は 1 周回でターゲットを観測した 2,3 分のデータに対応する。フレアの減衰時間は、MAXI の 1 周回に比べ短いものから長いものでは数日に及ぶものまで存在する。よって我々は BG の bin として、注目する 1 つの bin の前後それぞれ 10bin を選ぶ場合と、直前の 20bin のみを選ぶ場合の 2 通りを考えた。またフレアの継続時間が 1 日を越すような場合、1bin を 1 周回より大きくとる方が S/N がよくなる為、ピンサイズを選ぶことを可能にした。この FSP を既に MAXI でフレアを検知した天体に対して用いたところ、目視等で確定されたフレア 101 発のうち 94 発を捉えた。さらに今までは見逃されてきたフレアを新たに 16 発検出した。このように FSP で効率的かつ定量的にフレア調査を行い、見逃されてきたフレアを検出することができることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N13b Be星プレオネにおける伴星の近日点通過後の $H\alpha$ 輝線変化

本田敏志 (兵庫県立大学天文科学センター), 片平順一 (中之島科学研究所)

Be星分類はB型主系列星から巨星のスペクトルに過去に一度でもバルマー輝線がみられたもので、通常のB型星がBe星に変化したり、再び通常のB型星に戻ったりすることが知られている。輝線は幾何学的に平らだが外延部へフレアタイプに広がる恒星周囲の円盤から放射されると考えられている。円盤を edge-on 方向で観測するとガス殻吸収線も重なることになる。Be星は高速自転するものが多いことから、円盤への角運動量輸送問題が研究課題となっている。プレオネ (28Tau) はプレアデス星団の星の一つで、Be星として古くから知られており、分光観測によって長期的な変化が調べられている。1936年に通常のB型から“Be-ガス殻”期が始まって以来、1サイクル約35年の「“Be-ガス殻”期 → Be期」のスペクトル変化を、連続3サイクル繰り返してきた特別な星である。2006年以来現在は“Be-ガス殻”期を示している。またプレオネは、周期218日、離心率0.6の分光連星であり (Katahira et al. 1996), 30年にわたる偏光観測から円盤が歳差運動していることが分かり、伴星がその原因と考えられている (Hirata 2007)。伴星による円盤への影響を調べるため、近星点通過時期を狙って兵庫県立大学西はりま天文台で $H\alpha$ 輝線の分光観測を2015年9月から11月にかけて複数回行った。得られた $H\alpha$ 輝線はダブルピークを示すが、近星点通過後ではピークの強度比が逆転し、その後再び元に戻った。同時に、中心の吸収線強度は近星点通過後では浅くなり、その後約1か月で元の深さに戻った。これらは伴星の近星点通過による円盤への影響を反映していると考えられる。本講演では、BeSSデータベースから得られたスペクトルも加えて、近星点通過前後での $H\alpha$ 輝線の変化について議論し、今後の“Be-ガス殻”期終了に向けての観測について検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N14c アンドロメダ銀河領域でのかんむり座 R 型変光星の観測

新倉広子 (東京大学), 高田昌広, 安田直樹 (カブリ IPMU), 田中雅臣 (国立天文台)

星間ダストの生成過程において、超新星や AGB 星などがダストの形成に寄与すると考えられている (Whittet 2003)。しかしながら星間ダストの供給量はダスト進化の理論では十分に説明されておらず、銀河進化の解明のためにも、ダスト供給源の更なる観測による検証が望まれる (Meixner 2011)。

かんむり座 R 型変光星 (以下 RCB 星) は、可視光観測で数等級の急激な減光を示す変光星である。変光星自身から炭素ダストが放出されることにより減光が生じると考えられていて、数ヶ月以上に渡る不規則な減光を起こす。銀河系内では既知の RCB 星は 76 個知られているが (Tisserand et al. 2011)、探査領域は限られていて、銀河全体の RCB 星の分布は解明されていない。銀河中の RCB 星の分布と時間変動を解明することは現在の銀河でのダスト生成環境の理解につながる事が期待される。

我々はアンドロメダ銀河のディスクをカバーする領域をすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いて観測した。2013 年と 2014 年に取得した r バンドでの画像を用いて差分画像法で変光天体を検出し、数等級に渡る減光を示す変光天体を探査した。これまでの解析の結果、1 年で 3 等級以上の減光を示した天体の候補を 302 個、5 等級以上の減光を示した天体を 143 個検出しており、アンドロメダ銀河のディスク全域にわたる RCB 星の分布を初めて得る事ができた。講演では観測結果を元に現在の RCB 星によるダスト供給について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15c Near-Infrared Thirty "Millimeter" Telescope (IR-TMT) による銀河面変光星探査

板由房、小野里宏樹、岩松篤史、森田亮介、市川隆、花上拓海、小宮山貴洋 (東北大学)、柳澤顕史、筒井寛典、泉浦秀行 (国立天文台)、中田好一 (東京大学)

Kのみかけ等級で4ないし5等より明るい星の近赤外等級は、実は精度よく決まっていない。我々はこの状況を打破するため、25平方度もの視野を持ち7等より明るい星の明るさを最終測定誤差0.03等以下で決定できる赤外望遠鏡IR-TMTを開発した。2017年6月には完全なリモート観測が可能となり、J,H,Ksバンドでの観測を開始した(花上他2016V215a,2015V221b)。我々はIR-TMTを用いて北天全天を観測しNeugebauer&Leighton(1969)のTMSSカタログの刷新を行う事を目的としている他、後述の目的を持って銀河面の変光星モニター観測も行う。

GAIA衛星が銀河系内天体の距離を精密に決定するこの機会をとらえ、我々の赤外データと組み合わせることで1912年の発見以来100年以上に渡って絶対校正がなされていない変光星の周期光度関係(PLR)を絶対校正したい。変光星の種類毎に異なる絶対校正したPLRを使用することで、星間減光の影響を同時に解きつつ、星をトレーサーとして銀河系の力学構造とその変化の歴史を明らかにできる。GAIA衛星そのものが銀河系の構造を明らかにする目的の衛星であるが、IR-TMTで絶対校正したPLRを使用すれば同衛星が観測不能な所、特に銀河中心部や銀河中心を超えた向こう側の構造を明らかにできるだろう。

本ポスターでは、銀河面変光星サーベイで見つかる主要な天体、特にミラ型星とOH/IR星について、その特徴や未解決の問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](#)

N16a 近赤外線高分散分光器 WINERED が拓く short-NIR 領域での恒星物理学

池田優二 (京都産業大学/フォトコーディング), 小林尚人, 松永典之 (東京大学), 河北秀世, 近藤荘平, 福江慧, 鮫島寛明, 濱野哲史, 新井彰 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台), WINERED 開発チーム

赤外線高分散分光は、可視光で暗い低温度星や星周媒質を纏った進化の過渡期の天体、銀河内縁部などの星間媒質に埋もれた恒星、さらには吸収線にゼーマン分裂が見られる磁場星など、多くの恒星に対して高感度の観測を可能にするため、恒星物理学にとって実り多き手段とされてきた。近年の観測技術の進展により応用が広がりつつある分野であるが、 z, Y, J -band の近赤外波長域 (=short NIR) については他波長域では得難い元素や分子種の情報が含まれる "sweet spot" であるにも関わらず、長らく可視光と赤外線に挟まれた未開拓領域のままであった。

こうした中、京都産業大学神山天文台赤外線高分散ラボ (Laboratory of Infrared High-resolution Spectroscopy, LiH) では、同波長域 ($\lambda = 0.9 - 1.35 \mu\text{m}$) に特化した近赤外線高分散分光器 "WINERED" の開発を進めてきた。本機は波長分解能が異なる 2 つのモード ($R_{\text{max}} = 28,000$: WIDE モード, $80,000$: HIRES モード) を擁しており、それぞれに対してこれまでにないスループット ($> 50\%$, $> 35\%$) を実現している。2017 年からは La Silla 天文台 (チリ) の NTT (口径 3.58m) に移設され、8-10m クラスの望遠鏡に搭載されている赤外線高分散分光器を凌ぐ高感度 ($m_J = 15.7 \text{ mag}$: WIDE モード, $m_J = 14.5 \text{ mag}$: HIRES モード) での観測運用が始めている。我々のグループでは、国内外の共同研究者と WINERED を用いた特徴ある観測的研究を進めているが、それは個々の天体 (群) を対象としたテーマを対象とするだけでなく、それらを下支えする同波長域での Spectral atlas や line list の独自公開、またあらゆるタイプの恒星の基本物理量 (有効温度 T_{eff} 、表面重力 $\log[g]$ 、化学組成など) の決定手法の確立も含まれる。本講演では、こうした取り組みとここまでの主な研究成果について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17a 近赤外線高分散分光器 WINERED: A型星の近赤外線ラインリスト

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

京都産業大学神山天文台を中心とした『赤外線高分散ラボ (Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy, LiH)』では、近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた観測的研究を進めている。WINERED は極めて高い感度(スループット > 50%)を持ち、0.9–1.35 μm に渡る広い波長域のスペクトル(波長分解能 $R_{\text{max}} = 28,000$)を一度の露光で取得できる点が最大の特徴であり、多岐にわたる天体のスペクトルデータを集積している。その目的の一つが、精密な元素組成導出に必要な不可欠となる恒星ラインリストを、様々なスペクトル型について作成することである。その第一弾として我々は WINERED を用いて質の高い Arcturus の近赤外線高分散スペクトルを取得し、600 本近い数の金属吸収線を同定して K 型星ラインリストとしてまとめた(2015 年春季年会 N04a)。

本講演では、WINERED による 21 Lyn (A0 V) の分光観測から作成した A 型星ラインリストについて報告する。A 型星は水素以外の金属吸収線が弱く、スペクトルの形状に特徴が乏しいことから、低分散分光観測では大気吸収標準星としてよく用いられている。ところが、回転速度が小さいために弱い吸収線の検出に有利な A 型星 21 Lyn を選び、WINERED を用いた観測で得たスペクトルを精査した結果、0.9–1.35 μm の範囲に CI や NI、鉄 (Fe I, Fe II)、 α 元素 (OI, Mg I, Mg II, Si I, Si II など)、s-process 元素 (Sr II) など、合計で 150 本近い金属吸収線を同定することができた。このように高分散分光観測では特徴が乏しいとされる A 型星であっても多くの吸収線が検出されるため、A 型星を大気吸収標準星として用いる際には、本研究で得られたラインリストを参照して星自身の吸収と大気吸収を区別することが肝要となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N18a 近赤外線高分散分光器 WINERED : z' , Y , J バンドにおける晩期型星の元素組成解析

福江慧, 近藤莊平, 鮫島寛明, 濱野哲史, 河北秀世 (京都産業大学), 池田優二 (京都産業大学/フォトコーディング), 松永典之, 谷口大輔, 小林尚人 (東京大学), 安井千香子, 辻本拓司 (国立天文台), WINERED 開発チーム

恒星の化学組成を導出するためには高分解能の分光器が必要不可欠だが、長らく可視光での観測が主流であった。しかし近年の赤外線観測装置の発達によって、可視光装置に引けを取らない観測が可能となってきた。WINERED(本年会 池田、小林の発表参照) は近赤外線波長 (z' , Y , J バンド = 0.9–1.35 μm)、高波長分解能 ($R_{\text{max}} = 28,000$)、高効率 (> 50 %) であり、化学組成解析に適した近赤外線の分光装置である。本装置は 2012–2016 年に京都産業大学荒木望遠鏡で運用され、2016 年末から La Silla 観測所 (チリ) の NTT(口径 3.58 m) に設置されている。

我々は京都での運用中に、荒木望遠鏡と WINERED を用いて、金属量の指標となる G–K 型星の高クオリティ ($S/N > 200$) なスペクトルを取得し、これまでに z' , Y , J バンドでの化学組成解析手法に関して、1) 鉄の組成の導出方法 (2013 年秋季年会 N05a)、2) この波長帯で同定した原子ラインについて報告を行ってきた (2015 年春季年会 N04a)。本研究では、Acuturs などの金属量標準星について、 z' , Y , J バンドで同定された α 元素や鉄属元素の組成を導出することを目的とする。組成解析の手法として Kurucz の ATLAS9 モデルを基盤としたツールを用い、観測スペクトルに対するモデルスペクトルフィットから実際に組成を導出した。その結果、Ti や Si 等の元素組成 が 0.1 dex 程度で文献値と合致することが確認された。本発表ではこれらに加えて、採用するラインリストによる相違や微小乱流速度等の恒星大気パラメータの決定方法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](#)

N19a 近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた Y, J バンドのライン強度比からの晩期型巨星有効温度の決定法

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

恒星大気を特徴付けるパラメーターの中でもとりわけ重要なものの一つである有効温度を決定する手法がこれまで数多く考案されてきた。その中でも、星間減光や他の大気パラメーターからの影響を受けにくい温度指標となるライン強度比を用いた温度決定法に我々は着目した。この方法はこれまで主に可視光域で用いられてきたが、近年の近赤外線高分散分光器の発展により近赤外域でも適用することが可能となった。例えば福江らによって、すばる望遠鏡に搭載された IRCS の H バンドでのライン強度比が用いられている (2015 年春季年会 N12a)。しかしながら、 H バンドでは低励起ポテンシャルな吸収線の数が少なく、また分子の吸収線との激しいブレイクにより、実現可能な温度推定の精度は可視光のライン強度比に劣るものであった。

そこで我々は近赤外線高分散分光器 WINERED が取得できる Y ($0.97\text{--}1.09\ \mu\text{m}$), J ($1.15\text{--}1.32\ \mu\text{m}$) バンドの $R \sim 28000$ のスペクトルを用いて、ライン強度比から晩期型巨星の有効温度を決定する手法を開発した。この波長帯は低励起ポテンシャルな吸収線を数多く含むため、数多くのラインペアを用いることで高い統計的精度を実現することが可能となる。我々が 91 ペアのラインペアを用いて作成した温度指標は、 $3700 < T_{\text{eff}} < 5400\ \text{K}$ で $-0.3 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.4\ \text{dex}$ の巨星に対して適用でき、最も良いケースで $\pm 10\ \text{K}$ の精度で有効温度を推定できる。本講演では、我々が使用したラインペアの選定基準を述べた後に、作成した温度指標の性能を概観する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N20a 全天X線監視装置 MAXI によって得られた dMe 型星のフレア発生頻度分布

佐々木亮, 坪井陽子, 勝田哲, 中村優美子 (中央大学), 松岡勝 (理研) 他 MAXI チーム

恒星におけるフレア発生頻度 (N) は 何かのエネルギー (E) でカットオフがあると予想されているが、我々が 2017 年度春の天文学会で報告した (佐々木ほか N10a 2017 天文学会春季年会) RS CVn 星におけるカットオフ以外では、報告は見当たらない。dMe 型星では $\log E = 30 - 33 \text{ erg}$ の範囲において発生頻度分布が得られており、 $N \propto E^{-\alpha}$ で fitting した際の冪は $0.6 - 0.8$ と求められている (Audard et al. 2000)。これは、dMe 型星のフレアのカットオフが $\log E = 33 \text{ erg}$ 以上のエネルギーに存在することを意味している。 $\log E = 33 \text{ erg}$ 以上の範囲においてフレアの頻度分布を作成するためには、国際宇宙ステーションに搭載され、92 分で地球を 1 周し全天をサーベイする高感度全天 X 線モニター、MAXI を利用することがベストであろう。

我々は MAXI を用いて、2009 年 8 月から 7.5 年間のフレアサーチを行った。その結果、dMe 型星の UV Ceti、YZ CMi からそれぞれ 6 発のフレアを検出した。これらのフレアではフレアのピーク光度 (L_x) は $\log L_x = 30 - 31 \text{ erg s}^{-1}$ (2 - 20 keV) であった。dMe 型星のフレア継続時間 (τ) は MAXI の公転周期より短いことが多く、合計 12 発のフレアで τ が得られたのは 1 発のみであった。よって、 τ が得られなかったフレアに関しては、Tsuboi et al. (2016) で得られた $\tau \propto L_x^{0.2}$ を用いて τ を見積もった。結果 τ の範囲は 3 - 5 ks と求められ、 τ と L_x の積よりフレアエネルギーが $\log E = 33 - 35 \text{ erg}$ と求まった。

これら 2 天体の分布を作成した結果、冪は UV Ceti で 0.7 ± 0.2 、YZ CMi で 1.3 ± 0.2 であった。これらの値はカットオフといえる値ではなく、カットオフは $\log E = 35 \text{ erg}$ 以上にあることを示している。本講演では、これらの解釈についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N21a 恒星フレアの軟X線とH α 線放射領域の高度比

河合広樹、坪井陽子 (中央大学)、飯塚亮 (ISAS/JAXA)、山田宗次郎、勝田哲、佐々木亮、中村優美子、杉田龍斗 (中央大学)

恒星で磁場の再結合「フレア」が起きると磁気ループからX線やH α 線が放射される。H α 線が放射されるのは彩層という、光球とコロナの間に厚さ1万kmで存在する大気からであり、温度は数千から1万度である。一方X線は彩層の上のコロナで放射され、温度は100万度を超える。このように太陽では、フレア時の各帯域の放射が画像として分解できるが、他の恒星ではできない。しかし恒星でも、フレアを軟X線とH α 線で同時観測し、それぞれの帯域の全放射エネルギーを関係づけるられると、コロナ領域と彩層領域の制限が得られる。我々は、規模が大きい程頻度が下がり発生の予測が難しい巨大フレアをH α 線とX線で同時観測するため、全天X線監視装置MAXIを利用した。2016年11月22日にMAXIでRS CVn型星UX AriからX線フレアが検出され、すぐに追観測する形で中央大学の可視光望遠鏡CATおよびSCATで、それぞれ測光観測と分光観測した。その結果、フレア中の軟X線の全放射エネルギー(E_X)が 6.5×10^{36} erg、H α 線の全放射エネルギー($E_{H\alpha}$)が 1.3×10^{36} ergと求められた。我々の観測より以前に、 E_X と $E_{H\alpha}$ の間に $E_X = 10.66 E_{H\alpha}$ という比例関係があると知られていた。このフレアのサンプルは太陽を含む恒星から得られており、 E_X の範囲は $10^{29} - 10^{35}$ ergであった(Butler et. al. 1993)。今回我々が得たフレアもこの比例関係の上に存在し、先行研究より1桁大きい E_X まで関係が拡張されることがわかった。H α 線とX線の放射領域で密度と温度が太陽におけるそれらと一致しているとする、この比例関係はそれぞれの放射領域の高度比が全ての星のフレアで同じことを示唆している。つまり、太陽よりも4桁大きいフレアまでH α 線放射領域とX線放射領域の高度比は太陽と同じだと考え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](#)

N22a 星のフレアの相関内に見られる微細構造

坪井陽子, 兼藤聡一郎, 佐々木亮, 中村優美子 (中央大学), 菅原泰晴 (JAXA), MAXI チーム

恒星フレアは太陽で見られるマイクロフレアから、それより 14 桁程度大きな規模のフレアまで観測されてきた。しかし、フレア頻度は放射エネルギーが大きくなるにつれて冪乗で減少するため、発生頻度の低い巨大フレアの物理状態、および星として起こしうる最大フレアの規模は分かっていなかった。我々は星の巨大フレアを効率良く観測するために、高感度で宇宙全域を監視している全天 X 線監視装置 MAXI を用いて、フレアの探査を行っている。その結果、太陽のマイクロフレアに比べ 15 桁程度ルミノシティの大きいフレアまでサンプルを拡張することができた。本発表では、これらの増大した巨大フレアサンプル、および今まで観測されてきた太陽フレア、恒星フレアのデータを用いてフレアの統計的議論を行う。いままで、太陽マイクロフレアから何桁にもわたる規模で延びる、X 線ルミノシティと減衰時間の正の相関や (坪井他 N12a2017 年春季年会)、黒点面積と各星における最大フレアのルミノシティの間の正の相関 (比嘉他 A27a2012 年秋季年会) について報告してきたが、これらの相関の中でも微細構造が存在し、天体の種類ごとの電子密度の違いで説明できることが明らかになってきたことを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N23a 恒星フレア影響の評価に向けた、太陽系外惑星データベース ExoKyoto の整備

山敷庸亮, 黒木龍介, 佐藤啓明, 村嶋慶哉, 野津湧太, 前原裕之, 野津翔太, 佐々木貴教, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 他 ExoKyoto 開発チーム

M型星は太陽型星に比べ星の磁気活動性が高い。そのため同じハビタブルゾーンにおけるフレアの影響が太陽系より著しく大きいと予想され、この定量化が重要である。異なる定義のハビタブルゾーンを比較する ExoKyoto 太陽系外惑星データベース (2017年春季年会 P245a) に、恒星のフレア発生頻度の情報を入れ、また惑星境界上のフレア強度を標準化するための指標 (E_{fe}) 新たに定義し、導入した。 E_{fe} は、最大級の太陽フレアに相当するフレア ($\sim 10^{32}$ erg) が発生した際の、地球の大気境界上における単位面積当たりのエネルギーを1とした値である。797の恒星に対しケプラー宇宙望遠鏡でフレアが観測されているが、その中で系外惑星 (Kepler 283 b, c, 491b, 957 b, 1558 b) が発見された系に対して、 E_{fe} を評価した。さらに、明るさ変動の情報から黒点面積と自転周期が分かっている 64,748 個の Kepler 観測天体 (e.g., Maehara et al. 2017 PASJ) について、黒点面積から推定されるフレア発生頻度を評価し、その 64,748 個の天体中に含まれる 11 個の系外惑星について評価を行なった。これらの結果、例えば、ハビタブルゾーンに存在する Kepler-283 c について、地球相当の 1500 倍強のフレアエネルギーが惑星境界に到達することが分かった。同様の評価手法を用いて、フレア発生頻度が観測されている Proxima Cen b について評価を行うと、地球の 50,000 倍を超えるフレアエネルギーが惑星に到達する可能性がある。フレアエネルギーの評価は、ケプラーで観測された可視光エネルギーを元に、現在太陽フレアと同じと仮定して評価を行っているが、波長別のエネルギー分配の詳細などを、今後推定できればより詳細な系外惑星への影響の評価が可能になる。本講演では以上の詳細を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N24a Spectroscopic observations of solar-type superflare stars found from Kepler short (1-min) time cadence data

野津湧太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), Suzanne Hawley (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)

私達は近年、ケプラー宇宙望遠鏡の測光観測データ (時間分解能 30 分) を用いて、太陽型星 (G 型主系列星) で、スーパーフレア (最大級の巨大フレアの $10\sim 10^6$ 倍のエネルギーの巨大フレア) を多数発見し、発生頻度など統計的な研究を行ってきた (Maehara et al. 2012 他)。これに引き続き、ケプラーの高時間分解能モード (時間分解能 1 分) のデータを用いて、より継続時間が短くエネルギーの小さいフレアの探査を行い、23 個の太陽型星で 187 個のスーパーフレアを発見した (Maehara et al. 2015)。従来のスーパーフレア ($10^{34}\sim 10^{36}$ erg) より小さなフレア ($10^{32}\sim 10^{34}$ erg) が発見され、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) との間にあったエネルギーの “gap” が埋まったという点において、これら 23 個の星は、太陽でのスーパーフレア発生可能性を議論をする上でも極めて重要である。

今回私達は、これら 23 星のうち、比較的明るい 18 星 ($V \lesssim 12.4$ mag) について、Apache Point Observatory 3.5m 望遠鏡を用いて高分散分光観測 (波長域 $3200\sim 10000\text{\AA}$, 波長分解能 $(\lambda/\Delta\lambda)$ 約 32000) を行った。観測の結果、大半の天体は単独の太陽型星で矛盾なく、吸収線の広がりから分光的に測定した自転速度 ($v \sin i$) の値は、ケプラーデータの変光周期から推定した自転速度の値とよく対応していた。さらに、Ca II H&K 線や Ca II 8542 線など複数の彩層輝線の強度を測定したところ、ケプラーデータの明るさ変動振幅との間に明確な相関が確認され、多くの星で巨大黒点の存在が示唆された。これらの結果は、私達が以前に行った、30 分時間分解能のスーパーフレア星の分光観測結果 (Notsu et al. 2015a&b) ともよく一致する結果である。本発表では、以上の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N25a 太陽型星の巨大黒点群の時間発展～太陽黒点との比較～

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), 早川尚志(大阪大学), 本田敏志(兵庫県立大学), 野上大作, 柴田一成(京都大学)

近年、太陽観測衛星「ひので」などの観測によって、太陽黒点の出現・消滅の物理機構の理解が著しく進展した。こうした中、太陽黒点の物理を応用し、恒星の黒点の出現・消滅過程を理解することが重要な課題である。磁気活動性の高い恒星は、大きな光度変動を見せており、太陽黒点に比べ10倍以上の面積を持つ巨大黒点の存在が示唆されている。2009年に「ケプラー」衛星が打ち上げられ、恒星の光度変化を長期間(約4年間)、高精度な観測データが手に入るようになった今、恒星黒点に関する統計的研究を行う好機であると言えるものの、個々の黒点群の時間発展を解析した研究は、Bradshaw(2014)らによる研究以外にはない。

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、約20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)・磁束(ϕ)・出現率($d\phi/dt$)を計算し、太陽黒点の性質と比較した。

その結果、巨大黒点群(太陽半球面積の0.3~1.5%)の寿命は30~300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、巨大黒点群の出現率は、先行研究(Norton et al. 2017)が観測的に導出した冪乗則($d\phi/dt \propto \phi_{\max}^{0.3}$)上に乗ることがわかった。本講演では、これらの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](#)

N26a 熱パルス AGB 段階での磁気駆動風の生成

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

熱パルス AGB 段階での星風は (1) 主に Alfvén 波の減衰、加熱による磁気駆動機構、(2) 星の脈動による外層大気の浮揚、そして (3) ダストに働く輻射圧による駆動機構によって生成、維持されると考えられている。その中でも比較的膨張した星 (例えば α Cet、332 太陽半径、Woodruff et al. 2004) は (2) と (3) を考慮した動力学モデルで持続的な星風が再現されている (e.g., Höfner 2008)。一方比較的小さな星 (例えば EU Del、127.5 太陽半径、McDonald et al. 2012) の場合、上述の動力学モデルでは再現不可能である。さらに近年の EU Del の研究 (McDonald et al. 2016) では彩層線の放出が見られないため (1) は機能しているとは考え難いとみなされた。しかしながら近年の観測により熱パルス AGB 星には数ガウスの表面磁場があることが示唆されており (Duthu et al. 2017)、その段階を通しての (1) の役割を理論的に検証することが望まれる。

そこで我々は磁気拡散項を考慮し、また輻射場を評価した上で輻射冷却・加熱率を見積もった MHD モデル (保田他 2017 年春季年会) を用いて熱パルス AGB 段階での (1) による星風の生成及び持続性を調べた。初期金属量が太陽金属量、初期質量が 1.5、2.0、3.0 太陽質量の場合の恒星進化モデルで得られた質量、有効温度、光度を用いて以下の結果を得た。質量の大きい進化段階初期では外層大気が浮揚するが星風は持続的ではない。その後、進化に伴い質量が各々 0.95、1.34、1.50 太陽質量にまで減少すると星風は持続的となった。これは星の質量の減少及び半径の増大に伴って重力が減少したためである。得られた星風は電波観測で見られるような低速風 ($7\text{--}18\text{ km s}^{-1}$) でありかつ高質量放出率 ($\geq 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) となる。またその星風は彩層構造が見られるほど高温ではない。本講演ではこれらの結果について詳述し、熱パルス AGB 段階を通じての星風の生成、維持機構について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N27a 初代星への星間物質中の金属降着に対する恒星風の影響について

田中周太, 千秋元, 富永望, 須佐元 (甲南大学)

宇宙初期の星形成では現在に比べて金属量が少ないため選択的に大質量星が形成されると考えられてきた。しかし最近の理論研究では、星周円盤の分裂などによって、低質量初代星も誕生するのではないかと指摘されている。その場合、低質量初代星は寿命が宇宙年齢を越えるため、現在でも金属量ゼロの星として我々の銀河系内でも観測される可能性があるが、そのような星は今まで発見されていない。この観測結果は、統計的に低質量初代星の数に非常に厳しい制限を与えている。

しかしながら、別の解釈として、低質量初代星が銀河系内を移動している間に星間物質が降着し、星表面を金属汚染する可能性が指摘されている。つまり、現在観測されている金属欠乏星のいくつかを金属汚染された低質量初代星として解釈する。この星間物質による金属汚染によって $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ まで見た目の金属量が増えるとも言われている。一方で太陽系においては、太陽風によって星間物質の降着が阻害されていることがわかっているが、これまでの研究は星風の効果を考慮していなかった。

我々は低質量初代星の星間物質による金属汚染について、これまで考えられていなかった星風の効果を調べた。初代星が分子雲などの高密度領域を通過しなければ、星間物質の降着流に抗して星風が磁気圏を形成する。磁気圏が形成されると中性の星間物質しか磁気圏に侵入できない。ただし、ほとんどの中性物質は星の紫外線によって電離され、磁気圏外へ掃き出される。我々は初代星モデルを用い、主系列の段階で太陽程度の星風があると仮定し、星風が星間空間の金属降着をどの程度阻害するかを見積もった。その結果、現在観測されている極金属欠乏星の金属量 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -5$ を、星間物質の降着のみで説明することは困難であるということがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N28a Wolf-Rayet 星の構造と質量放出率について

仲内 大翼 (東北大学), 斉尾 英行 (東北大学)

Wolf-Rayet (WR) 星は主系列期を終えてヘリウム核燃焼段階にある大質量星である。激しい質量放出により水素外層をほとんど失っているため、ヘリウムを主成分とする星としてモデル化される。しかしながら、観測的に決定される WR 星表面の半径とヘリウム星モデルの表面半径を比較すると、前者の方が一桁程度大きくなってしまいうという問題がある。WR 星風の質量放出率が大きいいため星表面や星風加速領域が光学的に厚くなり、光球が星風領域の外側に位置していると考えれば、この問題は解決できる可能性がある。ところがこれまでの研究では静水圧平衡な星領域と星風領域を別々にモデル化しているため、両者が星風加速領域においてどのようにつながるのかはよくわかっていない。そこで本講演では、ヘリウム燃焼核から光学的に厚い星風領域の外側までを同時に扱い、両者が連続的に繋がった WR 星のモデルを計算する。そして星風加速領域の構造について議論する。本モデルには他にも質量放出率を算出できるという特徴がある。そこで理論的に算出された質量放出率を観測された WR 星のものと比較し、得られる示唆について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N29a Wolf-Rayet 星における $1.87\mu\text{m}$ 超過と Ks 絶対等級との相関の理論的計算

大澤健太郎, 田中培生, 高橋英則 (東京大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)

Wolf-Rayet (WR) 星は初期質量がおよそ $30M_{\odot}$ 以上の大質量星の終末段階であり、激しい質量放出 ($\sim 10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$) により、水素外層がほぼ除去されて、核融合生成物である He や N, C の輝線が見られる特徴的なスペクトルを持つ。特に、スペクトル中に He, N の輝線を持つ WR 星は WN 型 (WN) と分類され、さらに、輝線強度比によってサブクラスに細分化されている。しかし、同じサブクラスに分類されていても、質量放出量の違いにより Ks 等級で ~ 2 等級の分散が見られている。WR 星の質量放出現象は紫外線スペクトルが大きく寄与すると考えられているが、同サブクラス内における質量放出量の分散が紫外線スペクトルの違いによるものか、その他の要因によるものかは明らかでない。

我々は、チリ・アタカマのチャナントル山頂にある miniTAO 1m 望遠鏡の近赤外カメラ ANIR に搭載された $1.87\mu\text{m}$ 及び $2.07\mu\text{m}$ の狭帯域フィルターと Ks 標準フィルターを用いて大質量星クラスターの撮像観測を行ってきた。特に、 $1.87\mu\text{m}$ の狭帯域フィルターには He II 輝線が入るため、WN 観測に有効である。今回、ほぼ同じサブクラス (WN8-9) を多数含む銀河系中心付近の大質量星クラスターである Arches cluster の観測データから、WN の $1.87\mu\text{m}$ 超過と WN の Ks 等級の間に良い相関が得られた。質量放出量が大きいほど、He II 輝線が強くなり $1.87\mu\text{m}$ におけるフラックス超過が大きくなる一方で、制動放射が強くなり Ks 等級で明るくなるため、上記のような相関が見られると考えられる。我々はこの相関を理論的に再現し、同サブクラスの WN の星自身の Ks 等級はほぼ等しいという結果を得た。この結果から、同サブクラスの WN の星自身の物理量はほぼ等しく、質量放出率は紫外線スペクトル以外の要因も大きく寄与す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](#)

N30a 長周期 Wolf-Rayet 連星系 WR 19 の X 線モニタリング観測 II

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し、連星間距離に応じて、衝突領域が変化していくことが知られている。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近年可能となった。WR 19(WC5+O9) は、近年、軌道要素が判明した長周期連星 (周期 10.1 年、離心率 $e = 0.80$) であり、ダストによる周期的な赤外線光度変動を起こすことが知られている (Williams et al. 2009)。2017 年 5 月に近星点を迎えると予想されており、急激な連星間距離の変動に伴う X 線吸収量や X 線光度の増加が期待される。

2017 年春季年会では、2016 年 5 月から 12 月にかけて観測された Swift 衛星及び XMM-Newton 衛星のデータを用いて、WR 19 の X 線特性を初めて報告した。今回、我々は XMM-Newton 衛星を用いて、2017 年 2 月と 5 月に計 74 ksec の追観測を実施した。近星点を含む約 1 年の観測データを解析した結果、各連星位相のスペクトルは $kT \sim 3\text{keV}$ の熱放射モデルで再現された。また、0.5–10 keV 帯域で $L_X \sim 8 \times 10^{31} - 4 \times 10^{32} \text{ erg s}^{-1}$ に渡る光度変化を確認し、連星位相に伴う X 線変動を捉えることに成功した。X 線光度は、近星点付近で最大光度となったが、連星間距離に反比例して変動する理論予測 (e.g., Usov 1992) より暗い光度であった。これは、連星間距離の減少にともない、伴星の星風運動量が小さくなり、その結果、星風衝突領域の形状が変化したと解釈できる。

本講演では、これらの解析の結果を報告し、X 線観測から制限される星風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](#)

【P1. 星・惑星形成】

9月11日(月) 午前(10:30-12:54) [F会場]

P101a	10:30	ALMAによるClass I原始星L1489 IRSの観測 II: 歪んだ円盤構造 崔仁士(東京大学/国立天文台)
P102a	10:42	角運動量の非定常な降着によるワーブ円盤の形成 松本倫明(法政大学)
P103a	10:54	超大質量星周円盤の自己重力安定性 松木場亮喜(東北大学)
P104a	11:06	原始惑星系円盤内のガス・ダスト進化に対する近傍大質量星からの光蒸発の影響 山川暁久(東京工業大学)
P105a	11:18	Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 の円盤・エンベロープ構造 大小田結貴(東京大学)
P106a	11:30	星形成初期段階の原始惑星系円盤における磁場の働き 高橋実道(工学院大学/国立天文台)
P107a	11:42	Disk Structure around the Class 0 Protostar in L1527 坂井南美(理化学研究所)
P108a	11:54	Class 0 低質量原始星コア L483 に付随するアウトフローの回転構造の解析 大屋瑤子(東京大学)
P109a	12:06	分子雲コア MC27/L1521F における $\sim 0.2 M_{\odot}$ 超低輝度原始星の ALMA 観測 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)
P110b	12:18	連星に付随する原始惑星系円盤の近赤外観測 眞山聡(総合研究大学院大学)
P111b	12:18	巨大分子雲 W3 のアンモニア観測 飯田美幸(筑波大学)
P112b	12:18	ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測: GMC の進化 II 高田勝太(大阪府立大学)
P113b	12:30	磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の自己重力不安定性: 線形解析と数値シミュレーションとの比較 工藤哲洋(長崎大学)
P114b	12:30	フィラメント状分子雲におけるコア質量関数の理論的記述と数値実験による検証 川村香織(名古屋大学)
P115b	12:30	初期宇宙における星形成円盤中での分裂片の migration 過程 鄭昇明(東京大学)
P116b	12:42	First ALMA Results on Young Binaries in Lupus from the SOLA Project Masao Saito (NAOJ)
P117b	12:42	星形成レガシープロジェクト M17 SWex 領域の分子雲コアサーベイ 広瀬亜紗(東京学芸大学)
P118b	12:42	すばる望遠鏡 HSC を用いたへび座星形成領域およびプレセペ星団の超低質量星探査 田中祐輔(東京大学)

9月11日(月) 午後(14:30-16:42) [F会場]

P119a	14:30	The AKARI Phase 3 Near-infrared Spectroscopic Catalog of the Large Magellanic Cloud and the Stellar Spectroscopic Variability Jin Zhang (The University of Tokyo)
P120a	14:42	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 本間愛彩(大阪府立大学)
P121a	14:54	Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus III 樋口あや(理化学研究所)
P122a	15:06	Serpens Main の ALMA Cycle 3 観測: ミリ波で見る進化段階 麻生有佑(ASIAA)
P123a	15:18	ALMA observations of part of filaments in the Orion A cloud for the initial conditions of star formation 大橋聡史(理化学研究所)
P124b	15:30	大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測(5) 原田遼平(大阪府立大学)
P125b	15:30	OMC-2, FIR3/4/5 領域の多輝線観測 小山田朱里(日本女子大学)
P126b	15:30	統計的手法を用いたオリオン KL の連続波マップ作成 源治弥(東京工業大学)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P127b	15:42	VLA と GBT を用いた IRDC G028.23-00.19 に対するアンモニア輝線観測 齋藤敦 (電気通信大学)
P128b	15:42	A SED Model Grid for Massive Star Formation Yichen Zhang (RIKEN)
P129b	15:42	高銀緯分子雲における星形成の分光探査観測 平塚雄一郎 (埼玉大学)
P130a	15:54	Multiple Coherent Shell Structures Revealed by ALMA Observation of the HH 46/47 Molecular Outflow Yichen Zhang (RIKEN)
P131a	16:06	オリオン座領域の Planck cold clumps の化学的進化 census 立松健一 (国立天文台)
P132a	16:18	HC ₃ N・CCS 分子輝線を利用した TMC-1 の視線方向の構造解析 土橋一仁 (東京学芸大学)
P133a	16:30	直線偏光観測とゼーマン観測を連携させた TMC-1 コアの磁場強度の見積もり 中村文隆 (国立天文台)

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [F会場]

P134a	09:30	High-resolution observations of G191.51-0.76 Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University/NAOJ)
P135a	09:42	HCL2 領域の直線構造における OH 18 cm 線の吸収線の解析 海老澤勇治 (東京大学)
P136a	09:54	孤立した星形成領域での炭素鎖分子形成 今井宗明 (東京大学)
P137a	10:06	星形成領域における H ₂ CO の ¹³ C 同位体比の観測 吉田健人 (東京大学/理化学研究所)
P138a	10:18	低金属量環境における星形成過程 樋口公紀 (九州大学)
P139a	10:30	中間質量星形成領域 OMC-3 MMS5 に付随する EHV アウトフロー 松下祐子 (九州大学)
P140a	10:42	Unveiling the role of the magnetic field at the smallest scales of star formation Charles L. H. "Chat" Hull (Harvard-CfA/NRAO/NAOJ)
P141a	10:54	「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: 2. 中間赤外線 (波長 5-13 μm) スペクトルの抽出 山岸光義 (宇宙航空研究開発機構)
P142b	11:06	「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: 3. 中間赤外線 (5-13 μm) PSC の作成及び検証 水木敏幸 (宇宙航空研究開発機構)
P143c		「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (9) 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)
P144b	11:06	すばる望遠鏡広視野撮像カメラ HSC を用いたおうし座星形成領域における低質量天体探査 II 馬場はるか (総合研究大学院大学)
P145b	11:06	Vela C 分子雲の近赤外線偏光観測 楠根貴成 (国立天文台)
P146b	11:18	Star Cluster Formation Triggered by Giant Molecular Cloud Collisions Benjamin Wu (NAOJ)
P147b	11:18	短基線 VLBI を用いた大質量原始星候補天体周囲の非定常電離ガス探査とモニター観測 元木業人 (山口大学)
P148b	11:18	観測的可視化で解明する原始惑星系円盤の角運動量輸送とアウトフローの関係 北亦裕晴 (大阪大学)

9月12日(火) 午後(13:00-14:48) [F会場]

P149a	13:00	BISTRO Project Status (2) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
P150a	13:12	The magnetic field strength and energy balance of OMC 1 Kate Pattle (University of Central Lancashire/NAOJ)
P151a	13:24	A FIRST LOOK AT BISTRO OBSERVATIONS OF THE ρ OPH-A CORE Jungmi Kwon (宇宙航空研究開発機構)
P152a	13:36	Observed properties of interstellar filaments Doris Arzoumanian (Nagoya University)

【P1. 星・惑星形成】

P153a	13:48	Barnard 59 に付随する原始星連星系 BHB11 の力学構造の解明	西合一矢 (国立天文台)
P154a	14:00	乱流による実効的な圧力を考慮したフィラメントモデルの安定性	花輪知幸 (千葉大学)
P155a	14:12	原始星への降着流に関する 3 次元磁気流体シミュレーション	高棹真介 (名古屋大学)
P156a	14:24	衝撃波圧縮による分子雲の形成条件	岩崎一成 (大阪大学)
P157a	14:36	傾いた磁場を持つ分子雲コア中でのホール効果の影響	塚本裕介 (鹿児島大学)
P158a	14:48	連星へのガス降着のシミュレーションでのコリオリの力の評価法の改善	宮澤慶次郎 (千葉大学)
9月13日(水) 午前(09:30-11:06) [F会場]			
P159a	09:30	分子雲衝突による大質量星の形成機構	井上剛志 (名古屋大学)
P160a	09:42	分子雲形成・進化・破壊と分子雲衝突現象を考慮した巨大分子雲質量関数の時間発展	小林将人 (名古屋大学)
P161a	09:54	分子雲衝突による形成星に Photoionization フィードバックが与える影響のシミュレーション	島和宏 (北海道大学)
P162a	10:06	炭素過剰超金属欠乏星と宇宙初期における星・連星系形成史	藤本正行 (北海学園大学)
P163a	10:18	初代星形成シミュレーションにおける星周円盤の分裂について	須佐元 (甲南大学)
P164a	10:30	遠方宇宙の星団中での暴走的衝突による中間質量ブラックホール形成	櫻井祐也 (東京大学)
P165a	10:42	ブラックホール降着円盤へのガス降着率とガスの角運動量の関係	杉村和幸 (東北大学)
P166a	10:54	若い連星系 GJ1108A の軌道決定と、前主系列星の質量決定精度	水木敏幸 (宇宙航空研究開発機構)

P101a ALMA による Class I 原始星 L1489 IRS の観測 II: 歪んだ円盤構造

崔仁士 (東京大学/国立天文台), 大橋永芳, 西合一矢 (国立天文台), 松本倫明 (法政大学), 高桑繁久 (鹿児島大学), 齋藤正雄 (国立天文台), 麻生有佑 (ASIAA), 相川祐理, 黒瀬一平 (東京大学), Hsi-Wei Yen (ESO), 富阪幸治 (国立天文台), 富田賢吾 (大阪大学), 町田正博 (九州大学)

原始惑星系円盤は、低質量星形成過程において普遍的に形成され、中心星へ質量を供給するとともに惑星形成の現場ともなるなど、星惑星形成において重要な役割を果たす。そのため、原始惑星系円盤の形成や進化の過程を明らかにすることは、星惑星形成を理解する上で重要である。しかし、観測、理論の両方から多くの円盤に関する研究がなされているにも関わらず、原始星期における円盤形成・進化の詳細は未だ明らかでない。

我々のグループでは、系統的に原始惑星系円盤の形成・進化を調べるために、Class 0/I 原始星に対して観測を推進しているが、その中でも原始星期の比較的后半にあり、比較的進化した円盤をもつ L1489 IRS の ALMA Cycle 2 の $C^{18}O$ J=2-1, 1.3 mm 連続波の観測結果を報告する。達成された空間分解能は、約 $0.3''$ (~ 40 AU) である。春季学会では L1489 IRS の円盤の温度構造を中心に報告したが (P139a)、今回は円盤の詳細な構造について報告する。 $C^{18}O$ で観測される円盤のサイズは比較的大きく、中心星から東西にそれぞれ $5''$ (700 AU) 程度伸びている。この円盤の構造を PV 図も用いて調べたところ、中心星から約 180 - 200 AU の位置にギャップ構造が存在し、円盤全体が内円盤と外円盤に分かれていることが明らかとなった。円盤の構造をさらに詳細に調べるため、簡単なモデルと観測結果の比較を行ったところ、内円盤と外円盤で回転軸が異なるような構造をもつことが示唆された。このような構造は、降着ガスの角運動量の向きが降着段階によって異なることを示していると考えられる。本講演では、この新たな円盤の構造について、現在進めているシミュレーションの結果も示しつつ、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](#)

P102a 角運動量の非定常な降着によるワープ円盤の形成

松本倫明（法政大学）、崔仁士（東京大学）、西合一矢、大橋永芳（国立天文台）

これまでの星周円盤の観測によると、進化の後期段階である遷移円盤やデブリ円盤に円盤のゆがみ（ワープ）が指摘されてきた（たとえば、HD 142527, LkCa 15, AA Tau）。最近の ALMA による高分解能観測では、進化の初期段階である原始星の星周円盤にもワープ構造が示唆されている（たとえば L1489 IRS）。これは、質量降着が盛んな時期にも星周円盤をワープさせるメカニズムが存在すること示している。一方、乱流を持った分子雲コアにおける星形成のシミュレーションを行うと、乱流によって傾いた星周円盤が形成される（Matsumoto 2015, 2017）。星周円盤の傾きはガスの角運動量の向きによって決まり、角運動量の起源は分子雲コアの乱流である。さらに、原始星や星周円盤に降着する角運動量の大きさや向きが時間的に変化することが示されている。

そこで本研究では、エンベロープから星と星周円盤へガスが降着する状況を設定し、降着するガスが持つ角運動量の大きさや向きを時間的に変化させる数値シミュレーションを行った。降着する角運動量の効果に着目するために、モデルでは磁場を無視した。その結果、角運動量の向きの変化に応じて、ワープした星周円盤が形成した。講演では、変化する角運動量の大きさと向き、そして変化のタイムスケールの効果について報告する。

さらに本研究では傾いた円盤を正しく計算するための条件も調べた。傾いた円盤をメッシュ法で計算する場合、分解能が不足すると円盤は座標軸と平行に向きやすい。これは、ガスがメッシュに対して斜めに移流する場合のほうが、メッシュに対して平行に移流する場合よりも、数値粘性が大きいことに由来する。本研究の見積では、円盤の向きを正しく再現するためには、円盤の厚みを少なくとも2メッシュ以上で分解する必要がある。この条件はスキームの空間精度には依存しないことを確かめた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a 超大質量星周円盤の自己重力安定性

松木場亮喜 (東北大学), 高橋実道 (工学院大学 / 国立天文台), 杉村和幸, 大向一行 (東北大学)

赤方偏移 $z \sim 7$ の初期宇宙に $10^9 M_{\odot}$ という膨大な質量を持つブラックホールが発見されている。このようなブラックホールの形成を説明するシナリオとして、超大質量星と呼ばれる $10^5 M_{\odot}$ の星がその死後に残す同程度の質量のブラックホールを種とするシナリオが提唱されている。超大質量星を形成するうえで、星周円盤からの高い降着率のもとで星が膨張し、電離フィードバックが抑制されることが重要と考えられている。しかし降着率の高い円盤は、自己重力的に不安定化することによって分裂を起こす可能性がある。円盤が分裂すると降着率が時間変動するようになるため超大質量星の成長に影響を及ぼす。したがって、円盤の自己重力不安定性による分裂の有無を明らかにすることは超大質量星の形成を考えるうえで重要である。先行研究の Latif and Sheleicher (2015) では始原ガス円盤の分裂可能性を調べており、その結果からガスの化学進化が円盤の安定性に重要な役割を果たすことが示唆されている。しかしその中で化学進化は準解析的なモデルを用いており、化学進化の取り扱いに課題を残していた。

前回の年会では、一次元定常降着円盤中の始原ガスの化学進化と冷却過程を数値計算で追った結果について報告した。その結果水素分子冷却が効率的に働く状況では、円盤の温度が下がり自己重力的に不安定化することで分裂が起こることがわかった。一方で前回の計算では簡単のために一部の化学反応を無視しており、また冷却過程の計算には平衡な化学組成を仮定したオパシティを用いていた。これらの単純化は円盤構造に影響を与えている可能性がある。そこで本研究では化学進化、冷却過程をより正確に取り扱って始原ガス円盤の構造を調べた。そしてその結果を元に、円盤分裂の有無と超大質量星形成の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P104a 原始惑星系円盤内のガス・ダスト進化に対する近傍大質量星からの光蒸発の影響

山川暁久, 野村英子 (東京工業大学)

惑星は、星形成の結果として星の周りに形成される原始惑星系円盤 (以下、円盤) と呼ばれるガスと塵 (ダスト) からなる天体で形成されると考えられている。円盤から惑星に至る過程を解明する上で、円盤内のガスとダストの物理状態を理論的・観測的に明らかにすることは重要である。特に、大型電波干渉計 ALMA などの観測機器の発展によって、様々な円盤のガス・ダスト分布が明らかになっていることから、観測結果を理論的に解釈することが求められている。円盤内のガスは、中心星への乱流粘性降着や中心星からの紫外線による光蒸発、ガス惑星による捕獲などの過程を経て散逸する。特に、太陽系を含め多くの星・惑星系の母胎と考えられている若い星団内では、近傍の大質量星からの紫外線による光蒸発の効果を無視できないと考えられる。

そこで本研究では、Takeuchi & Lin (2005) の孤立系における計算手法をもとに、近傍の大質量星からの輻射による光蒸発の効果を取り入れた円盤内ガス・ダストの面密度進化を計算する。ここで、ダストの特徴的なサイズや粘性降着率、星からの紫外線量などをパラメータとして計算し、光蒸発がガス・ダストの面密度進化におよぼす影響を調べる。さらに、太陽系から最も近い若い星団であるトラペジウム星団における、ALMA とハッブルによる円盤観測 (e.g., Vicente et al. 2005, Mann et al. 2014) と計算結果を比較し、円盤のガス・ダスト分布およびダストの性質を定める各物理パラメータが観測結果と整合的となる値の範囲を調べる。

本講演では、外部からの輻射による光蒸発を考慮したガス・ダストの面密度進化と、若い星団内の円盤の観測とを比較することで、観測されている円盤内ガス・ダストの物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105a Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 の円盤・エンベロープ構造

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。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。本研究ではこの原始星周りの円盤形成について ALMA を用いて調べた。

私たちは以前、ALMA Cycle 0 の観測 (分解能 $0.5''$) により、原始星近傍のアウトフローとエンベロープガスの構造を解析した (Oya et al. 2014)。北東-南西方向に伸びるコリメートされたアウトフローが検出され、その結果から円盤/エンベロープの傾き角が 70° (0° が face-on) と求められた。しかし円盤/エンベロープの運動については十分分解できなかった。今回、私たちは ALMA Cycle 2 の観測データ (分解能 $0.3''$) を解析した。CS, 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が確認できた。その強度分布は中心付近 (半径 40 au 程度) で弱くなっており、これらの分子が遠心力バリアの外側に存在していることがわかった。一方、SO では、1 km/s 程度の速度成分を持つ CCH や CS に比べ、より原始星付近に集中した高速度成分が検出された。この成分は、天体の系統速度 (5.2 km/s) から最大 +2.1 km/s と -2.6 km/s の速度シフトを示す。これは、原始星の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。SO の速度構造が遠心力バリアの内側のケプラー回転成分であると仮定し、遠心力バリアの半径 (40 au) を推定した。さらに遠心力バリアの半径とそこでの回転速度から、原始星の質量は $0.008 M_\odot$ と見積もった。本研究で、このように小さな原始星質量にもかかわらず、円盤構造を持ち得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](#)

P106a 星形成初期段階の原始惑星系円盤における磁場の働き

高橋実道（工学院大学/国立天文台）、武藤恭之（工学院大学）

原始惑星系円盤の進化過程における構造形成の理解は、惑星の形成環境を明らかにする上で非常に重要となる。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。今年の四月に発表された論文では、WL 17 の原始惑星系円盤の内縁に 10AU 程度のギャップ構造が形成されていることが報告された (Sheehan and Eisner 2017)。これまで、円盤内縁のギャップ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た。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いる。このような若い天体での遷移円盤の構造の形成はこれまで考えられてこなかった。Sheehan and Eisner 2017 ではこの構造の起源として、惑星によるギャップ構造形成が考えられている。しかし、ギャップ中に惑星は観測されておらず、また、若い天体で惑星を形成することは困難であることから、惑星以外のギャップ構造形成メカニズの検討が必要である。

本研究では、磁場による円盤風を用いた若い原始惑星系円盤での構造形成について議論する。円盤風によって円盤内縁のガスが効率的に失われることで、円盤に遷移円盤のようなギャップ構造を形成できると考えられる。本研究では、円盤風を考慮した円盤の形成進化の 1 次元モデルを用いて、WL 17 のような若い円盤でのギャップ構造形成について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P107a Disk Structure around the Class 0 Protostar in L1527

坂井南美 (理研)、花輪知幸 (千葉大)、Yichen Zhang、樋口あや (理研)、大屋瑤子、山本智 (東大)

Exploring initial conditions of disk formation around Solar type protostars is a very important issue in understanding the origin of the Solar System, and many observational and theoretical approaches have been made. On the other hand, the observational difficulty is to disentangle a disk from an inner envelope both of which are deeply embedded in a dense core. This is particularly true for an infant disk. In this situation, we have found an ideal target source in such an infant stage; i.e., the protostar and the disk is still growing. It is L1527, a Class 0 protostar in Taurus, whose edge-on disk is extended up to ~ 100 au. In this source, we have resolved the vertical structure of the edge-on disk by our recent high-angular-resolution ($\sim 0.2''$) observations at 0.87/1.2 mm using ALMA. In the maps of CCH and other molecular species, we have found that the envelope changes its thickness sharply to be much broader around the radius of ~ 150 au, and the broadening continues to the centrifugal barrier (~ 100 au), suggesting gas-stagnation due to the accretion shock (ASJ, March/2017, P138a). In addition to the gas components, we have recently made a careful analysis of the dust continuum emission in the both bands. As a result, we have found that the dust continuum emission also shows the broadening of the envelope thickness around the centrifugal barrier. The dust is spread in the vertical direction in the envelope while the change in the thickness is seen at a little smaller radius in the gas. We will report the further detailed analyses of the dust emission in this source.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108a Class 0 低質量原始星コア L483 に付随するアウトフローの回転構造の解析

大屋瑠子, 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), 廣田朋也 (国立天文台)

原始星円盤は惑星系の母体であり, その物理的性質の理解は, 惑星系の起源を探求する上で重要な課題である。これまで我々は, 低質量原始星の形成過程において, 円盤がいつ/どのように形成されるのかを明らかにするため, 原始星近傍のガスの速度構造を調べてきた。その結果, 複数の若い原始星天体のエンベロープガスの速度構造が, 角運動量を保存して回転・落下するガス円盤モデルで再現されることを示し, その遠心力バリア (近日点) の位置を決定した。またその内側に, 既に高速回転する円盤構造が存在することを示した。ガスがバリアより内側に落下して円盤構造を作るには, 角運動量を失う機構が必要である。その候補としてはアウトフローが考えられ, その噴出機構を調べることは, 円盤形成の物理的機構を探る鍵となる。今回我々は, Class 0 原始星天体 L483 (Aquila rift; $d = 200$ pc) のアウトフローの速度構造を, ALMA Cycle 2 の観測データを用いて解析した。

解析の結果, CS ($J = 5 - 4$) 輝線によって, 原始星から南東-北西方向に伸びるアウトフロー (長さ ~ 3000 au) が捉えられた。その速度構造は, アウトフローの放物面モデルで再現されることがわかった。アウトフローの軸からの半径 R を用いて, 軸に沿った原始星からの距離 $z = CR^2$, そこでの軸に沿った速度 $v_z = v_0 z$ として, モデルの物理パラメータは $C = 2.5 \times 10^{-3} \text{ au}^{-1}$, $v_0 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ km s}^{-1}$ と推定された。この解析により, アウトフローの軸の天球面からの傾き角は 80° と求まった。我々はこれまでの研究で, エンベロープガスの比角運動量 ($8 \times 10^{-4} \text{ km s}^{-1} \text{ pc}$) を求めている。この比角運動量を仮定した回転運動を上記の放物面モデルに加えると, 観測された速度構造をよりよく再現することがわかった。このことは, アウトフローが回転・落下するエンベロープからバリア付近で角運動量を抜き出し, 円盤形成を促進する役割を担うことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P109a 分子雲コア MC27/L1521F における $\sim 0.2 M_{\odot}$ 超低輝度原始星の ALMA 観測

徳田一起 (大阪府大/国立天文台チリ観測所), 大西利和 (大阪府大), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台チリ観測所), 細川隆史 (京都大), 松本倫明 (法政大), 町田正博 (九州大), 富田賢吾 (大阪大), 犬塚修一郎, 國友正信, 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大)

星形成の根源的な課題である星の質量の決定機構を探るために、原始星への質量降着過程を明らかにすることは重要である。本研究の対象である MC27/L1521F はその中心に超低輝度 ($< 0.1 L_{\odot}$) 原始星を含み、近傍星形成領域の中でも最も高密度な分子雲コアの 1 つであるため、星形成の初期段階を探る上で極めて貴重なターゲットである。我々はこれまで、非常に動的なガスの相互作用が連星 (多重星) 形成に重要な役割を果たしている可能性等を提案してきた (Tokuda et al. 2014, 2016; Matsumoto et al. 2015)。本講演では、ALMA Cycle 3 にて新たに取得した空間分解能 $\sim 0.''1$ (~ 20 AU) の ^{12}CO ($J = 3-2$) 及び、0.87 mm 連続波の結果について紹介する。中心の原始星に付随した回転起因の高速ガス成分を初めて見出し、その空間/速度分布が中心星質量 $0.18 M_{\odot}$ 、円盤半径 9 AU、円盤質量 $5 \times 10^{-5} M_{\odot}$ のケプラー円盤モデルで矛盾がないことを確認した。この中心星質量は他の Class 0/I 原始星と同程度であるが、円盤の半径や質量は 1 桁もしくはそれ以上に小さく、周囲の高密度ガスからは切り離されていることが大きな特徴である。さらに、観測される輝度等から判断される現在の質量降着活動はあったとしても極小規模であり、分子雲コアの中心に存在するにも関わらず、原始星への質量降着が終了しつつあると考えられる。このような降着終了段階にある質量 $\sim 0.2 M_{\odot}$ 中心星の輝度が非常に低いことは標準的な前主系列星進化トラックでは説明ができない (降着終了から少なくとも 1 Myr 以上の年齢が必要である)。講演では上記のような極めて小規模な原始星円盤や中心星の超低輝度を実現させるメカニズム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](#)

P110b 連星に付随する原始惑星系円盤の近赤外観測

眞山聡(総合研究大学院大学)、日下部展彦(自然科学研究機構)、橋本淳(自然科学研究機構)、葛原昌幸(自然科学研究機構)、Yang Yi(総合研究大学院大学)、武藤恭之(工学院大学)、塚越崇(茨城大学)、J. P. Wisniewski(オクラホマ大学)、K. Follette(スタンフォード大学)、田村元秀(東京大学)、SEEDSメンバー

星の多くは連星系として誕生する。標準的な星惑星形成を理解する上で、連星系における形成過程を理解することは重要である。しかしながら、連星系における星や惑星形成は単独星に比べてより複雑なこともあり、まだよく分かっていないのが現状である。

SR24は距離119 pcのOphiuchus星形成領域に位置する若い三重星である。主星SR24Sは $>1.4 M_{\odot}$ のclassII天体であり、主星の北 $5''.2$ に伴星SR24Nが位置している。伴星SR24Nは、SR24Nb($0.6 M_{\odot}$, classII天体)とSR24Nc($0.3 M_{\odot}$, classII天体)から構成される連星である。最近、アルマ望遠鏡(cycle 2)で、本天体周囲にリング形状をした円盤が主星周囲でのみ検出されたが、伴星周囲では何も検出されなかった。

我々は連星系における星周構造の解明を目指し、SEEDS(すばる望遠鏡系外惑星円盤探査プロジェクト)の一環で、すばる望遠鏡に赤外線カメラHiCIAOと補償光学AO188を搭載させ、円盤詳細構造の直接検出を狙い、SR24のH-band($1.6\mu\text{m}$)近赤外偏光撮像観測を行った。

観測の結果、FWHM $\sim 0''.1$ のイメージが取得され、主星SR24Sと伴星SR24N周囲において、円盤を検出した。本講演においては、特にアルマ望遠鏡の観測結果等と比較しながら、円盤の非対称形状について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111b 巨大分子雲 W3 のアンモニア観測

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 分子雲は 2.3kpc の距離のペルセウス腕に位置する巨大分子雲で、小質量から大質量の星形成が活発に行われている領域である W3 Main と W3(OH) を含んでおり、それらの間には散光星雲 IC1795 がある。初めに IC1795 が $3\text{-}5 \times 10^6$ 年程前に形成され、それに続いて W3 Main と W3(OH) が $2\text{-}3 \times 10^6$ 年前から形成され始めたと言われている。また、赤外線と X 線の観測により、多くの Young Stellar Objects (YSOs) が存在し、class I-III のそれぞれの分布が分かっている。本研究の目的は、アンモニア分子の多輝線観測から W3 分子雲の観測点ごとの物理量を算出し、YSOs と比較することで、W3 分子雲中でどのような星形成段階の違いがあるかを知ることである。

観測は国土地理院つくば 32m アンテナを用い、2015 年 10 月 18 日から 2017 年 1 月 3 日の間に行った。アンテナの角分解能は、周波数 24.0GHz で HPBW = $93''$ (1.0pc) であり、分光計の速度分解能は 0.69km/s であった。W3 分子雲の中でも W3 Main と W3(OH) を含んだおよそ $23.3' \times 30.0'$ の領域を、 $200''$ 間隔で 60 点観測した。アンモニアの回転反転遷移 (J,K)=(1,1)-(6,6) の 6 本の輝線を同時観測し、これらの強度比や超微細構造線から、物理量 (回転温度、柱密度、光学的厚み、運動温度、乱流による速度幅) を算出し、そのデータと YSOs の分布を対応させ、W3 分子雲内の星形成過程を解析した。輝線の速度幅は 7.0km/s 程であり、W3 Main と W3(OH) 各々の最も輝度温度が高い箇所 (それぞれ約 0.35K, 0.60K) では、超微細構造線まで顕著に見ることができ、それらの点において回転温度は 25K-50K 程度、柱密度は約 10^{13}cm^{-2} である。学会では観測データより求めた物理量と、それらからわかる W3 分子雲中の星形成段階を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P112b ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測: GMC の進化 II

高田勝太 (大阪府大), 河村晶子 (NAOJ), 大西利和, 原田遼平, 本間愛彩 (大阪府大), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府大/NAOJ), Margaret Meixner, Omnarayani Nayak (STScI), Marta Sewilo (NASA/GSFC), Remy Indebetouw (University of Virginia, NRAO), 福井康雄 (名古屋大学)

巨大分子雲 (GMC) は、星形成の主要な場であるため、大質量星の形成条件や形成された星が分子雲に与える影響を調べる上で重要なターゲットである。大マゼラン雲 (LMC) は、我々から約 50 kpc に位置する最も近い face-on 銀河であり、全体にわたり均一な観測が銀河系内に比べて容易であるため、GMC の進化段階を統計的研究を行うための最良なターゲットの一つである。我々は ALMA 望遠鏡を用いて、H II 領域やクラスターの有無に基づいた LMC 内の異なる進化段階 (Kawamura et al. 2009) の GMC の ALMA 観測を推進している (e.g., 森岡他 2016 春年会)。これまで ^{13}CO ($J=1-0$) の観測等から、サイズ-線幅関係は進化段階に大きく依存しないが、一方で分子雲の形態が変化していく (進化するとフィラメント構造がより卓越する) 傾向などが明らかになってきた。本講演ではこれらの結果に加えて、新たに Cycle 4 にて実行した、大質量星形成の兆候がない (Type I) GMC である GMC225 の ^{12}CO , ^{13}CO ($J=2-1$) 輝線の結果等について報告する。これまでの 3 倍程度向上した空間分解能 (~ 0.24 pc) で、分子雲のより詳細な分布を明らかにすることができた。 ^{12}CO の空間的分布は局所的にフィラメント構造が確認できるものの全体的に広がって分布しており、これは巨大な H II 領域 N55 に付随する分子雲 (高田他 2016 秋年会) で見られていたクランピーな構造と比べて対照的である。また主に密度をトレースする $^{13}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(2-1)$ 比は 0.3–0.5 程度と大局的に Orion 分子雲 (Nishimura et al. 2015) と同程度であり、局所的には $\sim 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ と高密度になっている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113b 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の自己重力不安定性：線形解析と数値シミュレーションとの比較

工藤哲洋（長崎大学），花輪知幸（千葉大学），富阪幸治（国立天文台）

星形成領域ではフィラメント状の細長い分子雲が数多く観測されており，その中で星の形成が行われていることが示唆されている．一方，フィラメント状分子雲には磁場があり，多くのフィラメントでは，大スケールの磁場がフィラメントの軸に対して垂直方向に貫いていることが観測されている．そこで，私たちは細長い円柱状の分子雲の軸に垂直に磁場が貫いている状況を設定し，その分子雲の自己重力不安定性を調べている．

これまでの研究では，数値シミュレーションにおいて，磁場が強い場合でも弱い場合でも分子雲は分裂するという結果が得られていた（2016 春 P121c）．その後，線形解析で同じ状況を調べた結果，遠方で磁場が固定されずに自由に動く境界条件を課した場合には，磁場が強くても成長率はゼロにならずに一定値に漸近することが示された（2017 春 P146a）．そこで，今回は数値シミュレーションで得られていた結果が，線形解析で得られたモードと同じであるかどうかを確認した．ランダムな揺らぎを与えた数値シミュレーションの結果において，ゆらぎをフーリエ変換し，結果的に最大成長率を示すモードの振幅の時間変化からそのモードの成長率を得て，それを線形解析から得られた成長率と比較した．その結果，磁場が強い場合でも弱い場合でもよい一致を示した．

非線形発展段階において，磁場が強い場合には分裂した分子雲は暴走的な収縮を起こさずに星なしコアを形成する（2016 秋 P132a）．これらの結果を総合すると，1) 磁場の強さに関わらずフィラメント状分子雲は分裂してコアを形成する．2) 磁場が弱い場合はコア形成とほぼ同時に星が形成される．3) 磁場が強い場合は星なしコアになるか，その後両極性拡散などによりゆっくりと星が形成される，という時間進化が推測できる．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P114b フィラメント状分子雲におけるコア質量関数の理論的記述と数値実験による検証

川村香織，犬塚修一郎 (名古屋大学)

Herschel 宇宙望遠鏡による Gould Belt 領域のサーベイ観測で，分子雲中には幅 0.1pc 程度のフィラメント状構造が多数存在することが明らかになった (André et al. 2010)．また同観測では，分子雲コアや原始星がフィラメント状構造に沿って分布していること，星の初期質量関数と分子雲コア質量関数の形がよく似ていることも示された．これらの結果は星形成においてフィラメント状分子雲の分裂が重要であることを示唆する．Inutsuka (2001, 以下 I01 と略記) は Press-Schechter の方法 (以下 PS 法) を応用し，フィラメント状分子雲の線密度ゆらぎのパワースペクトルから分子雲コア質量関数を解析的に求める理論を提案している．例として，パワースペクトルが波数の -1.5 乗に比例する形の場合，観測結果と整合的な質量関数が得られることが示されていた．近年の観測で，実際のパワースペクトルは波数の -1.6 ± 0.3 乗に比例しているという結果が報告された (Roy et al. 2015)．この観測結果は，I01 の理論で分子雲コア質量関数を説明できることを期待させる．しかし，I01 以降に I01 と同様に PS 法を用いるが内容の異なる定式化が複数提案されている．また，一般に PS 法は幾つかの仮定を含んでおり，理論の正当性について検討する余地が残っている．そこで本研究では，具体的な数値実験により I01 の理論の正当性を検証する．計算機上にフィラメント状分子雲の線密度ゆらぎを作成して観測的にコアを同定する数値実験を行い，I01 との対応を詳しく調べた．本講演では，その結果を紹介し，I01 を観測に応用する際の注意点や改善法について議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115b 初期宇宙における星形成円盤中での分裂片の migration 過程

鄭昇明 (東京大学), 細川隆史 (京都大学)

宇宙初期で形成される星の質量は典型的に $\sim 10-10^3 M_{\odot}$ であると考えられている (Hirano et al, 2014)。一方でその連星率に関しては、計算手法によって大きく異なる結果が得られているのが現状である。例えば、Hosokawa et al. (2016) では一つのガス雲において1つの大質量星が形成されるが、Susa et al. (2014) では複数の星が形成されている。近年観測された連星 BH は $\sim 30 M_{\odot}$ と比較的重たく、初代星起源の BH である可能性が議論されている。この説を検証するためにも、計算手法による連星率の不定性の起源を知る必要がある。

原始星周囲の円盤は、重力的に不安定で多くの分裂を経験する。分裂片の多くは中心星に落ち込む (migration) が、幾つかは円盤中で生き残り連星を成す。分裂片の進化を調べるために、sink 粒子という原始星を模した粒子を導入することがある。sink 粒子とはある半径 (sink 半径) 内のガスをある割合で降着する粒子のことである。sink の導入が連星率に影響している可能性がある。本講演では分裂片を sink 粒子で代用した場合の migration の様子を調べ、sink を導入することによる連星率への影響を議論する。

流体計算を用いて等温の自己重力円盤中における sink 粒子の migration の様子を計算した。具体的には、星形成円盤の外縁に sink 粒子を置き計算を始める。今回は sink 粒子の初期質量を円盤の 0.3%、1%、3% とし、ガス降着のモデルを幾つか変えて計算した。sink 半径内のガスを全て降着するモデルでは初期質量によらず、中心星近辺に空洞を形成し sink は中心星に落ち込むことはなかった。一方、ガス降着率を手で押さえたモデルでは空洞が形成されず、中心星に落ち込んでいく。本講演では、sink 粒子へのガス降着が migration にどのように影響したのかを議論する。得られた結果より、実現するの連星の separation や連星率への示唆を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P116b First ALMA Results on Young Binaries 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 started the international SOLA (Soul of Lupus with ALMA) consortium, centred at the Joint ALMA Observatory. We are conducting multi-wavelength studies of the Lupus Molecular Clouds and their star formation processes. The long-term goal is to exploit ALMA and other facilities to establish the Lupus region as a prototypical southern low-mass star-forming region. As part of the SOLA research activities, we carried out an unbiased study with ALMA to investigate the binary properties at the Class 0/I stage in Lupus I, III, and IV at a spatial resolution of 20 - 30 au ($\sim 0.15''$) and binary formation, a major mode of star formation in most nearby star forming regions. The distribution of binary separations and mass ratios depend on the details of infall and accretion onto circumbinary and/or the circumstellar disks that form and interact with the stars and with each other as these young stellar systems form and evolve. Surprisingly, tentative results indicate that the binary population in the Class 0/1 stages identified in submillimeter continuum emission in Lupus is very low and only two protobinary candidates are identified; J160708-391408 with its separation of 98 au and Sz-95 with 83 au separation. Interestingly the flux ratio of the primary to the secondary star is very different for these two candidates (0.44 for J160708, <0.1 for Sz-95) suggestive of different formation mechanisms. We will combine our data to public ALMA and VLT data to investigate binary properties in Lupus.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117b 星形成レガシープロジェクト M17 SWex 領域の分子雲コアサーベイ

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

M17 SWex は、いて座領域の H II 領域 M17 の近傍に位置する赤外線暗黒星雲である。距離は約 2 kpc で、 $70 \text{ pc} \times 15 \text{ pc}$ 程度の広がりを持ち、その質量は $2 \times 10^5 M_{\odot}$ 以上と見積もられている (Elmegreen et al. 1979)。M17 SWex には将来 B 型星に成長する $3 M_{\odot}$ 以上の若い星 (YSOs) が 200 個以上付随しており、O 型星はまだ形成されていないものの、原始的な OB アソシエーションが形成され始めていると考えられている (Povich & Whitney 2010)。つまり、M17 SWex は、OB アソシエーション形成の初期状態を探るための研究に適した巨大分子雲である。しかし、同分子雲に対する従来の分子輝線観測はごく限られた領域のみであり、M17 SWex 全体を網羅する高角分解能での分子雲コア探査は、現在まで行われていない。そこで我々は、M17 SWex における完全な分子雲コアサーベイを実現すべく、野辺山 45m 鏡を用いて 93 GHz 帯の $\text{N}_2\text{H}^+(J=1-0)$ 分子輝線による広範囲のマッピング観測を行った。観測は、M17 SWex をカバーする $1^\circ \times 0.5^\circ$ の領域について、4 ビーム受信機 FOREST と分光計 SAM45 を用いて On-The-Fly (OTF) モードで行った。 N_2H^+ 分子輝線の他に、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 、及び $\text{CCS}(J_N=8_7-7_6)$ 分子輝線のデータも取得した。得られた N_2H^+ のデータを解析した結果、1 pc 程度のサイズをもつ 4 個の顕著な分子雲コアと、それより小さい多数の分子雲コアが検出された。4 つのコアのうち、2 つは hub-N、hub-S (例えば、Povich et al. 2016) として知られる領域に対応している。これらの 4 つのコアは、他の小さいコアに比べて線幅が広い ($> 3 \text{ km s}^{-1}$) という特徴があり、内部に未分解の複数のサブコアがあることが示唆される。この講演では、同定した分子雲コアの解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118b すばる望遠鏡 HSC を用いたへび座星形成領域およびプレセペ星団の超低質量星探査

田中祐輔, 田村元秀 (東京大学, 国立天文台, アストロバイオロジーセンター)

M 型星よりも軽い「超低質量星」の理論的な予測は 1960 年頃から存在したが、その暗さゆえ観測による検出は 1990 年代まで待つ必要があった。若い超低質量星の観測によって、Initial Mass Function(IMF) へのこれらの天体の寄与とこれら超低質量天体の形成に迫ることができる。IMF の低質量側はその観測の難しさから現在でも不定性が大きい。また、Field と星形成領域・星団では IMF の差異は明らかになっていない。そこで様々な星団、星形成領域で超低質量星の観測を行い、統計を増やしていくことは重要である。一方、多数の超低質量星がフィールドでも発見されているが、恒星と同様に分子雲コアから形成されていくのか、惑星と同じように原始惑星系円盤から形成されてそれが重力散乱によって系の外にはじき出されるのか、決着はついていない。

本研究では、直径約 90 分角の広視野のすばる望遠鏡の Hyper Suprime Cam を用いてプレセペ星団、へび座星形成領域の i,z バンドでの撮像観測を行った。本講演では、その解析結果と考察、今後の展望について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119a The AKARI Phase 3 Near-infrared Spectroscopic Catalog of the Large Magellanic Cloud and the Stellar Spectroscopic Variability

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 (LMC) 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 (PI: Takashi Onaka) with the Infrared Camera (IRC) 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. The slitless spectroscopy of AKARI suffers contamination from overlapping nearby sources. Compared with Phase 1&2, the spectral dispersion direction was designed to rotate by 180° respected to the detector array in Phase 3, resulting in different overlapping parts of spectra. By careful analyses, more spectral information has been derived which could not be obtained only by Phase 1&2 data.

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 ~ 200 contamination free (more than 100 new) and ~ 900 not heavily contaminated (more than 500 new) sources has been created. 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 variability of carbon stars. We will report the details 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](#)

P120a 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

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, Erik Muller, 水野範和, 南谷哲宏 (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Margaret Mexiner (Johns Hopkins), Remy Indebetouw (NRAO), Marta Sewilo (NASA/GSFC), Alberto Bolatto (Univ. of Maryland)

銀河系から近い (~60kpc) 銀河である小マゼラン雲 (SMC) は、銀河系と比較して重元素量が約 1/5 という特徴を持つ。本研究の対象である N83C は、SMC の Bar 部分から孤立した Wing 部分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 Cycle2 にて CO($J=2-1, 3-2$) 輝線及びその同位体の観測を行い、(1) ^{12}CO , ^{13}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 10^4cm^{-3} 程である事、(2) X_{CO} factor が銀河系の 4 倍程である事の確認や、(3) C^{18}O やダスト連続波の付随の有無等に基づき YSO の性質の違いを明らかにしてきた (本間他 2016 秋季年会)。本講演では、ALMA Cycle3 にて新たに行った Band8 受信機による [C I]1-0 の観測を紹介する。CO 分子との空間的な位置関係を調べた結果、大局的には空間分解能 $\sim 0.9\text{pc}$ で両者の分布がよく一致していた。両者の柱密度の比は、CO の強度が強いところでは $N(\text{C I})/N(\text{CO})\sim 0.3$ と一定であり、この値は銀河系の一般的な星形成領域 (e.g. Ikeda et al.1999; Kamegai et 2003) と比較して有意に高いことがわかった。さらに、N83 の分子雲南北に位置する CO 強度が弱い部分や、分子雲中心部に存在する原始星が付随するクランプでは $N(\text{C I})/N(\text{CO})$ がさらに高く、0.3-0.8 とバリエーションを持っ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](#)

P121a Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus III

樋口あや, 坂井南美 (理化学研究所), 大屋瑤子, 今井宗明, 山本智 (東京大学), 渡邊祥正 (筑波大学), Ana López-Sepulcre (IRAM), 酒井剛 (電通大), 廣田朋也 (国立天文台)

我々はこれまでに、同じ物理的進化段階にある低質量原始星でも、付随するエンベロープの化学組成は大きく異なることを示してきた。IRAS 16293-2422 を代表とする Hot Corino 天体では、ギ酸メチルを始めとした飽和有機分子が原始星 100 au の領域に非常に豊富に存在する一方、L1527 を代表とする WCCC 天体では、 C_2H や $c-C_3H_2$ を始めとする不飽和な炭素鎖分子が原始星近傍の暖かい領域に豊富に存在する。低質量原始星では、将来、原始惑星系円盤が形成され惑星系へと進化するので、どのような物理的環境でどちらが一般的に起こり得る化学組成であるかを解明することは、太陽系の物質的起源の理解のために非常に重要である。

そこで我々はペルセウス座分子雲にある Class0/I 36 天体に対して IRAM 30m と NRO 45m を用いて統計的に C_2H や CH_3OH の観測を行った。その結果、 C_2H/CH_3OH の柱密度比が大きくばらついていることから、化学的多様性を示唆する結果を得てきた (2016 年秋季年会 P116b)。さらに解析を進めたところ、 C_2H/CH_3OH 比と天体の Bolometric Luminosity や $850 \mu m$ flux には特に相関がないことが明らかになった。一方、 C_2H/CH_3OH 比と分子雲の edge との距離に関しては緩やかな相関があることが見えてきた。この結果は、 C_2H/CH_3OH 比が高い WCCC 天体は分子雲の edge に分布し、一方 C_2H/CH_3OH 比が低い Hot Corino 天体は分子雲の内部領域に分布する傾向を示している。本講演では、さらに ALMA cycle 4 で得られた C_2H と CH_3OH の観測結果から、100 au スケールでの化学的多様性の可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122a Serpens Main の ALMA Cycle 3 観測：ミリ波で見る進化段階

麻生有佑, 平野尚美 (ASIAA), 大橋永芳, 西合一矢, 齋藤正雄 富阪幸治 (NAOJ), 相川祐理 (東京大学), 高桑繁久 (鹿児島大学), 富田賢吾 (大阪大学), 町田正博 (九州大学), YEN Hsi-Wei (ESO), Jonathan P. WILLIAMS (ハワイ大学)

星形成過程の中でも原始星段階は複雑であり、また期間が短い早期段階ほど詳細な観測例は限られている。そこで我々は原始星早期段階の進化を調べる目的で、Serpens Main 星団形成領域 ($d = 429$ pc) にあるミリ波源に対して 1.3 mm 連続波、 ^{12}CO ($J = 2 - 1$) 輝線および C^{18}O ($J = 2 - 1$) 輝線を ALMA Cycle3 にて観測した。観測対象は SMA によって検出された 1.3 mm 波源のうち *Herschel* 70 μm と *Spitzer* 24 μm で点源として同定されていないものを選定した。本発表では我々が SMM11a、SMM4a1、SMM4a2 と名付けた 3 天体について報告する。

3 天体に対して測定された全輻射温度 T_{bol} はどれも Class 0 に対応している。 ^{12}CO 輝線は 3 天体それぞれに付随する 6000 AU スケールの分子流を捉えており、星形成が起きていることがわかる。SMM11a と SMM4a2 からの分子流は細く絞られており、とりわけ SMM4a2 の分子流は視線速度 $\sim 40 \text{ km s}^{-1}$ に達する高速のジェット成分を伴っている。それに対して、SMM4a1 の分子流は開口角の広いシェル形状を示している。 C^{18}O 分子の存在量を推定すると、星間空間 ($X_{\text{C}^{18}\text{O}} = 5 \times 10^{-7}$) に比べて SMM11a では $\sim 1/3000$ 、SMM4a2 では $\sim 1/70$ と低く、分子の凍結を示唆している。なお、SMM4a1 の C^{18}O 放射は連続波源を背景にした吸収線として見えている。連続波ビジビリティは SMM4a2 と SMM4a1 に対してそれぞれ半径 ~ 200 AU の円盤と半径 $\lesssim 30$ AU の点源の存在を示唆し、SMM11a に対しては球状の広がった構造を示唆している。これらの結果から我々はそれら 3 天体の中では SMM11a が最も若く、SMM4a1 が最も後期段階にあると結論づけた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a ALMA observations of part of filaments in the Orion A cloud for the initial conditions of star formation

大橋聡史 (理研), 立松健一, 神鳥亮, Patricio Sanhueza, 廣田朋也 (国立天文台), Quang Nguyen Luong, Minhho Choi (KASI)

Herschel 宇宙望遠鏡によって、星形成分子雲は filament 構造をしていることが指摘されている (e.g., Andre et al. 2010)。そこで観測から filament における星形成の初期条件を決定することが非常に重要となってきた。我々は Orion A cloud に対して、 N_2H^+ /CCS を用いた化学進化の観点から、そのような分子雲コアを探索してきた。その結果、一つの有力な候補天体 (TUKH122) を発見した。このコアは filament の一部であり、乱流がほぼ散逸し、化学的に進化しているにも関わらず星形成活動がまだない。

ALMA cycle 3 で、この領域を 3 mm dust continuum, N_2H^+ , CH_3OH で観測した結果、 CH_3OH はコアを囲むようなシェル構造をし、 N_2H^+ とダストではその内部でいくつかのピークを filament に沿って発見した。*Herschel* 250 μm data とコンバインすることで total flux を戻した結果、filament と垂直方向の密度プロファイルは $p \sim 2$ の Plummer like function で fit できた。ただし、ALMA-ACA では $p \sim 4$ となり missing flux が大きいことも確認している。また filament に沿って 0.033 pc の間隔で密度の変動が見られ、この間隔は OMC-3 の原始星の間隔と一致する。この filament は線質量が $M_{line} \sim 130 M_\odot$ で thermal line mass ($M_{line} \sim 16 M_\odot$) より非常に大きく、分裂の間隔も Taurus で見つかった間隔 ~ 0.3 pc より一桁短い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124b 大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測 (5)

原田遼平, 大西利和, 高田勝太, 本間愛彩 (大阪府大), 徳田一起, Sarolta Zahorecz(大阪府大/NAOJ), 河村晶子, Erik Muller (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Annie Hughes, Jean-Philippe Bernard (IRAP), Margaret Meixner (STScI), Omnarayani Nayak (Johns Hopkins Univ.), Marta Sewilo (NASA/GSFC), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia, NRAO), Tony Wong (Univ. of Illinois)

大質量星のほとんどは巨大分子雲 ($10^5 M_{\odot}$ 以上) の中で形成されると考えられている。しかし、大小マゼラン雲において、*Spitzer*, *Herschel* の観測により、巨大分子雲から離れている孤立した大質量原始星が多く存在することが報告されているが、その母体となる分子雲の情報は得られていなかった。我々は、大マゼラン雲において、「なんてん」で検出された分子雲から 200 pc 以上離れているという条件の下で、Mopra, ALMA 望遠鏡を用いて質量 $\sim 10 M_{\odot}$ の原始星方向を高分解能観測 (~ 0.4 pc) を行い、質量数百から数千 M_{\odot} 、大きさ数 pc のコンパクトな分子雲を検出し、LVG 計算により付随する分子ガスの物理状態を求めた (原田ほか 2017 年春季年会)。

孤立原始星に付随する分子ガスのサイズ-線幅関係や CO 光度-ビリアル質量関係は、大マゼラン雲の一般的な巨大分子雲で見られる関係と大きくは変わらず、分子雲の性質としては類似している。また、中性炭素原子 [C I](1-0) による観測では、典型的な柱密度の比 $N(\text{C I})/N(\text{CO}) \sim 0.3$ であり、銀河系内で見られる分子雲クランプの値 (~ 0.1 , e.g., Ikeda et al. 2002, Kamegai et al. 2003) と比べて高い傾向にある。13" の分解能 (~ 3 pc) で見ると細かな違いはあるものの、[C I] と CO の強度分布に大きな違いは見られず、[C I] で見てもコンパクトなクラウドの中で大質量星が形成されていることがわかる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125b OMC-2, FIR3/4/5 領域の多輝線観測

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

銀河系内の星の多くは星団で生まれる。したがって、銀河系内の星形成過程を理解するためには、星団が形成される環境での星形成過程を解明する必要がある。特に、星団形成領域ではすでに誕生した星からのフィードバックが次世代の星形成に多大な影響を及ぼすと考えられているが、その影響についてはまだよくわかっていない。そこで我々は、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 領域を野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された FOREST と T70 受信機を用いて、 $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{N}_2\text{H}^+(J_{F_1,F} = 1_{1,2} - 0_{1,2})$, $\text{CCS}(J_N = 8_7 - 7_6)$, $\text{HN}^{13}\text{C}(1-0)$, $\text{H}^{13}\text{CO}^+(1-0)$, $\text{H}^{13}\text{CN}(1-0)$, $\text{HCO}^+(1-0)$, $\text{N}_2\text{D}^+(J_{F_1,F} = 1_{2,3} - 0_{1,2})$, $\text{DNC}(1-0)$, $\text{DC}_3\text{N}(9-8)$ のマッピング観測を行った。

FIR3/4/5 領域は、原始星 FIR3 からのアウトフローが FIR4 に衝突し、小さなガスの塊に分裂している (Shimajiri et al. 2008)。本研究の目的は、多輝線データから、この領域の物理状態を調べ、この領域で進む星形成過程の理解をさらに進めることである。取得データから N_2H^+ のコアが FIR4/5 付近で同定できた。そのコアから南西付近にかけて比較的強い DNC が検出され、冷たいガスが広がっていることが示唆された。また、その付近全体に弱い CCS 輝線が分布していることが発見された。先行観測では、OMC2/3 領域では、CCS 輝線は検出されておらず (Tatematsu et al. 2008)、今回の高感度 FOREST 観測により、OMC-2 領域でも CCS が存在することが明らかになった。講演では、柱密度、アバundance等の物理量の分布をより正確に求め、FIR3 からのアウトフローが FIR4/5 領域に及ぼす影響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](#)

P126b 統計的手法を用いたオリオン KL の連続波マップ作成

源治弥 (東京工業大学), 廣田朋也 (国立天文台), 斉藤俊貴 (東京大学/国立天文台), 野村英子 (東京工業大学), 川邊良平 (国立天文台)

大質量星形成領域であるオリオン座の Kleinmann-Low 領域 (以下 "オリオン KL ") では、先行研究により多種多様な有機分子が検出されている。その化学組成の豊かさから、以前より星間空間での有機分子探査のターゲットとされてきた。近年では観測技術の進歩により、同定が困難であった強度の弱い輝線も観測が可能になった。そのような分子の物理状態を観測強度から求めるためには、スペクトルから連続波成分を引いて分子輝線だけを取り出す必要がある。またオリオン KL は複雑な空間構造をしており、分子種によっても天体内の分布が異なることが指摘されている。未知の分子の空間構造を知る上でも連続波マップの作成は重要である。しかし我々が解析する ALMA 科学評価 (SV) データには分子輝線が多数含まれている。そのため輝線の含まれないスペクトルチャンネル (輝線フリーチャンネル) を決定して連続波成分と分子輝線を分離するには慎重な解析が必要である。

そこで本研究では、最近提案された STATCONT (Sanchez-Monge et al. 2017a) という新しい統計的手法を応用してオリオン KL の連続波マップの作成を試みた。この手法はチャンネル毎の観測強度をヒストグラムに表し、ガウシアンノイズを仮定することで連続波の強度を求めるものである。この手法を用いることで、定量的かつ効率的に輝線フリーチャンネルが求められると期待される。銀河系中心方向の大質量星形成領域 Sgr B2 ではこの手法で連続波マップが作成されているが (Sanchez-Monge et al. 2017b) オリオン KL での例はまだ報告されていない。本発表では、STATCONT を用いて作成したオリオン KL の連続波マップと既存のものとは比較し、手法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](#)

P127b VLA と GBT を用いた IRDC G028.23-00.19 に対するアンモニア輝線観測

齋藤敦、酒井剛 (電気通信大学)、Patricio Sanhueza, Xing Lu (国立天文台)

大質量星の形成過程を理解するためには、大質量な分子雲クラump内部で高密度な分子雲コアがどのように形成されるのか明らかにすることが重要である。そのためには、大質量星が形成される前の大質量な分子雲クラumpの観測が有効である。今回、観測を行った赤外線暗黒星雲 (IRDC)G028.23-00.19 は、質量が $\sim 5000 M_{\odot}$ と大質量であり、かつ、星形成の兆候が全く見られない天体である (Sanhueza et al. 2013, 2017)。この天体は、将来、大質量星を形成する可能性が高いと考えられており (Sanhueza et al. 2017)、大質量星形成前の分子雲クラumpの物理状態を理解するために重要な観測ターゲットである。

今回、我々は VLA と GBT を用い、IRDC G028.23-00.19 に対して NH_3 (J,K)=(1,1),(2,2) 輝線の観測を行った。分子雲全体の大きな運動状態を把握し、それが高密度分子雲コアの形成にどのような役割を果たしているか理解することが目的である。VLA と GBT のデータをコンパインし、イメージを作成した。角度分解能は $\sim 2''$ である。観測の結果、この分子雲は2つの大きなフィラメントで構成されており、それぞれのフィラメントは、分子雲中心部の 1.2 mm 連続波強度が最も強い位置から伸びていることがわかった。さらに、それぞれのフィラメントには速度勾配が見られ、分子雲中心部では、速度幅が増加していることもわかった。この速度勾配が分子雲中心部への落下によるものであるとすると、大きなスケールでの降着が、分子雲コア形成に寄与していることが示唆される。ポスターでは、タイムスケールなどを定量的に示し、フィラメントを介した質量降着が分子雲コア形成に及ぼす影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128b A SED Model Grid for Massive Star Formation

Yichen Zhang (RIKEN), Jonathan Tan (University of Florida)

We present a continuum radiative transfer model grid that can be used for fitting observed spectral energy distributions (SEDs) of massive protostars. The model grid is based on the core accretion theory of massive star formation, that is, a massive star forms by accreting from a preassembled gravitationally bound core, similar to the low-mass star formation. Designed for massive star formation, the initial conditions of our models are dense and massive cores embedded in high surface density environments. We then include the evolutions of the protostar, infalling envelope, accretion disk, and outflow cavity in a self-consistent way, and link these components to the initial and environmental conditions. The current model grid contains about 10^4 SEDs with 4 free parameters (initial core mass, surface density of the star forming environment, protostellar mass, and inclination). Compared with other SED model grids currently used for massive star formation studies, our model grid yields similar levels of fitting goodness with a smaller number of free parameters. The fitted parameters are also more physically consistent with each other and more realistic for massive star formation. With a large observational sample, it will help to understand the effects of the different initial and environmental conditions on the IR appearance of the sources, and in the end test the core accretion theory of massive star formation. We are also extending this model grid to include line radiative transfer and chemical modeling.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P129b 高銀緯分子雲における星形成の分光探査観測

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、安部太晴 (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 T タウリ型星 (TTS) の $H\alpha$ 輝線探査を目的として、2006~2015 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。観測対象は Magnani et al.(1985) で同定された高銀緯の分子雲と、参照領域としてペルセウス座分子雲等の計 2.2 平方度である。これまでに、6 つの高銀緯分子雲の探査観測から、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 年春季年会)。

さらに、より正確なスペクトル型の決定と高精度な $H\alpha$ 輝線等価幅測定を行うため、同定した TTS 候補天体のうち、比較的明るい 6 天体 ($R \sim 17.5$) に対し、2016 年度に広島大学かなた 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。本講演では、MBM53、54、55 分子雲複合体と追分光観測を行なった 6 つの 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、二色図や SED を作成しディスクや X 線放射の有無、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求めた。これらの結果から、TTS 星候補が高銀緯分子雲中で形成されたのか、その場合の星形成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](#)

P130a Multiple Coherent Shell Structures Revealed by ALMA Observation of the HH 46/47 Molecular Outflow

Yichen Zhang (RIKEN), Hector Arce (Yale), Diego Mardones (UCHile), Nami Sakai (RIKEN), Sylvie Cabrit (IPAG), Michael Dunham (SUNY), Guido Garay (UCHile), Alberto Noriega-Crespo (STSci), Stella Offner (UMass), Alejandro Raga (UNAM), Startt Corder (JAO)

During the star formation, the accretion disk drives fast MHD winds which usually contain two components, a collimated jet and a radially distributed wide-angle wind. These winds further entrain the ambient gas into a secondary outflow which is traced by molecules. We present ALMA cycle 3 observation of the HH 46/47 molecular outflow, in which we have identified multiple wide-angle outflowing shell structures in both blue and red-shifted outflow. These shells are highly coherent in the position-position-velocity space, extending to $\gtrsim 40 - 50 \text{ km s}^{-1}$ in velocity and 10^4 AU in space with well defined morphology and kinematics. With simple model fitting, we believe each of these outflowing shells is resultant from entrainment of ambient gas by an outburst event in the wide-angle wind. While episodic outbursts in collimated jet has been seen before, this is rare evidence that the wide-angle wind, same as the collimated jet, experiences episodicity, as expected by theories of episodic accretion and wind launching. The coherent shell structure further implies that the wide-angle wind should be launched from a relatively narrow region on the disk, which put constraints on the theory of wind launching.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131a オリオン座領域の Planck cold clumps の化学的進化 census

立松健一 (国立天文台), Tie Liu (KASI), Heeweon Yi, Jeong-Eun Lee (Kyung Hee U.), 大橋聡史 (理研), 平野尚美, Sheng-Yuan Liu (ASIAA), Patricio Sanhueza (国立天文台), Minhoo 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), ほか

我々は TOP-SCOPE Planck Cold Clump collaboration として、全天の低温 (10-20K) の分子雲コアに対して、TRAO、JCMT を用いたレガシーサーベイ、野辺山 45m、SMT、KVN 21m、Bonn 100m、SMA、ASTE などを用いた follow-up 観測を行い、星誕生の初期条件を探っている。本講演では、オリオン座 A,B 巨大分子雲、Ori を含む「オリオン座領域」を対象とした、野辺山 45m を用いた化学進化 census の結果を紹介する。観測は、Planck cold clumps 方向の SCUBA-2 850 μ コア中心の 1 点観測である。N₂H⁺, N₂D⁺, DNC, HN₁₃C, CCS (82 GHz, 94 GHz), HC₃N, c-C₃H₂ の 8 輝線を観測した。depletion の影響を受けにくく、星形成の開始をよくトレースすると考えられる N₂D⁺ は約 40 % のコアで検出された。N₂D⁺/N₂H⁺ などの柱密度比と、Tatematsu+17 ApJ 228, 12 で提唱した化学進化指数 CEF を用いることにより、星形成の開始前後と思われるコアを数個見出した。これらのうち 2 つは極めて近い領域にある (すなわち類似の環境にある) 似たような大きさの星なしと星ありのコアであり、アルマなどによる今後の詳細観測により星形成に至る物理の解明に期待がかかる。N₂H⁺/CCS の柱密度比を用いて、オリオン座領域の分子雲の大局的な進化段階を調べたところ、領域の真ん中あたり (オリオン座 A,B 分子雲の間) でもっとも大きな値を示し、化学進化的に evolve していることが分かった。これは Bally+87 が提唱した、Orion OB association のスーパーバブルによる分子雲圧縮のモデルをサポートする観測事実と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132a HC₃N・CCS分子輝線を利用したTMC-1の視線方向の構造解析

土橋一仁、下井倉ともみ、平原純一（東京学芸大）、谷口琴美（総研大）、水野いづみ（鹿児島大）、
亀野誠二（JAO）、中村文隆（国立天文台）、ほかZ45チーム

本講演では、45GHz帯のCCS($J_N = 4_3 - 3_2$)分子輝線とHC₃N($J = 5 - 4$)分子輝線を利用したTMC-1の視線方向の構造解析の結果について報告する。ここ数年、我々の研究チーム（代表：中村文隆）は、野辺山45m鏡+Z45受信機+PolariS分光計の観測システムを用いて、CCS分子輝線のゼーマン分裂の検出に取り組んできた（例えば、中村他、亀野他、土橋他、2016年春季年会）。TMC-1に対する一連の観測では、CCS分子輝線の他に、モニターとして5つの超微細構造から成るHC₃N分子輝線のデータも同時に取得した。合計約10万秒の積分の結果、極めて質の高い両分子輝線のデータを取得することができた（ $\Delta v \simeq 0.0004 \text{ km/s}$ で $\Delta T_a \simeq 40 \text{ mK}$ ）。

過去の研究でも知られているように、TMC-1のCCS分子輝線はフラット・トップな形状をしており、複数の速度成分から成ることが示唆される。しかし、CCS分子輝線は光学的にやや厚く、どのような速度成分があるのかについては未知のままであった。HC₃N分子輝線の超微細構造 $F = 4 - 4$ 及び $5 - 5$ による輝線はおそらく光学的にかなり薄く、他の輝線とのブレンドもない。我々は、これらの輝線が $V_{\text{LSR}} = 5.53, 5.69, 5.87, 5.95 \text{ km/s}$ にピークをもつ4つの単純なガウス関数型の速度成分の重ね合わせでよく表わせることを見出した。さらに、これらの速度成分の視線上で前後関係を入れかえた24(=4!)通りのモデルを作成し、個々の速度成分の光学的厚さを考慮した輻射輸送を解いてCCS分子輝線の観測データの再現を試みたところ、 V_{LSR} が低い成分ほど観測者から遠方に位置するモデルが、実際の観測データを最もよく再現することを見出した。これは、TMC-1が全体的に収縮運動をしていることを意味する結果である。本講演では、一連の解析方法とそ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](#)

P133a 直線偏光観測とゼーマン観測を連携させた TMC-1 コアの磁場強度の見積もり

中村文隆 (国立天文台), 亀野誠二 (JAO), 水野いづみ (鹿児島大), 土橋一仁, 下井倉ともみ (東京学芸大), 谷口琴美 (総研大), ほか Z45 チーム

これまでの電波・赤外線観測から、星は分子雲中に点在するコンパクトな高密度コア (密度 10^4 cm^{-3} 程度、サイズ 0.1 pc 程度) から誕生することがわかってきた。しかし、コアの進化を決定する重要な要因である、磁場の役割については理論的にも観測的にも理解が進んでおらず、世界中で大きな論争を生む種となっている。我々は、コアに付随する磁場強度を観測的に測定するため、野辺山 45m 鏡用の 45GHz 帯受信機 Z45 を開発し、45.379GHz の CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$) 輝線のゼーマン観測を遂行してきた。CCS は星形成が起こる前段階の高密度領域で豊富に観測され、比較的大きなゼーマン分裂を示すことが実験室で確認されており、星形成前のコアの磁場測定に最適な分子輝線の一つである。我々は、2014 年 4 月に、近傍のコア TMC-1 に向けて CCS ゼーマン観測を行い、 $210 \mu\text{G}$ の磁場を検出することに成功した (2016 年秋季年会)。

ゼーマン観測から導出される磁場成分は視線方向の成分のみであるので、磁場の絶対強度を知るためには、直線偏光観測の結果を用いて天球面方向の磁場強度を見積もる必要がある (Chapman et al. 2008)。しかしながら、CCS 輝線の詳細な解析から、TMC-1 では、収縮運動がみられるため、C-F 法を単純に直線偏光観測に適応すると、磁場強度を過大評価してしまう。収縮運動を考慮して、C-F 法を適用し見積もった磁場 ($100 \mu\text{G}$) とゼーマン観測の値から、TMC-1 の 3 次元磁場強度は $230 \mu\text{G}$ 程度と見積もられた。これにより TMC-1 コアの磁場は、おそらく視線方向に対して 60 度傾いていることがわかった。Herschel のデータから見積もられた柱密度 $3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ を用いると、質量 - 磁束比は 1.3 と見積もられた。つまり、TMC-1 は磁氣的に臨界状態にあると示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P134a High-resolution observations of G191.51-0.76

Sarolta Zahorecz, Toshikazu Onishi (Osaka Prefecture Univ. / NAOJ), Leonardo Testi, Ke Wang (ESO, Germany), Izaskun Jimenez-Serra (Queen Mary Univ. of London, UK), L. Viktor Toth (Eotvos Univ., Hungary)

Infrared Dark Clouds (IRDCs), seen in extinction against the mid-IR Galactic background, are thought to be the sites of intermediate and massive star formation. The IRDC samples are however very biased by the detection method, which requires a bright background such as the inner Galaxy. Herschel and Planck observatories, which operated in the far-IR and sub-mm, detected massive clouds in emission throughout the Galaxy. We have investigated the Planck cold clumps in the Galactic Plane based on Herschel Hi-GAL observations and characterized their physical properties as a function of location within the Galaxy (Zahorecz et al. 2016, A&A, 591, 105). G191.51-0.76 is one of the cold clumps detected with Planck in the outer Galaxy. It has a network of filaments converging into a central massive clump (hub-filament system), and it does not show 70 micron sources making it a precursor of previously reported hub-filament systems such as IRDC SDC13.

As part of our follow-up study on selected Planck clumps we successfully observed the ^{13}CO , C^{18}O , N_2H^+ , HNC and ^{13}CS emission toward G191.51-0.76 with the APEX 12m telescope and the ALMA interferometer in Band 3 to determine its physical properties, fragmentation and gas dynamics. I will present our results of the two dense fragments in G191.51-0.76, which show different evolutionary stage.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P135a HCL2領域の直線構造における OH 18 cm 線の吸収線の解析

海老澤勇治 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), Karl 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 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)。

一方で、Effelsberg 100 m 望遠鏡を用いて HCL2 領域北部の特徴的な直線構造 (TMC-1FN) を観測したところ、1720 MHz 線の吸収線 ($V_{LSR}=5-6$ km/s) が検出された。同時に、1612 MHz の吸収線がより赤方偏移した成分 ($V_{LSR}=6-9$ km/s) で検出された。2016 年秋季年会 (P103a) では、ダストの遠赤外線を考慮した統計平衡計算を行い、1720 MHz 線の吸収線が現れるためには高い柱密度 ($> 10^{15}$ cm⁻²) かつ低温 (< 20 K) が必要であることを示した。さらに、2つの速度成分に注目し ¹³CO, C¹⁸O のマップと比較したところ、この直線構造は南西に広がった温かいガスの圧縮によって形成された可能性があることがわかった (2016 年春季年会 P107a)。

今回我々は、アメリカの大型電波干渉計 VLA を用いて TMC-1FN に対して OH 18 cm 線の観測を行った。その結果、5-6 km/s 成分が直線構造の C¹⁸O ピーク付近で検出された。一方、6-9 km/s 成分は VLA ではほとんど検出されなかった。これらの結果は、5-6 km/s 成分が TMC-1FN の密度の高い領域を反映し、6-9 km/s 成分が空間的に広がったガスを反映していることを支持している。また、TMC-1FN における平均スペクトルをみると、5-6 km/s 成分がさらに2つの速度成分にわかれ、1720 MHz 線の吸収線は 4.9-5.1 km/s 付近の非常に狭い速度範囲でのみ検出された。このスペクトルを単一鏡のスペクトルと比較し、統計平衡計算の結果と合わせて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P136a 孤立した星形成領域での炭素鎖分子形成

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)

低質量原始星天体のエンベロープには、化学組成に多様性があることが知られてきた (Sakai and Yamamoto 2013)。また、ALMA による観測で 100 au スケールでの化学組成も天体によって大きく異なることが最近わかってきた (Sakai et al. 2014; Oya et al. 2016)。このような化学組成の違いは星形成の物理過程に起因していると考えられ、そのつながりを理解することは星形成分野の重要な研究テーマである。

発表者らは、孤立した星形成領域にある低質量原始星天体 B335 で、その 100 au スケールでの化学組成を ALMA (Cycle-2) の Band 6 のデータを用いて調べた。その結果、B335 は大型の飽和有機分子に恵まれ、Hot Corino 化学を内包していることがわかった。検出された有機分子 (CH_3CHO , HCOOCH_3 , NH_2CHO など) の柱密度および H_2 に対する存在量比を求めたところ、代表的な Hot Corino 天体 IRAS16293-2422 と同程度であることがわかった (2016 秋季年会 P219a)。ところが、IRAM 30 m 望遠鏡を用いて、外側 1,000 au スケールの炭素鎖分子/飽和有機分子比 ($\text{CCH}/\text{CH}_3\text{OH}$ 比) を調べてみると、炭素鎖分子が多く典型的な WCCC 天体である L1527 の組成に近いことがわかった。このことから、B335 は内側と外側で Hot Corino 化学と WCCC の両方の特徴をそれぞれ併せもっていると考えられる。また、他の孤立した星形成領域 (CB68, CB230, CB244 など) でも同様に外側のエンベロープで $\text{CCH}/\text{CH}_3\text{OH}$ 比を調べてみると、系統的に炭素鎖分子が豊富に存在していることがわかった。これらの天体が B335 と同様に原始星近傍で Hot Corino 化学の特徴をもつかどうかは高分解能観測を行わなければわからないが、孤立した領域にある原始星天体の一般的な化学描像が明らかになりつつあると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137a 星形成領域における H_2CO の ^{13}C 同位体比の観測

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)

星形成領域における複雑な飽和有機分子は、星間塵上での CO の水素付加反応により生成され、中心星からの熱的放射などによって気相中に蒸発すると考えられてきた。しかし、近年の観測で低温の星なしコアにおいても複雑な飽和有機分子が存在していることが明らかになってきており、その起源を探ることは星間雲から星形成領域に至る分子進化を理解する上でも重要である (Vastel et al. 2014)。本研究では、基本的な有機分子である H_2CO に着目した。 H_2CO は星間塵上での生成に加えて気相中の化学反応によっても生成されると考えられているが、両者のどちらが主要な生成経路であるかは明らかになっていない。

そこで我々は、スペインの IRAM 30 m 望遠鏡を用いて、星なしコア L1544 と低質量星形成領域 L1527 に対して H_2CO の ^{13}C 同位体種と ^{18}O 同位体種の観測を行った。ノーマル種の輝線は光学的に厚いので、 ^{18}O 同位体種の輝線から $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}=560$ を仮定してノーマル種の存在量を求め、それをもとに ^{13}C 同位体の存在比を求めた。その結果、どちらの天体においても、 H_2CO の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が太陽系近傍の元素の同位体比 (60–70) と同程度であることがわかった。近年の観測によって、星なしコアや星形成領域において、炭素鎖分子などのいくつかの気相由来の分子の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が元素の同位体比より有意に高い値を示すことが知られている (e.g., Yoshida et al. 2015)。この同位体比異常は、Langer et al. (1984) で提案されたように、 C^+ を起点とする気相反応で生成される分子に特有の性質であるため、もし分子の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が 60–70 より高ければ、その分子が C^+ からの気相反応で生成されると予想できる。今回の結果は、2つのどちらの天体においても、 H_2CO の主要な生成経路が C^+ を起点とする気相反応ではなく、星間塵上での CO への水素付加反応など他の生成経路であることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P138a 低金属量環境における星形成過程

樋口公紀, 町田正博 (九州大学), 須佐元 (甲南大学)

現在の星形成過程は観測的にも理論的にも多くの研究がなされ理解が進んできている。角運動量輸送に着目すると、大スケールでは低速度のアウトフローや磁気制動、中間スケールでは重力不安定、小スケールでは高速度の原始星ジェットによって角運動量が外部に輸送されると考えられている。一方で、低金属量環境における星形成過程の研究は少ない。本研究では、初期にカス雲が持つ金属量とイオン化度(宇宙線強度と放射性元素崩壊で生じる γ 線強度)を組み合わせ、金属量0や低金属量($0 < Z/Z_{\odot} \leq 10^{-3}$)の場合の星形成環境を設定し、これらのカス雲から原始星が形成するまでの、3次元非理想磁気流体力学シミュレーションを行った。前回の年会では、イオン化度・金属量が低い環境での星形成過程において、原始星ジェットが駆動されるかどうかを調べた。金属量0の場合は原始星ジェットが駆動したが、低金属量の場合は原始星ジェットは駆動されず、原始惑星系円盤にスパイラルの発達や分裂といった現象が見られた。今回は、イオン化度が高く、金属量が低い環境における星形成過程を調べた。計算の結果、イオン化度にかかわらず金属量0の場合、原始星ジェットが駆動された。本講演では、原始星ジェットやアウトフローによる角運動量輸送効率を調べ、金属量0や低金属量環境下での星形成過程における角運動量輸送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](#)

P139a 中間質量星形成領域 OMC-3 MMS5 に付随する EHV アウトフロー

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=388pc Kounkel et al. 2017) に存在する Class 0 天体 (MMS5) から駆動されているアウトフローやジェットを空間的に把握し、物理的性質を解明するために、ALMA 望遠鏡バンド 6 で観測された CO(J=2-1) 分子輝線、SiO(J=5-4) 分子輝線の解析を行った。空間分解能は、0.1 秒角 ($\sim 40\text{AU}$) を達成した。CO、SiO 分子輝線のイメージングの結果、CO 分子輝線では、システム速度に対し、 $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| \leq 30\text{km/s}$ でキャビティ状の構造が、 $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| \sim 60 - 90\text{km/s}$ でコリメートした高速度のジェットに付随すると考えられる Extremely high velocity (EHV) アウトフローが検出された。EHV アウトフロー/ジェットのサイズは、7 秒角 ($\sim 0.01\text{pc}$) ほどであった。これまで、他の天体で見つかっている EHV アウトフロー/ジェットの大きさは、最も小さいもので 0.025pc (Hirano et al. 2010) であり、その結果と比較してもコンパクトな構造である。Class 0 天体の中でも、EHV アウトフローが見つかっているものは限られており、非常に若い天体 (EHV アウトフローから導出した dynamical timescale $\sim 10^3 - 10^4\text{yr}$) であるという特徴があるが、MMS5 は、これまで見つかってきた EHV 天体として、最も若い進化段階にあると考えられる。観測から得られたデータをもとに、PV 図およびモデルを作成することで、ジェットとアウトフローの構造を理解し、物理量を求めることで、他の EHV 天体や理論予測との比較・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](#)

P140a Unveiling the role of the magnetic field at the smallest scales of star formation

Charles L. H. “Chat” Hull (Harvard-CfA, NRAO, NAOJ)

New polarization data from ALMA are both expanding and confounding our understanding of the role of magnetic fields in low-mass star formation. Here I will show some of the highest resolution and highest sensitivity polarization images ever made of two Class 0 protostellar sources. These new ALMA observations achieve ~ 140 AU resolution, allowing us to observe the magnetic field orientation in the innermost regions surrounding the protostars. The collapse of strongly magnetized dense gas is predicted to pinch the magnetic field into an hourglass shape that persists down to scales < 100 AU. However, in contrast with more than 50 years of theory, the ALMA data toward one source—known as Ser-emb 8—definitively rule out an hourglass morphology and instead reveal a chaotic magnetic field that has not been inherited from the field in the interstellar medium surrounding the source. We compare these data with cutting-edge, moving-mesh AREPO simulations that we performed, and conclude that that Ser-emb 8 formed in a weakly magnetized environment where large-scale turbulent motions dictate the magnetic field morphology even on ~ 100 AU scales. However, in the second source—known as Serpens SMM1—the magnetic field has clearly been shaped by the bipolar outflow emanating from the central source, in contrast to the turbulence-dominated morphology of Ser-emb 8. Two sources, two stories: with the sensitivity and resolution of ALMA, we are embarking on an entirely new chapter in our journey to understand the role of the magnetic field in the earliest stages of star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P141a 「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: 2. 中間赤外線 (波長 5-13 μm) スペクトルの抽出

山岸光義, 水木敏幸, 山村一誠 (ISAS/JAXA), 臼井文彦 (神戸大学), 「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、一度に一定方向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。この問題を解消するため、我々はスペクトルと同時に取得されている参照イメージデータから、視野内の点源天体のカタログを作成し、その空間情報をもとにスペクトルの重なりの有無を判断しようと試みている。

前回の年会では、「あかり」MIR-S チャンネル (波長 9 μm) の参照イメージから、天体数約 57,000、検出限界 0.3 mJy の点源カタログを作成したことを報告した (2017 年春季年会 P115a)。次に我々は、そのカタログの各天体に対してスペクトルの重なりの有無の判定を行った。検出器面上での位置、天体フラックス (>1.5 mJy: 分光検出限界)、周囲天体との相対位置に条件をつけ、各天体に対してスペクトルが抽出可能か判定したところ、約 850 天体から抽出可能であることが分かった。そこで実際に、それらの天体からの中間赤外線スペクトル (波長 5-13 μm) を抽出したところ、様々なタイプの星、星形成銀河、AGN からのスペクトルが得られることが確かめられた。これらのスペクトルは、中間赤外線帯における無バイアススペクトルサンプルとして有用である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P142b 「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：3. 中間赤外線（5-13 μm ）PSCの作成及び検証

水木敏幸, 山岸光義, 山村一誠 (ISAS/JAXA), 臼井文彦 (神戸大学), 「あかり」チーム

2011年に観測を終了した赤外線天文衛星「AKARI」が取得したデータを有効に活用するため、我々はデータ処理・解析・アーカイブ活動を行なっている。AKARI/IRCのスリットレス分光観測では、視野全体に分散をかけており、潜在的には多数の目標天体以外のスペクトル抽出が可能である。この分光観測時に取得された参照画像を含むAKARI/IRCの指向観測は、WISEのような全天サーベイと比較しても有意に深い検出限界と（AKARI/IRC $9\mu\text{m}$: 0.3mJy, WISE $12\mu\text{m}$: 0.9mJy）およそ倍の空間分解能を有するため、同波長帯において、より信頼性の高い点源カタログの作成及びYSO、AGB、SFG、AGN等を対象とする天文学研究への活用が期待できる。

2017年春季天文年会では、この参照画像から約57000の点源検出が報告された（山岸ほか, 2017年春季天文年会 P115a）。我々は、この点源リストから複数回の同一視野観測による重複天体等を除き、およそ40000天体からなる点源カタログを作成した。この40000の内、約8割が2MASSやWISEにより検出されている天体である。このWISEで検出されている天体に対し、二色図および色等級図上で天体分類を行った所、およそ半数が星に分類され、残り半数をYSO、AGB、SFG、AGN等が占めていた。本講演・ポスターでは、このカタログの検証及び構成する天体の種類について具体的に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P143c 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状(9)

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。

予稿執筆時点で、「遠赤外線微光天体カタログ」、「中間赤外線全天イメージマップ」、「遠赤外線スローキャン観測データ」、「中間赤外線スローキャンデータ」、「遠赤外線 FTS 分光データ」が公開に向けた準備中である。また、スリットレス分光観測データからの分光カタログ、点源カタログの作成も進行している（本年会山岸他、水木他）。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。

我々は、「あかり」データの科学的価値を高めるため、データに興味を持つ研究者の、データ作成・評価・アーカイブ活動への協力を歓迎する。また、独自の視点で大規模な系統的解析を行ったユーザーが作成したデータ、公開データから作成した二次プロダクトのアーカイブ支援も行っている。興味のある方は iris_help@ir.isas.jaxa.jp まで遠慮無くお問い合わせいただければ幸いです。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P144b すばる望遠鏡広視野撮像カメラ HSC を用いたおうし座星形成領域における低質量天体探査 II

馬場はるか (総合研究大学院大学), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター), 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター), Herve Bouy (Universite de Bordeaux)

恒星の周りを公転せず孤立している天体を (浮遊) 惑星質量天体と呼ぶ。褐色矮星とあわせて、これらの超低質量天体は内部で水素燃焼が起こらず年齢とともに暗くなるため、若い星形成領域での観測が有利に働く。また、星形成領域での観測は、それらの天体の形成直後の特性を調べるために重要である。これまで、星形成領域において、惑星質量天体や多くの褐色矮星が実際に発見されている。しかしその形成過程は未だ明らかになっておらず、また、超低質量天体がどの程度の数存在するのかという初期質量関数の低質量端についてもはっきりしていない。

年齢が約 1 Myr で、約 140 pc の距離に存在する、おうし座星形成領域は、その若さと近さから超低質量天体の探査に最も適した領域の一つである。その一方で若い星が広い領域に分布しているため、深いだけでなく、広視野の撮像観測による探査が不可欠である。複数の先行研究からは、おうし座星形成領域は超低質量天体の数が他の領域に比べて少ないことが示唆されているが (e.g. Luhman+2017)、観測の深さや領域の広さの不十分さから未だ確かな結果が得られたとは言えない。我々はすばる望遠鏡超広視野撮像装置 HSC を用いて、おうし座星形成領域のうち約 10 平方度の領域を i' バンドと z' バンドで撮像観測を行い、検出限界が $3 M_J$ 程度に迫る、これまでにない深さでの広範囲に渡る観測結果を得た。春季年会ではこのうち 1 領域について、HSC pipeline を用いた解析結果および i' バンド等級と $i'-z'$ の色等級図の結果を報告した。本講演ではさらに領域を増やし、全 7 領域についての解析結果ならびに候補天体のカラーセレクション等の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P145b Vela C 分子雲の近赤外線偏光観測

楠根貴成、中村文隆（国立天文台）、杉谷光司（名古屋市立大学）、SIRPOL チーム

星は分子雲中で誕生することが知られているが、星形成過程における磁場の役割は未だ完全には理解されていない。分子雲の構造に目を向けるとそれらは決して単純な構造ではなく、フィラメントや細かい筋・網目状構造など、様々な形状で分子雲は構成されていることが近年の観測技術の向上により明らかになった。しかしながら、これら分子雲構造と磁場の関係もあまり理解が進んではいない。そこで我々は、複雑な構造（卓越したフィラメント構造、網目状の構造）から成る Vela C 分子雲に注目し、その磁場構造・磁場強度等と分子雲構造の関係を調べるべく、この天体に対して近赤外線偏光観測を実施した。観測は南アフリカ天文台サザーランド観測所の IRSF1.4m 望遠鏡とそれに搭載されている近赤外線 (JHK_s) 偏光撮像装置 SIRIUS/SIRPOL (視野 $\sim 7'.7 \times 7'.7$) を用いて行い、Vela C 分子雲全域に渡る大規模な偏光データを取得した (計 102 視野)。

今回の JHK_s 3色同時観測により、分子雲外縁の密度の低い領域から比較的密度の高い領域までの磁場構造を明らかにすることができた。Vela C 分子雲の磁場構造には大きく 2つのパターンがあることがわかった：(1) フィラメント構造が顕著な分子雲中央領域では、その伸長方向に対して垂直に磁場が走っている。(2) 大きく広がった網目状構造を持つ分子雲両端領域では、大きく乱れた磁場構造を持つ。さらに、Chandrasekhar-Fermi の手法で各所の磁場強度を見積もり、乱流強度をそれぞれで比較した結果、分子雲両端の網目状構造を持つ領域では磁場が弱い可能性が高いことがわかった。また、それぞれの領域に付随する YSO について調べた結果、強い磁場強度のフィラメント構造領域と比べると、弱い磁場強度の網目状構造領域では、より低質量の YSO が付随している傾向があることも明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P146b Star Cluster Formation Triggered by Giant Molecular Cloud Collisions

Benjamin Wu (NAOJ), Fumitaka Nakamura (NAOJ), Jonathan C. Tan (University of Florida),
Duncan Christie (University of Florida)

Collisions between molecular clouds have been proposed as a mechanism for creating dense clumps and triggering massive star cluster formation. This process may even determine the global star formation rate in disk galaxies. Observationally, the number of cloud collision candidates is growing, but they remain difficult to verify using current methods. We have developed a numerical model of giant molecular cloud (GMC) collisions using magnetohydrodynamic (MHD) simulations with photo-dissociation region (PDR)-based heating/cooling functions, supersonic turbulence, and magnetically regulated star formation (see Wu et al. 2017 ApJ 835 137W, 2017 ApJ 841 88W). They are capable of producing synthetic line emission and polarization maps with which regions in the Galaxy can be compared. In this study, we focus on the addition of protostellar outflow feedback and how it affects the formation and evolution of star clusters and their surrounding gas.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P147b 短基線 VLBI を用いた大質量原始星候補天体周囲の非定常電離ガス探査とモニター観測

元木業人、新沼浩太郎、青木貴弘、藤沢健太 (山口大学)、米倉覚則 (茨城大学)、杉山孝一郎 (国立天文台)

大学連携 VLBI (JVN) の将来計画の一環として計画中の大質量原始星候補天体に対する非定常電離ガスの探査について報告する。主質量降着期にある若い大質量原始星は超コンパクト HII 領域が付随しない一方、ジェットや降着による衝撃波に起因した変動性の高い電離ガスの放射が予想される。こうした電離ガスの時間的性質は直接空間分解できない原始星近傍の環境を探る貴重な手掛かりである。

これに対して JVN の最短基線である茨城局-鹿嶋局基線はおよその基線長が 100 km 程度であり、高感度観測の主体である C/X 帯での空間分解能は 100 - 200 ミリ秒角に相当する (天体の赤緯に依存)。これは 1-2 kpc にある 10 太陽質量の天体を考えた場合、電離ガス (10^4 K) に対する重力半径と同程度である。一方、これらの基線で広帯域 VLBI 観測 (512 MHz) を行なった場合の輝度温度感度は 10 分積分で 10σ で 10^4 K であることから、もし重力束縛された非定常な電離ガスが十分な量存在すれば、VLBI 観測によるフリンジ検出が期待できる。

そこで我々は JVN 最短基線を用いた 1 基線 VLBI によるコンパクト電波源の大規模探査を計画している。まずは第一段階として VLA を用いた 5 GHz 銀河面探査 (CORNISH) によって検出された赤外線暗い微弱電波点源 700 天体を対象にスナップショット探査を行い、100 ミリ秒角程度のコンパクトな連続波源の検出を目指す。その後検出できた天体については 1 基線の機動力を生かして長期のモニター観測を行い、変動性を調査する予定である。またモニターの副産物として大質量星形成では報告例の少ない非熱的フレア現象などの検出も期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P148b 観測的可視化で解明する原始惑星系円盤の角運動量輸送とアウトフローの関係

北亦裕晴, 富田賢吾 (大阪大学), 町田正博 (九州大学), 細川隆史 (京都大学), 櫻井祐也 (東京大学)

星・惑星形成過程の理論的研究においては、観測データ、特に ALMA による高分解能の観測結果と比較するための整合性のある理論モデルが強く求められている。観測と理論モデルを直接比較するためには実際の観測量である輻射の情報を求める必要があり、このための観測的可視化と呼ばれる手法が近年盛んに取り組まれている。

我々はこの手法を原始星とその周囲に形成される星周円盤、そしてアウトフローの観測に応用した。原始星や円盤の進化には角運動量分布とその輸送が重要であり、理論的には自己重力トルクとアウトフローや磁気制動等の磁場による角運動量輸送が重要な役割を果たす。しかし現実の系でどのような物理過程が働いているかは十分に明らかになっておらず、今後観測によって明らかにする必要がある。我々は既に円盤の進化を追う 3 次元磁気流体計算からダスト連続波の観測的可視化を行い、円盤の自己重力不安定で生じる渦状腕による角運動量輸送が効率的である可能性を示唆した (Tomida et al. 2017)。本研究ではこれを CO 同位体分子の輝線に拡張し、RADMC-3D コード (Dullemond 2012) を用いて LTE 近似を課した輻射輸送計算を行った。アウトフローが磁気遠心力によって円盤から駆動されるならばアウトフローは角運動量を有しており、これを測定することでアウトフローの駆動機構やその角運動量輸送に果たす役割を明らかにすることができる。本研究では ALMA による観測を模した疑似観測データからアウトフローの角運動量を測定する手法を構築し、その角運動量から駆動領域を推定した。その結果元の流体計算データの角運動量分布を妥当な精度で復元し、アウトフローが円盤スケールから駆動されていることを再現することができた。この手法を実際の観測に適用し理論モデルと直接比較することで現実の天体で働いている角運動量の降着と輸送機構を調べることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P149a BISTRO Project Status (2)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Yasuo Doi³, Saeko Hayashi¹, Tsuyoshi Inoue⁴, Shu-ichiro Inutsuka⁴, Kazunari Iwasaki⁵, Yoshihiro Kanamori³, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Masato Kobayashi⁴, Takayoshi Kusune⁷, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁵, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹⁰, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka³, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹¹, Masumichi Seta¹², Hiroko Shinnaga¹⁰, Motohide Tamura³, Kohji Tomisaka^{1,13}, Yusuke Tsukamoto¹⁴, Tetsuya Zenko¹⁵, Derek Ward-Thompson¹⁶ and BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³U. Tokyo, ⁴Nagoya U., ⁵Doshisha U., ⁶Hiroshima U., ⁷Nagoya City U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kagoshima U., ¹¹Tsukuba U., ¹²Kwansai U., ¹³Astro Biology Center, ¹⁴RIKEN, ¹⁵Kyoto U., ¹⁶U. of Central Lancashire)

The BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) project is ongoing as one of the EAO/JCMT Large Program, involving over a hundred researchers in UK, Canada, Japan, China, Taiwan, Korea, and the East Asian Observatory. We have completed the first year of the 3-year observation program, and the data quality is generally excellent. Initial papers to present the first results of individual regions are being prepared or in press (e.g., Ward Thompson et al. 2017 ApJ in press.; Kwon et al. this meeting). In-depth analyses are also being made to follow the first results papers (e.g., Pattle et al. 2017, ApJ submitted, this meeting). We discuss some highlights of the results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P150a The magnetic field strength and energy balance of OMC 1

Kate Pattle (University of Central Lancashire; JSPS Short-Term Fellow at NAOJ)

We present a Chandrasekhar-Fermi analysis of the OMC 1 region of the Orion A filament, using polarimetric data taken with POL-2 on the JCMT as part of the BISTRO (B-Fields in Star-Forming Region Observations) survey and archival SCUBA-2 and HARP data. We estimate a plane-of-sky magnetic field strength in OMC 1 of $B = 6.6 \pm 4.7$ mG (where $\delta B_{pos} = \pm 4.7$ mG represents a predominantly systematic uncertainty), using a novel method analogous to unsharp masking to account for the large-scale variation in magnetic field direction across the region. We find that OMC 1 is in approximate equipartition between gravitational and magnetic energy, with both terms having an energy density $\sim 10^{-7} \text{ J m}^{-3}$. We demonstrate that these energy densities are comparable to the energy density in the explosive Orion BN/KL outflow, suggesting that the outflow may have sufficient energy to significantly alter the global energy balance of OMC 1. However, we find that neither the local Alfvén velocity nor the velocity of the super-Alfvénic outflow ejecta is sufficiently large for the BN/KL outflow to have caused large-scale distortion of the local magnetic field in the ~ 500 -year lifetime of the outflow. Hence, we propose that the hour-glass magnetic field morphology in OMC 1 is caused by the distortion of an initially cylindrically-symmetric magnetic field by the gravitational fragmentation of the filament and/or the gravitational interaction of the BN/KL and S clumps. We find that OMC 1 is currently in or near magnetically-supported equilibrium, and that the current large-scale morphology of the BN/KL outflow is regulated by the geometry of the magnetic field in OMC 1, and not vice versa.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P151a A FIRST LOOK AT BISTRO OBSERVATIONS OF THE ρ OPH-A CORE

Jungmi Kwon (ISAS/JAXA), BISTRO-J Team and BISTRO Consortium

Stars form in dense and cool molecular clouds and it has long been considered that magnetic fields may play important roles in various stages of star formation. In order to measure the magnetic fields in dense cores, which are directly related to the star formation processes, submillimeter polarimetry of thermal emission from dust is an important tool to trace magnetic fields in star forming regions as well as near-infrared polarimetry. In this presentation, we present the deepest 850 μm imaging polarimetry data of the ρ Ophiuchi A core with the Submillimeter Common-User Bolometer Array (SCUBA-2) and its polarimeter (POL-2), as part of our ongoing survey project, BISTRO (B-fields In STar forming RegiOns). Magnetic field directions of the dense core regions, which can be indicated by (90 degree rotated) submillimeter polarization vectors, are derived; within the only 0.2 pc core region, we have identified many magnetic field components which are different with each other either in directions or degrees of polarization.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P152a Observed properties of interstellar filaments

Doris Arzoumanian (Nagoya University), Yoshito Shimajiri, Arabindo Roy, Philippe André, Vera Könyves, Andrea Bracco (CEA/Saclay France)

The highly filamentary structure of the interstellar medium is now impressively revealed by *Herschel* and *Planck* images tracing the Galactic cold dust emission. Previous observations have shown that clouds are filamentary, however, only recently have interstellar filaments received special attention, thanks to the new observational results on their physical properties.

The analysis of the column density profiles of the filaments derived from *Herschel* images indicates that they all share a common central width of 0.1 pc, while they span a wide range in length, column density, mass per unit length. The results derived from observations tracing cold dust and gas emission, in total and polarised intensity, suggest that filaments can be divided into two families: On the one hand, low column density, unbound, and quiescent filaments mostly aligned with the local magnetic field orientation, and on the other hand, dense, self-gravitating filaments, mostly perpendicular to the local magnetic field orientation, and fragmented into star forming cores. 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 and their key role in the star formation process.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P153a Barnard 59 に付随する原始星連星系 BHB11 の力学構造の解明

西合一矢 (国立天文台)、高桑繁久 (鹿児島大学)、松本倫明 (法政大学)、川邊良平、齋藤正雄 (国立天文台)、原千穂美 (NEC)、大西利和 (大阪府大)、徳田一起 (大阪府大/国立天文台)、富田賢吾 (大阪大学)、塚越崇 (茨城大学)、立原研悟 (名古屋大学)、河村晶子 (国立天文台)

我々は、ALMA Archive data を用いて Barnard 59 に付随する原始星 BHB11 の詳細な力学構造を明らかにしたので報告する。Barnard 59 は Pipe Nebula (距離 130pc) の先端に位置し、約 20 太陽質量、0.1 pc サイズの小規模な集団的星形成を起こしている高密度クランプであり、そのなかで BHB11 は活発にアウトフローを放出している原始星である (Brooke et al. 2007; Hara et al. 2014)。ALMA Cycle2 において、この天体に対し Band6 を用いた 0.2" (約 30 au) 分解能の偏波、1.3mm 連続波、 $^{12}\text{CO}(2-1)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ 輝線観測が行われ、原始星近傍で特異な 50au スケールの渦巻き状の偏波ベクトル構造の存在が明らかになった (2013.1.00291.S PI=F. Alves)。しかし、現在までに、その構造を含む BHB11 の詳細な力学構造の解明はされていない。我々は ALMA Archive data を詳細に解析しモデルと比較することで、原始星 BHB11 が新しいタイプの原始連星系であり、連星重力ポテンシャルの摂動による連星軌道付近のガスの clearing が行われず連星軌道付近が高密度ガスに占められていることを明らかにした。連星によるガスの clearing がみられないことは、連星軌道に外部から比角運動量の小さなガスが供給され続けていることを示唆しており星・連星系形成や進化の新しい多様性を示す観測例となる。また、連星質量は約 1.5 太陽質量でありガス円盤の力学中心との位置関係からその質量比は 1:2 から 1:3 と推定されること、連星領域の円盤面 ($i = \text{約 } 35 \text{ deg}$) と外側の共連星円盤面 ($i = \text{約 } 70 \text{ deg}$) の傾きが異なっていること、連星との相互作用により外円盤に 200AU スケールの巨大な spiral arms が形成されていることなどが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P154a 乱流による実効的な圧力を考慮したフィラメントモデルの安定性

花輪知幸 (千葉大学), 工藤哲洋 (長崎大), 富阪幸治 (国立天文台)

星形成領域の分子雲の多くに細長く伸びたフィラメント状構造が見られることはよく知られている。またフィラメント状分子雲の分裂により星が形成されることが、付随する分子雲コアや原始星の分布から強く示唆されている。フィラメント状分子雲の自己重力不安定性は古くから知られているが、多くの理論計算では、平衡状態での密度が $\rho_0(r) = \rho_c (1 + r^2/a^2)^{-2}$ という場合に限定されている (ここで a はフィラメントの太さを表す定数)。これは、この密度分布が等温ガスの平衡解を表していることと、軸から離れた低密度領域は不安定性に大きな寄与をしないことが知られているためである。

しかし実際の密度分布はこの平衡解から大きくずれる可能性が指摘されている。また分子雲に磁場が垂直な場合、その安定性は低密度領域での変位に大きく依存する (2017 年春季年会 P146a)。このような事情を考え、密度が $\rho_0(r) = \rho_c (1 + r^2/a^2)^{-p}$ (指数 $p < 2$) となる場合について、自己重力不安定性を調べた。このような密度分布で重力と圧力が釣り合うには、低密度領域での実効的な音速が大きい必要がある。本研究では、乱流により実効的な圧力をあげたと考え、重力と釣り合う実効的な音速 $c_{s, \text{eff}}$ を密度の関数とみなして計算を行った。

Arzoumanian et al. (2011, A&Ap, 529, L6) の観測を再現する $p = 1$ で磁場がないモデルでは、最も成長の速いモードの波長はこれまでのモデル ($p = 1$) と同様フィラメントの直径の 5 倍程度である。しかし $p = 1$ の場合は分裂せずに動径方向へ収縮するモードも不安定となる。これは密度が上昇するにつれ実効的な音速が下がり、自己重力に抗して支えられる雲の線密度が下がるからである。これにフィラメントの軸に垂直な磁場を加えると成長率が下がり、不安定モードの波長が長くなる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P155a 原始星への降着流に関する3次元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、星・円盤の進化段階によって異なっており3次元構造の決定に磁場が重要な役割を担っていると考えられている。具体的には、星の磁気圏がまだ十分に発達していない時円盤は星表面までつながってガスを直接星に穏やかに供給する。一方、磁気圏が発達した段階では磁気トルクによって星半径の数倍程度の距離にある円盤ガスが磁力線に沿って星の磁極にほぼ自由落下していく、という考えである。後者のような降着流は落下時に超音速になるため衝撃波を形成してX線を出したり、高く持ち上がった降着流ガスが星からの光を遮るなど周囲の円盤に影響を及ぼす可能性がある。このように降着流の3次元構造は周囲の円盤進化にとっても重要であるにも関わらず、3次元磁気流体シミュレーションに基づく詳細な理解はほとんど進んでいない。そこで我々はAthena++コードを用いて3次元磁気流体シミュレーションを行い、まず初期に弱い磁場を持つ星への降着流構造を調べた。その結果、磁気圏が発達していない段階の星にも磁気圏降着に似た高速の降着流が星の高緯度領域に絶え間なく突き刺さっていくことがわかった。解析の結果、この高速降着流は円盤乱流によって持ち上げられたガスが星半径の数倍離れた場所で磁気トルクを受けて急激に角運動量を失い星に落下して形成されている様子が出てきた。これは磁気圏が発達していない星でも星が降着流によって隠蔽されたり、衝撃波形成を伴うような激しい降着が起きる可能性を示唆している。本発表では現状のモデルの解説と得られた結果についての考察について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P156a 衝撃波圧縮による分子雲の形成条件

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相転移過程を理解することは、星形成の直接の初期条件である分子雲コアの性質を明らかにするうえで不可欠である。中性水素原子ガスが超新星爆発や HII 領域の膨張・銀河の渦巻き構造などのさまざまな現象により動的圧縮を受けると、熱的不安定性が起き低温高密度な星間雲ができる。この星間雲に十分な質量が集まり、外部からの遠紫外線が遮蔽されると分子反応が進み分子雲へと進化する。分子雲形成の効率には磁場が重要な役割を果たしていることが指摘されている。Inoue & Inutsuka (2009) は、磁化した WNM (Warm Neutral Medium) を圧縮する数値流体計算をおこない、平均磁場にほぼ沿った圧縮でのみ高密度な星間雲ができ、それ以外の圧縮では、低密度の HI 雲しかできないことを示した。さらに一回の超新星爆発では磁場に沿って圧縮したとしても遠紫外線を遮蔽するのに十分な面密度が得られないことから、複数回の圧縮を経て平均密度が上昇し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る。Inoue & Inutsuka (2012) は、平均密度の高い中性水素ガスが磁場に沿って圧縮されると、分子雲が形成されることを示した。

本研究の目的は、Inoue & Inutsuka (2012) をさらに発展させ、どのような圧縮であれば、平均密度の高い中性水素原子ガスを分子雲に遷移できるのか、を三次元数値流体シミュレーション (Athena++) により明らかにすることである。圧縮を模擬するために、中性水素原子ガスの正面衝突を考え、平均磁場と圧縮方向の成す角と中性水素原子ガスの平均密度、衝突速度の三つの量に関して、パラメータ調査をおこなった。本講演では、分子雲が形成されうるパラメータ範囲と、生成される磁気乱流の性質の差異を報告するとともに、銀河における分子雲形成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](#)

P157a 傾いた磁場を持つ分子雲コア中でのホール効果の影響

塚本裕介 (鹿児島大), 奥住聡 (東京工業大), 岩崎一成 (大阪大), 町田正博 (九州大), 犬塚修一郎 (名古屋大)

我々は三次元輻射磁気流体力学シミュレーションによって磁場と角運動量ベクトルが相対角度を持つような分子雲コア内でホール効果がどのような役割を果たすかを調べた。その結果、ホール効果によって pseudo-disk 内の磁気トルクが大きく変わり、鋭角のなす角を持つコアと鈍角のなす角をもつコアでは磁気制動の強さが大きく異なることを発見した。このことは原始惑星系円盤の初期進化において円盤サイズの分布が二峰性を持つことを示唆する。さらに我々はホール効果によって二種類の逆回転するエンベロープが形成することを発見した。鈍角のなす角を持つコアでは pseudo-disk 上空で逆回転が、鋭角のなす角を持つコアでは pseudo-disk 内で逆回転が起こりうる。前者は比較的大きな半径の円盤を持つ YSO に付随し、後者は比較的小さな半径の円盤を持つ YSO に付随すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P158a 連星へのガス降着のシミュレーションでのコリオリの力の評価法の改善

宮澤慶次郎, 花輪知幸 (千葉大学), 松本倫明 (法政大学)

若い連星や惑星を伴った星周囲の流れのシミュレーションでは、共回転する座標系がよく用いられる。連星や惑星の軌道が円の場合、重力場が時間変化しない、周(惑)星円盤が移動しないなどの利点があるからである。しかし、保存形式での流体力学方程式にコリオリの力や遠心力が源泉項として加わるため、慣性系での運動量が保存しない可能性がある。私たちはコリオリの力の評価法を工夫すると、回転系で計算しても慣性系での保存則をより高い精度で満たすことができることを報告する。

保存形式で書いた流体力学方程式でコリオリの力は $F_{\text{coriolis}} = -2\Omega \times \rho v$ のように密度と速度の積の定数倍として現れる。本研究ではこれを、(1) コリオリの力を評価する数値格子の密度と速度を用いる [CC 型]、(2) コリオリの力を評価する数値格子の境界面での数値流束を用いる [NF 型]、(3) CC 型と NF 型の平均値を採用する [HH 型] の 3 通りについて数値実験を行った。連星の回転軸から連星間距離 a の 12 倍離れた円筒面より、比角運動量が $j = 1.2\sqrt{GMa}$ のガスを軸対称に落下させた (G と M は重力定数と連星の総質量)。連星周囲のガスを降着するガスに比べて十分に低くすると、CC 型や NF 型では新しく降着してきたガスと初期から連星周りにあるガスの境界 (衝撃波) で角運動量が不自然に変化する。CC 型では慣性系での回転の方向が逆転し、NF 型では比角運動量が数倍に増加する。系はほぼ軸対称なので、これらの急激な変化はすべて数値計算法に起因する。この変化は衝撃波が強いほど顕著である。HH 型では角運動量保存の精度が格段に向上する。これはコリオリの力の半分は質量保存則に由来するため、質量保存則と同じ数値流束を使うと整合的になる。残り半分は座標軸の回転によるもので CC 型の値が望ましい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P159a 分子雲衝突による大質量星の形成機構

井上剛志, 福井康雄, 犬塚修一郎 (名古屋大学), Patrick Hennebelle (CEA Saclay), 松本倫明 (法政大学)

大質量星は天文学的に極めて重要な天体でありながら、その形成機構は未だに理解されていない。近年、日本を中心に分子雲同士の衝突が大質量星や大質量星団形成の引き金になっているのではないかという観測結果が数多く報告されている。それらの観測が示唆する衝突速度 $> 10 \text{ km/s}$ では分子雲はマッハ数にして 50 程度以上の衝撃波に圧縮されることになる。Inoue & Fukui (2013) では分子雲がそのような高マッハ数で衝突する様子を磁気自己重力流体シミュレーションで解析しており、大質量星の種となるフィラメント状の大質量分子雲コアの形成を確認している。しかしながら、分解能の問題によって重力的に束縛されたコアの形成段階で計算を終了させていた。

そこで本研究では、適合格子計算法を用いた磁気流体コード (SFUMATO; Matsumoto 2007) を用いて、分子雲の衝撃波圧縮からフィラメント状のコア形成、さらにはコアの崩壊過程まで一貫した計算を行った。その結果、Inoue & Fukui (2013) のメカニズムで形成されたフィラメント状コアは、フィラメントに沿った大局的な重力崩壊によって大降着率でガスを中心星に供給可能であることが明らかになった。達成される降着率は 10^3 太陽質量/年に迫る大きさであり、十分に O 型星を形成可能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](#)

P160a 分子雲形成・進化・破壊と分子雲衝突現象を考慮した巨大分子雲質量関数の時間発展

小林将人, 犬塚修一郎, 小林浩, 長谷川賢二 (名古屋大学)

過去 10 年ほどで近傍銀河の電波観測が進み, 巨大分子雲の質量関数が銀河渦状腕間領域で大きな冪 (傾きが急) を持ち, それ以外の領域では小さな冪 (傾きが緩やか) 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が, 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. 同様に過去 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が, 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て Inutsuka et al. 2015 で, 巨大分子雲の形成・質量進化・破壊のモデルした巨大分子雲質量関数の時間発展方程式が定式化されている. 講演者はここに, 分子雲衝突現象を評価する衝突項を導入した. その結果, 超音速衝撃波を生成する大質量星や超新星爆発の発生頻度が高い領域にて巨大分子雲質量関数の冪が小さいこと, 分子雲衝突現象は十万太陽質量以上の大質量分子雲の成長にのみ寄与すること, 星からの輻射によって分子雲から破壊されて生成した星間ガスが, 渦状腕領域では大質量分子雲に再降着する確率が高いことを明らかにした (Kobayashi et al. 2017) ので, 本講演ではこれらを報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P161a 分子雲衝突による形成星に Photoionization フィードバックが与える影響のシミュレーション

島和宏 (北大), Elizabeth J. Tasker (ISAS/JAXA), Christoph Federrath (ANU), 羽部朝男 (北大)

大質量星形成や Super Star Cluster (SSC) 形成のメカニズムとして、分子雲衝突が注目されている。我々は、分子雲衝突と大質量星形成の可能性を明らかにする目的で、AMR コード *Enzo* を用いて分子雲衝突の数値シミュレーションを進めている。近年、分子雲衝突の候補天体が多数報告されており、観測と理論との比較の重要性が高まっている。衝突で形成された大質量星は、その強力なフィードバックで周囲の環境を変化させその後の星形成に影響するとともに、衝突分子雲の進化に影響する可能性があり、これらの特徴を明らかにすることが重要である。そこで本研究では分子雲衝突における Photoionization によるフィードバックの影響を調べた。分子雲として2つのガス球を正面衝突させ、星形成モデルとしてシンク粒子を導入する。形成された大質量星からの輻射による電離を Adaptive ray-tracing で計算し、その後の星形成に与える影響を調べた。電離領域の膨張が分子雲衝突による衝撃波縮圧領域を後押し、フィードバックを考慮しなかった場合に比べて星形成率を促進することがわかった。このフィードバックの影響は分子雲の衝突速度、大質量星が形成される位置に依存する可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P162a 炭素過剰超金属欠乏星と宇宙初期における星・連星系形成史

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

銀河系ハローで観測される超金属欠乏星では、炭素過剰を示す超金属欠乏 (CEMP) 星は、多くの割合 ($\geq 20\%$) を占め、 s -過程元素である Ba の過剰の有無によって、CEMP-s 星 ($[\text{Ba}/\text{Fe}] \geq 0.5$) と小さい CEMP-no 星 ($[\text{Ba}/\text{Fe}] < 0.5$) に類別される。両者を分ける $[\text{Ba}/\text{Fe}]$ は、 s -過程元素合成の効率と炭素組成 $[\text{C}/\text{H}]$ の違いによって決まるが、観測からは、両者は、 s -過程の効率ではほぼ同じ範囲に分布するのに対し、炭素組成は、CEMP-s 星は $[\text{C}/\text{H}] > -1.5$ 、CEMP-no 星は $[\text{C}/\text{H}] < -1.5$ に各々ピークをもつ二峰性分布を示す。

CEMP 星の形成機構として提唱されている、連星系における AGB 主星からの質量降着シナリオ (Suda et al. 2004, Komiya et al. 2007) では、CEMP 星表面の炭素組成の違いは母胎となる連星系の軌道半径に還元される。本研究では、上記モデルを採用し、CEMP-s 星と CEMP-no 星の炭素組成を再現する親連星系の初期周期分布を求め、それが CEMP の観測から求められた周期分布や連星頻度、及び、現在の連星周期分布と矛盾しないことを示す。CEMP-s 星と CEMP-no 星は、周期あるいは軌道半径分布の異なる連星系で形成されることになるが、一方、両者は金属量依存性についても異なる。CEMP-s 星は、金属量が $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -3.3$ のみ観測され、それ以下の金属量のものは皆無であるのに対し、CEMP-no 星は、Ba が観測される $[\text{Fe}/\text{H}] \geq -4.5$ 以上の、存在可能な全金属量の領域にわたって、存在する。これは、初期宇宙に形成された連星系の周期分布が、宇宙の金属量の増加とともに変化したことを示している。講演では、本研究の結果に基づき、宇宙初期の星・連星の形成史、および、その物理過程について得られる知見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](#)

P163a 初代星形成シミュレーションにおける星周円盤の分裂について

須佐元 (甲南大学理工学部)

現在初代星形成の理論的研究は、質量降着期において星周円盤から分裂した分裂片がその後どのような進化をたどるかに主な興味が移っている。これまでの研究では分裂片は円盤中で migration を起こし、互いに合体することが報告されている一方、多数の分裂片が長時間生き残り、多重連星系や小規模な星団を構成するケースがあることも報告されている。しかしこれらの研究は計算の手法が異なり、シンクを用いた計算手法と、状態方程式を硬くすることにより分裂片の進化を実効的に止めて計算を進める手法がとられてきた。カオス系であるのでそれぞれの手法によって詳細な進化は定量的に異なることが予測されるが、分裂片の数も大きく異なる可能性が指摘されている。そこでまずこの研究ではできる限り条件をそろえ、異なる二つの方法についてその結果を比較した。その結果シンク生成を行う方法では、降着半径がシンク生成時の温度・密度におけるジーンズ長を超える半径に取られていれば状態方程式を硬くする方法と大きく変わらない結果となることがわかった。一方で上記の条件を破って降着半径を小さく取りすぎると、非物理的な分裂が起き、劇的に「分裂片」の数が1桁以上増えることもわかった。

もう一点、状態方程式を硬くする計算法で分裂片の形状および角速度を測定すると、多くの分裂片で自由落下時間で規格化した角速度が一定の値に収束していくことがわかった。この値はヤコビ楕円体とマクローリン楕円体の分岐点付近にあたり、原始星のスピンを決める普遍的なプロセスである可能性がある。

本講演ではこれらの結果と、これらの計算から期待される原始星の自転の速さについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P164a 遠方宇宙の星団中での暴走的衝突による中間質量ブラックホール形成

櫻井祐也(東京大), 吉田直紀(東京大), 藤井通子(東京大), 平野信吾(テキサス大)

宇宙年齢が10億歳未満の遠方宇宙において、10億太陽質量以上の超巨大ブラックホール(SuperMassive Black Hole: SMBH)が存在することが近年の可視・赤外観測により分かってきた。このようなSMBHの早期形成を、より小さな種BHからの降着・合体成長により説明する試みが活発に行われている。本研究ではその試みの一つである、遠方宇宙で形成された高密星団中での暴走的衝突過程による千太陽質量程度の大質量星形成を数値計算で考え、続く中間質量BH形成とこのBHのその後の成長について議論する。

我々は、遠方宇宙で形成される星団において暴走的衝突過程による大質量形成が如何なる条件で発生するか明らかにする目的のもと数値計算を行った。まずGadget-3コード(Springel 2005, Hirano et al. 2014)による粒子法宇宙論的流体シミュレーションから宇宙が2-4億歳の時期に形成する2-4千万太陽質量の原子冷却ハローを8個取り出した。これらのハロー中のガス雲において星団が形成するという仮定のもと、星形成効率と星の質量関数に関するパラメータを与え6千-2万体の星分布を生成した。この星分布を初期条件として、精密N体計算が可能なBRIDGEコード(Fujii et al. 2007)で星の衝突を考慮した星団の力学進化を300万年間追った。

N体計算の結果、8個の星団全てにおいて暴走的衝突が起き、400-1900太陽質量程度の大質量星形成が起きることが明らかになった。これらの星の質量は、元のガス雲の質量と中心密度が大きいほど、また中心速度分散が小さいほど、大きくなる傾向があることが分かった。これらの星からできる中間質量BHの質量と元のガス雲質量との相関を近傍観測のものと比較したところ、よく一致した。観測で示唆された星団中の中間質量BHは、このシナリオにより形成された中間質量BHがその後成長せずに現在まで残ったものである可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P165a ブラックホール降着円盤へのガス降着率とガスの角運動量の関係

杉村和幸 (東北大学), 細川隆史 (東京大学), 矢島秀伸 (東北大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 大向一行 (東北大学)

超巨大ブラックホールの形成過程を明らかにすることは、宇宙開闢から現在に至るまでの天体形成史を理解する上で非常に重要である。しかし、超巨大ブラックホールの種がどのように作られ、その後どのような過程を経て超巨大ブラックホールまで成長したかについて、我々はまだ標準的なシナリオを確立するに至っていない。

標準的なシナリオが確立されていない理由の一つに、種ブラックホールへのガス降着率についての理解が不足していることが挙げられる。先行研究では、主に輻射フィードバックによって降着率がどの程度低下するかについて調べられてきたが、ガスの角運動量が降着率にどのような影響を与えるかについての理解はほとんど進んでいなかった。

本講演では、中心ブラックホールからの輻射フィードバックとガスの角運動量の効果を考慮した二次元流体シミュレーションの結果について紹介する。また、その結果を用いて、ガスの角運動量と降着率の関係について解析的な考察を加える。最後に、本研究に基づいて超巨大ブラックホールの形成シナリオについて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P166a 若い連星系 GJ1108A の軌道決定と、前主系列星の質量決定精度

水木敏幸 (ISAS/JAXA), 葛原昌幸 (ABC), Kyle Mede(東京大学), Joshua Schlieder(NASA), Markus Janson(Stockholms universitet), Timothy David Brandt(Princeton University), 山田亨 (ISAS/JAXA), SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

M 型星のような低質量星は前主系列段階 ($\leq 100\text{--}200$ Myr) において冷却収縮を行う。この進化過程は観測的に色等級図上では比較的良く理解されているが、天体の質量や半径の推定に関しては不定性が存在する事が若い食連星等を用いた先行研究により明らかになっている (Hillenbrand&White 2004, Stassun et al. 2014)。

我々はすばる望遠鏡を始め、複数の観測所で取得された高分解能撮像データと高分散分光データを用いて、顕著な活動性を示し且つ若い運動星団 (40–50 Myr) に属するとされる M 型連星系 GJ1108A の軌道決定を行なった。軌道に若干の不定性が残るものの、主星 ($\sim 0.4M_{\odot}$) の力学的質量は、年齢と光度から算出したモデル換算質量 ($\sim 0.6M_{\odot}$) に対し 1.5σ 近く不一致だった。一方で、伴星の力学質量はモデルが示唆するものと比較的一致していることから、系の年齢推定に関する不定性では上記質量不一致の説明は困難である。また、GJ1108A と同様に軌道決定が為された前主系列段階にある連星を用いて、質量比較を行った所、多くの天体は $\pm 10\%$ 程度の精度で一致することが判明した。この GJ1108Aa の質量不一致 (光度の見積もり間違い) は、主星の半径がモデルが推定しているものより小さい事を示唆しており、前主系列段階にある低質量星は数十 Myr においても星形成時の質量降着の名残を残している可能性がある。本講演では、GJ1108A 系の軌道決定に関する報告に併せて、進化モデル (Baraffe et al., 2015) を用いた前主系列星の質量決定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](#)

【P2. 星・惑星形成】

9月12日(火) 午前(10:30-11:18) [D会場]

P201a	10:30	すばる IRD による M 型矮星周りの地球型惑星探索 IV : サンプル 大宮正士 (国立天文台)
P202a	10:42	高金属量 FGK 型星周りの惑星探索 : 3 惑星系検出 原川紘季 (国立天文台)
P203a	10:54	ウォームジュピターの近傍を公転する付随天体の発見とその形成過程への示唆 増田賢人 (Princeton University)
P204b	11:06	球状星団には本当に惑星が少ないのか? —きょしちょう座 47 における HST サーベイ結果の再検討— 増田賢人 (Princeton University)
P205b	11:06	太陽系外惑星 TrES-3 b の近赤外線トランジット観測 多葉田晴日 (兵庫県立大学)
P206b	11:06	太陽系外惑星 HAT-P-16b のトランジット超低分散分光観測 矢口聖 (兵庫県立大学)
P207c		K2 ミッションで検出された小型惑星候補の地上追観測 平野照幸 (東京工業大学)
P208b	11:18	2015 年 4 月 4 日皆既月食の偏光分光観測 高橋隼 (兵庫県立大学)
P209b	11:18	高空隙率ダストアグリゲイトの衝突によるコンドリュール紛失の可能性 荒川創太 (東京工業大学)
P210b	11:18	3 次元衝突シミュレーションによる焼結したアグリゲイトの破壊強度測定 長尾整道 (東京工業大学)

9月12日(火) 午後(13:00-14:48) [D会場]

P211a	13:00	原始惑星系円盤における重力不安定の非線形発展 廣瀬重信 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)
P212a	13:12	ロスビー波不安定性によって形成される渦の性質・多様性 小野智弘 (京都大学)
P213b	13:24	海王星型惑星に対する巨大衝突の考察 1 : 計算法の開発 黒崎健二 (名古屋大学)
P214b	13:24	地球型惑星の衝突脱ガスと大気剥ぎ取りにおける元素分配の寄与 櫻庭遥 (東京工業大学)
P215b	13:24	巨大衝突によるデブリ円盤からの天王星の衛星形成 石澤祐弥 (京都大学)
P216a	13:36	周惑星円盤の形成と温度構造に関する数値シミュレーション 藤井悠里 (名古屋大学)
P217b	13:48	数値流体シミュレーションを用いた惑星軌道進化計算 金川和弘 (シュチェチン大学)
P218b	13:48	移動と他の惑星の存在が巨大ガス惑星の固体物質獲得量に与える影響 柴田翔 (東京大学)
P219b	13:48	原始惑星系円盤中での周連星惑星の軌道進化 山中陽裕 (京都大学)
P220a	14:00	Extended Tail Structure Associated with a Protoplanetary Disc around SU Aur Eiji Akiyama (NAOJ)
P221a	14:12	ALMA 分光観測による原始惑星系円盤の H ₂ O スノーラインの同定可能性 野津翔太 (京都大学)
P222a	14:24	原始惑星系円盤からの衝撃波トレーサー分子の ALMA 観測 野村英子 (東京工業大学)
P223a	14:36	ASTE 望遠鏡を用いたデブリ円盤の [C I] ³ P ₁₋₃ P ₀ 観測 2 佐藤愛樹 (茨城大学)
P224b	14:48	ALMA による原始惑星系円盤の [C I] ⁽³ P ₁₋₃ P ₀) 輝線サーベイ観測 塚越崇 (茨城大学)
P225b	14:48	ALMA を用いた海王星成層圏大気構造空間分布の観測的取得 飯野孝浩 (東京農工大学)
P226b	14:48	原始惑星系円盤における永年重力不安定性の非線形解析 富永遼佑 (名古屋大学)
P227c		質量降着を利用した非常に若い惑星の直接撮像探査 2 鶴山太智 (東京大学)

(次頁に続く)

【P2. 星・惑星形成】

9月13日(水) 午前(09:30-11:30) [D会場]

P228a	09:30	ケプラー測光データを用いた岩石からなる惑星リング探査 逢澤正嵩 (東京大学)
P229a	09:42	重力マイクロレンズ天体の星像内のコンタミの確率のベイズ推定法の確立 越本直季 (大阪大学)
P230a	09:54	Multiple Paths of Deuterium Fractionation in Protoplanetary Disks 相川祐理 (東京大学)
P231a	10:06	系外惑星による系外小惑星の散乱と蒸発 長沢真樹子 (久留米大学)
P232a	10:18	1次元放射流体計算による集積期巨大ガス惑星からの水素輝線強度の推定 青山雄彦 (東京大学)
P233a	10:30	氷成分に富む大気を持った巨大ガス惑星の放射強度 黒崎健二 (名古屋大学)
P234a	10:42	雪降る原始惑星エンベロップの冷却限界とガス集積過程への影響について 生駒大洋 (東京大学)
P235a	10:54	ヘイズを持つ系外惑星の大気透過スペクトルモデル: GJ 1214b と GJ 3470b, GJ 436b への応用 川島由依 (東京大学)
P236a	11:06	ホットジュピターからの質量放出および高層大気構造の磁場強度依存性 田中佑希 (鹿児島大学)
P237a	11:18	X線天文衛星「すざく」とXMM-NewtonによるHD162020の観測 江副祐一郎 (首都大学東京)

9月13日(水) 午後(13:30-15:30) [D会場]

P238a	13:30	大規模並列粒子シミュレーションコード開発用フレームワークFDPSのFortranインターフェースの開発 行方大輔 (理化学研究所)
P239a	13:42	粒子系シミュレータ開発フレームワークFDPSのアクセラレータ対応 岩澤全規 (理化学研究所)
P240a	13:54	大規模並列粒子シミュレーションコード開発用フレームワークFDPSの惑星形成・リング計算向け最適化 牧野淳一郎 (神戸大学)
P241a	14:06	原始惑星系円盤乱流場中のダスト粒子運動: 非圧縮性乱流と圧縮性乱流の比較 櫻井幹記 (名古屋大学)
P242a	14:18	氷マントルダストのサイズ分布とダスト付着成長への影響 田中秀和 (東北大学)
P243a	14:30	乱流中の多孔質ダストの運動とダスト層の重力不安定 道越秀吾 (京都女子大学)
P244a	14:42	乱流の直接数値計算を用いた原始惑星系円盤中の岩石ダストの衝突付着成長シミュレーション 濱端航平 (名古屋大学)
P245a	14:54	円盤風によって進化する原始惑星系円盤中でのダスト面密度進化 瀧哲朗 (国立天文台)
P246a	15:06	微惑星から惑星への乱流円盤中での成長 小林浩 (名古屋大学)
P247a	15:18	小惑星の衝突破壊・重力再集積による形状形成: 細長い小惑星形成のための衝突条件 杉浦圭祐 (名古屋大学)

P201a すばる IRD による M 型矮星周りの地球型惑星探索 IV : サンプル

大宮正士 (国立天文台), 佐藤文衛, 平野照幸 (東工大), 葛原昌幸, 小谷隆行 (ABC), 青木和光, 中島紀, 福井暁彦, 原川紘季 (国立天文台), 成田憲保, 田村元秀 (東大), 比田井昌英 (東海大), 西山正吾 (宮城教育大), IRD チーム

赤外ドップラー装置 IRD とすばる望遠鏡を用いて、地球型惑星探索を計画している (e.g. 2014 年春季年会 P231a)。本プロジェクトでは、中期-晩期型 M 型矮星を近赤外ドップラー惑星探索のターゲットにすることによって、低質量星の周りのハビタブルゾーンにある地球型惑星を探索し、低質量星における地球質量以上の惑星を持つ惑星系の統計的性質理解を目指す。しかし、太陽近傍の M 型矮星には、活動度が高く自転速度が早いために視線速度精密測定に向かない天体が多数存在していることが知られている。そこで、我々は既存のカタログと事前観測の結果に基づいて、地球型惑星探索を行うサンプル星について検討したので報告する。

視線速度法による惑星サーベイに適する近傍 M 型矮星を厳選するために、初めに、既存のカタログから年周視差が測られている中期-晩期 M 型矮星を集めた (2015 年秋季年会 P231a)。そして、それらの M 型矮星に対する $H\alpha$ 線の中分散分光観測の結果 (2016 年秋季年会 P207a) を用いて、 $H\alpha$ 線が強い輝線になっている M 型矮星は射影自転速度が速いという傾向から、射影自転速度が遅く表面活動が弱いと考えられる天体を抽出した。さらに、複数の異なる条件を用いて複数のサンプルリストを作成し、リスト毎に惑星サーベイ用観測プランを用いた観測シミュレーションを行って惑星発見数の期待値を求めた。リスト毎の期待される惑星発見数をもとに、低質量星周りの地球型惑星の発見、惑星系の統計理解という目標を達成するのに適したサンプル星を選ぶ。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a 高金属量 FGK 型星周りの惑星探索：3 惑星系検出

原川紘季, 大宮正士 (国立天文台), 佐藤文衛, 長谷川椋, 宝田拓也 (東工大), Debra A. Fischer (Yale University), HIDES-F 開発チーム, N2K コンソーシアム

太陽系をはじめとした一般的な惑星系の形成過程を理解するためには、数日以内の極短周期から 1000 日を超えるような長周期のものまで含めた惑星の分布の傾向を捉えることが必要である。また、中心星パラメータが惑星系形成へ与える影響についても極めて重要で、特に中心星金属量はガス惑星の存在頻度との正の相関が顕著であることがよく知られている。しかし、この正の相関は惑星の軌道周期についての分布を考慮しておらず、金属量の惑星軌道半径分布への影響はまだ分かっていない。コア集積モデルでの惑星形成過程では、惑星の最終的な軌道半径は、原始惑星系円盤との相互作用による軌道移動や惑星同士の軌道散乱の影響を受けるため、固体物質量の指標である金属量や、円盤散逸タイムスケールが最終的な惑星系の分布を決めると考えられるが、近年になって、円盤寿命についても金属量と正の相関があることが、観測・理論両面から指摘されており、中心星金属量が惑星系の最終的な軌道分布を決めている極めて重要なパラメータである可能性がある。

我々は、金属量が惑星系形成に与える影響を調べるため、高金属量 FGK 型星 635 個をターゲットにして 2009 年より岡山 188cm/HIDES-S(スリット), F(ファイバー), すばる/HDS を駆使して継続的な視線速度モニタリングを行なっている。現在までに 7 個の系外惑星を検出し、さらに 40 個ほどの候補天体を有している。

本講演では、新たに検出された 3 つの惑星系について報告を行う。うち 2 つが惑星が 2 つある系であり、1 つが単独惑星系である。質量・周期はそれぞれ $0.5 \cdot 3$ 木星質量、 $15 \cdot 2300$ 日、 $1.2 \cdot 3.5$ 木星質量、 $333 \cdot 1345$ 日のペア、そして 7.7 木星質量 774 日の単独惑星系であり、いずれの惑星も $0.4-0.6$ と高い離心率を呈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](#)

P203a ウォームジュピターの近傍を公転する付随天体の発見とその形成過程への示唆

増田賢人 (Princeton University)

ケプラー衛星のデータを用いたトランジット周期・継続時間の変動の解析により、Kepler-448b (周期 17.9 日/1.23 木星半径) と Kepler-693b (周期 15.4 日/0.91 木星半径) という 2 つのウォームジュピター (WJ; 周期 10 日から 100 日程度の木星サイズ惑星) の外側に、トランジットしていない付随天体を発見した。トランジット変動の力学的モデル化によると、付随天体の質量はそれぞれ 22^{+7}_{-5} 木星質量 (Kepler-448c) および 150^{+60}_{-40} 木星質量 (Kepler-693c) で、いずれも近星点距離が約 1.5 au の離心軌道 ($e \gtrsim 0.5$) にある。さらに Kepler-693 系では、付随天体の軌道面は内側の WJ と 53^{+7}_{-9} 度もしくは 134^{+11}_{-10} 度ずれており、傾いた天体による永年摂動の効果 (いわゆる古在機構) によって内側の WJ の離心率は数千年の時間スケールで振動している可能性が高い。

離心率の振動のピークでは WJ の近星点が主星と近くなるため、惑星の潮汐変形に伴うエネルギーの散逸が生じ、WJ の軌道は徐々に収縮しつつある可能性がある。このような“離心率の励起とそれに伴う潮汐摩擦によるエネルギー散逸”という軌道収縮の機構は、ホットジュピター形成の文脈で提案され、近年では一部の WJ も同様に形成された可能性が議論されている。今回発見した系は、ホットジュピターへと進化しつつある惑星の実例として、このようなシナリオを裏付けるものかもしれない。一方で、惑星系の外側わずか 1.5 au における褐色矮星もしくは M 型星の存在は、WJ が数 au 以遠で形成され、上述のプロセスで内側に移動したという描像とは相容れない。この特徴は、WJ が比較的早い段階で形成され円盤との相互作用で内側に移動したのち、外側天体が何らかの過程で現在の軌道を獲得した、あるいは WJ がはじめから雪線の内側で“その場形成”されたことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P204b 球状星団には本当に惑星が少ないのか？ —きょしちょう座 47 における HST サーベイ結果の再検討—

増田賢人, Joshua N. Winn (Princeton University)

近年、散開星団に属する恒星まわりには惑星が見つかっているが、球状星団での発見例は無い。球状星団での惑星の存在頻度に最も強い上限を与えたのが、47 Tucanae におけるハッブル宇宙望遠鏡を用いたトランジット惑星探査 (Gilliland et al. 2000) である。このサーベイでは、47 Tuc に属する約 34000 の主系列星を、木星サイズ惑星のトランジットが検出可能な精度で 8.3 日間にわたり測光観測した。2000 年当時までの太陽系近傍の視線速度サーベイの統計に基づくと、約 17 のホットジュピター (HJ) 検出が見込まれたにも関わらず、惑星は検出されなかった。このことから、47 Tuc における惑星の存在頻度は太陽系近傍より 1 桁以上低いという結論が得られ、それを説明するための様々な理論的シナリオが提案されてきた。しかし、当時知られていたトランジット HJ は HD 209458b の一例のみであり、見積もられた検出数はすべての HJ がそれと同様な半径と公転周期をもつという強い仮定に基づいていた。そこで我々は、ケプラー宇宙望遠鏡によって得られた最新の統計を用いて、Gilliland et al. (2000) のサーベイにおける検出数の見積もりの再評価を行った。その結果、47 Tuc で観測された恒星がケプラーフィールドの恒星と全く同様の惑星を持っていた場合に期待される検出数は $4.0^{+1.7}_{-1.4}$ であり、さらに両者の質量の違い (47 Tuc のほうが晩期型が多い) を補正すると $2.2^{+1.6}_{-1.1}$ となることがわかった。これらの数字は依然として 47 Tuc における HJ の存在頻度がケプラーフィールドよりも低いことを示唆するが、その有意性は従来考えられていたよりも遥かに低い。したがって少なくとも観測的には、我々は球状星団における惑星の存在頻度について未だ多くの情報を持っておらず、その理解のためにはさらに大規模/高感度なサーベイが必要とされる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205b 太陽系外惑星 TrES-3 b の近赤外線トランジット観測

多葉田晴日、伊藤洋一、高橋隼 (兵庫県立大学)

トランジット法により数多くの系外惑星が検出されてきた。こうした天体ではトランジット中に主星からの光の一部が惑星の上層大気を通過し、部分的に吸収されることがある。この吸収は波長依存性を持ち、特定の原子・分子の遷移による光学的厚みが増すため、惑星の半径は大きくなる。従って、多波長でのトランジット観測を行えば、惑星の大気について知ることができる。

TrES-3 b は可視光のトランジット観測により公転周期が 1.306 日、惑星の半径が $1.336^{+0.031}_{-0.037}R_J$ と求められているホットジュピターである (Sozzetti et al. 2009)。我々は、2015 年 3 月 19 日にこの惑星系を西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡「なゆた」に近赤外域 J($1.22\mu\text{m}$)H($1.65\mu\text{m}$)K($2.16\mu\text{m}$) の 3 バンドを同時に撮像できる近赤外撮像装置 NIC を搭載し観測した。観測時間はトランジット前後を含めて約 2 時間半で、30 秒の露出を繰り返した。得られたデータを解析した結果、J バンドで 0.0261 ± 0.0036 等級、H バンドで 0.0276 ± 0.0022 等級、K バンドで 0.0300 ± 0.0054 等級の減光が見られた。惑星の半径は J バンドで $1.244^{+0.082}_{-0.088}R_J$ 、H バンドで $1.279^{+0.049}_{-0.051}R_J$ 、K バンドで $1.332^{+0.113}_{-0.124}R_J$ と見積もられる。

講演では、可視光観測から得られた半径と比較し、惑星大気について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P206b 太陽系外惑星 HAT-P-16b 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-16b は 2010 年に発見され、公転周期が 2.7760 日、惑星半径と恒星の半径比は i バンドで 0.1071 ± 0.0014 と求められたホットジュピターである (Buchhave et al. 2010)。

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-16b を観測した。超低分散グリズムモード (R~80) を使用し、波長範囲 6000Å-9000Å のスペクトルを得た。HAT-P-16b のトランジット継続時間は 184 分で、本観測ではトランジットを含む 299 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-16 と 150 秒角離れ、V 等級で 1.05 等級暗く、K5 型の天体を参照星として同時に観測した。

解析の結果、6500Å-8500Å においてトランジットの深さはほぼ一定であることが分かった。トランジットの深さの平均は 0.0160 ± 0.0012 等級、惑星と恒星の半径比の平均は $0.1211^{+0.0044}_{-0.0045}$ 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](#)

P207c K2 ミッションで検出された小型惑星候補の地上追観測

平野照幸，宮川浩平，佐藤文衛（東工大），福井暁彦（国立天文台），成田憲保，John Livingston（東大），笠嗣瑠（総研大），葛原昌幸（アストロバイオロジーセンター），KESPRINT チーム

ケプラー宇宙望遠鏡の姿勢制御装置の故障に伴い2014年に開始された「K2 ミッション」では元の「ケプラー ミッション」より短い観測期間を考慮して比較的明るい星を主なターゲットとしてトランジット惑星探査が実施されている。開始から3年余りのサーベイですでに確認された惑星数は100個を超え，さらに数百個もの惑星候補が報告されていることから今後確認される惑星の数は飛躍的に増大することが期待される。

K2 ミッションでは取得された時系列画像データのみが公開され，その解析から惑星候補の検出は全て世界の各研究グループに委ねられている。そこで我々はKESPRINT と呼ばれる国際研究チームを作り，惑星候補の検出から地上追観測までを連携して行う態勢を整えている。参加する各研究機関はそれぞれアクセス可能な望遠鏡時間等を生かして太陽型星，進化した星，低温度星など様々なタイプの恒星のまわりのトランジット惑星の発見確認に努めている。

本講演ではこの一年間にKESPRINT で確認された惑星系のうち，とりわけユニークなものを取り上げて紹介する。特に今回は，一般に視線速度観測による発見確認が難しい低温度星（M型星）に対し，AO撮像や多波長トランジット観測等の様々な追観測を組み合わせることで惑星を確認する取り組みについて説明し，K2天体の観測を通じて見えてきたM型中心星の性質と惑星の特徴の相関を中心に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208b 2015年4月4日皆既月食の偏光分光観測

高橋隼, 伊藤洋一, 細谷謙介 (兵庫県立大学), Padma A. Yanamandra-Fisher (Space Science Institute), 服部堯 (国立天文台)

月食の偏光は「忘れられた謎」である。月食中の月は、地球大気を透過し僅かに屈折した太陽光に照らされる。Coyne & Pellicori (1970) は、1968年4月13日の月食中に月が波長 534 nm 付近で約 2%偏光していたと報告した。彼らは太陽光が地球大気を透過する際に偏光が生じたと考えたが、具体的な仕組みは解明されなかった。彼らの報告以降、月食の偏光についての研究は文献上に見当たらない。

もし光が惑星大気を透過する際に偏光が生じるのならば、「トランジット偏光観測」という新しい系外惑星大気調査手法を手にすることができるかもしれない。その科学的意義や実現可能性を評価するには、月食が偏光しているかを確認し、偏光しているのならば偏光の原因を理解する必要がある。

そこで、我々は2015年4月4日に、すばる望遠鏡およびFOCASを用いて月食中の月を偏光分光観測した。月の南側の縁を追尾し、観測地点が本影に入る直前から食が最大となる時刻付近まで連続的にデータを取得できた。取得波長範囲は 500–800 nm である。導出した偏光度スペクトルは、本影に入る前は全波長にわたってほぼ無偏光であったが、本影に入った後は時間とともに一部の波長で偏光度が増大した。食が最大となる時刻付近で、波長 500–600 nm の範囲、および波長 760nm 付近の酸素分子 A バンドで、2-3%の偏光度を示した。

観測された偏光の原因について、複数の候補を検討した。その結果、太陽光が地球大気を透過する際の非等方的な2回散乱と、地球大気が持つ緯度方向の何らかの非一様性が組み合わさって偏光が生じたとの説明が、最も観測結果と整合的であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209b 高空隙率ダストアグリゲイトの衝突によるコンドリュール紛失の可能性

荒川創太, 中本泰史 (東京工業大学)

原始惑星系円盤における衝突合体によってダストアグリゲイトは空隙率の高い構造に進化することがダストアグリゲイトの衝突数値計算 (e.g., Wada et al. 2008) により示されている。岩石を主な構成要素とするダストアグリゲイトの場合について、近年、いくつかの研究によって衝突破壊問題が回避されうる条件が示されており (e.g., Kimura et al. 2015; Arakawa & Nakamoto 2016; Piani et al. 2017), この場合にはダストアグリゲイトの密度進化を考慮することで直接合体成長による岩石微惑星形成 (e.g., Okuzumi et al. 2012) が可能になる。

しかし、太陽系における岩石微惑星形成を議論する上で、我々はダストアグリゲイト中におけるコンドリュールの保持という問題についても検討する必要がある。地球に落下する隕石の大半はコンドリュールと呼ばれる mm サイズの球形粒子がサブミクロンサイズの粒子からなる基質に埋まった構造をしている。さらに、コンドリュールと基質部分の化学的相補性は、隕石の空間スケール (cm サイズ) でコンドリュールと基質が均質に保持されたまま、コンドライト隕石母天体が形成されたことを示している (e.g., Palme et al. 2015; Budde et al. 2016)。

そこで、本研究では低密度化した、コンドリュールを含むダストアグリゲイトの原始惑星系円盤内での衝突成長について、コンドリュールが高空隙率ダストアグリゲイト内部に保持されうるかどうかという観点から検討した。ダストアグリゲイトの内部密度は静的圧縮過程 (Kataoka et al. 2013) で決定され、また、基質中におけるコンドリュールの移動距離はコンドリュールと基質部分の相対速度、基質の圧縮強度および密度によって決まる (e.g., Machii et al. 2013)。我々は、同サイズのアグリゲイトの衝突合体成長において、コンドリュールの保持は困難であることを示す。また、コンドリュールの保持は岩石微惑星の進化経路に対し、密度の下限という制約を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210b 3次元衝突シミュレーションによる焼結したアグリゲイトの破壊強度測定

長尾整道, 奥住聡 (東京工業大学), 城野信一 (名古屋大学), 田中秀和 (東北大学)

ダストアグリゲイトは、粒子の衝突合体によって作られる粒子の集合体であり、微惑星の材料になる。ダストアグリゲイトが形成されるには、アグリゲイト同士が衝突しても壊れないことが必要であり、成長可能な衝突速度についていくつかの3次元衝突シミュレーションが行われてきた。しかし、これまでの3次元衝突シミュレーションでは焼結の効果は考慮されていなかった。焼結とは、融点より少し低い温度で微粒子の集合体を温めることにより構成分子が微粒子の接触面に移動する現象のことである。焼結が進むと、その集合体は硬化する一方、塑性は失われて脆くなる。現在、2次元での焼結の効果を入れたアグリゲイト衝突シミュレーションは、Sirono & Ueno (2017) により既に行われている。その結果は、焼結が起こるとアグリゲイトは壊れやすくなることを示している。

本研究では、焼結の効果を入れた3次元衝突シミュレーションを行った。その目的は、焼結がダストアグリゲイトの衝突に与える影響を、より現実的な3次元の計算で明らかにすることである。シミュレーションでは、主に成長可能な速度、破片分布について調べた。

3次元のシミュレーションの結果、成長可能な速度や、破片分布、また跳ね返りの有無について、2次元シミュレーションとの違いが見られた。これは、2次元と3次元のアグリゲイトの幾何学的な構造の違いが原因だと思われる。本発表では、衝突による圧縮の度合いや、衝突による接触点の増減についても簡単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](#)

P211a 原始惑星系円盤における重力不安定の非線形発展

廣瀬 重信 (JAMSETC), Jiming Shi (Princeton University)

原始惑星系円盤は、その初期段階において、重力的に不安定になるだけの質量を持つ可能性がある (e.g. Kratter & Lodato 2016)。その場合、重力不安定の非線形発展は、その後の惑星形成プロセスに与える影響も大きい。そこで、我々は3次元シアリングボックスにおける輻射流体シミュレーションを用いて、原始惑星系円盤における重力不安定の非線形発展を調べている (Hirose & Shi 2017)。シアリングボックスでは、長距離力である重力による大局的なエネルギー輸送を取り扱うことができないため、本研究では、その影響が少ないと考えられる、中心星質量のおよそ25%以下の質量を持つ原始惑星系円盤 (e.g. Lodato & Rice 2004, 2005) を対象にしている。本研究における輻射流体シミュレーションでは、現実的なオパシティと状態方程式を用いているほか、原始惑星系円盤における主要な熱源である中心星の可視光照射も取り入れており、現実的な熱力学のもとでの重力不安定の非線形発展を調べていることが特徴である。このシアリングボックスシミュレーションにおける物理パラメータは、中心星からの距離、面密度 (初期 Toomre Q 値)、可視光照射角度の3つだけになる。前回の報告 (2016年度秋季年会) では、主に、中心星からの距離を 50 AU、可視光照射角度を 0.02 とした場合に、重力乱流の性質が面密度にどのように依存するかについて議論した (Hirose & Shi 2017)。今回は、可視光照射角度を 0.02 に固定した上で、中心星からの距離 (15 AU ~ 90 AU) と面密度 (原始惑星系円盤の中心星に対する質量比に換算して、5 ~ 25%) の2つが張るパラメータ空間において、重力不安定の非線形発展を系統的に調べたので、それについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212a ロスビー波不安定性によって形成される渦の性質・多様性

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)

ALMA 望遠鏡などによる近年の観測によって、方位角方向に物質が偏った構造を持つ原始惑星系円盤の存在が明らかになってきた。この構造の成因として、円盤上における巨大渦の存在が提案されている。円盤構造が動径方向に急激に変化する時、流体不安定性の一種であるロスビー波不安定性によって渦が形成され得る。しかし、ロスビー波不安定によって形成される渦の性質・多様性について、これまで十分には調べられてこなかった。

我々は Athena++コードを用いることで、ロスビー波不安定性による渦形成の数値流体計算を数多く行った。初期条件として、面密度分布にガウシアン状のバンプを持つ2次元円盤を採用し、バンプの形状をパラメータとして広く変化させた。渦形成後の円盤面密度分布について軸対称成分と非軸対称成分に分けて解析し、それぞれの成分が持つ性質について調べた。非軸対称成分の解析から、渦の性質を特徴付ける渦の動径幅・アスペクト比・コントラストが満たす関係性を明らかにした。この結果は、ALMA 望遠鏡などによる原始惑星系円盤の高解像度観測への定量的な予測につながることを期待できる。一方、渦が存在する円盤の軸対称成分はロスビー波不安定性に対して不安定であることが分かった。これは、直接的には検出できないほど弱い渦であっても、軸対称成分を調べることによって渦の存在・性質に制限を与えられることを示唆する。本講演では以上の結果をまとめ、ロスビー波不安定性によって形成される渦の性質・多様性を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P213b 海王星型惑星に対する巨大衝突の考察1：計算法の開発

黒崎健二，犬塚修一郎（名古屋大学）

近年の観測技術向上と観測データの蓄積により，太陽系外には地球の数倍程度の半径の惑星，すなわち海王星サイズの天体が多数報告されている．特に，Kepler 望遠鏡の成果により，海王星サイズの天体の報告数は最も多い，これらの天体は，その平均密度から，固体成分のコアに分厚い大気をまとった惑星か，氷成分に富んだ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) が指摘される他，内部組成が混合することも考えられる (Liu et al. 2015)．特に，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ため (Kurosaki & Ikoma 2017)，巨大衝突によって決定される海王星型惑星の初期条件は，観測された惑星系と比較・検証する上で重要であり，Smoothed Particle Hydrodynamics 法 (SPH 法) による計算を採用する．

本講演では，開発した計算法の精度と有効性などについて報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214b 地球型惑星の衝突脱ガスと大気剥ぎ取りにおける元素分配の寄与

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)

地球型惑星の大気に含まれる希ガスは、大気や海洋、生命のもととなる揮発性元素の起源を知る重要な手がかりである。地球型惑星の大気は、隕石重爆撃期における天体衝突による衝突脱ガスという共通の起源を持つと考えられている (de Niem et al. 2012 など)。しかし、金星・地球・火星の希ガス量はこの順で約 2 桁ずつ少なくなっており、その原因は未だ解明されていない。そこで、惑星表層環境の違いに着目した。初期の金星は高温の水蒸気大気が形成される暴走温室状態、地球は海洋形成と炭素循環による温暖な表層環境、火星では寒冷で H_2O や CO_2 の氷が形成されたと推測される。惑星によって表層での元素分配過程が異なるという、従来考えられていなかった過程を考慮し、希ガス存在量の違いを再現する条件を調べた。

本研究では、隕石重爆撃期の大気量・組成の進化の理論計算を行った。個々の天体衝突による大気の供給とはざとりに関しては、流体シミュレーションに基づくスケールリング則 (Shuvalov 2009, Svetsov 2000) を用いた。そして、表層環境の違いによる元素分配の効果は以下のように考慮した：金星ではすべての元素を大気に分配し、地球では海洋形成と炭素循環による $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ 分圧上限、火星では氷の形成による $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ 分圧上限を設けた。

計算の結果、地球と火星において、元素分配の効果によって最終的に獲得する N_2 +希ガス量が減少することが分かった。これは、元素分配により、 CO_2 や H_2O の大部分が大気から取り除かれると、大気中の N_2 +希ガス濃度が高くなり、天体衝突の大気はざとりによって失う N_2 +希ガス量が増加するためである。さらに講演では獲得する N_2 +希ガス量の衝突天体サイズ分布・揮発性元素含有量・分圧上限などのパラメータ依存性を示し、揮発性元素をもたらした衝突天体や各惑星の初期表層環境について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P215b 巨大衝突によるデブリ円盤からの天王星の衛星形成

石澤祐弥, 佐々木貴教, 細野七月 (京都大学)

天王星は公転面に対して赤道面が約 98 度と大きく傾きしており、また天王星の主な衛星はおよそ天王星の赤道面上に分布している。これらの事実を説明する衛星形成シナリオとして、巨大衝突 (GI) 仮説が提唱されている。この説によると、過去に原始天王星に地球サイズ程度の原始天体が衝突し、それにより周囲に破片 (デブリ) が散らばってデブリ円盤が形成され、その後円盤中のデブリが重力集積によって衛星になる。GI 仮説ならば、天王星の自転軸が大きく傾いていること、その傾いた赤道面と衛星軌道面が一致することを説明できる可能性がある。実際、これまでいくつかの先行研究により、天王星の巨大衝突についての流体数値計算が行われ、現在の天王星の自転軸の傾きを説明できることが示唆されている。さらに、現在最も外側に位置する衛星の軌道半径より広く、その形成に十分な量のデブリが散らばる可能性があることが指摘された。しかし、天王星の GI 後にデブリ円盤からどのように衛星が形成されるかは検証されてこなかった。

そこで本研究では、先行研究から予測された、GI により形成されるデブリ円盤を初期条件にした重力 N 体計算を行い、天王星の衛星形成過程を検証した。また計算には重力の他に粒子間の衝突および合体を考慮し、時間発展方法として 4 次エルミート法を用いた。計算の結果、円盤の外側では現在の衛星と同様な軌道半径と質量を持つ衛星が形成されることがわかった。内側の衛星分布については、惑星の潮汐力による衛星の軌道衰退を考慮することで説明できる可能性があることがわかった。本講演では広いデブリ円盤から形成される衛星の分布とその進化シナリオについて議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216a 周惑星円盤の形成と温度構造に関する数値シミュレーション

藤井悠里 (名古屋大学/NBI), Oliver Gressel (NBI), Udo Ziegler (AIP)

原始惑星系円盤中でガス惑星が形成される際には、その惑星の周りに円盤状にガスが降着することが多数の数値シミュレーションにおいて示されている。この円盤は周惑星円盤と呼ばれ、衛星系の起源を探る上で重要な天体である。微衛星が周惑星円盤の中で形成される場合においても、外部で形成されて周惑星円盤内に捕獲される場合においても、円盤の密度及び温度構造の決定は衛星系の形成過程を議論する上で必要不可欠である。

これまでの研究において、周惑星円盤の一次元モデリングを行い円盤の面密度及び温度を計算した結果、円盤内縁付近の温度が数千 K におよぶ高温になる可能性が示唆された。周惑星円盤の構造は、原始惑星系円盤からのガス流入の様子に強く依存すると考えられる。よって、本研究ではガス流入の詳細を調べるため、原始惑星系円盤中に惑星を置き、その惑星の周りにガスが降着し周惑星円盤が形成する様を数値計算を用いてシミュレーションした。シミュレーションは三次元で行い、温度進化も同時に計算した。本講演では、温度構造とそれがダイナミクス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](#)

P217b 数値流体シミュレーションを用いた惑星軌道進化計算

金川和弘、Ewa Szuszkiewicz (シュチェチン大学)

近年のケプラー宇宙望遠鏡などによる系外惑星観測によって、中心星近傍の短周期系外惑星が数千個以上発見されており、2つ以上の惑星を持つ惑星系も数百個確認されている。惑星は周囲の円盤ガスとの潮汐相互作用によって角運動量を失い円盤内側に移動する。円盤内に複数の惑星が存在する場合、他の惑星との重力相互作用によって惑星同士の公転周期比が簡単な整数倍(平均運動共鳴)となり、両者はその関係を維持しつつ進化すると考えられてきた。しかしながら、観測で明らかになった惑星系では平均軌道共鳴の関係にない惑星のペアも多く、その形成メカニズムは現在活発に研究されている。先行研究の多くは、惑星軌道進化の計算に惑星間の重力相互作用を正確に考慮した重力多体計算と円盤ガスと惑星の潮汐相互作用の線形理論モデルを組み合わせた手法をとっている。しかし、惑星と円盤の相互作用が強く惑星が円盤にガス密度のギャップを開けるような場合においては、惑星-円盤相互作用は非線形であり、惑星から打ち出された波が他の惑星と相互作用し平均運動共鳴を破壊するという報告もある(Baruteau&Papaloizou 2013)。そのような場合は、惑星-円盤相互作用も数値流体計算を用いて正確に解く必要がある。特に、円盤内縁部では中心星重力が強いため、惑星-円盤間の重力相互作用も強くなり、海王星サイズの惑星であってもガス円盤に密度ギャップを開けることが可能である。

本研究では、2次元数値流体計算コードFARGOを用いて2つの惑星を持つ原始惑星系円盤のガス進化および惑星の軌道進化を計算した。円盤内縁の短周期惑星を想定し、比較的小さな円盤アスペクト比($h/R=0.03$)で様々な惑星質量、円盤粘性を変えて惑星軌道進化がどのように変わるかを調べた。本講演では、この結果を紹介し、系外惑星系の形成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](#)

P218b 移動と他の惑星の存在が巨大ガス惑星の固体物質獲得量に与える影響

柴田翔, 青山雄彦, 生駒大洋 (東京大学)

近年、数多くの巨大ガス惑星が発見され、詳細な観測により、その一般的な特徴が明らかになってきた。なかでも、測定された質量と半径の関係から巨大ガス惑星に含まれる重元素量が測定され、巨大ガス惑星が重元素に富むことが明らかになった (Thorngren et al. 2017) ことは、形成過程の解明に対して意義深いと言える。コア集積モデルに従えば、巨大ガス惑星はコア形成期に重元素を取り込むが、測定されている重元素量は、その時期に取り込める量に比べて圧倒的に多い。一方、木星や土星も重元素を比較的多く含み、それがコアではなくエンベロープに含まれることから (Miguel et al. 2016 など)、系外惑星でも同様にエンベロープに重元素が過剰に含まれると考えられる。したがって、この重元素過剰を説明するには、コア形成期以外に重元素を取り込むプロセスが必要である。Shiraishi & Ida (2008) は、ガス集積期のガス惑星における微惑星の獲得量を N 体計算を用いて求めている。その量は数地球質量程度と見積もられたが、この値は観測を説明するには十分ではなく、その原因として惑星近傍の微惑星しか獲得できなかったことが考えられる。そこで本研究では、巨大ガス惑星が移動することと複数個存在することが重元素獲得に与える効果を、N 体計算を用いて定量化した。結果として、先行研究に比べて広い範囲の微惑星を獲得することができた。また、このプロセスは、複数惑星系で惑星ごとに重元素量の違いを作る原因になるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P219b 原始惑星系円盤中での周連星惑星の軌道進化

山中陽裕, 佐々木貴教 (京都大学)

今日までに約 3500 個の太陽系外惑星が発見され、惑星形成についての様々な研究がなされているが、観測されている系外惑星のほとんどは単独星周りの惑星で、周連星惑星は未だ 20 個ほどしか発見されておらず、惑星形成の研究の多くは単独星周りの研究である。しかしながら、連星系が宇宙に普遍的な存在である以上、周連星惑星の形成過程の議論は重要である。連星系では、中心連星の公転により重力場が時間変化するため、周連星原始惑星系円盤ガスに Inner cavity が生じ、さらに円盤ガス散逸後に惑星が軌道不安定になる不安定領域が存在する。ガス円盤の Cavity と軌道不安定領域の大きさは中心連星の軌道離心率、質量比とセパレーションで決まることが数値計算でわかっている。さて、Kepler 宇宙望遠鏡によって観測されている周連星惑星のほとんどはこの軌道不安定領域のすぐ外側に位置している。これらの惑星はすべてホットジュピターなので、遠方で形成した惑星が軌道移動してきたと考えられるが、ガス円盤の Cavity の位置が軌道不安定領域よりも内側にあるので惑星の軌道移動が不安定領域付近で止まる理由は定かではない。我々は惑星の軌道位置が中心連星の物理量 (軌道離心率、質量比、セパレーション) で決まっていると考え、ガス抵抗を加えた重力 N 体計算を用いて軌道不安定領域内における惑星の振る舞いから、現在の軌道を再現できるかを調べた。本講演では、計算結果の報告をし、観測との比較および今後の研究について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a Extended Tail Structure Associated with a Protoplanetary Disc around SU Aur

Eiji Akiyama (NAOJ), Eduard I. Vorobyov (Univ. of Vienna/Southern Federal Univ.), Haoyu B. Liu (ESO/ASIAA), Ruobing Dong (Univ. of Arizona), Sheng-Yuan Liu (ASIAA), Jerome de Leon (Univ. of Tokyo), and Motohide Tamura (ABC/Univ. of Tokyo)

The Milky Way is likely teeming with free-floating planets because a quite number of the objects have been discovered since several young isolated planetary mass objects were first discovered in Orion and Chamaeleon molecular clouds. In fact, recent studies suggest that these objects might outnumber stars in our galaxy. Previous observations in optical and near infrared wavelengths found that an extended streamer-like structure was associated with the protoplanetary disc around a young T-Tauri star, SU Aur, indicating that substantial amount of mass transfer from the disc, which might be a clue for the origin of the isolated planetary mass objects. Here we report a newly discovered streamer-like structure of CO gas by the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). As results of geometric-kinematic structure analysis and theoretical perspectives, both of the disc and streamer components physically connects each other. Numerical hydrodynamics simulation found that several possible scenarios could explain the observed structure, 1) collision with a (sub-)stellar intruder or a gaseous blob, 2) gas stream from the ambient molecular cloud, and 3) ejection of a planetary or brown dwarf mass object due to gravitational instability via multi-body gravitational interaction. These mechanisms can lead a step towards unveiling the long-standing mystery of the origin of free-floating planet and brown dwarf.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P221a ALMA 分光観測による原始惑星系円盤の H₂O スノーラインの同定可能性

野津翔太 (京都大), 野村英子 (東京工業大), 本田充彦 (久留米大), 廣田朋也, 秋山永治 (国立天文台)

これまで我々は、原始惑星系円盤 (以下、'円盤') の化学反応ネットワーク計算と放射輸送計算の手法を用いて、ortho-H₂¹⁶O 輝線プロファイルの観測から円盤内の H₂O 分布、特に H₂O スノーラインを同定する方法を提案してきた (Notsu et al. 2016, 2017)。その結果、アインシュタイン A 係数 (放射係数) が小さく ($\sim 10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) 励起エネルギーが比較的高い ($\sim 1000\text{K}$) 輝線のプロファイルを高分散分光観測で調べる事で、H₂O スノーラインを同定できる可能性がある事が分かった。そしてこのような特徴を持つ ortho-H₂¹⁶O 輝線が、中間赤外線からサブミリ波までの幅広い波長帯に多数存在し、その強度は波長が短い程大きい事が分かった。我々は今回、新たに para-H₂¹⁶O 輝線や H₂¹⁸O 輝線に対しても計算を行い、ALMA band 7 や Cycle 5 から観測を開始する band 5 などの周波数領域に、H₂O スノーライン観測に適した輝線を多数発見した。また、サブミリ波帯の H₂O 輝線は A 係数が赤外線帯の輝線より小さい傾向にあり ($< 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)、円盤外側の光学的に十分薄い領域からの放射強度がより小さくなる傾向が見えた。そして H₂¹⁶O 分子と比べ H₂¹⁸O 分子の数密度は 1/1000 程度なので、ダストの光学的厚みが赤道面で非常に大きい円盤でなければ、H₂¹⁸O 輝線の方がより赤道面に近い領域の H₂O ガスを捉える事ができ、赤道面の H₂O スノーライン位置を同定するのにより適している事が分かった。さらに、赤外線帯の輝線に比べより低い励起温度 ($\geq 200\text{K}$) の輝線の中にも、H₂O スノーライン観測に使用可能なものがある事が分かった。また我々は円盤からの H₂O 輝線検出を目指した ALMA 観測も提案しており、Cycle 3 で Herbig Ae 星 HD163296 に対し一部のデータが取得済みである。本発表では、これまでの解析結果の紹介と今後の ALMA 高分散分光観測での H₂O スノーラインの同定可能性の議論、更に可能な範囲で観測結果の一部の紹介を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P222a 原始惑星系円盤からの衝撃波トレーサー分子のALMA観測

野村英子(東工大), 樋口あや, 坂井南美(理研), 山本智(東大), 長沢真樹子(久留米大), 田中今日子(北大), 三浦均(名市大), 中本泰史(東工大), 田中秀和(東北大)

ALMAによる原始惑星系円盤からの様々な分子輝線の高感度・高空間分解能観測と、それらの分子の化学的性質を利用することにより、円盤内の物理過程に制限を与えることが可能になると期待される。本講演では、原始惑星系円盤からの硫黄系分子のALMA観測の結果を紹介する。SO, SO₂, H₂Sなどの硫黄系分子は、衝撃波トレーサーとして知られている(e.g., Miura+ 2017, Sakai+ 2017)。我々は今回、円盤内での氷微惑星の衝撃波加熱の検証を目的としてALMA観測を行った。原始惑星形成後、周囲の氷微惑星は重力相互作用により軌道進化し、円盤ガス中に衝撃波をおこす。この衝撃波により氷微惑星は加熱され、蒸発すると考えられており、氷微惑星の軌道進化や蒸発率に関する研究が行われてきた(Tanaka+ 2013, Nagasawa+ 2014)。硫黄系分子は彗星からも豊富に観測されており、氷微惑星中にも存在することが期待される。硫黄を含む氷分子およびその娘分子としてH₂SやSOがあるが、両者は凍結温度が比較的低温、ガス惑星形成領域において氷微惑星の衝撃波加熱が起きた場合、そのよいトレーサーとなることが我々の計算により示されている(日本天文学会2015年春季年会P210a)。一方で円盤外縁部においては、紫外線や宇宙線により非熱的に氷から脱離した様々な分子の輝線が最近観測されている。

我々はおうし座分子雲のTタウリ型星周りの原始惑星系円盤10天体に対してALMA cycle 3で観測を行ったが、band 6における硫黄系分子の輝線フラックスの上限が得られたのみであった。モデル計算と比較した結果、円盤外縁の気相における硫黄系分子の存在量は $\leq 10^{-10}$ であった。氷微惑星蒸発に制限を与えるためには、さらに高感度の観測が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P223a ASTE 望遠鏡を用いたデブリ円盤の $[C I] ^3P_1-^3P_0$ 観測 2

佐藤愛樹, 塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大学), 樋口あや, 坂井南美 (理化学研究所), 小林浩, 石原大助, 渡邊華, 金田英宏 (名古屋大学), 山本智 (東京大学)

長らくガス放射が検出されていなかったデブリ円盤外域において、ALMA の登場以降、広がった CO 放射が次々と検出されている。このガス成分の起源については、(1) 原始惑星系円盤から残存したもの、(2) 円盤内の小天体同士の衝突により供給されたもの、という 2 つの可能性が考えられているが、未だ解明には至っていない。デブリ円盤は、原始惑星系円盤に比べてダストが少なくガス密度も低いいため、輻射場の影響を強く受けている可能性がある。つまり CO が存在するデブリ円盤には、CO が解離した C が存在する可能性がある。そこで我々は、ALMA で既に CO が検出されていた 2 つのデブリ円盤、49Ceti、 β Pic に対し、ASTE 望遠鏡を用いて CO(3-2)、および $[C I] ^3P_1-^3P_0$ の観測を行った。積分時間を 49Ceti では CO、[CI] それぞれ 17 時間、8 時間、 β Pic ではそれぞれ 15.5 時間、16 時間をかけた結果、どちらの天体に対しても [CI] 輝線の初検出に成功した。また、CO 放射も検出されており、ALMA の結果ともよく一致していた。さらに、LTE、および $T_{\text{ex}}=30-100\text{K}$ を仮定し、CO と C の柱密度を導出したところ、その比 (N_C/N_{CO} 比) は 49Ceti、 β Pic それぞれ 54 ± 19 、 69 ± 42 だった。これは、分子雲で見積もられる値に比べると一桁大きい。この結果は、 H_2 を必要とする C → CO の反応経路がデブリ円盤では効率的ではなく、一度円盤ガスが散逸した後の H_2 が枯渇した環境下で、2 次的なガスが供給された可能性を示唆している。つまりこの観測結果により、C/CO 比から H_2 ガスの量に対する手がかりが得られ、デブリ円盤のガスの起源決定につながる可能性が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](#)

P224b ALMA による原始惑星系円盤の [C I] ($^3P_1-^3P_0$) 輝線サーベイ観測

塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大), 北村良実 (JAXA), 島尻芳人 (CEA/Saclay), 齋藤正雄, 川辺良平 (NAOJ)

原始惑星系円盤中の炭素原子の分布や構造を観測的に明らかにすることは、円盤進化の研究において重要な情報をもたらす。炭素原子は円盤上層の PDR 領域において豊富に存在する種の一つと考えられており、中心星輻射によって引き起こされる円盤散逸のトレーサーとして、近年炭素原子 C による原始惑星系円盤の観測が着目されている。しかしながら、円盤のサブミリ波 [C I] ($^3P_1-^3P_0$) 放射は、近年ようやく 3 天体に対して検出に成功に至ったのみであり、空間分解能やサンプル数の不足から、その空間分布や系統的性質に対する理解は未だ乏しい。

このような背景のもと、高感度観測による [C I] ($^3P_1-^3P_0$) 輝線放射の探査および中心星質量に対する依存性を調査する目的で、近傍星形成領域にある低質量星 5 天体および中質量星 4 天体に対し、ALMA 望遠鏡を用いた原始惑星系円盤の [C I] ($^3P_1-^3P_0$) 輝線および 480GHz 連続波によるサーベイ観測を行った。観測の結果、全天体で連続波放射を検出し、9 天体中 6 天体で [C I] 輝線放射の検出に成功した。未検出の天体は長基線観測のみが行われたデータであり、広がった [C I] 放射が存在する可能性も残される。連続波放射は $\sim 11-70$ au、[C I] 放射は $\sim 80-160$ au ほどの空間分解能で放射を分解できており、[C I] 放射は典型的に連続波分布よりも広がった構造を示していることが分かった。[C I] 放射は円盤長軸方向に速度勾配を示しており、これは大局的なケプラー回転運動で再現できる。1 天体を除き [C I] 放射は光学的に薄く、炭素原子質量 $M(C)$ は $0.8-5.6 \times 10^{-8} M_{\odot}$ の範囲であった。また、ダスト質量に対する炭素原子質量比 ($M(C)/M(\text{dust})$) を見積もると、 $0.2-5.0 \times 10^{-4}$ の範囲であった。これは我々が過去に行った ASTE による見積もりと矛盾しない結果である。中心星質量に対する有意な相関は検出できておらず、[C I] 放射強度は中心星ではなく個々の円盤や星周環境に依るものと思われる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P225b ALMA を用いた海王星成層圏大気構造空間分布の観測的取得

飯野孝浩（東京農工大），山田崇貴（東京工業大），田中佑希（鹿児島大）

ALMA は広い周波数帯域にわたって高感度かつ高空間分解能の観測を可能にし，その特性は太陽系天文学においてもブレイクスルーを起こしつつある．我々は ALMA がフラックスキャリブレーション用に取得している太陽系天体観測データの科学観測データへの転用に取り組んできた．同データ群は多様な天体を対象とし，周波数及び時間方向に稠密であるという特色を持っており，大気組成や温度構造の時間変化の取得や，分子ラインサーベイにより，太陽系内天体が持つ多様な物理量の制約が可能になる．

その端緒として，我々は公開済みの海王星観測データについて Band 6 以上の周波数帯域における全データのキャリブレーションおよびデコンボリューションを行った．結果，0.2 秒という高い空間分解能を持つデータをサイクル 0 シーズンにおいて見出した．中心周波数は 646 GHz であり，これまでに報告された連続波観測では最高の周波数である．中間赤外線 (Orton et al. 2007) およびミリ波・センチ波によって行われた先行観測 (de Pater et al. 2014) では，それぞれ 0.1 および 30 bar 以上の高度領域において，南極上空に高温 (~ 10 K) の領域が見出されている．これは南極における沈降もしくは上昇流を含む，対流圏と成層圏を結合するグローバルな循環を示唆し，成層圏微量分子の起源としても興味深い．いっぽう，我々の観測で得られた南極付近の Emission angle における輝度温度の変動は ± 3 K 程度と低く抑えられ，先行観測にあるような高温領域は見いだされなかった．

Collision Induced Absorption を考慮した輻射輸送計算から，今回の観測周波数が 0.5 – 1.0 bar に感度を持つことが分かった．これは先行観測の 2 波長域に挟まれた領域であり，0.1 bar に存在する対流圏界面より低い高度領域である．これらの結果から，南極高温領域の垂直結合が対流圏界面付近で途絶え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](#)

P226b 原始惑星系円盤における永年重力不安定性の非線形解析

富永遼佑、犬塚修一郎（名古屋大学）、高橋実道（工学院大学/国立天文台）

近年のアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) による観測によって、原始惑星系円盤内に多重のリング構造が発見された (e.g., ALMA Partnership et al. 2015, Andrews et al. 2016, Tsukagoshi et al. 2016)。観測されたリング構造は惑星形成理論との関連が示唆されているため、リング形成機構を明らかにすることは重要である。多重リング形成機構の候補のひとつとして永年重力不安定性が考えられている。永年重力不安定性は、ダストとガスとの摩擦によって自己重力安定な円盤においても成長する不安定性であり、もともと微惑星形成機構として提唱された (e.g., Youdin 2011, Takahashi & Inutsuka 2014, Shadmehri 2016)。我々は数値計算を用いて永年重力不安定性の非線形発展を調べている。これまでの研究では、初期に動径方向に密度と圧力が一様な円盤で永年重力不安定性の非線形計算を行った。数値計算の結果、ダストの面密度は初期の 100 倍程度まで上昇するのに対し、ガスの面密度は 2 倍も増えないことということがわかった (2017 年 春季年会)。この数値計算では初期に大域的な圧力勾配がないため、摩擦による角運動量損失でダストが中心星に落下するドリフト現象が含まれていない。HL Tau 円盤や他の円盤におけるリング形成について議論するためには、ダストのドリフトが起こる現実的な円盤内で永年重力不安定性の成長を調べる必要がある。さらにこのようなダストのドリフトが卓越する円盤では Streaming 不安定性が成長することが知られている (e.g., Youdin & Goodman 2005, Youdin & Johansen 2007)。これと競合して永年重力不安定性がどのように成長するのかを調べることも、リング・微惑星形成機構を明らかにするために重要である。本講演ではこのような円盤での永年重力不安定性の成長について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227c 質量降着を利用した非常に若い惑星の直接撮像探査2

鵜山太智, 谷川享行 (一関高専), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター), 青山雄彦 (東京大学), Timothy D. Brandt (Institute for Advanced Study), 石塚将斗 (東京大学)

Young stellar object (YSO) と呼ばれる 1000 万年以下の非常に若い天体には、惑星の元となる原始惑星系円盤を持つものが多い。つまり、YSO において系外惑星を検出することで、惑星形成を知る手がかりとなる。形成中の惑星に質量が降着する際、 $H\alpha$ や $Pa\beta$ と呼ばれる水素スペクトルが発せられる。質量降着由来の輝線光度は黒体放射よりも明るいいため、広いバンド幅でなく輝線の見える狭いバンド幅のみで惑星探査を行うと、系外惑星の検出可能性が高まる。我々はこの点に着目し、Keck 望遠鏡に搭載された OSIRIS を用いて TW Hya と SAO 206462 を、 $Pa\beta$ ($1.28 \mu\text{m}$) を含む波長で観測した。これらの天体は、空隙を伴う原始惑星系円盤を持つことから、惑星形成が示唆される天体である。OSIRIS は、補償光学を用いた比較的波長分解能の高い ($R\sim 3800$) 赤外線面分光装置であり、spectral differential imaging (SDI) モードを用いて、輝線検出に対して効率的な高空間分解能分光観測を行う事が可能である。結果として質量降着と見られるシグナルは検出できなかったが、TW Hya において 25 AU で約 1.5 木星質量の検出限界を設けることができた。これは、従来の広帯域フィルターを用いた直接撮像による検出性能 (数木星質量以上) よりも小さな値であり、今回の観測の有用性が実証された (Uyama et al., submitted)。SCEXAO を始めとする超補償光学による検出性能の改善が期待されるが、YSO は超補償光学が適用できない暗い天体が多く、YSO においては質量降着を狙った観測を行う事が有用となる。前回の講演 (秋季年会 2016,P204A) では観測の結果までを報告したが、今回はデータ解析後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](#)

P228a ケプラー測光データを用いた岩石からなる惑星リング探査

逢澤正嵩 (東京大学), 増田賢人 (Princeton University), 河原創, 須藤靖 (東京大学)

太陽系外惑星において惑星のリングは太陽系内と同様に普遍的に存在するのか？現在の観測装置の性能はすでにこの問いに実証的に迫れる段階にある。我々は氷が安定に存在できるほどの冷たい長周期系外惑星周りでの惑星リングの探索を行い、1つの惑星リング候補の発見をするるとともに、11の惑星周りにおいて惑星リングのサイズに制限を与えた。一方で、太陽系外では土星とは異なり、氷由来ではなく岩石由来の惑星リングが存在する可能性もある。しかし、岩石のリングを系統的に探索し、その存在頻度に制限を与えた例はない。そこで本研究ではケプラー衛星の高精度測光データを用いて、岩石からなる惑星リングの探索を実行した。

ターゲット天体としてケプラー惑星カタログより $200\text{K} < T_{\text{eq}} < 1600\text{K}$ および $5R_{\oplus} < R_p < 20R_{\oplus}$ の範囲にある360個の惑星を選び、探索を実行した。今回想定している暖かい惑星周りでは、潮汐効果によって惑星リングの軸と軌道面の軸とが揃うと考えられる。この仮定の下では、不定性が大きいリングの軸の向きを無視してよいので、惑星リングの大きさに一般的な制限が与えられる。一例として光学的に厚く、内径が惑星半径に一致する惑星リングを想定して解析をした結果、35の惑星に対してリングの外径の上限 $R_{\text{out,lim}} = 1.1 \sim 3.0R_p$ が得られた。我々の結果は、現実的な仮定のもと複数の惑星に対して系統的に惑星リングの大きさの制限を与えた初の例であり、暖かい惑星周りでの惑星リングの存在頻度を理解するために重要な役割を果たすことが期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P229a 重力マイクロレンズ天体の星像内のコンタミの確率のベイズ推定法の確立

越本直季 (大阪大学), David P. Bennett (NASA/GSFC)

重力マイクロレンズ法で惑星系の質量を決定するには、光度曲線上に現れる高次の効果から、質量と距離で決まる量(質量-距離関係)であるアインシュタイン角半径 θ_E とマイクロレンズパララックス π_E の両方が観測される必要がある。しかし、後者の π_E は、一部の増光が長いイベントでしか観測されず、通常のイベントでは質量を決定できない。解決方策として、イベント中、または終了後にレンズフラックス F_L を観測し、そこからもう一つの質量-距離関係を得ることで、比較的良好に観測されるアインシュタイン角半径 θ_E と組み合わせて、質量の決定がなされている。我々は星が密集した銀河中心方向を観測しているため、レンズフラックスの検出には補償光学(AO)や宇宙望遠鏡を用いた高空間分解能観測が必要条件となる。

高空間分解能観測によるイベント天体の星像の明るさから、ソース天体の明るさ(光度曲線のモデルから決まる)を差し引くことで、余剰フラックスを得る。従来は、余剰フラックスが全てレンズ天体由来であると仮定して、レンズ質量の決定が行われてきたが、我々は、この仮定には問題があることを明らかにした。そこで我々は余剰フラックスが、レンズ天体、フィールド星、ソース天体の伴星、及びレンズ天体の伴星によってもたらされ得ると考え、それぞれの天体の明るさの事前確率分布を考慮し、観測された余剰フラックスを説明できる明るさの組み合わせの事後確率分布を導出するというベイジアン的手法を開発した。この手法をこれまでの5つの惑星イベントに適用した結果、余剰フラックスが全てレンズ天体由来である確率は、アインシュタイン角半径が比較的小さいイベントの場合は小さく、レンズ天体の質量は先行研究による推定値よりも大きく異なる可能性があることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P230a Multiple Paths of Deuterium Fractionation in Protoplanetary Disks

相川祐理 (東京大学), 古家健次 (筑波大計算科学研究センター), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

地球の海水などにみられる重水素濃縮は低温下での化学反応の名残であると考えられている。濃縮は分子雲の他、原始惑星系円盤でも起きる可能性がある。円盤内での重水素濃縮がどこでどの程度起こるのかを探るため、近年 ALMA など重水素化分子の輝線観測が行われ、強度分布が分子種、天体によって異なることが分かってきた。例えば、TW Hya では DCN 輝線は中心集中しているのに対して DCO⁺ 輝線は外縁部で強い。よってこれらの分子は異なる重水素化反応で生成すると考えられる。一方 AS 209 では DCO⁺ と DCN の分布は似ている。

そこで我々は、原始惑星系円盤モデルにおいて重水素を含む化学反応ネットワークモデルの数値計算を行い、重水素濃縮過程を調べた。モデルには重水素濃縮に影響を及ぼす H₂ などのオルソ・パラ変換も含まれている。その結果、円盤内の領域によって異なる重水素化反応が効くことがわかった。特に円盤上層部や内側の温かい領域では、従来注目されていなかった D 原子による交換反応が効くことがわかった。また、CH₂D⁺ による重水素化の効率を正しく評価するためには H₂ のオルソ/パラ比が重要あることもわかった。円盤内でダストが成長している場合、円盤表層では光解離反応が卓越し、円盤中心面では凍結率が低下する。この場合、DCO⁺ や N₂D⁺ は主に円盤中心面に存在することになる。特に DCO⁺ は CO 氷線などを反映したリング状の分布になる。一方、小さなダストが多い円盤では、中心面での凍結率も表層での紫外線減光率も高く、DCO⁺ は円盤上層に多く存在する。N₂H⁺ は HCO⁺ よりも D 原子との交換反応のエネルギー差が小さいため、N₂D⁺ は円盤上層では比較的少ない。円盤内の乱流は、D 原子を中心面に運ぶ一方、CO や NH₃ などの主要な氷を光解離の効く円盤表層に運ぶので、重水素化分子が乱流によって減るか増えるかは、乱流強度や領域によって異なる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P231a 系外惑星による系外小惑星の散乱と蒸発

長沢真樹子 (久留米大), 田中今日子 (北大), 野村英子 (東工大)

太陽系においては、小惑星帯は、氷の凝縮が生じるスノーラインの付近、木星型惑星と地球型惑星の境界位置に存在している。しかし、太陽系における小惑星帯の成因は、スノーラインと大惑星の関与が推測されるものの、理論的に決着された問題ではない。このため太陽系外で小惑星帯がいつどこに形成されるかは必ずしも明確とは言えず、また、太陽系外において小惑星帯が存在するかどうか、今のところ直接観測的に確認できる状況にはない。

本研究は、原始惑星系円盤中で、大きな惑星による重力を受ける数百 km サイズの天体の運動を数値軌道計算で調べたものである。惑星軌道の内側では、原始惑星系円盤からのガス抵抗の影響を受け、惑星の 2:1 の平均運動共鳴から惑星の位置までの微惑星が、中心星方向に移動することが知られている。本研究における数値計算の結果、この影響は、原始惑星系円盤密度が最小質量円盤の 10 分の 1 程度から数倍の範囲、摂動を及ぼす惑星の質量が木星の数 10 パーセント以上の時に顕著となることが判明した。そしてこの微惑星の移動は、共鳴による捕獲によって、数百万年間に渡って行われる。また、微惑星のガス円盤との相対速度は 10 km/s 程度にまで至る。これは、原始惑星系円盤中に微惑星のたてる衝撃波によって、氷微惑星を蒸発させるのに十分な速度である。さらに、惑星の外側の領域においては、ガス抵抗が弱いこともあり、激しい微惑星の散乱が生じることが判明した。氷微惑星の蒸発は、観測的に捉えられる可能性があり、太陽系外の小惑星帯のあり方の制約とな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](#)

P232a 1次元放射流体計算による集積期巨大ガス惑星からの水素輝線強度の推定

青山雄彦(東京大学), 生駒大洋(東京大学), 谷川享行(一関工業高等専門学校)

惑星形成において、質量の大きい巨大ガス惑星が惑星系の形成に与える影響は大きい。惑星系形成において巨大ガス惑星がいつどのような質量で存在したのかは、非常に重要である。形成中の惑星を直接観測によって捉えるため、原始惑星系円盤中の過剰光観測が行われている。多くの場合赤外光だが、一部の天体では水素の輝線である H α 輝線も観測されている。赤外光に関しては先行研究のモデルによって説明が可能であるが、水素輝線に関して発生過程を明らかにした先行研究は存在しない。観測可能な水素の輝線を放射するためには、赤外光から推定される温度を大きく上回る数万 K の高温ガスが必要だからである。本研究の目的は、集積期巨大ガス惑星における水素輝線放射メカニズムを解明し、観測される輝線強度から惑星形成に関する情報を取り出すことである。近年の三次元流体計算によると惑星に集積するガスは周惑星円盤を作り、円盤に集積するガスは円盤に対して鉛直方向から流入する。この時流入ガスは円盤表面で強い衝撃波を経験し、惑星近傍においてはガスを数万 K に加熱しうる。ただしこの高温領域は速やかに放射冷却するため、赤外光の放射温度にはほとんど影響しないと考えられる。すなわち赤外放射と水素輝線の両方を説明出来る可能性がある。本研究では1次元流体計算と化学反応・水素の電子準位遷移・水素輝線の放射輸送を同時に扱い、非常に短い時間スケール ($\lesssim 1$ s) のガスの温度・化学状態・輝線放射場を詳細に計算した。結果として各パラメータごとの輝線放射フラックスを得、惑星周りのパラメータで積分することで惑星からの放射光度を計算し、観測値と比較した。本研究のモデルに基づいて推定された放射光度は、現実的なガス集積率・惑星質量において観測輝線強度を説明可能であった。また輝線強度の惑星質量と原始惑星系円盤の数密度への依存性から、これらを制約することができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P233a 氷成分に富む大気を持った巨大ガス惑星の放射強度

黒崎健二（名古屋大学），生駒大洋（東京大学）

観測精度の向上により，巨大ガス惑星の惑星放射強度を直接観測することが可能となり，そのサンプル数も増加している．特に，形成して間もない若いガス惑星は高い放射強度を持つことが知られており，惑星の放射強度を，惑星の熱進化計算と組み合わせて解析することによって，惑星の質量と年齢を推定することが可能となるため，惑星の起源を知る上で重要である．ガス惑星は年齢を経るに従い，放射強度が小さくなっていき，それに伴い惑星大気温度も低下していく．しかし，大気中に氷成分（水，アンモニア，メタン）が多量に存在していた場合，氷成分が凝縮することにより惑星大気温度を保ち，結果として惑星放射の進化が異なることが考えられる．

本講演では，惑星放射強度の進化計算を，大気中の氷成分の凝縮の影響を考慮した惑星熱進化モデルを用いて定量的に議論した．その結果， 10^8 年以降では氷成分の凝縮によって惑星放射に影響が現れることがわかった．また， 10^7 年よりも若いガス惑星でも氷成分の量によって大気構造が変化し，惑星放射強度に影響を与えることがわかった．これらの結果は，今後高精度な直接撮像を行なった際に，惑星の放射強度による質量推定を議論する上で重要である．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P234a 雪降る原始惑星エンベロープの冷却限界とガス集積過程への影響について

生駒大洋 (東京大学), 黒崎健二 (名古屋大学)

主に巨大ガス惑星の形成時間の問題を解決するために、 $\gtrsim 10$ km サイズの微惑星の集積を仮定していた古典論が見直され、ペブルや微惑星の衝突破片といった小さな物体によるコア形成が精力的に研究されている。これまでの研究は、主に力学的な観点でなされ、コア成長への影響に焦点を当てている。一方、そのような小物体は、コアに衝突する前に原始エンベロープ中で蒸発し、原始エンベロープに熱化学的な影響を及ぼす。原始エンベロープの組成が大きく変わることによって、臨界コア質量が大幅に小さくなることは、著者らの先行研究によって示されている (Hori & Ikoma 2011; Venturini et al. 2015)。しかし、臨界コア質量到達後に、実際に暴走ガス捕獲が起きるかどうかは未検討である。特に、原始エンベロープ中で H_2O などの氷成分が凝結する場合、その潜熱の効果で原始エンベロープの冷却効率が低下し、暴走ガス捕獲が妨げられる可能性がある。本研究では、凝結成分が存在する原始エンベロープの冷却率を定量化した。これを最近のペブル集積の描像に応用することによって、原始惑星による円盤ガス獲得過程に新たな経路を見出し、巨大ガス惑星のコア質量や形成領域に新たな制約を与えた。これは、低密度スーパーアースの起源の理解にとっても重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P235a ヘイズを持つ系外惑星の大気透過スペクトルモデル：GJ 1214b と GJ 3470b、GJ 436b への応用

川島由依, 生駒大洋 (東京大学)

惑星の大気組成は、その惑星の熱進化や形成過程などを考える上で重要である。系外惑星の大気組成の制約は、多波長トランジット観測により行われる。惑星のトランジット時に起きる恒星光度の見かけの減光率は、波長によって異なる。この減光率の波長依存性（これを大気透過スペクトルという）から、惑星大気の組成を制約できる。ところが、最近の多波長トランジット観測により、平坦な、つまり大気分子による吸収の特徴のないスペクトルが検出された。このようなスペクトルから、ヘイズのような粒子が大気中に存在することが示唆された。ヘイズの存在を考慮した大気透過スペクトルモデルに関する先行研究はいくつかあるが、そのどれも、ヘイズ粒子の成長を解いておらず、採用しているヘイズ層のパラメータ（ヘイズ粒子の粒径と数密度、ヘイズ層の高度と厚さ）の値には、物理的な根拠がなかった。

そこで本研究では、トランジット観測がされるような中心星近くに存在する低質量惑星を想定した上で、物理的な根拠を持つ、ヘイズ粒子の分布と典型的なサイズを求めるため、大気中のヘイズ粒子の生成と成長、沈降を考慮した理論モデルを新たに開発した。そして、得られたヘイズの特性を基に、大気透過スペクトルをモデル化した。その結果、ヘイズ粒子はこれまで考えられていたよりも広い範囲で分布すること、また、様々なサイズのヘイズ粒子が大気中で生成されることを発見した。その上で、ヘイズの存在が示唆されており、かつ宇宙望遠鏡による高精度観測がなされている3つの低温度惑星（GJ 1214b と GJ 3470b、GJ 436b）にスペクトルモデルを適用し、各惑星でのヘイズ粒子の前駆物質の生成率（中心星から受ける UV 強度と関連がある）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](#)

P236a ホットジュピターからの質量放出および高層大気構造の磁場強度依存性

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

系外惑星の多波長でのトランジット観測からは、惑星大気の様々な情報を得ることができる。例えば紫外線での観測からは、ガス惑星が大量の質量放出を起こしている事を検出することができる。ガス惑星からの質量放出の駆動源としては、中心星からの X 線と極端紫外線による大気加熱が有力視されているが、質量放出現象の詳細に関してはまだ不明な点も多い。我々はこれまで、ガス惑星大気中での磁気流体波動の散逸が駆動する質量放出モデルを提案してきた (e.g., Tanaka et al. 2014)。惑星が固有の磁場を持っており、かつ大気に乱流が存在する場合、乱流によって励起された磁気流体波駆動が上空へ伝播して上空を加熱することによって、質量放出を駆動することができる。このモデルでは、観測と統合的で、XUV 駆動とも同程度の質量放出率が実現される。

一方で、系外惑星の磁場については現時点で得られる情報は限定的であるが、観測と理論を組み合わせる系外惑星の磁場に制約を与える試みも行われている。我々の提案している質量放出モデルは惑星の磁場が鍵を握る現象であるため、質量放出率や高層大気構造の磁場強度依存性は、観測から惑星磁場の制約を与える際に役立つ可能性がある。ここでは、惑星の磁場強度をパラメータとして変化させてシミュレーションを行い、質量放出率や大気構造がどう変化するかを調べた。その結果、磁気流体波動の散逸が駆動する質量放出率は、磁場強度が木星磁場の 0.1 3 倍程度の範囲内においては桁で変化するほどの依存性は示さないことが分かった。しかし惑星の磁場強度と質量放出率は単純な比例関係にあるわけではなく、質量放出率が極大になるような磁場強度が存在することも判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P237a X線天文衛星「すざく」とXMM-NewtonによるHD162020の観測

江副祐一郎, 福島碧都, 大橋隆哉 (首都大), 石川久美 (JAXA 宇宙研)

ホットジュピターは $0.5\text{--}15 M_{\text{Jupiter}}$ 程度の質量を持ちながら、恒星からの軌道長半径が 0.1 AU 程度以内の近距離を公転する系外惑星であり、潮汐力や磁場を介した相互作用で恒星活動を活発化させると考えられる (Cuntz et al. 2000, ApJ, 533, L151, Lanza et al. 2008, A&A, 487, 1163 など)。X線は恒星と惑星の相互作用による、フレア活動やコロナ加熱といった高エネルギー現象を探る絶好のプロブとなる。これまでX線天文衛星 ROSAT や XMM-Newton を用いた、X線光度と惑星質量の相関や惑星軌道に伴う変動が調べられてきたが、相関の有無については議論の余地がある (Scharf 2010, ApJ, 722, 1547, Poppenhaeger 2010, A&A, 515, 98 など)。

我々は日本のX線天文衛星「すざく」と欧州のXMM-Newton衛星によるHD162020の観測データを解析した。恒星はK2Vで、 $14.4 M_{\text{Jupiter}}$ の惑星(あるいは褐色矮星)を、軌道長半径 0.074 AU、離心率 0.277、公転周期 8.428 day の軌道に持ち、恒星と惑星との相互作用を探るのに絶好の天体である。これまでは独 ROSAT 衛星の観測から強いX線源であることは知られていたが、スペクトルや時間変動は調べられてこなかった。

「すざく」とXMM-Newtonは惑星の近星点付近と遠星点付近で観測を行った。X線スペクトルはいずれも $kT = 0.3, 0.9 \text{ keV}$ の2温度プラズマ放射モデルで再現され、コロナ放射と考えられる。平均X線光度 L_X は $7 \times 10^{28} \text{ erg/s}$ @ 0.2–6 keV であり、 L_X/L_{bol} は 7×10^{-5} と太陽よりも2桁程度大きい。近星点付近と遠星点付近でスペクトルに大きな違いは見られなかったが、XMM-Newtonの近星点付近でのライトカーブには30%程度の短い増光が観測された。すなわちHD162020はX線活動が活発な恒星であり、原因としては惑星との相互作用、もしくは恒星自身が比較的若く ($\sim 10^{8-9} \text{ yr}$) X線が強い、あるいはその両方という可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P238a 大規模並列粒子シミュレーションコード開発用フレームワーク FDPS の Fortran インターフェースの開発

行方大輔 (理研), 岩澤全規 (理研), 似鳥啓吾 (理研), 谷川衝 (東大), 村主崇行 (理研), Long Wang (理研), 細野七月 (京大), 牧野淳一郎 (神戸大/理研)

粒子法を用いたシミュレーションは天文学を含む様々な分野で行われている。シミュレーションを行うためのソフトウェアは、使用されるアルゴリズムに類似性があるにも関わらず、各分野で独立に、かつ、多大な労力を掛けて開発されており、分野間で共用されてこなかった。この状況を改善するため、我々は大規模並列粒子シミュレーションソフトをユーザーが容易に開発できるフレームワーク (FDPS: Framework for Developing Particle Simulator) の開発を行った (2015 年秋季年会 R30a)。

FDPS は C++ 言語で記述されており、これまで、FDPS を用いた粒子シミュレーションコードの開発は C++ 言語で行う必要があった。しかし、粒子シミュレーションに関心がある研究者、特にスーパーコンピュータの利用者には Fortran を主に使っている人も多い。こういった Fortran 利用者が従来の FDPS を使ってコード開発を行うためには、新しく C++ を習得する必要があった。また、C++ での開発に移行した場合にも、これまでユーザが Fortran で書いたプログラムを再利用することは難しくなる。これらは非効率的である。これらの問題を解決するため、我々は FDPS を Fortran から利用可能にするインターフェースを開発した。この Fortran インターフェースを用いることで、ユーザは、相互作用関数も含め、コードの全てを Fortran で開発することができる。インターフェース部分のオーバーヘッドは非常に小さく、C++ で開発したコードとほぼ同じ性能が出せる。本発表では、Fortran インターフェースの概要といくつかのアプリケーションコードのパフォーマンス等を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P239a 粒子系シミュレータ開発フレームワーク FDPS のアクセラレータ対応

岩澤全規 (理研)、似鳥啓吾 (理研)、行方大輔 (理研)、谷川衝 (東大)、細野七月 (京大)、Long Wang (理研)、村主崇行 (理研)、牧野淳一郎 (神戸大/理研)

粒子法を用いたシミュレーションは重力 N 体シミュレーションや SPH、DEM 等の手法を通して、惑星形成シミュレーションの分野で広く使われている。しかし、京や ATERUI 等の大規模並列計算機で効率的に動作する粒子法プログラムの開発は容易ではない。そこで我々は、並列粒子法シミュレーションプログラムの開発を容易にするフレームワーク (Framework for Developing Particle Simulators: FDPS) の開発を行った (Iwasawa et al. 2016)。

近年、大規模並列計算機の消費電力が問題となってきており、消費電力を抑えつつ演算性能を上げるために GPU や PEZY-SC 等のアクセラレータ搭載したスーパーコンピュータが登場してきている。そこで、我々は複数の相互作用リストを一度にアクセラレータへ送り相互作用計算を行うマルチワーク法 (Hamada et al. 2009) を用いることで FDPS のアクセラレータ対応を行った。本公演ではアクセラレータ対応した FDPS の概要とアクセラレータを用いた場合のアプリケーションの性能について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P240a 大規模並列粒子シミュレーションコード開発用フレームワーク FDPS の惑星形成・リング計算向け最適化

牧野淳一郎 (神戸大/理研), 岩澤全規 (理研), 行方大輔 (理研), 似鳥啓吾 (理研), Long Wang (理研), 谷川衝 (東大), 村主崇行 (理研), 細野七月 (京大)

FDPS や、それを使った P³T 法の実装により、惑星形成や惑星リングの大規模計算が可能になってきた。しかしながら、京コンピュータ、中国の Sunway TaihuLight、あるいは現在開発中のポスト京コンピュータのような非常に並列度が高い計算機では、現在の FDPS の実装では実行効率上様々な問題が起こることが明らかになった。本講演では、惑星形成・リング系の超大規模計算を高い効率で行うために FDPS に実装した改良と、実現できた性能についてまとめる。

FDPS では、空間分割をデカルト座標で x, y, z 方向の順番で分割するが、リング形状を扱う場合、これでは計算領域の形状が極端に歪む。このため、ノード間の通信量が増加し、実行効率が低下する。この問題を回避するため、空間分割およびツリー構造の構築を、デカルト座標ではなく円筒座標で行うことを可能にした。これにより、計算領域の 2 次元形状を正方形に近くし、通信量を最適化する。さらに、この円筒座標系はリングの典型的な回転速度で回転させ、粒子の領域間移動を最小化する。さらに、細いリングの場合には、半径方向に計算領域を結合した「超領域」を構成し、これらの情報だけを全プロセスで共有することで、通信量を大きく削減した。

これら及びさらに様々な新しいアルゴリズムを実装したことで、10 万プロセスを超える大規模並列環境でも、リング系の計算で高い実行効率を実現できる目処がたつたと考えている。TaihuLight では、4 月の全ノード実行での実行効率は 10% 程度であったが、その後機会があれば 30% 程度を実現できる見込みである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P241a 原始惑星系円盤乱流場中のダスト粒子運動: 非圧縮性乱流と圧縮性乱流の比較

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

原始惑星系円盤中のダストが衝突・合体を繰り返して成長し、微惑星を経て惑星となる、というのが現在考えられている惑星形成の標準的なシナリオである。しかし、その過程には微惑星形成を妨げるいくつかの未解決な問題(中心星落下、衝突破壊など)があることが知られている。その問題の一つである衝突破壊問題は、ダストが集積した物(アグリゲイト)同士が衝突する際、合体せずに破壊されてしまうという問題である。近年、Pan et al. ApJ(2011)は人工的な粘性を用いた圧縮性流体の数値シミュレーションにより、乱流が粒子の合体成長を促進するという結果を示し、Pan&Padoan, ApJ (2013,2014,2015)では非線形性の弱い(レイノルズ数の低い)圧縮性乱流の直接数値計算(DNS)を行い、乱流中の粒子の衝突速度等の統計を詳しく調べている。最近、我々のグループでは非圧縮ナビエ・ストークス方程式の大規模な直接数値計算を行い、高レイノルズ数の乱流の慣性小領域における粒子の衝突統計を解析した。一般に、原始惑星系円盤乱流では圧縮性の影響は小さく、本質的には非圧縮であると考えられているが、定量的な比較評価はされていない。そこで、本研究では、非圧縮性乱流と圧縮性乱流(マッハ数 0.10.5)のDNSを行い、粒子衝突・付着に関する統計量に対する圧縮性の影響を調べた。その結果、レイノルズ数が同じ場合、粒子の動径分布関数に若干の違いが見られるものの、衝突粒子に関する他の統計量は非圧縮、圧縮(マッハ数 0.10.5)のいずれの計算においても定量的にほぼ一致する結果が得られることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P242a 氷マントルダストのサイズ分布とダスト付着成長への影響

田中秀和 (東北大学)

ダスト付着成長過程において、ダスト初期サイズはその後の成長に大きな影響を与える。例えば、ダスト付着が可能な衝突速度上限値は、ダスト集合体の構成粒子サイズにほぼ比例することが知られている。従来研究では、構成粒子サイズとして星間シリケートダストの代表的サイズである $0.1\mu\text{m}$ を採用とし、氷ダストの付着限界速度は数十 m/sec となると見積られていた。しかしながら、氷ダストが、サブミクロンのシリケートダスト上に H_2O などの揮発性成分が凝縮しつくられた後に、シリケートダストと同様なサイズ分布になるという従来の仮定は単純化しすぎであろう。本研究では、シリケートへの氷成分の凝縮をモデル化し、つくられる氷マントルダストのサイズ分布を調べた。氷凝縮の核となるシリケートダストは、観測で明らかになっているように半径 $0.2\mu\text{m}$ 程度を上限としたべきサイズ分布を持つとした。氷凝縮は、分子雲内のように低温で水蒸気が強く過飽和となっている環境下では、各ダスト表面上で同様に進行するので、シリケート核サイズに依らず同じ厚さの氷マントル層がつくられる。その結果、氷は主に数の多いサイズ分布下限のシリケート核上で凝縮し、典型的には半径 $0.02\mu\text{m}$ の氷マントルダストが大量につくられることが明らかになった。半径 $0.02\mu\text{m}$ というサイズは従来の想定値よりも大幅に小さいため、これらの構成粒子が付着成長してきたダスト集合体はより大きな付着限界速度を持つことが期待される。上記の氷マントルダストのサイズ分布進化は、ダストの総表面積を桁で増大させる効果もあり、ダスト付着の力学以外にダスト表面での化学反応に対しても大きな影響を与えるであろう。さらに、得られたサイズ分布をもった構成粒子からなるダストに対して新たに衝突数値計算を行い、付着限界速度がどの程度影響を受けるかを調べ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](#)

P243a 乱流中の多孔質ダストの運動とダスト層の重力不安定

道越秀吾 (京都女子大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

氷のダストアグリゲートが合体成長でできる際に、多孔質となり密度が低くなることが知られている。ダストアグリゲートの質量が大きくなると、自己重力により圧縮し付着成長のみでコンパクトな微惑星の形成が可能である (Kataoka et al. 2013)。我々は、この氷ダストアグリゲートが成長しながら自己重力で圧縮していく段階に着目し、それらの運動を調べたところ、単純な力学モデルにより、乱流が強くなければ重力不安定が発生する可能性があることがわかった (Michikoshi and Kokubo 2016)。また、岩石ダストの場合でも乱流が弱ければ重力不安定が発生する可能性がある (2017 年春季年会、辰馬他の発表)。

本研究では、Michikoshi and Kokubo (2016) で用いたモデルを拡張し、より詳細な解析を行った。前研究では、ダストの速度分布を等方と仮定し、速度分布が1つの速度分散で特徴づけられるとした。本研究では、速度分布の円盤に沿った方向の成分と円盤に垂直な方向の成分に分離して、それぞれの発展方程式を用いた。また、前研究では、速度分散が平衡値と一致していると仮定した。しかし、平衡値の変化と平衡値に収束するタイムスケールが近い場合、この仮定は自明ではない。そこで、非平衡効果を考察した。ダストの速度分散に影響を与える要因として、ダスト間の衝突、重力と乱流ガスからの影響を考慮した。

様々なパラメータでダストアグリゲートの運動を調べた結果、乱流 α が 10^{-3} – 10^{-2} より小さければ、ダストが成長して自己重力で密度が大きくなる段階で、Toomre の Q が小さくなり重力不安定が発生することがわかった。重力不安定は微惑星の形成を促進した可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P244a 乱流の直接数値計算を用いた原始惑星系円盤中の岩石ダストの衝突付着成長シミュレーション

濱端航平, 石原卓, 白石賢二 (名古屋大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系のガス円盤の中には、氷や岩石からなるマイクロサイズ以下の固体微粒子であるダストがガス質量の1%程度存在しており、ダストは円盤ガス乱流内で衝突・付着成長を繰り返すことでそのサイズを増していき、kmサイズの微惑星、そして惑星を形成していくと考えられている。しかし、この微惑星形成過程には衝突破壊や中心星落下やなどいくつかの理論的な問題点があり未解決のままである。この問題の解決の糸口として近年注目されているのが乱流の効果である。先行研究では、乱流による粒子のクラスタリングが付着成長を促進することが指摘され (Pan et al, ApJ2011)、乱流中の粒子の衝突速度等の統計が乱流数値計算により調べられた (Pan&Padoan, ApJ2015)。しかし、流れの非線形性の強さ (レイノルズ数) への依存性とダスト粒子の限界付着速度 (Wada et al, A&A, 2013) を考慮した数値解析はされていなかった。最近、我々のグループでは乱流の大規模な直接数値計算 (DNS) を行い、乱流中で衝突する粒子の速度分布、限界付着速度、レイノルズ数依存性を考慮した数値解析により、従来の理論的評価よりダスト粒子の付着成長確率は高いことを示唆する結果を得たが、ダスト粒子が付着成長していく過程の数値シミュレーションによる実証はできてはいない。そこで本研究では、乱流 DNS を用いて岩石ダストの限界付着速度 (Wada et al, A&A, 2013) を考慮した粒子の衝突付着シミュレーションによる数値実験を行った。乱流粘性 を 10^{-2} 乗として初期粒子サイズを揃えた数値実験においては、粒子の慣性を大きくした (粒子の密度を小さくした) 場合ほど限界付着速度の影響を受けやすく付着が抑制されること、また、サイズが少し異なる粒子同士が最も付着成長因子が大きいことが分かった。他の結果については講演にて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P245a 円盤風によって進化する原始惑星系円盤中でのダスト面密度進化

瀧哲朗，萩原正博，小久保 英一郎（国立天文台）

微惑星の形成は原始惑星系円盤の内部で進行すると考えられているが，円盤内のダストは成長の過程でガスと角運動量を交換することで速やかに中心星へ落下してしまう．これは「中心星落下の壁」と呼ばれており，微惑星形成過程における代表的な理論的困難のひとつである．中心星落下を回避するためのシナリオのひとつに，ガス圧力のバンプ状構造におけるダストの捕獲がある（e.g., Taki et al., 2016）．このような構造の内部では円盤動径方向の圧力勾配が非一様になり，圧力が極大となる位置にダストが集積する．またバンプ構造は様々なメカニズムによって局所的あるいは大域的に円盤内で形成されることが知られている（Johansen et al., 2014）．

これまでの微惑星形成の研究では，大域的には定常なガス円盤を考慮することが多かったが，実際の原始惑星系円盤は100万年程度の時間スケールで散逸する．特に近年では，円盤進化の描像が古典的な粘性降着円盤から変わりつつある．例えば Suzuki et al. (2016) では，数値実験の結果から存在が予言されている磁場駆動円盤風を考慮した円盤進化モデルを提案した．このモデルでは円盤内側に大域的なバンプ状構造が表れ，時間と共に外側へ移動していく．このように円盤進化モデルによって円盤内でのダスト捕獲の描像も大きく変わる可能性がある．

本研究では，円盤風によって進化する原始惑星系円盤の内部におけるダスト面密度分布の進化を，半解析的なモデルを用いて調べた．落下してくるダストはバンプ状構造で捕獲されるが，ダストは圧力の極大点に向かって移動するため，円盤進化による極大点の外側移動に伴って一部のダストも外側へ引きずられていく様子が見られた．一方でバンプ状構造が通り過ぎた後にはダスト-ガス面密度比の高い領域が残りうることも分かった．本講演では，このようなダスト面密度の進化がその後の微惑星形成過程に与える影響についても議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P246a 微惑星から惑星への乱流円盤中での成長

小林 浩 (名古屋大学)、田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤中で微惑星と呼ばれる彗星大かもう少し大きいサイズの天体が形成され、それらが衝突・合体をくりかえして惑星へと成長していく。原始惑星系円盤は乱流状態であると期待されているが、微惑星のような大きな天体が乱流により影響を受けることは考えられてこなかった。本研究では、衝突に伴う合体や破壊を取り扱った微惑星の衝突進化、また、微惑星間の相互作用や乱流による効果による微惑星のランダム運動の進化を同時に解いて、乱流円盤中での微惑星の成長を取り扱うシミュレーションを行った。原始惑星系円盤の乱流が微惑星の衝突・合体による成長に大きな影響を与えるため、その後の形成される惑星の質量は乱流の強さに依存する。乱流が強くなるほど、微惑星の暴走成長が遅らせられるため惑星の成長時間は長くなるが、最終的に形成される惑星の質量は大きくなる。一方で、乱流が強くなりすぎると、衝突速度が速くなりすぎ、衝突・破壊により微惑星自体が成長できなくなる。そのため、ちょうどいい乱流の強さの時に形成される惑星の質量が最大になる。一般的な太陽質量の0.01倍程度の質量を持ち、固体/ガス比が太陽組成で決まっている原始惑星系円盤を初期条件にした場合、中心星から5AUの位置では乱流粘性が $10^{-3}c_s h_g$ 程度の時に形成される惑星の質量が最大になる。ここで、 c_s は音速、 h_g は円盤の厚さである。しかし、形成された惑星は最大でも地球質量程度にしかならず、木星のような巨大ガス惑星を形成するのに必要な固体核(10倍地球質量程度)を形成することはできない。しかし、ダストから微惑星が衝突・合体により形成される過程で、固体成分は太陽組成の4倍以上多くなる。微惑星形成過程を考慮して、固体成分が4倍以上濃集した条件でシミュレーションを行うと、巨大ガス惑星を形成しうる固体核が原始惑星系円盤の寿命(数百万年)以内に形成され、巨大ガス惑星形成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](#)

P247a 小惑星の衝突破壊・重力再集積による形状形成:細長い小惑星形成のための衝突条件

杉浦圭祐, 小林浩, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

900個以上の小惑星の形状が惑星探査機とその場観測や天文観測のライトカーブの詳細な解析により得られ, 小惑星の形状を用いた統計的な議論も可能となってきた. 小惑星イトカワの形状はラッコのような球から離れた不規則な形状であるが, 約60%の小惑星が短軸-長軸比が0.6を下回る不規則な形状をしている. このような形状は小惑星の衝突に伴う破壊や合体により形成された可能性が高い. 本研究では, 弾性体SPH法を用いた衝突シミュレーションにより衝突条件とその結果できる天体の形状に関係をつけ, 太陽系の過去の環境を明らかにすることを旨とする. そこで小惑星の衝突を扱うために, 自己重力, 岩石のひび割れ破壊の効果, 粉々に砕けた岩石間に生じる摩擦の効果を導入した. 開発したコードを用いて, 半径50kmの球形状の岩石微惑星どうしの衝突計算を, 衝突速度と衝突角度を系統的に変化させて実行した結果, ある程度低角度(正面衝突を 0° とし, 10° から 25° 程度)で, 合体しない程度からカタストロフィック破壊になる程度(150m/sから300m/s程度まで)という衝突条件なら, 破片の集積によって最大天体の形状が細長くなることが分かった. これは低角度で衝突することにより, 衝突後に残った速度の方向に1次元的に引き伸ばされるからである. また衝突天体の質量を小さくし微惑星同士の質量比がついた場合の衝突計算も行ったが, この場合は一部を削るような破壊モードになるため, 大規模に形状を変形させ細長くすることが難しく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](#)

【Q. 星間現象】

9月11日(月) 午前(10:30-13:06) [G会場]

Q01a	10:30	M8における分子雲衝突による大質量星形成 大河一貴(名古屋大学)
Q02a	10:42	分子雲衝突による大質量星団 RCW 36 の形成 佐野栄俊(名古屋大学)
Q03a	10:54	オリオン領域の分子雲衝突: NGC2068 / NGC2071 堤大陸(名古屋大学)
Q04a	11:06	電離水素領域 RCW34 に付随する大質量星の分子雲衝突による形成の可能性 林克洋(名古屋大学)
Q05a	11:18	複合 HII 領域 Sh 254-258 における分子雲衝突による大質量星形成の考察 佐伯駿(名古屋大学)
Q06a	11:30	広域一酸化炭素輝線データを用いた銀河系中心分子層の幾何構造の同定 榎谷玲依(名古屋大学)
Q07a	11:42	The Dust-selected Molecular Clouds in the Small Magellanic Cloud 竹腰達哉(電気通信大学)
Q08a	11:54	ALMA を用いた巨大星団 RCW38 に対する分子ガスと電離ガスの高分解能観測 鳥居和史(国立天文台)
Q09a	12:06	ダスト偏光度の周波数依存性から探る星間ダストの物性 梨本真志(東北大学)
Q10a	12:18	Constraining physical conditions for the PDR of Trumpler 14 in Carina Nebula Ronin Wu (LERMA/Paris Observatory)
Q11a	12:30	窒素含有有機分子が豊富なホットコアの物理環境の検証 鈴木大輝(宇宙航空研究開発機構/アストロバイオロジーセンター)
Q12b	12:42	ほ座 RCW 32 領域の分子雲衝突による形成の検討 榎谷玲依(名古屋大学)
Q13b	12:42	銀河系中心領域における星間気体の幾何構造に及ぼす磁気活動の影響 柿内健佑(名古屋大学)
Q14b	12:42	「すざく」衛星によるカリーナ星雲西部に広がった軟 X 線放射の解析 福島碧都(首都大学東京)
Q15b	12:54	輻射流体計算による PDR の時間進化モデル 本山一隆(総合研究大学院大学)

9月11日(月) 午後(14:30-16:42) [G会場]

Q16a	14:30	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 最終年度報告 梅本智文(国立天文台)
Q17a	14:42	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河系外縁部 (4) 松尾光洋(国立天文台)
Q18a	14:54	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河系内域における分子雲同定 齋藤弘雄(筑波大学)
Q19a	15:06	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 佐藤一樹(東京大学)
Q20a	15:18	FUGIN サーベイに基づく鹿児島大学野辺山アンモニア サーベイ マッピング観測の現状 上杉正裕(鹿児島大学)
Q21a	15:30	Possibility of chemical differentiation among high-mass star-forming cores Kotomi Taniguchi (SOK-ENDAI/NAOJ)
Q22a	15:42	大質量星形成領域 S106 の未同定赤外 (UIR) バンドの観測 木村智幸(東京大学)
Q23a	15:54	陽子線による QCC の赤外線特性の変性 池内綾人(東京大学)
Q24a	16:06	近赤外線高分散分光器 WINERED: C ₂ , CN 分子バンドの検出 濱野哲史(京都産業大学)
Q25a	16:18	近赤外線高分散分光器 WINERED: DIB λ 10697 のキャリア分子への制限 竹中慶一(京都産業大学)
Q26a	16:30	ジェットによる ULX バブル形成のシミュレーション 朝比奈雄太(国立天文台)
Q27c		磁場優勢の圧縮性 MHD 乱流中の粒子加速 寺木悠人(旭川工業高等専門学校)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [G会場]

Q28a	09:30	Planck・AKARI・IRAS 衛星による銀河系ダスト放射のモデル構築 西原智佳子(名古屋大学)
Q29a	09:42	アンテナ銀河における巨大星団形成: 分子雲衝突によるトリガーの可能性 福井康雄(名古屋大学)
Q30a	09:54	大マゼラン雲における水素原子ガス衝突による N44 形成 柘植紀節(名古屋大学)
Q31a	10:06	超新星残骸 N49 における硬 X 線と分子雲 山根悠望子(名古屋大学)
Q32a	10:18	銀河系中心 50km/s 分子雲の分子雲衝突による大質量星形成クランプ 上原顕太(東京大学)
Q33a	10:30	MAGIC 望遠鏡による銀河系中心領域からのガンマ線観測 岩村由樹(東京大学)
Q34a	10:42	広がった TeV ガンマ線源 VER J2019+368 の X 線観測(2) 田中慎之(広島大学)
Q35a	10:54	ガンマ線バーストの X 線残光を用いた天の川銀河の星間ガスの評価 小山恭弘(広島大学)
Q36a	11:06	「すざく」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(大阪大学)
Q37a	11:18	分子雲と相互作用している超新星残骸における 宇宙線起源の中性鉄輝線探索 信川久実子(奈良女子大学)

9月12日(火) 午後(13:00-15:12) [G会場]

Q38a	13:00	ひとみ衛星によるパルサー風星雲 G21.5-0.9 の広帯域 X 線観測 内田裕之(京都大学)
Q39a	13:12	フェルミ衛星 LAT 検出器による MBM 53,54,55 分子雲および Pegasus loop 領域の星間ガス・宇宙線の研究(2) 水野恒史(広島大学)
Q40a	13:24	パルサー星雲の流れ場に空間拡散過程が与える影響 石崎渉(東京大学)
Q41a	13:36	フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸 Puppis A の観測 荒川真範(立教大学)
Q42a	13:48	「すざく」による Kepler 超新星残骸の膨張速度測定 春日知明(東京大学)
Q43a	14:00	恒星 bow-shock 候補 G70.7+1.2 からの X 線の発見 馬場彩(東京大学)
Q44a	14:12	Chandra 衛星による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の非熱的放射の空間分布観測 奥野智行(京都大学)
Q45a	14:24	分子雲衝突に起因する超新星残骸からの宇宙線逃亡シナリオの観測的検証 鈴木寛大(東京大学)
Q46a	14:36	電波シンクロトロン放射強度の二点相関解析による超新星残骸磁場スペクトルの測定について 霜田治朗(青山学院大学)
Q47a	14:48	Sgr A* 起源の knee 宇宙線 藤田裕(大阪大学)
Q48a	15:00	IceCube ニュートリノは星形成銀河ですべて説明できるか? 須藤貴弘(東京大学)

Q01a M8 における分子雲衝突による大質量星形成

大河一貴, 西村淳, 大浜晶生, 堤大陸, 佐野栄俊, 福井康雄, 立原研悟, 山本宏昭, 服部有祐, 河野樹人 (名古屋大学), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 木村公洋, 小川英夫 (大阪府立大学)

大質量星形成の理解は天文学の重要な課題の一つである。大質量星形成をトリガーするメカニズムとして注目されているものの一つが分子雲衝突 (Cloud-Cloud Collision, CCC) である。

H_{II} 領域のうち若いものは、周囲の残存分子ガスに大質量星を形成した痕跡が残っていると考えられ、大質量星形成を調べる上で重要な天体である。そこで、我々は M8 に注目した。M8 は干潟星雲とも呼ばれ、1 - 3 Myr の O/B 型星が多数付随する H_{II} 領域である。我々はこの領域の大質量星が CCC によって形成したと仮説を立て、観測・解析をおこなった。

観測は NANTEN2 望遠鏡 (口径 4m, アタカマ高地) を用いて CO ($J = 2 - 1$) 輝線に対して行なった。観測期間は 2016 年 12 月、M8 をほぼカバーする $1^\circ \times 1^\circ$ の観測範囲を 4 つのマッピングに分割して OTF 観測した。

解析の結果、視線速度 8 km/s, 13 km/s, 16 km/s, 27 km/s の分子雲を同定した。これらの空間分布は可視光で観測される構造とよく対応する。O 型星が複数分布する Her 36 周辺では、8 km/s 雲を 13 km/s 雲が空間的に取り囲むように相補分布していた。8 km/s 雲中心部が観測範囲で最も輝線強度の強い領域であり、柱密度は $3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と見積もった。B 型星が集中する NGC6530 中心部でも、13 km/s 雲と 16 km/s 雲の相補分布が見られた。相補的な分布は衝突した分子雲に見られる特徴のひとつである。また、位置速度図に膨張運動は見られず、CCC の数値シミュレーションによる結果と調和的な分布を示した。我々は、かつて CCC が起こり、それが M8 の大質量星形成を誘発したと考えた。本公演では、M8 での CCC による大質量星形成の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a 分子雲衝突による大質量星星団 RCW 36 の形成

佐野栄俊, 榎谷玲依, 林克洋, 佐伯駿, 大河一貴, 柘植紀節, 堤大陸, 河野樹人, 服部有祐, 藤田真司, 吉池智史, 西村淳, 大濱晶生, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史 (NRO), 山岸光義 (JAXA/ISAS)

近年, 大質量星の形成機構として, 分子雲同士の衝突が注目されている. 理論的には, 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, $\sim 4 \times 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の高い質量降着率を達成できることが分かっている (井上 & 福井 2013). 観測面では, 大質量星を 1–20 個含む HII 領域 ~ 10 天体について分子雲の衝突が確認された. 付随する 2 つの分子雲が相補的な空間分布を示し, $\sim 10\text{--}30 \text{ km s}^{-1}$ の速度差を持つことが根拠のひとつである (e.g., 福井ほか 2017). 目下最大の課題は, 観測的検証例を増やし, 現象の普遍性を理解することにある.

RCW 36 は Vela Molecular Ridge の HII 領域であり, O9V および O9.5V 型星を含む ~ 350 個の星から構成される. 分子雲については, 空間的にアンダーサンプリングな観測が行われており, 異なる速度を持つ 2 つの分子雲が特定されている (e.g., Brand ほか 1984). 一方, 星団の形成機構についてはほとんど言及されてこなかった.

我々は, NANTEN2, ASTE, Mopra による $^{12}\text{CO}(J = 1\text{--}0, 2\text{--}1, 3\text{--}2)$ 及び $^{13}\text{CO}(J = 2\text{--}1)$ フルサンプリング観測を実施し, 分子雲の分布を $26''\text{--}180''$ の分解能で明らかにした. 結果として, $V_{\text{LSR}} \sim 5.5$ および 9.0 km s^{-1} の 2 つの分子雲が星団方向で相補的な空間分布を持つことを見出した. 2 つの分子雲は $0.6\text{--}1.2$ と高い $\text{CO } J = 3\text{--}2/1\text{--}0$ 強度比を示し, 赤外線フィラメント構造とも良い空間対応が見られた. 視線方向に対して 45° で運動しているとすると, 2 つの分子雲の速度差は $\sim 5 \text{ km s}^{-1}$ となる. これらの特徴は, 分子雲衝突が見られたほかの天体のそれと酷似している. さらに衝突のタイムスケールは $\sim 0.2 \text{ Myr}$ と若く, 距離 1.9 kpc の場合の星団年齢と矛盾しない (Ellerbroek ほか 2013). 本講演では, RCW 36 の形成機構が分子雲衝突で理解できることを論じる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q03a オリオン領域の分子雲衝突：NGC2068 / NGC2071

堤大陸, 大浜晶生, 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 (名古屋大学理), 鳥居和史 (NRO)

我々は、オリオン分子雲の OB 型星形成が、分子雲衝突によってトリガーされていることを M42、NGC2024 などの領域について提案した (Fukui et al. 2017a; Ohama et al. 2017 in prep.)。本講演では、NGC2068/2071 領域においても、3 個の B 型星形成が分子雲衝突によってトリガーされた可能性を提案する。

本解析に使用した観測データは ^{13}CO ($J = 2 - 1$) 遷移であり、NANTEN2 によって 2016 年 12 月に取得された。観測は OTF 法 (ビームサイズ $90''$) によって行なわれ、この領域の分子雲全体をカバーしている。このデータの解析により、空間的に分離した NGC2068、NGC2071、NGC2071-north (Iwata et al. 1989) のそれぞれに付随する 3 つの分子雲が同定された。前 2 者はそれぞれ 8.25 km/s と 11.50 km/s という ~ 3 km/s の視線速度差を持ち、型を抜いたような相補的な空間的分布を示す。また、この領域に存在する計 3 個の B 型星は両分子雲の境界に位置している。これらの結果から我々は、約 2×10^5 年 というタイムスケールでの 2 個の分子雲の衝突によって、B 型星形成がトリガーされた可能性を提案する。本研究により、オリオン領域全体にわたって、例外なく分子雲衝突が OB 型星形成をトリガーした可能性が提起される。同様の傾向は、近年いて座腕の HII 領域などにおいても確認されており (Torii et al. 2011, 2016; Okawa et al. 2017 in prep.; Fukui et al. 2017b, 2017c in prep.)、OB 型星形成における分子雲衝突の重要性はさらに高まったと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04a 電離水素領域 RCW34 に付随する大質量星の分子雲衝突による形成の可能性

林克洋, 佐野栄俊, 榎谷玲依, 服部有祐, 河野樹人, 藤田真司, 西村淳, 大浜晶生, 立原研悟, 福井康雄 (名大理), 鳥居和史 (国立天文台)

大質量星は強い紫外線を放射することで、その周囲に電離水素領域を形成するほか、星風や超新星爆発によって周辺の星間環境に多大な影響を与える。しかし、一般的な星形成のモデルでは、大質量星形成のための高い質量降着率を実現することは難しく、その形成プロセスは未だによく分かっていない。最近の分子雲同士の衝突を模擬した理論計算により、衝突によるガスの圧縮が、高い降着率を実現するプロセスとして注目されている (e.g., 高平ほか 2014)。一方で、大質量星に付随した分子雲の観測により、異なる分子雲同士が衝突した傾向を示す結果が数多く見つかっている (e.g., 古川ほか 2009; 福井ほか 2016; 鳥居ほか 2017)。その証拠は、銀河系内の巨大星団から、孤立した大質量星を持つ電離水素領域並びに、大マゼラン雲中の星形成領域からも特定されている。

RCW34 は、複合分子雲領域 Vela Molecular Ridge に付随した大きさ $6 \text{ pc} \times 9 \text{ pc}$ 程度のリング状の電離水素領域である。リングの北側に単独の O 型星と早期 B 型の大質量星が付随している。NANTEN2 及び ASTE の観測によって、これら的大質量星を挟むように、速度差 5 km s^{-1} 程度の異なる速度成分をもつ分子雲が発見された。赤外線リングに沿うように分布した質量の大きい分子雲と、そのリングの空洞を覆うような質量の小さい分子雲が特定された。これらの分子雲の相補的な分布や赤外線との相関並びに CO の輝線強度比から、どちらの分子雲も大質量星に付随したものであると推定される。本講演では、RCW 34 に付随した大質量星が、この二つの分子雲の衝突によって形成された可能性について、NANTEN2 や ASTE の観測結果ならびに、赤外線の観測データ、また数値シミュレーションの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](#)

Q05a 複合 HII 領域 Sh 254–258 における分子雲衝突による大質量星形成の考察

佐伯駿, 西村淳, 福井康雄, 佐野栄俊, 立原研悟, 山本宏昭, 大浜晶生, 藤田真司, 河野樹人, 堤大陸 (名古屋大学), J.H. Bieging (The University of Arizona), L. Chavarria (Universidad de Chile)

近年分子雲同士の衝突が多くの大質量星形成領域で大きな役割を果たしていることが観測的に示唆され、我々は複合 HII 領域 Sh 254–258 に注目した。距離 ~ 1.6 kpc に位置する Sh 254–258 は、約 10 pc の範囲に 5 つの HII 領域が存在する活発な星形成領域である。この複合 HII 領域の特徴として、約 1 pc ほどの大きさを持った HII 領域 Sh 255 と Sh 257 が 3.3 pc 離れて存在し、それらに挟まれた領域では分子ガスが多量に存在する。この分子ガス中からメーザー輝線放射が観測されていることから、比較的若い星があり、現在星形成が進行していると考えられる (Bieging et al. 2009)。これまで、OB 型星によるフィードバックによってガスがかき集められ星形成が促進する、連鎖的星形成の現場と考えられていたが、これらの過程を分子雲衝突の観点から考察した。今回我々は 5 つのすべての HII 領域を含み、20 pc 以上にわたって分布している巨大分子雲の詳細な解析を行った。データは Submillimeter Telescope ^{12}CO ($J=2-1$) 輝線 (Bieging et al. 2009)、Five College Radio Astronomy Observatory ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線 (Chavarria et al. 2008) を用いた。巨大分子雲の速度構造の詳細な解析から ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線において視線速度が 8.7 km s^{-1} と 6.0 km s^{-1} 2 つの分子雲を同定した。分子雲の質量はそれぞれ約 $7000 M_{\odot}$ 、約 $4600 M_{\odot}$ であった。また ^{12}CO $J=2-1/1-0$ 強度比から、どちらの分子雲も HII 領域に付随しており、また両者は空間的に相補的な分布を持っていることを発見した。さらに速度構造に膨張運動が見られないことから、これら 2 つの分子雲の衝突により、大質量星形成がトリガーされたと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q06a 広域一酸化炭素輝線データを用いた銀河系中心分子層の幾何構造の同定

榎谷 玲依, 柿内 健佑, 立原 研悟, 福井 康雄 (名大), 鈴木 建 (東大), 鳥居 和史 (国立天文台)

銀河系中心から約 300(銀経) × 60(銀緯)pc の分子ガスが密集する領域は、Central Molecular Zone (CMZ) とよばれ、強磁場・高温・高密度が達成される銀河系の特異領域である (Güsten and Philipp 2004 など)。CMZ の分子ガスは、銀経-速度図上で銀河回転のみでは説明のつかない、平行四辺形型の速度分布を示す。その起源は stellar bar ポテンシャルによるものが支配的であると広く知られているものの (Binney 他 91)、未だに観測を精度よく再現する数値計算はなく、全ての速度分布を説明するのは困難である。これに対し鈴木他 15 は、銀河系中心部 kpc スケールの大局三次元磁気流体計算を行い、銀河回転により増幅された強い磁場が分子ガスに影響を与え、過渡現象として平行四辺形を作りうることを指摘した。またこの計算は、磁場が z 方向 (銀河面と垂直方向) のガスの運動を活発に引き起こすことを示し、これまでの観測的描像 (福井他 06, 榎谷他 14) とよく合致する。近年、分子輝線データを用いた CMZ の幾何構造の同定が多く行われているが (e.g., Henshaw 他 16)、それらの全ては z 方向 ±10pc の非常に狭い領域に限った議論を行っており、鈴木他 15 で指摘された高銀緯領域での磁気活動を考慮しないものである。そこで我々は、チリ、アタカマ高地の NANTEN2 電波望遠鏡で観測された、銀河系中心部の z 方向 ±150 pc の広範囲の $^{12}\text{CO } J=1-0$, $2-1$, $^{13}\text{CO } J=1-0$ データを用いた解析を行い、CMZ が、中心から半径約 70 pc 以内の領域で円盤が約 30 pc と薄く、外周部では約 100 pc まで膨らむ赤血球構造をしていることを明らかにした。また、中心に近づくほど $\text{CO}2-1/1-0$ 強度比が高くなる傾向と合わせて、中心付近では重力が支配し星形成が活発である一方、ガスの供給源である外周部では磁場が支配的であるという描像を得た。本公演では、これらの観測的特徴と鈴木他 15 の計算結果との比較から CMZ の構造と形成についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q07a The Dust-selected Molecular Clouds in the Small Magellanic Cloud

竹腰達哉 (電気通信大), 南谷哲宏, Erik Muller, 水野範和, 河村晶子, 江澤元, 大島泰, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 小麥真也 (工学院大), 河野孝太郎 (東京大学), 濤崎智佳 (上越教育大), 徂徠和夫 (北海道大), 大西利和 (大阪府大), 福井康雄 (名古屋大), Kimberly S. Scott(NRAO), Jason E. Austermann(NIST), Itziar Aretxaga, David H. Hughes(INAOE), Grant W. Wilson, Min S. Yun(UMass)

小マゼラン雲は距離 60 kpc にある極近傍の矮小銀河であり、低金属量環境下での星形成や銀河形成過程を明らかにするうえで重要な天体である。小マゼラン雲に対する分子雲観測は、NANTEN や Mopra 望遠鏡による CO 分子輝線のサーベイ観測が行われており、非常にコンパクトな CO 分布を示すなど、我々の銀河系とは異なった分子雲の描像を示している。近年の研究においては、低金属量環境下における CO 形成のタイムスケールが、星形成のそれよりも長いことが指摘され、CO が必ずしも最良の分子雲トレーサでない可能性も指摘されている。我々はこれらの問題に新たな視座を与えるため、ダスト連続波を用いた分子雲サーベイ手法を提案し、ASTE を用いた 1.1mm 帯全面サーベイとハーシェル宇宙望遠鏡のデータを組み合わせることで、銀河系内の分子雲と同程度のガス質量、サイズ、密度を持つ天体を同定することに成功した。これらの天体には CO では未検出の星形成活動を示さない分子雲も含まれており、星形成を伴うものより有意に質量やサイズが小さかった。また、我々は、1.1mm 帯全面観測で検出されなかった弱い星形成活動を示す 2 つの NANTEN 分子雲を、より高感度な 1.1mm データを用いることで、その検出に成功した。これらの天体では、1.1mm と同等の分解能を持つ Mopra 望遠鏡で観測された CO の放射領域が、1.1mm 天体内部の PAH のコアやフィラメントと良い相関を示した。これは、CO が分子雲内部の高密度領域をトレースする一方で、ダストは低密度な領域からも放射されることを意味している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q08a ALMA を用いた巨大星団 RCW38 に対する分子ガスと電離ガスの高分解能観測

鳥居和史 (国立天文台), 徳田一起 (大阪府立大), 大浜晶生, 服部有祐 (名古屋大), 大西利和 (大阪府立大), 大橋聡史 (理化学研究所), 水野範和 (国立天文台), 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大)

巨大星団 (Super Star Cluster) は、サイズ 1 pc 以下の狭い範囲に O 型星で 1020 個、星の総数で 1 万個以上が集中する特異な星団である。銀河系内の若い巨大星団は 4 例ほどしか知られておらず、中でももっとも若い (0.1 Myr) 巨大星団が RCW38 である。2016 年、我々は、この RCW38 に対する ASTE および Mopra を用いた CO 輝線観測から、この星団の起源が 2 つの分子雲の超音速衝突にあるとするモデルを提案した。その後、この RCW38 の中心部およそ $1' \times 2'$ ($\sim 0.5 \text{ pc} \times 1 \text{ pc}$) に対し、ALMA Cycle 3 にて Band 6 および Band 7 を用いた観測を実施した。この観測範囲は、RCW38 中心部のサイズ約 0.5 pc の HII 領域を十分にカバーする。本発表では、データが届けられた ACA 観測の結果を報告する。達成した空間分解能は、Band 6 で $7'' \sim 0.06 \text{ pc}$, Band 7 で $5'' \sim 0.04 \text{ pc}$ である。今回得られた CO 輝線、電波連続波、H30 α の各データから、この領域における分子ガスと電離ガスの入り乱れた分布・運動が明らかとなった。CO および電波連続波からは、HII 領域を取り囲む壁のような構造に加え、複数の濃い分子雲コアの存在が示された。特に、赤外線のみりぞき構造 IRS2 に隣接する場所で発見されたコアからは、速度幅 80 km/s にも及ぶ bipolar outflow が ^{12}CO で検出され、若い進化段階の大質量星の存在を示す。また、分子雲衝突による乱流成分は、HII 領域の北部に、速度幅 10 km/s を持つ広がった構造として検出された。H30 α は分子ガスに接するような分布と速度勾配を示す。以上から、この若い巨大星団において、激しい電離ガスと分子雲の相互作用と、そこに埋もれた若い大質量星の存在が明らかとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09a ダスト偏光度の周波数依存性から探る星間ダストの物性

梨本 真志, 服部 誠, 下西 隆 (東北大学), 西原 智佳子, 竹内 努 (名古屋大学), 大坪 貴文 (宇宙航空研究開発機構), 山本 哲生 (北海道大学), 土井 靖生 (東京大学)

原始重力波起源の宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) Bモード偏光の観測によるインフレーションモデルの立証が世界中で目指されている。観測対象の信号は非常に微弱で銀河系内ダストによる放射に覆い隠されているため、銀河系内ダスト放射を精度良く分離することが極めて重要である。また、CMB 偏光観測を目的とした数多くの観測実験が現在稼働、計画中であり、これらの観測データを用いて今後さらに銀河系内ダストの物性の理解が深まることが期待される。本研究では、CMB 偏光観測の精度向上を目指し、ダスト偏光放射の周波数依存性に注目して、ダスト物性に基づいたモデル構築と観測による制限を行う。ミリ波帯における楕円体ダストによる放射強度は楕円体ダストの複素誘電率の実部と虚部の両方に依存するが、偏光度は実部にしか依らないことを解析的に示した。つまり、放射強度と偏光度の周波数依存性が観測できれば、ダストの複素誘電率の周波数依存性が得られる。観測データからこれらの情報を得るための準備として、結晶やアモルファスダストにおける様々な物性に対して楕円体ダストの吸収係数や偏光度を計算した。この計算には双極子近似を用いたが、星間輻射場中の光子吸収の効果をより正確に取り入れるためには短波長側も精度良く計算する必要があり、双極子近似を超えた高次の計算が重要である。本講演ではこれらの計算手法とその結果について報告する。また計算結果をもとに Planck や AKARI のデータにフィッティングして得られるダスト物性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](#)

Q10a Constraining physical conditions for the PDR of Trumpler 14 in Carina Nebula

Ronin Wu¹, Takashi Onaka², Franck Le Petit¹, Emeric Bron^{1,3}, Frédéric Galliano⁴, Tomohiko Nakamura^{2,5} (1. LERMA, Paris Observatory; 2. The University of Tokyo; 3. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid; 4. AIM, CEA Saclay; 5. Recruit Communications.)

At a close distance, 2.3 kpc, from us in the Milky Way, Carina Nebula is the largest and brightest nebula in the southern sky. It hosts a majority of the most massive stars known in our Galaxy and thus provides an ideal laboratory for studying on-going star formation. Interpreted with the state-of-the-art *Meudon PDR* code, we present the physical conditions of the emission of CO-ladders, observed by *Herschel* SPIRE/FTS, across an HII-PDR interface located at the northwest in the Carina Nebula. The ionization front of this region sits at a projected distance of ~ 2 pc from the young (1 – 2 Myr) OB-star cluster, Trumpler 14 (Tr 14), which provides its dominant UV input. From this work, we conclude that:

1. Confirmed by the nearby stellar compositions, the *Meudon PDR* code successfully solves the physical conditions of the observed CO clouds. We find that the pressure (P) and radiation fields (G_{UV}) are generally around $\gtrsim 10^8 \text{ K cm}^{-3}$ and $\gtrsim 10^4$ (Mathis unit) for the mid-J ($J = 4 - 3$ to $J = 13 - 12$) transition-emitting CO clouds in this region.
2. Although further spatially-resolved evidence is needed to unambiguously conclude the geometry of the clouds, our results favor the scenario that the CO emission originates from the high-pressure ridge at the molecular cloud surface, rather than from the clumpy pockets embedded in the diffuse ISM.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11a 窒素含有有機分子が豊富なホットコアの物理環境の検証

鈴木大輝、大石雅寿 (NAOJ)、齋藤正雄 (NAOJ)、廣田朋也 (NAOJ)、Liton Majumdar (Bordeaux University), Valentine Wakelam (Bordeaux University)

Orion KL のホットコアとコンパクトリッジでは、窒素含有有機分子 (CH_2CHCN など) の分布とそれ以外の分子 (CH_3OH など) の分布は異なることが知られている。さらに、国立天文台のグループはこれまでに複数の大質量性形成領域における有機分子の探査を通じて有機分子の存在量を解析し、天体間で CH_2NH の存在量に差異があることを見出した (Suzuki et al.2016)。分子の存在量を左右するが物理的要因を検証することで、化学進化の理解を深めることができる。

そこで当研究では化学モデルを用いて、これまでに観測した有機分子 (CH_2NH , NH_2CHO , CH_2CHCN , CH_3OH , HCOOCH_3 , CH_3OCH_3 , CH_3COCH_3) の存在量に大きな影響をあたえる物理環境を考察した。物理モデルとして、Garrod (2013) などの過去の大質量性形成領域のモデル計算でよく用いられてきたような、希薄な分子雲が重力収縮して高密度なコアができ、星が生まれたのちに温度が上昇するものを考える。初期密度、重力収縮の速度、コアの密度、星の誕生後に温度が上昇する速度、星の誕生後のガスの温度といった物理環境の違いが有機分子の存在量に与える影響を比較した結果、星の誕生後のガスの温度が最も大きな影響を持つこと分かった。講演では、比較的温度の低い天体 (~ 120 K) では星間塵表面での水素付加反を受けるため、水素の飽和していない窒素含有有機分子の存在量が減少しているという仮説を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12b ほ座 RCW 32 領域の分子雲衝突による形成の検討

榎谷 玲依, 佐野 栄俊, 林 克洋, 立原 研悟, 服部 有祐, 大濱 晶生, 山本 宏昭, 福井 康雄 (名大理), 鳥居 和史 (国立天文台)

太陽の8倍以上の質量を持つ大質量星は、紫外線放射や恒星風、超新星爆発などを通して周囲の星間物質に多大な影響を与えるため星形成史に欠かせない重要な研究対象である。しかしながら、小質量星より極端に形成時間が短い大質量星の形成現場を直接観測で捉えることは難しく、そのためにその理論的形成モデルについては未だに収束をみない (Tan 他 14 など)。分子雲同士の衝突は、銀河の衝突合体の際に爆発的星形成をひき起こす引き金となる現象として古くから認知されているが、近年このモデルが大質量星形成に必要な初期条件である大質量降着率 ($\geq 10^{-3} - 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) を達成しうることが指摘された (Inoue & Fukui 2013)。さらに系内のいくつかの巨大星団や大質量星を含む星団において、過去の衝突の証拠が続々と報告されている (Furukawa 他 09, Torii 他 11 など)。母体分子雲に残される分子雲衝突の痕跡は、大質量星形成にかかる時間に比べ1桁以上長く保存されるため、容易に観測が可能である。我々はこの知見をもとに、これまで分子雲衝突の研究がなされていなかったほ座方向の電離水素領域である RCW 32 の分子輝線観測を、NANTEN2、ASTE 望遠鏡を用いて実施した。その結果、RCW32 中心部方向では電離が進んでおりガスは検出されなかったものの、外縁部に1000太陽質量と2000太陽質量の二つの分子雲 (2 km/s 雲、6 km/s 雲) が付随することを発見した。またそれらが衝突の痕跡と思われる、互いに相補的な空間分布を示すこと、数パーセクスケールの長さの多数のフィラメント状構造を持つことなどを見出した (Enokiya 他 17 投稿済み)。本ポスターでは以上の観測結果を総合し、RCW 32 の起源として分子雲衝突がその他のモデルと比較してより可能性が高いシナリオであることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q13b 銀河系中心領域における星間気体の幾何構造に及ぼす磁気活動の影響

柿内健佑, 榎谷玲依, 立原研吾, 福井康雄 (名大), 鈴木建 (東大), 鳥居和史 (国立天文台)

銀河系中心領域における周囲数 100pc に分布する巨大分子雲複合体 (Central Molecular Zone; CMZ) は, 銀河系内の平均的な分子雲に比べて, 高密度かつ高温な特異領域であることが観測から明らかにされている. 加えて, CMZ 周囲の磁場環境は, 赤外線暗黒星雲や非熱的フィラメント構造などの局所的な領域において 0.1-1mG (Morris et al. 1992, Pillai et al. 2015), 大局的な磁場強度の下限値として $50\mu\text{G}$ 以上であると推定されている (Crocker et al. 2010). これらの値は銀河系円盤部の平均的な磁場強度である数 μG を大きく上回り, 磁気活動が十分に星間ガスの動力学およびその分布構造に影響を与えと考えられる. これを踏まえ, Suzuki et al. (2015) は, 銀河系中心領域における大局的 3次元磁気流体計算を行った. その結果, 銀河回転に伴い増幅された磁場の活動が星間ガスの動力学に寄与することで, 分子ガス観測にみられる特徴的な速度構造を再現し得ることを示した. また, 同数値計算結果は銀河面に対して鉛直方向への流れ場を励起するトリガーとして磁場が重要な役割を果たす可能性も示唆している (Kakiuchi et al. 2017 in prep).

本講演では, 磁気流体数値計算のこれまでの解析結果から得られた磁気活動由来の局所的な動力学的特徴を踏まえ, 磁気活動が寄与する星間ガス雲全域の幾何学的な構造に着目する. 近年の CMZ の幾何構造は低銀緯内で議論されているが, 磁気活動により高銀緯領域までガスが持ち上がることを考慮し, より大域的な幾何構造を議論すべきであると考えられる. そこで, NANTEN2 電波望遠鏡で観測された銀河系中心方向における高銀緯領域を含む CO の観測データから同定された最新の幾何構造と Suzuki et al. (2015) の数値データから得られた磁気活動の寄与を受けた星間ガスの幾何構造との定性的な比較を行い, 磁気活動と幾何学的な構造との関係性を議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14b 「すざく」衛星によるカリーナ星雲南西部に広がった軟X線放射の解析

福島碧都、江副祐一郎、大橋隆哉 (首都大学東京)、濱口健二 (NASA/GSFC & UMBC)

大質量星は銀河の進化に多大な影響を及ぼす重要な天体として知られている。チャンドラ X 線観測衛星のデータは、大質量星の星形成領域に広がった放射があることを明らかにした (Ezoe et al. 2006, ApJ, 649, L123 など)。観測的にその性質は (1) 温度 0.1–1 keV の低温プラズマ放射、(2) 温度 2–10 keV の高温プラズマ放射、(3) $\Gamma=1-1.5$ 程度の巾関数で表される非熱的放射に分類できると考えられる。起源としては、星風の衝撃波説および超新星爆発説の 2 つが挙げられているが、未だ決着は着いていない。

我々はカリーナ星雲における軟 X 線放射に注目し、その起源の研究を行っている。カリーナ星雲は η Car や WR 星など 8 つ以上の大質量星を有する活動的な星形成領域の一つである (Smith 2006, MNRAS 367, 763)。濱口らは η Car 周辺において、Fe と O の元素組成比から超新星爆発説を起源として考えた (Hamaguchi et al. 2007, PASJ, 59, 160)。一方、江副らは東端領域の研究を行い、パラメータの類似性から起源は η Car 周辺と同一であり、さらに星風も起源となりうることを指摘した。 (Ezoe et al. 2009, PASJ, 61, 13)。我々はカリーナ星雲の中でも特に軟 X 線放射が卓越する南西部の「すざく」衛星によるスペクトル解析を、CCD の noisy pixel の影響を定量的に除去した上で行った。結果は $kT = 0.17, 0.51$ keV の 2 温度でよく再現され、カリーナの他の領域とほぼ一致する。しかし、Emission measure は中心部や東端部と比べると、高温成分が 10 倍程度減少しているのに対し、低温成分は同程度であった。これは中心部で生成されたプラズマが周辺領域に吹き飛ばされていることを示唆する。O/Fe や Si/Fe の元素組成比は II 型超新星残骸で期待される値ほど大きくなく、通常の OB 型星の星風の影響が大きい可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q15b 輻射流体計算による PDR の時間進化モデル

本山一隆 (総合研究大学院大学), Oscar Morata, Hsien Shang, 長谷川 辰彦 (ASIAA)

大質量星の周辺にある星間ガスは大質量星からの強い紫外線にさらされており、その内部の温度構造や化学組成は紫外線の影響を強く受けている。このような領域は Photon Dominated Region (PDR) と呼ばれ、ガスの密度が時間的に変化せず静止していると仮定した定常モデルを中心に理論的な研究が行われてきた。しかし、最近の ALMA を用いた Orion Bar の高分解能の観測では、 H_2 の解離波面と CO の解離波面が PDR の定常モデルで予想されているよりも接近していることが明らかになり (Goicoechea et al. 2016)、これまでの定常モデルでは PDR の構造を正確に説明できないことが分かってきた。

星間ガスが強い輻射を受けて加熱されると、星間ガス表面のガスが急激に膨張し、蒸発流として流出する。このような現象は光蒸発と呼ばれ、PDR の構造にも影響を与えられと考えられる。本研究では流体中で起きる化学反応も同時に解くことができる輻射流体シミュレーションにより、光蒸発が PDR 構造に与える影響を取り入れた PDR の時間進化計算を行った。光蒸発によって PDR 内部むかって衝撃波が駆動されるため、PDR は時間とともに圧縮される。衝撃波後面の圧縮領域で紫外線が強い吸収を受けるため、それより内側では温度構造、化学組成、解離波面の位置等が定常モデルと異なることが分かった。我々の時間進化モデルは、これまでの定常モデルよりも PDR の観測結果をよく再現することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 最終年度報告

梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史, 松尾光洋, 長谷川哲夫, 水野範和, 廣田明彦, 本間希樹, Muller, E., 亀谷和久, 井上剛志 (国立天文台), 久野成夫, 齋藤弘雄, 栗木美香 (筑波大), 半田利弘, 中西裕之, 面高俊宏, 新永浩子, 小澤武揚, 小出凧人, 水窪耕兵, 上杉正裕 (鹿児島大), 大西利和, 徳田一起, 高田勝太, 高橋諒 (大阪府大), 立原研悟, 西村淳, 佐野栄俊, 藤田真司, 服部有祐, 吉池智史, 河野樹人, 大河一貴, Cotes, J. (名古屋大), 松本尚子 (山口大), 瀬田益道 (関西学院大), 濤崎智佳, 小林幸典 (上越教育大), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大), 樋口あや, 大橋聡史 (理研), 大朝由美子 (埼玉大), 佐藤一樹, 桑原翔, 祖父江義明 (東京大), 坪井昌人, 山岸光義, 諸隈佳菜 (ISAS), Chibueze, J. (University of Nigeria)

我々は、星間ガスの進化と銀河系の構造に関する研究を進めることを目的とし、野辺山宇宙電波観測所 45 m 鏡に搭載された広帯域 2SB の新マルチビーム受信機 FOREST を用いた銀河面の CO サーベイ観測、NRO レガシープロジェクト FUGIN (FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45-m telescope) を進めてきた。これは CO ($J=1-0$) 輝線による銀河面サーベイとしては、最も高い角分解能 ($\sim 20''$) を達成していると同時に、FOREST の広帯域を生かした世界初の ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=1-0$) の 3 輝線同時観測である。

銀河系の棒状構造・渦状腕を含む内域 (80 平方度) と、外側の渦状腕を含む外域 (76 平方度) 領域のうち、最終年度の 2016 年度シーズンはそれぞれ 22 平方度と 2 平方度、合計 24 平方度の CO 3 輝線のデータを取得した。最終的には内域 $l = 10^\circ - 50^\circ$, $b = \pm 1^\circ$ の全 80 平方度、外域 $l = 198^\circ - 236^\circ$, $b = \pm 1^\circ$ のうち 50 平方度、計 130 平方度 (全体の 83 %) に及び、検出感度は $\Delta T_{\text{mb}} = 1.2 \sim 2.1 \text{ K} (^{12}\text{CO})$, $0.5 \sim 0.9 \text{ K} (^{13}\text{CO})$ となった。これにより広範囲にわたる分子雲の極めて詳細な構造が明らかになった。本講演では今後のデータ公開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](#)

Q17a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河系外縁部 (4)

松尾光洋, 南谷哲宏, 鳥居和史, 梅本智文 (国立天文台), 中西裕之 (鹿児島大学), 久野成夫 (筑波大学), 西村淳, 藤田真司, 河野樹人 (名古屋大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 濤崎智佳 (上越教育大学), 津田裕也 (明星大学), 他 FUGIN チーム

これまでの銀河系外縁部における分子雲の研究について、低金属量環境下での星形成研究や遠方分子雲探査といった点で重要性が高まりつつも、遠方分子雲を検出可能なサーベイは少なく、特に銀河系第三象限における高分解能かつ広範囲の銀河面分子雲サーベイはないため、限られたサンプルでしか議論されていない。遠方分子雲やコンパクトな分子雲の探査、それらを含めた銀河系外縁部分子雲の統計的性質、分子雲性質の銀河系動径変化を調べるためには高分解能かつ広範囲の CO サーベイが必要である。そこで、我々は、野辺山 45m 電波望遠鏡と FOREST (FOur-beam REceiver System on the 45-m Telescope) を用いた NRO レガシープロジェクトである FUGIN (FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45-m telescope) の一環として ^{12}CO ($J = 1-0$), ^{13}CO ($J = 1-0$), C^{18}O ($J = 1-0$) の 3 輝線同時観測で銀河系外縁部が含まれる銀河系第三象限の銀河面サーベイを行った。昨シーズンは 2 平方度の観測を行い、これまでの 4 年間で観測した領域は合計 50 平方度となった。銀河系中心距離 $R \sim 14$ kpc においても $\sim 10 M_{\odot}$ の検出限界を達成しており、銀河系第二象限の CO サーベイである FCRAO Outer Galaxy Survey より検出限界が 1 桁以上向上している。

本講演では、1 年後のデータ公開へ向けて銀河系第三象限における最終版データの紹介を行うとともに、分子雲カタログの作成とそれを用いた分子雲の統計的性質について述べ、さらに 2017 年春季年会 Q33a で発表した $R \sim 14$ kpc における物理量の変化について HI や銀河系第二象限と比較し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河系内域における分子雲同定

齋藤弘雄, 久野成夫 (筑波大), 梅本智文, 鳥居和史, 西村淳, 長谷川哲夫, 松尾光洋, 南谷哲宏 (NAOJ), 河野樹人, 西村淳, 藤田真司 (名古屋大), 半田利弘, 中西裕之 (鹿児島大), 瀬田 益道 (関西学院大), 小野寺幸子 (明星大), 濤崎智佳 (上越教育大), 大西利和, 徳田一起 (大阪府立大), 他 FUGIN チーム

銀河系内域は、複数の渦状腕、腕間、棒状構造と様々な環境の分子雲が存在する領域である。また、活発な星形成領域も数多く見られる。このため、銀河系内域は、腕間の分子ガスから渦状腕内の分子雲、さらにそこでの星形成へと続く、分子ガス構造の進化を検証する上で適した領域である。このような分子ガス構造の進化を解明するには、環境ごとの分子雲の特性を明らかにし、比較検証することが重要である。しかしながら、銀河系内域は空間/速度構造的に非常に密集した領域であるため、個々の分子雲の的確な同定手法の確立が必要である。そこで我々は、FUGIN データを用いて銀河系内域における分子雲の同定方法について検討を行った。

FUGIN(FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45-m telescope) プロジェクトは、野辺山宇宙電波観測所が銀河系の分子ガス構造やその進化の把握を目的として進めてきた CO 銀河面サーベイ観測である。FUGIN データは数十秒角スケールから 1 度角スケールに及ぶ分子ガス構造を捉えており、分子雲同定と同時にその内部構造の把握も可能である。そこで、我々は階層構造の同定に適したアルゴリズムである Dendrogram を利用した分子雲構造の同定方法の構築を進めた。その結果、Dendrogram の結果に速度成分を分離するための閾値を設けることが、分子雲構造の詳細な把握に有効であることがわかった。

本公演では Dendrogram を用いた分子雲同定方法の詳細についての報告と、今回分子雲同定を行った銀経 12–16 度領域での分子雲の物理的性質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](#)

Q19a 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

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 (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), 坪井昌人 (ISAS), 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原始星が誕生した段階にあたる。分子雲内で原始星が誕生した際に周りの分子が暖められ励起するため、それらの励起輝線が観測される。大質量星の形成メカニズムは未だ解明されておらず、大質量星の形成段階にあたるホットコアを統計的に研究す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、野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡を用いて銀河面において ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の輝線の同時観測を行った。この観測帯域に含まれる HNCO 、 CH_3CN 、 SO_2 等の輝線も解析し、銀河面内でホットコアを無バイアスサーベイすることが本研究の目的である。これらの分子輝線はホットコアの良いトレーサーとなる。本研究は、ダスト連続波のサーベイに依存しない、分子スペクトル線のみによる初の系統的なサーベイを目指している。これらの輝線が検出され解析が可能か検証するために、すでに知られているホットコア領域の存在する W33 領域で解析を行ったところ、W33 Main および W33 A の $\text{HNCO}(109.906\text{GHz})$ 、 $\text{CH}_3\text{CN}(110.364\text{GHz})$ の輝線の検出に成功した。本講演ではこれらの結果を報告するとともに、今後の他領域での分子の検出およびホットコアサーベイの実現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](#)

Q20a FUGIN サーベイに基づく鹿児島大学野辺山アンモニア サーベイ マッピング観測の現状

上杉正裕, 水窪耕兵, 大山まど薫, 岩井智美, 椎原駿介, 村瀬建, 前畑美瑠, 楊梓, 半田利弘, 面高俊宏, 福本菜々美 (鹿児島大学), 梅本智文, 松尾光洋, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

NH₃ 分子は近接した周波数で多数の輝線を放つ分子であり、その強度比から温度など種々の物理量を知ることができる。しかしながら、従来の観測の多くはコア1点のみの観測であり、分子雲全体にわたる観測は少数に限られていた。そこで、我々は数年前より野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて天の川銀河内の複数の分子雲に対しマッピング観測を行っている。1つの分子雲中での温度分布を知ることにより分子雲ごとの星形成の性質を明らかにすることが目標である。これまでに、NGC7000 や Monkey Head Nebula では、従来の解釈とは異なり、連鎖的星形成は起こっていないと結論づけている (Chibueze et al. 2013 など)。より一般的な描像を得るため、2014年12月からは、FUGIN (FOREST Unbiased Galactic Plane Imaging survey with Nobeyama 45m telescope) サーベイの C¹⁸O(1-0) 輝線マップを基準に対象天体を選定する観測に移行した。今シーズンは、3天体について昨シーズンまでの観測範囲を拡張し、ほぼ分子雲全体の観測を完了した。うち1天体は昨シーズン最も広い範囲で観測を行った $(l,b) = (14.47^\circ, 0.11^\circ)$ にある電離水素領域に付随する分子雲であり、他の2天体は $(l,b) = (12.82^\circ, 0.19^\circ)$ に位置する大質量星形成領域 W33 と $(l,b) = (224.27^\circ, 0.83^\circ)$ に位置する分子雲である。それぞれ、81点 (size: $0.13^\circ \times 0.11^\circ$)、231点 (size: $0.21^\circ \times 0.21^\circ$)、210点 (size: $0.36^\circ \times 0.18^\circ$) の観測を行った。また、1つの分子雲中でも水メーザーが検出された領域とそうでない領域があることを確認している。本講演では、これらの天体の観測結果と NH₃ 輝線から得られた情報を紹介する。他の観測と比較した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](#)

Q21a Possibility of chemical differentiation among high-mass star-forming cores

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

We carried out observations toward four high-mass star-forming regions containing hot cores in the 42–46 and 82–103 GHz bands with the Nobeyama 45 m radio telescope, and the 26–30 GHz band with the Green Bank 100-m telescope (GBT). We have detected HC₅N from all of the four sources, and derived its rotational temperatures in the high-mass star-forming regions to be $\sim 13 - 20$ K, which are significantly higher than those in cold dark clouds and comparable to that in a low-mass star-forming core L1527. The observational results suggest that HC₅N exists in the warm gas within 0.07–0.1 pc radii around the massive young stellar objects. We have also detected HC₇N from three sources in the 26–30 GHz band using the GBT. The detection of HC₇N suggests that our target high-mass star-forming regions contain plenty of long cyanopolyynes, compared to typical star-forming regions. We compare the ratios between $N(\text{HC}_5\text{N})$ the column density of HC₅N and $W(\text{CH}_3\text{OH})$ the integrated intensity of the thermal CH₃OH emission line among our target sources, and found a possibility of the chemical differentiation. One of the target sources, G28.28-0.36, shows the highest $N(\text{HC}_5\text{N})/W(\text{CH}_3\text{OH})$ ratio than the other sources by an order of magnitude. G28.28-0.36 may be a good candidate of warm carbon chain chemistry (WCCC) sources which have been found only among low-mass star-forming cores with long carbon-chain molecules such as L1527.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22a 大質量星形成領域 S106 の未同定赤外 (UIR) バンドの観測

木村智幸, 左近樹, 尾中敬 (東京大学)

星間物質の中間赤外線スペクトルに広く観測される未同定赤外 (UIR) バンドの担い手は、多環式芳香族炭化水素 (PAH) をはじめとした炭素質のダストが今までに多く提案されてきた。UIR バンドのピーク位置およびバンドの強度比は天体の物理環境により大きく変わり、その特徴から炭素質ダストの化学的特性、サイズやイオン化の程度等の物理的特性を推測することができる。そのため、星間環境とダストの進化の関連を考察する為に、UIR バンドの観測研究は重要である。

大質量星形成領域 S106 は 1.7kpc の距離に存在し、大質量 YSO である IRS4 を中心として HII 領域を形成している。S106 では IRS4 をはじめとする多くの YSO からの UV 輻射場が存在し、UIR バンドが観測されることが報告されている (van den Ancker et al. 2000)。本研究ではすばる望遠鏡に搭載された中間赤外分光観測装置 COMICS を用いて、S106 の HII 領域中心部に存在する幾つかの赤外線放射を示す構造に対して $0''.33 \times 40''$ 長スリット分光と撮像観測を行い、主に 3 つの YSO と 3 箇所の広がった構造領域についての $7 \sim 13\mu\text{m}$ の $R \sim 250$ の低分散スペクトルを高い空間分解能 ($\sim 0''.5$) で得ることが出来た。

この波長域では、特に広がった構造領域で、顕著な UIR $7.7\mu\text{m}$, $8.6\mu\text{m}$, $11.2\mu\text{m}$ バンドと微細構造線である [SIV]、[ArIII]、[NeII] の輝線が観測され、輝線強度比から観測領域の輻射場は多様な空間変化を示すことが示唆された。また、UIR バンド強度比 $7.7/11.2\mu\text{m}$, $11.0/11.2\mu\text{m}$ および $11.0\mu\text{m}$ バンドのピーク位置にもスリットに沿った方向で空間変化が見られた。本講演では、観測された UIR バンドの変化の原因を説明する PAH の性質、そして S106 の持つ輻射場や星間環境との形成される PAH 及び炭素質ダストの特徴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](#)

Q23a 陽子線による QCC の赤外線特性の変性

池内綾人, 左近樹, 尾中敬 (東京大学), 木村勇氣 (北海道大学), 木村誠二 (電気通信大学), 中村正人 (日本大学), 市村淳 (宇宙航空研究開発機構)

急冷炭素物質 (Quenched Carbonaceous Composite; QCC) は、多環芳香族炭化水素 (PAH) と同様に、星間物質の近-中間赤外線領域に広く観測される未同定赤外線バンド (UIB) の振る舞いを理解する為に有用な実験室で合成されるダストである。我々は、恒星風に含まれる陽子線が星周環境における aromatic/aliphatic 炭化水素ダストの赤外分光特性に及ぼす影響を探る目的で、QCC, 20% 重水素化 QCC, 100% 重水素化 QCC の 3 物質に対し、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所において 3 MeV シングルエンド加速器および 400 keV イオン注入装置を用いて、2 MeV 陽子線 (フレア中の非熱的加速粒子を想定) および 100 keV 陽子線 (熱的粒子を想定) の照射実験を実施し、これらの物質について赤外線吸収特性の変化を赤外 ATR 分光法により観察した。観察の結果、C-H mode に特徴的な波長帯 (3.3, 3.4, 6.8, 11.4 μm) 及び C-D mode に特徴的な波長帯 (4.4, 4.7, 9.3 μm) において吸収率の減少が確認された。これらは陽子線の照射により、QCC の脱水素化ないし脱重水素化が進行したものと考えられる。また、aromatic C-C stretching mode 付近の 5.9-6.5 μm 及び 7.4-11.3 μm 帯において全ての物質で broad に吸収率の増加が確認された。これは脱水素等の影響で、六員環を形成する炭素の電子状態の対称性が崩れ、aromatic C-C mode が際立ったものと示唆される。本講演では、これらの結果に基づき、陽子線による QCC の赤外線特性の変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](#)

Q24a 近赤外線高分散分光器 WINERED: C₂, CN 分子バンドの検出

濱野哲史, 河北秀世, 竹中慶一, 池田優二, 近藤莊平, 鮫島寛明, 福江慧, 新井彰, 大坪翔悟, 渡瀬彩華 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之 (東京大学), 安井千香子 (国立天文台), WINERED 開発チーム

可視 – 近赤外域の吸収バンドによって検出される C₂, CN 分子は星間物質中における最も基本的な分子のひとつである。C₂ 分子は電気双極子モーメントが 0 であるため純回転遷移が禁止され、星間輻射場による励起や HI, H₂ との衝突励起 / 脱励起過程を通じて高回転準位まで励起される。そのため、C₂ 分子の回転準位分布を観測スペクトルから求めれば、星間化学を理解する上でキーとなる星間ガス雲の温度、密度を求める事も可能となる。本講演では近赤外線高分散分光器 WINERED の WIDE モード (0.9 – 1.35 μm; $R_{\max} = 28,000$) によって検出された C₂ (1,0), (0,0) A – X バンド (Phillips system), CN (1,0), (0,0) A – X バンド (Red System) について報告する。C₂ (0,0) バンドは星間物質中では本研究で初めて検出に成功した。近赤外域の C₂ (1,0), (0,0) バンドはこれまで主に使われてきた可視域の (2,0) バンドと比較して、振動子強度 f が約 2 倍大きいため検出しやすく、また長波長側に位置するため減光に強いという性質がある。本研究では、Cyg OB2 No.12 ($A_V = 10.2$ mag) のスペクトル上に検出された C₂ (0,0) バンドからその f の値に新たな制約をつけた。また、環境が大きく異なると考えられる 2 天体 Cyg OB2 No.12, NGC2024 IRS1 の高波長分解能 ($R \leq 68,000$) で取得した C₂ スペクトルによる、星間ガス雲の温度・密度、ならびに炭素の同位体比 (¹²C/¹³C) の決定について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25a 近赤外線高分散分光器 WINERED : DIB $\lambda 10697$ のキャリア分子への制限

竹中慶一, 濱野哲史, 河北秀世, 池田優二, 近藤荘平, 鮫島寛明, 福江慧 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之 (東京大学), 安井千香子 (国立天文台), WINERED 開発チーム

多くの恒星のスペクトルには未同定星間吸収 “Diffuse Interstellar Bands” (DIBs) が見られるが、星間空間に存在する有機分子に起因すると考えられている。その原因となる分子 (キャリア) は有機系星間物質の主要な構成要素として、また宇宙における生命起源物質の候補として注目されているが、その具体的な分子は近赤外域の C_{60}^+ の 1 例を除き全く同定されていない。DIBs のキャリア決定には実験室分光による同定が最終的には必要となるが、無数の種類の分子が対象となり、実験室だけでキャリア候補を見つけることは簡単ではない。そのため、様々な天体に対し観測的に得られた DIBs の吸収プロファイルから、キャリアの構造・サイズに制限をつけ、候補をしぼることが非常に重要となる。そこで我々は、DIBs の有力候補となるフラレーンや多環芳香族炭化水素のような大型分子のイオンによる吸収が多数存在すると考えられている近赤外域に着目し、京都産業大学神山天文台に搭載されていた近赤外線高分散分光器 WINERED (WIDE モード : $0.9\text{-}1.35\mu\text{m}$ 、 $R_{\text{max}} = 28,000$) を用いて取得されたスペクトルに見られる DIBs (Hamano *et al.* 2015, ApJ, 800, 137) の吸収プロファイルを詳細に調べた。その中で DIB $\lambda 10697$ が、キャリアの構造・サイズが観測的によく調べられている可視域の DIB $\lambda 5797$ および DIB $\lambda 6614$ と似たプロファイルを持つことが分かった。このプロファイルを分子の電子振動回転遷移による吸収線系列の包絡線であると考え、直線分子および対称コマ分子を仮定した場合のキャリアの分子定数を求めた。本講演では、得られた分子定数に基づき、DIB $\lambda 10697$ のキャリアの構造・サイズについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a ジェットによる ULX バブル形成のシミュレーション

朝比奈雄太, 大須賀健 (国立天文台)

X線で明るい超大光度 X 線源 (Ultra Luminous X-ray source, ULX) と呼ばれる天体の周囲に、百 pc スケールのバブル状の構造 (ULX バブル) が見つかっている。しかしながら、この ULX バブルの形成メカニズムについてはよくわかっていない。もし、ULX の正体が超臨界降着円盤をともなうブラックホールもしくは中性子星であるならば、そこから噴出するジェットによって ULX バブルが形成されている可能性がある。実際、ジェットを持つ ULX バブルも観測されている。そこで我々は、ジェットが ULX バブルを形成するのか否かを確かめるべく、星間ガスの冷却過程を考慮した 3 次元磁気流体シミュレーションを実施した。

まずは、初期に 10^4 K 程度の温かい星間ガスが一様に分布していることを考えた。温かい星間ガスはジェットの衝撃波によってさらに加熱される。その後、冷却効果により温度が下がり、ジェットの周囲に温度が 10^4 K 以下の密度の高い、ジェット軸方向に引き伸ばされたバブル状の構造が形成された。この構造が ULX バブルに対応していると考えられる。また、講演では、バブル構造のジェットの速度やエネルギー注入率への依存性についても報告する。さらに、非一様な星間ガス中をジェットが伝播する計算に基づき、ULX 周囲の星間ガスの密度構造と形成されるバブル構造の関係についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27c 磁場優勢の圧縮性 MHD 乱流中の粒子加速

寺木悠人（旭川高専）、浅野勝晃（東大宇宙線研）

圧縮性 MHD 乱流は、ガス圧優勢か磁気圧優勢かによって構成する波の振る舞いが異なる。具体的には波数の方向と流体の振動の方向の関係が異なるのだ。宇宙線の乱流加速を考える際、個々の波（つまりフーリエモード）との共鳴が重要な機構となるので、個々の波の振る舞いに影響を与えるガス圧-磁気圧比（プラズマベータ）は重要なパラメタである。現実の天体に目を向けてみると、パルサー磁気圏を始めとしたプラズマベータが極端に小さい領域は少なくない。一方、乱流加速の研究が進んできた地球磁気圏やなどではプラズマベータは1に近い。また、流体シミュレーションやPICシミュレーションなどでもプラズマベータを1よりも小さく（磁気圧優勢）するには技術的困難を伴う。実際に乱流加速が磁気圧優勢領域で主要な加速機構になるかどうかは議論の余地があるが、本研究では数値的研究が進んでいない磁気圧優勢乱流中の乱流粒子加速を考えてみる。

手法は Cho & Lazarian (2003) による圧縮性 MHD 乱流のフーリエモードによる記述法を利用する。解析的に記述した乱流を振動させ、多数のテスト粒子の運動を追うことで共鳴的加速をはじめとして、有限振幅効果による非共鳴作用を計算する。この手法では粒子のある点での電磁場を計算するので格子法の場合に用いられる内挿などの操作が必要なく、高精度で粒子の運動を解くことができる。今回注目する磁気圧優勢乱流における主要な利点は際限なくプラズマベータを下げるができることである。これは流体シミュレーションなどでは不可能なことなので大きなアドバンテージと言える。

結果としてこれまで調べてきたプラズマベータが1より少し大きいような場合とは異なる共鳴の様子が明らかになった。加速率を数値的に出したものを物理的解釈により解析的な形に落とし込む。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q28a Planck・AKARI・IRAS 衛星による銀河系ダスト放射のモデル構築

西原智佳子, 竹内努 (名古屋大学大学院理学研究科), 市来淨與 (名古屋大学基礎理論研究センター)

我々の住む銀河系には固体微粒子(ダスト)が多く存在している。ダストは炭素やケイ素化合物から成ると考えられているが、その組成や結晶の状態は分かっていない。本研究の目標は Planck・AKARI・IRAS 衛星の観測データからダスト放射の精密なモデルを構築し、そのモデルに合うダストの性質を求めることである。ダスト放射の精密なモデル化はダストの性質解明だけでなく、銀河系内のダスト放射によって隠されてしまう宇宙マイクロ波背景放射などの情報を得るためにも急務である。

本研究ではダストの中でも輻射場と熱平衡になり熱的放射をする large grain に着目した。そのエネルギースペクトル (SED) は $I_\nu \propto \nu^\beta B_\nu(T)$ (β は定数、 $B_\nu(T)$ は黒体放射の放射強度) で表される modified blackbody (MBB) で近似するのが現在の主流である。MBB ではレイリー-ジーンズの式が成り立つ長波長側で SED が振動数の定数乗に比例する形になるが、ダスト放射がこの式で正確に記述できるかは明らかではない。そこでダストの熱的放射の近似として MBB が本当に「良い」モデルかを判定することを目指した。そのためにダストの放射モデルを $I_\nu \propto \nu^\beta B_\nu(T)$ とし、MBB: $\beta = \beta_0$ 及び 新モデル: $\beta = \beta_1 + \beta_2 \log \nu$ ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$ は定数) の 2 つ考え、どちらの方が「良い」モデルかを検証した。モデルの「良さ」の判断には赤池情報量規準 (AIC) を用いている。また、ダストの密度による SED の違いを考慮するために 353 GHz での光学的深さで全天を分類して SED フィッティングを行った。その結果から β に ν の依存性が入った新モデルの方が「良い」モデルであるという示唆が得られた。本講演では観測データの処理や、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いた SED フィッティングの方法、考察なども含めた研究内容と今後の展望について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q29a アンテナ銀河における巨大星団形成：分子雲衝突によるトリガーの可能性

福井康雄、柘植紀節、立原研悟（名古屋大学）、伊王野大介（国立天文台/総研大）、植田準子（CfA）

宇宙における巨大星団形成機構の解明は、銀河進化を理解するうえで重要な課題である。Fukui et al. 2017 (PASJ in press) は、大マゼラン雲で星間ガスの衝突による R136 星団形成の観測的証拠を見出し、銀河系内の巨大星団形成同様に、ガス雲衝突が星団形成において重要な役割をはたしていることを示した。アンテナ銀河 (NGC4038・NGC4039) は、潮汐相互作用する銀河の代表例として知られる。ALMA cycle0 によって ^{12}CO ($J=3-2$) 遷移で観測されており、星団の feedback によって星間ガスが強く影響されていることなどが示されていた (Whitmore et al. 2014; Herrera et al. 2017; Ueda et al. 2017)。我々は、ALMA cycle0 の ^{12}CO ($J=3-2$) 観測データを新たに解析し、分子雲同士が超音速衝突している証拠を初めて見いだした。以上の成果に基づいて本講演では、アンテナ銀河における星団形成が分子雲衝突による可能性を提案する。

解析した観測データは、相互作用領域 2×35 分角を 0.5 秒角 (50 pc; 1 秒角 = 107 pc) で分解し、超巨大分子雲複合体 SGM C1-6 と超星団 B1, C, D, D1, D2 を含む。等速度図と位置速度図から、少なくとも 3 領域で衝突分子雲の特徴である相補的分布とブリッジ成分を見いだした。各分子雲の射影された相対速度差はほぼ 100km s^{-1} である。このうち、D1, D2 では分子雲と星団は $1-3$ 秒角離れているが、D, C は分子雲方向にあり、B1 は 2 分子雲の重なる方向に位置する。以上の結果から、分子雲同士の超音速衝突によって星団形成が誘発された可能性を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30a 大マゼラン雲における水素原子ガス衝突による N44 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欠かせない。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を詳細に調べた結果、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 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)。これらの形成機構についても、銀河間潮汐相互作用による HI ガス衝突で説明することが可能かを検証し、LMC 全体での大質量星形成機構とその歴史を解明する必要がある。

N44 は、R136 に次いで明るい LMC の電離領域であり、約 80 個の大質量星が存在している活発な星形成領域である。今回我々は、ATCA & Parkes (Kim et al. 2003) によって得られた HI データの解析を行い、HI ガス衝突の証拠を 3 つ示した; (1) 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。さらに、*Planck* 衛星による 353 GHz での光学的厚み (τ_{353} ; Planck collaboration et al. 2014) と HI 強度を比較した。その結果、N44 領域では HI 強度に対する τ_{353} の値が LMC の stellar bar 領域の約 3/4 となっていることがわかった。これはガスに対するダスト量が減少していることを意味し、重元素量の少ない小マゼラン雲 (SMC) からのガス流入を示唆している。本講演では、N44 の形成機構についても、大小マゼラン雲の潮汐相互作用による HI ガス衝突によって説明できることを論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q31a 超新星残骸 N49 における硬 X 線と分子雲

山根悠望子, 佐野栄俊, 稲葉哲大, 吉池智史, 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)

超新星残骸 (SNR) の硬 X 線を理解する上で, 星間ガスの分布に注目が集まっている. SNR RX J1713 では, ガス周辺でシンクロトロン X 線増光と電子の最大エネルギー上昇が確認された (e.g., Sano et al. 2015). これは井上らが提唱した理論モデル “Shock-cloud interaction” で解釈できる (Inoue et al. 2012). 一方, 電離温度が電子温度を上回る, “過電離プラズマ” が硬 X 線帯域で 10 個内外の SNR から発見された (e.g., Yamaguchi et al. 2009). このプラズマの形成に必要な, 電子を急速に冷却する機構に低温分子雲との衝突による熱伝導が提案されている (Kawasaki et al. 2002). いずれの場合も, 硬 X 線の起源解明に SNR と相互作用するガスの精査は欠かせない.

大マゼラン雲の SNR N49 は 年齢 ~ 6600 yr の mixed-morphology 型 SNR であり, シェル南東部から明るい硬 X 線 (2.0–7.0 keV) のピークが 3 箇所で見出されている. また, Uchida et al. (2015) より過電離プラズマが検出された. さらにシェル南東部に沿った半径 ~ 7 pc の分子雲が見つかっている (分解能 $23''$, Banas et al. 1998).

我々は ALMA Cycle 3 band3 の分解能 $\sim 3''$ のデータを用いて N49 の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ の分布を精査した. その結果, 半径 $\sim 1-2$ pc, 質量 $\sim 10^2-10^3$ 太陽質量の CO clump を少なくとも 10 個特定した. それぞれ線幅は $1-2$ km s $^{-1}$ であり, 視線速度 282–288 km s にわたって分布している. また, これらの CO clump は SNR 南東部の硬 X 線の 3 つのピーク全てに接して分布しており, 両者のピーク間距離は ~ 2 pc であった. この結果は RX J1713 に付随する星間ガスと X 線との関係に近く (Sano et al. 2013), 衝撃波と星間ガスの相互作用を強く示唆する. 以上のことから本講演では, N49 に付随する分子雲が硬 X 線に与える影響について論じる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a 銀河系中心 50km/s 分子雲の分子雲衝突による大質量星形成クランプ

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, 円盤領域に比べ高密度で高温度で広い速度幅を持った分子雲がいくつも分布している. そして, 高密度で明るく若い大質量星団が存在しており, 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 (CCC) 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) で, $\text{SiO}(v=0, J=2-1)$ と $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$ の輝線比の高い馬蹄形の構造をもった衝撃波構造が発見されている. 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, ここには 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 により大質量星が形成されている可能性がある.

そこで, 我々は CCC による大質量形成過程を探るため, ALMA 望遠鏡による高空間分解能・高感度・広領域の 50MC の輝線観測 ($\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$, $\text{CS}(J=2-1)$ など) を行なった (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi). 光学的に薄い $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$ のマップで CCC 領域に半径 0.3 pc で質量 $1.3 \times 10^4 M_{\odot}$, ビリアルパラメーター ~ 5 を持つ高密度クランプ (DC1) を発見した. このクランプは, 上記の H_{II} 領域に隣接している. また, 光学的に厚い $\text{CS}(J=2-1)$ 輝線で周辺構造との関係を調べたところ, DC1 は青方偏移したフィラメント状構造と赤方偏移したシート状構造の間に存在することがわかった. DC1 はこれらの間の CCC により形成されたと推定される. さらに, このフィラメント状構造には前述のコンパクト H_{II} 領域があり, DC1 より先の時期に衝突したと考えられる. これらは, シート状構造にフィラメント状構造が次々に衝突して, 大質量星を形成していくシナリオを示唆している.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q33a MAGIC 望遠鏡による銀河系中心領域からのガンマ線観測

岩村由樹 (東大宇宙線研), Christian Fruck, Ievgen Vovk (Max-Planck-Inst. für Phys.), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. für Phys.), 稲田知大, 井上進, 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, 深見哲志 (東大宇宙線研), 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

銀河系中心領域はガンマ線天文学における主要な観測対象の1つである。主な放射起源は、大質量ブラックホールである Sgr A* と周囲の物質の相互作用と考えられる。近年、銀河系中心からのガンマ線放射は、複数の発見によって更にその注目度を増している。2008年に発見されたガス雲 G2 は、2013年頃に最接近しながら Sgr A* 近傍を通過した。ガンマ線ではこれに付随した増光の検出が期待されている。また H.E.S.S. 望遠鏡の観測結果に基づくエネルギースペクトルからは、PeV ($= 10^{15}$ eV) 程度のエネルギーにまで宇宙線が加速されているという示唆が与えられた。Radio Arc 近傍からは、新たな超高エネルギーガンマ線源の検出が H.E.S.S., MAGIC, VERITAS の各望遠鏡によって報告された。

MAGIC 望遠鏡は 50 GeV 以上の超高エネルギーガンマ線を観測する解像型大気チェレンコフ望遠鏡である。我々は多年度に渡る MAGIC の観測プロジェクトとして銀河系中心領域の研究を進めている。本講演ではプロジェクトの概要と現時点の観測結果を報告し、当該領域におけるガンマ線放射の物理的描像について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q34a 広がった TeV ガンマ線源 VER J2019 + 368 の X 線観測 (2)

田中慎之、水野恒史、高橋弘充、勝田隼一郎 (広島大学)、林克洋 (名古屋大学)、山崎了 (青山学院大学)

現代の宇宙物理学において重要な研究テーマの一つが宇宙線である。星生成領域「はくちょう座 X」方向にある広がった TeV ガンマ線源 VER J2019+368 は、差し渡し $\sim 1^\circ$ と大きく広がっていることから宇宙線のエネルギー分布に加え、空間分布も調べることができると期待され、宇宙線の加速と伝播を理解するために重要な研究対象となっている。またこの天体は X 線でも観測が行われ、パルサー PSR J2021+3651 やパルサー星雲 G75.2+0.1 が確認され、X 線対応天体と考えられているが、X 線と TeV ガンマ線で放射サイズが大きく違うことや、従来の X 線観測・データ解析では X 線放射に関する定量的な議論が不十分という問題があった。

そこで、我々は新たに高感度 X 線観測を行い、また従来の X 線観測データを詳細に解析することで、パルサー星雲の広がった X 線放射を定量的に評価した。まず新たに Suzaku を用い、広がった放射への高い感度を活かしてパルサーの西側を観測した。すると、パルサー星雲由来の放射は約 $15' \times 10'$ の広がりを持ち、吸収 $N(\text{H}) = 8.2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 、ベキ指数 $\Gamma = 2.05$ のベキ型スペクトルで、領域によるベキ指数の有意な変化が見られないことが分かった。一方、広い視野を活かし Suzaku で観測していないパルサーの東側も観測している XMM のアーカイブデータを解析した結果、東西で似たスペクトル ($N(\text{H}) = 8.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 程度、 $\Gamma = 2.1$ 程度、フラックス $2.0 \times 10^{-12} \text{ erg/s/cm}^2$ 程度) が得られ、ベキ指数の有意な変化も見られなかった。これらから、星間磁場 $3 \mu\text{G}$ 中にパルサーからの一様な粒子注入を仮定し、モデル計算すると、TeV ガンマ線放射の 80% をパルサー星雲由来で説明でき、X 線パルサー星雲が TeV ガンマ線源の主な X 線対応天体だと分かり、また宇宙線の伝播に関して制限をつけることもできた。本講演では、解析結果について報告し、TeV ガンマ線の起源と粒子加速・伝播について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a ガンマ線バーストのX線残光を用いた天の川銀河の星間ガスの評価

小山恭弘、水野恒史、深沢泰司、大野雅功(広島大学)、奥村暁、田島宏康、林克洋、山本宏昭(名古屋大学)

銀河系内の星間ガスは、銀河や恒星の進化に関わっておりその分布を知ることは重要である。従来の電波領域で輝線(水素 21 cm 線等)を観測する方法では輝線強度がガスの温度等の性質に大きく影響を受ける。また、星間ガスがダストとよく混在していることからダストの放射やダストによる減光を用いることでも星間ガス分布が推定されてきたが、確立した推定の方法はまだない。そこで、本研究では従来の方法と相補的な手段としてSwift衛星で観測されたガンマ線バーストのX線残光スペクトルの吸収を用いて、視線方向の星間ガスの量を推定し、天の川銀河の星間ガスモデルの評価を行った。X線の吸収を用いることで、星間ガスの状態にあまり依存せずその密度を評価することができる。先行研究(R. Willingale et al. 2013, MNRAS 431, 394)に対し本研究ではPlanck衛星によるダストモデルを指標に加え、ガンマ線バースト残光のイベント数を約2.5倍の1026に増やした。

その結果、電波輝線で天の川銀河の星間ガスを推定すると、ガスの濃い部分(水素柱密度が 10^{21} cm^{-2} 程度)では輝線放射がガスの性質に依存するため、ガス量を過小評価することが先行研究と同様に確認できた。次に、星間ガスとダストの存在量がガスの薄い部分(水素柱密度が $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ 程度まで)で比例関係にあることから、濃い部分でも比例関係が保たれると仮定し、星間ガスの量を見積った。すると、 $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 程度までガス量正しくを評価でき、電波輝線を用いた場合に対して改善が見られたが、それよりもガスの濃い領域では不十分なことがわかった。ダストの温度を用いて補正をかけることで、さらなる改善の見込みが得られている。本講演ではこれらについて報告と議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36a 「すざく」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)

太陽のおよそ 10 倍以上の質量を持つ星は、進化過程の最期に重力崩壊型超新星爆発を起こすことが観測で知られている。しかし爆発シミュレーションでは、多次元シミュレーションでは爆発するものの、一次元の球対称モデルでは衝撃波が停滞したまま爆発に至らない。爆発時の親星内部における、ニュートリノによる加熱や乱流などの非球対称流体不安定性が爆発の鍵と考えられているが、詳細な理解には至っていない。

我々は、超新星残骸 (SNR) を X 線で観測し、爆発噴出物である Fe や Ni などの重元素の総量や空間分布を観測的に解析することで、爆発時の親星内部コアの理解に迫ることが出来ると考えている。そこで我々は、銀河系内で最も若い SNR の一つで、X 線で最も明るい SNR であるカシオペア A を、分光性能に優れた「すざく」衛星で長時間観測したデータを解析行なっている。これまでの X 線観測の中でも最も優れた光子統計のスペクトルに対して、爆発噴出物のドップラーシフトを考慮した解析を行った結果、X 線スペクトルの 7-9keV に輝線構造を発見した。連続 X 線とガウス関数の現象論的モデルでフィットすると、これらは高階電離した Fe や Ni の特性 X 線と考えられる。ガスの膨張によるドップラーシフトを考慮した 2 成分の非電離平衡プラズマモデルでフィットした場合、Ni の組成比は太陽組成に対して 1.7 ± 0.2 となった。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](#)

Q37a 分子雲と相互作用している超新星残骸における 宇宙線起源の中性鉄輝線探査

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

銀河宇宙線起源の現在最も有力な候補は、超新星残骸 (SNR) における衝撃波加速である。これまでに、GeV 帯域以上の宇宙線陽子起源のガンマ線が観測されてきた。宇宙線は低い帯域 (keV–MeV) から徐々にエネルギーを得るので、MeV 帯域の陽子も大量に存在するはずだ。SNR で加速された MeV 陽子が星間ガスに含まれる鉄原子を電離すると、6.40 keV の蛍光 X 線が放射される。宇宙線起源と考えられる 6.40 keV 輝線は、これまで「すざく」の観測で 2 つの SNR (3C391、Kes 79) でのみ見つかっている。我々はサンプル数を増やすため、銀河面 ($6^\circ \lesssim l \lesssim 40^\circ$, $|b| < 1^\circ$) に位置する SNR のうち「すざく」の観測がある天体を解析し、分子雲と相互作用している 4 つの SNR、W28、W44、Kes 67、Kes 78 から、MeV 陽子起源と考えられる 6.40 keV 輝線を発見した (信川他 2017 年春季年会 Z116a)。今回我々は、同じ範囲の銀河面に位置する SNR で「すざく」の観測がある別の 3 つの SNR、Kes 69、Kes 75、3C396 を解析し、鉄輝線強度を測定した。3 つの SNR もいずれも分子雲と相互作用している。銀河系には銀河リッジ X 線放射 (GRXE) とよばれる、個々の天体に分解できない拡散 X 線放射が存在しており、中性鉄 (6.40 keV)、He 状鉄 (6.68 keV)、H 状鉄 (6.97 keV) からの輝線を付随している。Kes 75 と 3C396 領域の 3 本の鉄輝線は GRXE 強度と矛盾しなかった。Kes 69 領域の 6.68 keV、6.97 keV 輝線も GRXE と矛盾しなかったが、6.40 keV 輝線だけは GRXE 強度を 2.9σ の有意度で超過していた。さらに 6.40 keV 輝線の強度分布は、SNR と相互作用している分子雲と相関があった。6.40 keV 輝線の超過は低エネルギー宇宙線起源である可能性が高い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a ひとみ衛星によるパルサー風星雲 G21.5–0.9 の広帯域 X 線観測

内田裕之, 田中孝明 (京都大学), Samar Safi-Harb (University of Manitoba), 前田良知, 中庭望 (ISAS/JAXA), 佐藤寿紀 (首都大学東京, ISAS/JAXA), 馬場彩 (東京大学), ほか「ひとみ」コラボレーション

G21.5–0.9 は系内に存在する比較的若い composite 型の超新星残骸である (年齢 ~ 1 kyr; Bietenholz & Bartel 2008)。内部のパルサー風星雲が X 線で明るいことから、近年では飛翔体観測装置の較正用天体としても用いられ、これまでに多数の衛星で観測が行われている (Tsujiimoto et al. 2010)。彼らの cross calibration に基づくと、G21.5–0.9 の X 線スペクトルは軟 X 線領域で光子指数 $\Gamma \sim 1.8$ の冪関数に対して硬 X 線領域で $\Gamma \sim 3.0$ と steep な傾向があり、この帯域で折れ曲りの存在が示唆される。近年 Nynka et al. (2014) は、NuSTAR による G21.5–0.9 の 3–45 keV のスペクトルが ~ 9 keV に折れ曲りをもつ冪関数で説明できることを指摘した。

本発表では、ひとみ衛星による G21.5–0.9 の観測結果について報告する。我々はひとみが事故で喪失する以前に 3 つの検出器 (SXS, SXI, HXI) で G21.5–0.9 の長時間観測を行っていた。軟 X 線にも十分な有効面積を持つひとみの広帯域スペクトル (0.8–80 keV) を解析するに当たって、我々はまず Chandra で報告されている halo や knot からの熱的成分 (Matheson & Safi-Harb 2010) の寄与を正確に見積もった。その結果、パルサー風星雲起因の非熱的成分は ~ 7 keV に折れ曲りをもつ冪関数で説明できた。さらに我々は、電波からガンマ線までの多波長スペクトルを、荷電粒子のエネルギー供給の時間発展を考慮した理論モデル (Tanaka & Takahara 2011) と比較し、年齢 1 kyr を仮定すると X 線帯域にある折れ曲り以外は観測事実を大局的に説明することを示した。本発表ではひとみデータ解析の詳細を報告し、観測された冪の折れ曲りの起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a フェルミ衛星 LAT 検出器による MBM 53,54,55 分子雲および Pegasus loop 領域の星間ガス・宇宙線の研究 (2)

水野恒史、S. Abdollahi(広島大学)、奥村暁、田島宏康、林克洋、福井康雄、山本宏昭(名古屋大学)

天の河銀河における宇宙線と星間ガスの分布は、銀河の高エネルギー現象や星形成を理解する上で重要である。数 100 MeV 以上の宇宙線は、星間ガスとの相互作用を通して、空間的に広がった強い GeV ガンマ線を作り出す。ガンマ線の放射率が物質の状態によらず、またガンマ線の透過力が強いことから、GeV ガンマ線観測は宇宙線と星間ガスを調べる強力なプローブとなる。2008 年に打ち上げられたフェルミ衛星は、広い視野 (全天の約 20%) を生かしサーベイ観測を行うことで、ほぼ無バイアスに宇宙線と星間ガスを調べることができる。

星間ガスは従来、中性水素の 21 cm 線や CO 分子の 2.6 mm 線で測定されてきたが、伝統的な電波サーベイではトレースしきれない通称 "dark gas" があることが徐々に認識されてきた (Grenier et al. 2005)。通常はダストの放射や吸収を用いて補正が行われるが、ダストの性質に原理的に依存するため、独立なトレーサーとしてのガンマ線の重要性は高い。本講演では MBM 53,54,55 分子雲および Pegasus loop 領域のフェルミ衛星による観測について報告する。ダストモデルとしては Planck 衛星による 353 GHz での光学的厚みおよび全放射輝度を用いた。ガンマ線放射をロバストな星間ガスのトレーサーとして用いることで、どちらの指標も全星間ガスに完全には比例せず、ダストの温度が低い領域で、353 GHz での光学的厚みはガス密度を過大評価、全放射輝度は過小評価することが分かった。そこで全星間ガスの柱密度と全放射輝度の比が、ダストの温度に線形に依存すると仮定して全星間ガスの柱密度を評価した。本講演では、解析方法および得られた結果 (ガス密度分布、質量、宇宙線強度) について報告・議論を行う。可能であれば他の領域の解析についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q40a パルサー星雲の流れ場に空間拡散過程が与える影響

石崎 渉, 浅野 勝晃 (宇宙線研究所)

パルサーは、その回転エネルギーをパルサー風と呼ばれる相対論的な電子・陽電子プラズマ流として放出している。これは、周囲の星間物質・超新星残骸と相互作用し、衝撃波を形成する。この衝撃波における粒子加速過程によって、パルサー風の電子・陽電子はエネルギーを獲得し、シンクロトン放射および逆コンプトン散乱しながら拡がっていく。このような非熱的な放射で輝く天体がパルサー星雲である。

星雲の X 線放射は、星雲内に存在する電子・陽電子の中でも、最もエネルギーの高い粒子の集団が放っている。標準的なパルサー星雲の放射モデルが正しければ、高エネルギーの粒子は放射冷却ですばやくエネルギーを失ってしまうため、X 線の放射領域は低周波の放射領域に比べて小さくなる。しかし、X 線が電波と同程度にまで拡がっている 3C 58 や G21.5-0.9 といったパルサー星雲が発見され、標準的な星雲モデルには、観測された X 線放射の空間的な拡がりを再現できないという問題があることが明らかになった。

星雲の放射モデルを改良するアイデアとして、盛んに議論されている過程が、粒子の空間的な拡散である。空間的な拡散過程は、より効率的に外側に粒子を拡げる過程としてはたらくことが期待されるため、X 線放射の拡がりの問題を解決する可能性がある。過去の研究のいずれもが、観測された X 線の拡がりを再現するために、流体と共に押し流される効果より、空間拡散の効果のほうが効率的である場合を考えて計算を行っている。このような場合、粒子の圧力分布が大きく変化するために、星雲中の流体力学的な構造が変更される可能性があるが、これはいまだ議論されていない。本講演では、拡散過程が星雲の放射スペクトルや力学構造にどのような影響を与えるかを、1 次元・定常のモデル化によって調べ、その結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q41a フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による超新星残骸 Puppis A の観測

荒川真範 (立教大学/理研)、内山泰伸 (立教大学)、ほか *Fermi*-LAT Collaboration

超新星残骸 (Supernova Remnant: SNR) における宇宙線加速の効率は SNR の年齢とともに変化し、衝撃波が伝播する媒質の物理状態にも影響を受ける。特に分子雲との相互作用は GeV ガンマ線の強度を高くする一方で、系が複雑になるため衝撃波加速理論の検証を困難にする。分子雲と相互作用をせず、空間分解可能な SNR は加速理論を検証するうえで重要な役割を果たすことが期待されるが、これまでそのような観測例は限られていた。

Puppis A は熱的 X 線が支配的な Sedov 期の SNR である。非一様な星間空間を衝撃波が伝播しているものの、分子雲との相互作用は確認されていない。2012 年にフェルミチームによる Puppis A の GeV ガンマ線解析の結果、Puppis A からのガンマ線放射領域は熱的 X 線と相関があることが示唆され、スペクトルは光子指数が 2.1 の単純なべき関数で再現されることが示された (Hewitt et al. 2012)。しかし、H.E.S.S. 望遠鏡による TeV ガンマ線観測では Puppis A からのガンマ線は検出されず、高エネルギー側のスペクトルにカットオフあるいは折れ曲がりが存在すると考えられている (Abramowski et al. 2015)。

我々はフェルミ衛星による約 94ヶ月分の観測データを使用し、Puppis A から放射される GeV ガンマ線を解析した。先行研究に比べて光子統計が向上したことで、GeV ガンマ線と熱的 X 線に強い空間相関があることが示された。さらに GeV ガンマ線の強度は X 線強度の平方根に比例することがわかった。また、ガンマ線スペクトルは単純なべき関数ではなく、折れ曲がりを持つスペクトル形状を持つことがわかった。SNR に今回はじめて見出された熱的 X 線とガンマ線の空間相関について、衝撃波統計加速の検証の新たな手段という観点から議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q42a 「すざく」による Kepler 超新星残骸の膨張速度測定

春日知明, 馬場彩, 中澤知洋 (東大理), 佐藤寿紀 (首都大)

超新星残骸 (SNR) の中で重元素がどのように膨張しているかを調べることは、超新星爆発の構造を知る手がかりとなる。膨張速度は X 線スペクトル中の輝線のドップラー広がりから推定できる。典型的な Ia 型 SNR として知られる Tycho では Fe よりも Si の膨張速度が速いことが分かった。これにより爆発的要素合成によって作られた重元素の「玉ねぎ構造」が現在も保たれ、球対称的に膨張していることが示唆された (Hayato+10, Sato+17, Williams+17)。

Kepler も Tycho と同程度の年齢の Ia 型 SNR であるが、Tycho より X 線の輝度分布が偏っている。また SNR の熱的プラズマの解析から、白色矮星が形成された環境の重元素量が Ia 型の典型量より有意に多く (Park+13)、Fe の比率が高い (Katsuda+15) などの違いがあることも分かっている。したがって Kepler は Tycho とは異なる膨張構造を持つ可能性がある。Kepler でも元素ごとの膨張速度を測定し加熱や膨張の過程を調べることは、Ia 型の爆発構造の理解にとって重要である。

そこで我々は、X 線衛星「すざく」により得られた Kepler のスペクトルのうち、Fe と Si の $K\alpha$ 輝線を解析した。その結果、SNR の中心領域の線幅が外側領域に比べて Fe で ~ 10 eV、Si で ~ 3 eV 太いことを発見した。また輝線の中心エネルギーは、外側の方が Fe で ~ 15 eV、Si で ~ 3 eV 高いことがわかった。これらの輝線の空間的差異の原因には、以下のようなシナリオが考えられる。中心領域の線幅は、SNR の膨張によるドップラー効果で広がっている可能性がある。また輝線の中心エネルギーは、外側ほど逆行衝撃波によって電離が進み高くなっている可能性が考えられる。本講演では、これらのシナリオの妥当性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](#)

Q43a 恒星 bow-shock 候補 G70.7+1.2 からの X 線の発見

馬場彩 (東京大学), 寺田幸功, 今井悠喜 (埼玉大学)

宇宙には大小様々なスケールの衝撃波が存在する。その中でも、大型星は固有運動が 30 km s^{-1} より大きい場合 (逃亡星)、星風と星間物質との相互作用で衝撃波を形成することがあり、粒子加速の可能性が示唆されている。しかし、X 線やガンマ線で数多くの逃亡星の観測が行なわれてきたが (Terada et al. 2012, Toala et al. 2017, H.E.S.S. Collaboration 2017)、電波より高エネルギー側の帯域では熱的・非熱的放射共に未だに検出されていない。

我々は、Fermi 未同定天体 3FGL J2004.4+3338 に注目した。この天体は VLA での 5 GHz 観測により、直径 0.2 arcmin 程度の shell 状構造が発見されている (Schinzel et al. 2017)。この位置には非熱的電波や H II 領域で明るい G70.7+1.2 があり、過去には超新星残骸ではないかと思われていた (Reich et al. 1985)。しかし、電波での $\Sigma - D$ 関係を適用すると距離が 90 kpc となり、超新星残骸ではないことが分かっている。また、この領域には B 型星が存在するため (Cameron & Kulkarni 2007)、逃亡星による bow shock の可能性がある。

我々は *Chandra* 衛星の 38 ks のアーカイブデータを用いてこの天体の X 線での性質を調べた。その結果、電波で発見された shell と同じ位置に、半径 15 秒 程度の shell 構造を発見した。X 線スペクトルは、吸収量 $1.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ および温度 0.4 keV の熱制動放射でよく再現された。 $0.5\text{--}10 \text{ keV}$ での吸収補正後のフラックスは $5.7 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ である。本講演では、この天体の正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](#)

Q44a Chandra 衛星による超新星残骸 RX J1713.7–3946 の非熱的放射の空間分布観測

奥野智行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛, 松村英晃, 尾近洸行, 立花克裕 (京都大学)

RX J1713.7–3946 (以下、RX J1713) は年齢が ~ 2000 年と推定されている若い超新星残骸であり、TeV ガンマ線で明るく輝くことから、宇宙線加速の研究において最も注目を浴びている天体の一つである。X 線帯域では熱的放射はほとんど見られず、TeV 程度のエネルギーにまで加速された電子によるシンクロトロン放射が支配的であるという特徴を持つ。

超新星残骸の衝撃波における粒子加速を研究する上で、X 線シンクロトロン放射の空間依存性を調べることは、TeV 電子の最高加速エネルギーや衝撃波周辺の磁場強度、分子雲との相互作用を議論する有効な手段である。RX J1713 と似た超新星残骸である Vela Jr. の北西部の解析では、衝撃波面の内側でスペクトルが徐々に soft になり、TeV 電子の最高加速エネルギーと周辺の磁場に依存する X 線シンクロトロン放射のカットオフエネルギーが小さくなっていく傾向が観測されている (Kishishita et al., 2013, A&A, 551, A132)。また、RX J1713 では西部に存在する分子雲と光子指数の空間分布に相関があり、分子雲との相互作用により磁場が増幅されていることが示唆されている (Sano et al., 2015, ApJ, 799, 175)。しかし、これまでの研究はいずれも $\sim \text{arcmin}$ の領域の解析にとどまっており、さらに細かい構造に着目した議論はされてこなかった。そこで、我々は $\sim 0.5 \text{ arcsec}$ という優れた空間分解能を持つ Chandra 衛星を用いて、X 線スペクトルの詳細な空間依存性を調べた。本講演ではその解析結果を報告し、先行研究との比較・検討を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q45a 分子雲衝突に起因する超新星残骸からの宇宙線逃亡シナリオの観測的検証

鈴木寛大、馬場彩、中澤知洋（東京大）、山崎了（青学大）

PeV以下のエネルギーの宇宙線は主に超新星残骸（SNR）の衝撃波面で加速されていると考えられている。だが加速陽子は増幅されたSNRの磁場に閉じ込められるため、星間空間へ逃亡することが極めて困難であるという大問題が残っている。近年、分子雲と衝突しているSNRの多くから加速陽子起源のGeVガンマ線が検出された。一方で、分子雲と衝突し、かつGeVガンマ線を放射するSNRの多くが、電離温度より電子温度が異常に低い「過電離」状態のプラズマをもつことが明らかになってきた（e.g. Yamaguchi et al. 2009）。これらの事実から、加速陽子の逃亡シナリオとして「分子雲と衝突することでSNRの磁場が減衰して加速陽子が逃亡し、同時に分子雲との熱伝導で電子が急冷却したプラズマが過電離状態になる」という仮説が提唱されている。

2017年春季年会では、この仮説を検証するため、分子雲と衝突しているがガンマ線放射が他のGeVガンマ線SNRより1桁程度弱い（Pivato et al. 2013）という特殊な性質をもつSNR HB 21に着目した。我々はX線観測により、この天体も他のGeVガンマ線SNRと同様に過電離プラズマ（ 0.16 ± 0.01 keV）をもつことを明らかにした。これは仮説がSNRの間で普遍的に成立することを示唆する。

今回我々は、個々のSNRの加速環境の違いを利用して定量的に仮説検証を行うため、HB 21を含め報告がある8個のSNRに対して、X線観測で求められた「過電離が始まってからの経過時間」とガンマ線観測で求められた「GeVガンマ線のべき」を比較した。ラーマー半径の大きい高エネルギー陽子ほどSNRから逃亡しやすいため、仮説が正しければ過電離が始まってからの経過時間が長いほどGeVガンマ線のべきは大きくなる。この結果、我々は正の相関（相関係数0.59）を発見し、仮説を強く支持する結果を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q46a 電波シンクロトロン放射強度の二点相関解析による超新星残骸磁場スペクトルの測定について

霜田治朗 (青山学院大学), 赤堀卓也 (鹿児島大学), 井上剛志 (名古屋大学), 藤田裕 (大阪大学)

超新星残骸 (SNR) は銀河宇宙線の加速現場と考えられており、被加速粒子の振る舞いは磁気乱流の性質に強く依存すると考えられているが、磁場の直接測定が難しいことから現在もっとも不定性の大きいパラメーターとして扱われている。特に、銀河宇宙線の最高エネルギーである $10^{15.5}$ eV を SNR で達成するためには $100 \mu\text{G}$ 程度にまで増幅された磁場が、 $10^{15.5}$ eV のエネルギーの宇宙線のジャイロ半径 $\sim 0.1\text{--}1$ pc 程度で磁場の揺らぎの振幅が $\delta B/B \sim 1$ を達成している必要がある。

最近、星間媒質中での乱流磁場のスペクトル指数が電波シンクロトロン放射強度の二点相関解析から測定できることが Alex Lazarian 氏の研究グループの理論研究により立て続けに示されている。さらに、この手法を超新星残骸に応用する手法が Shimoda et al. (2017 投稿中) により開発されている。

本講演では Shimoda et al. (2017) の手法を銀河系内の Tycho の SNR に対して応用した結果を報告する。さらに同様の手法で解析した、銀河団 CIZA J2242.8+5301 に見られる弓状衝撃波 Sausage radio relic での結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q47a Sgr A* 起源の knee 宇宙線

藤田裕 (大阪大学), 村瀬孔大, 木村成生 (Penn State)

地球で観測される宇宙線のエネルギースペクトルは、 $E \sim 10^{15.5}$ eV で折れ曲がったべきで表される。この“knee”と呼ばれる折れ曲がりより低エネルギーの宇宙線は、銀河系内の超新星残骸で加速されているというのが現在の主流の考えである。しかし超新星残骸が knee エネルギーまでの宇宙線を加速している観測的証拠は皆無に等しい。一方、最近の HESS による銀河系中心領域のガンマ線観測では、銀河系の AGN である Sgr A* が knee 付近までの宇宙線を加速している兆候が見られている。

そこで本研究では、Sgr A* が地球で観測されている knee 宇宙線を加速している可能性について検討を行った。Sgr A* の現在の宇宙線の加速率では地球で観測されている宇宙線の量を説明できないので、Sgr A* が過去に活発な活動をしたとき、具体的には Fermi bubbles を形成した $\sim 10^7$ 年前に大量の宇宙線を加速したと仮定した。

銀河系ハローを伝搬する宇宙線の拡散方程式を解くことで、地球で観測される宇宙線のスペクトルや到来方向の非等方性を求めたところ、knee 宇宙線が Sgr A* 起源であるためには、ハローでの knee 宇宙線の拡散係数が $\sim 10^{30} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ であること、さらに銀河円盤の宇宙線の拡散係数より一桁ほど大きいことが必要であることがわかった。また、過去の活動時の Sgr A* での宇宙線スペクトルは、現在のものと大きく異なる必要がある。さらに B/C 比が knee 付近ではエネルギーに依存しないことを予言した。

ref. Fujita, Murase, & Kimura, 2017, JCAP, 04, 037

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q48a IceCube ニュートリノは星形成銀河ですべて説明できるか？

須藤 貴弘, 戸谷 友則 (東京大学), 川中 宣太 (京都大学)

IceCube 実験で検出された高エネルギーニュートリノの起源天体の候補の一つに、星形成銀河やスターバースト銀河があり、これらからのニュートリノ放射で観測データが説明できるか、これまで多くの研究が行われている。しかし、いずれも銀河からのニュートリノの量を赤外光度と関連させるなど比較的単純な見積もりしか行っていないなかったり、不定性の大きな仮定に基づいているため、確定した結論が得られているとは言えない。本研究では、銀河形成の準解析的モデルにニュートリノ生成過程を組み込むことにより、IceCube ニュートリノが銀河からの寄与で説明できるか調べた。宇宙論的な銀河形成モデルを用いることで、ガス冷却や星形成、スターバーストなどを統合的に取り扱い、様々な赤方偏移における銀河の性質 (サイズ、ガス質量、星形成率など) を求めることができる。我々はそうした個々の銀河の性質に基づき、銀河での宇宙線生成量、銀河内でガスと反応する割合、銀河からの脱出率といった量を計算するモデルを作成した。また、Fermi-LAT で観測されている7個の近傍銀河の γ 線光度を用いてモデルを較正した。以上から我々の計算では、過去の研究と比べより現実的なニュートリノフラックスが得られていると考えられる。

我々はまず銀河系からの寄与が少ないことを計算により確認した。これは到来方向が等方的であることから予想される通りである。続いて系外銀河からの寄与を見積もった。近傍銀河の γ 線データと非常によく合う baseline model に基づく計算では、全ての超新星残骸で加速粒子のスペクトル $dN/dE \sim E^{-\Gamma}$ の冪指数が $\Gamma = 2$ になるという、最も楽観的な仮定を置いた場合でさえ、銀河からの寄与は IceCube の観測データのおよそ 10% にも満たないことが分かった。この結果から、IceCube ニュートリノは星形成銀河以外のソースを起源に持つと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

9月11日(月) 午後(15:54-16:18) [B会場]

R01a	15:54	WISDOM Project – IV Black Hole Mass Measurement Using Molecular Gas Kinematics in NGC 5064 大西響子 (愛媛大学)
R02a	16:06	Subaru/Kyoto 3DII + AO188 による高速電波バースト FRB 121102 母銀河の可視光面分光観測 小久保充 (東北大学)
R03c		High-resolution imaging of H ₂ O maser in the M82 starburst Yoshiaki Hagiwara (Toyo University)
R04c		GPU を用いた 1PN <i>N</i> 体シミュレーションの高速化 立川崇之 (高知工業高等専門学校/早稲田大学)

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [B会場]

R05a	09:30	NRO レガシープロジェクト COMING(11): 観測のまとめ 徂徠和夫 (北海道大学)
R06a	09:42	NRO レガシープロジェクト COMING (12): 銀河群による近傍銀河のガスの性質に与える環境効果の研究 金子紘之 (国立天文台)
R07a	09:54	NRO レガシープロジェクト COMING(13): 棒渦巻銀河 NGC 4303 における分子ガスの物理状態 矢島義之 (北 海道大学)
R08b	10:06	NRO レガシープロジェクト COMING(14): 近傍棒渦巻銀河の円盤領域における分子ガス速度分散と星形成効 率の関係 黒田麻友 (大阪府立大学)
R09b	10:06	NRO レガシープロジェクト COMING(15): ¹² CO(1-0) と ¹³ CO(1-0) を用いた星形成則の比較 佐藤佑哉 (筑 波大学)
R10b	10:06	NRO レガシープロジェクト COMING(16): 近傍渦巻銀河 NGC 628 におけるガスの速度ベクトル 宮本祐介 (国立天文台)
R11a	10:18	Molecular Gas Conditions in M83 via PDF Analysis 江草実 (国立天文台)
R12a	10:30	Distribution of dense molecular gas and star formation activity in the central 1 kpc of the galaxy NGC 1808 Dragan Salak (Kwansei Gakuin University)
R13a	10:42	Pc-scale ALMA observations of the circumnuclear molecular disk of Centaurus A Daniel Espada (NAOJ)
R14a	10:54	棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制 2 前田郁弥 (京都大学)
R15c		Molecular Gas Distribution and Cloud Properties in Young Starburst in the Blue Compact Dwarf Galaxy NGC 5253 Rie E. Miura (NAOJ)
R16b	11:06	High angular resolution and high sensitivity millimeter-wave continuum imaging toward the NGC 253 starburst nucleus 中西康一郎 (国立天文台)
R17b	11:06	相互作用銀河 NGC3110 の ALMA による分子ガスの観測的研究 その1 川名佑佳 (日本女子大学)
R18b	11:06	NGC147 と NGC185 の質量流出を考慮したピリアル平衡モデル 佐々木秀幸 (防衛大学校)
R19c		M31 からの潮汐力で評価する連銀河 NGC147+NGC185 への制限 釜谷秀幸 (防衛大学校)
R20a	11:18	M33 における HI ガスの運動と巨大星団 NGC 604 の形成 立原研悟 (名古屋大学)
R21c		近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質: 統計的研究 隈井泰樹 (熊本学園大学)

9月12日(火) 午後(13:00-15:12) [B会場]

R22a	13:00	シミュレーションで探る銀河系における短寿命放射性元素の空間分布 藤本裕輔 (オーストラリア国立大学)
R23a	13:12	金属欠乏星の亜鉛組成から探る元素の混合効率 平居悠 (東京大学)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

R24a	13:24	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた Draco dSph の構造解析 佐々木花 (東北大学)
R25a	13:36	X 線光度の異なる楕円銀河周辺における矮小銀河の分布 戸塚都 (関西学院大学)
R26c		球状星団の Fokker-Planck モデルにおけるクーロン対数の扱いについての再考 高橋広治 (埼玉工業大学)
R27a	13:48	銀河面からの軟 X 線背景放射 (4) 中野慎也 (名古屋大学)
R28a	14:00	銀河系の巨大ブラックホールを周回する星 S2 の視線速度モニター観測 西山正吾 (宮城教育大学)
R29a	14:12	VVV データを使用したレッドクランプ法による銀河系中心の減光則決定 長友竣 (京都大学)
R30a	14:24	Gaia TGAS によるセフィイドの特異速度とペルセウス腕の動力学的性質 馬場淳一 (国立天文台)
R31a	14:36	OH/IR 星を対象とした VLBI 位置天文に基づく銀河動力学的観測的研究 中川亜紀治 (鹿児島大学)
R32a	14:48	バー効果を考慮した銀河ガス円盤の観測的可視化 町田真美 (九州大学)
R33a	15:00	スパースモデリングを用いた銀河磁場解析 宮下恭光 (熊本大学)
9月13日(水) 午前(09:30-11:30) [B会場]		
R34a	09:30	Tidally driven features in galactic interactions Alex Pettitt (Hokkaido University)
R35a	09:42	HSC による、Seyfert 銀河 NGC1068 周囲の minor merger remnants の発見 谷口義明 (放送大学)
R36a	09:54	Mid-infrared observations of mergers: NGC2782 and NGC7727 尾中敬 (東京大学)
R37a	10:06	銀河の多成分力学平衡分布生成コード MAGI の開発 三木洋平 (筑波大学)
R38a	10:18	ALMA による近傍赤外線銀河の高密度分子ガス観測、及び、エネルギー源診断 今西昌俊 (国立天文台)
R39a	10:30	氷吸収プロファイルの解析で探る ULIRG における dark cloud の物理状態と分布 道井亮介 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
R40c		CO(4-3) & [CI] Observations in ULIRGs with ASTE Misaki Ando (SOKENDAI/NAOJ)
R41a	10:42	ALMA Astrochemical Observations of an Infrared-Luminous Merger 原田ななせ (ASIAA)
R42a	10:54	5pc 分解能で見た近傍星形成銀河 NGC 253 中心部の星形成活動の多様性 (2) 安藤亮 (東京大学)
R43a	11:06	低重元素量の矮小銀河 NGC6822 にある分子雲の化学組成 西村優里 (東京大学/国立天文台)
R44a	11:18	NGC 3627 における分子雲同士の相互作用の化学組成への影響 渡邊祥正 (筑波大学)

R01a WISDOM Project – IV Black Hole Mass Measurement Using Molecular Gas Kinematics in NGC 5064

大西響子 (愛媛大学), 井口聖 (国立天文台/総合研究大学院大学), et al.

As a part of the mm-Wave Interferometric Survey of Dark Object Masses (WISDOM) project, we present an estimate of the mass of the supermassive black hole (SMBH) in the nearby quiescent galaxy NGC 5064. $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ emission line was observed by using Atacama Large Millimetre/submillimetre Array (ALMA), to achieve an angular resolution of $0''.05$. The data is imaged with a resolution of $0''.15$ and $0''.3$ to enhance the signal-to-noise ratio. The observed molecular gas kinematics is analyzed in three dimension to provide a best-fit SMBH mass $M_{\text{BH}} = 1.61_{-0.64}^{+1.06} \times 10^8 M_{\text{odot}}$, a H -band stellar $M/L = 0.390 \pm 0.005 (M/L_{\odot,H})$, and other parameters describing the geometry of the molecular gas disc (statistical errors, all at 3σ confidence). We confirm the SMBH mass measured is consistent with that estimated from the latest $M_{\text{BH}} - \sigma$ relation, which correlates SMBH mass and stellar velocity dispersion at the effective radius. Observed evidences show that the molecular gas disc in this spiral galaxy to be thick, contrary to that is assumed in our previous works on early-type galaxies. This work will be submitted to MNRAS within a short amount of time.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a Subaru/Kyoto 3DII + AO188 による高速電波バースト FRB 121102 母銀河の可視光面分光観測

小久保充 (東北大学), 満田和真, 菅井肇 (東京大学), 尾崎忍夫, 美濃和陽典, 服部堯, 早野裕, 松林和也 (国立天文台), 下農淳司, 酒向重行, 土居守 (東京大学)

これまでに発見された 20 天体あまりの高速電波バースト (Fast Radio Burst, FRB) の中で、FRB 121102 は唯一、複数回の電波バーストが観測された天体であり、電波干渉計によるミリ秒角精度の位置決定とともに、可視光観測による母銀河の同定と赤方偏移の測定 ($z = 0.193$ の低質量・低金属量矮小銀河) が初めて可能となった FRB である (Chatterjee et al. 2017; Tendulkar et al. 2017)。我々は、FRB 121102 の母銀河に対して、Subaru/Kyoto 3DII + AO188 による可視光補償光学面分光観測 ($\lambda_{obs} = 7300 - 9200 \text{ \AA}$) を行い、母銀河に付随する $H\alpha$ 放射領域 (= 星形成領域) の位置とサイズを測定し、FRB 121102 の発生位置との比較を行った。観測の結果、FRB 121102 母銀河中に、星の分布 (~ 1.4 秒角 = 4.6 kpc) に比べてコンパクトな、単一の $H\alpha$ 放射領域 (< 0.57 秒角 = 1.9 kpc) が検出された。この星形成領域の中心位置と FRB121102 電波バーストの発生位置との間のオフセットは約 0.08 秒角であり、FRB 121102 が星形成領域の内部で生じていることを意味している。これらの観測結果は、FRB 121102 の母銀河や局所的な発生環境が、マグネターを中心エンジンに持つと考えられているロングガンマ線バースト (Long GRBs) や水素欠乏型超高輝度超新星 (SLSNe-I) といった突発天体の発生環境と似通っていることを示しており、FRB 121102 が若いマグネター起源の電波バーストであるというモデルを支持する。また、本観測により、母銀河中の $H\alpha$ 放射領域内の自由電子による FRB 121102 分散指標 (dispersion measure) への寄与を定量的に評価することが可能となり、近傍宇宙の銀河間空間に存在するバリオン密度について $\Omega_{IGM} > 2.9\%$ という制限を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03c High-resolution imaging of H₂O maser in the M 82 starburst

Yoshiaki Hagiwara (Toyo University)

High-resolution imaging observations of 22 GHz H₂O maser in the starburst galaxy M 82 (NGC 3034) were conducted at ~ 0.02 arcsecond angular resolution using MERLIN (Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network). The galaxy hosts low-luminosity H₂O maser sources, four of them have been detected by Very Large Array (VLA). We aimed for imaging the known maser of S2, which remains unresolved by earlier VLA observations at ~ 0.1 arcsecond resolution. In our observations, the maser has been barely resolved into two clusters with an angular separation of ~ 0.02 arcsecond, which corresponds to 0.35 pc at a distance to the galaxy of 3.5 Mpc. The position of the maser that has been measured at the highest resolution reveals that the maser is approximately associated with the inner edge of super-bubble structure probed by thermal molecular lines (Matsushita et al. 2005), while the velocity range of the molecular lines is not consistent with that of the maser. We found that the velocity of the maser overlaps that of a molecular outflow in molecular clouds (Weiss et al. 2001), where the maser is located. These results may suggest that the maser at S2 is originated from a star-forming site and appears in an early stage of star-formation in the starburst environment.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04c GPUを用いた1PN N 体シミュレーションの高速化

立川崇之 (高知高専, 早大理工研)

2017年春季年会において, 巨大ブラックホール (SMBH) の形成過程を考察するため, 一般相対性理論の効果を取り入れた N 体シミュレーションのコード開発について発表を行った. この際には中心に中間質量ブラックホール (IMBH) のような重い天体が存在し, その周囲を構成が取り囲むモデルを想定した. この想定のもとで, IMBH と恒星との相互作用は Post-Newtonian の最低次の効果 (1PN) で計算し, 恒星同士の相互作用は Newton 重力で取り扱った (cf. Will, Phys. Rev. D **89**, 044043 (2014)).

前回の発表では保存量であるシステムの全エネルギーの誤差が大きいことが問題であったが, その後コードに誤りがあることがわかり, 修正の結果, 局所誤差は抑えられることがわかった. Hamiltonian が与えられる系ではあるが, 陽的な Symplectic Integrator が使えないため, 累積誤差が課題となっている. 本発表では GPU を用いたコードの高速化の粒子数依存性, 簡単なモデルの時間発展について報告を行う. また, 重い天体の集団が密集して進化することを想定して, 全ての相互作用を 1PN で考慮する必要のある系, すなわち Einstein-Infeld-Hoffman (EIH) 方程式で記述される系の N 体シミュレーションについても, コード開発と GPU への実装による高速化についても状況を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05a NRO レガシープロジェクト COMING(11) : 観測のまとめ

徂徠和夫 (1), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (3), 宮本祐介 (4), 金子紘之 (4), 中西裕之 (5), 中井直正 (2), 柳谷和希 (3), 田中隆広 (2), 佐藤佑哉 (2), Dragan Salak (6), 梅井迪子 (1), 諸隈佳菜 (7), 松本尚子 (8), 上野紗英子 (5), Pan Hsi-An (9), 野間勇斗 (6), 竹内努 (10), 依田萌 (10), 黒田麻友 (3), 保田敦司 (2), 矢島義之 (1), 大井渚 (11), 柴田修吾 (1), 瀬田益道 (6), 渡邊祥正 (2), 馬路博之 (3), 瀬川陽子 (1), 田代貴美 (1), 武田美保 (3), 岸田望美 (1), 畠山拓也 (2), 富安悠人 (2), 齊田智恵 (5), 他 COMING メンバー (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: 大阪府立大学, 4: 国立天文台, 5: 鹿児島大学, 6: 関西学院大学, 7: 宇宙科学研究所, 8: 山口大学, 9:台湾中央研究院, 10: 名古屋大学, 11: 東京理科大学)

国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡のレガシー観測として進めてきた近傍銀河の大規模な分子ガス撮像観測 (COMING = CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies) は過去最大のサンプル数約 130 天体をもって終了した。本講演では、観測結果の概要とデータ解析の進捗状況について報告する。銀河の進化を星の生成史から捉える場合、材料となる分子ガスの総量、銀河内での分布・運動、ガスの性質を知ることが不可欠であるが、銀河全体に渡って分子ガスが撮像された例は限られており、系統的な理解の妨げになってきた。そこで、私たちは 45 m 望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を使った OTF 観測により、多数の近傍銀河について ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 1 - 0$) の 3 輝線同時撮像を実施した。得られたデータは、独自に考案した客観性の高い方法を用いて現在順次解析が進められている。これまでに解析されたデータには、銀河内での $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ の局所的な変化が見られ、空間分解した複数輝線の撮像観測の重要性を示している。解析終了後は、多数の銀河について、その形態や環境が分子ガスから星が生成される過程に及ぼす影響等について系統的に明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06a NRO レガシープロジェクト COMING (12): 銀河群による近傍銀河のガスの性質に与える環境効果の研究

金子紘之, 宮本祐介 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾 (北海道大学), 中井直正, 久野成夫, 渡邊祥正, 田中隆広, 佐藤佑哉, 保田敦司 (筑波大学), 大井渚 (東京理科大学), 諸隈佳菜 (JAXA), 竹内努, 依田萌 (名古屋大学), 村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府立大学), Dragan Salak, 野間勇斗, 瀬田益道 (関西学院大学), 松本尚子 (山口大学), 中西裕之, 上野紗英子 (鹿児島大学), Pan Hsi-An (台湾中央研究院), ほか COMING メンバー

系外銀河において、恒星の原料である星間ガスの性質を理解することは、銀河進化を解き明かすうえで重要であるが、撮像データに基づく統計的な研究はまだ十分行われていない。これは、装置的な制限からくる銀河の撮像観測の困難さによることが大きい。我々は野辺山 45-m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を用い、近傍銀河の CO 撮像観測、COMING プロジェクトを進めてきた。これにより 100 を超える近傍銀河の分子ガスの分布、質量を取得し、統計的な分子ガスの性質の議論が可能になった。

本研究は、銀河の環境効果が星間ガスに及ぼす統計的性質理解を目指し、特に理解の進んでいない銀河群の性質に着目した。COMING プロジェクトの初期データおよび、野辺山 CO アトラスのデータを用い孤立銀河と比較した結果、水素分子ガス質量、水素原子ガス質量、全低温水素ガス (水素原子ガス + 水素分子ガス) に占める水素分子ガス比の 3 つは孤立銀河と銀河群の間に差が無いことが明らかとなった。これらの結果から、銀河団における衝撃波加熱によって新たに低温ガスの降着を断つ効果、ラム圧による水素原子ガスの剥ぎ取り、あるいは強い銀河間重力相互作用下における外圧による効率的分子ガス形成は、銀河群においては支配的でないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07a NRO レガシープロジェクト COMING(13):棒渦巻銀河 NGC 4303 における分子ガスの物理状態

矢島義之 (1), 徂徠和夫 (1), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (3), 宮本祐介 (4), 金子紘之 (4), 田中隆広 (2), 柳谷和希 (3), 佐藤佑哉 (2), 他 COMING メンバー (1:北海道大学,2:筑波大学,3:大阪府立大学,4:国立天文台)

棒渦巻銀河では棒構造領域において渦状腕よりも星形成効率が低いことが報告されている。これは銀河スケールの構造により分子ガスの物理状態が異なり、星形成に影響を与えるメカニズムが存在する可能性を示唆している。しかし、棒領域で物理状態を定量的に明らかにした研究は未だ少ない。そこで我々は近傍の棒渦巻銀河 NGC 4303 について棒構造と渦状腕で分子ガスの物理状態に差異があるかを調べた。分子ガスのデータは国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡のレガシープロジェクト COMING で観測された $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の 2 輝線を用い、さらに $\text{H}\alpha$ 輝線、24、70、160 μm 連続光のアーカイブデータを使用した。まず銀河を構造に応じた領域に分け、 ^{12}CO 輝線と $\text{H}\alpha$ 輝線、24 μm のデータからその領域内での分子ガス面密度、星形成率、星形成効率を求めた。その結果棒構造領域では渦状腕に比べ、星形成効率が約 40%低いことが明らかになった。また 70、160 μm のデータよりダスト温度を求めたところ、銀河全体に渡り約 19K とほぼ一定であった。次に光学的に薄い ^{13}CO 輝線の積分強度を ^{12}CO 輝線のそれと比較し、non-LTE 法のプログラム RADEX を用いて励起解析を行った。先に求めたダスト温度を考慮すると、密度は棒構造領域で $\sim 50\text{cm}^{-3}$ 、渦状腕領域で $\sim 90\text{cm}^{-3}$ と棒領域で低いことがわかった。さらに、各領域の星形成効率、分子ガス密度、 ^{12}CO のスペクトル線の半値幅を比較したところ、星形成効率-密度では正の相関、星形成効率-半値幅及び密度-半値幅では負の相関が得られた。このことから棒構造領域では分子ガスの運動が激しいことにより密度が低下し星形成効率が低くなると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08b NRO レガシープロジェクト COMING(14) : 近傍棒渦巻銀河の円盤領域における分子ガス速度分散と星形成効率の関係

黒田麻友, 村岡和幸 (大阪府立大学), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾 (北海道大学), 中井直正, 久野成夫, 渡邊祥正, 田中隆広, 佐藤佑哉, 保田敦司 (筑波大学), 諸隈佳菜 (JAXA), 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 竹内努, 依田萌 (名古屋大学), Dragan Salak, 野間勇斗 (関西学院大学), 松本尚子 (山口大学), 中西裕之, 上野紗英子 (鹿児島大学), Pan Hsi-An (台湾中央研究院), 他 COMING メンバー

棒渦巻銀河において、その領域ごとに星形成効率が異なること、特に棒状構造では中心領域や渦状腕などのほかの領域に比べて星形成効率が低いことが以前から指摘されているが、その原因はまだ理解されていない。一方、数値シミュレーションによると、棒状構造での分子雲同士の相対速度が大きすぎると分子雲衝突時に星形成が促進されず、結果的に星形成効率が低下するということが予想されている (Fujimoto et al. 2014, MNRAS, 445, L65)。そこで本研究では、銀河円盤中の分子雲の相対速度の大きさが星形成に与える影響を観測的に調べた。COMING サンプルから NGC 2903、NGC 4303、NGC 5248 という3つの近傍棒渦巻銀河を選び、銀河中の分子雲の相対速度の指標として分子ガスの速度分散を使用した。また銀河の領域ごとの性質を調べるために各銀河の円盤領域を bar、bar-end、arm の3つに分け、各領域での速度分散と星形成効率を導出しそれらの関係を調べた。その結果、分子ガスの速度分散が大きい bar ($v_{\text{disp}} = 26 - 40 \text{ km/s}$) では星形成効率が低く ($0.7 - 1.3 \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$)、速度分散が小さい arm ($v_{\text{disp}} = 15 - 28 \text{ km/s}$) では星形成効率が高くなった ($1.0 - 2.3 \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$)。この結果は「分子雲同士の相対速度が大きすぎると星形成が促進されない」という理論的な予測を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09b NRO レガシープロジェクト COMING(15): $^{12}\text{CO}(1-0)$ と $^{13}\text{CO}(1-0)$ を用いた星形成則の比較

佐藤佑哉, 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 中井直正 (筑波大学), 徂徠和夫, 矢島義之 (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), 依田萌 (名古屋大学), Dragan SALAK (関西学院大学), 上野紗英子 (鹿児島大学) 他 COMING メンバー

我々は、COMING プロジェクトとして、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された 4 ビーム受信機「FOREST」を用いて近傍銀河 129 個の $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ 輝線によるマッピング観測を行った。本研究では、COMING プロジェクトで観測した ^{12}CO 、 ^{13}CO のデータから、 ^{12}CO で得られた速度情報をもとにスタッキング法を用いて、銀河全体での ^{13}CO の検出を試みた。その結果、13 / 15 個の銀河で ^{13}CO を 3σ 以上で検出することができた。その結果をもとに、光学的に厚い ^{12}CO と光学的に薄い ^{13}CO について、銀河全体での分子ガスの量 (以下 M_{gas}) と星形成率の関係や、分子ガスの割合 (分子ガスの量/星質量) (以下 f_{gas}) と SSFR (星形成率 / 星質量) の関係、さらに $^{12}\text{CO} / ^{13}\text{CO}$ 比と SSFR の関係を調べ比較した。その結果、以下のようなことが分かった。 M_{gas} と星形成率の関係については、光学的厚さの異なる二つの輝線で、傾きがほぼ同値になった (M_{gas} vs. SFR : ^{12}CO , $^{13}\text{CO} : 0.5$)。 f_{gas} と SSFR の関係については ^{13}CO の方がやや傾きが大きい傾向があり (f_{gas} vs. SSFR : $^{12}\text{CO} : 0.8$, $^{13}\text{CO} : 1.0$)、また f_{gas} と SSFR の関係の方が、 M_{gas} と星形成率の関係よりも強い相関の線形関係にあることが分かった。 $^{12}\text{CO} / ^{13}\text{CO}$ 比は、SSFR とともに高くなる傾向があり、その原因として、活発な星形成による ^{13}CO の存在比の減少、もしくは ^{12}CO の光学的厚みの減少が考えられる。今後 COMING プロジェクトで得られたデータの解析を進め、サンプル数を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](#)

R10b NRO レガシープロジェクト COMING(16): 近傍渦巻銀河 NGC 628 におけるガスの速度ベクトル

宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台野辺山), 徂徠和夫 (北海道大学), 久野成夫, 中井直正, 田中隆広, 佐藤佑哉, 保田敦司 (筑波大学), Dragan SALAK, 瀬田益道, 野間勇斗 (関西学院大学), 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), 諸隈佳菜 (宇宙科学研究所), 松本尚子 (山口大学), 中西裕之, 上野紗英子 (鹿児島大学), Pan Hsi-An (台湾中央研究院), 他 COMING メンバー

巨大分子雲は大質量星形成の母体であり、その進化の理解は星形成並びに銀河進化を考える上で重要である。最近の研究から銀河のダイナミクスが巨大分子雲に大きな影響を及ぼしうることがわかってきた。我々は野辺山 45 m 電波望遠鏡レガシープロジェクト COMING を進めており、その科学目標の一つとして銀河ダイナミクスと分子ガスの分布や性質の関係の理解を目指している。しかしながら観測できるガス運動は視線方向成分であり、銀河円盤内の運動を直接知ることは難しい。今回、我々は渦状腕に沿ったスパイラルフェイズ中のガスの視線速度から速度ベクトルを導出できる KN 法 (Kuno&Nakai 1997 PASJ) を用いて渦巻銀河円盤内のガス運動を調べた。

本講演では近傍渦巻銀河 NGC 628 の結果について紹介する。NGC 628 は $H\alpha$ や $24\mu\text{m}$ バンド等で中心部で 2 本腕、外側でスパー構造による複数腕が確認される一方、 K_s バンドでは渦状腕のコントラストがほとんどない。また、ダストレーンと星形成領域にオフセットがあることがわかっている。今回の観測から分子ガスは可視光と異なり中心部から外側まで 2 本腕で繋がることを確認された。KN 法を適用し、渦状腕に対して垂直、平行方向の速度ベクトルを求めた結果、垂直方向速度は渦状腕上流から渦状腕にかけ減速する一方、平行方向は渦状腕から下流にかけて加速されるパターンを示した。この速度変化は密度波理論とよく一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R11a Molecular Gas Conditions in M83 via PDF Analysis

江草英実, 廣田晶彦, 馬場淳一 (国立天文台), 村岡和幸 (大阪府立大学)

我々は、ALMA と野辺山 45m 鏡での観測から、近傍棒渦巻銀河 M83 の CO(1-0) 輝線データを取得した。分解能は約 $2''$ ($\sim 40\text{pc}$) であり、約 $3'$ ($\sim 3.4\text{kpc}$) の視野は銀河中心、棒状構造 (bar)、渦巻腕 (arm) を含む。これらの構造が星間分子ガスに与える影響を調べるため、それぞれの領域での確率分布関数 (Probability Distribution Function; PDF) を作成した。

CO 積分強度 (I_{CO}) の PDF は、各領域で異なる分布を示し、bar PDF は arm PDF よりも明るい側に伸びた分布であった。銀河系内分子雲の PDF 研究ではこのような分布は bright-end tail と呼ばれ、自己重力の卓越 (e.g. Kritsuk et al. 2011) や高い密度コントラスト (e.g. Elmegreen 2011) によって生じる活発な星形成の兆候と考えられている (e.g. Kainulainen et al. 2009)。一方、M83 の bar は arm に比べて星形成が活発ではない。その原因を探るため、ピーク温度や速度分散 (σ_V) の PDF も作成したところ、bar での σ_V PDF が I_{CO} PDF と同様に、tail を持つことがわかった。従って、この高い σ_V が bar での星形成を抑制していると考えられる。

一方、数値シミュレーションでは星形成によるフィードバックも PDF に影響を与えると示唆がある (Hopkins et al. 2012)。そこで我々は、超新星残骸や HII 領域、星団のカatalogを元に feedback area を定義し、PDF を non-feedback area と比較した。その結果、フィードバックによる I_{CO} PDF の変化は確認されなかった。従って、現在の分解能 40pc では、フィードバックが I_{CO} PDF に与える影響は小さく、bar と arm での分布の違いは説明でき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](#)

R12a Distribution of dense molecular gas and star formation activity in the central 1 kpc of the galaxy NGC 1808

Dragan Salak (Kwansei Gakuin Univ.), Yuto Tomiyasu, Naomasa Nakai, Nario Kuno (Tsukuba Univ.), Yusuke Miyamoto, & Hiroyuki Kaneko (Nobeyama Radio Observatory)

The central 1 kpc of the nearby (11 Mpc) starburst galaxy NGC 1808 was observed by Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in cycle 2. In addition to the previously presented images of CO (1-0) and CO (3-2), we report the detections of the following rotational lines: HCO⁺ (1-0), H¹³CO⁺ (1-0), HCO⁺ (4-3), HCN (1-0), H¹³CN (1-0), SiO (2-1), HOC⁺ (1-0), C₂H (1-0), CS (2-1), and HNCO (1-0), and present their line intensity ratios toward selected star-forming regions and the circumnuclear disk (CND; central 200 pc). The line intensity ratio of HCN (1-0) to HCO⁺ (1-0) is enhanced in the CND, with maximum values (~ 2) in a ring of 100 pc radius from the galactic center. We derived the star formation rate (SFR) and star formation efficiency (SFE) in the selected regions using the 3 mm continuum (free-free emission as SFR tracer), 0.9 mm continuum and CO (1-0) (gas mass tracers). The SFE is of the order of 10^{-8} yr^{-1} , implying a short depletion time consistent with the Kennicutt-Schmidt law in starburst galaxies (Kennicutt 1998). The line intensity ratios of CO and HCO⁺ were applied in a non-local-thermodynamic-equilibrium analysis to estimate the physical conditions (gas density and temperature) of molecular clouds in the star-forming regions (beam-averaged over 100 pc). The investigated massive ($\gtrsim 10^6 M_{\odot}$) clouds in the starburst exhibit high density ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$) and low temperature ($\sim 15 \text{ K}$), conditions similar to the cores of Galactic clouds.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13a Pc-scale ALMA observations of the circumnuclear molecular disk of Centaurus A

Daniel Espada, Rie E. Miura, Daisuke Iono (NAOJ), Satoki Matsushita (ASIAA), Frank Israel (Sterrewacht Leiden), Nadine Neumayer (MPIA), Sergio Martin (JAO), Christian Henkel (MPIfR), Susanne Aalto (Chalmers University), Juergen Ott (NRAO), Alison Peck (Gemini Observatory), A. C. Quillen (University of Rochester), Takuma Izumi, K. Kohno (The University of Tokyo)

We present the distribution and kinematics of the molecular gas in the circumnuclear disk (CND, 400×200 pc) of Centaurus A with resolutions of 5 pc (0.3 arcsec) using CO(3–2), HCO⁺(4–3), HCN(4–3), and CO(6–5) observations obtained with ALMA. Multiple filaments of 10–100 pc scale exist within the CND, which form a ring-like structure with an unprojected diameter of 170×110 pc. Inside the nuclear ring, there are two leading and straight filamentary structures with lengths of about 30–60 pc at $PA \approx 120^\circ$ on opposite sides of the AGN, with 180° rotational symmetry and steeper position-velocity diagrams, which are interpreted as nuclear shocks due to non-circular motions. Along the filaments, and unlike other nearby AGNs, several dense molecular clumps present low HCN/HCO⁺(4–3) ratios ($\lesssim 0.5$). The filaments abruptly end in the probed transitions at $r \simeq 20$ pc from the AGN, but near-IR H₂ maps show that they continue in an even warmer gas phase ($T \sim 1000$ K), winding up in the form of nuclear spirals, and forming an inner ring structure with another set of symmetric filaments along the N–S direction and within $r \simeq 10$ pc. The gas is governed primarily by non-circular motions, being the successive shock fronts at different scales where loss of angular momentum occurs, a mechanism which may feed efficiently powerful radio galaxies down to parsec scales.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14a 棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制2

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

渦巻銀河の腕部では、顕著なダストレーンが見られその部分に分子ガスが存在している。そして腕に沿って HII 領域が見られ活発に重い星が形成されていることがわかる。しかし、棒渦巻銀河の棒部では顕著なダストレーンが見られ星形成の母体となる分子ガスが豊富にあると思われるが、HII 領域は無く重い星の形成は見られない。何が棒部での星形成を抑制しているのか長年の謎となっている。最近の高空間分解シミュレーションによって、腕部では分子雲同士が衝突し、星形成が誘発され重い星が形成されるが、棒部では分子雲衝突の相対速度が大きく、重い星が形成されない可能性が指摘されている。このシナリオを検証するためには、棒部で星形成が見られず腕部では星形成が見られる棒渦巻銀河を対象に、腕部と棒部での分子雲の相対速度を明らかにすることが必要である。

2016 年秋季年会では、このような特徴を顕著に示すプロトタイプの棒渦巻銀河 NGC1300(距離 20Mpc) に対して、野辺山 45m で行った CO 観測の結果を報告した。その結果、棒部にも分子ガスが豊富に存在し、CO 輝線の速度幅は腕部より棒部の方が大きいことがわかった。この結果は銀河内でのガスの回転速度勾配も反映されているが、棒部での分子雲の相対速度が大きい可能性を示唆していると考えられる。

本講演では、新たに今年の2月に野辺山 45m で行った CO 輝線の観測結果を報告する。今回の観測では、NGC1300 の前回とは異なる領域、及び新たに棒渦巻銀河 NGC5383(距離 35Mpc) を対象とした。その結果、前回の観測も含めると NGC1300 では腕部から棒部にかけて速度幅が大きくなることがわかった。さらに NGC5383 についても、腕部より棒部の方が速度幅が大きいことがわかった。これらの結果は、銀河内の回転速度勾配を除いても、概ね腕部より棒部の方が速度分散が大きいと考えられ、上記のシナリオと矛盾しないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15c **Molecular Gas Distribution and Cloud Properties in Young Starburst in the Blue Compact Dwarf Galaxy NGC 5253**

Rie E. Miura, Daniel Espada, Koichiro Nakanishi(NAOJ), Hajime Sugai(IPMU), Hirota Akihiko (NAOJ)

Blue compact dwarf galaxies (BCD) are defined as faint (absolute blue magnitudes fainter than -18.5 mag) and compact (diameters less than 1 kpc), and often have starburst cores with high star formation rate. Since dwarf galaxies have in general low gas densities and low star formation efficiencies, how such starburst is generated is still unknown. To understand trigger of starburst in BCD, we have started to study molecular/dense molecular/ionized gas properties in BCD galaxies. The first case study is the nearby BCD galaxy NGC 5253 which is known to host young nuclear starburst in its center. We have reported the highest resolution and sensitivity observation with ALMA Band6 towards NGC 5253 in Miura et al. (2016 ASJ Spring). In this presentation, we will report that a total of 101 molecular clouds are identified from the ALMA CO(2-1) data using CPROPS algorithm, and they have a typical size of 4 pc and a velocity width of 2 km/s. We compare the properties of the identified clouds with those of other galaxies, and also discuss the global molecular gas distribution comparing with some numerical simulation results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R16b High angular resolution and high sensitivity millimeter-wave continuum imaging toward the NGC 253 starburst nucleus

中西康一郎, 松林和也 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大), 中井直正, 久野成夫 (筑波大), 河野孝太郎, 安藤亮, 菅井肇 (東京大)

Millimeter wave observation at around 3 mm (100 GHz) is the optimum means for detecting thermal free-free emission (Bremsstrahlung) from starburst galaxies, this is because contamination by supernova remnant synchrotron emission and interstellar dust thermal emission is lower than that in other wavelengths. Photo-ionized gas generated by young massive stars is the major source of the free-free emission, and thanks to little interstellar absorption in millimeter wavelength, it is expected to be a powerful tool to illuminate dusty starburst regions and measure unattenuated star-formation rate.

We obtained a new ALMA 3 mm wavelength data set of NGC 253, a prototypal nearby starburst galaxy. A high angular resolution ($0.''5$ or 9 pc) and high sensitivity ($< 100 \mu\text{Jy}$ per beam) continuum map dissolves the emission into more than several spatially compact sources. The compact sources have low frequency (cm wavelengths) counterparts, which are detected in the previous studies by using VLA and ATCA. We find the 3 mm continuum fluxes of the compact sources agree well with expectation from cm-wave fluxes and spectral indices. This fact shows that dividing the compact sources into two subgroups, HII regions and supernova remnants, by radio continuum spectra works effectively. Consequently, it enables us to measure star-formation rate robustly and to estimate ionized gas properties.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17b 相互作用銀河 NGC3110 の ALMA による分子ガスの観測的研究 その1

川名佑佳 (日本女子大), 斉藤俊貴, 川邊良平 (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), 奥村幸子 (日本女子大)

銀河同士が接近すると互いに潮汐力を及ぼし合い、形態が変化する。また、ガスが豊富な銀河の場合は、ガスが中心領域に供給され、爆発的星形成活動が誘発されると考えられている。NGC3110 は、距離が 75 Mpc の赤外線で見ると、ガスが豊富な相互作用銀河であり、中心領域のバーとそこから伸びた非対称のアームによって構成されている。非対称のアームは、NGC3110 の南西 $132''$ (見かけの距離 53 kpc) に存在する銀河 (MCG-01-26-013) の影響と考えられ、シミュレーションによってその構造が再現されている。中心領域では爆発的星形成の兆候もあり、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。この銀河の中心とアームを含む約 24 kpc の領域について、ALMA cycle2 で Band3 と 6 を用いて $^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(2-1)$ 等の輝線の高分解能 ($0.46''=184$ pc)、高感度観測を行った。それぞれの輝線の積分強度図を作成したところ、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ では、2つのアームと中心のバーだけではなく、銀河円盤領域に羊毛状に広がった成分があることがわかった。また、南西に伸びるアームは分子ガスでも非対称で、さらにガスが大きさ約 700 pc の 5,6 個の巨大分子雲集合体 (GMA) に分かれて珠数状に連なって分布していた。各輝線の積分強度 $S_{\text{CO}}\Delta\nu$ は、 $^{12}\text{CO}(1-0)$: 248.41 ± 2.21 , $^{12}\text{CO}(2-1)$: 590.53 ± 1.77 , $^{13}\text{CO}(1-0)$: 4.10 ± 0.45 , $^{13}\text{CO}(2-1)$: 31.46 ± 0.79 [Jy km s^{-1}] である。現在、NGC3110 の分子ガスの構造や物理状態を知るために、それぞれのデータの uv range を合わせて $^{12}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(2-1)/^{13}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)/^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(2-1)$ 比の map を作成中である。本講演では、NGC3110 の観測と解析結果を紹介し、比の検討を含めてより詳細な構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18b NGC147 と NGC185 の質量流出を考慮したビリアル平衡モデル

佐々木秀幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

アンドロメダ銀河の伴銀河である NGC147 と NGC185 は、連銀河となっていることが指摘されている。この2つの銀河は質量的にもほぼ等しく、親銀河からもほぼ等距離の位置にある。最近の赤外線による観測の結果、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いる。さらには、NGC185 ではつい最近まで星形成が続いていたが、NGC147 では最後の星形成は30億年も前であることがわかった。この差異が生じた原因を明らかにするには、親銀河からの動圧の要因及び星形成過程の違いなどの要因を理解する必要がある。

まず、Hirashita et al(1997) の銀河風モデルを用いて動圧の影響を計算したところ、2つの銀河は十分に親銀河から離れており、動圧はほぼ無視できることがわかった。次に、星形成が始まる前の NGC147 と NGC185 の状態をビリアル平衡から求めると、半径はほぼ同じだが、質量及び密度は NGC185 の方が大きくなることがわかった。また、NGC147 では星形成で生成した質量と現在の質量とを比較すると開きがあり、NGC147 では星間物質が残っているべき結果となった。

本研究では、さらに NGC147 のダスト及び星間物質の流出の理由を議論する予定である。NGC147 は NGC185 とは違い、潮汐力によるものと思われるストリームが確認されている。NGC147 と NGC185 及び CassII は三重連銀河となっており、親銀河ではなく三重連銀河による潮汐力によって NGC147 が影響を受けたとする仮説を支持する。さらに、初期状態の質量密度差による潮汐力との関係や、暗黒物質の影響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](#)

R19c M31 からの潮汐力で評価する連銀河 NGC147+NGC185 への制限

釜谷秀幸, 佐々木秀幸 (防衛大学校)

矮小銀河の研究は、銀河形成の素過程を詳らかにする可能性を持つため、活発に研究が続けられている。加えて、その多様性から、銀河物理学に特有の極端な現象を把握できる可能性があるため、事例研究もとても興味深い。さて、銀河形成期に矮小銀河が連銀河を成す場合がある。しかし、連星に比べて力学的時間尺度が極端に長いため、その素性は数値シミュレーションを用いて一般論が研究されている。逆に、観測量をもとにした具体的な事例研究が不足している。

ところで、アンドロメダ銀河周りの矮小楕円体銀河における詳細な赤外線観測が積極的に行われている。とても興味深いことに、NGC147 では有意なダストは検出されず、NGC185 ではダストが検出されている。この二つの矮小楕円体銀河は、親銀河からの距離も大きく変わらず、連銀河を成していると期待されている。つまり、この二つの銀河への環境効果は同程度である可能性がある。それにも拘わらず、先の赤外線観測をもとにすると、NGC147 の最後の星形成は 30 億年前である一方、NGC185 では最近までそれは継続されていた。

このように、NGC147 と NGC185 を連銀河とする仮説はとても興味深い。そこで、van den Bergh(1998) などによる連銀河としてのパラメータを採用し、M31 からの潮汐力を見積もった。2つの銀河の距離は約 10kpc、質量を簡単のため 8 億倍の太陽質量とした。M31 の質量を 1.5×10^{12} 太陽質量と見積もる。このことにより、例えば、連銀河までの距離を約 100kpc と見積もることで、矮小銀河間距離が潮汐半径より大きくなる可能性が見出された。講演では、連銀河を成す矮小銀河の暗黒物質量に関して論じる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20a M33におけるHIガスの運動と巨大星団NGC 604の形成

立原研悟, 柘植紀節, 佐野栄俊, 福井康雄 (名古屋大学)

大質量星を数多く含む巨大星団の形成は、銀河の進化を理解する上で重要である。特に数100個のO型星を含み、質量 $\sim 10^5 M_{\odot}$ に及ぶ若い大質量星団は、現在の銀河系内では見られず、その形成機構は未だ十分解明されているとは言えない。大マゼラン雲中のタランチュラ星雲(30 Dor)の形成に対しては、大小マゼラン雲の潮汐相互作用とその結果生じる雲衝突が、巨大星団RMC 136を含む活発な大質量星形成を引き起こしたとのモデルが、HIデータの詳細な解析から示された(Fukui et al. 2017 in press)。M31-M33間においても、1-3 Gyrの過去に近接遭遇を起こしたことが示唆されており(Putman et al. 2009)、星間物質の擾乱を引き起こした可能性が高い。またM33は局所銀河群の中でRMC 136に匹敵する巨大星団NGC 604を擁する。

Gratier et al. (2010)で発表されたVery Large Array (VLA)によるHIアーカイブデータをさらに解析し、巨大星団NGC 604周囲のガスの速度構造を調べたところ、HI領域の周囲に特徴的な2つの速度成分が存在していることがわかった。これらを2成分ガウシアンで分離したところ、NGC 604の周囲およそ500 pcに及ぶ範囲に分布していることがわかった。質量 $\sim 10^6 M_{\odot}$ 程度の原子ガス雲が、射影された速度差およそ 15 km s^{-1} 程度で銀河円盤に衝突し、NGC 604に見られる活発な巨大星団形成を誘発した可能性が高い。この衝突した原子ガス雲の起源として、ハローからの物質降着、伴銀河の落下に加え、M31との潮汐相互作用の効果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R21c 近傍の HI-deficient galaxies の観測的性質：統計的研究

隈井泰樹 (熊本学園大学)

HI-deficient galaxy (HI-DG) は、同じ大きさ (明るさ) で同じハッブルタイプの銀河と比較して、有している中性水素ガスの量が顕著に少ないことで定義される。これらは銀河団や銀河群で出現頻度が高いことから、銀河間ガスによる星間ガスの剥ぎ取りとの関連で多く研究されてきたが、個々の銀河として見たときの共通した性質については未だに良く分かっていない。今回、我々は、HI-DG の銀河としての特徴を探るため、様々な文献から近傍の HI-DG の性質に関する観測データを収集・解析して統計的な研究を行い、以下のような結果を得た。

(1) 中性水素ガスの欠乏度 (HI-deficiency; HID) は、銀河全体の光度や星質量よりもバルジの絶対的もしくは相対的な光度や星質量に依存し、それらと緩やかな正の相関を持つ。また、銀河の回転速度への顕著な依存性は見られないが、中心部の星の速度分散とは緩やかな正の相関を示す。

(2) HID は、親銀河の局所銀河密度と緩やかな正の相関を示すが、これは、上記 (1) の相関とは独立である。

(3) 各銀河の中性水素質量の質量割合 μ と金属量 Z から "effective yield" $y_{eff} = Z/\ln(1/\mu)$ を計算すると、 y_{eff} は HID と顕著な負の相関を示す。また、HID の大きな銀河は、銀河の星質量と平均金属量の経験的な関係を用いて各銀河の星質量から算定される予測金属量と比較して、金属量超過がいずれも大きい。

(4) 分子ガスの欠乏度は、バルジの絶対的もしくは相対的な光度や星質量の小さな銀河では小さい。また、中心部の星の速度分散が小さな銀河では小さい。局所銀河密度との顕著な相関は見られないが、銀河密度が大きな所には分子ガスの欠乏度が非常に小さな銀河は無い。

本講演では、より詳しい結果も加えて報告すると共に、これらの関係の起源についての議論も行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a シミュレーションで探る銀河系における短寿命放射性元素の空間分布

藤本裕輔, Mark R. Krumholz (オーストラリア国立大学)

^{26}Al や ^{60}Fe などの短寿命放射性元素の銀河面内における空間分布を理解することは、銀河系内における太陽系形成環境を理解する重要な一つの鍵である。隕石などの成分分析によって、太陽系が生まれた当時の星雲にはかなりの量の ^{26}Al や ^{60}Fe などの放射性元素が存在したことがわかっている。これら短寿命の放射性元素は、原始星周円盤内において電離光子の重要な放射源となり、その進化に大きな影響を与える。しかしながら、それら放射性元素の起源はよくわかっていない。例えば、 ^{60}Fe はそのほとんどが超新星爆発によって生み出されている。原始太陽系円盤がそれら短寿命(100万年程度)の放射性元素を得るためには、超新星爆発の近くにいる必要がある。しかし、近すぎると強力な超新星爆発のエネルギーによって太陽系の母分子雲は吹き飛ばされてしまう。太陽系形成環境がいかにして短寿命放射性元素を獲得したのか。これを理解するには、銀河全体のガス進化を考慮した分子雲形成と超新星爆発による破壊の一連の過程と、それによる短寿命放射性元素の分布を調べる必要がある。

我々は銀河系の化学力学進化計算を重力流体計算コード Enzo を用いて高分解能(dx=数 pc)で行い、短寿命放射性元素 ^{26}Al と ^{60}Fe の銀河スケールでの化学輸送を調べた。中心星からの電離光子によって生じる HII 領域形成や、大質量星が起こす超新星爆発といったフィードバックと、それらによって星間空間に放出される短寿命放射性元素。我々は Enzo コードに stellar population synthesis コードの SLUG を組み合わせることで、シミュレーション内で形成される星粒子にそれぞれ確率的に変化する固有の星分布を持たせ、上記全てのフィードバック過程を従来の手法よりも現実的に首尾一貫させて取り込んでいる。この計算により、我々は銀河系における個々の分子雲内部の短寿命放射性元素の空間分布を明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R23a 金属欠乏星の亜鉛組成から探る元素の混合効率

平居悠 (東京大学), 斎藤貴之 (東京工業大学), 石丸友里 (国際基督教大学), 和南城伸也 (上智大学)

揮発性元素の亜鉛 (Zn) はダストに取り込まれない。そのため、金属欠乏星の Zn の組成には、星形成当時のガスの組成が直接反映され、元素の混合過程のよいトレーサーとなりうる。銀河系及び矮小銀河の金属欠乏星の $[Zn/Fe]$ 比は、金属量が低くなるほど高くなる傾向があることが知られている。最近の元素合成計算により、電子捕獲型超新星爆発 (ECSN) では、他の超新星爆発と比べて多くの Zn が放出されることが明らかになった。しかし、ECSN で放出された Zn の化学進化と元素の混合効率の関係は不明である。そこで本研究では、Zn の化学進化と元素の混合効率の関係を明らかにすることを目的とし、元素の混合過程を考慮した銀河の化学力学進化計算を行った。計算には、 N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics コード、ASURA を用いた。典型的な局所銀河群の矮小銀河の観測値を再現可能な、ハロー質量 $7 \times 10^8 M_{\odot}$ の矮小銀河モデルで計算を行った。金属量依存の ECSN の親星質量は恒星進化計算 (Doherty et al. 2015) から取得した。その結果、元素の混合効率が低いモデルでは、 $[Zn/Fe]$ が低金属量星ほど高くなる、観測値と同様な傾向が得られた。銀河形成初期では、金属量の空間分布が不均一になっているため、個々の ECSN の影響を反映しやすい。一回の ECSN で $10^{-3} M_{\odot}$ の Zn が放出される場合、 $[Fe/H] = -3$ での $[Zn/Fe]$ の観測値 ($[Zn/Fe] \simeq 0.7$) を再現するためには、ECSN の放出物が次の星形成までに $10^5 M_{\odot}$ のガスと混ざる必要がある。一方、高い混合効率を仮定した場合、高い $[Zn/Fe]$ 組成を持つ星が生まれにくくなった。これは、ECSN から放出された元素が星形成の時間スケールより早い時間スケールで、 $10^5 M_{\odot}$ 以上の質量のガスと混合していることを示唆している。本研究により、これまで制限のついていなかった、元素の混合効率の上限を制限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](#)

R24a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた Draco dSph の構造解析

佐々木花, 千葉柁司, 田中幹人 (東北大学), 小宮山裕 (国立天文台), Judy Cohen, Evan Kirby (Caltech), 岡本桜子 (Shanghai), 石垣美歩 (Kavli IPMU), 林航平 (KIAA-PKU/Kavli IPMU), Rosie Wyse (JHU)

現在の宇宙論モデルでは、矮小銀河が building block として合体集積を繰り返すことでより大きな銀河に進化すると考えられている。従って、矮小銀河について調べることは銀河形成について理解を深めるために重要なことである。天の川銀河の伴銀河の1つである Draco 矮小楕円体銀河 (dSph) は今まで多くの研究者によって詳細に調べられてきた。しかし先行研究に用いられたデータは Draco dSph の中心部や比較的明るい星に限られており、特に暗い星までを考慮した研究は成されていなかった。そこで我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いて Draco dSph を観測し、広く深い観測による Draco dSph の構造解析を行った。

観測領域は約 $2\text{deg} \times 1.5\text{deg}$ で、Draco dSph を十分外側までカバーしている。completeness は $g \sim 26$ で 80%、 $g \sim 27$ で 50% 程度と先行研究を凌駕する深さが得られた。Draco dSph の構造パラメータ解析から、先行研究と同様の smooth な radial profile をしている事がわかった。しかし一方で、このメンバー星は先行研究で得られていた潮汐半径 ($\sim 40\text{arcmin}$) を大きく越える領域に広がって分布している事が明らかになった。これは Draco dSph の形成進化だけでなくダークハロー構造の解明にも大きく影響する重要な結果である。本講演ではこれらを踏まえた Draco dSph の研究結果についてより詳細に発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R25a X線光度の異なる楕円銀河周辺における矮小銀河の分布

戸塚都 (関西学院大学), 川端弘治, 深沢泰司 (広島大学), 西浦慎悟 (東京学芸大学), 平賀純子 (関西学院大学)

矮小銀河は、銀河団領域において存在比が高く、重力ポテンシャルの指標となることが示唆されてきた。これまでの矮小銀河の観測は、銀河団とフィールド、銀河団内部の場所による違いなどで比較されてきた。しかし、矮小銀河観測から階層的な形成や進化を議論する上では、さらに局所的な重力構造での比較を行うことが有効である。そこで我々は、楕円銀河の周辺について矮小銀河の観測を行った。サンプルには、可視光光度が同程度ながら、X線光度が大きく異なる2つの楕円銀河をピックアップし、それらの周辺に分布する矮小銀河を調べた。楕円銀河は、X線で輝く高温の星間ガスで満たされており、そのX線光度は可視光度とは無相関にばらつくことが知られている。このばらつきは、楕円銀河の重力構造の違いが起因するものと示唆されている。よって、これらの楕円銀河周辺を観測することで、局所的な重力構造の違いによる矮小銀河の分布を比較することができる。

観測は、東京大学木曽観測所の有効径1.05mシュミット望遠鏡と2kCCDを用いた。X線光度が高い楕円銀河NGC 4636及び、X線光度が低い楕円銀河NGC3923を中心とする100分角×100分角の領域について、V及びIバンドでの撮像観測を行い、矮小楕円銀河をモデルとした可変サイズのフィルター関数による畳み込み法を用い矮小銀河を検出した。その結果、 $M_V \sim -16\text{mag}$ より明るい矮小楕円銀河について、光度関数、個数分布を十分な信頼度で得ることが出来た。カラーによる矮小銀河の分類を行ってみたところ、X線で明るい楕円銀河と暗いものでは、周辺の矮小銀河の分布に一部有意な差が示唆された。本講演では、今回の観測結果とともに矮小銀河の分布と形態から考察される銀河形成や楕円銀河の重力構造を比較し議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R26c 球状星団の Fokker-Planck モデルにおけるクーロン対数の扱いについての再考

高橋広治 (埼玉工業大学)

球状星団は恒星間の重力的衝突の効果による進化を経ているが、そのような進化を扱う理論モデルの一つに Fokker-Planck モデルがある。このモデルでは、重力的衝突の効果は多数の小角度 2 体衝突の効果を足しあげたものとして扱われ、その効果を表す拡散係数にはクーロン対数 $\ln(\gamma N)$ と呼ばれる係数が現れる。ここで、 N は星団に含まれる星の数であり、 γ は定数である。ただし、 γ は定数とは言っても、本質的に値が一意に定まるようなものではなく、理論的にはおおよそその値を見積もることができるのみである。

一方、Fokker-Planck モデルにおいては、星団の進化の速さがクーロン対数の大きさに依存するため、現実的なシミュレーションを行うためには、ある程度精確に γ の実効的な値を決める必要がある。これは、通常、Fokker-Planck モデルと N 体モデルのシミュレーションの結果を比較することによって行われる。発表者は、銀河潮汐場中の球状星団の進化に関して、そのような比較を行い、単一質量成分恒星系でも多質量成分恒星系でも、 $\gamma = 0.11$ とすると両モデルの間に良い一致が見られることを示した (高橋、2015 年春季年会)。しかし、その一致の程度は完ぺきというわけではなく、ある種の系統的な違いが存在していた。

そこで、今回の研究では、星団の星の数 N が変化することによるクーロン対数の時間変化の効果を検証した。現実の球状星団のように N が十分大きい場合は、 N の変化によるクーロン対数の変化は小さいので、Fokker-Planck シミュレーションでは、通常、クーロン対数の時間変化は無視されている。しかし、 N がそれほど大きくない N 体シミュレーションとの比較においては、その時間変化は無視できない。本発表では、クーロン対数の時間変化を考慮した場合 Fokker-Planck モデルの計算結果がどのように変化するか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R27a 銀河面からの軟X線背景放射(4)

中野慎也, 三石郁之, 石原雅士, 田原譲(名古屋大学), 松本浩典(大阪大学)

X線天文衛星 ROSAT による全天サーベイの結果、点源や局所的な構造を除けば軟X線 (0.44-1 keV) で見る宇宙は一様に光っている事が観測的に示された (Snowden et al. 1997)。銀河系外由来の成分は銀河面上において濃い中性物質により吸収されてしまうため、観測された一様性を説明するには銀河面特有の未知の放射の存在が必要となる。これまで、軟X線領域にて高い感度を誇るすざく衛星を用いてこの未知の成分を調べて、0.9 keV 付近をピークとする bump 状の超過成分を持つ領域を検出した (三石他 2013 年秋季年会 等)。bump 成分の起源は予想される空間密度や観測された fluxなどを考慮し、星が候補として挙げられている (Masui et al. 2009)。

本研究では、広い視野を持ち角度分解能がすざくより優れ、点源解析が可能な XMM-Newton を使用した。すざく衛星で bump 成分が検出された領域には、3XMM catalog に載っている点源が 63 個存在する。検出限界は 1×10^{-15} erg/s/cm² である。これらの点源のスペクトルを全て足し合わせて解析したところ、すざく衛星で観測された bump 成分に対する点源の寄与は 20 % である事が分かった。hardness ratio ($HR=(H-S)/(H+S)$ ($H=1.0-4.5$ keV のカウント数, $S=0.5-1.0$ keV のカウント数)) でこれらの点源を分類すると、10 個は $HR<0$ のソフト点源、53 個は $HR>0$ のハード点源である。ソフトとハード点源をそれぞれ足し合わせ解析したところ、ソフト点源は熱的成分のみ、ハード点源は非熱的成分のみで表せられ、ソフト点源の熱的成分が点源 63 個を足し合わせた時の熱的成分の 75% を占めた。これらの点源と 2MASS catalog を比較すると、ソフト天体に 9 個、ハード天体に 11 個の赤外線対応天体が存在した。ここで、位置が 6 秒角以内で一致するものを対応天体とした。これらの結果は点源からの熱的成分の多くが星起源である事を示唆した。本講演では、点源解析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](#)

R28a 銀河系の巨大ブラックホールを周回する星 S2 の視線速度モニター観測

西山正吾 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 高橋真聡 (愛知教育大), 孝森洋介 (和歌山高専), 濱野哲史 (京都産業大), 五林遥 (宮城教育大), 高橋美月 (東北大), 大宮正士 (国立天文台), 長田哲也, 長友竣 (京都大), 田村元秀 (東京大)

銀河系の中心にある巨大ブラックホール (SMBH) 候補 Sgr A* を周回する星 S2 が、2018 年、最近点を通過する。20 年にわたるアストロメトリ観測により、この星の軌道はよく理解されている (Boehle et al. 2016, Gillessen et al. 2017)。しかしながら現段階では、ケプラー軌道からのズレを検出できていない。これまでの観測精度では、一般相対論とニュートン近似との差を区別できないからである。SMBH に最接近し、強い重力場を通過する 2018 年が、一般相対論効果を検出する絶好の機会である。

私たちは SMBH による一般相対論効果の検出を目指して、S2 の高精度視線速度モニター観測を続けている。すばる望遠鏡と近赤外線分光撮像装置 IRCS、補償光学装置 AO188 とレーザーガイド星システムを用いて、2014 年から毎年観測を行ってきた。今回は、2014 年から 2016 年までの観測結果を報告する。Keck 望遠鏡や VLT によるこれまでの観測では、平均で 30 km/s 程度の視線速度測定精度であった。私たちの観測では、少なくとも 20 km/s 程度の測定精度が達成できることを確認できた。

今後の測定目標精度は、約 10 km/s である。最接近時、一般相対論とニュートン近似とで予想される視線速度の違いは、100 km/s 以上になる。10 km/s の精度が達成できれば、一般相対論効果を 10σ 以上の信頼度で検出することができる。

これらに加え、S2 軌道の計算結果や今後の観測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](#)

R29a VVV データを使用したレッドクランプ法による銀河系中心の減光則決定

長友竣, 長田哲也 (京都大学), 西山正吾 (宮城教育大学)

減光の波長依存性についての正確な理解は距離決定の際の減光補正の正確さにつながるため、星の3次元分布の研究に欠かせない。近年、減光が強い領域でも観測が可能な近赤外領域において大規模なサーベイ (Vista Variable in the Vía Láctea (VVV) サーベイ) が行われ、銀河系中心やバルジの星分布に関してより詳細な議論ができるデータが公開されてきている。しかし VVV を使って銀河系中心の広い領域で求めた減光則の研究はなく、2MASS データで求めた銀河系中心の減光則 (Nishiyama et al. 2009; 以下 N09) を変換したものが用いられている。N09 では赤化量のトレーサーとして赤色巨星枝の星を、減光量のトレーサーとしてレッドクランプ星を使っていた。一方、IRSF 望遠鏡を用いて同じく銀河系中心の減光則を求めた Nishiyama et al. (2006; 以下 N06) では、赤化量も減光量もレッドクランプ星を使用して求めた。赤色巨星枝の星よりもレッドクランプ星の方が赤化量を正確に求めることができる。よって本研究では、N06 に則って、VVV のアーカイブデータからレッドクランプ星を使い、VVV の測光システムにおける近赤外線領域の減光則を求めた。銀河系中心 $\sim 3^\circ \times 2^\circ$ の VVV DR4 の J, H, K_S バンドデータを $4' \times 4'$ の小領域に分割し、色-等級図から各小領域のレッドクランプ星の平均等級、色指数を得て減光則を求めた。結果、 $A_{K_S}/E(H - K_S) = 1.2$ 、 $A_{K_S}/E(J - K_S) = 0.48$ 、 $A_H/E(J - H) = 1.5$ という値を得た。前者2つに関して N06 の結果より小さな値となったのは単に測光システムの違いが原因と考えられ、N06 と同様に長波長に向かって減光が急峻に減少する傾向が確認された。今回の減光則を使って Dékány et al. (2015) が求めた銀河系中心方向のセファイド分布を再計算すると、銀河系中心近くのセファイドは少なくなり、Matsunaga et al. (2016) の結果と整合する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R30a Gaia TGAS によるセフィイドの特異速度とペルセウス腕の動力学的性質

馬場淳一 (国立天文台), 河田大介 (University College London), 松永典之 (東京大学), Robert J. J. Grand (Heidelberg Institute for Theoretical Studies), Jason A. S. Hunt (University of Toronto)

円盤銀河の表面に存在する (恒星系) 渦状腕の起源として、特に回転運動の振る舞いと寿命の観点から、大きく二つの説が提唱されている (Dobbs & Baba 2014)。一つが、渦状腕は数銀河回転周期 ($> \sim 1$ Gyr) に渡り剛体回転的に伝播する波動現象とする「準定常密度波モデル」 (Lin & Shu 1964; Bertin & Lin 1996) である。もう一つは、渦状腕は差動回転に伴い巻き込まれながら銀河回転周期程度 (~ 100 Myr) で増幅・合体・分裂を繰り返す非定常構造とする「動的渦状腕モデル」 (または、共回転渦状腕モデル; Grand et al. 2012; Baba et al. 2013; Kawata et al. 2014; Baba 2015) である。両者のモデルで、渦状腕周辺での星やガスの速度構造が異なることが期待されている (Kawata et al. 2014; Hunt et al. 2015; Baba et al. 2015, 2016)。

そこで我々は、天の川銀河の渦状腕の動力学的性質を明らかにするため、特にペルセウス腕領域に着目してセフィイド型変光星の特異速度分布を調べた。視線速度、分光視差、重元素量が観測されている太陽周辺の約 4 kpc に分布する約 70 個のセフィイドを対象とし、*Gaia* 衛星 (欧州宇宙機関) の初期公開データ (*Gaia* DR1) と *Tycho-2* カタログに基づく固有運動データ (*Tycho-Gaia* Astrometric Solution; TGAS) を利用した。その結果、銀経 90 - 135 度では slow rotation + outward 運動、銀経 135 - 200 度では fast rotation + inward 運動といった系統的な特異運動を発見した。後者の傾向は Hunt et al. (2017) の銀経 180 度方向の TGAS 解析とも整合的である。本講演では、観測された特異速度分布と、共回転半径をいくつか変えた密度波モデルや様々な進化段階の動的渦状腕モデル (Kawata et al. 2014; Baba 2015) とを比較し、ペルセウス腕の動力学的性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R31a OH/IR 星を対象とした VLBI 位置天文に基づく銀河動力学の観測的研究

中川亜紀治, 大山まど薫, 和田桂一 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 関戸衛, 岳藤一宏, 川合栄治 (NICT), 馬場淳一, 小山友明, 寺家孝明, 永山匠 (NAOJ), 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学)

OH/IR 星は質量が $1 - 8M_{\odot}$ の星がその進化の末期に迎える質量放出率の大きな時期にあたる星である。これらの星は、時に周期 1000 日を超える長い変光を示すが、Feast(2008) によると周期 1000 日の星は質量が $4M_{\odot}$ 程度と考えられ、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 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。そこでこうした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动力学モデルとの比較を行うことを検討している。

我々は VERA による VLBI 位置天文観測を通して Mira 型変光星の多角的な観測的研究を進めており、これまでに 10 を超える星の年周視差を計測した (Nakagawa et al. 2016)。新たに長周期の OH/IR 星を対象とした VLBI 位置天文観測を開始するために、VERA 入来局 20m 鏡と鹿島 34m 鏡を用いて OH, H_2O , SiO の 3 種類のレーザーの探査を進めており、多くの天体で SiO レーザーの検出が確認された。またこのうち SiO レーザー探査の結果を踏まえて 2017 年 3 月に VERA による広帯域記録システムを利用した 43GHz フリンジチェック観測 (短時間の VLBI 観測による検出確認) を 4 天体で実施した。その結果、変光周期 1535 日の OH/IR 星 NSV25875 と、そこから離角 1.57° に位置する連続波源 J2231+5922 のペアで SiO レーザーとシンクロトロン放射がそれぞれ高い SN 比で検出され、年周視差計測のための位置天文 VLBI が実施可能であることが確かめられた。本研究の観測対象には変光周期が明らかでない天体も多く、中間赤外線によるモニター観測の検討も始めている。講演では 3 月の VLBI 観測や単一鏡観測による探査の結果を中心に、現在の研究の状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R32a バー効果を考慮した銀河ガス円盤の観測的可視化

町田真美 (九大)、赤堀卓也、中西裕之 (鹿児島大)、中村賢仁 (九産大)

天の川銀河を投影した全天の回転量度分布は、大局的には銀河中心に対して点対称な分布をする事が知られている。この構造は、銀河の回転方向に沿った磁場分布が銀河面に対して反対称に分布する事で傾向を説明する事ができる。しかし、WMAP や Planck の偏波角分布の解析から、銀径に対して左右非対称な分布をしている事が示されている。天の川銀河は中心近傍の CO ガスの経度速度図や恒星の運動から、長軸が 3kpc 程度のバー構造を持つ事が知られており、この偏波角分布の歪みは、中心のバー構造の影響である事が考えられる。町田ら (2013) は、軸対称ポテンシャルを仮定した銀河ガス円盤の大局的 3 次元磁気流体数値計算を行い、観測される磁場強度などはガス円盤内部で生じる磁気不安定性により、数十億年安定に維持できる事を示した。更に、数値計算によって得られた物理量分布を用いて、Faraday 深度や連続波の電波強度などを求めたところ、星形成率の低い渦状銀河の観測は、良く再現する事を示した (町田ら 2017 投稿中)。しかし、同じ数値計算を用いて天の川銀河であると仮定して Faraday 深度分布などを求めたところ、大局的には Faraday 深度分布の観測を再現するが、偏波角の分布は一致しない事が判った。

そこで我々は、銀河のバルジ領域のバーポテンシャルの効果を取り入れた数値計算を行い、バー効果によって明瞭な渦状構造が形成されやすい事、質量降着率が上昇する事などを示した (2016 年秋季年会)。本研究では、天の川銀河のバーポテンシャルの効果を検討した数値計算結果を元に天の川銀河の観測的可視化を行い、Faraday 深度分布、偏波角分布などを調べた。その結果、バーポテンシャルによるガス円盤の軌道の歪みによって形成される渦状腕に沿った方位角方向磁場分布が卓越する事で、偏波角の偏りが生まれる事を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R33a スパースモデリングを用いた銀河磁場解析

宮下恭光、出口真輔、秋山一徳、赤堀卓也、高橋慶太郎

銀河磁場は銀河のダイナミクスや進化の過程と深く結びついているため、磁場の進化や起源を明らかにすることは、銀河の形成メカニズムや進化の理解に関して非常に重要である。そのためには、まず観測量から宇宙磁場の情報を正確に引き出す必要があり、我々はファラデートモグラフィと呼ばれる手法を用いて解析を行っている。この手法は、観測量である偏波スペクトルから視線上の偏波強度分布を表すファラデースペクトルを構成する手法であり、この方法により、磁場強度を推定できるだけでなく、従来の方法では得ることのできなかった視線上の偏波源や磁場の分布情報も得ることができると期待されている。そして、それらの情報は全てファラデースペクトルに何らかの形で格納されているため、我々はまず、観測量から正確にファラデースペクトルを構築することを目的としている。

ファラデースペクトルは一般的に偏波スペクトルをフーリエ逆変換することによって得ることができる。しかし、観測できる波長帯域が有限のため、我々は完全な逆変換を行うことができず、得られるファラデースペクトルは不完全なものとなる。より精度よくファラデースペクトルを構築する一つの手法として、スパースモデリングを用いた解析の有効性が期待されている。これは、ファラデースペクトルのスパース性を仮定し、観測数が未知数よりも少ない劣決定系の連立方程式の解を高確率で再現できる手法である。本研究では、スパースモデリングをファラデースペクトル推定に応用し、デルタ関数やガウシアンなどのシンプルなモデルを仮定してファラデースペクトル推定のシミュレーションを行った。また、これまで用いられてきた RM CLEAN 法との定量的な比較を行い、ファラデースペクトル推定における有効性を吟味した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R34a Tidally driven features in galactic interactions

Alex Pettitt (Hokkaido University), Elizabeth Tasker (JAXA), James Wadsley (McMaster University), Clare Dobbs (University of Exeter), Ben Keller (McMaster University) and Sam Benincasa (McMaster University)

Disc galaxies seen in the night sky show a wide variety of different arm and bar features. Many galaxies are believed to be influenced by passages of neighbouring galaxies, dwarfs and dark matter subhalos, which impose a gravitational tidal force on the galaxy. I present ongoing work into the impact of such interactions on the structure of galaxies using numerical simulations of the stars and gas in numerous different galaxy models. Properties investigated are the lifetime and shape of spiral arms, how bars are driven or subdued, and how the gas in the galaxy is affected by such features. We find spirals can be driven easily in interactions, with varying shapes and longevities. Bar structures have a less uniform response, with some interactions driving or delaying bar formation in a given galaxy. Tidal spirals show clear spatial offsets between star formation regions and the spiral arm potential well, with star formation rates differing between each arm. Such features can act as observational diagnostics of the origin of spiral structure in observed galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R35a HSCによる、Seyfert 銀河 NGC1068 周囲の minor merger remnants の発見

谷口義明 (放送大学), 八木雅文, 田中壱 (国立天文台)

NGC 1068 は近傍宇宙にある、最も有名な Type 2 Seyfert 銀河である。メジャー・マージャーが起源であると考えられるクエーサーに対して、より低光度な活動銀河核である Seyfert 銀河のトリガー機構は、まだ諸説ある状況が続いている。それらの中で、SMBH (銀河中心核) を有する衛星銀河の合体 (マイナー・マージャー) を通じた活動性の発現というメカニズムが提案されている。だが、その痕跡はメジャー・マージャーに比べて残りにくいいため、なかなか観測的な検証ができずにいた。NGC1068 についても、その外見はリングを伴った非常に美しい渦巻銀河で、これまでに過去の力学的擾乱を直接示唆する痕跡は見つかっていない。

我々は NGC1068 に対して、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam を用い、これまでにない深さでの可視光撮像データを得た。同時に、SMOKA アーカイブから公開済みの Suprime-Cam の過去のデータも取得して、このセイファート銀河の過去に起こった出来事の痕跡の検出を試みた。以下に結果をまとめる。

まず、銀河本体の周囲に、これまで観測報告の無い、きわめて淡い 3 つの Dwarf 状天体を発見した。これらは中心表面輝度が 26.5-28mag 程度、有効半径 r_e が 1.5kpc 以上で、いわゆる Ultra Diffuse Galaxies (UDGs) に対応する。これまでの UDGs は銀河団や銀河群に報告があり、孤立銀河での検出は珍しい。また、この UDGs の 2 つについては、NGC1068 中心に対して反対の位置にあり、かつアーチ状の構造が示唆されることから、本体をとり囲むループ (ストリーム) 構造の一部である可能性がある。銀河本体についても、表面輝度 26 等レベルの最外縁部のコントラ中心が、有意に銀河中心よりも南側にシフトしている事が今回新たに見出された。これらの結果は NGC1068 が数 10 億年前にマイナー・マージャーを経験したことを示唆する観測的証拠となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R36a Mid-infrared observations of mergers: NGC2782 and NGC7727

Takashi Onaka, Tomohiko Nakamura*, Itsuki Sakon, Ryou Ohsawa (University of Tokyo, *Recruit Communications), Ronin Wu (Observatoire de Paris), and Hidehiro Kaneda (Nagoya University)

Lifecycle of dust grains, where dust grains are formed and how they are processed and destroyed, is important for the understanding of star-formation and evolution of galaxies. Study of the emission features in the mid-infrared (UIR or PAH bands) in very harsh conditions is of particular interest since the carriers of the emission are thought to be most vulnerable among the dust populations. Here we report the results of near- to mid-infrared (3–24 μm) observations with the Infrared Camera (IRC) on board *AKARI* of two mergers, NGC2782 (Arp 215) and NGC7727 (Arp 222). NGC2782 is a 200–300 Myr old minor merger with long HI tidal tails both in the east and west directions. We have detected extended emission at 7 and 11 μm , which is a good tracer for the UIR bands, in the east side of the galaxy. It shows structures very similar to those seen in the HI map. The star-formation rate estimated from the 7 μm image lies between those estimated from H α and [CII] (Knierman et al. 2013). NG7727 is a merger of an age of 1.3 Gyr old. The IRC observations also clearly reveal the presence of extended emission at 7–15 μm in the northern tail, which has not been seen at optical wavelengths. Comparison of the spectral energy distribution with dust models suggests paucity of very small grains (VSGs) in both extended emissions, suggesting that the band carriers could have been formed from fragmentation of VSGs. Mid-infrared observations of both galaxies suggest that the UIR band carriers can survive or are formed in merging events, and can be a good star-formation tracer even in such environments.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R37a 銀河の多成分力学平衡分布生成コード MAGI の開発

三木 洋平, 梅村 雅之 (筑波大学)

銀河どうしの衝突・合体や銀河円盤中の渦状腕の形成などの銀河の力学進化過程を詳細に調べるために、 N 体シミュレーションを用いた研究が精力的に進められている。こうした計算を行うためには適切な初期条件を生成する必要がある。しかしながら、一般に銀河はバルジ・ハロー・円盤からなる多成分系であり、これを力学平衡な粒子分布として表現することは容易ではなく、現在も初期条件の生成方法に関する研究が続けられている。特に、多くの円盤銀河は厚い円盤と薄い円盤の 2 成分の円盤成分を持つことが知られている (Dalcanton & Bernstein 2002; Yoachim & Dalcanton 2006) ため、複数の円盤成分を表現できることが望ましい。さらに、銀河の質量やサイズ、各成分の質量分布に対する依存性を調べるためには、これらを手軽に変更できることも重要であるが、こうした望ましい性質を全て備えた初期条件生成コードは存在しない。また、得られた粒子分布は N 体シミュレーションの初期条件としてだけでなく、観測データのフィッティングやガス入りの計算にも利用可能である。

そこで我々は、複数の球対称成分と軸対称成分を粒子系として表現する初期条件生成コード MAGI を開発した (Miki & Umemura, submitted to MNRAS)。球対称成分については、等方的な速度分布を仮定し Eddington formula を用い分布関数を作成、この分布関数に従う粒子分布を生成することで多様なモデルやその重ね合わせを力学平衡な粒子分布として表現できる。円盤成分については GalactICS (Kuijken & Dubinski 1995; Widrow et al. 2003) の実装を改良し、厚さの異なる複数の円盤成分を持った粒子系を生成できるように拡張した。講演においては実装の詳細や、厚さの異なる複数の円盤成分を持った粒子系の長時間の安定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](#)

R38a ALMAによる近傍赤外線銀河の高密度分子ガス観測、及び、エネルギー源診断

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)

ガスに富む銀河の合体で生成される赤外線銀河は、塵に隠されたエネルギー源 (星生成、活動銀河中心核 AGN) によって暖められた塵からの熱放射によって明るく輝いている。その隠されたエネルギー源の理解は、宇宙で普遍的に生じている銀河合体によって、どのように星が生成され、超巨大ブラックホールへ質量が降着し、母銀河に影響を与え得るかを理解する上で重要である。赤外線銀河中の AGN は塵の奥深くに埋もれているため、(サブ)ミリ波のように、塵吸収の影響の小さな波長での観測が必要となる。我々は、ALMA サイクル 0-4 で、近傍の赤外線銀河を、高密度分子ガスをトレースする HCN、 HCO^+ 、HNC 輝線を用いて系統的に観測し、以下の主要な結果を得た。(1) 可視光線や赤外線観測で強力な AGN を持つと分類された赤外線銀河は、星生成銀河に比べて、 $J=3-2$ 、 $J=4-3$ の回転遷移での HCN/ HCO^+ 輝線強度比が大きい。これは、AGN 周囲の分子ガスで HCN の組成比が増加する、 HCO^+ より臨界密度の高い HCN が AGN ではより励起されるとすれば説明できる。(2) これまで他波長観測で AGN の兆候が全くない 2 天体において、高い HCN/ HCO^+ 輝線強度比が観測された。これらの天体の ALMA スペクトル中には、振動励起された HCN 輝線が見られた。AGN 周囲の高温の塵からの熱放射によって、波長 $14\mu\text{m}$ の赤外線が強く放射され、赤外線放射励起によって HCN が振動励起されたと考えられる。波長 $10-30\mu\text{m}$ の赤外線や 10keV の硬 X 線に比べて塵吸収の影響が $1/10$ 以下しかない (サブ) ミリ波の観測で、塵の非常に奥深くに埋もれた AGN が初めて検出された可能性がある。(3) 可視光線で選別される AGN に比べて、赤外線観測で初めて見つかる埋もれた AGN は、HCN/HNC 輝線強度比が小さい傾向がある。これは、分子ガスの柱密度が高い後者の種族において、シールド効果により HNC 組成比が高くなっているとする説で説明できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R39a 氷吸収プロファイルの解析で探る ULIRG における dark cloud の物理状態と分布

道井亮介 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川貴雄, 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 馬場俊介, 矢野健一 (東京大学, ISAS/JAXA), 山岸光義 (ISAS/JAXA)

Ultraluminous Infrared Galaxy (ULIRG; $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\odot}$) はダストに覆われた銀河である。内部では爆発的星形成が行われているが、星形成母体の銀河中での分布や物理状態は良く分かっていない。銀河系での星形成母体は dark cloud と呼ばれる減光の大きな ($A_V \gtrsim 3$ mag) 領域である。そこで我々は dark cloud で選択的に観測される指標である、 H_2O ice の吸収 (波長 $3.0 \mu\text{m}$) に着目した。この吸収プロファイルは、ice の空間分布や温度等に影響される。従って吸収プロファイルの解析によって、dark cloud におけるこれらの情報を獲得できる。

我々は「あかり」の観測を用いて、ULIRG 9 天体について H_2O ice 吸収の観測プロファイルを取得し、これを実験室で得られている実験プロファイルと比較した。実験プロファイルでは、高温の H_2O ice ほど吸収ピークは鋭くなり、ピーク波長は長波長側にシフトする。種々の温度での実験プロファイルと観測プロファイルでこれらの特徴を比較すると、観測プロファイルでは温度 ~ 10 K の H_2O ice 吸収が支配的であった。この結果は銀河系の dark cloud での観測と類似する。しかし一方で、波長 $\sim 2.8 \mu\text{m}$ では実験プロファイルからの系統的な吸収超過が見られた。この超過は H_2O ice の温度変化では説明できない。そこで、吸収超過の原因の説明として、 H_2O ice を生成する dark cloud が、光源を不完全に覆っているような空間分布モデルを立てた。このような状況下では実際の光学的厚みは見かけ上の光学的厚みより大きくなるため、波長 $2.8 \mu\text{m}$ での見かけ上の吸収超過が説明される。具体的には、 H_2O ice の光学的厚み $\tau_{\text{H}_2\text{O ice}} = 2 - 4$ の dark cloud が、光源前景の 20% - 50% の領域を覆っているとした場合に観測結果が再現された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R40c CO(4–3) & [CI] Observations in ULIRGs with ASTE

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

Galaxy merger is a fundamental process that dictates the evolution of galaxies in the Universe. When two gas-rich galaxies interact with each other, the angular momentum of gas decreases because of the tidal torque and gas fall into the central region. This nuclear gas concentration triggers intense star formation. During this processes, the cold gas will rapidly condense, form stars, and subsequently be exposed to radiation pressure from the newly born massive stars. Observationally, we expect that (1) the amount of dense gas with respect to the tenuous molecular gas (dense gas mass fraction), and (2) the physical condition of the gas, to change dramatically.

In order to test this prediction, we carried out CO(4–3) and [CI] line observations using ASTE in two of the brightest southern ULIRGs. The CO(4–3) and [CI] are used for the tracer of the dense gas mass and the bulk H₂ gas mass, respectively, and therefore allows us to derive the dense gas mass fraction. The [CI], CO(4–3) and L_{FIR} data along with PDR models will allow us to quantify the density of the gas and the strength of the UV radiation field (G_0) and n_{H} in these galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R41a ALMA Astrochemical Observations of an Infrared-Luminous Merger

Nanase Harada (ASIAA), Kazushi Sakamoto (ASIAA), Sergio Martin (ALMA/JAO), Susanne Aalto (Onsala/Chalmers), Francesco Costagliola (Onsala/Chalmers), Kazimierz Sliwa (MPIA)

Astrochemistry is a useful tool to study the environment surrounding the molecular clouds such as UV radiation field from starburst, X-rays from active galactic nuclei, cosmic-rays, and shocks. It means that we can study feedback mechanisms on star formation from astrochemistry in galaxies. Now with ALMA, spatial resolution and sensitivity required for extragalactic astrochemistry is available. From our understanding of astrochemistry in the Galaxy, some species are known to trace photon-dominated regions, while others are abundant in star-forming regions. Yet, it is unknown how the abundances of those tracers change with the intensities of starburst due to the lack of enough sample of galaxies. NGC 3256 is an infrared-luminous galaxy with starburst induced by merging of two galaxies, and is an ideal target to fill in the gap of our understanding the relationship between the star formation rate and astrochemistry. It led us to conduct a ALMA molecular line survey in 3-mm and 1.3-mm bands in NGC 3256. A comparison within NGC 3256 shows locations of enhanced shock tracers where the interaction of two galaxies are suggested. Compared with other galaxies, the chemistry in NGC 3256 is similar to the one in a local starburst galaxy NGC 253, and different from ones in compact and extreme luminous galactic nuclei Arp 220. Connections with the chemistry and physical conditions, star formation efficiency will be discussed in this talk.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R42a 5pc 分解能で見た近傍星形成銀河 NGC 253 中心部の星形成活動の多様性 (2)

安藤亮 (東京大学), 中西康一郎 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大学), 泉拓磨 (国立天文台), Sergio Martín (ESO/JAO), 原田ななせ (台湾中央研究院), 高野秀路 (日本大学), 久野成夫, 中井直正 (筑波大学), 菅井肇 (東京大学), 徂徠和夫 (北海道大学), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 松林和也 (国立天文台), 中島拓, 田村陽一 (名古屋大学), 西村優里 (東京大学)

多量の星間物質に覆われた、系外銀河中心部での活発な星形成活動を直接捉えるには、ミリ波サブミリ波帯でのダスト連続波や分子輝線での観測が強力な手法である。本研究では、ALMA のサブミリ波帯高分解能観測により、近傍スターバースト銀河 NGC 253 の中心 200 pc の領域について、先行研究の 3 倍以上高い空間分解能 ($0''.3$ 5 pc に相当) でのイメージングを行った結果、0.85 mm 帯連続波放射でトレースされる、ダストに覆われた 10 pc スケールの星形成領域 8 個が、2 本の平行な列状に分布する姿を初めて分解した (安藤他 2016 年秋季年会)。

今回、8 個の星形成領域のスペクトルを解析・分子輝線を同定し、領域ごとの詳細な物理化学的性質に迫った。各領域の物理的性質は似通っており、サイズ (~ 10 pc) やダスト質量 ($\sim 10^5 M_{\odot}$) が同規模であるほか、検出された水素再結合線 ($H26\alpha$) の強度から、互いに同数程度の大質量星 (O5V 型星換算で $\sim 10^2$ 個) を内包すると推定される。対照的に、スペクトルの特徴や検出された分子の種類・輝線比等の化学的性質は、僅か 10 pc 程度隔てた領域ごとに大きく異なる。いくつかの領域は典型的な HII 領域であり、再結合線と限られた種類の分子輝線のみ検出できた。一方別の 1 領域では、 CH_3COOH 等複雑な有機分子を含む、19 分子種 36 輝線が検出された。この豊かな化学組成に加え、 SO_2 分子の LTE 解析から、分子ガスが高温 (~ 90 K) 環境にあることも分かり、大質量星形成の現場であるホットコアが数 pc スケールで多数集積した giant hot core cluster であ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](#)

R43a 低重元素量の矮小銀河 NGC6822 にある分子雲の化学組成

西村優里 (東京大学/NAOJ), 下西隆 (東北大学), 渡邊祥正 (筑波大学), 坂井南美 (理研), 相川祐理 (東京大学), 河村晶子 (NAOJ), 河野孝太郎, 山本智 (東京大学)

低重元素量環境にある分子雲では、重元素の豊富な環境のものとは比べ、単に重元素を含む分子の存在量が減るのみならず、星間塵の減少に伴って光解離・光イオン化の効果が強まり、その化学組成は質的に異なったものになると考えられる。このことを調べるため、これまでに我々は、大マゼラン雲 (LMC; 重元素量は太陽系近傍の1/2程度)、IC10(同1/3程度)の2つの矮小銀河の分子雲を対象に3 mm 帯ラインサーベイ観測を行った。それぞれでCCH, HCN, HCO⁺, HNC, CS, SO, ¹³CO, ¹²COの輝線が検出され、銀河系内の分子雲などと比較により、矮小銀河では元素のN/O存在比の低さを反映して、HCN/HCO⁺比が低いこと、一方でCCH/HCO⁺比は、元素のC/O比が低いにもかかわらず、高い値を示すことがわかった (Nishimura et al. 2016a, 2016b)。

今回、これらの特徴の一般性を検証するため、太陽系近傍の1/3程度の重元素量の矮小銀河 NGC6822 の HII 領域 Hubble V に対し、IRAM 30 m 望遠鏡で3 mm・2 mm 帯でラインサーベイ観測を行った。その結果、感度の制約のため HNC, SO は未検出に留まったが、CCH, HCN, HCO⁺, CS, ¹³CO, ¹²CO, H₂CO の輝線を検出できた。各分子の積分強度は、LMC, IC10, NGC6822 の3つで良い相関を示し、上述の低重元素量環境の化学的特徴が NGC6822 でも見られることがわかった。一方で、NGC6822 では¹³COの強度だけが特徴的に弱く、¹²CO/¹³CO 積分強度比は、LMCで6.8、IC10で6.9なのに対し、NGC6822では16.5であった。この同位体種の強度比の異常の原因には、励起状態、光学的厚み、同位体種の選択的光解離、¹²C/¹³C比の効果が考えられる。この解決のためには、分子雲の温度や密度などの物理状態の解明や、他の分子種を用いた¹²C/¹³C比の測定が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R44a NGC 3627 における分子雲同士の相互作用の化学組成への影響

渡邊祥正 (筑波大学), 西村優里 (東京大学/NAOJ), 坂井南美 (理研), 徂徠和夫 (北海道大学), 原田ななせ (ASIAA), 久野成夫 (筑波大学), 山本智 (東京大学)

我々はこれまで分子雲スケールの化学組成に着目し、その物理的意味を明らかにするために近傍銀河 (M51、M83、LMC) や銀河系内の分子雲 (W3、W51) の化学組成について調べてきた (e.g.: Watanabe et al. 2014, 2016, Nishimura et al. 2016)。これらの観測から、分子雲スケールで平均した化学組成は、内部の星形成活動性よりも、分子雲の運動や重元素組成の違いを反映することが明らかになってきた。そこで本研究では、棒渦巻銀河に着目し、バーポテンシャルの影響を受けた分子雲の銀河内部での大局的な運動と分子雲スケールの化学組成を調べた。

我々は、ALMA (Cycle 3) で近傍の ($d = 11.1$ Mpc) の棒渦巻銀河 NGC 3627 の渦状腕とバーを含む領域を観測した。1.5–2.2'' (約 120 pc) の空間分解能を達成し、CS、CH₃OH、N₂H⁺ などを含む 9 種の分子を検出した。これらの分子は主に渦状腕からバーエンドにかけての領域で検出され、CH₃OH を除く分子の分布はよく似ており、H α などの星形成領域の有無と化学組成にはあまり相関がなかった。また、2 つの領域での違いも見られなかった。一方で、CH₃OH の分布は他の分子とは異なり、バーエンドの上流側で輝線強度が強く検出された。CH₃OH/¹³CO 比も他の領域より 4–5 倍程度高く、CH₃OH の存在量が高いことがわかった。この領域の上流側の分子ガスには視線速度が異なる 2 つの成分があり、これらの速度成分が位置速度図上で重なる領域で CH₃OH の存在量が高くなっていた。このことから、2 つの速度成分が衝突などの相互作用を起した結果、衝撃波が発生し、ダスト上の CH₃OH が蒸発した可能性が考えられる。この結果は、分子雲同士の相互作用が、分子雲スケールの化学組成に影響を与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](#)

【S. 活動銀河核】

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [E会場]

S01a	09:30	AGN 輻射駆動噴水モデル II: 分子・原子線、X 線疑似観測による検証 和田桂一 (鹿児島大学)
S02a	09:42	超新星爆発駆動モデルによる活動銀河核の遮蔽構造 川勝望 (呉工業高等専門学校)
S03a	09:54	ファラデー回転で探る NGC 1275 の核周環境 永井洋 (国立天文台)
S04a	10:06	大光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 振動回転遷移線吸収の時間変化 (1): 時間変動の検出 大西崇介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S05a	10:18	大光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 振動回転遷移線吸収の時間変化 (2): AGN トーラスモデルへの示唆 中川貴雄 (宇宙航空研究開発機構)
S06a	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: シリケートダスト吸収・X 線観測結果との比較 馬場俊介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S07a	10:42	Fe-K short-time lags produced by distant clouds in active galactic nuclei Misaki Mizumoto (JAXA/The University of Tokyo)
S08a	10:54	「すざく」および Swift/BAT で明らかになった 1 型クエーサー 3C 345 の光学的に非常に分厚い吸収体 江口智士 (福岡大学)
S09a	11:06	MAGNUM プロジェクト: ダスト反響法による活動銀河核距離測定の Ia 型超新星による較正 越田進太郎 (国立天文台)
S10a	11:18	クエーサーのカラーの光度依存性 和田一馬 (京都大学)

9月12日(火) 午後(13:00-15:12) [E会場]

S11b	13:00	モンテカルロシミュレーションを用いた 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)
S12b	13:00	すばる補償光学付き面分光観測による銀河中心部のガスの運動・構造の計測 川口俊宏 (尾道市立大学)
S13b	13:00	OISTER Optical and Near-Infrared Monitoring Observations of a Peculiar Radio-Loud Active Galactic Nucleus SDSS J110006.07+442144.3 諸隈智貴 (東京大学)
S14b	13:12	活動銀河核における狭輝線領域の赤方偏移進化 仁田裕介 (愛媛大学)
S15b	13:12	$z \sim 3$ 電波銀河における狭輝線領域の物理化学状態 寺尾航暉 (愛媛大学)
S16b	13:12	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた赤方偏移 1 における AGN-red galaxy のクラスターリング探査 佐藤真帆 (東北大学)
S17c		相対論的な平行平板状輻射流体の定常解 岩本弘一 (日本大学)
S18a	13:24	X-ray bright optically faint AGNs found in XMM-Newton and Subaru Hyper Suprime-Cam surveys 寺島雄一 (愛媛大学)
S19a	13:36	すばる Hyper Suprime-Cam を用いた $z \sim 5$ 低光度クエーサー探査による光度関数の調査 仁井田真奈 (愛媛大学)
S20a	13:48	X 線天文衛星 <i>NuSTAR</i> と <i>XMM-Newton</i> による狭輝線セイファート 1 型銀河 SWIFT J2127.4+5654 の観測 井戸垣洋志 (京都大学)
S21a	14:00	<i>Swift</i> 衛星で探る活動銀河核 NGC 6814 の X 線-UV 強度変動の相関の変化 野田博文 (東北大学)
S22a	14:12	狭輝線 I 型セイファート銀河 NGC 4051 における一次放射成分の時間変動 三宅克馬 (東京大学)
S23a	14:24	Ionized gas outflows in infrared-bright dust-obscured galaxies selected with WISE and SDSS 鳥羽儀樹 (ASIAA)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

S24a	14:36	BAL クエーサー APM 08279+5255 からの非常に高速な降着円盤風とその加速機構	萩野浩一 (東京理科大学)
S25a	14:48	ラインフォース駆動型円盤風による SMBH 進化の自己制御機構	野村真理子 (慶應義塾大学)
S26a	15:00	AGN 円盤風の変動に基づく銀河規模アウトフローの力学的発展	福田晋久 (首都大学東京)
9月13日(水) 午前 (09:30-11:18) [E会場]			
S27a	09:30	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)
S28a	09:42	フェルミ衛星を用いた電波銀河 NGC 1275 の長期変動解析	棚田和玖 (早稲田大学)
S29a	09:54	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乱流磁場の影響	萩原大樹 (東北大学)
S30a	10:06	M87 ジェットの形状と加速: 相対論的理論モデルの適用	高橋真聡 (愛知教育大学)
S31a	10:18	MAGIC のガンマ線観測に基づく電波銀河 M87 コアの多波長放射モデル	浅野勝晃 (東京大学)
S32a	10:30	可視光変動と偏光観測で探る CTA 102 のフレア時における変動起源	橘優太郎 (東京工業大学)
S33a	10:42	活動銀河核ジェットの多波長データを用いたマルコフ連鎖モンテカルロ法による物理量推定	山田悠梨香 (広島大学)
S34a	10:54	ブレーザーの硬 X 線光度関数と MeV ガンマ線背景放射への寄与	戸田皓陽 (広島大学)
S35a	11:06	150 MHz TGSS, 1.4 GHz NVSS データを用いたブレーザー候補天体カタログと Pan STARRS データによる可視対応天体の同定	田中康之 (広島大学)
9月13日(水) 午後 (13:30-14:30) [E会場]			
S36a	13:30	多周波電波観測による超高光度赤外線銀河のエネルギー源診断	林隆之 (麻布学園/国立天文台)
S37a	13:42	ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center	Masato Tsuboi (宇宙航空研究開発機構)
S38a	13:54	相対論的ジェットの散逸機構: レイリーテイラー不安定性	当真賢二 (東北大学)
S39a	14:06	相対論的ジェットの境界面を不安定にするトリガーの研究	松本仁 (理化学研究所)
S40a	14:18	相対論的流体における因果律を保った光子多重散乱の効果	高橋芳太 (苫小牧工業高等専門学校)

S01a AGN 輻射駆動噴水モデルII: 分子・原子線、X線疑似観測による検証

和田桂一、福重亮佑、濱村颯太 (鹿児島大学)、J. Buchner (チリ・カトリック大)、M. Schartmann (MPE)

クェーサー等の活動的銀河中心核 (AGN) の内部構造はいまだに謎である。巨大ブラックホール (SMBH) の周りには主に 1) 降着円盤、2) 広輝線領域 (BLR)、3) 遮蔽トーラス (torus)、4) 狭輝線領域 (NLR) といった構造があると考えられている。しかし、これらの構造の起源や相互の関係はまだ解明されていない。我々は、多次元輻射流体計算にもとづき、AGN 近傍 sub-pc ~ 数 10 pc 領域のガス構造を決める新しいメカニズムとして、Radiation-driven Fountain (輻射駆動噴水モデル) を提案している (Wada 2012)。これは、降着円盤からの非等方輻射を受けた dust を含むガスが輻射圧と X 線加熱により、非定常アウトフローや AGN 近傍に戻るバックフローを形成し、それによって幾何学的・光学的に厚い準定常構造を自然に作る、というものである。このモデルにより、1 型/2 型セイファートの SED の違い (Schartmann et al. 2014)、中心核に対する遮蔽率の光度依存性 (Wada 2015) が説明できる。また、最近傍の 2 型セイファート銀河 Circinus galaxy の SED も良く再現される (Wada et al. 2016)。また、トーラス状構造のみならず、電離ガスアウトフローや、低温分子ガス円盤など複雑な星間ガスの多相構造が形成される。

本講演では、輻射駆動噴水の Circinus galaxy モデルをインプットに、分子ガス・原子ガスからの CO、[CI] 輝線に対して 3 次元 non-LTE 計算を行い、ALMA での疑似観測結果を得たので報告する。また、モンテカルロ法による新しい X 線スペクトル計算コード (XRAS, Buchner et al. 2017) の結果と、NuSTAR 観測との比較から Circinus galaxy 中心核の Compton-thick 成分の存在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](#)

S02a 超新星爆発駆動モデルによる活動銀河核の遮蔽構造

川勝望 (呉高専)、和田桂一 (鹿児島大)

宇宙の基本構造である「銀河」の中心には太陽質量の100万倍から10億倍もの超巨大ブラックホール(SMBH)が存在すると考えられている。超巨大ブラックホール形成の最大の困難は角運動量輸送問題にある。これまで、銀河から50パーセクスケールまでのガス降着過程の研究は多数あるが、「最終的に何%のガスがブラックホールまで辿り着くのか」という本質的な問題は明らかになっていない。我々はこれまで50pc領域のガス円盤(銀河核ガス円盤:CND)での超新星爆発による乱流粘性によって駆動されるガス降着モデル(超新星爆発駆動モデル)を提案してきた(Kawakatu & Wada 2008)。このモデルは、「活動銀河核(AGN)光度とCNDスケールでの星形成率との関係」(Esquej et al. 2014)や、近年のALMA観測で明らかになった「AGNの活動性とCNDの高密度ガス質量との関係」を説明できる(Izumi, Kawakatu & Kohno 2016)。

本講演では、この超新星爆発駆動モデルにAGNからの非等方放射がCNDの物理状態に与える効果を考慮し、AGN光度とCNDの幾何学構造との関係を調べ、次のことが分かった。(1)比較的重いSMBHの場合($M_{\text{BH}} < 10^8 M_{\odot}$)には、AGN遮蔽率は、AGN光度がエディントン光度の $\sim 10\%$ でピークに達し、その最大値は0.6程度であった。(2)重いSMBHの場合($M_{\text{BH}} > 10^8 M_{\odot}$)には、AGN遮蔽率は常に < 0.2 と非常に小さく、またAGN光度にほとんど依存しなかった。(3)CNDの面密度が高くなると、遮蔽率は小さくなり、遮蔽率が最大となるエディントン光度比は大きくなった。(4)このモデルによると、エディントン光度比の非常に大きい/小さいAGNは幾何学的に薄いCNDとなり、多くは1型として観測されることが予想される。以上の理論予言と観測とを比較することで、CNDの起源・物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S03a ファラデー回転で探る NGC 1275 の核周環境

永井洋 (国立天文台)、藤田裕 (大阪大学)、中村雅徳 (ASIAA)、紀基樹 (工学院大学)、浅田圭一 (ASIAA)

巨大楕円銀河 NGC 1275 は、ペルセウス銀河団の中心に位置し、 8×10^8 太陽質量の大質量ブラックホールに起因する活動銀河核を持つ。この活動銀河核では、活発なジェット噴射が見られ、明るい電波源 3C 84 として知られている。プレーザーで見られるジェットにおいては、高い偏波率の電波放射がしばしば観測されるのに対し、NGC 1275 はほぼ無偏波を示すことが知られてきた。ところが、2005 年ごろから始まったジェットのアウトバースト (Nagai et al. 2010) によって形成されたホットスポット (中心核から 1 pc 離れたジェットの downstream に存在) で、強い偏波源が出現したことが、43 GHz 帯の VLBI 観測によって最近になって確認された。この偏波源の出現とともに、ホットスポットの運動に急激な変化が見られたことから、ジェットが周辺ガスの密度が濃い領域と、強い相互作用を起こしていることが期待される。

詳しい解析を行ったところ、偏波角が波長によって変化するファラデー回転が検出され、最大で $6 \times 10^5 \text{ rad m}^{-2}$ のファラデー回転量が得られた。ファラデー回転を起こすガスにおいて、熱運動によるエネルギーと磁場のエネルギーが等分配状態にあると仮定すると、ガスの電子密度は 10^4 cm^{-3} と見積もられる。一方で、ジェットと周辺ガスの運動量バランスによって求められた、pc スケール領域の平均的な電子密度は、 10 cm^{-3} 程度である (Fujita & Nagai 2017)。以上のことから、NGC 1275 の pc 領域における核周物質は、極めて非一様であることが期待される。この結果は、NGC 1275 の光度やジェットの活動度が激しく時間変化しているという観測結果とも整合する。本講演では、以上の結果を踏まえた、NGC 1275 の核周環境とブラックホール質量降着流について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a 大光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 振動回転遷移線吸収の時間変化 (1): 時間変動の検出

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 馬場俊介, 道井亮介 (東大理, ISAS/JAXA), 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 臼田知史 (国立天文台)

Active Galactic Nucleus (AGN) 統一モデルにおいて、分子トーラスを見込む角度の違いが AGN のタイプを分けると言われている。しかし、トーラスの存在、形状、大きさについて直接的観測がなされてこなかった。そこで、今回我々は、大光度赤外線銀河である IRAS 08572 + 3915 の AGN について、近赤外領域で CO の振動回転遷移 ($\Delta v = 1$, $\Delta J = \pm 1$, $4.63 \sim 4.84 \mu\text{m}$) 吸収線の時間変動を調べる、という新しい手法によってトーラス内の分子雲構造の大きさを直接的に求めることを試みた。

Shirahata et al. (2013) では、同天体の CO 振動回転遷移線吸収の 2004 年観測データから AGN トーラス内の分子雲構造が視線方向に $d_{\text{los}} \sim 10^{-3} \text{pc}$ 程度の厚さを持っていると結論付けている。ゆえに、視線直交方向の分子雲速度を仮定すれば、CO 吸収の時間変動から分子雲構造の視線直行方向の大きさを見積もることができ、分子雲の形状を決定することができる。

今回、2010 年と 2004 年のすばる望遠鏡による観測データ (速度分解能 $\sim 60 \text{ km s}^{-1}$) を比較した結果、CO 吸収の内、P ブランチの $J = 1$ 、R ブランチの $J = 0, 1$ の吸収が、2010 年のデータで 3σ 以上深くなっていることを見出した。視線直交方向の速度が、これらの吸収の最も顕著な視線方向速度 ($v_{\text{LSR}} = -160 \text{ km s}^{-1}$) 成分と同程度であると仮定すると、分子雲は 6 年間で $d_{\text{dyn}} \sim 10^{-3} \text{pc}$ だけ移動したことになる。この移動で CO 吸収線が変化したという事実は分子雲構造の視線直交方向の大きさが $d_{\text{dyn}} \sim 10^{-3} \text{pc}$ 程度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](#)

S05a 大光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 振動回転遷移線吸収の時間変化 (2): AGN トーラスモデルへの示唆

中川貴雄 (ISAS/JAXA), 大西崇介, 馬場俊介, 道井亮介 (東大理, ISAS/JAXA), 白旗麻衣, 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 臼田知史 (国立天文台)

活動銀河核統一モデルの鍵となる「AGN トーラス」の物理状態を明らかにするために、我々は活動的銀河核における近赤外 CO 振動回転遷移線 ($\Delta v = 1, \Delta J = \pm 1$) の吸収観測を系統的に行っている。その中で、大光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 において、吸収線のプロファイルが、2004 年から 2010 年の 6 年の間に変化していることを、大西ら (本年会講演) は明らかにした。その結果が示唆することを本講演では議論する。

観測された近赤外 CO 振動回転遷移線が、高温 (270K) で、大きな column density ($N_{\text{H}_2} \sim 2.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) を持つことから、我々は、吸収がトーラス内の暖かい分子ガスによるものと解釈している。CO 吸収線が高い $J (< 17)$ まで熱平衡にあることは、このガスが $n \sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$ の高密度にあることを示す。したがって、分子ガスの視線方向の典型的な大きさは $d_{\text{los}} \sim 10^{-3} \text{ pc}$ と見積もられる。(Shirahata et al. 2013, PASJ, 65, 5)。

一方、時間変動成分が検出されたことから上記とは独立に分子ガスの大きさが制限される。分子ガスの視線直交方向の代表的な運動速度が、吸収で観測された最も顕著な視線速度 ($v_{\text{LSR}} \sim -160 \text{ km s}^{-1}$) 成分と同程度であると仮定すると、分子ガスが 6 年間で移動する距離は $d_{\text{dyn}} \sim 10^{-3} \text{ pc}$ 程度となる。したがって、CO 吸収線が 6 年間で変化したということは、トーラスの中の分子雲が、視線直交方向に 10^{-3} pc 程度の構造を持つことを示す。

このように、分子ガスの大きさを独立に見積もった 2 つの結果がほぼ一致すること ($d_{\text{dyn}} \sim d_{\text{los}} \sim 10^{-3} \text{ pc}$) は、トーラスが 10^{-3} pc 程度の小さなクランプから構成されていることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06a 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：シリケートダスト吸収・X線観測結果との比較

馬場俊介（東大理，ISAS/JAXA），中川貴雄，磯部直樹，白旗麻衣（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。

これまでの年会で、「あかり」と Spitzer によってダストに埋もれた AGN 7 天体の CO 吸収バンドを解析した結果、CO ガスの典型的な柱密度が 10^{19} cm^{-2} （水素分子換算 10^{23} cm^{-2} ）、温度が数百 K であったことを報告した。今回、天体を新たに追加して同様に解析を行い、それらを含めた結果を $9.7 \mu\text{m}$ シリケートダスト吸収の強度や X 線観測の結果と比較した。CO 吸収バンドの解析から見積もった水素柱密度は、シリケートダスト吸収から見積もられる値より大きい傾向にあり、X 線観測から予測される値よりは系統的に 2–30 倍小さかった。これらのことから、近赤外線を背景光とする CO 吸収バンドは、中間赤外線を背景光とするシリケートダストよりもより中心に近い領域を反映しており、一方で、その反映している領域は X 線放射領域よりは外側に位置していると考えられる。そして、X 線・近赤外線放射領域の間には AGN トーラスの内縁であるダスト昇華層（～1500 K）が存在しているはずであるから、CO 吸収バンドが反映している領域はトーラス内縁のごく手前であるはずである。この結果は、CO 吸収バンドの AGN トーラス内縁付近のプロープとしての有効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](#)

S07a Fe-K short-time lags produced by distant clouds in active galactic nuclei

Misaki Mizumoto (JAXA/ISAS), Chris Done (Univ. of Durham), Kouichi Hagino (TUS), Ken Ebisawa (JAXA/ISAS), and Masahiro Tsujimoto (JAXA/ISAS)

Short-time (\sim several R_g/c) X-ray reverberation lags in the Fe-K energy band have been found in some active galactic nuclei (AGNs), where R_g is a gravitational radius and c is light velocity. X-ray scattering on an absorbing medium, such as a BLR cloud or a disc wind, is one of the mechanism to produce the lags. Although its light-travel time ($\sim 10^{2-4} R_g/c$) are longer than the observed lag amplitude, the lag timescale is known to be reduced by the dilution effect, where the lag timescale is diluted by contamination of primary and scattered photons in the X-ray energy bin of interest.

We performed Monte-Carlo simulations to explain the short lag amplitude by a distant cloud located at $\sim 10^2 R_g$, assuming an outflowing cloud around a black hole whose mass is 10^7 times of the solar mass. As a result, whereas the light-travel time of the cloud is 5000 sec, the produced lag timescale is ~ 100 sec in the frequency range of 10^{-5} Hz to 10^{-4} Hz. The observed lag versus energy plot with a broad Fe-K lag feature can be explained by Doppler shift of the outflowing cloud. Consequently, we have found that the outflowing cloud is a plausible mechanism to produce X-ray reverberation lags.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a 「すぎく」およびSwift/BATで明らかになった1型クエーサー3C 345の光学的に非常に分厚い吸収体

江口智士 (福岡大学)

3C 345 は、 $z = 0.5928$ にある可視光の広輝線がはっきりと観測されている1型クエーサーである。この天体の10 keV以下のX線スペクトルは過去に様々な衛星により取得されており、特に *Chandra* による観測では中心核のスペクトルを吸収のない折れ曲がりを持つべき関数で良く説明できる (Gambill et al. 2003 など)。今回「すぎく」および *Swift*/BAT による広帯域X線スペクトル (0.5–100 keV) を詳細に解析したところ、意外にも非常に強い吸収 (水素柱密度で $N_{\text{H}} \gtrsim 10^{24.5} \text{ cm}^{-2}$) を受けたべき関数でも非常に良くフィットできることが判明した。両モデルに対する赤池情報量規準の計算結果は、強い吸収を受けたモデルを非常に強く支持する。そこで、Murphy & Yaqoob (2009) の一様密度のトーラス (開口角は 60°) による吸収・反射モデルを3C 345の観測データに適用したところ、この天体は1) 2型のCompton thick AGNでありながら2) トーラスによる反射成分が非常に弱く ($R < 0.1$)、3) 強い散乱成分 ($f = 10\%$) を持ち、4) トーラスの見込み角はほぼ 90° であるという奇妙な結果を得た。しかし、このモデルでは可視光観測の結果 (エディントン比) を説明できない。いっぽう、近年の10 keV以上のX線観測により、一部の1型AGNが光学的に非常に分厚い部分吸収体で覆われていることがわかってきた (Turner et al. 2009 など)。そこで、電離した吸収体による吸収スペクトルをXSTARを用いて計算し、3C 345のX線スペクトルに適用したところ、水素柱密度 $N_{\text{H}} \simeq 10^{25} \text{ cm}^{-2}$ 、電離パラメータ $\log \xi \gtrsim 2 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、掩蔽率 $75\% \lesssim f_c \lesssim 85\%$ という結果を得た。これは可視光の観測結果とも矛盾せず、ベストフィット・モデルと考えられる。本講演では、一連のスペクトル解析の結果を詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S09a MAGNUM プロジェクト: ダスト反響法による活動銀河核距離測定の Ia 型超新星による較正

越田進太郎 (国立天文台ハワイ観測所), 吉井讓 (東大天文センター, アリゾナ大), 小林行泰 (国立天文台), 峰崎岳夫 (東大天文センター), 塩谷圭吾 (JAXA), 青木勉 (東大天文センター)

MAGNUM プロジェクトでは, 反響法によって計測されたダストトーラスサイズに物理的なダスト昇華モデルを適用することで活動銀河核 (AGN) の真の明るさを求め, その距離を計測する手法を確立した (Yoshii et al. 2014). 本研究では, MAGNUM プロジェクトのターゲット天体である NGC 3786 および NGC 7469 出現したふたつの Ia 型超新星 (SN Ia) SN 2004bd, SN 2008ec について, その距離を MLCS2k2 (Jha et al. 2007) と SALT2 (Guy et al. 2007) のふたつの標準的な手法で独自に計測し, それを元にダスト昇華モデルのパラメータ (昇華温度, 熱源である降着円盤 SED のべき係数, ダスト粒子サイズ) の妥当性を評価した.

ダストトーラスサイズと距離の関係を表す係数 g_{DUST} は, Yoshii et al (2014) モデルでは 10.60 であったのに対し, SN Ia から求めた値は $g_{\text{SN}} = 10.61 \pm 0.50$ であり, 1σ 以内の一致を示した. このことは採用したダスト昇華モデルが SN Ia により測定された距離を鑑みて妥当であることを示している. またダスト反響法による距離を基にしたハッブル係数 H_0 の測定において, 個々の AGN のハッブル相関に対する分散は, 距離測定誤差とダスト昇華に関わるパラメータの天体個性に由来する. この分散から他の要因に由来する成分を差し引くことで不定性の大きかったダスト粒子サイズに由来する誤差を再評価したところ, H_0 の誤差として $\pm 2 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ となり, ダスト粒子サイズの天体個性が比較的小さいことが明らかになった.

本公演では, MAGNUM 距離を元に $H\beta$ 広輝線放射領域サイズと AGN 距離の相関を較正した結果にも触れる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10a クエーサーのカラーの光度依存性

和田一馬, 岩室史英 (京大理)

クエーサーは活動銀河核の中でも最も明るく遠方でも観測できる天体である。クエーサーの紫外・可視光放射は、基本的には降着円盤からの放射であるため、標準降着円盤モデル (Shakura & Sunyaev.1973) で説明できるはずだと考えられているが、母銀河放射や輝線、もしくはダスト放射の影響により標準降着円盤モデルによる観測 SED (spectral energy distribution, 多波長測光による広帯域エネルギー分布) の再現には未だ至っておらず、モデル予想よりもカラーが赤くなることが知られている。Xie et al.(2016) では、スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) で撮られたファイバー分光のスペクトルの解析により、この赤化の主な原因はダストだと主張している。しかし、SDSS のファイバーは細く、大気分散の影響を受けるため、カラーの信頼性が低いという問題がある。また、輝線の影響を避ける必要があり、サンプルの赤方偏移も制限されてしまう。

本研究では、SDSS の Stripe82 領域の多数回の測光データを用いて、カラーの明るさに対する依存性を確かめることを目標とする。クエーサーの可視光測光データには、降着円盤、輝線、母銀河放射などが含まれているが、主に変光するのは降着円盤成分なので、変光成分を抽出すれば良い。そこで、紫外・可視光 5 バンド SED の差分を取ることで、変光 SED を得た。ダストの内縁半径はダスト主成分の昇華温度で決まっているため、明るいクエーサーほどダストが破壊され、カラーは青くなると予想できる。この SED に対しパワーローでフィッティングを行い、カラーを求めた。また SMC ダスト (Gordon et al.2003) を用いたモデルフィッティングも行い、減光量を求めた。その結果、明るいクエーサーのカラーは青く、減光量も少ないことが分かり、ファイバー分光によるスペクトルのカラーよりも信頼度の高い測光データの変光 SED の解析でも Xie et al.(2016) と同様の結果を得た。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S11b モンテカルロシミュレーションを用いた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、そのまわりに降着円盤、それらを取り囲むようにトーラスと呼ばれる密度の濃い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 中心の巨大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、研究が行われ、トーラス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。観測データを統一的に理解するため、トーラスの構造や正確な物理素過程を考慮したモデルの構築とともに、smooth モデルと clumpy モデルでのフィット結果でどのパラメータが異なるか、どこがあまり変わらないかを実データを用いて調べることで、従来の研究の信用できる点と clumpy モデルでの再解析を必要とする部分を切り分けられると考えられる。

我々は MONACO (Odaka et al. 2011) に基づいた AGN トーラスからの X 線反射モデルを開発している。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 トーラスモデルの構築している。今回、トーラスの構造・密度・見込み角などをパラメータにして観測データの再現をすることによって作成した、Furui et al. (2016) の X 線反射モデルを実データに適用した。その結果、吸収の影響の大きな Seyfert 2 型銀河について先行研究と矛盾しない結果が得られ、我々の作成したモデルの妥当性を検証することができたことに加え、見込み角の制限を行った。また、見込み角の違いや密度によって輝線構造の違いが現れることを明らかとし、新たなトーラスの構造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](#)

S12b すばる補償光学付き面分光観測による銀河中心部のガスの運動・構造の計測

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進化に関する多くの研究が、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と母銀河での星形成活動抑制現象 (フィードバック現象) の存在を示唆している (e.g., Silk & Rees 1998)。しかし、十分な空間分解能でガス噴出量を計測した観測例はない。そこで我々は、高速ガス噴出が起きている活動銀河核の中で最も近傍に居る天体について、補償光学機能 (AO188) で角度分解能を向上させたすばる望遠鏡の可視光面分光装置 (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。

狭輝線 1 型セイファート銀河 IRAS 04576+0912 (赤方偏移 $z = 0.036$) の中心部、約 $3'' \times 2''$ ($\approx 2.2 \times 1.4 \text{ kpc}$) の視野のデータを 2015 年 9 月の観測で得た。約 600 個の lenselet (1 lenselet の視野角 $= 0.084'' \approx 60 \text{ pc}$) の波長 $6600\text{--}7200 \text{ \AA}$ のスペクトルを解析し、各場所 (各 lenselet) の $\text{H}\alpha$ 、 $[\text{N II}]\lambda\lambda 6583, 6548 \text{ \AA}$ 、 $[\text{S II}]\lambda\lambda 6716, 6731 \text{ \AA}$ の輝線強度やガスの運動速度を求めた。 $\text{H}\alpha$ の広輝線強度は FWHM が約 $0.38''$ で分布し、その重心が中心巨大ブラックホールの位置と考えられる。次に、 $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ 、 $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ 、 $[\text{S II}]/[\text{N II}]$ の輝線強度比から各場所の電離源について考察し、2 本の $[\text{S II}]$ 輝線の強度比から各場所でのガス密度を計測した。

その結果、(1) 中心ブラックホールの南東側の直径約 0.6 秒の領域で、星形成活動が電離源と考えられる輝線比と、低いガス密度を意味する $[\text{S II}]$ 輝線比が得られた。また、逆側の (2) 中心ブラックホールの北側から西側の約 $1.5''$ にわたる円弧状・帯状の領域では、高いガス密度と、活動銀河核を原因とする電離と考えられる輝線比を示し、(1) に比べて約 $300\text{--}350 \text{ km/s}$ 青方偏移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](#)

S13b OISTER Optical and Near-Infrared Monitoring Observations of a Peculiar Radio-Loud Active Galactic Nucleus SDSS J110006.07+442144.3

T. Morokuma (Univ. of Tokyo), M. Tanaka (NAOJ), Y. T. Tanaka (Hiroshima Univ.), R. Itoh (Titech), N. Tominaga (Konan Univ.), P. Gandhi (Univ. of Southampton), E. Pian (INAF), P. Mazzali (Liverpool John Moores Univ.), K. Ohta (Kyoto Univ.), and OISTER collaboration

We present monitoring observations at optical and near-infrared (NIR) for a radio-loud AGN at $z = 0.840$ with a black hole of $\sim 1 - 1.5 \times 10^7 M_{\odot}$, SDSS J110006.07+442144.3 (J1100+4421) which was identified during a flare phase in 2014. Optical-NIR light curves and simultaneous spectral energy distributions (SEDs) are obtained. We found that the optical-NIR SEDs of J1100+4421 show an almost steady shape despite the large and rapid intranight variability. This constant SED shape is confirmed to extend to $\lambda_{\text{obs}} \sim 5 \mu\text{m}$ using the archival WISE data. Given the lack of absorption lines and the steep power-law spectrum of $\alpha_{\nu} \sim -1.4$ ($f_{\nu} \propto \nu^{\alpha_{\nu}}$), synchrotron radiation by a relativistic jet with no or small contributions from the host galaxy and the accretion disk seems most plausible as an optical-NIR emission mechanism. The steep optical-NIR spectral shape and the large amplitude of variability are consistent with this object being a low ν_{peak} jet-dominated AGN. Sub-arcsec resolution optical imaging taken with Subaru Hyper Suprime-Cam does not show a clear extended component and the spatial scales are significantly smaller than the large extensions detected at radio. The optical spectrum of a possible faint companion galaxy does not show any emission lines at the same redshift and hence a merging hypothesis for this AGN-related activity is not supported by our observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S14b 活動銀河核における狭輝線領域の赤方偏移進化

仁田裕介, 長尾透, 寺尾航暉 (愛媛大学), 松岡健太 (フィレンツェ大学)

銀河における星間物質 (ISM) が宇宙の歴史の中でどのように性質を変えてきたかを明らかにすることは、銀河進化の全貌を理解する上で極めて重要である。Kewley et al. (2013) は、星形成銀河と活動銀河核 (AGN) 母銀河における ISM の物理状態が赤方偏移とともに変化すると BPT 図とよばれる輝線診断図上での輝線強度比がどう変化するかを理論モデル計算によって示している。星形成銀河に関してはこの理論モデルに一致するような観測結果が報告されているが、AGN 母銀河に関しては高赤方偏移宇宙における観測的な調査がほとんど行われていないため、ISM 進化の有無は確かめられていない。Araki et al. (2012) では $z \sim 3$ の 1 型クェーサー SDSS J1707+6443 の近赤外線分光観測を行い、得られたスペクトルから狭輝線領域 (NLR) における $[\text{OII}]\lambda 3727/[\text{OIII}]\lambda 5007$ 、 $[\text{NeIII}]\lambda 3869/[\text{OIII}]\lambda 5007$ の輝線強度比が測定されている。その結果、近傍 ($z \sim 0.7$) の 1 型クェーサーと比べて、 $[\text{NeIII}]/[\text{OIII}]$ が高く、 $[\text{OII}]/[\text{OIII}]$ は低いことが分かった。この結果は SDSS J1707+6443 において、NLR の典型的なガス密度が近傍クェーサーよりも顕著に高いと解釈できる。しかし、高赤方偏移クェーサーで NLR の輝線強度比を測定した例はまだ少なく、遠方宇宙においてクェーサー母銀河のガス密度が近傍宇宙に比べて系統的に高いのかどうかは不明である。そこで我々は $z \sim 3$ の 1 型クェーサー 5 天体の近赤外線分光観測を行い、得られたスペクトルから Araki et al. (2012) と同様に輝線強度比を測定した。この観測結果と光電離モデル計算の結果の比較を行った結果、近傍クェーサーのガス密度 ($n_{\text{H}} \sim 10^4 - 10^5 \text{cm}^{-3}$) よりも遠方クェーサーのガス密度が約 1 桁高い ($n_{\text{H}} \sim 10^5 - 10^6 \text{cm}^{-3}$) ことが分かった。またこの高密度なガスが kpc スケールで広がっていることも明らかにした。本講演では、今回得られた結果を踏まえて遠方クェーサー母銀河の星形成活動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](#)

S15b $z \sim 3$ 電波銀河における狭輝線領域の物理化学状態

寺尾航暉, 長尾透 (愛媛大学), 松岡健太 (フィレンツェ大学), 山下拓時, 松岡良樹, 大西響子 (愛媛大学)

銀河の形成、進化を理解する上で、銀河の星間物質 (ISM) の化学組成やその物理状態の赤方偏移進化を調べることは非常に重要である。特に ISM の化学組成は銀河の星形成史の指標であり、分光観測による輝線診断からこれを調査することができる。活動銀河核 (AGN) が存在する大質量銀河は $z \geq 3$ で進化を終えたと考えられているが、 $z \geq 3$ に存在する AGN の詳細観測は進んでおらず、大質量銀河の進化段階における ISM について詳細な化学組成及び物理状態は十分に理解されていない。また、 $z \geq 3$ 天体の観測系可視光分光観測では、静止系紫外線による輝線診断が主な研究手法として用いられるが、これまでの研究では C IV λ 1549 や He II λ 1640、C III λ 1909 など数本の高い強度の輝線を用いた輝線診断に限られている。そのため、微弱な輝線を含めた輝線診断によって精度良く ISM の物理状態と化学組成を調査する手法が必要である。

2 型 AGN では母銀河スケール程度に広がった狭輝線領域 (NLR) からの輝線を観測することができるため、高赤方偏移においても母銀河に存在する ISM の調査が可能である。そこで、 $z \sim 3$ の 2 型 AGN である電波銀河 9 天体について、Matsuoka et al. (2009) で報告された VLT/FORS2 観測による静止系紫外線スペクトルを再解析し、微弱な輝線の検出を試みた。その結果、O III λ 1665 や N IV λ 1486、[Ne IV] λ 2424 など微弱な輝線の強度を得ることに成功した。これら微弱な輝線を含めた輝線診断と Cloudy を用いた NLR における光電離モデルの結果を比較することで、個別の天体ごとに ISM の物理状態と化学組成を統計的に議論することが可能となった。本講演では、モデル計算と観測結果の比較を行い、電離パラメーターや化学組成などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S16b すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた赤方偏移 1 における AGN-red galaxy のクラスタリング探査

佐藤真帆, 秋山正幸 (東北大)

AGN クラスタリング測定は、AGN の存在するダークマターハローの質量に制限をつけることができ、AGN が発現する環境を理解する上で重要な役割を果たす。ダークマターハローの質量は、観測による AGN の二点相関関数と N 体シミュレーションを用いた Λ CDM モデルの相関関数を比較することによって見積もられる。Ross et al. (2009) では、SDSS QSO について自己相関関数が求められ、QSO の住むダークマターハローが $z=0.3-2.2$ に渡ってほぼコンスタントに $\sim 2 \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$ の質量を持っているという結果が得られた。その他にも、AGN/QSO のクラスタリングおよび住環境に関する研究がいくつもなされてきた (e.g., Croom et al. 2005; Shen et al. 2011; Krumpe et al. 2015)。

本研究は、HSC-SSP Wide サーベイのデータを用いて、 $z \sim 1$ における QSO と red galaxy の相互相関関数 (Cross-correlation function; CCF) を調べることで、ダークマターハロー内での QSO の位置を見積もり、galaxy-AGN の共進化や AGN のトリガー機構に制限をつけることを目標とする。QSO は SDSS DR12 の HSC Wide 領域内の $z=0.9-1.1$ のサンプルを用いる。同じ赤方偏移の red galaxy のサンプルは HSC Wide サーベイのデータから選択する。Kodama & Arimoto 1997 の種族合成モデルに基づいた楕円銀河の色進化トラックを利用し、HSC i-z、r-z の二色と z 等級についての色等級図を用いた選択法を確立した。本講演ではその選択法について報告する。今後、空間相関などの統計的な解析を進めていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S17c 相対論的な平行平板状輻射流体の定常解

岩本弘一，大塚翔平，目迫優（日本大学）

ガンマ線バーストや活動銀河核など多くの天体現象でみられる相対論的アウトフローの加速機構としては，ガスや放射の圧力，磁気圧の勾配によるものなどが提唱されており，現象ごとに異なる寄与をしていると考えられる．

本研究では，一次元平行平板状の輻射流体を考え，相対論的流体力学の方程式と輻射輸送方程式を連立して解き，定常解を求めた．上流における境界条件として，流体の初速度，輻射場の強度および角度分布を与え，下流においては入射する（内向きの）輻射がないという境界条件を課した．その結果として，流体の終端速度や放出される（外向きの）輻射の強度分布を求めた．

光学的厚さ，入射する輻射場の強度，非等方性などをパラメータとして，終端速度などの解の特徴をまとめ，天体現象におけるアウトフローの加速機構について考察する．また，光学的厚さが大きい領域における平行平板状の加速の限界について議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S18a X-ray bright optically faint AGNs found in XMM-Newton and Subaru Hyper Suprime-Cam surveys

寺島雄一, 菅沼真 (愛媛大), 秋山正幸 (東北大), J. E. Greene(プリンストン大), 川口俊宏 (尾道市立大), 岩澤一司 (バルセロナ大), 長尾透 (愛媛大), 野田博文 (東北大), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 上田佳宏 (京都大), 山下拓時 (愛媛大)

We present a new sample of X-ray bright optically faint active galactic nuclei selected by combining XMM-Newton and Subaru Hyper Suprime-Cam surveys. 53 X-ray sources satisfying i -band magnitude fainter than 23.5 mag and X-ray counts with EPIC-PN detector larger than 70 are selected from 9 deg² in the XMM-XXL field, and their spectral energy distributions (SEDs) and X-ray spectra are analyzed. 46 objects with an X-ray to i -band flux ratio $F_X/F_i > 10$ are classified as extreme X-ray-to-optical flux sources. SEDs of 48 among 53 are represented by templates of type 2 AGNs or starforming galaxies and show signature of stellar emission from host galaxies in the optical in the source rest frame. X-ray spectra are fitted by an absorbed power law model, and the intrinsic absorption column densities are modest (best-fit $\log N_H = 20.5 - 23.5 \text{ cm}^{-2}$ in most cases). The absorption corrected X-ray luminosities are in the range of $6 \times 10^{42} - 2 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$. 20 objects are classified as type 2 quasars. The optical faintness is explained by a combination of redshifts (mostly $z > 1.0$), strong dust extinction, and in part a large ratio of dust/gas.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19a すばる Hyper Suprime-Cam を用いた $z \sim 5$ 低光度クェーサー探査による光度関数の調査

仁井田真奈, 長尾透 (愛媛大学), 池田浩之 (国立天文台), 秋山正幸 (東北大学), 松岡良樹 (愛媛大学), 松岡健太 (フィレンツェ大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 小林正和 (呉高専), 谷口義明 (放送大学), 他 HSC Project 51 team

巨大ブラックホールの進化や宇宙再電離の歴史を明らかにするためには、幅広い赤方偏移・光度範囲に渡りクェーサーの光度関数を求めることが重要である。しかし、高赤方偏移の低光度クェーサー (成長初期の巨大ブラックホール) の大規模観測を行うには、過去のサーベイの面積と深さでは不十分であった。そのため、高赤方偏移宇宙でのクェーサーの個数密度進化を議論することは困難である。そこで本研究では、広視野・高感度の Hyper Suprime-Cam (HSC) によるすばる戦略枠の観測データを基に、 $z \sim 5$ 低光度クェーサーの大規模探査を行なった。SDSS より ~ 3 等深く、 $\sim 86 \text{ deg}^2$ に及ぶ撮像データにより、我々は過去最大規模となる 232 個の $z \sim 5$ 低光度 ($-27.5 < M_{1450} < -22.5$) クェーサー候補天体を選出した。このサンプルを用いて、コンプリーtenessやコンタミネーションの補正を行なった上で $z \sim 5$ クェーサー光度関数を導出した結果、従来の結果に比べて低光度クェーサーの個数密度は低く、光度関数の低光度側の傾きが緩やかであった。この低光度側の傾きは、AGN が宇宙再電離の主要因に成り得る可能性を示した Giallongo et al. (2015) の $z \sim 5$ クェーサー光度関数より緩やかであり、再電離への AGN の寄与が小さいことを示唆する。これらの傾向は HSC データを用いた $z \sim 4$ クェーサー光度関数 (Akiyama et al. PASJ, submitted) と一致する。本講演では光度関数によって示唆されるクェーサーの個数密度進化等についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20a X線天文衛星 *NuSTAR* と *XMM-Newton* による狭輝線セイファート1型銀河 SWIFT J2127.4+5654 の観測

井戸垣洋志, 小林翔悟, 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京大), 寺島雄一 (愛媛大)

狭輝線セイファート1型銀河 (NLS1) は活動銀河核の中でも中心のブラックホールの質量が $\sim 10^6 M_\odot$ と小さい一方で、光度は 10^{43-46} erg/s と高く、大きな質量降着率を持つ。そのX線スペクトルは、 $\Gamma \sim 2$ で伸び30–40 keV 付近に折れ曲がりをもつべき関数成分と、2 keV 以下にピークをもつ超過成分からなる。これは後者の低温で光学的に厚い物質からの放射が、熱的分布を持つより高温な電子コロナによって逆コンプトン散乱されるモデルで再現される (Zdziarski et al. 1996)。このとき、電子コロナは降着してくる陽子とのクーロン衝突によって加熱される一方で、逆コンプトン散乱による冷却も受け、これらの釣り合いが折れ曲がり (電子温度 kT_e) に対応する。Ohmura et al. (2017) が「すざく」のNLS1のデータを解析したところ $kT_e \sim 10$ keV で、Malizia et al. (2008) で知られているように、降着率が小さい広輝線セイファート1型銀河と比べて低い値であった。これは、加熱と冷却の釣り合いから Miyakawa et al. (2008) が導き出した相関 $kT_e \propto (L/L_{\text{Edd}})^{-0.4}$ を、NLS1 に適用することで説明できる (Ohmura et al. 2017)。そこで本研究では、「すざく」と比べて5–80 keV で2桁以上の感度を持つ *NuSTAR* と、0.3–10 keV で大きな有効面積をもつ *XMM-Newton* を用いてこの相関を検証する。今回は両衛星での同時観測が3回行われている SWIFT J2127.4+5654 に着目した。そのうちの2012年11月4日から6日に行われた観測について時間平均スペクトルを上記のモデルでフィットしたところ、 $kT_e = 16_{-2}^{+4}$ keV, $L/L_{\text{Edd}} = 0.56$ となり、Ohmura et al. (2017) の同じ天体についての結果 ($kT_e = 11_{-2}^{+5}$ keV, $L/L_{\text{Edd}} = 0.65$) と合わせて、上記の相関と無矛盾であった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S21a *Swift* 衛星で探る活動銀河核 NGC 6814 の X 線–UV 強度変動の相関の変化

野田博文 (東北大学際)、牧島一夫 (理研)、小久保充 (東北大理)、峰崎岳夫 (東大天文センター)

活動銀河核の X 線は、降着円盤が放射する可視光/UV 光子が、巨大ブラックホール近傍のコロナで逆コンプトン散乱され生じると考えられる。数日の時間スケールでは、X 線が明るくなると、X 線の照射で円盤温度が上昇し、可視光/UV 強度も増加するため、両帯域の強度には良い相関が期待される。我々は 2013 年度に活動銀河核 NGC 3516 の X 線–可視光を同時にモニタし、相関係数 ~ 0.9 という強い相関を得たが (野田他 2016)、同天体の 1997–2002 年の結果 (相関係数 ~ 0.35 ; Maoz 他 2002) からは大きく変化していた。また、他の活動銀河核でも、X 線–可視光/UV の相関の良さは様々であり (e.g., Breedt 2009)、何がこの違いを生むのか未だに分かっていない。

我々は、X 線–可視光/UV の相関の良さが変化する原因を探るため、2012 年と 2016 年に ~ 3 ヶ月ずつモニタされた活動銀河核 NGC 6814 の *Swift* アーカイブデータを解析した。その結果、2012 年から 2016 年にかけて、X 線と UV の両帯域で ~ 5 倍明るくなり、2012 年には相関係数 ~ 0.8 と良い相関を示したのに対し、2016 年には相関係数 ~ 0.2 と相関が悪化したことが分かった。主成分分析を適用した所、2012 年には UV と連動するハードな X 線成分が第一主成分 (寄与率 ~ 0.78) として卓越した一方、2016 年には同様の第一主成分の寄与は下がり (寄与率 ~ 0.57)、UV 変動を伴わないソフトな X 線成分である第二主成分の寄与が増加していた (寄与率 ~ 0.35)。さらに、0.3–8 keV の時間平均スペクトルを解析すると、2012 年は光子指数 ~ 1.5 のハードな成分が卓越する一方、2016 年はハードな成分に加えて光子指数 ~ 2.7 のソフトな成分が必要となり、主成分分析と同様の結果となった。これらの結果から、暗い時間帯は UV と連動するハードな X 線成分が卓越して X 線–UV の相関が良くなり、明るい時間帯は UV と連動しないソフトな X 線成分が現れることで X 線–UV の相関が悪くなったことが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S22a 狭輝線I型セイファート銀河 NGC 4051 における一次放射成分の時間変動

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)

AGN の X 線スペクトルは、光子指数 $\Gamma \sim 2$ のべき関数 (PL) 型一次放射成分、その反射成分などから成ると考えられてきた。我々は時間変動を用いたモデル依存しない成分分解手法によって、一次放射成分が複数存在することを、複数のセイファート I 型 AGN や 2 つの狭輝線 I 型セイファート銀河 (NLS1) で確認してきた (e.g. Noda et al. 2011)。NGC 4051 は、 $z = 0.0023$ 、質量 $1.7 \times 10^6 M_{\odot}$ の明るく時間変動の激しい NLS1 で、「すざく」衛星で 2005 年に 1 回、2008 年 11 月に 2 回観測された。これらの観測時の 2–10 keV フラックスは $(1.4\text{--}2.5) \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と変動が大きく、またそれぞれの観測中にも $\sim 500 \text{ s}$ で 2 倍程度の激しい時間変動があった。これまで我々は、2008 年のスペクトル解析により、変動の速いソフトな一次 PL 成分に加え、変動の遅いハードな一次 PL 成分の存在を報告してきた (清野ら; 2016 秋 S30a、2017 春 S37a) が、天体が暗かった 2005 年のデータがまだうまく説明できていなかった。これまで 2005 年の観測内の時間変動は、PL 成分の強度変動と吸収体の変動で解釈されてきた (Terashima et al. 2008)。我々は明るい時と暗い時のスペクトルの差分を $\log \xi \sim 2$ の電離吸収を受けた $\Gamma = 2.26$ の PL のみで説明できることを発見し、この PL 成分が形を変えずに強度変動していると考えた。その結果、2005 年のスペクトルは変動する $\Gamma = 2.26$ のソフト PL、変動しない $\Gamma = 1.8 \pm 0.2$ のハード PL、反射成分で説明できた。ハード PL はもう一つの一次放射と解釈できる。また、暗い時間帯ではソフト PL は消失し、スペクトルはハード PL と反射成分のみから成る。これは NGC 3227 (Noda et al. 2014) と同様、暗い時期にはソフトな一次成分は消失し、よりハードな一次成分が卓越するという描像に一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a Ionized gas outflows in infrared-bright dust-obscured galaxies selected with WISE and SDSS

Yoshiki Toba (ASIAA), Hyun-Jin Bae (Yonsei Univ.), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Jong-Hak Woo (SNU), Wei-Hao Wang (ASIAA), Alexander Y. Wagner (Tsukuba Univ.), Ai-Lei Sun (ASIAA), Yu-Yen Chang (ASIAA)

We present the ionized gas properties of infrared (IR)-bright dust-obscured galaxies (DOGs) that show an extreme optical/IR color, $(i - [22])_{AB} > 7.0$, selected with the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) and Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE). For 36 IR-bright DOGs that show $[O III]\lambda 5007$ emission in the SDSS spectra, we performed a detailed spectral analysis to investigate their ionized gas properties. In particular, we measured the velocity offset (the velocity with respect to the systemic velocity measured from the stellar absorption lines) and the velocity dispersion of the $[O III]$ line. We found that the derived velocity offset ($v_{[O III]}$) and dispersion ($\sigma_{[O III]}$) of most IR-bright DOGs are larger than those of Seyfert 2 galaxies (Sy2s) at $z < 0.3$, meaning that the IR-bright DOGs show relatively strong outflows compared to Sy2s. This can be explained by the difference of IR luminosity contributed from AGN (L_{IR}^{AGN}) because we found that (i) L_{IR}^{AGN} correlates with $v_{[O III]}$ and $\sigma_{[O III]}$, and (ii) our IR-bright DOG sample has larger L_{IR}^{AGN} than Sy2s. Nevertheless, the fact that 28/36 ($\sim 78\%$) IR-bright DOGs have a large ($> 300 \text{ km s}^{-1}$) velocity dispersion, which is a larger fraction compared to other AGN populations, suggests that IR-bright DOGs are good laboratories to investigate AGN feedback (Toba et al. 2017, ApJ, to be submitted).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S24a BAL クエーサー APM 08279+5255 からの非常に高速な降着円盤風とその加速機構

萩野浩一 (東京理科大学), Chris Done (University of Durham), 小高裕和 (Stanford University), 渡辺伸, 高橋忠幸 (ISAS/JAXA, 東京大学)

BAL クエーサーである APM 08279+5255 は、X 線観測の結果から光速の約 70% という非常に高速な降着円盤風を持つとされている。このような超高速の降着円盤風は、輻射抵抗によって減速されるため輻射圧駆動機構で加速することは不可能である。そのため、この APM 08279+5255 の降着円盤風は、磁気圧駆動機構が働いている証拠とされている。

我々は、APM 08279+5255 の X 線スペクトルの再解析を行い、極端に高速なアウトフロー速度を要求せずに X 線スペクトルを説明することを試みた。近年の超高速アウトフローの X 線スペクトルの研究により、超高速アウトフローは高階電離鉄の吸収線を作る高電離ガスと低エネルギー連続スペクトルの吸収を作る低電離なクランプ (塊) 状のガスからなるという描像が確立しつつある。このような高電離ガスと低電離クランプによる吸収を考慮して APM 08279+5255 の X 線スペクトルを解析した結果、極端に高速のアウトフローを要求することなく、輻射圧駆動機構によって説明可能な速度である光速の約 10–20% のアウトフローによって X 線スペクトルを説明することに成功した。我々の解析においては、従来の解析で光速の 70% の速度で青方偏移した吸収線として解釈されていた吸収構造を、低電離クランプによる吸収端として説明している。さらに、この天体の多波長スペクトルが X 線で弱く紫外線で明るいということから、線吸収加速による輻射圧駆動機構が働い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](#)

S25a ラインフォース駆動型円盤風による SMBH 進化の自己制御機構

野村真理子 (慶應義塾大学), 大須賀健 (国立天文台/総研大), Chris Done (Durham University)

降着円盤からのガス噴出流は、超巨大ブラックホール (SMBH) の成長過程及び SMBH と母銀河の共進化過程に甚大な影響を及ぼしていると考えられる。注目すべきガス噴出流のひとつが Ultra-Fast Outflow (UFO) である。UFO は鉄の吸収線によって観測され、速度は光速の 10–30% に達し、ジェットに匹敵する大きなエネルギー放出率を持つ。これまで、我々は速度、電離状態、柱密度、質量放出率といった UFO の観測的特徴がラインフォース駆動型円盤風 (e.g., Proga & Kallman 2004) によって非常によく再現されることを突き止めた (Nomura et al. 2016, Nomura & Ohsuga 2017)。ここで、ラインフォースとは中間電離状態の金属元素が紫外光を束縛-束縛遷移で吸収する際に受ける力である。

これまでの研究では、円盤風の噴出による SMBH への質量降着の減少は考慮していなかったが、今回我々は、質量降着と質量放出を自己矛盾なく評価するラインフォース駆動型円盤風の新たな理論モデルを構築した。その結果として、質量放出による SMBH への質量降着率の減少は、エディントン限界に近づくにつれて顕著になることがわかった。エディントン限界の 90% の降着率を持つ降着円盤の場合、約半分は円盤風として放出され、残りの半分だけが SMBH へ降着することになる。円盤風が SMBH の成長を抑えるのである。ラインフォース加速には紫外光で明るく輝く降着円盤が必須であるため、ラインフォース駆動型円盤風は十分質量の大きな ($\gtrsim 10^6 M_{\odot}$) ブラックホール周囲の降着円盤から噴出する。つまり、ラインフォース駆動型円盤風は SMBH 進化の最終段階において、その過成長を防いでいるものと考えられる。これは『SMBH 進化の自己制御機構』に相当するものであり、ほぼ全てのクェーサーの光度はエディントン光度に満たないという観測事実と矛盾しない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S26a AGN 円盤風の変動に基づく銀河規模アウトフローの力学的発展

福田晋久, 谷治健太郎, 政井邦昭 (首都大学東京)

多くの活動銀河核 (AGN) から速度が光速の 10 ~ 30% に達する円盤風の観測的証拠が見ついている。AGN 円盤風は母銀河の星間物質との相互作用を介して銀河の進化に影響を与えると推測されているが、不明な点も多い。

本研究では King(2011) のモデルに基づき、AGN 円盤風と星間物質の相互作用によって銀河規模のアウトフローが生じ、アウトフローが銀河の進化に影響を与えるとする。アウトフローを駆動するエネルギーは AGN 円盤風によって供給されており、AGN 円盤風がどのように吹くかによってアウトフローの力学的発展は変化する。近年の観測から AGN 円盤風が変動性を持つことがわかっており、それに伴ってアウトフローの力学的発展に影響を与えると考えられる。AGN 円盤風の変動性を考慮したモデルを構築しモデルに基づいた流体計算を行った結果、母銀河のバルジから出るほどのアウトフローを起こすことが難しいことが示唆された。本講演ではその結果からアウトフローの力学的発展と母銀河への影響を同様の先行研究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](#)

S27a 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が分かっていない。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を様子を知らないが、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。今回は、X 線解析を 2017 年まで延長し、かつ、新たに UVOT の解析を行ない、またガンマ線については Fermi/LAT の公開ライトカーブを用いて可視から X 線にかけてジェット放射がどのくらい寄与しているのか調査した。その結果、紫外線と可視光の比を取ると通常銀河よりも青いことから、AGN の寄与が考えられる。さらに可視領域で 11.9 % (分散)、紫外線領域で 14.4 %、X 線領域で 46.7 %、ガンマ線領域で 76.8 % 変動していることが分かり、ガンマ線フレア時に可視光から X 線にかけてもフレアを起しているように見えることから可視光から X 線にかけてジェット成分が見えた可能性がある。しかしフレア時の色が特に青くなっていることから可視光と紫外線のフレアは降着率が高くなったことによる増光の可能性も考えられる。本公演ではスペクトルエネルギー分布 (SED) の変化もふまえて、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](#)

S28a フェルミ衛星を用いた電波銀河 NGC 1275 の長期変動解析

棚田和玖, 片岡淳, 有元誠, 秋田誠博 (早大理工), C.C. Cheung (NRL), 深澤泰司 (広島大学)

ペルセウス座河団中心部に位置する NGC 1275 は、太陽系からおよそ 2 億光年離れた場所にある FR-I 型電波銀河の一つである。銀河の中心部には活動銀河核 (AGN) と呼ばれる天体が存在し、非常に小さな領域にも関わらず大質量ブラックホール近傍から銀河全体と同等の明るさで強烈な放射を行っている。NGC 1275 のガンマ線放射は、2008 年に打ち上げられた Fermi 衛星の LAT 検出器によって初めて有意に検出され (Abdo et al. 2009)、数ヶ月スケールで激しく時間変動していること (Kataoka et al. 2010)、全体としては緩やかな増光傾向にあること等が確認されている (Dutson et al. 2014)。こうした増光現象はノットの放出などジェット活動と深く関わりがあると考えられているが、未だその放射メカニズムの解明には至っていない。また一般に AGN のフラックス変動は 1 年以上の歳月をかけて、静穏状態とフレアという 2 つの状態を行き来するため、増光起源を突き止めるには必然的に長期観測データの解析が必要となるが、そうした時期ごとの変動解析をしている研究は少ない。

本研究では、フェルミ衛星による 8 年間の観測データを用いることで NGC 1275 の増光メカニズムに迫った。まず光度曲線とスペクトルのべき変化を相補的に調べた結果、両者の相関が MJD 55600 の前後で変化していることが分かった。前半はいわゆる "harder when brighter" で特徴付けられ、後半は激しいフラックス変動にも関わらずスペクトルのべきがあまり変化していなかった。これらの振る舞いを説明するために我々は 2 つの仮説を立てた: (1) 前半の増光は新鮮な電子の注入によるものである、(2) 後半の増光はビーミング因子の変化によるものである。仮説を検証するために前半後半の中でさらに静穏時とフレア時に分け、それぞれのデータに対してシンクロトロン自己コンプトンモデルでフィットを行い、増光に寄与する物理パラメータを調査した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S29a 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乱流磁場の影響

荻原大樹, 高橋和也, 當真賢二 (東北大学)

活動銀河核から相対論的速度で吹き出すジェットの加速機構の有力モデルは電磁的加速モデルである。これは活動銀河核中心部にあるブラックホール自体やその周辺の降着円盤が作る電磁エネルギー流束を粒子の運動エネルギー流束に変換するモデルである。しかし、この理論モデルに対する観測的証拠は未だ乏しい。本研究では M87 銀河に付随するジェットの詳細な放射強度分布を理論的に再現することでジェットの加速に必要な状況・物理量を制限し、加速機構問題の解決を図る。

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。M87 のジェットでは縁部分がシンクロトロン放射で明るく光る構造が知られている。この特徴的な放射強度分布はジェットの磁場・密度・速度の構造に重要な示唆を与えるにも関わらず、これまで考えられてきたどの理論モデルでも考慮されていなかった。

前回年会の高橋和也氏らの講演 (2017 年春季年会講演番号 S03a) で初めてこの放射強度分布を考慮した理論モデルが提唱された。磁場がブラックホールを貫き、ブラックホールが高速回転していると放射強度分布の特徴が再現できることが示された。このモデルでは電磁場のエネルギー密度が粒子のエネルギー密度よりも十分大きいという force free 条件下での磁場が仮定されている。シンクロトロン放射強度分布はランダムな乱流磁場の存在によって大きな影響を受ける可能性がある。本研究では高橋氏らのモデルに乱流磁場を取り入れてシンクロトロン放射強度分布の計算を行った。観測と比較しつつ、こ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](#)

S30a M87 ジェットの形状と加速：相対論的理論モデルの適用

高橋真聡 (愛知教育大学)、紀 基樹 (工学院大学)

近年 M87 ジェットの VLBI 観測により、宇宙ジェットの付け根領域に迫るところまで解像できるようになってきた。ジェットの付け根領域には超巨大ブラックホール [$M \sim (3-6) \times 10^9 M_{\odot}$] が存在すると推定される。ジェットは細く絞られた形状であり、中心領域から離れるにつれて徐々に収束 (コリメーション) する「放物形状」 [$z \sim (10^2 - 10^5) R_s$] となっているのだが (Asada+ 2012, Hada+ 2013)、とくに中心核領域に近い領域 [$z < 100 R_s$] では「放射状」になっている事 (Hada+ 2013) が指摘されている (z はジェットの高さ、 R_s はシュバルツシルド半径)。また、ジェットのモニタ観測より (Martens+ 2016, Hada+ 2017)、ジェットの超光速運動における加速領域についての議論も深まってきている。

ジェットの形状と加速について、さらに内側のブラックホールに近い領域についてはまだ未解明なのだが、Kino+ (2015) により M87 の根元では磁場が卓越していることがわかってきたので、本講演では中心ブラックホールが作る磁気圏モデルと接続することでブラックホール=ジェットのシステムを構築する。この目的のため、Tomimatsu & Takahashi (2003) の相対論的 MHD-flow 近似解を M87 ジェットに適用する。この解は、付け根領域では磁気フラックスが卓越したアウトフローであるが、プラズマ加速されることで磁場と流体のフラックスが同程度になり、さらに流体が加速される事で流体フラックスが卓越したジェットとなる。観測的に知られている物理量をこの解析解のパラメータとして振る舞いを調べると、磁場形状および加速領域について、上で述べた VLBI 観測の結果 (ジェット形状の折れ曲がり、ジェットの加速) と整合性のある結果が得られたので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S31a MAGICのガンマ線観測に基づく電波銀河M87コアの多波長放射モデル

浅野勝晃, Daniel Mazin (東大宇宙線研), Elina Lindfors (トゥルク大), Fabrizio Tavecchio (ブレラ天文台), Julian Sitarek (ウッジ大), Elisa Prandini (パドヴァ大), 窪秀利, 増田周 (京大), 西嶋恭司, 榎田淳子, 辻本晋平, 神本匠 (東海大), 手嶋政廣, 齋藤隆之, 中嶋大輔, 林田将明, Daniela Hadasch, 井上進, 高橋光成, 永吉勤, 深見哲志, 稲田知大, 岩村由樹 (東大宇宙線研), 折戸 玲子 (徳島大) ほか
MAGIC collaboration

2012年から2015年にかけて、静穏時の電波銀河M87を大気チェレンコフ望遠鏡MAGICによって観測した。100GeV–1 TeVのガンマ線スペクトルは光子指数 -2.49 ± 0.07 の冪乗で近似でき、300GeV以上の光子フラックスは $(1.42 \pm 0.13) \times 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。スペクトルは同時期に観測した *Fermi*-LATのデータとスムーズに繋がった形を見せた。

我々は *Fermi*-LATに加え、*Chandra*、HST、EVN及びVLBAのデータを用い、M87のコアの多波長スペクトルのモデルを考察した。ここではローレンツ因子が $\Gamma = 3$ 、開口角が $1/\Gamma$ のジェットを考え、見込み角 15° で観測していると仮定した。この定常流中に Broken power-law の電子を注入することで、全体のスペクトルが再現できるかテストした。その結果、電波から TeV ガンマ線領域までをこの1つのジェットからの放射で再現することに成功した。得られた磁場は非常に弱いものとなり、先行研究における、シンクロトロン自己吸収の議論から決められた磁場とは大きく異なる結果となった。ジェットの根元が磁場優勢であったとしても、数百シュヴァルツシルト半径の距離に対応する放射領域に達するまでに、磁場エネルギーが急激に減少しなくてはならないことを意味している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S32a 可視光変動と偏光観測で探る CTA 102 のフレア時における変動起源

橘優太郎, 伊藤亮介, 斉藤嘉彦, 吉井健敏, 針田聖平, 森田浩太郎, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 中岡達也, 川端美穂, 川端弘治 (広島大学)

2016年10月末に検出された、ジェットを有する活動銀河核である CTA 102 の可視光光度と可視光偏光度における非常に激しい変動の報告を受け、我々は占有運用する MITSuME 望遠鏡と広島大学が所有するかなた望遠鏡による可視光三色 (g' , R_c , I_c) と可視光偏光 (R_c) のモニタリング観測を開始した。

本観測期間中、当該天体は典型的に 0.1 mag/hour という非常に激しい短時間での増減光を繰り返しながら大局的には緩やかに増光し、同年12月には、ジェットを持つ活動銀河核の可視光観測史上で最も明るい天体 ($R \sim 11$ mag) となった。本フレア中、比較的定常的な光度変動の中で、突然急激な増光または減光が非常に短い時間 (< 1 hour, ~ 0.2 mag) 観測されるなど、その変動速度は多様であり、この観測結果は、可視光光度変動が多数の異なるフレアの重ね合わせに起因するという解釈では説明が難しい。これに加えて、可視光の長期的な光度変動に相関する偏光度と偏光方位角の滑らかな遷移がかなた望遠鏡によって観測された。これらの観測結果を合わせると、一つの相対論的プラズマの運動方向の長期的 (~ 20 days) なうねりと非常に短い時間尺度 (< 1 day) での小さなブレに起因するドップラーファクターの変化が、本フレアにおける可視光変動の本質的な要因である可能性が強く示唆される。

本発表では、可視光観測の結果とその解析手法を主軸に、Fermi によるガンマ線の観測結果を合わせて、CTA 102 のフレア中における光度変動起源の解釈について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S33a 活動銀河核ジェットの多波長データを用いたマルコフ連鎖モンテカルロ法による物理量推定

山田悠梨香, 植村誠, 深沢泰司 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学)

活動銀河核は太陽質量の 10^6 – 10^9 倍の巨大なブラックホールを持つ天体であり、中心から光速に近い速度まで加速されたジェットを噴き出しているものがある。このジェットを真正面から観測していると考えられている天体をブレーザーと呼ぶ。ブレーザーは降着円盤や周辺のダストトーラス、銀河からの放射による寄与が小さいため、ジェットの構造や放射機構を探る手段として有用である。ジェットからはシンクロトロン放射と逆コンプトン散乱放射が観測されており、多波長観測によるエネルギースペクトル分布 (SED) の時間変動からジェットの物理量の変化を推定し、変動の原因を探ることができる。

逆コンプトン散乱の種光子としてシンクロトロン放射を考えるモデルでは、SED のモデルパラメータは通常 7–9 個ありモデルの性質的に全が独立には決まらない。そのため従来はパラメータのいくつかを固定し他のパラメータを推定する手法が多く用いられてきた。しかしこの手法では推定結果は固定する値に依存するため、その不定性が議論できない。よって推定値の不定性まで含めて客観的にパラメータを推定する手法が求められてきた。

そこで本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) をブレーザーの SED モデル当てはめに対して適用することで、ジェットの放射領域の物理量推定を行う手法を開発した。ブレーザーの 1 つである Mrk421 の実際の多波長データに MCMC を用いることで、パラメータの最適解とその不定性を客観的に推定することに成功した。パラメータの推定結果から、2010 年のフレアにおいて電子のエネルギー分布のべき指数が変動したことが、推定値の不定性も考慮したうえで明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S34a ブレーザーの硬 X 線光度関数と MeV ガンマ線背景放射への寄与

戸田皓陽 (広島大学), 井上芳幸 (ISAS/JAXA), 深沢泰司 (広島大学), 田中康之 (広島大学)

ブレーザーの形成進化については未だ謎に包まれている。ブレーザーの進化過程を解き明かす手がかりとなるのが、ブレーザーの光度関数である。光度関数とは、ある距離に存在するある明るさの天体数を関数化したもので、これを用いるとブレーザーの密度分布を構築することができ、ブレーザーの宇宙論的進化についてより詳細に議論することができる。

本研究では最新の Swift 衛星の 70 ヶ月間硬 X 線サーベイデータを使用し、明るいブレーザー種族である Flat-Spectrum Radio Quasars (FSRQ) の光度関数の構築を行った。最新のデータに基づいた我々のモデルは、22 ヶ月間の Swift 衛星のデータを使用した過去の研究 (Ajello et al, 2009) と同じく、 $z \simeq 4$ と比較的遠方に FSRQ の数密度ピークが存在していることが示唆された。Fermi 衛星のガンマ線データを使用した過去の研究結果 (Ajello et al, 2012) では、 $z \simeq 1 - 2$ と比較的近傍に FSRQ の数密度ピークが存在していると報告されており、その結果と我々の結果は一致しない。これは X 線とガンマ線で観測している FSRQ が、異なる種族である可能性を示唆している。また、FSRQ は宇宙 MeV ガンマ線背景放射の起源の候補と考えられているため (Ajello et al, 2009)、本公演では光度関数の結果について報告するとともに、宇宙背景放射への寄与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](#)

S35a 150 MHz TGSS, 1.4 GHz NVSS データを用いたブレーザー候補天体カタログと Pan STARRS データによる可視対応天体の同定

田中康之, 内海洋輔 (広島大学宇宙科学センター), 井上芳幸 (ISAS/JAXA), 太田耕司 (京都大学)

活動銀河核ジェットの中で、ジェットが我々の方向を向いている天体はブレーザーとして知られている。ブレーザーは高エネルギーニュートリノの放射源とも考えられているため (e.g., Murase, Inoue, & Dermer, 2014)、あらかじめ全天からブレーザー天体を抽出しておくことは、高エネルギーニュートリノの電磁波対応天体の探索にとって重要である。ブレーザーは電波で $\alpha > -0.5$ (α は $F_\nu \propto \nu^\alpha$ で定義) のフラットなスペクトルを示すため、そのような天体を抽出しカタログ化することで、ブレーザー候補天体カタログと見なすことができる。

我々は、最新の 150 MHz TGSS カタログ (Intema et al. 2016) と 1.4 GHz NVSS カタログ (Condon et al. 1998) のクロスマッチングを行い、赤緯 $\delta > -40^\circ$ の領域から $\alpha > -0.5$ のフラットスペクトル電波源を約 56000 天体抽出した。同様のカタログとして広く知られている CRATES カタログ (Healey et al. 2007) では、1.4–4.8 GHz におけるフラットスペクトル電波源がリストされており、それと比較してサンプル数は約 5 倍増加した。 $\delta > -40^\circ$ の CRATES 天体のうち、74% は TGSS でも検出されており、そのうち約 8 割 (約 5100 天体) は我々のカタログでも抽出されていた。残りの 2 割は 0.15–1.4 GHz で $\alpha < -0.5$ のために我々のカタログにリストされていなかった。

さらに、抽出したフラットスペクトル電波源について可視サーベイの Pan STARRS カタログ (Chambers et al. 2016) とのマッチングも行った。その結果、約 35000 天体については *grizy* バンドいずれかで検出されており、色等級図から 2 つの種族に分類されることを見出した。一方はクエーサーと考えられ、もう一方は -20 等級程度の楕円銀河が $z = 0$ から 0.3 程度まで位置していると仮定した際に示す色等級で解釈できることを見出した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S36a 多周波電波観測による超高光度赤外線銀河のエネルギー源診断

林隆之（麻布中学校・高等学校，国立天文台），今西昌俊（国立天文台），萩原喜昭（東洋大学）

超高光度赤外線銀河（ULIRG）は，赤外線にて $10^{12}L_{\odot}$ 以上の光度を示す銀河である．低赤方偏移の ULIRG は，高赤方偏移で検出されるサブミリ波銀河に対応する天体として注目されており，その理解は宇宙初期における星形成史やブラックホール形成史を紐解く手がかりとなると期待されている．しかし，その重要性にも関わらず，ULIRG の赤外線放射のエネルギー源が星形成に伴うものなのか，ブラックホールへの質量降着に伴うものなのか，未だ十分な理解が得られていない．

中間赤外観測 (e.g., Imanishi et al. 2007, *ApJ*, 171, 72) では，多くの ULIRG で活動銀河核がその赤外線放射のエネルギー源を担うことが示唆された．しかしながら，各 ULIRG の中心領域で極端に高頻度の星形成が起きている可能性も棄却されきれていない．以上を踏まえ我々は，Imanishi et al., にて活動銀河核の存在が示唆された $z < 0.14$ の ULIRG 10 天体に対して，Jansky Very Large Array を用いた 4 周波 (18, 5, 3, 2 cm) の電波観測を，2015 年から 2016 年にかけて実施した．観測に用いた周波数帯は，赤外線を放射するダストに対する透過力が非常に高く，中心領域の活動が活動銀河核によるものかどうか，中間赤外線観測とは独立に検証できる．

解析の結果，10 天体のうち 7 天体の電波スペクトルは天体が光学的に薄いシンクロトロン放射源であることを示し（周波数 ν あたりのフラックス密度を $F_{\nu} \propto \nu^{\alpha}$ としたときに $\alpha < -0.5$ ），残りは光学的に厚い放射源であることを示した ($\alpha > -0.5$)．スペクトル形状だけを鑑みると，前者については，超新星残骸ないし活動銀河核由来のシンクロトロン放射が考えられる．一方，後者については，星形成活動における熱放射が自己吸収を強く受けた活動銀河核ジェットのうちどちらかが示唆される．本講演ではこれらの切り分けを議論したい．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S37a ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (JAXA), Kenta Uehara (The University of Tokyo), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin University), and Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum/NAOJ)

The Circum-nuclear Disk (CND) of the Galactic center is a torus-like molecular gas around Sagittarius A* (Sgr A*); the overall motion of the CND is interpreted as rotation around Sgr A* with a velocity of ~ 100 km s⁻¹. However, the observed kinematics of the CND has not been fully explained by the rotation. There remains considerable controversy about the origin and life time of the CND.

We observed the CND in the CS, C³⁴S, SiO, H¹³CO⁺, CH₃OH, C₂H, and other emission lines with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) Band 3 in Cycle 1. The observation has been performed as a part of the large area mapping project of the Sgr A molecular cloud complex (2012.1.00080.S.). The data have angular resolutions of $(2.2 - 2.5) \times (1.5 - 1.8)$ using “natural weighting” in UV sampling. The ALMA synthesized beam is approximately 4 times smaller than those of previous molecular line observations.

The CND is seen clearly as a rigid-body rotation like feature in the position-velocity diagrams of the CS, C³⁴S, SiO, and H¹³CO⁺ emission lines. The feature indicates that a ring-like structure really rotates around Sgr A*. There are also other peculiar features associating with the CND in the diagrams. One of these is the “tidally disrupted falling molecular cloud” which had been reported in the 2016 Spring Annual Meeting. Another is a molecular cloud seen toward the “Western Arc” of the “Minispiral”, which has a different radial velocity from that of the arc. These anomalies would be key information to understand the origin of the CND.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S38a 相対論的ジェットのス逸機構：レイリーテイラー不安定性

眞賢二 (東北大), Serguei S. Komissarov (英リーズ大), Oliver Porth (独ゲーテ大)

活動銀河核やガンマ線バーストに付随する相対論的ジェットは、星・銀河・銀河団進化、観測的宇宙論、高エネルギー電磁波・宇宙線・ニュートリノの放射、重力波対応電磁波など様々な天体現象に関連する。しかしジェットのエネルギー注入(駆動)・質量注入・加速・収束・安定性・エネルギー散逸/非熱的粒子加速など鍵となる多くの物理メカニズムが未解明のまま残されている。エネルギー散逸機構としては、ジェット内で生じる衝撃波か不安定性が候補である。後者については、ジェット全体は安定のまま伝播するが、局所的に不安定となる必要がある。我々は、そのような可能性の一つとして、ジェット中でのレイリーテイラー不安定性を議論する。ジェットはエネルギー注入がブラックホール自体と降着円盤の二つから起こりえることから、spine-sheathの2成分構造をとると予想される。そのような2成分ジェットが一樣媒質中を伝播する2次元流体シミュレーションを行った。その結果、一般的に起こるジェットの幅の振動によって、2成分の接触面がレイリーテイラー不安定であることが分かった。2成分のどちらが重くても不安定である点が重要である。これによってジェット中の局所的なエネルギー散逸が起こりえる。この機構はM87などFR-Iジェットのkpcスケールでの電波放射を説明できるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S39a 相対論的ジェットの境界面を不安定にするトリガーの研究

松本仁（理化学研究所）

マイクロクエーサーや活動銀河核からのジェット、ガンマ線バーストなどはジェットの速度が光速に近い相対論的ジェットだと考えられている。相対論的ジェット最大の特徴である、高ローレンツ因子を維持したまま収束した流れを保つジェット構造の安定性は天文学において解明すべき謎の一つである。ジェットとジェット外媒質との相互作用による流体不安定性の成長は、ジェット構造に多大な影響を与える。我々のグループでは、相対論的ジェットが伝搬する際にジェット境界で成長する非軸対称モードの Rayleigh–Taylor 不安定性がジェットに与える影響についての研究を進めている（Matsumoto & Masada 2013）。2016 年春季年会では、線形解析を用いて相対論的ジェットの境界で Rayleigh–Taylor 不安定性が成長する条件を求め、実際に相対論的ジェットが一様媒質中を伝搬する際にはその条件が満たされることを数値シミュレーションを用いて示した（S14a）。ジェット境界では非軸対称モードの Rayleigh–Taylor 不安定性の他に、ジェットとジェットを取り囲む媒質の速度差に起因した Kelvin–Helmholtz 不安定性が成長する可能性がある。そこで本研究ではジェット構造の進化を追う、ジェット伝搬方向に周期境界条件を課した三次元ローカルシミュレーションを行い、ジェット境界で成長する流体不安定性の線形成長率を比較することでどちらの不安定性が卓越して成長するかを調べた。本講演では、ジェット構造を不安定にするトリガーの物理的条件について詳細に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S40a 相対論的流体における因果律を保った光子多重散乱の効果

高橋芳太（国立高専機構苫小牧高専）、梅村雅之（筑波大）

ブラックホール降着流や噴出流、相対論的ジェットなどの天体現象を理論的に理解する際や観測データを解釈する際に、光子輻射場の効果を正確に把握することが必要となる。我々が過去に開発した一般相対論的光子輻射輸送コード ARTIST では、一般相対論的ボルツマン方程式を直接数値計算することで動的な光子輻射場を計算することが可能である (Takahashi & Umemura, 2017)。ARTIST コードでは、光子の放射・吸収・散乱の効果を取り入れることが可能であり、光学的に薄い状況では GR ray-tracing 計算の結果をきれいに再現することが可能である。一方、散乱に関しては、光学的厚みが大きい場合には、因果律を保った形で多重散乱を扱う方法は知られていない。これは、有限の時間間隔で実行される大局的な数値シミュレーションにおいて、各時間ステップで多重散乱光子の運動量がどのように時空中に再配置されるのか理解されていないためである。今回、この問題を解決するために、相対論的流体中での光子多重散乱を実現するモンテカルロ計算コードを開発し、相対論的流体における因果律を保った光子多重散乱の効果の解明を試みた。コードでは、ローレンツ因子が 0 から 1000 程度までの 3 次元流体中の光子測地線を計算することで、光子多重散乱過程を再現した。計算結果を全て時空図上で理解することにより、光子輻射場のマクロな性質も因果律を保っていることが確認された。これらの計算により、因果律を保った相対論的光拡散を理解する簡単な枠組みを得ることができた。過去の研究で報告された結果の中には因果律を破っているものが存在すること、今回のシミュレーション結果の一部は解析的に書くことができ、これらは大局的な輻射輸送シミュレーションにおいて、因果律を保った多重散乱の効果を取り入れる際に有用となりうること、などの知見を得ることもできた。これらの結果も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [B会場]

T01a	10:30	X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析 II	中島真也 (理化学研究所)
T02a	10:42	銀河団中心部でのプラズマの二温度構造:「ひとみ」の測定結果の意義	牧島一夫 (理化学研究所)
T03a	10:54	「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の高温ガスの速度場の測定	上田周太朗 (宇宙航空研究開発機構)
T04a	11:06	ペルセウス座銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の評価 II	古川愛生 (東京理科大学)
T05a	11:18	「ひとみ (ASTRO-H)」SXSによるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱 III	佐藤浩介 (東京理科大学)
T06a	11:30	モンテカルロシミュレーションを用いた楕円銀河における共鳴散乱の影響の評価	大野雅功 (広島大学)
T07a	11:42	衝突銀河団 Abell 754 における両側の衝撃波の発見	井上翔太 (大阪大学)
T08a	11:54	多波長観測から迫る銀河団 RXC J1053.7+5453 の衝突過程と粒子加速	板花まどか (山形大学)
T09a	12:06	銀河団衝突で発生した若い衝撃波の観測研究	加藤佑一 (東京大学)
T10a	12:18	Abell 3395 と Abell 3391 の連結領域の X 線観測	滝沢元和 (山形大学)

9月11日(月) 午後(14:30-15:54) [B会場]

T11a	14:30	N 体シミュレーションを用いた銀河団周辺のハローの運動の解析	濱端亮成 (東京大学)
T12a	14:42	銀河団のダークマターとバリオン分布の楕円率と主軸の向きの相関	岡部泰三 (東京大学)
T13a	14:54	$z \sim 1$ までの銀河団ガスの鉄元素分布の進化	天海公志 (東京理科大学)
T14a	15:06	SDSS・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 (東京大学)
T15a	15:18	Subaru/HSC サーベイ領域にある重量級銀河団の X 線観測による質量推定 III	宮岡 敬太 (広島大学)
T16a	15:30	HSC-SSP サーベイ領域にある可視銀河団の X 線フォローアップ計画	太田直美 (奈良女子大学)
T17b	15:42	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	三石郁之 (名古屋大学)

T01a X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析 II

中島真也 (理化学研究所), 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大), 田村隆幸, Aurora Simionescu (ISAS/JAXA), Marshall W. Bautz (MIT), ひとみコラボレーション

クールコアを持つ銀河団の中心部では高温プラズマ (ICM) が多相構造をなしており、例えばペルセウス座銀河団では $kT = 0.5\text{--}8$ keV にわたる広い温度範囲の共存が報告されている (Sanders & Fabian 2007)。低温のプラズマは cD 銀河から伸びる $H\alpha$ フィラメントとの相関が指摘されているものの、具体的にどのように多温度構造が形成・維持されているのか、そのメカニズムについては未解決である。このような多温度プラズマの観測は主に X 線 CCD を用いて行われてきたが、連続 X 線スペクトルの形状は、望遠鏡の有効面積不定性の影響を大きく受けるため (Molendi & Gastaldello 2009)、輝線を用いた温度診断が必要となる。われわれは「ひとみ」衛星に搭載した X 線マイクロカロリメータ (SXS) を用いてペルセウス座銀河団を観測し、その高いエネルギー分解能 (~ 5 eV@6 keV) で、CCD では分離できなかった多数の輝線の分離に成功した。そして、それらの強度比を使って連続成分に依らない温度診断を行い、元素ごとに示す温度が違うことを明らかにした (2016 年秋季年会 中島講演)。今回はさらに、輝線のみを考慮したプラズマモデルを用いて多温度解析を行うことで、中心から $\gtrsim 30$ kpc 外側の領域では $kT \sim 4$ keV の 1 温度でほぼ説明できるが、内側では ~ 2 keV の低温成分も検出した。一方で、過去の観測で報告されていた $kT = 8$ keV の成分は検出されず、厳しい上限値を得た。本講演ではこれらの結果の詳細とその解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a 銀河団中心部でのプラズマの二温度構造 : 「ひとみ」の測定結果の意義

牧島一夫, 中島真也 (理研), Gu Liyi (SRON), 川原田 円 (JAXA), 中澤知洋 (東大理)

「ひとみ」衛星は短命ながら、ペルセウス座銀河団の観測で多くの成果を得た。今回は cD 銀河 NGC1275 の近傍で、高温プラズマ (ICM) が 2 keV と 4 keV の二温度をもつ可能性が得られたこと (中島講演) の意義を論じる。

cD 銀河団の中心部で、ICM は常に温度低下を示す。これを放射冷却による Cooling Flow の発現とする解釈は、「あすか」の観測 [1] などで否定された。しかし放射冷却を止める熱源は何か、なぜ中心部での ICM 温度は外側温度の $\sim 1/2$ に揃うか、異なる温度の ICM がなぜ安定に共存できるのか、などの謎が未解決のままである。

我々はこれらを一挙に説明する「cD コロナ」描像を構築・強化してきた [1,2]。(i) cD 銀河の周囲では、閉磁気ループ内に低温 ICM、開いた磁力線領域に高温 ICM が閉じ込められ、二温度構造が生じる。(ii) 低温成分は太陽コロナと同様、Rosner-Tucker-Vaiana 機構で熱的に安定化される。(iii) メンバー銀河たちは ICM と相互作用し、運動エネルギーを ICM に与えることで放射冷却を阻止し、自らは宇宙年齢かけ銀河団中心部へと落下する。

このうち (iii) の銀河落下は、我々の観測によりみごとに証明された [3]。ICM の乱流速度が音速より小さいという「ひとみ」の結果 [5] も、我々の描像によく適合する [6]。(i) の二温度構造は、*XMM-Newton* などを用いて、ケンタウルス銀河団 [4] および Abell 1795 [2] で検証されてきた。今回「ひとみ」により、ペルセウス座銀河団の中心付近でも同様な二温度特性と無矛盾な結果が得られたことは、我々の描像をさらに強化するものである。

[1] Makishima, K. *et al.* 2001, *PASJ* **53**, 401

[2] Gu, L.Y. *et al.* 2012, *ApJ* **749**, 186

[3] Gu, L.Y. *et al.* 2013, *ApJ* **767**, 157; 2016 *ApJ* **826**, id72

[4] Takahashi, I. *et al.* 2009, *ApJ* **701**, 377

[5] The *Hitomi* Collaboration, 2016 *Nature*, 535, 117

[6] 牧島, Gu, 川原田, 中澤: 2016 年秋, T08a

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T03a 「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の高温ガスの速度場の測定

上田周太郎 (ISAS), 一戸悠人 (首都大), 藤本龍一 (金沢大), 井上翔太 (大阪大), Caroline Kilbourne (NASA/GSFC), 北山哲 (東邦大), Maxim Markevitch (NASA/GSFC), Brian McNamara (Waterloo-U), 太田直美 (奈良女子大), Scott Porter (NASA/GSFC), 田村隆幸 (ISAS), 田中桂悟 (金沢大), Norbert Werner (MTA-Eotvos-U)

ペルセウス座銀河団は X 線で最も明るい銀河団であり、X 線天文衛星「ひとみ」はその初期運用期間中に軟 X 線分光器を用いて、銀河団中心の活動銀河 NGC1275 を含む領域とオフセット領域を計 4 箇所、合計 320 ksec 観測した。NGC1275 周囲の銀河団高温ガスの速度場の測定の初期成果は Hitomi Collaboration (2016) Nature, 535, 117 として報告された。その後のキャリブレーションの結果を反映させて、point spread function (PSF) の補正を行い、全データを用いた銀河団高温ガスの速度場の測定について、2017 年春季年会で報告済みである。

我々はその後もキャリブレーションを継続し、PSF の補正や系統誤差の取扱についてもより洗練させた。また、高温ガスのバルク運動の絶対値を明らかにするため、NGC1275 の赤方偏移を銀河の吸収線を用いて再測定した。その結果、新しい NGC1275 の赤方偏移をゼロポイントとして $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ 程度の bulk shear を持つことが判明した。高温ガスの視線方向の速度分散については、NGC1275 の周囲と、北西の ghost bubble が存在する領域が $\sim 200 \text{ km s}^{-1}$ と、それら以外の領域の $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ より大きくなっていることが判った。この結果は、NGC1275 の活動銀河核の現在および過去の活動が高温ガスの速度場に影響を与えていることを示唆する。この視線方向速度分散が乱流起源と考えた場合、輝線の形状はガウス分布でよく近似できることから、乱流の driving scale は 100 kpc より小さいことが示唆される。本講演ではこれらの結果を詳述する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a ペルセウス座銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の評価II

古川愛生, 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大学), 深沢泰司, 大野雅功, 挽谷政弥 (広島大学)

ペルセウス座銀河団の中心部では、Fe He- α の共鳴線の光学的厚さが1を超えているため、共鳴散乱の影響による重元素アバダンスの過小評価や、共鳴散乱と高温ガスの乱流運動の影響などが議論されてきた (e.g., ASTRO-H WHITE paper)。「ひとみ (ASTRO-H)」衛星に搭載されたマイクロカロリメーター検出器 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、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 (e.g., 2017 年春季年会 佐藤講演)。

前回の講演 (2016 年秋季年会 古川講演) では、ペルセウス座銀河団の Fe の He- α 、He- β 、及び H-like な輝線について、XMM 衛星の観測と「ひとみ (ASTRO-H)」SXS の中心部の観測で得られた乱流速度をもとに、「GEANT4」及び「ひとみ (ASTRO-H)」SXS の応答関数を用いて共鳴散乱の影響についてシミュレーションを行った。その結果、 $3' \leq r \leq 5'$ の領域では共鳴散乱による強度の減少が見られないことや、外側 ($r \geq 3'$) で中心部より大きな乱流を仮定すると中心部での共鳴散乱による強度の減少が小さくなることを報告した。

今回我々は、輝線の強度を正確に評価するために、サテライト線の影響を考慮してシミュレーションを行った。サテライト線は1本1本の強度は弱いものの、Fe He- α 付近には多数のサテライト線が存在しており、共鳴線付近ではサテライト線も共鳴散乱を受けるために共鳴散乱の評価には重要である。本講演では、Chandra 衛星の観測をもとに、視線方向の温度構造やアバダンスの不定性の評価も含めてペルセウス座銀河団中心部での共鳴散乱による Fe の He- α 、He- β 、及び H-like な輝線の強度比と線幅について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05a 「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱 III

佐藤浩介, 古川愛生, 松下恭子 (東京理科大), 大野雅功, 深沢泰司 (広島大), F. Paerels (Columbia univ.), I. Zhuravleva (Stanford univ.), 「ひとみ」コラボレーション

「ひとみ (ASTRO-H)」搭載マイクロカロリメータ SXS は軌道上でも優れたエネルギー分光能力 (5 eV@6 keV) を実現し、高階電離した鉄輝線の微細構造を分離することが可能となった。「ひとみ (ASTRO-H)」SXS は、短い運用期間ではあったが、計 230 ksec ペルセウス座銀河団の中心部を観測し、中心領域でのガスの乱流速度を決定した (Hitomi collaboration 2016, 2016 年秋季年会 松下講演)。また、ペルセウス銀河団中心部では Fe He- α の共鳴線の光学的厚さが 1 を上回るため、共鳴散乱が効いていると考えられる。共鳴散乱の測定は輝線幅から求めたガスの速度を相補的に決定でき、かつアバダンス測定に与える不定性も制限できるので重要である。我々はこれまで、Fe He- α の共鳴線と禁制線、及び He- β のライン比は光学的に薄いプラズマモデルから期待される比よりも共鳴線が $\sim 20\%$ 程度弱いことを明らかにした (2016 年秋季年会, 2017 年春季年会 佐藤講演)。

今回我々は、He- α 共鳴線と禁制線や He- β 線との比に加えて、観測された共鳴線の線幅が共鳴散乱を強く受けない禁制線の線幅よりも有意に広がっていたことに着目して報告を行う。また、温度や密度などの銀河団パラメータや手法をアップデートしたモンテカルロシミュレーション (古川講演) で予測される輝線比、及び線幅との比較も行い、系統誤差も含めて、ペルセウス座銀河団中心部での共鳴散乱について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T06a モンテカルロシミュレーションを用いた楕円銀河における共鳴散乱の影響の評価

大野雅功, 深沢泰司, 寺前拓人, 挽谷政弥 (広島大学)

銀河や銀河団を満たす高温ガスは、銀河同士の衝突やジェットなど周辺環境の影響により、複雑な運動をしていると考えられ、高温ガスのダイナミクスを明らかにすることは、銀河団形成史や銀河中心のジェットの持つエネルギーなどに迫ることができる重要な情報源となり得る。高温ガスのランダムな運動成分である乱流を探る指標として、X線帯域で観測される電離鉄輝線の高温ガス中における共鳴散乱の光学的厚さが乱流速度に依存する性質を利用する。これまでいくつかの天体における電離鉄輝線観測から、共鳴散乱の兆候が報告されており、計算モデルとの比較から乱流速度の議論が進められているが、計算モデルにおいて高温ガスの複雑な温度、密度構造や電離鉄輝線を放射するイオンの運動などを考慮しなければ、観測結果を正しく解釈することはできない。

本研究では Geant4 を用いて、高温ガス中の共鳴散乱の影響を見積もることができるモンテカルロシミュレーターを開発した。シミュレーターでは観測で得られた高温ガスの密度、温度構造などを取り込み、最新のプラズマモデルに基づいた放射モデルを再現する。特に共鳴散乱の物理過程については、イオンの運動を考慮した反応断面積計算の枠組みを新しく導入することで、より物理的に正確なシミュレーションを行うことができるようになった。複数の楕円銀河について、すざく衛星のデータとシミュレーションを比較したところ、一部の楕円銀河では、中心付近において共鳴散乱の兆候が確認され、乱流速度を制限できる可能性があることがわかった。本講演で、複数の楕円銀河について系統的にシミュレーションと比較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](#)

T07a 衝突銀河団 Abell 754 における両側の衝撃波の発見

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)

Abell 754 は、非対称な表面輝度構造をもつ代表的な衝突銀河団である。Macario et al. (2011) は、Chandra 衛星の観測から、Abell 754 の南東側にマッハ数 1.57 の衝撃波を検出した。一方、Inoue et al. (2016) では、すざく衛星の観測から反対側の北西領域で電離非平衡プラズマを発見した。これは、銀河団高温プラズマで電離非平衡状態を検出したはじめてのケースである。電離パラメータから推定されるタイムスケールから、南東側の衝撃波とは別の衝撃波がこの北西領域に存在することが示唆された。今回、我々は、XMM-Newton 衛星の観測データを解析し、この北西領域で表面輝度の不連続な構造を検出した。スペクトル解析から、温度構造は外側に向かって下がる傾向にあり、この不連続面が Cool core によるものではなく、衝撃波によるものであると結論づけた。ガス密度のジャンプは 1.26 ± 0.03 で、マッハ数 1.17 ± 0.02 の衝撃波と解釈できる。また、北西側の衝撃波面と同様に、南東側の衝撃波面も電波放射の縁と対応しており、2つの衝撃波の内側で電子が加速されていることがわかる。このように Abell 754 では、衝突銀河団のシミュレーションで示唆される、衝突するコアの両側で衝撃波が生じる構造が実際に起こっていることが明らかとなった。同時に、この北西領域の衝撃波の発見は、Inoue et al. (2016) で報告した電離非平衡プラズマが衝撃波通過の加熱によるという描像を支持する結果でもある。本講演では、以上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](#)

T08a 多波長観測から迫る銀河団 RXC J1053.7+5453 の衝突過程と粒子加速

板花まどか, 滝沢元和 (山形大), 赤松弘規 (SRON), R. J. van Weeren (CfA), 河原創 (東京大), 深沢泰司 (広島大), J. S. Kaastra (SRON), 中澤知洋 (東京大), 大橋隆哉 (首都大), 太田直美 (奈良女子大), H. J. A. Röttgering (Leiden Univ.), J. Vink, F. Zandanel (Amsterdam Univ.)

銀河団 RXC J1053.7+5453 ($z = 0.0704$) は、長さ 600 kpc の電波レリックを持つ銀河団である。電波レリックは、銀河団外縁部に細長く広がっており、その位置と形状により衝突時に発生した衝撃波との関連が示唆されている。本天体は、先行研究において中心領域も含め、温度測定はされていない。今回我々は、Suzaku, Chandra のデータを用いて、銀河団中心から西側 (電波レリック方向) の物理量 (温度、密度) を見積もった。使用した Suzaku データは、Suzaku AO9 key project の一つである。Suzaku データを用いてスペクトル解析を行った結果、中心部の温度は $kT \sim 1.3$ keV であり、これにより本天体において初めて温度を測定した。得られた温度は $L_X - kT$, $\sigma - kT$ relation から予測される温度よりも 1 keV 以上低い結果であり、この銀河団は衝突後の断熱膨張過程であると考えられる。また、電波レリック前後において外側に向かって温度が低下しており衝撃波の兆候が見られたが、衝撃波の検出には至らなかった。電波レリック前後において有意な温度差は得られなかったが、温度差から衝撃波のマッハ数を見積もったところ、 $M \sim 1.4$ が得られた。さらに、Chandra イメージでは銀河団の西側に表面輝度不連続面が見られるため、Suzaku, Chandra のデータを用いて、不連続面前後の温度、密度差を測定した。その結果、接触不連続面である可能性を示唆する結果が得られた。Chandra イメージによる銀河団全体の形状、電波レリックと接触不連続面の位置を考慮すると、東西方向の衝突現象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](#)

T09a 銀河団衝突で発生した若い衝撃波の観測研究

加藤佑一、中澤知洋 (東大理)、Gu Lyli (SRON)、赤堀卓也 (鹿児島大理)、滝沢元和 (山形大理)、藤田裕 (大阪大理)、Aurora Simionescu (ISAS)、牧島一夫 (理研)

本講演では、衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 で発見された発生直後の衝撃波の X 線衛星 XMM-Newton による観測結果について報告する。本衝突銀河団では、2つの銀河団コアが 1.2 Mpc と近傍に位置し、それらを結んだ中間領域が X 線で明るく輝く。我々は、2013 秋、2014 秋、2015 春、2015 秋、2016 春、2017 春 (赤堀ら) 天文学会で、本天体の X 線衛星「すざく」と Chandra、電波干渉計 ATCA の観測結果について報告してきた。「すざく」と Chandra の観測から、本天体ではほぼ同質量の銀河団同士が衝突することで、双子の衝撃波が発達し、それらが互いに離れつつあると結論づけた。さらに、その双子衝撃波の年齢が 70 Myr と銀河団のものとしては非常に若いことも導いた。ATCA では典型的な銀河団衝撃波による粒子加速が起きていれば、GeV 電子からのシンクロトロン放射を 10σ で検出できるような感度で観測を行ったが、その兆候は発見できなかった。

我々は、本天体での衝撃波の研究のさらなる進展を目指し、100 ks の長積分時間の XMM-Newton の観測データを獲得した。衝撃波付近を $24'' \sim 35$ kpc と細密な領域で切り分け、スペクトルを抽出して、その温度構造を調べると、衝撃波下流で 10 keV を超える高温成分を発見した。これは「すざく」で導出された値よりも高く、より大きなマッハ数が示唆された。2つの銀河団を結んだ平行方向に輝度分布を抽出すると、Chandra 観測の結果と同様に2つの輝度遷移を捉えることができた。しかも、片方の輝度の変遷は、2つの銀河団コアを結んだ線から垂直方向へ離れたところで強く、中心側に向かうほど弱くなり、ついにはその変移が見えなくなることを明らかにした。これは、片側の衝撃波が外側から中心側に向かい、今まさに形成されつつある様子を見ている可能性を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T10a Abell 3395 と Abell 3391 の連結領域の X 線観測

滝沢元和、菅原悠宇紀、板花まどか (山形大)、赤松弘規 (SRON)、藤田裕 (大阪大)、大橋隆哉、石崎欣尚 (首都大)

銀河団外縁部の重元素量は、銀河から銀河間空間への重元素輸送過程についての重要な情報を与えてくれる。しかし、外縁部では X 線放射が暗いため、密度や温度にもまして重元素量の測定は困難である。このため、ピリアル半径付近で重元素量が測定されたのは条件に恵まれた数天体 (Abell 399 と Abell 401 の連結領域、ペルセウス座銀河団、おとめ座銀河団) に限られてきた。いずれも $Z \sim 0.3Z_{\odot}$ という高めの値を示しており、銀河風などによる銀河団形成前の重元素汚染を示唆している。ただし、これが普遍的な傾向なのか判断するにはサンプルが少なすぎる。

Abell 3395 と Abell 3391 の連結領域は、両銀河団のピリアル半径が重なっており、相互作用によってガスが圧縮されている可能性が高い。実際、Planck によって SZ 効果が検出された二つの銀河団ペアのうちの一つである。我々はこの領域のすざくのデータを解析した。その結果得られた温度分布より両銀河団の相互作用によりガスが加熱されている兆候を得た。また、重元素量は $Z = 0.169^{+0.164+0.009+0.018}_{-0.150-0.004-0.015} Z_{\odot}$ (誤差は 90%信頼度でそれぞれ順に統計誤差、CXB による系統誤差、NXB による系統誤差) と低めの値をえた。誤差を考慮するとぎりぎり先行研究と同傾向となるが、外縁部における重元素輸送の銀河団ごとの多様性を示唆する結果である。また X 線観測量のみから y パラメーターを見積り Planck の結果と比較して連結領域の奥行き方向の構造について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T11a N体シミュレーションを用いた銀河団周辺のハローの運動の解析

濱端亮成, 大栗真宗, 西道啓博 (東京大学)

銀河団の質量を測定する手法の一つに銀河団のメンバー銀河の運動を用いる手法がある (Farahi et al. 2016)。これは、メンバー銀河の運動が銀河団の質量が作る重力ポテンシャルの性質を反映していることを期待した手法であるが、銀河の運動と銀河団質量の関係は未だに十分には理解されていないためこの手法での銀河団質量の精密な測定は困難である。

我々は、銀河団周辺の銀河の運動をより正確に理解するための第一段階として、ダークマターのみでのN体シミュレーションを用い銀河団周辺のダークマターハローの運動を解析した。銀河の運動はその銀河をホストしているダークマターハローの運動を表していると考えられるため、この解析は銀河の運動の理解に直結する。まず銀河団周辺のハローの位相空間上での平均的な分布関数を多数の銀河団についてスタックすることで求めた。この位相空間分布を解析した結果、銀河団へ降着する成分 (Infall 成分) と銀河団中心を一度通過し銀河団の外側へ向かう成分 (Splashback 成分) の2成分で分布関数がよく表されることが明らかになった。本講演ではこれらの結果を紹介するとともに、この結果が観測にどのように応用できるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T12a 銀河団のダークマターとバリオン分布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)

銀河団の楕円率は Λ CDM モデルの検証において重要であるのみならず、ダークマターとバリオンの相互作用にも敏感であり、銀河団の形成・進化を理解する手がかりとなる。例えば Suto et al. (2017) は Horizon シミュレーション中の銀河団を調べ、質的にダークマター優勢な外側のスケール (\sim Mpc) まで、ダークマター分布の楕円率がバリオンの影響で変わることを示しており、楕円率がバリオンの影響に対して敏感な統計量であるということを示唆している。

今回我々はダークマター分布の楕円率だけではなく、主軸の向きにも着目し、その分布と様々なバリオン分布（例えば銀河の分布や X 線の表面輝度分布）との相関を、Horizon シミュレーション中の銀河団 40 個に対して包括的に調べた。

このバリオン分布の向きとダークマター分布の向きの相関は、直接見ることでできないダークマターハローの形状を、直接見ることができる銀河やガス分布の形から推定できるかどうかという観点から重要であるのみならず、観測された弱重力レンズのシグナルの正しい解釈にも重要である。実際最近の研究では、銀河分布の向きと、弱重力レンズのシグナルから求まるダークマター分布の向きが揃っているとの報告もあり (Shin et al. 2017)、シミュレーションの結果と比べることで銀河及び X 線表面輝度分布からダークマターハローの形状を推定する方法論の確立を目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T13a $z \sim 1$ までの銀河団ガスの鉄元素分布の進化

天海公志, 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大学)

赤方偏移と銀河団ガスの鉄のアバダンスの関係性を調べた研究は少ないながら行われてきている。Balestra et al. (2007) では、Chandra 衛星と XMM-Newton 衛星で観測した赤方偏移が $0.3 \leq z \leq 1.3$ の 56 個の銀河団を解析し、 $0.3 \leq z \leq 0.5$ と $z \geq 0.5$ の間でアバダンスの負の進化を発見した。また、Baldi et al. (2012) では、XMM-Newton 衛星で観測した赤方偏移が $0.4 \leq z \leq 1.4$ の 39 個の銀河団を、空間的に分割したアバダンスの解析を行った。コア周辺領域などで赤方偏移に対するアバダンスの負の進化の傾向が見られたが、有意な進化であると結論付けることが出来なかった。その後、Ettori et al. (2015) において、コアの外側では有意な進化は無く、クールコアをもつ銀河団のコアでは弱い負の進化があると報告されている。一方、Matsushita et al. (2011) より、XMM-Newton 衛星とすざく衛星の観測から鉄が銀河よりも大きく広がっていることが分かり、銀河団形成時の初期段階における鉄の合成についての議論も行われている。

本研究では、赤方偏移が $z \sim 1$ までの銀河団について、中心から r_{500} までを空間的に分割した鉄元素のアバダンスの解析を行った。解析した各領域において、赤方偏移とアバダンスの顕著な相関性は見られていない。元より銀河団のコアのアバダンスは大きなばらつきがあるため、エントロピーや温度、中心ガス密度などの他のパラメーターとの相関も調べた上で、銀河団での鉄のアバダンスの赤方偏移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](#)

T14a SDSS・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), 西道啓博 (カブリ IPMU/CREST), 高田昌広 (カブリ IPMU), 大栗真宗 (RESCEU/東大物理/カブリ IPMU), 宮武広直 (JPL/Caltech/カブリ IPMU), 白崎正人 (国立天文台), 高橋龍一 (弘前大学), Surhud More (カブリ IPMU), HSC collaboration

銀河団は宇宙最大の自己重力系天体であり、その形成・進化過程にはダークマターが主要な役割を果たす。現在進行中であるすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイを始めとした、広視野可視光撮像サーベイにより、均一かつ高赤方偏移までの銀河団のサンプル (Oguri 2014) と銀河団の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) の構築が可能になっている。

しかし、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、個々の銀河団の質量 M (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 λ) 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。本研究では、数値宇宙論シミュレーション (Nishimichi, et al. in prep) の高精度理論モデルと全天重力レンズシミュレーション (Shirasaki, et al. 2016, Takahashi, et al. 2017) による統計誤差の共分散行列推定を用いた、重力レンズ信号と銀河団数から $P(\ln \lambda | M)$ を導出する新しい手法を開発した (Murata, et al. in prep)。この手法を、SDSS 銀河団カタログ (Rykoff, et al. 2016) を適用し、 $P(\ln \lambda | M)$ の平均関係とばらつき関係をデータから制限したので、結果と考察を報告する。また、この手法を HSC CAMIRA 銀河団カタログ (Oguri, et al. 2017) に適用した結果も加え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](#)

T15a Subaru/HSC サーベイ領域にある重量級銀河団の X 線観測による質量推定 III

宮岡敬太、岡部信広、北口高雄、深澤泰司(広島大学)、大栗真宗(東京大学)、HSC Cluster Members

Hyper Suprime-Cam(HSC) サーベイ領域にある銀河団の多波長物理量の測定は、宇宙論や銀河団物理の研究において有益である。我々はサーベイ領域にある銀河団の *XMM-Newton* 衛星の X 線データから、ガスの温度や密度の半径分布を求め、静水圧平衡を仮定して全質量を求めた。サンプルは良い光子統計を得るため、*ROSAT* 衛星の MCXC カタログから近傍 ($z < 0.4$) かつ重量級 ($M_{500} \geq 2 \times 10^{14} M_{\odot}$) の銀河団 22 個を選定した。そのうち 10 個の銀河団を *XMM* に新しく観測提案し、現時点で全てのサンプルデータを得ている。

前回の年会(宮岡他、T22b)では、HSC サーベイで既に観測済みの 4 つの銀河団の *XMM* データから求めた X 線物理量と、弱い重力レンズ質量および可視光観測量との比較した結果を報告した。本講演では HSC サーベイの全領域に広がるサンプル銀河団の X 線物理量(ガス温度、ガス密度、全質量など)を報告する。ガス温度の半径分布は球対称を仮定し、光度で重み付けした重心位置から同心円環領域のスペクトルをバックグラウンドも支配的な領域も含めて同時にフィットして求めた。ガス密度の半径分布は PSF を畳み込んだ表面輝度分布モデルでフィットし、適切な単位換算のもと導出した。衝突途中のものや中心部でクーリングが卓越しているものは、基本のモデルでは観測量と合致しないためモデルに適宜修正を加えた。求めた温度と密度の半径分布から静水圧平衡を仮定し全質量を求めた。現時点で得られた結果から導出したガスフラクションの平均値は、宇宙平均のおよそ 80 – 90% となり先行研究と概ね矛盾しない結果を示している。

本講演では 22 個の銀河団の解析を進め、導出した X 線物理量および解析手法の特徴も交えて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T16a HSC-SSP サーベイ領域にある可視銀河団のX線フォローアップ計画

太田直美 (奈良女子大), 三石郁之 (名古屋大), 赤松弘規 (SRON), 一戸悠人 (首都大学東京), 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構), 大栗真宗 (東京大), 大谷花絵 (奈良女子大), 岡部信広 (広島大), 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), 渡邊翔子 (奈良女子大), 他 HSC 銀河団コラボレーション

広い赤方偏移範囲における銀河団の高温ガスの性質や質量を調べることは、宇宙の構造形成や宇宙論の研究にとって大きな意義を持つ。可視光領域では、すばる望遠鏡に搭載された Hyper Suprime Cam を用いて大規模な戦略性観測プログラム (HSC-SSP) が進められ、これまでのサーベイ観測データから $0.1 < z < 1.1$ に位置する約 2000 個の可視銀河団を含むカタログが構築されている (Oguri et al. 2017)。一方、X線観測からは、高温ガスの温度・光度など銀河団質量を反映する測定量や力学的進化の指標となる形態の情報を直接的に得ることができる。そこで、我々は HSC-SSP サーベイ領域にある可視銀河団の系統的な X線解析を行い、銀河団スケール則や力学的進化の調査を通じて今後の銀河団宇宙論に役立てることを目的として、X線フォローアップ計画を開始した。

まず、上述の可視銀河団カタログと RASS や 3XMM といった既存の X線カタログとの相関をとったところ、約 500 個の X線対応天体があることがわかった。そのうち、今回はリッチネス > 20 を持つ約 20 個の明るい銀河団 ($0.1 < z < 1$) を対象として、XMM-Newton 衛星のアーカイブデータの解析を行った。解析には、Miyaoaka et al. (2017) により開発されたツール XCASE を改訂して使い、スケール半径 R_{500} 内のガス温度、光度に加え、X線輝度の重心座標の可視光座標に対するシフトを求めた。本講演では、このようなパイロット研究の結果を報告し、X線フォローアップ計画の現状や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](#)

T17b 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

三石郁之 (名古屋大), 太田直美 (奈良女子大), 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 浜名崇 (国立天文台), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 一戸悠人 (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。現在 ~ 160 平方度領域をカバーした weak lensing 銀河団カタログの作成 (Miyazaki et al., in prep.) が進められ、 > 50 ものサンプルが含まれる。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。

まず我々は RASS, 3XMM カタログに着目し、対応 X 線ソースの有無を調べた。結果、RASS にて 14 天体、3XMM では 4 天体から有意な X 線シグナルが検出された。これらの天体のうち、RASS ソースは $1/14$, 3XMM ソースは $3/4$ が有意に広がっており、特に大きな広がりを持つ天体の X-ray morphology は非球対称分布を示し、その weak lensing 質量に対する X 線光度は、X 線にて選出された銀河団のスケール則と比較し暗いことが分かった。本講演では X 線にて未検出のサンプル情報も含め、詳細な解析結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [K会場]

U01a	10:30	宇宙はどのようにできたか 小堀しづ ()
U02a	10:42	軟 X 線背景放射は理解できているのか? - Chandra Deep Field の XMM-Newton と Chandra の結合解析 菊地貴大 (宇宙航空研究開発機構)
U03a	10:54	Probing cosmology and cluster astrophysics with cross-correlation of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect and weak lensing 大里健 (東京大学)
U04a	11:06	Vlasov-Poisson シミュレーションによる宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響 吉川耕司 (筑波大学)
U05a	11:18	赤方偏移空間におけるダークマターハローの3点統計 橋本一彦 (京都大学)
U06a	11:30	Dark Emulator Project I: 機械学習に基づく銀河空間相関量の高速予言 西道啓博 (東京大学)
U07a	11:42	Dark Emulator Project II: 赤方偏移空間におけるハローのクラスタリング統計 小林洋祐 (東京大学)
U08a	11:54	重力レンズ効果による Ia 型超新星の距離指数への影響 榊原日菜子 (名古屋大学)
U09c		Ia 型超新星とガンマ線バーストによる暗黒エネルギーの状態方程式に対する制限 一政遼太郎 (九州大学)
U10c		広がった光源に対する重力レンズ効果のモデリング 茂野智幸 (近畿大学)
U11a	12:06	Light deflection and Gauss-Bonnet theorem. I. Definition of total deflection angle 荒木田英禎 (日本大学)
U12b	12:18	Light deflection and Gauss-Bonnet theorem. II. Application to Schwarzschild and Schwarzschild-de Sitter spacetime 荒木田英禎 (日本大学)
U13c		非一様ビッグバン元素合成における Li, Be, B 生成 中村理央 (久留米工業大学)
U14b	12:18	CMB B mode による原初磁場の制限について 山崎大 (茨城大学)
U15b	12:18	ニュートリノ振動のメカニズム 小堀しづ ()
U16c		陽子のクォークのエネルギーは、陽子の質量エネルギーのおよそ1パーセントによりならないのはなぜか。高エネルギー加速器で得られた電磁気的束は、素粒子の中で、どのような状態であったか 小堀しづ ()

9月11日(月) 午後(14:30-16:30) [K会場]

U17a	14:30	EMRI における Kerr ブラックホールの地平面近傍での計量の二次摂動 山田慧生 (京都大学)
U18a	14:42	重力波と銀河の相互相関から大質量連星ブラックホールの起源に迫る 西澤淳 (名古屋大学)
U19a	14:54	銀河形状による初期三点相関の非等方性の検証 小粥一寛 (名古屋大学)
U20a	15:06	CMB 観測実験 POLARBEAR-1 による重力レンズ起源 B モード偏光測定の結果と将来の地上 CMB 実験 茅根裕司 (カリフォルニア大学)
U21a	15:18	宇宙マイクロ波背景放射の黒体放射からのズレによる原始磁場の制限 田代寛之 (名古屋大学)
U22a	15:30	Super-Survey Tidal Effects in the Redshift-space 秋津一之 (東京大学)
U23a	15:42	バリオン音響振動で探る初期パワースペクトルの特徴 堀口晃一郎 (名古屋大学)
U24a	15:54	Iterative algorithm を用いたバリオン音響振動の再構築 羽田龍一郎 (東北大学)
U25a	16:06	弱重力レンズ効果による CMB Cold Spot 方向の質量分布測定 樋口祐一 (ASIAA)
U26a	16:18	数値シミュレーションからの Fisher 情報量行列のノンパラメトリックな推定法 池田思朗 (統計数理研究所)

U01a 宇宙はどのようにできたか

小堀しづ

ビッグバンがおきた点に、宇宙の中心の 2.631×10^{13} 太陽質量のブラックホールができた。このブラックホールが宇宙の中心の回転点に成った。宇宙の半径が 10^5 光年の時代。電子のラブの公転軌道が 10^{-16} m の時代で、“ブラックホールの素子の時代”、宇宙の中心のブラックホールからジェットが噴出し、半径 2×10^5 光年の軌道に大きな質量の 10^{11} 太陽質量のブラックホールや 10^{10} 太陽質量のブラックホールや 10^9 太陽質量のブラックホールを作った。この大きな質量のブラックホールは後の時代に泡状銀河団の中心点に成る。宇宙の半径が 2×10^5 光年の時代。 10^{11} 太陽質量のブラックホールからジェットが噴出し、半径 3.178×10^4 光年の軌道に中位の質量の 10^7 太陽質量のブラックホールや 10^6 太陽質量のブラックホールや 10^5 太陽質量のブラックホールを作った。このブラックホールは後の時代に銀河の中心点に成ります。更に、この中位の 10^7 太陽質量のブラックホールからジェットが噴出し、半径 1.475×10 光年の軌道の中のダークマターを活性化し、たくさんの太陽質量の数倍のブラックホールを作った。このブラックホールが後の時代に第1世代の恒星に成った。宇宙の半径が 2×10^9 光年の時代はクエーサーの時代です。空間は 10^4 倍に成りました。宇宙の半径が 8×10^9 光年の時代は銀河の時代です。空間は 4 倍に成りました。たくさんのクエーサーはたくさんの恒星に成り、たくさんのクエーサー団はたくさんの銀河団に成りました。たくさんの泡状クエーサー団はたくさんの泡状銀河団に成りました。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U02a 軟X線背景放射は理解できているのか? — Chandra Deep Field のXMM-Newton と Chandra の結合解析

菊地 貴大、山崎 典子、満田和久 (宇宙科学研究所)

0.3 から 1keV バンドの軟X線背景放射 Soft X-ray Diffuse Background (SXDB) は、2-10keV の背景放射 (Cosmic X-ray Background, CXB) を低エネルギー側に外挿した系外点源 (AGN) の重ね合わせに加えて、真に空間的に広がった放射が存在し、それが全体の半分程度を占めると考えられている。これまでの観測から、太陽圏からの太陽風電荷交換反応による放射と銀画面から数 kpc に広がる銀河ハローの高温物質からの熱的な放射がその主要な成分であると考えられている (e.g. Yoshino et al. 2009)。しかし、これらに埋れて銀河系外の空間的に広がった放射が存在することも否定できない。現在の宇宙ではバリオン物質の多くは 100 万度程度の希薄な高温物質として宇宙の大規模構造にそって存在している (WHIM) と予想されている (e.g. Cen and Ostriker 1999)。もし存在すれば、WHIM からの放射は SXDB の 10% 程度を占めるものの、銀河系内の放射と区別できていない可能性も考えられる。我々は X 線 CCD 程度のエネルギー分解能で得られた X 線スペクトルの形から SXDB の起源を理解しようと試みている。2keV 以上のエネルギーでは CXB のエネルギースペクトルはよく調べられている。一方、1keV 以下の AGN の平均的なスペクトルは 2keV 以上に比べて steep になるため、CXB のスペクトルも steep になる可能性が指摘されるがどの程度 steep かはわからない。そこで、Chandra 衛星が検出した点源を XMM-Newton の視野から除き、残った XMM-Newton のスペクトルを調べる手法を研究している。CXB の不確定性を 0 にはできないが小さくできる。本講演では Chandra Deep Field で Chandra が検出した点源を除く事で、XMM-Newton が見た SXDB がどの程度減少するかということから、真に空間に広がった放射の強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](#)

U03a Probing cosmology and cluster astrophysics with cross-correlation of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect and weak lensing

大里健 (東京大学), Samuel Flender (Argonne National Laboratory), 白崎正人 (国立天文台), 永井大輔 (Yale University), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU)

熱的 Sunyaev-Zel'dovich (tSZ) 効果と弱重力レンズ効果は宇宙の大規模構造を探る上で重要な現象と考えられてきた。観測的宇宙論において、これらのパワースペクトルは物質分布を反映しており、重要な情報を含んでいる。先行研究ではパワースペクトルに加えて、この二つの現象の相互相関関数がさらに独立な情報を持っており、宇宙論パラメータの制限を改善する可能性が示唆されてきた。しかしながら、特に tSZ 効果について、ガス分布が活動銀河核などからのフィードバックや非熱的な圧力に強く影響を受けるため、精度の高い理論的なモデルを構築することは困難であった。本研究では、N 体シミュレーションと解析的なガス分布のモデルを併用した準解析的なモデルを用いて、相互相関関数が宇宙論パラメータに対する制限や銀河団中における非熱的な圧力の寄与を探る指標として情報を含んでいることを明らかにした。また、この相互相関関数を実際に測定した結果も発表されており (Hojjati et al. (2016))、この測定結果と本研究の準解析的なモデルを用いて、宇宙論パラメータや銀河団中の非熱的圧力の制限を行った結果も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a Vlasov-Poisson シミュレーションによる宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響

吉川耕司 (筑波大学), 田中賢 (筑波大学), 斎藤俊 (MPA), 吉田直紀 (東京大学)

宇宙には初期宇宙において他の成分から脱結合した多数の原始ニュートリノが存在するが、ニュートリノ振動の発見によってニュートリノは質量を持つことがわかり、原始ニュートリノの運動が宇宙大規模構造形成に与える影響とそれを利用したニュートリノ質量の観測的な測定が注目を集めている。

ニュートリノは非常に大きな速度分散を持つため、無衝突減衰によって大規模構造形成での密度ゆらぎの成長を抑制する働きをする。数値シミュレーションで宇宙大規模構造形成へのニュートリノの力学的影響を調べる研究では従来から N 体シミュレーションが用いられてきたが、 N 体シミュレーションでは内在するショットノイズのために無衝突減衰がどの程度精度良く取り扱えるかを評価するのが困難である。

この N 体シミュレーションの弱点を克服するために、我々は位相空間での物質の分布関数の時間発展を記述する Vlasov 方程式を直接数値積分する Vlasov-Poisson シミュレーションによってニュートリノの運動を数値シミュレーションすることを試みた。宇宙論的共動座標系での Vlasov 方程式の数値シミュレーションに適した定式化を行い、更に高次精度の数値移流スキームを新たに開発することで、質量を持つニュートリノを含む宇宙での大規模構造形成シミュレーションに初めて成功した。本講演では、Vlasov-Poisson シミュレーションの手法、密度ゆらぎのパワースペクトル・ダークマターハローの分布が質量を持つニュートリノから受ける力学的影響をこれまでの N 体シミュレーションの結果と比較しつつ紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a 赤方偏移空間におけるダークマターハローの3点統計

橋本一彦, 樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所), Yann Rasera (Paris Observatory)

現在の宇宙の加速膨張か、どのような機構によって実現されているのかは、現代の宇宙論に残された大きな謎の一つである。銀河の赤方偏移サーベイで観測される銀河分布の非等方性による重力理論の検証は、加速膨張の起源かタークエネルギーによるものか一般相対論の修正によるものかを明らかにするための鍵となる。これまで、赤方偏移サーベイの観測データの解析には主に、銀河の個数密度ゆらきの2点相関、あるいはそのフーリエ変換であるハワースヘクトルが用いられてきた。この2点相関と3点相関(ハイスヘクトル)を組み合わせると、2点相関のみの場合と比べ重力理論の制限を、弱非線形領域の情報にかきつても2倍程度強めることかできると示されている (Song et al. 2015)。昨年の講演では、質量密度ゆらきについて、N体シミュレーションの結果を高い精度で再現する3点統計の理論モデルの構築について報告した (Hashimoto et al. 2017)。ただし、実際に観測される銀河分布は質量分布のバイアスされたトレーサーであり、銀河バイアスの効果を適切に理論モデルに取り入れる必要がある。本講演では、シミュレーションにより生成した質量密度ゆらぎとハローの3点統計を比較することで、3点統計に現れるバイアスの効果を調べた結果や、このようなバイアスの効果をどのように理論モデルに取り入れるのが適切かを議論する。理論モデルが系統誤差なく宇宙論パラメータを推定できるか確かめ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](#)

U06a Dark Emulator Project I: 機械学習に基づく銀河空間相関量の高速予言

西道啓博, 高田昌広, 吉田直紀, 大木平 (Kavli IPMU), 大里健, 大栗真宗 (東京大学), 白崎正人, 浜名崇 (国立天文台), 高橋龍一 (弘前大学), 宮武広直 (NASA JPL/Caltech)

現在進行中のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC) による大規模銀河サーベイを舞台として、基礎的な宇宙論テストが進行しつつある。HSC が写し出す遠方銀河の精彩な像の統計解析により、手前の大規模構造が引き起こす弱重力レンズ効果が明らかになり、別途分光サーベイから得られたレンズ天体カタログとの共相関解析することにより、銀河が住む環境の不定性 (いわゆる銀河バイアス) と宇宙論的情報との縮退を解くことができる。

これを可能にするには、関連する統計量の高精度な理論テンプレートを宇宙論パラメタの関数として用意することが必要である。我々は、そのようなテンプレート構築のために、2015 年度より大規模な宇宙論的シミュレーションプロジェクトを開始し、2016 年春季年会においてその初期成果について発表した。そこでは、ラテン超方格に基づく多次元宇宙論パラメタ空間の効率的サンプリング、ガウス過程によるノンパラメトリックな回帰及び適切な交差検定により、暗黒物質ハローの基礎的な統計量を宇宙論パラメタの関数として高精度に予言する枠組みを紹介し、特にその時点での弱重力レンズ効果の予言精度について報告した。

今回の講演では、より大きな体積を有する数値シミュレーションを約 100 ラン加え、丁寧な誤差制御、実装の工夫による高速化を図り、Halo Occupation Distribution 模型によりシミュレーション中の暗黒物質ハローを観測される銀河と対応づけることで、銀河の重力レンズ効果と自己相関関数を予言する Dark Emulator を完成させた。本講演では天球面上に射影した 2 次元相関量に対する Dark Emulator の予言精度について議論する。なお、この拡張として赤方偏移空間における 3 次元クラスタリングについても別途報告する (本年会、小林ほか)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a Dark Emulator Project II: 赤方偏移空間におけるハローのクラスタリング統計

小林洋祐、西道啓博、高田昌広 (Kavli IPMU)

銀河は一般に、周囲のダークマターがつくる重力場に従って、特異速度をもって運動している。分光観測で測定される銀河の赤方偏移は、Hubble 膨張の寄与と共に、特異速度の視線方向成分の寄与も含む。そのため、観測で得られる赤方偏移空間上の銀河クラスタリングは、視線方向との角度依存性をもつ非等方なクラスタリングとなる。赤方偏移歪み (RSD) と呼ばれるこの効果は、銀河クラスタリングの情報を歪めてしまう一方で、宇宙の重力場を直接反映するプローブとして重要な役割を担っている。

銀河分光サーベイで得られる銀河のクラスタリングは RSD の効果を受けているので、観測がもたらす銀河クラスタリングの情報を効果的に宇宙論に利用するためには、RSD を取り入れたクラスタリングの理論モデルを構築することが必須である。ところが現状、銀河形成の物理過程が十分に解明されていないために、銀河分布の第一原理的なモデリングが不可能であることから、銀河に代えてハローのクラスタリングを調べる研究が広く行われている (例えば Nishimichi & Taruya 2011)。

我々は大規模な宇宙論的構造形成シミュレーションに基づき、統計量を機械学習によって予言する Dark Emulator Project を推進している (今年会、西道ほか)。本研究ではその一環として、RSD の効果を取り入れたハローのクラスタリング統計量を多次元宇宙論パラメータ空間上で予言する理論テンプレートを構築している。6つのパラメータで指定される宇宙論に基づくシミュレーションの結果から、赤方偏移空間のハローのパワースペクトルを測定し、ガウス過程回帰を用いて、パワースペクトルの単極成分及び四重極成分の宇宙論パラメータ依存性を予言する手法を開発した。本講演においてその詳細を述べ、構築した理論モデルの予言能力について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a 重力レンズ効果による Ia 型超新星の距離指数への影響

榊原日菜子, 西澤淳 (名古屋大学)

Ia 型超新星は光度の時間変化と最大光度との関係が既知であるため、標準光源として優れた性質を持っている。1998 年に Ia 型超新星の観測から宇宙の加速膨張の証拠が発見されて以来、数々の観測から宇宙論パラメータの推定が行われてきた。Ia 型超新星の観測から宇宙論パラメータを推定するためには距離指数と呼ばれる量を用いる。距離指数は天体の見かけの等級と絶対等級との差で定義され、光度距離を用いることで理論的に計算される。

距離指数の観測値は理論値の周りに分散を持って分布している。この分散の原因の一つとして重力レンズ効果による magnification が考えられる。本研究では大規模構造による magnification を N 体シミュレーションにより推定し、その結果、赤方偏移がおよそ 1 の光源の場合において magnification は最大 3% 程度となることが分かった。また、重力レンズサーベイ (CFHTLenS) のデータから 2 次元質量密度を再構築し、得られた convergence と Ia 型超新星の距離指数との相関を調査したが、明確な相関は見られなかった。これは弱重力レンズ近似を仮定したことが一因であると考えられるため、より一般的なセットアップで magnification を評価する方法について議論する。さらに本発表では、重力レンズ効果による magnification の影響を補正した上で、Ia 型超新星の観測 (SNLS) のデータから MCMC 法を用いて宇宙論パラメータを制限し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](#)

U09c Ia型超新星とガンマ線バーストによる暗黒エネルギーの状態方程式に対する制限

一政遼太郎, E.P.B.A. Thushari, 中村理央, 橋本正章 (九州大学)

暗黒エネルギーの状態方程式 w がどのように変化してきたのかを明らかにする事は現代宇宙論の一つの大きな課題である。状態方程式がどのような値をとるかというのは暗黒エネルギーのエネルギー密度の時間変化に対して直接的な影響を与える。静的な暗黒エネルギーはアインシュタインによって導入されたが、近年はクインテッセンス $w > -1$ やファントム ($w < -1$) 等の動的な暗黒エネルギーを記述するモデルが盛んに研究されている。近年の観測結果によると、現在の状態方程式の値は -1 よりも小さい、つまりファントムのように振る舞っていると言われている。しかし、動的な暗黒エネルギーを記述するモデルは多く存在しているためそれら各々の妥当性を確かめる必要がある。そこで、我々は Mörtzell によって提唱された2つの極限值を持つ状態方程式を採用し、暗黒エネルギーの振る舞いについて調査を行った。Ia型超新星の $m-z$ relation に加え、近年盛んに研究されているガンマ線バーストも採用し、Malkov Chain Monte Carlo 法を用いて制限を行った。その結果、現在近傍ではクインテッセンスのように振る舞い、赤方偏移が $z > 0.5$ の領域ではファントムのように振る舞うような暗黒エネルギーが最もよく観測を再現する事が分かった。さらに、ファントム ($w < -1$) からクインテッセンス ($w > -1$) に時間変化するようなモデルを 2.4σ の信頼度で除外した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U10c 広がった光源に対する重力レンズ効果のモデリング

茂野智幸 (近畿大), 井上開輝 (近畿大)

宇宙空間に広がっているダークマターやバリオンの分布を調べるために重力レンズモデルを作成することは有用である。観測データ（光源として主にクエーサーとそのホスト銀河を考える）からレンズ銀河とその摂動の影響のモデリングを行うにあたり、今までの方法の多くは、光源の輝度分布として円対称もしくは楕円対称なガウス分布の集合体を仮定し、重力源として暗い暗黒矮小銀河に対応する摂動体を一つ（特異等温楕円球モデルなど）考慮するものである。しかしレンズ銀河と周りの銀河団に加え、どのような重力源が摂動を引き起こしているか不明である。より現実的なモデルに近づけるためには複雑な摂動体を考慮する必要がある。そのために我々は次のような方法をとる。逆像である光源の輝度分布はレンズ像の線形結合により直接求め、重力源としてなめらかな任意関数（正弦波）で表される重力ポテンシャル摂動（ただしレンズ面に置くものとする）を仮定する。これにより、輝度分布が不明の広がった光源に対し、レンズ銀河からのずれ、サブハロー、視線方向のハローといった複雑な摂動の効果の影響を調べる事ができる。モデリングの精度向上と有用性拡大のために、アダプティブメッシュによる計算速度の向上を図る。予め用意した重力レンズシステムの再現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](#)

U11a Light deflection and Gauss–Bonnet theorem. I. Definition of total deflection angle

荒木田英禎（日本大学）

宇宙定数 が重力場中における光の湾曲に影響を与えるかという問題は、未だ決着を見ない古くて新しい問題である。長らく、 は光の曲がりには影響しないものと考えられてきたが、Rindler and Ishak (Phys. Rev. D, 76, id. 043006, 2007) により、宇宙定数が光の湾曲に寄与するとする論文をきっかけに、この基本的問題への関心が高まっている。

この問題を解決すべく、これまでも様々な手法や仮定のもとに研究がなされてきたが、この問題が解決に至らない大きな理由は、宇宙定数を含む Schwarzschild–de Sitter 時空は漸近的に平坦にならないため、ユークリッド幾何学の平行線公準（公理）が成り立たず、Schwarzschild 時空で行うような無限遠の観測点における光の曲がり角の2倍を全曲がり角とおくことができないという事情が背景にあり、「そもそも光の全曲がり角とは何か？」という本質的な問題が解決されないためである。

本研究では、静的・球対称時空を仮定し、光源と観測者が Schwarzschild 時空のような漸近的平坦な時空の無限遠の領域にある場合だけではなく、両者が漸近的平坦な時空の有限距離に位置する場合や、Schwarzschild–de Sitter 時空のように、時空が漸近的に平坦にならない場合でも成り立つ光の全曲がり角の定義を提案する。そして、この光の全曲がり角の定義と Gauss–Bonnet の定理を出発点として得られた光の全曲がり角を計算するための2つの方法について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U12b Light deflection and Gauss–Bonnet theorem. II. Application to Schwarzschild and Schwarzschild–de Sitter spacetime

荒木田英禎（日本大学）

本講演では、口頭講演で示した光の全曲がり角の定義と Gauss–Bonnet の定理から得られる 2 つの計算公式を用いて、Schwarzschild 時空と Schwarzschild–de Sitter 時空における光の全曲がり角を計算し、これら 2 つの計算公式が等価な結果を与えることを具体的に示す。

Schwarzschild 時空の場合は、観測者と光源が有限距離にある場合の全曲がり角を中心天体の質量 m の 2 次のオーダー $\mathcal{O}(m^2)$ で計算する。そして、観測者と光源が時空の平坦な無限遠の領域に位置するという極限で Epstein–Shapiro の式を再現することを示す。

一方、Schwarzschild–de Sitter 時空の場合は、質量 m の 2 次 $\mathcal{O}(m^2)$ 、および宇宙定数 Λ の 1 次 $\mathcal{O}(\Lambda)$ と m と Λ の混合項 $\mathcal{O}(\Lambda m)$ までの結果を示す。

光の曲がり角の計算における Gauss–Bonnet の定理の応用の先行研究としては Gibbons and Werner (CQG 2008) による Schwarzschild 時空への応用、Ishihara *et al.* (PRD 2016) による Schwarzschild–de Sitter 時空への応用があるが、これら先行研究と本研究の相違点についても簡単に述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U13c 非一様ビッグバン元素合成における Li, Be, B 生成

中村理央 (久留米工業大学、九州大学), 橋本正章 (九州大学)

ビッグバン元素合成 (BBN) は、宇宙初期に起こった軽元素の生成機構であり、高温 ($T > 10^8$ K) の状況下で水素, He, Li までが生成される。標準的な BBN では密度分布が一様と仮定している。一方で、非一様な物質分布を仮定している非一様 BBN の研究も行われており、高密度領域の物質密度によっては、Ni, Eu などの重元素も生成される (Matsuura et al. 2005; R.N. et al. 2013)。

本研究では、非一様 BBN モデルにおいて、Li, Be, B が生成されるかどうかを調査した。高密度領域のバリオン-光子数密度比の値を、先行研究 (Boyd & Kajino 1989) よりも高い $10^{-9} - 10^{-5}$ とし、両領域の元素合成計算を行った。 ^4He と重水素の観測と矛盾しないパラメータの範囲内で、 ^7Li , ^9Be , ^{11}B がどの程度生成されるかを調べた結果、 ^{11}B の量が観測 (R. J. García López et al. 1998) とほぼ同程度生成されたが ^9Be についてはほとんど生成されなかった。講演では ^7Li の値もふくめて、詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14b CMB B mode による原初磁場の制限について

山崎大 (茨城大学)

宇宙背景放射 (Cosmic Microwave Background: CMB) の偏光揺らぎには、ある点から湧き出すような形状の E mode と、渦状になっている B mode がある。

比較的大きいスケールの B mode のソースは、インフレーション時の情報を内包する背景重力波が有力な候補である。一方、比較的小スケールの B mode のソースは、Weak lensing (WL) effect 由来と原初磁場由来がある。

B mode における WL effect は、宇宙全体に分布するポテンシャルの揺らぎによる CMB 光子の経路変化によって生じる。ポテンシャルの揺らぎは、物質密度場の揺らぎをもとに作られるが、原初磁場は摂動的な効果と背景場的な二つの効果により、物質密度場揺らぎに影響する。原初磁場の摂動的な効果は、比較的小さいスケールの揺らぎを付け足すものに対し、背景場的な効果は、比較的大きいスケールの揺らぎの空間分布の形状そのものを変化させる。具体低に説明すると、揺らぎのピークの位置を小さいスケールにシフトさせ、さらに、揺らぎ周辺より小さいスケールの揺らぎを小さくする。以上から、原初磁場は、間接的に WL effect 由来の B mode に影響を与える。

原初磁場は直接 B mode のソースにもなるため、比較的小スケールの観測から原初磁場を効率よく制限できる可能性がある。当発表では、以上を踏まえ、現在利用できる B mode の観測データを用いた原初磁場の制限について議論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](#)

U15b ニュートリノ振動のメカニズム

小堀しづ

ミューニュートリノは‘変身’し、エネルギーの大きいニュートリノに成る場合、地球の中の場のエネルギーを付加する。ミューニュートリノのエネルギーは $3.044 \times 10^{-14} \text{J}$ で、 1.264×10^{15} 個の電磁気よりできている。ミューニュートリノの電磁気1個のエネルギーは、 $2.409 \times 10^{-29} \text{J}$ で、電磁気の公転軌道は $5.118 \times 10^{-13} \text{m}$ です。マグマを通過したとき、電磁気がミューニュートリノに加わり、ミューニュートリノのエネルギーを増加した場合。マグマの温度を 1200 とする。マグマの A は、 $A=1200/2=3.464 \times 10$ 、です。この場の電子のラブの公転軌道は、 $1.058 \times 10^{-10} \text{m} \div (3.464 \times 10) = 3.054 \times 10^{-12} \text{m}$ です。電磁気1個のエネルギーは、 $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div (3.054 \times 10^{-12} \text{m}) = 4.037 \times 10^{-30} \text{J}$ です。ミューニュートリノの電磁気の軌道は $5.118 \times 10^{-13} \text{m}$ であるので、この電磁気の軌道の上にマグマの場の $3.054 \times 10^{-12} \text{m}$ の軌道の電磁気が束に成り、付加する。付加したマグマの場の電磁気の個数を x 個とすると、ミューニュートリノのエネルギー + 付加したマグマの場の電磁気のエネルギー = 変身したニュートリノのエネルギー $3.044 \times 10^{-14} \text{J} + x \times 4.037 \times 10^{-30} \text{J} =$ 変身したニュートリノのエネルギー $x = (\text{変身したニュートリノのエネルギー} - 3.044 \times 10^{-14} \text{J}) \div (4.037 \times 10^{-30} \text{J})$ 。ミューニュートリノがタウニュートリノに成るには、 $(\text{タウニュートリノのエネルギー} - \text{ミューニュートリノのエネルギー}) \div \text{マグマの場の電磁気1個のエネルギー} = (2.916 \times 10^{-12} \text{J} - 3.044 \times 10^{-14} \text{J}) \div (4.037 \times 10^{-30} \text{J}) = 7.149 \times 10^{17} (\text{個})$ 、付加した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U16c 陽子のクオークのエネルギーは、陽子の質量エネルギーのおよそ1パーセントによりならないのはなぜか。高エネルギー加速器で得られた電磁気の束は、素粒子の中で、どのような状態であったか

小堀しづ

陽子のクオークを、1.7MeVのuクオークと3.1MeVのuクオークと5.7MeVのdクオークとする。陽子のラプの質量エネルギー = 陽子の中の他の電磁気の束のエネルギー + 1.7MeV + 3.1MeV + 5.7MeV 陽子の中の他の電磁気の束のエネルギー = 陽子のラプの質量エネルギー - (1.7MeV + 3.1MeV + 5.7MeV) = 938.272MeV - (10.5MeV) = 927.772MeV $927.772 \text{ MeV} = 927.772 \times 1.602 \times 10^{-13} \text{ J} = 1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ 陽子の中の他の電磁気の束のエネルギーは合計で、 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ です。陽子の中の他の電磁気の束のエネルギーは $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ で、これを、陽子の中の最大エネルギーの電磁気の束と見做す。 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気はどのようになったか。 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気の軌道は、 $1.233 \times 10^{-41} \text{ Jm} \div (1.486 \times 10^{-10} \text{ J}) = 8.297 \times 10^{-32} \text{ m}$ です。陽子のラプ大きさは、 $1.233 \times 10^{-41} \text{ Jm} \div (1.503 \times 10^{-10} \text{ J}) = 8.204 \times 10^{-32} \text{ m}$ で、 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気の軌道は $8.297 \times 10^{-32} \text{ m}$ なので、 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気は陽子のラプの周囲を回転し(陽子のラプ + $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気)と成り、放出する。陽子のラプの比重は、 7.293×10^{66} であるので、 $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気は、(陽子のラプ + $1.486 \times 10^{-10} \text{ J}$ の電磁気)と成り、陽子のラプと共に放出し、検出できない。・素粒子の中のクオークや他の電磁気の束の回転は、素粒子の中の電磁気の軌道で行われる。図示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U17a EMRI における Kerr ブラックホールの地平面近傍での計量の二次摂動

山田慧生, Adam Pound (University of Southampton), 田中貴浩 (京都大学)

Advanced LIGO による重力波の初検出を皮切りに、重力波天文学の幕開けが目前に迫っている。本研究では、LISA の観測対象の一つである Extreme Mass-Ratio Inspirals (EMRIs) に注目する。

EMRI として、質量 M の銀河中心の巨大ブラックホール (SMBH) 周りを運動する質量 μ のコンパクト天体 (衛星) の系が考えられる。このような連星系は質量比 ($\varepsilon \equiv \mu/M \ll 1$) の展開によるブラックホール摂動 (BHP) を用いて解析的に調べることができる。EMRI は重力波放射が微弱であり、LISA の観測期間に衛星がおよそ 10^6 回という非常に多くの軌道運動を行うことから、幾周期にもわたる重力波を観測することが可能である。そのため、ブラックホール (BH) 周りの時空を探索・検証するにふさわしく重力理論の検証に極めて重要な役割を担っている。ところが、LISA の観測期間に重力波放射に伴うエネルギーと角運動量の損失が時間とともに蓄積し、計量の二次摂動が重力波の位相に $O(1)$ の寄与を及ぼすため、これを議論する必要がある。

EMRI に関して、二次摂動まで考慮した際、その境界、すなわち、無限遠方及び SMBH の地平面近傍において摂動が見かけの発散を起こすことが知られている。前者については弱場近似における一般解と釣り合わせることでこれを取り除く手法が確立されている。そこで、我々は BH の地平面近傍における境界条件を求めることを目的として、地平面近傍の発散に注目することで、Schwarzschild BH に対する摂動の振る舞いを紹介し、Kerr 時空への拡張について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U18a 重力波と銀河の相互相関から大質量連星ブラックホールの起源に迫る

西澤淳, 西澤篤志, 黒柳幸子 (名古屋大学)

2016年に連星ブラックホールによる重力波が世界で初めて報告され、現在(2017年6月)までに3件の観測事実が報告されている。今後、重力波観測装置の感度向上などに伴い、更に多数のイベントが観測されると期待される。観測された重力波の波形から推定される連星ブラックホールの質量は太陽質量の数十倍もある大質量のブラックホールであった。

このような大質量のブラックホールが形成されるシナリオは未だに理解が不十分であるが、一般的に低金属量の恒星は、ブラックホール形成前の恒星風による質量損失が少なく、比較的大質量のブラックホールを形成すると考えられている。一方で、重力波観測の天球面上での位置決定精度は現在のところ絶望的であり、また、理論的にもブラックホール連星の衝突時に発生する電磁波対応イベントがないことから、連星衝突に限れば重力波対応天体を直接電磁波で観測することでホスト銀河の性質に迫ることは、事実上不可能である。

そこで、我々はある特定の種族の銀河の空間的な分布と、複数の重力波源の存在確率分布との相互相関信号に着目し、重力波源となる銀河種族に示唆を与える手法を考案した。我々は、SDSS DR7の銀河を測光的赤方偏移推定で得られた物理量から様々な銀河種族に分類し、各種族の銀河の空間分布と、モデルにより生成された重力波の空間確率分布との相互相関について解析した。講演ではその手法の詳細と相互相関信号の結果について報告し、本解析に必要な重力波源の個数や空間分解能について、将来観測への示唆などを含め議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U19a 銀河形状による初期三点相関の非等方性の検証

小粥一寛 (名古屋大学), 松原隆彦 (高エネルギー加速器研究機構), 西澤淳 (名古屋大学), 浦川優子 (名古屋大学)

インフレーション中に何らかの非線形な物理過程があることで、初期ゆらぎに非線形効果が生じる。超弦理論においてその存在が示唆されているスピン 2 以上の場がインフレーション中に存在する場合には、背景宇宙は等方的であるが、初期三点相関には二つの波数の間の角度依存性に由来する非等方性が現れることが知られている (Arkani-Hamed&Maldacena, 2015)。この非等方性は、銀河形状の観測により検証可能であることが Schmidt et al.(2015) によって示された。背景が大域的に等方的である場合は一般に、スピン 1 のベクトル場がインフレーション中に存在しても、その揺らぎは減衰してしまうため、初期三点相関の非等方性の起源はスピン 2 以上の場によるものとなる。

一方、インフレーション中に、背景宇宙の等方性を破るベクトル場が存在する場合 (e.g. 非等方宇宙) には、ベクトル場の揺らぎは減衰することなく観測可能な非等方性を生じる可能性がある。この場合には、初期三点相関に、ベクトル場の方向依存性に由来する大域的等方性を破る寄与が現れる。

本研究では、銀河形状の観測を通じて、これら 2 つのモデルが区別できるかどうかを検証した。その結果、後者のモデルでは、銀河の intrinsic alignment として、前者では見られなかった B モード及び多重極モーメント l の非対角成分が生成されることがわかった。また、弱い重力レンズ効果も考慮した場合の将来観測によるモデルの識別可能性を検証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](#)

U20a CMB 観測実験 POLARBEAR-1 による重力レンズ起源 B モード偏光測定の新結果と将来の地上 CMB 実験

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU) 金子大輔 (Kavli IPMU), 高倉理 (阪大理学部), 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), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR-1 実験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-1 は、超高感度な 1274 個の超伝導検出器 (transition-edge sensor, TES) と口径 3.5 m の専用望遠鏡 (FWHM=3'5) を用いることで、インフレーションの証拠となる原始重力波起源 B モード偏光 (2 度角以上の大角度スケール)、およびニュートリノ総質量に感度を持つ重力レンズ起源 B モード偏光 (数分角程度の小角度スケール) の両方を測定することが可能な実験である。2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モード偏光に焦点を当てた観測、それ以降は原始重力波起源 B モード偏光に特化した観測を実施してきた。

2014 年春季年会に於いて、初年度のデータ解析による世界で初めての重力レンズ起源 B モード偏光の自己相関スペクトルを報告して以来、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。本発表では 2012 年から 2014 年までの全てのデータを使った重力レンズ起源 B モード偏光測定に関する最新結果を報告する。また、建設が進行中の Simons Array、将来計画である Simons Observatory 及び CMB-S4 実験についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U21a 宇宙マイクロ波背景放射の黒体放射からのズレによる原始磁場の制限

田代寛之 (名古屋大学), Tanmay Vashaspati (Arizona State University)

現在、数多くの初期宇宙モデルにおいて、原始磁場の生成が予言されている。そのため、原始磁場に対する観測的制限を得ることは、宇宙に普遍的に存在する磁場の進化を理解するだけでなく、初期宇宙物理の検証にもなりえる。原始磁場の代表的な制限の一つに、原始磁場の宇宙の熱史に関する影響により見積もられた制限が挙げられる。しかしながら、これまで原始磁場の影響として、磁場のエネルギー散逸という宇宙の熱史における熱源としての影響しか考慮されてこなかった。しかし、磁場が冷却機構としても有効であることは、様々な高エネルギー天体現象において観測されていることから明らかである。そこで本講演では、宇宙論における磁場の冷却機構としての役割に注目する。この冷却機構は初期宇宙において非常に重要となり、その結果、宇宙マイクロ波背景放射の周波数スペクトルにおいて、黒体放射のズレを作ることを示す。さらに、現在の黒体放射からのズレの観測結果より、初期宇宙では現在の磁場の強度で1ナノガウス以上の磁場の存在が許されないことを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U22a Super-Survey Tidal Effects in the Redshift-space

秋津一之, 高田昌広 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)

現在の宇宙に存在する豊かな階層構造は、インフレーション中に生成された原始ゆらぎが重力不安定性によって成長することで形成されてきたと考えられている。この構造形成の物理を理解する上で大きな問題となるのは、重力による非線形成長である。この非線形成長を追うための有力な理論的手法としては、 N 体シミュレーションがある。 N 体シミュレーションは、運動方程式とポアソン方程式を数値的に解く手法であり、密度ゆらぎの非線形成長を第一原理的に追えるのが利点である。しかし、シミュレーションは有限体積で行われ、周期境界条件を課すことから、シミュレーション体積を超える長波長ゆらぎは無視されているという問題がある。そのため、このような長波長ゆらぎが、重力によるモードカップリングによって短波長ゆらぎに与える影響については長年謎であった。それに加え、観測においても、銀河サーベイは有限体積で行われるため、サーベイ領域のスケールを超えるような長波長ゆらぎを直接観測することはできないという難点もあった。

このような長波長ゆらぎは Super-Survey modes と呼ばれ、その等方的な効果についてはこれまでも研究されてきた。しかし、その非等方的な効果についてはほとんど研究されてこなかった。そこで、本研究では、摂動論を用いてこの Super-Survey modes の影響を非等方的な効果まで含めて定式化し、観測に与える影響を見積もった。具体的には、赤方偏移空間歪みに対する影響と Alcock-Paczynski 効果に対する影響を評価し、特に前者については $k = 0.2[h/\text{Mpc}]$ 以上になると、エラーとして重要になりうることを見出した。また、後者については Super-Survey modes の非等方的な効果が、他の宇宙論パラメタとどのように縮退しうるかを調べた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U23a バリオン音響振動で探る初期パワースペクトルの特徴

堀口晃一郎

初期宇宙ではバリオンと光子がトムソン散乱により強く結合して運動し、宇宙初期の密度ゆらぎに振動を生む。これらの振動は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の角度パワースペクトルやバリオン音響振動 (BAO) と呼ばれる銀河の相関に現れる振動として観測されている。これらの観測は宇宙初期の密度ゆらぎの初期パワースペクトルを探るツールとして非常に強力である。更に CMB アノマリと呼ばれる CMB のパワースペクトルの理論値からの差異からは大規模スケール (100Mpc 以上) での初期スペクトルの特徴的な振る舞いが示唆される。本研究では、これらの初期スペクトルの振る舞いが BAO に影響を与え得ることを Markov-Chain Monte-Carlo 解析を用いて示唆した。本発表では初期スペクトルのパラメトリゼーションや影響の見積もりなどを、BAO とのデータとの関連を絡めて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U24a Iterative algorithm を用いたバリオン音響振動の再構築

羽田龍一郎 (東北大学, CfA), Daniel Eisenstein (CfA)

バリオン音響振動 (BAO) を用いた宇宙論的な距離の精密測定は、ダークエネルギーに代表される宇宙論パラメータの制限において非常に重要な位置を占めている。BAO のシグナルは銀河の二点相関関数において 150 Mpc の辺りにピークとして現れるが、密度揺らぎの重力非線形成長や赤方偏移歪みの影響により銀河が元々の位置から移動してしまうことで、ピークは均されてしまう。

このシグナルが弱まる現象は、主に大スケールのフローによって引き起こされていることが知られている。そのため、銀河サーベイから得られた密度分布に対してゼルドビッチ近似を適用することで初期の位置からの変位を求め、各銀河の位置をその分だけ元に戻すことで、ある程度 BAO のピークを再構築することができる。

しかし、現在 BOSS や PFS などの大規模な銀河分光サーベイプロジェクトが進行中であり、近い将来より精密な距離測定が期待されることを踏まえると、従来使われてきた上記の BAO の再構築法を改善する必要がある。そこで、本研究では Monaco & Efstathiou (1999) で提唱された iterative algorithm に基づいて BAO の再構築を行い、real-space と redshift-space の両方において従来の方法との比較を行った。また、変位を計算する際に用いる smoothing filter の最適化についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U25a 弱重力レンズ効果による CMB Cold Spot 方向の質量分布測定

樋口祐一 (ASIAA), 井上開輝 (近畿大学)

宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎの観測データには 3σ 程度の有意性で非ガウスの性質が存在していることが知られている。その一つが Cold Spot と呼ばれる 10 度スケールに渡って温度が $\sim 100\mu\text{K}$ 低くなっている領域の存在である (Vielva et al. 2004, Planck Collaboration et al. 2014)。その起源として低赤方偏移に存在する半径 $R \sim 200h^{-1}\text{Mpc}$ の巨大なボイドが提唱されており (Inoue & Silk 2006)、最近の photo- z を用いた観測によりその存在の可能性が示唆されている (Szapudi et al. 2015)。しかし、Szapudi らの観測結果には photo- z の誤差など様々な不定性があるため、その存在は確実ではない。そのため、その存在を検証するには重力レンズを用いた質量分布の直接測定が有用であると考えられる。我々は N 体シミュレーションの結果を使ったレイトレーシングシミュレーションを用いて弱重力レンズ効果による巨大な低密度領域の重力レンズシグナルの観測可能性を検証した。解析の結果、巨大な低密度領域は複数の小さなボイドが集まってできている可能性があり、すばる望遠鏡の観測装置 Hyper Suprime-Cam などを用いれば $S/N \sim 5$ でその重力レンズシグナルを検出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](#)

U26a 数値シミュレーションからの Fisher 情報量行列のノンパラメトリックな推定法

池田思朗 (統数研), 西道啓博 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学)

大規模な観測から宇宙論的情報を引き出す問題は、統計学の推定の問題とみなすことができる。推定の理論では、どのような統計量に着目するかを決め、その統計量を基に推定の方法を議論する。最適な推定を行えば、推定量の分散は漸近的に Fisher 情報量行列の逆行列によって下から押さえられることが Cramer-Rao の定理によって示されており、このことから Fisher 情報量行列を計算することは推定の限界を知るために重要である。

確率分布の解析的な形が与えられれば Fisher 情報量行列は解析的に求まる。しかし、宇宙論の問題では分布関数は与えられない。数値シミュレーションを用いた宇宙論の議論では、統計量を決め、複数の宇宙論パラメータに基づき数値シミュレーションを行い、その結果得られる統計量の分散共分散構造をもとに Fisher 情報量行列を求める方法が取られている。しかし、分散共分散行列が Fisher 情報量行列と一致するのは、その統計量が十分統計量の場合のみであり、確率分布の形がわからない場合、この2つが一致する理論的保証はない。

我々は宇宙論パラメータから Fisher 情報量行列を求めるための新たな方法を提案する。80年代に情報幾何学で提案された α ダイバージェンスという2つの確率分布間の距離を表す関数は、パラメータの摂動に対する2次形式を考えると、計量が Fisher 情報量行列となることが知られている。そこで、統計量を定め、パラメータに摂動を加え、 α ダイバージェンスをノンパラメトリックに推定し、計量を推定することから Fisher 情報量を推定する方法を提案する。提案する方法を用い、具体的な統計量に対する Fisher 統計量の計算結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [A会場]

V101a	10:30	野辺山 45m 電波望遠鏡の開発・整備進捗状況	南谷哲宏 (国立天文台)
V102b	10:42	野辺山 45m 電波望遠鏡の FOREST 受信機における新機能紹介と性能評価報告	松尾光洋 (国立天文台)
V103b	10:42	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	岡田望 (大阪府立大学)
V104b	10:42	ROACH ボードを用いたデジタル分光計の開発	藏原昂平 (鹿児島大学)
V105a	10:54	NRO レガシープロジェクト COMING(10):自動リダクションシステムの開発	田中隆広 (筑波大学)
V106a	11:06	野辺山 45m 電波望遠鏡複周波数バンド同時観測プロジェクト (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented)	澤田-佐藤聡子 (鹿児島大学)
V107a	11:18	野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの搭載試験	永井 誠 (国立天文台)
V108a	11:30	野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの解析ハイフライン	Zhai Guangyuan (筑波大学)
V109a	11:42	建設後 25 年になる水沢 10m 電波望遠鏡の現状と性能向上について	亀谷收 (国立天文台)
V110a	11:54	那須観測所における、V404 や Cyg X-3 の電波バースト観測	遊馬邦之 (早稲田大学)
V111a	12:06	広帯域フィードの開発 (XII)	氏原秀樹 (情報通信研究機構)
V112b	12:18	山口干渉計とそれを用いた fast radio burst 相乗り探査体制の構築状況	青木貴弘 (山口大学)
V113b	12:18	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)
V114b	12:18	大阪府大 1.8 m 電波望遠鏡の K 帯給電系開発と気球 VLBI 実験	保田大介 (大阪府立大学)
V115c		VERA-upgrade 計画の進捗 I	小山友明 (国立天文台)

9月11日(月) 午後(14:30-16:42) [A会場]

V116a	14:30	ALMA の運用 (11) と拡張計画 (5)	井口聖 (国立天文台)
V117a	14:42	Assessing the Future Capability of ALMA at 50 km Baselines	Toshiki Saito (NAOJ)
V118a	14:54	Work for ALMA band 2+ and band 2+3 receiver optics at NAOJ	Gonzalez Alvaro (NAOJ)
V119a	15:06	高臨界電流密度接合を用いた IF 広帯域 SIS ミクサ-プリアンプモジュール	小嶋崇文 (国立天文台)
V120a	15:18	ALMA Band 7+8 帯 (275-500 GHz) SIS ミクサの開発状況とデュアルバンド評価システムの構築	上水和典 (国立天文台)
V121b	15:30	金属 3Dprinter 技術を用いた Band1 周波数帯 (35-50GHz) コンポーネントの試作	金子慶子 (国立天文台)
V122b	15:30	ALMA Band 7+8 (275 - 500 GHz) 導波管型 2SB ユニットの設計と評価	山屋陽香 (電気通信大学)
V123b	15:30	Wideband waveguide power combiner for ALMA Band 7+8 (275-500 GHz) Local Oscillator	Gonzalez Alvaro (NAOJ)
V124a	15:42	国立天文台電波望遠鏡データアーカイブの構築計画	小杉城治 (国立天文台)
V125a	15:54	ALMA パイプラインの現状 6: Cycle4 の運用状況と Cycle5 へ向けて	三浦理絵 (国立天文台)
V126a	16:06	ALMA サイクル 5 に向けた単一鏡データ解析パイプラインの開発	杉本香菜子 (国立天文台)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V127b	16:18	野辺山 45m 電波望遠鏡観測データアーカイブの開発	吉野彰 (国立天文台)
V128c		ALMAWebQL v3: a technology preview	Yuji Shirasaki (NAOJ)
V129b	16:18	1.85m 電波望遠鏡による広帯域観測のための新受信機開発	上田翔汰 (大阪府立大学)
V130b	16:18	汎用デジタル分光装置: OCTAD-S	岩井一正 (名古屋大学)
V131a	16:30	Large Submillimeter Telescope (LST): 3) Surface Error Budget and Wind Effect	Ryohei Kawabe (NAOJ)

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [A会場]

V132a	09:30	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の現状	羽澄昌史 (高エネルギー加速器研究機構)
V133a	09:42	LiteBIRD の低周波数帯のビームパターン評価	今田大皓 (宇宙航空研究開発機構)
V134a	09:54	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 X	永田竜 (高エネルギー加速器研究機構)
V135a	10:06	宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測衛星 LiteBIRD の偏光変調器の開発概要	片山伸彦 (東京大学)
V136b	10:18	LiteBIRD 搭載光学系の公差解析	鹿島伸悟 (国立天文台)
V137b	10:18	テラヘルツ光子計数型検出器の基礎開発-III	江澤元 (国立天文台)
V138b	10:18	テラヘルツ強度干渉計による画像合成手法	松尾宏 (国立天文台)
V139a	10:30	高速回転変調による大角度スケールの CMB 偏光観測 - GroundBIRD 実験	長崎岳人 (高エネルギー加速器研究機構)
V140a	10:42	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の開発現状	長谷川雅也 (高エネルギー加速器研究機構)
V141a	10:54	宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレーザーシステムの光学試験 (2)	濱田崇穂 (東北大学)
V142a	11:06	連続回転半波長板を用いた観測における無偏光から偏光への漏れ込みの評価	高倉理 (大阪大学)
V143b	11:18	CMB 偏光 B モード観測における前景放射成分分離の高精度化を目的としたフーリエ分光器の開発	官野史靖 (東北大学)

9月12日(火) 午後(13:00-13:36) [A会場]

V144a	13:00	SPART 電波望遠鏡/あかつき衛星/ALMA/P i r k a 望遠鏡による金星の連携観測プロジェクト	前澤裕之 (大阪府立大学)
V145a	13:12	超小型火星探査機による THz ヘテロダイナミック分光観測プロジェクト	松本怜 (大阪府立大学)
V146a	13:24	THz 帯超伝導ヘテロダイナミック検出器の搭載による SMILES-2 衛星の天文観測応用	西田侑治 (大阪府立大学)

V101a 野辺山 45m 電波望遠鏡の開発・整備進捗状況

南谷哲宏、鳥居和史、高橋茂、梅本智文、濱田要、半田一幸、林満、井上則雄、金子紘之、神澤富雄、衣笠健三、倉上富夫、前川淳、松尾光洋、御子柴廣、宮本祐介、宮澤千栄子、宮澤和彦、西谷洋之、大矢正明、篠原徳之、谷口琴美、和田拓也、齋藤正雄、小林秀行（国立天文台）

野辺山 45m 電波望遠鏡（45m 鏡）は、運用開始から 30 年以上経過した現在も、日々、性能向上の努力が続けられている。45m 鏡の将来開発・運用案について、2016 年春季年会（齋藤他）において報告されているが、本講演では、これに基づいた、最近の開発・整備の進捗状況について報告する。

（１）共同利用観測 2 シーズン目となったマルチビーム受信機 FOREST については、(a) SAM45 分光計の Spectral Window mode 適用による周波数設定の柔軟性の向上、(b) LSB 側の広帯域（4-11GHz）化、(c) これまで TZ 受信機固有であった 2 つのビームによる ON-ON 観測の実現を実施し、更なる機能強化を行った。（松尾他、本年会）（２）40GHz 帯新受信機 Z45 を共同利用観測へ提供開始した。Z45 受信器の導入により、この周波数帯での典型的なシステム雑音温度は 150K から 100K へと改善し、更に両偏波化の効果で、観測効率は合わせて 4.5 倍向上している。その他、望遠鏡の補修塗装、強度較正装置駆動系の更新、ミラー切替のコマンド化、リモート観測拠点の拡大等を実施し、観測の安定化・利便化を行ってきた。

現在、ミラー切替装置駆動系の改修等、古い駆動システムの更新を進めて、運用の更なる安定化を行うとともに、チリ観測所等と協力して、データアーカイブの強化を進めて、解析の CASA 化・pipeline 化、データの取得・解析の容易化を図っている。また、次の旗艦受信機として、3mm 帯広帯域（67-116GHz）受信機開発の検討を開始したので、その状況についても報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102b 野辺山 45m 電波望遠鏡の FOREST 受信機における新機能紹介と性能評価報告

松尾光洋, 南谷哲宏, 宮本祐介, 金子紘之, 前川淳, 西谷洋之, 宮澤千栄子, 鳥居和史, 梅本智文, 齋藤正雄, 小林秀行 (国立天文台), 他 45m 運用メンバー

野辺山 45m 電波望遠鏡において、近年では FOREST (FOur-beam REceiver System on the 45-m Telescope) 受信機が搭載され、2015–2016 年シーズンから共同利用観測へ供されている。FOREST は 4 つのビームを有し、それぞれ 2 つの直線偏波を分離して受信する、2SB 受信機である。現在 80–116 GHz の RF 信号を受信可能であり、各 IF 帯域は USB、LSB とともに 4–11 GHz となっている。典型的なシステム雑音温度は 150–300 K である。2016–2017 年シーズンでは、新たに SAM45 分光計の Spectral Window mode を FOREST へ適用した。これまで、1 ビーム 1 偏波当たり 2 つの 4096 チャンネル帯域を割り当て、一律の周波数分解能で分光していた。しかし、1 ビーム 1 偏波当たり 2 つの 2 GHz 帯域を選択し、それぞれの帯域の中で 2 つの 2048 チャンネル帯域をそれぞれ任意の周波数分解能で割り当てて分光することが可能となった。例として ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 1-0$) の 3 輝線を速度分解能 $\sim 0.1 \text{ km s}^{-1}$ で一度に観測することが可能である。また、2 ビームを用いた ON-ON 観測機能の FOREST への搭載、実証試験を行った。ON-ON 観測とは、1 ビームが ON 点を観測中にもう 1 ビームが OFF 点を観測することで従来のポジションスイッチ観測より効率的な観測方法である。5 月末に行った試験観測の結果、 T_{A}^* における rms が $dV = 50 \text{ km s}^{-1}$ で 1 mK を切ることを確認した。

本講演では、新しい機能である Spectral Window mode の紹介、2-beam mode (ON-ON) 観測と OTF 観測における最小検出感度といった試験観測の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103b 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

岡田 望, 橋本 育実, 高田 勝太, 本間 愛彩, 木村 公洋, 千葉 正克, 真鍋 武嗣, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府大), 南谷 哲宏, 宮本 祐介, 宮澤 和彦, 宮澤 千栄子 (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)

野辺山 45 m 電波望遠鏡ビーム伝送系は、複数の平面鏡を切り替えることにより様々な周波数帯の複数受信機から一台を選択する機構である。HINOTORI プロジェクトではこの切り替え式平面鏡を周波数分離フィルタへ変更することで 22/43/86 GHz 帯の三周波同時観測の実現を目指している (澤田-佐藤他、本年会)。

現在、45 m 鏡ビーム伝送系へ搭載する 22/43 GHz 帯および 43/86 GHz 帯周波数分離フィルタの開発を進めている。本フィルタはカットオフ周波数を利用したもので、高周波帯を透過し、低周波帯を反射するという周波数特性を有しており、構造としてはアルミ板へ円形穴を周期パターン状であけたものである。本フィルタの設計は電磁界解析ソフトを用いて行っており、板厚および円形穴の径や間隔を調整することで透過/反射周波数帯を変化させている。

我々は、22/43 GHz 帯フィルタを用いて H22 受信機および H40 受信機の同時ポインティング観測やスペアナを用いた受信機雑音温度 T_{rx} 測定を 2017 年春に行った。また、43/86 GHz 帯フィルタを搭載した状態での H40 受信機の雑音温度 T_{rx} 測定も終わっている。上記の両測定の結果、フィルタの反射帯においてフィルタの有無での T_{rx} の有意な差は見受けられなかった。また透過帯においては光学素子を追加した分の T_{rx} 上昇 (15 K 程度) を確認した。今後は開発した二枚のフィルタ両方を入れた状態での T_{rx} 測定および試験観測を行う。

本講演では周波数フィルタの開発及び 45 m 鏡における試験観測や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](#)

V104b ROACH ボードを用いたデジタル分光計の開発

藏原 昂平、中西 裕之、半田 利弘 (鹿児島大学)、南谷 哲宏、松尾 光洋、前川 淳、齋藤 正雄、梅本 智文、高橋 茂 (国立天文台)、久野 成夫 (筑波大学)、中原 啓貴 (東京工業大学)、岩井 一正、西村 淳 (名古屋大学)

野辺山 45m 望遠鏡に搭載された 4 ビーム受信機 FOREST (Four-beam Receiver System on the 45-m Telescope) の総受信帯域は 128 GHz だが、現在は SAM45 というバックエンドによって 32 GHz に制限されている。そのため我々は、有効帯域を拡大するため、バックエンドに追加実装する分光計の開発を行っている。分光帯域を拡大することによって、高赤方偏移天体の探査や多輝線同時観測などで威力を発揮することが期待される。

そこで、我々は Xilinx の Virtex-6 FPGA を搭載した ROACH (Reconfigurable Open Architecture Computing Hardware) 2 ボードを用いて分光計の開発を行なった。2016 年度までに帯域幅 1600MHz の Wide band モードと、帯域幅 50MHz の Narrow band モードの開発に成功した。Narrow band モードでは FFX (Filter and FX) のアルゴリズム (Iguchi and Okuda 2008) を採用することによって、入力信号のアナログ部を変更することなしに、高分解能分光を実現した。Wide band モードは、分光点数 2048 点、dump time 0.1 秒を達成し、Narrow band モードは、分光点数 1024 点、dump time 0.04 秒を達成した。また各モードに対して、周波数分解能、ダイナミックレンジ、感度、安定度、の 4 項目について実験室での評価試験を行った。

性能評価の結果、周波数応答関数の半値幅は Wide band モードでは 671kHz、Narrow band モードでは 46kHz となった。感度は Wide band モードで 60 分間の積分に対し、信号が無い周波数帯の雑音の二乗平均平方根が時間の $-\frac{1}{2}$ 乗に比例して減少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](#)

V105a NRO レガシープロジェクト COMING(10):自動リダクションシステムの開発

田中隆広 (1), 徂徠和夫 (2), 柳谷和希 (3), 金子紘之 (4), 藤田真司 (5), 久野成夫 (1), 村岡和幸 (3), 宮本祐介 (4), 佐藤佑哉 (1), 矢島義之 (2), 依田萌 (5), 黒田麻友 (3), 他 COMING メンバー (1: 筑波大学, 2: 北海道大学, 3: 大阪府立大学, 4: 国立天文台, 5: 名古屋大学)

COMING プロジェクトでは2014-2017年の期間、野辺山45m電波望遠鏡に搭載されたFOREST受信機を用いて129個の近傍銀河についてCOマッピング観測を行った。これまで野辺山45m電波望遠鏡によるOTF観測のデータリダクションは、主に解析ソフトNOSTAR(Nobeyama OTF Software Tools for Analysis and Reduction)を用いてインタラクティブに行われてきた。しかし従来の方法では、大規模なサンプル数のデータリダクションに多大な時間と労力を要し、加えてデータの均質性を担保できないという問題点があった。そこでこれらの問題を解決するためにCOMINGではNOSTARを基盤にした自動データリダクションシステムを開発した。

系外銀河のマッピング観測においてはスペクトルのベースラインのうねりがデータの質に大きく影響を与えるため、質の悪いデータを取り除くためのフラグは特に重要である。これまではデータのフラグを行う際に、スペクトルのうねりなどを解析者が目で見て判断することが一般的であったため、判断基準が曖昧かつ解析者の経験によるところが大きかった。そこで本システムでは、スペクトルをフーリエ変換しランダムノイズのR.M.S.とベースラインうねりのR.M.S.とに切り分けて比較することでフラグ判定を行う新たな手法を採用した。これにより十分うねりを取り除くことを可能にし、フラグの自動化および再現性・客観性を与えた。また、OTF観測によるスキニングエフェクトを除去するために、バスケットウィーブにおけるそれぞれのスキャン方向で独立にマスクの幅の最適化を自動で行うようにした。これらの処理を一括で実行するシステムをPythonによって実装した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106a 野辺山 45m 電波望遠鏡複周波数バンド同時観測プロジェクト (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented)

澤田-佐藤聡子, 今井裕, 半田利弘, 新永浩子, 水窪耕兵 (鹿児島大学), 小川英夫, 真鍋武嗣, 木村公洋, 岡田望, 橋本育実 (大阪府立大学), 南谷哲宏 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所), 小山友明, 河野裕介, 砂田和良, 田村良明, 坂井伸行 (国立天文台水沢 VLBI 観測所), 朝木義晴, 亀野誠二 (国立天文台チリ観測所), 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学), 米倉覚則 (茨城大学)

国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡の複周波数バンド同時観測に向けたプロジェクト Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented の進捗状況について報告する。本プロジェクトでは、野辺山 45m 望遠鏡の受信信号ビーム伝送系内のミラー部分に周波数分離準光学フィルタに変更・搭載し、H22、H40、TZ 受信機による K 帯/Q 帯/W 帯での完全同時受信に基づく単一鏡および VLBI 観測の実現を目指している。2017 年 4 月、本プロジェクトにより開発した K 帯/Q 帯用周波数分離フィルタ (岡田ほか 2017 年度秋季年会) を用いた観測実験を実施し、赤色超巨星 VY CMa の K 帯水メーザー放射と Q 帯 SiO メーザー放射の同時受信に成功した。この同時受信システムにより同じ気象条件で複周波数バンドのデータを取得でき、観測の効率が上がると共に複数の分子輝線の強度比の正確な推定に繋がる。

また、本プロジェクトでは韓国の VLBI 観測網 KVN との VLBI 複周波数バンド同時観測を計画している。野辺山 45m 望遠鏡および KVN 望遠鏡はいずれも K 帯/Q 帯/W 帯の同時受信システムを持ち、低い周波数のビジビリティ位相を参照して高い周波数のビジビリティ位相を追跡する複周波数位相補償により、高い周波数バンドでのコヒーレンスロスを劇的に軽減する。その結果、世界に類を見ない高感度なミリ波 VLBI 観測網を実現できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107a 野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの搭載試験

永井誠 (国立天文台), 新田冬夢, 服部将吾, 村山洋佑, Zhai Guangyuan, Pranshu Mandal 中井直正, 久野成夫 (筑波大学), 関本裕太郎, 木内等, 野口卓, 松尾宏, Dominjon Agnes, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 福田武夫, 岩下光 (国立天文台), 関口 繁之 (東京大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 前川淳, 南谷哲宏, 御子柴廣, 藤茂, 宮澤千栄子, 齋藤正雄, 45m 運用メンバー (国立天文台)

我々は、銀河の広域探査を行うために、野辺山 45m 電波望遠鏡に 100 GHz 帯連続波カメラを搭載することを計画している。検出器には Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) と呼ばれる周波数多重化読み出しに優れた超伝導共振器を用いている。カメラ本体の他、制御系などを含むデータ取得システムの開発を進めている。

この MKID カメラの 45m 鏡への最初の搭載試験を、2016 年 12 月から 2017 年 1 月にかけて行った。搭載したカメラは、シリコンレンズアレイとダブルスロットアンテナでビームを結合しており、100 GHz 帯、直線 1 偏波、37 ビームの合計 37 素子の MKID を持つ。野辺山への輸送、45m 鏡への搭載、100 mK への冷却の後、実験室と同様の MKID 共振ピークを確認した。MKID カメラのデータ取得システムは、望遠鏡制御システム (COSMOS) と連携してデータ取得を行い (永井ほか、2016 年春季年会 V114a)、MKID 共振スペクトルやビームスイッチ参照信号を記録する。ロックイン処理などは解析パイプラインで行う (Zhai ほか、本年会)。このデータ取得システムを介して、月の往復クロススキャンや大気的光学的厚みの測定などを 6 日間で行った。

本講演では、MKID カメラとデータ取得システムの開発概要、搭載試験で得られた成果、搭載試験で発生した問題とその後の対策状況について報告する。また、今期の搭載に向けて 109 ビームの MKID カメラの開発を進めており、この開発状況と今期の見通しについても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108a 野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの解析ハイフライン

Zhai Guangyuan(筑波大学), 永井誠(国立天文台), 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫, Pranshu Mandal, 村山洋祐, 服部将吾(筑波大学), 関本裕太郎, 木内等, 野口卓, 松尾宏, Dominjon Agnes(国立天文台), 関口繁之(東京大学), 成瀬雅人(埼玉大学), 前川淳, 南谷哲宏, 齋藤正雄(国立天文台)

我々は銀河の広域探査を行うために、野辺山 45m 電波望遠鏡に 100GHz 帯連続波カメラを搭載することを計画している。カメラの検出器には Microwave Kinetic Inductance Detector(MKID) と呼ばれる超伝導検出器を用いており、この読み出しを含む観測システムの開発を進めている。データ取得システムは、望遠鏡制御システム(COSMOS)と連携し、MKID 読み出しシステム(MKID DAQ)を介して観測データを記録する。ビームスイッチによる大気強度変動の除去を可能にするため、ビームスイッチ参照信号も記録する。解析パイプラインは、これらのデータと COSMOS アンテナログを合わせ、各ビームに対して時系列で方向と強度を計算し、OTF データ形式で出力することを目的とする。

解析パイプラインは、MKID スペクトルの共振周波数への変換、ビームスイッチのロックイン処理、ビームオフセットの計算、OTF データ形式への成形などの構成要素からなる。現時点でロックイン処理までを完成させた。ロックイン処理は、ビームスイッチ参照信号を利用し、観測データの大気変動を除去する過程であり、これにより連続波観測においてより安定した観測結果を得ることが可能となる。データ取得システムについても、既に主要部分が完成し最初の搭載試験で使用しているが、より効率的な解析を可能にするためデータ保存方法の改良を進めている。本講演では、パイプラインの開発状況をロックイン処理を中心に報告し、2016 年度末の 45m 鏡搭載試験で得られた結果も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109a 建設後 25 年になる水沢 10m 電波望遠鏡の現状と性能向上について

亀谷 収, 浅利一善, 小山友明, 河野裕介, 郷田直輝, 矢野太平, 上田暁俊, VERA 開発グループ, VERA 運用グループ, VERA 保守グループ (国立天文台), 山田良透 (京都大), 稲守孝哉 (名古屋大), 尾崎直哉, 大塚俊一 (東京大), JASMINE グループ

国立天文台水沢 VLBI 観測所直径 10m 電波望遠鏡は、今年で建設後 25 年を迎える。建設当初は S/X 帯における地球回転 VLBI や測地 VLBI 観測が主な観測であったが、その後、22GHz 帯における国内共同利用 VLBI ネットワークである J-Net の重要な VLBI 局として使用された。VERA 建設後は、VERA の性能確認とバックアップ、RISE グループの試験観測、SgrA*毎日モニター観測や高校生の SSH 研究に使われ、近い将来打上げ予定の Nano-JASMINE 衛星のダウンリンク局として使用する予定である。それに向けて、人工衛星の観測運用が十分な指向精度でできるように、駆動系等の改良を行ってきた。(2016 年秋季年会で報告)

ここ 1~2 年は、比較的小回りが利く運用ができる特性を使って、国内の VLBI モニター観測に対応できるように、VERA 水沢局の広帯域記録装置を必要に応じて使用して広帯域 VLBI 観測もできるようになってきている。国内の気球 VLBI 観測に参加し、フリッジ検出についての重要な局として対応できるようになっている。今後は、長時間のモニターが必要な観測が可能ないようにシステムの整備が必要である。本講演では、この整備状況について詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110a 那須観測所における、V404 や Cyg X-3 の電波バースト観測

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）

那須では、20m 球面鏡を 8 台作り、東西に等間隔に並べた。球面鏡の各出力は、振幅であり、8 個の（複素）振幅について、空間 FFT を施す。これによって、東西 160m x 20m の巨大な球面鏡が出来た。東西の角度分解能は、20m 球面鏡 1 台の角度分解能の 1/8 である。さらに、160m x 20m の巨大な球面鏡は、東西方向には独立な 8 方向を同時に見ることができる。早稲田大学の 64 素子では、2 次元動画 (Cyg-A や Tau-A) が得られた。那須では、1 次元の動画がとれる。アンテナの感度については、那須で 30mJy、早稲田大学では 数 Jy である。空間・時間で Maxwell 方程式を動かす事が、PC で出来るようになった。空間による FFT(1 次元でも 2 次元でも) と時間による FFT の構造は、同じ形にできる。

これらの構造の元で、今年 2017 年に Cyg X-3 の 数 Jy の電波バーストが受かった。Cyg X-3 は、われらの銀河の端にいて、1 日で 3 回まわるバイナリーである。

一方、V404 の近いバイナリーは 2015 年、26 年ぶりに電波バーストを出した。20mJy から 300mJy の変動があり、片方はブラックホールである。

海外の例: 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](#)

V111a 広帯域フィードの開発 (XII)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛 (情報通信研究機構)

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 とした。当初計画の鹿島 34m 用広帯域フィード (イグアナフィード) は入れ子構造で、外側の母フィードで Gala-V の下位 2ch、内側の娘フィードで上位 2ch を分担する構造で、開口能率の変動を容認して 2.2-18GHz あるいは 22GHz の受信帯域が目標であった。しかし母フィードの形状が複雑で未だ制作できておらず、これの娘フィード試作機のみを 34m に搭載し直線 1 偏波で先行利用してきた。試作 2 号機での 34m アンテナの開口能率は 6.5-15GHz で 30 - 50% で、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信、小金井と筑波に設置した小型 VLBI 可搬局 MARBLE や国土地理院との間で広帯域でのフリンジテストなどのさまざまな試験を行ってきた。

このイグアナフィードはカセグレン光学系に適合した狭いビームだが、パラボラの直焦点用のビームの広い広帯域フィードも開発し、2015 年度はこれをカセグレン焦点用にアレンジした 3.2-14.4GHz の広帯域フィード (NINJA フィード) を 34m アンテナに搭載し、新たに開発した OMT を使用して 2 偏波観測可能となる。鹿島 34m アンテナと共に Gala-V に使用する小型局 MARBLE は主鏡 (1.5m と 1.6m の各 1 台) を 2.4m へ交換とともにカセグレン光学系となり、NINJA フィードを搭載した。市販のクワッドリッジフィードを直焦点で使用した従前のシステムと比較して、4 倍程度の向上が得られた。これらの開発状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112b 山口干渉計とそれを用いた fast radio burst 相乗り探査体制の構築状況

青木貴弘, 藤澤健太, 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大学)

山口干渉計の構築状況、およびそれを用いた fast radio burst (FRB) の相乗り探査システムの検討状況について報告する。

山口干渉計は山口 32 m 電波望遠鏡および 34 m 電波望遠鏡を用いた、基線長 108 m の電波干渉計である。これらの望遠鏡は KDDI 山口衛星通信センター内にあり、近いうちに C 帯 (6600–7112 MHz) および X 帯 (8192–8704 MHz) の受信機が搭載され、本格運用に向け調整を行っている。AD 変換器に ADS3000+を用いた広帯域観測系であるが、従来の受信系では AD 変換器への入力レベルが足りないなどいくつかの課題があったため、これまでに増幅器作成を含む信号伝送系を作成、整備した。またデータキャプチャとして、国立天文台で開発された VSREC 記録系を導入しようとしたものの、デジタルデータ上でエイリアシングの発生が認められ、そこで使用するコンピュータを変更するなど試行錯誤したものの有効なデータは得られなかったため、現状は VSREC 導入を中断し OCTAVIA/DISK 経由でのデータ記録を行っている。

この山口干渉計の開発と併せて、VLBI 観測に相乗りした FRB 探査体制を構築するため、そのシステム検討を行った。FRB 観測はパルサー観測と同様の信号処理を行うため、山口局と同じ観測系をもつ茨城局を用いた Crab パルサー観測のデータ解析を行った。その結果を踏まえて FRB 探査体制について検討した結果、dispersion measure が既知のパルサーと違いそれが未知の FRB 観測には、ADS3000+のデジタルベースバンドコンバーターを活用しないと効率的な探査は難しいと考えるに至った。そこで今後、山口干渉計をテストベッドとしつつ、茨城局や VERA を巻き込んだ国内 VLBI 観測網に相乗りした FRB 探査システムについても提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V113b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (16)

米倉 覚則, 秋田谷 洋, 齋藤 悠, 青木 健悟, 山口 貴大, 會川 航平, 大島 理穂, 齋藤 偉, 百瀬 宗武 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 中井 直正 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行, 杉山 孝一郎 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

KDDI から譲渡された直径 32 メートルの衛星通信用アンテナ 2 台 (日立アンテナ、高萩アンテナ) を、VLBI、単一鏡、2 素子干渉計の形態で、6.7 GHz (メタノールメーザー)、8.4 GHz (連続波)、22 GHz (水メーザー、連続波等) の観測が可能な電波望遠鏡にすべく 2009 年より改作作業を行い、2013 年より科学運用を開始した。6.7 GHz メタノールメーザー源のモニター観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施しており、最初の成果が受理された (Sugiyama et al. 2017, PASJ in press)。また、VLBI 観測運用を年間 200–300 時間程度、6.7 GHz, 8.4 GHz, 22 GHz において実施している。これらの定常観測以外に、下記の整備を行っている。

- (1) 高感度・高精度な (10 分積分 512 MHz 帯域で最小検出感度 ~ 1 mJy [3σ]) 電波連続波源の強度モニター観測を目指し、高萩–日立 2 素子干渉計の整備を行っている。2016 年 11 月より試験観測を開始し、強度較正方法の確立、実際の観測を模した様々な天体の切り替え観測、などを実施中である。
- (2) 少数基線 VLBI 観測 (高萩 32-m、日立 32-m、鹿児島 34-m、山口 32-m の大口径アンテナ 4 台) による 6.7 GHz メタノールメーザー源の放射領域のサイズ変動の計測を目指し、2016 年 10 月より試験観測を開始した。サンプラーには K5/VSSP32 を用いている (16 MHz、4 bit サンプリング)。
- (3) ADS-3000+ の導入による、2 IF (例えば、高萩および日立) 同時記録 VLBI 観測システムを立上中である。
- (4) 低周波側の減衰量が大きいイコライザを導入し、IF 帯 (512–1024 MHz) 周波数特性の平坦化を目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114b 大阪府大 1.8 m 電波望遠鏡の K 帯給電系開発と気球 VLBI 実験

保田大介, 岡田望, 木村公洋, 小川英夫, 真鍋武嗣 (大阪府立大学), 土居明広, 長谷川豊, 村田泰宏 (ISAS), 中原聡美 (総合研究大学院大学/ISAS), 河野裕介, 小山友明, 亀谷収, 鈴木駿策 (国立天文台), 米倉覚則 (茨城大学), 関戸衛 (NICT)

大阪府立大学では構内に2台(口径:1.8 m, 3.8 m)の電波望遠鏡を所有している。我々は2014年に設置した1.8 m 鏡を衛星電波受信用アンテナとして運用するための整備を進めており, K 帯の受信が可能なシステムへと改良を行った。また本1.8 m 鏡は, 気球を用いて成層圏へ配置した電波望遠鏡(気球局)と地上望遠鏡(地上局)とのVLBI実現を目指す気球 VLBI ミッションへの参加を予定しており, 本ミッションの地上局の一つとして観測を行う。

元々の1.8 m 鏡の光学系はパラボラ焦点にフィードを有するシンプルな設計であったが, 電波望遠鏡として観測・運用を行い易くするため, 物理光学法を用いてカセグレン方式の望遠鏡への再設計を行った。また, 元々の1.8 m 鏡はL, Ku 帯受信機等を搭載していたが, 我々は新たにK 帯用受信機的设计・開発を行った。我々は開発した光学系及び受信機を搭載した本1.8 m 鏡を用いて試験観測を行い, 静止衛星IPSTARからのK 帯の信号受信に成功した。また, IPSTARの電波を用いることで望遠鏡のAz, El座標のオフセットを取得し, 入力座標に対する望遠鏡の指向精度を向上した。現在は気球 VLBI ミッションに向け, 試験的にVLBIを行うための準備を進めている。

本講演では, 1.8 m 鏡の開発及び気球 VLBI ミッションにおける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](#)

V115c VERA-upgrade 計画の進捗 I

小山友明、河野祐介、鈴木駿策、松枝知佳、宇賀裕哉、Jeong-Sook Kim、永山匠、寺家孝明（国立天文台）、萩原喜昭（東洋大）、他 VERA、KaVA 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 運用を 2002 年より開始し、15 年が経過した。その間 2006 年に星形成領域 S269、Orion-K1 において、従来の決定精度を大きく超える数 $10 \mu\text{as}$ の精密位置決定と年周視差計測に成功し、2012 年には初期成果として銀河系パラメータの決定を行った。VERA では今後 6 年を目途に総数 250 - 300 天体の年周視差、固有運動の計測、観測を予定している。また現在 VERA はより高感度、高分解能な汎用 VLBI アレイへと発展すべく、韓国 KVN と共同で KaVA（KVN and VERA）の運用を行い、その拡張として EAVN（EastAsiaVLBINetwork）の構築、試験観測を行っている。

VLBI 運用開始から 15 年が経過し、上記に関連して様々な改善要求が生じてきた。銀河系ダイナミクスの観点からは、JASMINE 計画等の赤外線位置天文衛星計画で重要な銀河系中心領域、また星形成研究として重要な白鳥座領域含む他の重要な天体の近傍において、参照電波源の不足から現状観測不可能な領域に対する観測要求である。また KaVA、EAVN は両偏波、多周波同時受信が可能となる世界的にもユニークなアレイであるが、VERA は位置天文計測に特化した望遠鏡として当初仕様が決定された事から、上記観測モードに現状対応ができない。そこで、VERA は上記を解決すべく以下のアップグレードを計画、実行している。1) RF-Direct-A/D 方式を用いた広帯域化（32Gbps 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。上記について進捗と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](#)

V116a ALMA の運用 (11) と拡張計画 (5)

○井口聖，阪本成一，立松健一，伊王野大介，浅山信一郎，小杉城治，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：現在，Cycle 4 の観測を実施中であり，継続して観測データを提案者に配信中である。予定通り，Cycle 5 の観測提案の公募が実施され，公募数は1,664件となった。Cycle 0-3 の観測成果に加え，アーカイブデータを使った研究成果も多数でている。特に，原始惑星系円盤の成果のサマリーを紹介したい。データが順調に蓄積する一方，観測データの配信に関する遅れの問題が深刻化したが，継続して改善を講じている。

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，一部の機能が Cycle 5 の観測提案から開始することが可能となった。東アジアが担当する Band 1 開発では，量産製造に向けた準備を行っている。米国が主導する Band 2 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，基本設計審査会 (PDF) が実施され，その後，最終設計審査会 (CDR) に向けた準備が開始された。さらに，日米欧三者で作成した報告書「2020-2030 における ALMA 科学観測を想定した将来拡張計画」に従い，基礎技術開発が各国で開始された。これらの中で注目すべき進捗や検討結果が出てきており，それらについて紹介する。特に，アルマ・デジタル・フロントエンド・ワーキンググループ (ALMA Digital Front-End Working Group) に関する報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a Assessing the Future Capability of ALMA at 50 km Baselines

Toshiki Saito, Daisuke Iono (NAOJ), Shigehisa Takakuwa, Yusuke Tsukamoto (Kagoshima U.), Kazuhiro Kanagawa (U. Szczecin), and Ryohei Kawabe (NAOJ/U. Tokyo)

In 2014, the long baseline campaign of Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) was successful in imaging astronomical objects with ~ 20 milliarcsecond (mas) resolution (~ 16 km baselines) at sub-millimeter wavelength. This demonstrated the importance of the high resolution capabilities of ALMA. As a natural extension of this, we investigate possible future longer baseline capabilities (i.e., up to 50 km) of ALMA, using the simulation tools available in CASA. We identify technical requirements for realizing 50 km baselines (e.g., antenna number, angular resolution, sensitivity) by simulating mock continuum observations that include thermal and phase noise, and then evaluating the quality of the resultant uv -coverage, synthesized beam, and images processed by the CLEAN algorithm. Our preliminary conclusion is that, at 230 GHz (i.e., band 6), high fidelity imaging with ~ 5 mas angular resolution can be achieved by adding nine 12 m antennas at the distance of 15–25 km from the center of the array, with on-source time of ~ 9 hours. We suggest an operation mode in which the nine long baseline antennas are operated as a separate sub-array from the current fifty 12 m array. The two datasets should then be combined in the uv -plane.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118a Work for ALMA band 2+ and band 2+3 receiver optics at NAOJ

A. Gonzalez, K. Kaneko, S. Asayama (National Astronomical Observatory of Japan)

The ALMA band 2 (67-90 GHz) is the last of the baseline ALMA bands to be implemented in the array. The ALMA band 2 slot in the ALMA cryostat does not have a 4K stage and the receiver covering band 2 must be based on HEMT amplifiers cooled down to 15K. In recent years, two different studies have been initiated by NRAO (National Radio Astronomy Observatory) and ESO (European Southern Observatory).

NRAO, in the United States, has successfully developed a prototype of a Band 2 (67-90 GHz) receiver based on MIC LNAs. NAOJ has supported this development with receiver optics simulations and lens designs. New MMIC LNAs have been fabricated and show improved noise temperature performance up to around 95 GHz. A frequency extension of the Band 2 receiver from 90 to 95 GHz, renamed Band 2+, provides new science cases and it is thus of interest. NAOJ has designed a corrugated horn and dielectric lens to fully satisfy ALMA specifications in the extended ALMA Band 2+ (67-95 GHz), with the goal of ease of fabrication. Prototypes have been fabricated and integrated in the ALMA band 2+ prototype, with good preliminary results.

ESO has coordinated the efforts to establish an international consortium, of which NAOJ is part, to initiate studies to assess the possibility of developing a HEMT-based receiver which covers ALMA bands 2 and 3 simultaneously (67-116 GHz). NAOJ has provided receiver optics designs and studies for these activities.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V119a 高臨界電流密度接合を用いた IF 広帯域 SIS ミクサ プリアンプモジュール

小嶋崇文、Matthias Kroug、上水和典、新関康昭 (国立天文台)、鵜澤佳徳 (情報通信研究機構)

ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発として、同時受信帯域の広帯域化について検討している。現在、ALMA 受信機の同時受信帯域幅 (IF 帯域幅に相当) は、1つの受信機がカバーする RF 帯域幅より狭く、例えば Band 5 以上の観測周波数帯では 1 偏波で同時受信できる帯域は 4-8 GHz あるいは 4-12 GHz であり、RF 帯域幅に対して 20 % 以下である。現在 IF 出力の帯域幅が制限されている要因の一つはミクサと低雑音アンプに挿入しているアイソレータの帯域である。したがって、今後低雑音性能を維持したまま IF を広帯域化していくためには超広帯域アイソレータを開発するか、それを取り除いてミクサおよび低雑音アンプを集積化する必要がある。

今回 3-21 GHz の広帯域アンプ (Low Noise Factory 社) を入手し、ALMA Band 8 の RF 周波数帯における SIS ミクサ-IF プリアンプモジュールを設計・製作・評価した。当モジュールでは SIS ミクサブロック上にドロップイン型の IF アンプを実装可能であり、両者をボンディングワイヤーによって接続する。一方、IF アンプは取り外し可能であり、SIS ミクサおよび IF アンプの個別測定も可能である。ミクサには高臨界電流密度 SIS 接合を適用し出力インピーダンスが 50 Ω に近い値を得られるように設計した。LO 周波数 440 GHz において当モジュールを評価した結果、IF 3.0-17.5 GHz で雑音温度 60-85 K、利得 34.1 ± 2 dB の特性を得た。これは冷却ケーブルや常温 IF 系を除いたモジュール単体の性能である。さらに、今回ミクサチップを 4 K において S パラメータ測定し、IF 帯で等価回路によるモデリングを行った。当モデルを用いた IF 特性の計算結果は測定結果と比較的よく一致した。現在、当モデリングに基づいてさらなる広帯域化の可能性、他の RF 帯への応用可能性について検討している。講演では、実験や解析結果の詳細および広帯域受信機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](#)

V120a ALMA Band 7+8 帯 (275-500 GHz) SIS ミクサの開発状況とデュアルバンド評価システムの構築

上水和典, 小嶋崇文, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, 宮地昭平, 江崎翔平, 新関康昭, 金子慶子, 藤井泰範, Wenlei Shan, 野口卓, 浅山信一郎 (国立天文台), 上月雄人 (大阪府立大学)

われわれは ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発として、RF: 275-500 GHz をカバーする超広帯域 SIS ミクサの開発を進めており、ALMA Band 7/8 両周波数帯と同等の受信機性能の実証を目指している (小嶋ほか、2016 年秋季年会)。超広帯域 RF 受信機の実現にはいずれの RF 要素部品の開発もチャレンジングであり、特に SIS ミクサには非常に高い臨界電流密度 JC の SIS 接合が必要となると見積もられる。われわれは窒化アルミ絶縁膜を用い、この高臨界電流密度の SIS 接合の開発に成功し、これまでに ALMA Band 8 周波数帯 (385-500GHz) において、LO 周波数に対してほぼ一定の低雑音特性となることを実証している (上水ほか、2016 年秋季年会)。

今回、この接合作製技術を適用し、275-500 GHz 帯でほぼ一定のインピーダンス特性を有するように設計された、超広帯域ミクサを作製した。当 SIS ミクサを評価するために、Band 7+8 帯全体をカバーするコルゲートホーン、RF/LO カプラと Frequency Combiner を新たに開発し、Band 7/8 用の 2 つの LO 源から成るデュアルバンド DSB ミクサ評価システムを開発した。この更新されたシステムを用いて当 SIS ミクサを評価した結果、Band 7+8 帯に渡って量産型 SIS ミクサと同等の雑音性能を有することが確認された。講演では、評価システム構築の詳細と当 SIS ミクサの評価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](#)

V121b 金属3Dprinter技術を用いたBand1周波数帯(35-50GHz)コンポーネントの試作

金子慶子、福嶋美津広、三ツ井健司、Alvaro Gonzalez、藤井泰範、Wenlei Shan、浅山信一郎、野口卓、菊池健一、井口聖 (国立天文台)

積層造形、いわゆる3Dprinterの技術は近年著しく発展をし、世界中で需要が高まっている。その中でも金属粉末を用いた3Dprinterで造形した部品は、軽量化をはかりたい航空機産業や、人体に組み込むような、ひとつひとつ異なる形状が求められる医療用具に実際に使用されつつある。また、3Dprinter先進国である欧州では、電波伝送用部品への3Dprinterの応用も数年前から試されており、その結果が国際研究会等で続々と出てきている。今回我々は、ミリ波・サブミリ波帯の電波受動部品への応用可能性を検討するために、ミリ波の中でも低周波であるBand1周波数帯(35-50GHz)用のコンポーネントを3Dprinterで造形し、現在評価を行っている。3Dprinterは切削加工では実現できないような形状を生み出すことができるとはいえ、「何でもできる夢の装置」ではなく、やはり得手不得手があり、我々はコンポーネント製造を通してその特徴をより深く知ることができた。今後評価を続けることで、天文学への応用の可能性を追求していく。本講演では、試作造形品の製作に至る過程と、完成品の評価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](#)

V122b ALMA Band 7+8 (275 - 500 GHz) 導波管型 2SB ユニットの設計と評価

山屋陽香 (電気通信大学), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 金子慶子 (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発の1つとして、ALMA Band 7(275 - 370 GHz) と Band 8(385 - 500 GHz) を統合した RF:275-500GHz(比帯域約 60%) の超広帯域受信機の開発を進めている。今回、ALMA で採用されている 2SB ミキサに用いられる導波管 2SB ユニットの設計・製作したので報告する。2SB ユニットは RF 信号に 90° の位相差を付けて等分配する RF ハイブリッドカップラ、LO 電力を同位相で等分配する LO パワーディバイダ、RF 信号と LO 電力を結合させて出力する LO カプラで構成される。ANSYS 社の ANSYS Electronics Desktop を用いて解析し、入力部の反射損失とアイソレーション損失が -20 dB 以下、2つの出力ポート部の振幅比と位相差から決定されるサイドバンド分離比が 20 dB 以上となるように設計した。入出力導波管は WR2.3 (580 μm x 290 μm) を用いた。最も重要な 90° ハイブリッド部は反射損失を -25 dB 以下に抑え、信号をできるだけ等分配するために 30 μm のスロットを 12 個並べた設計とした。また、ユニット全体の反射特性は RF ハイブリッドカップラ入力部と LO カプラ入力部における反射波の重ね合わせで決定するため、両者の位置関係が重要であると推察した。そこで両者の距離を最適化したところ、反射損失 -20 dB 以下の目標値を達成することができた。当設計をもとに 2SB ユニットの製作し、情報通信研究機構協力のもとネットワークアナライザを用いて S パラメータを測定し、反射特性は -20 dB であり概ねシミュレーションと一致する結果を得たが、一方、振幅比 3.8 dB 以内 (設計値 2.2dB 以内) とシミュレーションと比較してやや大きな値となった。これは、仮にハイブリッド部のスロット幅を 33 μm としてシミュレーションするとよく一致する。したがって、製作幅が設計値 30 μm よりも広がっていると考えられる。本講演では 2SB ユニット設計の詳細と評価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](#)

V123b Wideband waveguide power combiner for ALMA Band 7+8 (275-500 GHz) Local Oscillator

A. Gonzalez, T. Kojima, K. Kaneko, S. Asayama (National Astronomical Observatory of Japan)

At NAOJ, we are developing SIS mixers based on high critical current density junctions to cover two sub-mm ALMA bands. In order to benefit from all equipment and know-how acquired during the design and production of ALMA band 8 receivers, we are aiming at covering ALMA band 7 (275-373 GHz) and band 8 (385-500 GHz) simultaneously. The fractional bandwidth of this target band is slightly over 60%. This is too wide for typical LO sources at these high frequencies, and therefore, it is necessary to combine the power of two different LO sources, one for each ALMA band. Such a power combiner has three different waveguide ports for each of the bands involved: WR-3.0 for band 7, WR-2.2 for band 8, and WR-2.3 for band 7+8, and it is therefore highly asymmetric, which represent an additional design challenge. The power combiner has been designed by using different waveguide filters, 90 hybrid couplers, and waveguide transitions. The design has been performed with the Mode-Matching software WaspNet, and the performance has been verified with HFSS Finite Element simulations. Two prototypes have been fabricated, and characterized by VNA measurements at NICT. Measurement results agree reasonably well with simulations, considering the difficulties in fabrication of such a complex waveguide component to be used at sub-mm frequencies. One of the prototypes has been integrated in the Band 7+8 (275-500 GHz) noise temperature measurement setup at NAOJ and successful measurements in the whole band have been achieved in a single cool down.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124a 国立天文台電波望遠鏡データアーカイブの構築計画

小杉城治、小林秀行、立松健一、阪本成一、伊王野大介、浅山信一郎、本間希樹、鳥居和史、高橋茂、前川淳、金子紘之、中村光志、吉野彰、清水上誠、池田恵美、杉本香菜子、中里剛、森田英輔、芦田川京子、泉奈都子（国立天文台チリ観測所、野辺山宇宙電波観測所、水沢 VLBI 観測所）

ALMA 望遠鏡のサイエンスデータアーカイブからは品質保証された解析済みデータが公開され、今やアーカイブデータを利用した論文数は ALMA 科学論文全体の 4 分の 1 を超え、その割合はアーカイブデータの増加に伴い急速に上昇を続けている。一方、国立天文台の他の電波望遠鏡の観測データは、これまであまり積極的に公開、再利用がおこなわれてこなかった。「国立天文台の観測データポリシー」には、3 原則、1 「国立天文台の観測データは国立天文台に帰属する」、2 「国立天文台は、観測データを利用可能なデジタル形式で永続的に保管する」、3 「国立天文台は、観測データを利用しやすい形式で公開する」、が謳われているが、現時点で第 3 項は完全には実現されていない。そこで我々は 2015 年度末から国立天文台電波望遠鏡データアーカイブの整備を開始した。

手始めに野辺山宇宙電波観測所の観測データアーカイブを構築し、今年 8 月に第一版として公開する（吉野他 2017 年秋季年会）。単一鏡電波観測データは大気からの放射が支配的であり、キャリブレーション等の解析処理を施して初めて特定の科学目的に再利用できるデータか判断できるため、次ステップとして、ALMA 単一鏡解析パイプラインを野辺山データにも適用して解析処理済みデータの作成と公開を実現する。その後データ形式が近い ASTE 望遠鏡の観測データも同じアーカイブフレームワークに載せて 2 年以内に公開し、更に VERA の観測データも同様にアーカイブ登録・公開することにより、国立天文台の全電波望遠鏡の観測データへの公開アクセスが可能となる。これは、第 3 者による論文データの検証を可能にするという意味でも本質的に重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125a ALMA パイプラインの現状 6: Cycle4 の運用状況と Cycle5 へ向けて

三浦理絵, Daniel Espada, 杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治 (国立天文台), ALMA Pipeline Team

ALMA のデータ解析には、データ解析ソフト CASA の他に、自動的に最適のパラメータを選んでデータ処理を行う ALMA パイプラインが使われる。ALMA パイプラインには、干渉計パイプラインと単一鏡パイプラインがあり、干渉計パイプラインは Cycle2 観測から (ただしキャリブレーションまで)、一方、単一鏡パイプラインは Cycle3 観測から運用を開始した。Cycle4 観測からは、干渉計パイプラインのキャリブレーション処理に加えて、サイエンス天体のイメージング処理が導入され (イメージングパイプライン)、ALMA のデータ処理効率が大幅に向上した。2017 年 6 月までに 1200 個以上の Cycle4 プロジェクトがパイプラインで処理され、干渉計データ・単一鏡データともに約 8 割以上がキャリブレーション処理に成功している。単一鏡パイプラインでは、Cycle3 から Cycle4 にかけて大幅な変更 (複数天体の処理への対応、データ処理の際に扱うデータフォーマットの変更) を実施したが、概ね成功し観測効率・データ処理効率向上に貢献している。Cycle5 ではフラグ処理の強化や処理時間短縮、イメージングパイプラインの輝線自動検出アルゴリズムの改良などさらなる機能拡張/改善が予定されており、Cycle5 パイプラインで実装される新機能の試験を 2017 年 7-8 月に行う予定である。本講演では、Cycle4 用パイプライン運用状況、Cycle5 用パイプラインの変更点、試験状況、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](#)

V126a ALMA サイクル5 に向けた単一鏡データ解析パイプラインの開発

杉本 香菜子, 中里 剛, 小杉 城治, 三浦 理絵, Daniel Espada (国立天文台), ほか ALMA PIPELINE チーム

ALMA データ解析パイプライン (PIPELINE) は、ALMA 望遠鏡で観測したデータを自動的に処理するソフトウェアである。観測設定やデータの質に応じて適切な処理手順と処理パラメータを自動的に決定し、データを較正、イメージングする機能を持つ。この PIPELINE の開発は、国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および、ヨーロッパ南天天文台 (ESO) を中心とする国際協力によって進められている。中でも我われ国立天文台の開発チームは、主に ALMA の単一鏡観測データの処理・解析機能 (SD PIPELINE) の開発と試験を担当している。

SD PIPELINE は現在 (サイクル4 観測期) までに ALMA バンド 3, 4, 6, 7 の on-the-fly マッピング観測のデータ処理で実用化されており、複数のターゲット天体を観測したデータにも適用可能である。2017年10月より始まるサイクル5では、さらにバンド5の観測でも使用される予定である (三浦ほか 2017 年秋季年会)。現在、我われ国立天文台の PIPELINE 開発チームは、サイクル5に向けた機能の改善と既知の問題の修正を行っており、特にユーザ向けの処理結果の表示機能の強化、および、処理効率の向上に取り組んでいる。本講演では、ALMA サイクル5に向けた SD PIPELINE の開発成果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](#)

V127b 野辺山 45m 電波望遠鏡観測データアーカイブの開発

吉野彰、中村光志、清水上誠、池田恵美、森田英輔、芦田川京子、小杉城治（国立天文台チリ観測所）、鳥居和史、高橋茂、前川淳（国立天文台野辺山宇宙電波観測所）

我々は野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡と SAM45 分光計による観測データを収集・公開するアーカイブを構築し、2017 年 8 月に第一版を公開した。本発表では、その概要、設計思想、技術上の工夫について報告する。

近年、日本の電波望遠鏡の観測データ全般についてアーカイブ開発計画が策定された（小杉他 2017 年秋季年会）。我々はその計画に従い、高い品質の観測データを安全に保管し、研究教育関係のユーザーに使いやすい形で公開すること、また様々な望遠鏡や検出器による観測データが今後整備されていくのに応じて、アーカイブを柔軟に拡張・改造でき長期的に運用できるようなシステムを構築することが要求された。それに対し我々は、オブジェクトストレージ、チケットによるアクセスコントロール、非構造化データ（JSON 形式）での格納、Web API によるアーカイブへのアクセス、及びその Web API を使用した Web インターフェースを用いて解決を図った。

アーカイブはフロントエンド（望遠鏡固有部）とバックエンドのオブジェクトストレージからなり、オブジェクトストレージは複数のフロントエンドの間で共有できる。非構造化データは今後の観測データの増加やメタデータの変更に柔軟に対応できる。また、実装言語である JavaScript はサーバ側からクライアント側までカバーできるうえ、多くのモジュールを利用することで開発コストを低くでき、今後のメンテナンスも容易である。一方で Web UI は多くの天文学研究者にとってなじみやすく、シンプルな操作で検索からダウンロードまでできるスタイルを採用している。それぞれの技術は最近の商用の Web サイトですでに広く採用されている実績を持つが、それらを組み合わせたシステムでデータアーカイブを実現するのは、天文分野では極めて先駆的な試みである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V128c ALMAWebQL v3: a technology preview

C. Zapart, Y. Shirasaki, M. Ohishi, Y. Mizumoto, W. Kawasaki, G. Kosugi (NAOJ), S. Eguchi (Fukuoka Univ.)

The poster gives a progress update about the upcoming version 3 of the interactive ALMA WebQL web service in operation at the Japanese Virtual Observatory. As the size of the publicly released ALMA datasets keeps growing it has become necessary to update the ALMA web service yet again in order to deal with recent increases in data volumes. Whilst version 2 — introduced in 2016 — made it possible to preview smoothly in a web browser 25 GB-large FITS files, version 3 lays foundations towards supporting an interactive preview of terabyte-class FITS files. In addition to handling larger files, ALMAWebQL3 also improves support for real-time spectrum updates. By default this option has been kept in an “OFF” state in the present ALMAWebQL v2 due to the difficulty handling large network latencies abroad. The newer version 3 tackles the latency problem in two ways. First, it introduces an *adaptive frame rate* control: monitoring the network latency and local web browser responsiveness, and reducing the FPS as and when necessary. Secondly, end user’s mouse movements are tracked in real time with the Kalman Filter, which is then used to predict the future target mouse position after taking into account network latency and computation time. By predicting mouse movements with the Kalman Filter, the two data streams (FITS spectrum updates over the network and local FITS image zooming in a browser) are close to being kept synchronised. Another innovation is the replacement of the lossless but inefficient PNG image format with a highly efficient but lossy HEVC-based BPG (Better Portable Graphics).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129b 1.85m 電波望遠鏡による広帯域観測のための新受信機開発

上田翔汰, 増井翔, 小西諒太郎, 後藤健太, 杉内拓, 黒田麻友, 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 (国立天文台/大阪府立大学), 長谷川豊 (ISAS), 西村淳 (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内にて運用している。本望遠鏡はこれまで 230 GHz 帯に存在する ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2 - 1$) の 3 輝線同時観測を行い、CO 広域マップを作成してきた。また、近年の分子雲観測により、CO 分子以外の微量分子が分子雲コアのみならず広域に広がって分布している可能性が指摘されつつあり、CO 以外の微量分子の広域観測を目指して、1.85 m 電波望遠鏡の受信機システムの広帯域化を行った。

本望遠鏡の新受信機システムは、従来の 2SB 方式と異なり、受信信号を RF の段階で 4 系統に分けることが可能となっている。RF 信号はホーンで給電された後、円偏波分離器を用いて右旋・左旋偏波の 2 つの RF に分離される。その後、それぞれの偏波を 90° ハイブリッドカップラと帯域通過フィルタを組み合わせた導波管型帯域分離フィルタ (長谷川他 2014 年春季年会) に入力し、さらに USB, LSB に分離する。広帯域化のために具体的に行ったことは、円偏波分離器により分けられた右旋・左旋両偏波をそれぞれ帯域の異なる導波管型帯域分離フィルタに入力することで 4 系統の RF すべてで異なる帯域を取ることができる受信機の実現である。これを達成するために、それぞれの RF に対応した 4 つの SIS-Mixer の製作と評価・新常温 IF 信号伝送系の設計と評価を行い、実験室では運用に問題ない特性 (受信機雑音温度 $T_{RX} = 80\text{K}$ 程度) を得ることができたため、これらを 1.85 m 電波望遠鏡に搭載し、試験観測を行った。本講演では実験室評価から、試験観測ま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](#)

V130b 汎用デジタル分光装置：OCTAD-S

岩井一正 (名古屋大学), 久保勇樹, 石橋弘光, 直井隆浩 (情報通信研究機構), 原田健一, 江間研自, 林由紀, 近廣祐一 (エレックス工業)

本研究ではAD変換器(ADC)とField-Programmable Gate Array(FPGA)を用いたデジタル分光計OCTAD-Sの開発結果について紹介する。本装置は汎用デジタル機器プラットフォームOCTADをベースに作られ、デジタル演算で高速フーリエ変換(FFT)を行うことで分光する。本装置にはADCが搭載されたモジュールとFPGAが搭載されたデジタル演算モジュールがそれぞれメインモジュールと独立して存在し、それぞれのモジュールを交換することで容易に装置の保守や上位デバイスへのアップグレードができる。広いダイナミックレンジを実現するため10bitのADCを用いて、2種類のデジタル分光計を実装した。一方は4.096 GS/sのサンプリングと2048点の周波数チャンネルを持ち(4G4K)、もう一方は2.048 GS/sのサンプリングと、32768点の周波数チャンネルを持つ(2G64K)。両分光計にはデッドタイムがなく、FPGA内で積算されたスペクトルが8ms毎に外部の記録媒体に保存される。ADCモジュールにはマイクロ波の周波数まで動作するtrack-and-hold回路を実装した。試験の結果、折り返し雑音(エイリアシング)を用いることで最高10GHzの信号を4GS/sのADCで処理できることがわかった。一方、本装置に用いたADCは4つのコアをインターリーブするため、コア間の位相誤差などによりゴーストが発生した。電波天文分野での影響としては、広帯域観測で強い輝線と弱い輝線を同時に観測する場合、強い輝線によるゴーストによって弱い輝線が影響を受ける恐れがある。そこで12bit-2GS/sで動作するインターリーブしないタイプのADCで4G4Kと同じ分光計を構成し試験をした結果、ゴーストが10dB以上低減することがわかった。強い放送波の多い低周波帯ではインターリーブをしないADCの実装が必須となろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131a Large Submillimeter Telescope (LST): 3) Surface Error Budget and Wind Effect

R. Kawabe (NAOJ), K. Kohno, B. Hatsukade (UTokyo), Y. Tamura, K. Tachihara (Nagoya U), T. Oshima, S. Ishii, J. Inatani, M. Honma, T. Kamazaki, Y. Asaki, M. Saito, T. Minamidani (NAOJ), T. Takekoshi, T. Sakai (UEC) K. Sorai (Hokkaido U), M. Momose (Ibaraki U), N. Kuno (Tsukuba U), S. Yamamoto, T. Totani (UTokyo), T. Kitayama (Toho U), K. Hattori (Nippon Tech) M. Kurita, M. Kino (Kyoto U) T. Onishi, H. Ogawa, H. Maezawa (Osaka Pref. U), R. Furuya (Ehime U), H. Nakanishi (Kagoshima U), E. Komatsu (MPI), and LST Working Group

We report on the recent progress on a plan to construct a 50m class millimeter and submillimeter single dish telescope, the Large Submillimeter Telescope (LST), especially the technical study of tentative surface error budget and wind-load effect. The telescope is optimized for wide-area imaging and spectroscopic surveys in the 70 to 420 GHz frequency range, which just covers main atmospheric windows at millimeter and submillimeter wavelengths for good observing sites such as the ALMA site in Chile. We also target observations at higher frequencies of up to 1 THz, using an inner part high-precision surface. Active surface control is required in order to correct gravitational and thermal deformations of the surface. One of major technical challenges is correction for the wind-load deformation, which requires measurements and feedback in much shorter time scale than the gravitational and thermal deformations. We investigated the surface error budget of the LST quantitatively, together with wind statistics at the ALMA site such as wind speed and direction. Other recent progress will be also presented.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の現状

羽澄昌史 (KEK), ほか LiteBIRD チーム

LiteBIRD はインフレーションによる原始重力波を検出することを旨とした国際共同ミッションであり、学術会議マスタープラン 2017 の重点大型研究計画の一つである。2020 年代半ばの打ち上げ後、太陽・地球ラグランジュ点の一つである L2 付近で 3 年間にわたり全天のサーベイ観測を行うことを目指している。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background、CMB) の偏光を全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である B モード偏光を、テンソル・スカラー比 r の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。この目的を達成するため、およそ 1 度角の分解能で視野 20×10 度を持つ反射型低周波望遠鏡 (Low frequency telescope: LFT)、および補助的な高周波望遠鏡 (High frequency telescope: HFT) を搭載する。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。2016 年 9 月より、LiteBIRD 計画は JAXA 宇宙科学研究所の概念設計フェーズ (phase A1) にあり、検討を進めている。また、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。本講演では、LiteBIRD のサイエンスおよび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](#)

V133a LiteBIRDの低周波数帯のビームパターン評価

今田大皓 (ISAS/JAXA), 鹿島伸悟, 関本裕太郎 (NAOJ), 永田竜 (KEK), 松村知岳, 菅井肇 (Kavli IPMU), 長谷部孝 (NAOJ), 木村公洋 (大阪府立大学), ほか LiteBIRD Phase-A1 team

LiteBIRDは宇宙マイクロ波背景放射(CMB)のBモード偏光を精密に観測し、インフレーション仮説の検証を目的とする科学衛星計画である。LiteBIRDは観測バンドで分けられた2つの望遠鏡、低周波望遠鏡(LFT)と高周波望遠鏡(HFT)を搭載する予定であり、それぞれ視野 $20^\circ \times 10^\circ$, $10^\circ \times 10^\circ$ を有する光学設計を幾何光学的に得ている。一方で、CMB Bモードを観測するためにアンテナの持つビームパターンを事前に調べておくことが重要であり、光学系内の回折を扱うことのできる物理光学的な光学系の解析は必須である。本発表では回折の影響が出やすい低周波数帯を観測するLFTに注目する。

LFTは開口と鏡2枚からなるCrossed Dragone望遠鏡であり、40–235 GHzを観測する。各バンドにおける開口でのエッジテーパーは感度計算により与えられ、40 GHz, 50 GHzでは2 dB前後と特に小さい。ゆえに、光学系内を伝播するビームが太く、鏡の大きさに依ってフィードから開口までの間の2枚の鏡の縁での回折の影響が見える可能性がある。本発表では、鏡の縁での回折によりサイドローブにどのような構造ができるか、どの程度の偏光特性の悪化があるか、それらを緩和するための鏡の縁の構造、焦点面内でのバンド配置について、CMB Bモード観測の系統誤差の観点から報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V134a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 X

永田竜 (KEK), 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。宇宙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、2017年現在での最新のデザインにもとづいた系統誤差評価の要点について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測衛星 LiteBIRD の偏光変調器の開発概要

片山伸彦, 松村知岳, 桜井雄基, 菅井肇, 飯田輝人 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構), 大崎博之, 寺尾悠, 下村俊貴 (東京大学新領域), 小林洋平 (東京大学物性研), 小西邦昭, 櫻井治之, 湯本潤司, 五神真 (東大理), 今田大皓, 山本亮, 宇都宮真, 片宏一 (JAXA/ISAS), 羽澄昌史 (高工研), 石野宏和, 小松国幹 (岡山大学), 中村正吾, 高久諒太, 金井啓晃 (横浜国立大学), 他 LiteBIRD Phase-A1 team

将来科学衛星 LiteBIRD は宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光の詳細観測によりインフレーション仮説の検証を行う。現在、LiteBIRD は JAXA/ISAS の PhaseA1 として活動しており、特にミッション機器の $1/f$ ノイズ及び系統誤差を低減することができる偏光変調器として低温で連続回転する半波長板の開発が推進されており実機サイズのプロトタイプを設計・製作中である。本講演では、LiteBIRD における偏光変調器の概要及び特に重要な 10K 以下で連続回転を行う波長板を駆動する機構について開発の現状を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136b LireBIRD 搭載光学系の公差解析

鹿島伸悟、関本裕太郎 (NAOJ)、松村知岳、菅井肇 (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、キャリアレーション精度を決める「開口径」と全天掃引の効率に影響を及ぼす「広視野 (Wide FOV)」である。

今回は、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](#)

V137b テラヘルツ光子計数型検出器の基礎開発-III

江澤 元, 松尾 宏 (国立天文台), 浮辺雅宏, 藤井 剛, 志岐成友 (産業技術総合研究所)

テラヘルツ干渉計の実現を目指した光子計数型検出器の基礎開発について、その概要と進捗を報告する。我々が構想しているテラヘルツ強度干渉計は、Hanbury-Brown & Twiss (1956) の強度干渉計を基礎にしている。これに高速データ取得技術を応用して、天体からの輻射光の光子バンチによる強度変動を捉えることで、強度干渉計においても遅延時間測定が可能であることを、電波ヘリオグラフを用いた 17 GHz の基礎実験において実証した (江澤ほか、天文学会 2014 年秋季年会 V141a)。

我々はこれをテラヘルツ波領域に応用するための基礎開発を推進している。要素技術の一つである検出システムについては、1 GHz の高速動作が期待される超伝導 SIS 直接検出器を採用し、光子計数技術を用いることで高感度の実現を目指している。本講演ではテラヘルツ光子計数の実現にむけた開発および実験の進捗について報告する。超伝導 SIS 接合については、産業技術総合研究所 CRAVITY における開発で Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースの 10 μm × 10 μm 接合で 7 pA の低リーク電流が実現している。これを受けて、テラヘルツ光子計数に向けて目標とするリーク電流 (~ 1 pA)、および低キャパシタンスを実現すべく、リーク電流の接合サイズ依存性を測定し、接合製作プロセスの改良を進めている。また、この接合を光子計数型検出器として読み出すための広帯域極低温回路の開発も進めている。我々は、これまで極低温の積分読み出し回路で動作実績のある GaAs-JFET を採用し (Hibi et al. 2013)、ソースフォロワ回路による高速読み出し回路を構成、その評価およびテラヘルツ光を用いた光子計数読み出しの試験にも着手した。テラヘルツ強度干渉計による画像合成手法については、別講演 (松尾ほか、本年会) で紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V138b テラヘルツ強度干渉計による画像合成手法

松尾 宏, 江澤 元, 木内 等, 本間希樹 (国立天文台), 村田泰宏 (ISAS/JAXA)

我々はテラヘルツ観測において強度干渉計による天体画像合成が可能であると提案している。(江澤他 2017年春季年会、2016年秋季年会、松尾他 2015年春季年会)

強度干渉計の特徴は入射電磁波の位相検出を行わないことであり、光子バンチによる強度変動を用いた遅延時間測定により複素ビジビリティを定義する。したがって、一般的な振幅相関型の干渉計と異なり、遅延時間測定のためにS/N比の高い光源あるいは長い積分時間が必要である。また、強度の相互相関は振幅の相互相関の2乗で振る舞うため、ダイナミックレンジの大きな計測が必要である。これらの理由により、ヘテロダイン受信機を用いた振幅型の干渉計に比べると、一般的には画像取得に時間がかかり、解像度の点でも不利である。

これに対し強度干渉計の利点は、大気等による位相雑音の影響を受けないこと、高感度広帯域の直接検出器が使用可能なことである。たとえば、テラヘルツ領域では大気による位相揺らぎが基線長を制限しており、テラヘルツ波のVLBIの実現は容易ではないが、強度相関型の干渉計であれば実現性が高くなる。

本講演では、アタカマ高原あるいは南極高地からのテラヘルツ強度干渉計観測を目標として、テラヘルツ領域で明るい天体(原始惑星系円盤、大質量星形成領域など)の超高解像度観測で得られる強度干渉計画像について、画像合成シミュレーションを行った結果について報告する。

将来のスペース観測では、受信機雑音温度4 mK、帯域幅1 THzのテラヘルツ強度干渉計を実現することができ、恒星や系外惑星などの画像取得が期待される。講演では、これらの画像合成シミュレーションに基づき、スペーステラヘルツ干渉計のイメージング性能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](#)

V139a 高速回転変調による大角度スケールのCMB 偏光観測 - GroundBIRD 実験

長崎岳人, Jihoon Choi(IBS), Ricardo T. Genova-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), 木内健司 (理研), 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), 小栗秀悟 (理研), Rafael Rebolo(IAC, ULL, CSIC), Jose A. Rubino-Martin(IAC, ULL), 関本裕太郎 (国立天文台), 鈴木純也 (KEK), 田井野徹 (埼玉大), 田島治 (KEK, 総研大), 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、地上設置型望遠鏡を用いて宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を行い、インフレーション宇宙論の検証を目的としている。これまでにない大角度スケールでの高感度観測を目指し、連続的な回転観測手法と検出器が Micro Kinetic Inductance Detector(MKIDs) という特徴を持つ。大角度スケールの観測において大きな問題となる大気の変動を抑えるため、回転速度 20RPM(3 秒周期) で観測する。高速な回転のため、検出器は高時間分解能を有する MKID を採用している。観測周波数は 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) の 2 バンドである。伝送光学系はミラーでの偽偏光を低減するため Cross-Dragon を採用し、主鏡以下を真空チャンバー内に搭載して 4K で運用する。2017 年度内にスペイン領カナリア諸島での観測を開始し、B モード初検出を目指す。

今回、真空チャンバーごと視野を変更する 3 軸駆動系を開発し、加速度計等を用いて 20RPM での性能評価を行なった。またプロトタイプ検出器を開発し、マルチチャンネル読み出しによる受信機性能評価を行なった。本講演では、プロジェクトの概要とこれらの成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](#)

V140a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 の開発現状

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), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 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), 南雄人 (KEK 素核研), 他 POLARBEAR-2 collaboration

宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を通して宇宙誕生及び進化の謎の解明を目指す POLARBEAR は、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した他、宇宙論的複屈折の探索結果など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 実験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ーザーシステム (POLARBEAR-2 レーザ) を搭載して観測を行う「Simons Array 計画」を進めている。POLARBEAR-2 レーザには、POLARBEAR-1 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 POLARBEAR-2 レーザは、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 の概要とレーザーシステムの開発状況、特に現在進行中の、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](#)

V141a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレシーバシステムの光学試験 (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 (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), 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、原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) に刻んだとされる B モード偏光を精密観測することにより、インフレーション理論の検証を目指す。また、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を目指す。

PB-2 は検出器として 7588 個もの超伝導転移端素子 (Transition Edge Sensor, TES) ボロメータを用い、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。

PB-2 のレシーバシステムは現在高エネルギー加速器研究機構で開発中であり、アップデートを加えながら性能評価試験を継続的に行っている。発表者は、平面走査法やナイフエッジ法によるビームパターンの測定や、フーリエ分光器による周波数特性の評価等の光学試験を行っている。

本講演では、PB-2 レシーバシステムの光学試験の進捗について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V142a 連続回転半波長板を用いた観測における無偏光から偏光への漏れ込みの評価

高倉理, ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光ゆらぎ観測を目的とした地上実験である。オフセットグレゴリアン光学系を採用した口径 2.5m の望遠鏡と、1,274 個の超伝導転移端センサ (TES) ボロメタ検出器を用いて、150GHz 帯で観測を行っている。2014 年からは検出器の低周波数ノイズ ($1/f$ ノイズ) を低減するために、主焦点に設置した連続回転半波長板を用いた観測を行っている。これにより偏光信号を変調することで、直交する二つの偏光検出器の信号の比較を必要とした従来の方法と異なり、単独の偏光検出器のみで無偏光成分と偏光成分とを分離することが可能となる。

CMB の B モード偏光ゆらぎは極めて微弱 ($\lesssim 100\text{nK}$) であるため、装置由来の無偏光から偏光への漏れ込みが存在すると、CMB の温度ゆらぎ ($\sim 10\mu\text{K}$) が B モード偏光観測に漏れ込み、系統誤差を生んでしまう。従って、無偏光から偏光への漏れ込み量の精密な評価、及び、その補正が重要である。連続回転半波長板を主焦点に設置した観測においては、主鏡での反射が主な漏れ込みの原因と考えられる。

無偏光から偏光への漏れ込みは CMB だけでなく大気からの放射に対しても起こる。従って、偏光信号の強度と大気の放射温度の相関を調べることで、漏れ込みの量を評価することができる。ただし、これは定常的な偏光信号を測定することができる連続回転半波長板を用いた観測により初めて可能となる手法である。本講演では POLARBEAR 望遠鏡における評価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](#)

V143b CMB 偏光 B モード観測における前景放射成分分離の高精度化を目的とした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行っていることから、それらの分離精度は、検出器における周波数特性の校正精度に大きく左右される。また、検出器の特性は環境の違いや検出器の経年劣化等により変化すると考えられるため、観測サイトにおける定期的な校正が必要である。これらを踏まえると、高精度の成分分離を達成するためには、観測サイトにて定期的に高分解能の周波数観測を行える、画期的なシステムの構築が求められる。

これらの要請を満たすため、我々は観測サイトでの定期的な周波数特性の校正を目的とした、高周波数分解能フーリエ分光器の開発研究を行っている。このフーリエ分光器の設計において、我々は可動鏡の移動距離に対して、約 20 倍もの光路差をつけることができる光学系を考案した。これは、一般的なフーリエ分光器に比べ、約 10 倍の効率であり、可動鏡 20 mm の移動のみで、1 GHz 以上の周波数分解能を達成できる。

本発表では、光学設計・評価プログラムソフトウェア CODE V を用いた光学設計の結果を中心に、フーリエ分光器の概要を紹介する。また、この分光器による成分分離精度の向上について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V144a SPART 電波望遠鏡/あかつき衛星/ALMA/Pirka望遠鏡による金星の連携観測プロジェクト

前澤裕之, 原口大輝, 青木亮介, 築山大輝, 松本怜, 西田侑治 (大阪府立大学), 西合和矢, 江草実実 (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), 大澤健太郎, 高橋英則, 田中培生, 今村剛 (東京大学), 佐川英夫 (京都産業大学), 奥村真一郎 (スペースガード研究センター), 今井正亮, 佐藤光輝, 高橋幸弘 (北海道大学), 他 SPART, AKATSUKI, NICE/Pirika チーム

中心星の活動が惑星の大気・物理・化学的環境に与える影響について理解を深めるべく、我々は、国立天文台野辺山観測所の10m電波望遠鏡SPARTを用いて、太陽系地球型惑星の微量分子の100/200GHz帯スペクトル線の監視/モニタリングを推進している。この観測から金星の中層大気は一酸化炭素(CO)の短期スケールの変動を有することも分かってきた。電波のヘテロダイン分光は、周波数分解能が高く、金星の硫酸の雲より上層の微量分子の観測が可能である。本研究では、この上層のCOの短期変動の起源の1つとして、あかつき衛星(JAXA)のLIR(10 μ m)カメラが発見した大気重力波の寄与を探るため、今季SPART望遠鏡、あかつき衛星、ALMAの12m干渉計/7m-ACA/TPアレイによるCO,SO₂,SO,HDOなどのスペクトル線の同時連携観測を実施した。また本年、なよろ市天文台の口径1.6mのPirka望遠鏡(北大)に搭載されたNear Infrared Ecelle Spectrograph(NICE)を稼働し連携観測を開始した。これにより、金星の硫酸の雲より低層に分布するH₂O,CO,OCS,SO₂,SOなどの観測も可能となり、電波が捉える上層との間で織りなすダイナミクス/物質循環と化学反応ネットワークのリンクにアプローチする。これらの理解は、系外の中心星に近い地球型惑星の大気科学の理解にも展開される。本講演ではこれら一連の連携プロジェクトとNICE/Pirka望遠鏡の近赤外観測の取り組みについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V145a 超小型火星探査機による THz ヘテロダイン分光観測プロジェクト

松本怜, 西田侑治, 木村公洋, 真鍋武嗣, 前澤裕之 (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, 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, 中川広務, 寺田直樹 (東北大学), Paul Hartoh (マックスプランク研究所)

近年、ハーシェル衛星 (ESA) のサブミリ波帯観測により、火星において酸素分子が低高度で増加する様子が捉えられた。火星では、局所的なメタンの発生も観測されているが、これらはいずれも、まだその起源が謎のままであり、生物起源の可能性も含め、火星環境における基本的な化学反応ネットワークの理解が急務な課題となっている。本ミッションでは、THz ヘテロダイン分光装置を、東京大学工学系研究科の中須賀研究チームが検討を進めている超小型火星周回機や着陸機に搭載し、火星の昼夜・四季を通じた O_2 、 H_2O 、 O_3 、 CO や関連同位体分子の変動の実態解明、Zeeman 効果による低高度の火星磁場の計測、惑星における酸素等のバイオマーカーのポテンシャルを探る観測研究を目指す。THz 帯ヘテロダイン分光は、周波数分解能が高く、惑星大気の微量分子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低高度まで見通して大気の観測が可能であること、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 SBD ミキサと通倍型の固体/DRO 局部発振器を内蔵した常温のヘテロダイン検出器を、分光計にはチャープ変換型分光計を採用する計画である。超小型のため、現在の検討段階で搭載できるバジェットは 7kg 程度以下の制限があり、システムや構造、熱設計の検討が鍵を握る。本講演では、本研究の目的や、火星大気の放射輸送計算、円偏波分離の受信機システムの設計など、一連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](#)

V146a THz帯超伝導ヘテロダイン検出器の搭載によるSMILES-2衛星の天文観測応用

西田侑治, 松本怜, 前澤裕之, 真鍋武嗣 (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), 水野亮, 長濱智生 (名古屋大学), 落合啓, Baron Philippe, 入交芳久, 鶴澤佳徳 (NICT)

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、Submm/THz 波帯での中間圏・下部熱圏の観測が提案されている。このミッションは O_3 層回復や温暖化の予測精度向上、成層圏・中間圏の風速場、重力波/Planetary 波の影響などの総合理解を目指しており、 HO_x 、 NO_x 、 CH_3Cl 、 CO 、 H_2CO 、 OH 、 O 原子などの輝線が分布する 0.4-2.0 THz 帯の観測を見据えている。受信機には、SIS やホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサ素子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ことを検討中である。中でも THz 帯は未開拓波長領域であるが、我々は現在、SMILES-2 に搭載可能な超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2.0 THz 帯ホーン/導波路集光型 HEB ミクサの開発を推進している。また本ミッションでは太陽系天体の観測や天文観測応用も視野にある。太陽系地球型惑星では CO_2 の安定問題の議論が古くからあり、また最近では火星において生物起源の可能性が示唆されるメタンなども観測されており、惑星環境における基本的な化学反応ネットワークの解明が急務の課題となっている。これには地上望遠鏡では観測が困難な H_2O や酸素分子、THz 帯に輝線をもつ OH や O 原子など酸化を司る微量分子の観測が鍵を握る。これらは系外惑星の大気科学やバイオマーカーへと理解を展開する上でも重要な役割を担う。この他にも、星間分子雲の cooling/形成過程や物理・化学進化に重要な役割を果たす C^+ や O 原子、またこれらの主要原子やイオンとリンクする有機分子の反応素過程を探る天文観測応用も見据えている。本講演ではこれら一連の検討や開発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](#)

【V2. 観測機器】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [H会場]

V201a	10:30	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗概要 郷田直輝 (国立天文台)
V202a	10:42	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の星像中心推定手法の開発 山田良透 (京都大学)
V203b	10:54	小型 JASMINE 衛星キー技術開発 上田暁俊 (国立天文台)
V204b	10:54	小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数 3 鹿島伸悟 (国立天文台)
V205b	10:54	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)
V206a	11:06	宇宙赤外線背景放射観測のロケット実験 CIBER-2:全体状況および光学系試験 高橋葵 (関西学院大学/総合研究大学院大学)
V207b	11:18	ロケット実験 CIBER-2: 観測装置の構造解析 児島智哉 (関西学院大学)
V208b	11:18	「あかり」中間赤外線スリット分光観測データにおける散乱光除去 高橋葵 (総合研究大学院大学/関西学院大学)
V209b	11:18	遠赤外線干渉計 FITE フライト計画 芝井広 (大阪大学)
V210a	11:30	SPICA (次世代赤外線天文衛星) 計画の進捗 芝井広 (大阪大学)
V211a	11:42	Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; The study of Mid-Infrared Imager, Spectrometer, Coronagraph (MISC) for Origins Space Telescope (OST) 左近樹 (東京大学)
V212c		SUNRISE-3 気球実験: 近赤外偏光分光装置 SCIP 用偏光ビームスプリッターの開発 永田伸一 (京都大学)
V213b	11:54	次期太陽観測用小型衛星に向けた高感度紫外線撮像分光装置の光学設計検討 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構)
V214b	11:54	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen FM 筐体の開発 高橋英則 (東京大学)
V215b	11:54	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の状態監視システムの開発 小島悠人 (東京大学)
V216a	12:06	半導体光増幅素子 MPPC を用いた高時間分解能を持つパルサー観測システムの開発 中森健之 (山形大学)
V217a	12:18	光ファイバベース 1.55 μm (193 THz) ヘテロダイナミック干渉計の検討 その3 木内等 (国立天文台)

9月11日(月) 午後(14:30-16:30) [H会場]

V218a	14:30	SuMIRe-PFS[6] – プロジェクト概要と進捗状況まとめ 2017 田村直之 (東京大学)
V219b	14:42	SuMIRe-PFS [7] 観測制御システム進捗 – ソフトウェア開発と観測制御の流れ 下農淳司 (東京大学)
V220b	14:42	SuMIRe-PFS [8] – サーベイ計画の構築へ向けて 矢部清人 (東京大学)
V221b	14:42	SuMIRe-PFS [9] — PFS の試験観測計画の現状と準備状況 森谷友由希 (東京大学)
V222a	14:54	SuMIRe-PFS [10] Science Database for HSC + PFS 田中賢幸 (国立天文台)
V223a	15:06	HSC-SSP サーベイにおける、CCD 毎の検出天体カタログのデータベース開発 山田善彦 (国立天文台)
V224b	15:18	HSC pipeline 一般共同利用サポートの現状報告 大石晋恵 (国立天文台)
V225c		HSC 近傍銀河データの PSF 測光 小宮山裕 (国立天文台)
V226b	15:18	広島大学かなた望遠鏡のリモート観測システム 植村誠 (広島大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V227b	15:18	一露出型可視偏光撮像器 HOWPoI の CCD 冷却機構の改良 松場祐樹 (広島大学)
V228a	15:30	太陽シンチレーションモニタによる高度に依存した大気擾乱推定及びシーイングの定量化 山本大二郎 (茨城大学)
V229b	15:42	太陽 SLODAR による大気ゆらぎ層の高さ分布の測定 三浦則明 (北見工業大学)
V230b	15:42	京都大学理学研究科附属天文台 液晶チューナブルフィルター開発計画 木村剛一 (京都大学)
V231c		太陽画像改善のための Phase Diversity 並列処理 三浦則明 (北見工業大学)
V232b	15:42	GROWTH プロジェクトにおける突発天体専用データベースの構築 伊藤亮介 (東京工業大学)
V233b	15:54	FOCAS 用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 8 尾崎忍夫 (国立天文台)
V234b	15:54	3 波長同時偏光撮像装置 “MuSaSHI” 偏光観測ユニットの開発 清野玄太 (埼玉大学)
V235b	15:54	京大岡山 3.8m 望遠鏡搭載に向けた高コントラスト装置 SPLINE の開発 2 黒田真之佑 (北海道大学)
V236c		西はりま VTOS によるスペックル観測とデータ処理 (3): パワースペクトル解析の精密化と拡張 桑村進 (北見工業大学)
V237a	16:06	国産の天文観測用大面積 InGaAs 近赤外線イメージセンサーの試作 中屋秀彦 (国立天文台)
V238b	16:18	1.3k×1.3k InGaAs 赤外線検出器の広島大学観測環境下における性能評価 森裕樹 (広島大学)
9 月 1 2 日 (火) 午前 (09:30-11:30) [H 会場]		
V239a	09:30	新しい 4 色同時撮像カメラ MuSCAT2 の開発 成田憲保 (東京大学)
V240a	09:42	小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の開発 峰崎岳夫 (東京大学)
V241a	09:54	小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の性能評価 河野志洋 (東京大学)
V242a	10:06	ULTIMATE-Subaru: すばる次世代広視野補償光学計画の概要と現状 美濃和陽典 (国立天文台)
V243a	10:18	すばる望遠鏡レーザトモグラフィ補償光学の開発 秋山正幸 (東北大学)
V244b	10:30	飛騨天文台における AO/GLAO の開発 三浦則明 (北見工業大学)
V245b	10:30	天体観測のための補償光学システム開発 藤田勝 (大阪電気通信大学)
V246b	10:30	Subaru/IRCS 熱赤外偏光観測機能の立ち上げ 1 — 撮像偏光試験観測結果 本田充彦 (久留米大学)
V247a	10:42	近赤外線高分散分光器 WINERED: 高感度非冷却近赤外線分光器の実現 近藤荘平 (京都産業大学)
V248a	10:54	VINROUGE 搭載用高効率 Ge イメージングレーティングの低温性能実証 猿楽祐樹 (東京大学)
V249b	11:06	超低熱膨張セラミックを用いた赤外線観測用アサーナル反射光学系の開発 猿楽祐樹 (東京大学)
V250b	11:06	近赤外線高分散分光器 WINERED: 波長安定性が高 S/N 赤外線スペクトルに与える影響 渡瀬彩華 (京都産業大学)
V251b	11:06	可視近赤外線同時カメラ HONIR における一露出型偏光観測モードの性能評価 長木舞子 (広島大学)
V252c		IRD のためのモードスクランブラー試験 2 石塚将斗 (東京大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V253c		Near-Infrared Thirty ”Millimeter” Telescope (IR-TMT) の開発と今後の計画 森田亮介 (東北大学)
V254b	11:18	中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発・性能評価試験 上塚貴史 (東京大学)
V255b	11:18	中間赤外線観測装置 MIMIZUKU 用 Aquarius 検出器の性能評価 山口淳平 (東京大学)
V256b	11:18	TAO サイトにおける大気中の水蒸気量の時間変動の測定 内山允史 (東京大学)

9月12日(火) 午後(13:00-15:00) [H会場]

V257a	13:00	TMT 計画 – 進捗報告 白田知史 (国立天文台)
V258a	13:12	東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡プロジェクトの進捗報告 吉井讓 (東京大学)
V259a	13:24	京大岡山 3.8m 望遠鏡 : 進捗と予定 長田哲也 (京都大学)
V260a	13:36	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告 伊藤洋介 (東京大学)
V261a	13:48	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VIII 阿久津智忠 (国立天文台)
V262a	14:00	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の防振系 大石奈緒子 (国立天文台)
V263a	14:12	Vibration isolation for KAGRA: status report on the beam splitter suspension test and installation Fabian Erasmo Pena Arellano (NAOJ)
V264a	14:24	液晶空間光変調器を用いたサブール板横シヤリングナル干渉計のためのスペックル除去技術の開発 河合研弥 (北海道大学)
V265a	14:36	広帯域コロナグラフ観測を目指した 3 層 8 分割位相マスクの特性評価 2 小室佑介 (北海道大学)
V266a	14:48	瞳面アボダイザを用いた 8 分割位相マスクコロナグラフの室内実証実験 渋谷恭平 (北海道大学)

9月13日(水) 午前(09:30-10:30) [H会場]

V267a	09:30	京都大学飛騨天文台 65cm 屈折望遠鏡制御装置の改修 仲谷善一 (京都大学)
V268a	09:42	新しい原理による空間分解能をもつ高分散分光器の開発 細川晃 (総合研究大学院大学)
V269a	09:54	岡山天体物理観測所高分散分光器 HIDES 用天文コムの開発 II. 装置概要 稲場肇 (産業技術総合研究所)
V270a	10:06	岡山天体物理観測所高分散分光器 HIDES 用天文コムの開発 II. 試験観測 神戸栄治 (国立天文台)
V271a	10:18	岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES-F の全自動観測システムの構築 前原裕之 (国立天文台)

V201a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗概要

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、2010 年に完成している打ち上げ実機 (FM) の維持管理および地上通信局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、ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) による打ち上げに向けての交渉の他、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、5000 千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 50μ 秒角/年以内) で測定する。こうして得られる星の位相分布関数情報を用いて、銀河系中心の巨大ブラックホールがブラックホールの合体によって成長したかどうかを高信頼度で判定を行うことやさらに中心核バルジの重力場を高信頼度で制限することを主目的とする。また、その他興味ある特定天体 (CygX-1、ガンマ線連星や系外惑星、褐色矮星等) に対しても公募により観測を行う。さらに、小型 JASMINE による星の位相分布関数情報を用いて期待できる科学的成果を広げるための検討も行っている。また、データ解析方法等の妥当性、精度達成の実現性に対する実証を進めてきた。さらに、衛星システム全体の詳細検討やクリティカルな技術要素の認識、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たが、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 の星像中心推定手法の開発

山田 良透 (京都大学)、Uwe Lammers(ESAC)、Daniel Michelik(ESAC)、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)、池田思朗 (統計数理研)

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。現在、解析のシミュレーションを継続している。

星像中心推定手法について、Gaia でも打ち上げ前は光学ソフトウェアにより生成した PSF サンプルを頼りに PSF モデルを構築して、このモデルに基づき星像の中心を推定する方法を考えていた。しかし、打ち上げ後、実際のデータ解析においては、観測されたデータから PSF モデルを構築する、Gaia チームが running solution と呼ぶ手法に移行している。HST でも、HST チームが ePSF 構築と呼ぶ、観測されたデータから (e)PSF を構築する手法が以前より使われている。JASMINE チームでも、この手法を取り入れて、達成精度を確認した。

本講演では、この星像中心推定手法の開発状況、精度評価について報告する。あわせて、Nano-JASMINE、小型 JASMINE のデータ解析に関する全般的な準備状況も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V203b 小型 JASMINE 衛星キー技術開発

上田暁俊、宇都宮真、間瀬一郎、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝 (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 は、次期位置天文観測衛星の名称であり、 H_W 帯で、銀河中心領域の星の年周視差を $10 \sim 20 \mu\text{as}$ 、固有運動を $10 \sim 50 \mu\text{as}/\text{Year}$ の精度で決定することを目標としている。

衛星軌道は、高度約 550 km の太陽同期軌道を想定している。衛星は、運用におけるリスクを低減するために、既に宇宙使用実績があるものや、既存で十分に熟成した技術をベースとする事により、高度なミッション要求を満たすと共に、プロジェクトリスク低減に努め、設計を行ってきた。それでも、本ミッションにおけるアストロメトリの厳しい要求を満たす為には、解決すべき技術的問題点は存在し、その解決の為に、研究開発を行ってきた。講演では、現在のキー技術の到達点と、将来の技術開発目標について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V204b 小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数 3

鹿島 伸悟、郷田直輝、小林行泰、矢野太平、上田暁俊、宇都宮真（国立天文台）、山田良透（京都大学）、安田進（JAXA）

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、そのためには設計及び公差解析時の評価関数として、詳細な PSF 解析に基づく ensquared energy が必要となる。小型 JASMINE では、PSF 径は波長に応じて 3×3 から 5×5 ピクセルにまたがり、読み出しは 9×9 ピクセル程度を考えているが、高精度星像位置検出には、できるだけ多くの光子を得ることと、それ以上に PSF 幅の分散が小さいことが重要であるため、そのバランスが取れた計算領域を決める必要がある。

これまで、収差やスパイダ構造等の影響や星像のピクセル上で位置・星のスペクトル（色）の影響に関する解析結果を報告し、ensquared energy の計算領域は 5×5 ピクセルが最適なことを報告してきたが、実は最も PSF の形状を崩す要因は擾乱である。バス部で発生する擾乱は比較的単純であるが、それが複雑な伝達関数に則りミッション部に伝わり、望遠鏡に擾乱を与える。擾乱の最大の発生源はリアクション・ホイール (RW) であり、そこで発生する擾乱は直線状であるが、その振動方向は RW の回転数によって変化する。これが伝達する際には振動方向と振幅が変化するだけでなく、直線振動が楕円振動に変化する。更に、小型 JASMINE では 3 台の RW を搭載するため、それらが複雑に重畳しあい非常に複雑な擾乱を与える。

本発表では、ある程度の仮定は用いたが、できるだけ上記実際の擾乱をモデリングする方法を考案し、それによって崩された PSF を用いた性能解析を行い、想定される擾乱があっても高精度位置天文観測が実現可能かどうかについて解析を行ったため、その結果に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b 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 (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ていた。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。

まず、複数点の星像間の距離が正確に測定できておれば幾何学的な性質を満たすという事実を用いて高精度に測定できている事を実証し、更に、我々の衛星のミッションでは、同一の星を多数回測定する事により系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成されることになっているが、そうしたプロセスが確かに有効に効いている事を、一回の観測では導出できない微細な系統誤差を人為的に挿入した擬似データを用いる事で実証してきた。更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整理して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206a 宇宙赤外線背景放射観測のロケット実験 CIBER-2:全体状況および光学系試験

高橋葵 (関学大/総研大), 松浦周二, 佐野圭, 児島智哉, 瀧本幸司, 太田諒 (関学大), 津村耕司 (東北大), 松本敏雄, 松原英雄 (ISAS/JAXA), Shiang-Yu Wang (ASIAA), James Bock (Caltech), CIBER-2 チーム

我々は、日米韓台の国際協力のもと、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。既に観測を終えている CIBER では近赤外線の大きなゆらぎ成分が発見され、その起源として銀河ハロー浮遊星仮説が提唱された。CIBER-2 では可視域まで拡張した放射スペクトルを取得し、その仮説を検証するとともに、宇宙再電離期の放射の検出を目指す。さらに、前景光である黄道光の可視・近赤外線スペクトルを測定し、太陽系内惑星間塵の特性を議論する。この中で、日本は主に望遠鏡及び後置レンズ光学系の開発を担当している。CIBER-2 の望遠鏡は、口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式液体窒素冷却望遠鏡である。冷却に伴う熱収縮によるひずみを最小限に抑えるため、主副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全てをアルミニウムを用いて製作する。望遠鏡のカセグレン焦点後方部には、 $2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$ の広視野撮像装置を搭載する。本装置には測光フィルタを組み込み、波長 0.5 - 2.0 μm 帯において一挙に 6 バンドでのゆらぎ撮像観測を実現させるほか、視野の一部にリニアバリアブルフィルタを追加し、スペクトル観測も同時に行うことを可能とした。

これまでにロケット打ち上げの振動条件をもとに光学系の設計を進め、今後はその設計を検証する段階にある。その際に必要な光学系各所での振動伝達関数を取得するため、望遠鏡試験用モデルとレンズ光学系ダミーマスをを用いた光学系全体の振動試験を行う。本講演では、その試験の概要とともにプロジェクトの進行状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207b ロケット実験 CIBER-2：観測装置の構造解析

児島智哉, 松浦周二, 佐野圭, 瀧本幸司, 太田諒 (関学大), 高橋 葵 (総研大/関学大), 津村耕司 (東北大), 松本敏雄 (ISAS/JAXA), Shiang-Yu Wang (ASIAA), James Bock (Caltech), 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。現在、NASA の観測ロケットによる 2018 年度の打ち上げを目指しており、我々は CIBER-2 に搭載される観測装置の開発を進めている。

望遠鏡、レンズ系、検出器、窒素タンクから構成される CIBER-2 の観測装置は、ガラス繊維強化プラスチック (G10) 製の 12 枚のプレートを紹介してロケット筐体に固定される。このような支持構造は、本計画の前身である CIBER 実験で採用したものと同様だが、CIBER-2 の観測装置は CIBER のものから構造が変わり重量も増加しているため、G10 プレートで支持可能であるかどうかを新たに検討する必要がある。そこで、構造解析ソフトウェアを用いて観測装置の機械構造モデルに対する振動シミュレーションを行い、ロケット搭載品に要求される振動テストレベルにおいて、G10 プレートをはじめとする各パーツの応力、安全率、加速度等を計算した。口頭講演 (本年会、高橋ほか) で述べるように機械構造モデルを用いた振動試験を実施するが、その試験結果をシミュレーションに反映させた上で、構造設計の妥当性を実証するとともに、必要に応じて構造部品の改訂を行う。本講演では、観測装置の構造解析の詳細と振動試験の結果およびこれらの比較検討について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V208b 「あかり」中間赤外線スリット分光観測データにおける散乱光除去

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

赤外線天文衛星「あかり」に搭載された近・中間赤外線カメラ IRC には3つのチャンネルが存在し、うち1つが MIR-S チャンネルである。この装置は $5.4\text{-}8.4\ \mu\text{m}$ 帯 (SG1) と $7.5\text{-}12.9\ \mu\text{m}$ 帯 (SG2) でいずれもグリズム分光観測が可能で、さらに視野の一部にはスリット分光領域が設けられているため、中間赤外線で明るく広がった天体や黄道放射の分光観測などに有効である。しかし従来、この装置で得られるスリット分光データには、装置由来のシグナルの除去が不十分なために SG1 と SG2 の共通波長域でスペクトルが一致しないという問題があった。

我々は、そのシグナルが数種類の装置内散乱光/ゴースト成分であることを特定し、各成分の強度に関する評価を行なった。まず散乱光成分として、アパーチャーマスクを通過した光が検出器の端に当たって散乱される成分、検出器面内で同じピクセル行および列にのみ十字方向に滲み出す散乱光成分の2つが挙げられる。入射光に対するそれらの強度分布を調べることにより、2次元画像内でこの2成分を見積もり・除去することを可能とした。さらに、近赤外線の点源分光観測用に設けられた $1' \times 1'$ のマスク窓に入射した光が作る別のゴースト成分がスリット分光領域にシグナルを生むことを見出し、その入射光に対する強度分布を評価した。その評価結果を元にゴースト成分のスペクトルへの寄与を見積もり、除去するツールを作成した。これらの結果、SG1 と SG2 の共通波長域で繋がった信頼できるスペクトルを得ることに成功している。本講演では、そのようなデータリダクションの流れと結果を紹介するとともに、各散乱光/ゴースト成分の起源や特徴について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209b 遠赤外線干渉計 FITE フライト計画

芝井 広, 住 貴宏, 松尾太郎, 須藤 淳, 伊藤哲司, 大塚愛里梨, 谷 貴人, 佐伯守人, 坪井隆浩 (大阪大),
吉田哲也, 齊藤芳隆, 成田正直, 佐々木彩奈, 土居明広 (JAXA 宇宙研), 河野裕介 (国立天文台)

気球搭載型遠赤外線干渉計 (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment: FITE) を開発した。FITE は、基線長 6.5m (ゴール 20m) の Fizeau 型 2 ビーム干渉計であり、焦点面におかれた遠赤外線アレイセンサーによって取得された干渉パターンから、新像再生法を用いて波長 150 ミクロンで 4 秒角 (ゴール:1 秒角) の空間分解能の達成が可能である。各ビームの集光鏡は口径 40cm である。科学観測用大気球によって宇宙遠赤外線がほぼ透過してくる 35km の高度に打ち上げられ、地上局からのリモート制御で高精度の指向を行う。2018 年 4 月にオーストラリア・アリススプリングス気球基地において、初フライトを行う計画である。構造物強度については静荷重 10g という厳しい条件が課されており、軽量性との両立のために、新たに CFRP 角パイプ構造のフレームを新たに設計・製作した。4.4m × 2.1m × 1.7m で全重量 2.5 トンを支持するフレームを約 200kg で実現した。さらに日中にフライトするケースを想定して表面を遮熱塗装した。また、遠赤外線アレイセンサーの二次元化を行った。干渉計のフライト前光学調整を短時日で行うために、新たに 2 ビームシャックハルトマン波面測定装置と、準パラレルメカニズムを発案・開発した。さらに三軸姿勢制御能力の向上を行い、実験室では日周運動追尾時においても数秒角の安定性が得られることを確認した。最初のフライトでは、システム性能の立証も兼ねて、モニター用として同時に観測する中間赤外線でも明るい惑星や晩期型星 (IRC+10216 など) を観測対象とし、この波長帯で初の干渉計観測 (フリッジ検出) を成功させたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V210a SPICA（次世代赤外線天文衛星）計画の進捗

芝井 広 (大阪大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨 (JAXA), 尾中 敬, 河野孝太郎 (東京大), 金田英宏 (名古屋大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、あかり、Spitzer、Herschel の成功を受けて、日欧共同で推進しているスペース大型極低温冷却赤外線望遠鏡である。口径 2.5m の望遠鏡を 8K まで冷却し、波長 12-350 ミクロンをカバーする高感度の分光機能 (+撮像機能) を持つ。日本国内においては JAXA 宇宙研を中心として多くの大学研究者の参加によってプロジェクトを立案し推進してきた。観測装置としては、中間赤外線撮像分光装置を日本側、遠赤外線分光装置を欧州各国加えてに日米加台が参加するコンソーシアムが担当する計画である。さらに新たに遠赤外線撮像偏光装置をフランス中心で搭載することを検討している。この結果、中間、遠赤外全域において、分光 + 撮像機能が揃うことになる。また遠赤外の偏光測定機能も持つ予定である。これら観測装置の検討と共に、望遠鏡部を含む全体を極低温冷却するシステムについて、より高信頼性、高効率の設計を得るための検討を続けてきた。日本が担当する冷凍機の開発・試験も順調に進み、End-to-end 試験により、無冷媒でもセンサーと望遠鏡の極低温冷却を確実に達成できる見通しを得た。これらの進捗を受けて学術会議重点大型計画に再度選定された。欧州宇宙機関では計画提案の一次審査中であり、数か月後に一次選抜されることが期待される。現在のところ 2028 年頃に打ち上げ予定であり、無冷媒極低温望遠鏡の高感度性を用い、TMT、ALMA、Athena、その他の望遠鏡とのシナジーによって、天文学の全分野において極めて価値の高い観測研究成果を生み出すことが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211a Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; The study of Mid-Infrared Imager, Spectrometer, Coronagraph (MISC) for Origins Space Telescope (OST)

左近 樹 (東京大学), Thomas L. Roellig (NASA Ames), Kimberly Ennico-Smith (NASA Ames), 池田優二 (photocoding), 松尾太郎 (大阪大学), 藤代尚文 (帝京大学), 塩谷圭吾 (ISAS/JAXA), Olivier Guyon (Univ of Arizona/ABC), 村上尚史 (北海道大学), 西川 淳 (NAOJ), 小谷隆行 (NAOJ), 猿楽祐樹 (東京大学), 高橋 葵 (ISAS/JAXA), Origins Space Telescope (OST) STDT, OST MISC Team

Origins Space Telescope (OST) は、米国の2020年のdecadal surveyに向けて、community-based Science and Technology Definition Team (STDT) の枠組みで検討が進められている遠赤外線ミッションである。これまでの活動において、OSTは2030年代にフライトを目指す主鏡直径9.1mのoff-axis光学系で構成される4.5Kの冷却望遠鏡として定義され、キラーサイエンスの検討とそれを実現する為に必要な観測装置の仕様策定を行ってきた。OSTに搭載する観測装置として、遠赤外線低分散分光装置、遠赤外線高分散分光装置、ヘテロダイン分光装置、遠赤外線偏光撮像装置、中間赤外線撮像分光コロナグラフ装置の5つの装置の検討が進められている。我が国からもOSTのSTDT活動に参加し、特に、中間赤外線撮像分光コロナグラフ装置 (Mid-infrared Imager, Spectrometer, Coronagraph; MISC) の検討をNASA Amesと共にリードしている。MISCは、(1) 波長6-38 μm を撮像及び低/中/高分散分光でカバーするImager and Spectrometer Module、(2) 波長6-38 μm をカバーし主星から0.5秒角で 10^{-7} 以上のコントラストを達成するCoronagraph Module、(3) 波長5-20 μm をカバーし数時間から数日のスケールで10ppmの安定性を実現するTransit Spectroscopic Module、の3つのモジュールで構成される。本発表では、これらのモジュールの仕様策定及び光学概念設計の結果と、今後鍵となる技術開発項目について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V212c SUNRISE-3 気球実験: 近赤外偏光分光装置 SCIP 用偏光ビームスプリッターの開発

永田伸一, 阿南徹 (京都大学), 勝川行雄, 末松芳法, (国立天文台), SUNRISE-3 チーム

2020年の飛翔を計画している SUNRISE-3 国際大気球太陽観測実験では、太陽彩層中に普遍的に見られるジェット、振動・波動などの動的現象の発生機構を、電磁流体力学に基づいて定量的に理解するため、日本主導で近赤外線偏光分光装置 SCIP 開発・搭載することを目指している。SCIP では光球と彩層をカバーする、Ca II 854 nm 線と K I 769 nm 線の2つの帯域の偏光分光観測を実施する。それぞれの帯域で、直交2偏光のスペクトルを同時に1台のカメラで撮像するために、カメラの直前に偏光ビームスプリッター (PBS) を設置する。本講演では、観測装置光学系に最適化された 850nm 帯域用 PBS の試作と性能評価について報告する。試作 PBS の波長帯域は 840–860nm で、目標とする消光比は 1:400、透過は面精度は $1/8\lambda(633\text{nm})$ 、透過ビーム偏角精度を ± 0.05 度、また、結像性能要求からの波面誤差からは S/P 焦点位置許容誤差は $30\mu\text{m}$ である。製作精度を考慮して、直方体型の PBS に、三角柱と直方体のガラスブロックを貼り合わせる構造とし、S/P 偏光の出射光の焦点位置が一致するようにブロック長を調整した (有効口径 $10 \times 28(\text{mm})$)。本ポスター講演では、(1) 偏光特性: 400–1100nm の広帯域でのミューラー行列計測、チューナブルレーザーを用いた消光比計測、(2) 焦点距離: 観測を模擬した光学系での S/P 偏光焦点位置を評価、を中心に試作品の性能とフライト品に向けた検討事項を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213b 次期太陽観測用小型衛星に向けた高感度紫外線撮像分光装置の光学設計検討

川手朋子, 清水敏文 (宇宙科学研究所), 今田晋亮 (名古屋大学), Luca Teriaca (マックスプランク研究所), Clarence M. Korendyke (米国海軍研究試験所), EUVST 検討チーム

彩層・コロナ形成のためのエネルギー輸送機構を理解するためには、彩層コロナの幅広い温度帯の分光情報の同時取得、アルフベントイムの時間分解、コロナにおける最も小さいスケールの磁気ループの空間分解が必要である。これには極端紫外線・真空紫外線領域の幅広い波長帯を、これまでより1桁程度大きい有効面積により、0.3秒角の角度分解を行うことが条件であることが、先行研究から明らかになった。この条件を満たす次期太陽観測望遠鏡として検討されてきたのが高感度紫外線撮像分光装置 (EUVST) である。EUVST は戦略的中型に搭載することを想定して口径 30cm, 長さ 4.3m の光学系案で装置の概念設計が行われた。本研究では EUVST の飛翔機会を増やすために、小型衛星にも搭載が可能であるような光学系の再設計を行った。手順は 1) 幾何光学上での成立解の調査 2) 光学パラメータの最適化と保証される分解能の見積もり の2つからなる。軸外し放物面鏡1枚の望遠鏡で構成される EUVST に対し、小型衛星が搭載されるイプシロンロケットのフェアリング内に収まり、開口径を可能な限り大きく、空間分解能・波長分解能が同時に高い解は、主鏡焦点距離・スリット-グレーティング間距離・分光器の拡大率・F 値に対して制限がつく。それらの幾何光学パラメータについて条件を満たす解を調査した。次に幾何光学上で条件を満たす解について、光学設計ソフトウェア Zemax を用いて光線の広がり进行計算し、グレーティングパラメータの最適化を行った。また最適解において空間・波長分解能の維持が保証される視野の範囲を調査した。本検討の結果として、170 – 1275 Å の観測波長帯を持ち、ひので衛星 EIS から約 10 倍スループットを向上させ、0.35 秒角の角度分解能を持つ、小型衛星として成立する光学系が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V214b 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen FM 筐体の開発

高橋英則, 酒向重行, 大澤亮, 一木真, 小島悠人, 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, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 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, 春日敏測, 有松亘, 猪岡皓太 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 佐藤幹哉 (日本流星研究会)

東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡は 2016 年度をもって共同利用を終え、超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を中心とするプロジェクト観測運用へと移行した。現在は、これまでのプロトモデル (PM) の製作工程やシュミット望遠鏡での観測を受けての改良・改善点の洗い出しを経て、84 センサ搭載のフルモデル (FM) 製作に向けて開発が進んでいる。FM の特筆すべき点は焦点面全体が 4 分割されており、各々独立なカメラとして使用できることである。それらを焦点面で組み合わせることで、最終的に視野 20 平方度の超広視野カメラ Tomo-e Gozen が完成する。機械的特徴として、内梁を残した削り出しによる筐体の軽量化・コンパクト化がされている他、配線や組立、フィルター窓の組み込みの際のハンドリングの良さなどを考慮したアイデアが盛り込まれている。また多数センサによる大きな発熱対策のため、別途製作した熱モデルを用いた熱試験も行われ、最終的に排熱フィンの採用と、熱浴 (望遠鏡本体) と熱コンタクトを大きく取ることで排熱が可能であることを確認した。さらに PM でも採用されたシュミット望遠鏡の 3 次元曲面焦点面を再現する、センサ毎に独立した形状の高さ調整機構 (Height Adjustment Plate : HAP) がベースプレートの 3 次元測定の結果を基に製作された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215b 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の状態監視システムの開発

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, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 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, 春日敏測, 有松亘, 猪岡皓太 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 佐藤幹哉 (日本流星研究会)

東京大学木曾観測所では 105cm シュミット望遠鏡に搭載される超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を開発している。Tomo-e Gozen は常温駆動の CMOS センサを 84 台使用し、約 20 平方度の視野を最大 2Hz の時間分解能で撮像できる広視野動画カメラである。Tomo-e Gozen の筐体は冷却真空装置を搭載しないことで、軽量、かつ小型化を実現している。カメラ筐体内は常温常圧であり、センサから発生した熱は主焦点インターフェースを通して望遠鏡構造体へ放熱される。また、熱の一部は筐体の側面に設置されたヒートシンクから外気へ自然放熱される。センサが格納された筐体内は乾燥空気を供給することによって、低い湿度に保たれる。本研究では、これらの熱バランスによる温度分布、及び筐体内の湿度を常時監視するシステムを構築した。筐体内・外気温・読み出し回路に温度計、筐体内に湿度計を取り付け、通信モジュールに接続し、ネットワーク経由で遠隔から温度・湿度を取得できるシステムとした。また、センサの信号線の一部をトリガとして GPS 受信機に繋ぎ、撮像の開始時刻を 1 ミリ秒以下の精度で取得するシステムを構築した。本講演では、読み出し回路の電源装置の監視システムやこれらの状態監視データを管理するためのデータベースの開発についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216a 半導体光増幅素子 MPPC を用いた高時間分解能を持つパルサー観測システムの開発

中森健之, 小松未侑, 細井祥汰, 高橋知也, 清水達也, 荻原理沙, 首藤瑞貴, 郡司修一, 柴田晋平 (山形大学), 谷津陽一 (東京工業大学)

強い磁場を持つ中性子星が高速回転している天体パルサーは、電波からガンマ線に至る広い範囲の波長の電磁波を 10 から数 100Hz の周期で放射している、宇宙の発電機とも呼ばれる非常に効率の良い加速器である。特に、可視・赤外領域のパルス形状は、パルサー磁気圏の放射領域に制限をつけることができる強力なプローブとなるが、観測に用いられる CCD は、天体からの光を時間積分して読み出すため時間分解能に限界があり、数ミリ秒程度に留まっている。

我々は可視光望遠鏡の焦点面に半導体光増幅素子 MPPC を搭載し、カニパルサーから到来する周期的な可視光を $1 \mu\text{s}$ の時刻精度で 1 光子ずつ検出するシステムを開発している。MPPC はガイガーモードで動作する微細な半導体素子を 2 次元配列した集合体で、1 光子の検出を可能とする高い内部増幅機を持ち、1 ナノ秒を切る時間分解能を持つ。半導体中の熱電子由来の雑音や真の信号に起因する偽信号が障害となり可視光観測には使えそうにないと通常考えられているが、パルサーの信号が周期的であることを生かすと、フーリエ変換や畳み込みによって、高い S/N 比でパルス放射が検出可能である。CCD カメラとのメカニカルな互換性を実現できるため、大型望遠鏡へ搭載し、さらに高い感度の観測が将来的に可能であると考えている。本講演ではシステム構成を紹介し、テスト光源を用いた周期検出実験により数 $10 \mu\text{s}$ の精度を実証したことや、GPS とのリンクによるさらなる絶対時刻精度の向上と現状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](#)

V217a 光ファイバベース 1.55 μm (193 THz) ヘテロダイン光干渉計の検討 その3
木内等 (国立天文台)

ヘテロダイン技術を用いた電波干渉計は、高周波化が進み THz 領域に達している。テラヘルツ領域には地球大気の電波の窓があり、今後有望な周波数帯と言える。今回、THz 領域より更に高い周波数での大気の窓のある近赤外領域での干渉計の可能性を探る。光の干渉計としては、直接干渉方式の研究が国立天文台でも行われてきた。直接干渉方式では最重要技術として、フリンジ検出のために2つの光干渉素子の光路長差を補償するための Delay Tracker の機械工作・位置制御に超高精度が要求され、システム構成が大きく温度管理など運用の面も難しい。これは、光の周波数が非常に高く、コヒーレンス長が光波長レベルになってしまうことが原因である。光直接干渉方式において、一般的な電波干渉計のようなヘテロダイン方式を採用できればこの制約から逃れられる。光アライメントも汎用性を低くするので、全系ファイバベースでのシステム検討を行った。今回、光ヘテロダイン技術の検討を行い、光信号をマイクロ波に周波数変換することでコヒーレンス長を長くし、デジタル的な相関処理が可能な干渉計システムを検討した。初期段階の基礎実験システムを組み上げたので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218a SuMIRe-PFS[6] – プロジェクト概要と進捗状況まとめ 2017

田村直之, 村山斉, 高田昌広, 下農淳司, 森谷友由希, 矢部清人, 安田直樹, 石塚由紀 (東京大学カブリ IPMU), 高遠徳尚, 鎌田有紀子, 上田暁俊 (国立天文台), 他 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、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 7 か国にまたがる国際チームにより、2019 年前半試験観測開始、2020 年後半科学運用開始を目指し行われている。現在は、各サブシステムの製作、組上、試験をハード・ソフトの両面で進めつつ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ている。一方サイエンスチームはすばる戦略枠への大規模サーベイ計画の立案に向けて活発に議論を行っており、それに合わせて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、最近の進捗、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](#)

V219b SuMIRe-PFS [7] 観測制御システム進捗 – ソフトウェア開発と観測制御の流れ

下農淳司, 田村直之, 村山斉, 高田昌広, 森谷友由希, 矢部清人 (東京大学), 高遠徳尚, 美濃和陽典 (国立天文台), 他 PFS collaboration

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡の次期主力観測装置の一つとして開発が進んでいる主焦点超広視野ファイバー多天体分光器である。主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された自動制御モーターに取り付けられた約 2400 本のファイバーへ天体や空を導入し、それぞれを 2 台の CCD カメラ、1 台の近赤外カメラからなる分光器システム 4 台にファイバーで導光することで、380nm から 1260nm の波長範囲にわたる約 2400 本のスペクトルを一度に取得する。

PFS の開発は、東京大学 Kavli IPMU を中心とした 7ヶ国 18 機関の国際協力により進められており、各機関で開発中のサブシステムの各部分の制御モジュールに続き、サブシステム間連携に必要な API・シーケンスや各種データの受け渡し方式の策定、及びすばる望遠鏡観測制御システムと連携しての観測装置全体の統合制御について、Kavli IPMU が中心となって検討・開発を進めている。

本発表では、すばるによるデザインレビューに合格し、山頂施設への設置を始めている観測制御システムについて、データベースを含めたサブシステム間の情報連携、分散かつそれぞれで多様な制約を持つデバイスを連携してのファイバー配置に必要とされる事前準備・配置中の制御・収集した動作データのオフライン解析の連携、多数のサブシステムをメッセージ交換サーバを経由して接続する形式での装置制御の設計・開発、それらさまざまなシステムの物理状態監視と状態データを基にした警報システムの設計、などの観測装置制御システムの現状について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V220b SuMIRe-PFS [8] – サーベイ計画の構築へ向けて

矢部清人, 田村直之, 高田昌広, 安田直樹, 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

2020 年後半からの科学運用開始を目指し、すばる望遠鏡超広視野ファイバー多天体分光器 PFS の開発が進んでいる。装置開発と並行して、宇宙論・銀河形成進化・銀河考古学の 3 つを柱に宇宙の歴史の謎を紐解くサーベイ観測計画の立案も進めている。科学目標や観測ターゲットが多岐に渡り、必要な露出時間が異なるため、全体を統合し一つのサーベイ計画を構築することが大きな課題である。

我々は PFS を用いたサーベイ観測のシミュレーションを行ない、より効率的なサーベイ計画の可能性を追求している。現在開発中のファイバー配置ソフトを始め、スペクトルシミュレータなど、可能な限り現実に即したコンポーネントを取り込み、データベースシステムのプロトタイプとデータのやり取りを行ないながら、ターゲット選択からファイバー配置、観測、次のターゲットの選択という、一つの観測の流れが追えるサーベイシミュレータの開発を行なった。各サーベイコンポーネントについて、観測ターゲットを擬似的に作成し(一部は実際の HSC データに基づく)、観測天域の visibility も考慮に入れたシミュレーションを行ない、最終的なサーベイ計画の成立性を検討している。また、ファイバー配置の手法や seeing などの気象条件の違いが全体のサーベイに与える影響を評価し、より効率的なサーベイ計画の追求を行なっている。

本講演では、サーベイ計画の概要、シミュレーションの進捗状況、および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](#)

V221b SuMIRe-PFS [9] — PFS の試験観測計画の現状と準備状況

森谷友由希、矢部清人、田村直之、下農淳司 (東京大学 カブリ IPMU)、高遠徳尚、田中陽子 (国立天文台)、Jams E. Gunn (Princeton Univ.)、他 PFS collaboration

PFS はすばる望遠鏡の主焦点に搭載予定の超広視野ファイバー多天体分光器である。装置は、(1) 主焦点で 2394 個のファイバーを天体に配置する主焦点装置、(2) ドーム 4 階で可視及び近赤外帯域 (380nm–1260nm) のスペクトルを 3 つのチャンネルで一度に取得する分光器 4 台、(3) カセグレン焦点に搭載されファイバーの位置を測定するメトロロジカメラ、(4) 主焦点装置と分光器をつなぐファイバーケーブルと接続モニタリング機構、の 4 つのサブシステムから構成される。各サブシステムが組み立てられる場所やすばる望遠鏡に輸送される時期は異なるが、第一弾として今年末にメトロロジカメラがハワイ観測所ヒロ基地へ輸送される予定である。

サブシステムが到着した後は、試験観測を通じてシステム統合や性能評価を進め、2020 年後半からの科学運用開始を目指している。我々はこのコミッショニングに必要な試験、所要時間やツールなどを洗い出し、それぞれのサブシステムが到着する時期や科学運用開始までのタイムスケールを考慮し、なるべく効率よく必要な試験が遂行できるように、試験観測計画の立案を進めている。本講演では現在の試験観測案を紹介する。

現在 (2017 年 6 月) の計画では、合計 43 夜 (天候ファクター、技術マージン含む) からなる 9 回の試験観測を通して、各サブシステムの機能の確認から望遠鏡も含めたシステムの統合、座標などの較正、科学性能評価までを行う予定であり、この内科学性能評価以前の計画内容についてはハワイ観測所とも概ね合意が取れている。また、広視野補正レンズの傾き・シフト補正の手法 (2015 年秋季年会 V204b) の確認を、今年 12 月に HSC を用いて試験する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a SuMIRe-PFS [10] Science Database for HSC + PFS

田中賢幸 (国立天文台), 峯尾聡吾 (国立天文台), 小池美知太郎 (国立天文台), 山田善彦 (国立天文台),
Ani Thakar (JHU), Dmitry Medvedev (JHU), 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) に向けた Science Database の開発を進めている。現在、Hyper Suprime-Cam (HSC) で運用されている PostgreSQL database や hscMap (image browser)、各種 web interface を発展させ、PFS のデータも同時に扱えるように開発が進んでいる。SDSS で提供された Catalog Archive Server と Data Archive Server に対応する機能は我々はずでに実装しているが、実はこれらのサービスは別々のところで提供されると、非常に使い勝手の悪いサービスである。そこで、我々はそれらをまとめ、さらに hscMap の機能も組み込んだ統合環境を目指していて、JHU で開発されている SciServer に含まれる、国立天文台と相補的なツールを取り入れることで、これを実現しようとしている。講演では現在の開発状況と、今後の方針について報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223a HSC-SSP サーベイにおける、CCD 毎の検出天体カタログのデータベース開発

山田善彦, 林裕輔, 峯尾聡吾, 高田唯史, 古澤久徳, 池田浩之, 田中賢幸, 小池美知太郎, 大石晋恵 (国立天文台), 他 pipeline 開発チーム一同

すばる望遠鏡の主焦点に搭載された Hyper Suprime-Cam(HSC) は 3 種類の深さ・広さのサーベイ観測 (UDeep / Deep / Wide) を 2014 年からおこなっている。そのデータは hscPipe という解析パイプラインによってデータ解析・カタログ化され、さらにデータベース化されて共同研究者 (SSP Collaboration) と一般利用者向けに公開されている。現状で公開されているものは主にモザイク・スタック済み画像から得られる天体カタログであるが、解析パイプラインはそれらだけでなく、それらの天体の位置を元にして CCD 上で forced 測光をして天体カタログを作る機能も備えている。UDeep / Deep サーベイでは同じ天域を数十回以上観測するため、CCD での天体カタログがあれば、変光する天体の検出などの威力を発揮できると予想される。また、個々の CCD での測光結果を足し合わせたものとスタック画像での測光を比較することによって、解析の信頼性・妥当性を検証できる。本講演では、CCD での forced 測光による天体カタログのデータベース化の開発について述べ、それを使った品質評価/サイエンスの可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224b HSC pipeline 一般共同利用サポートの現状報告

大石晋恵, 田中賢幸, 古澤久徳, 高田唯史, 峯尾聡吾, 小池美知太郎, 山田善彦, 池田浩之, 岩田生, 宮崎聡 (国立天文台), 他 pipeline 開発チーム一同

HSC pipeline はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 用データ解析ソフトウェアである。2015年度には、一般共同利用観測者向けに pipeline マニュアルとヘルプデスクが開設された (日本天文学会 2016 年秋季年会, V218b)。昨年度のヘルプデスクの実績は、問い合わせ件数 52 件、問題のクローズまでの平均日数は 1-2 週間だった。問い合わせに応じてマニュアルの FAQ などは随時更新している。それまでは issue list として Excel での管理を行っていたが、issue tracker を導入し、チーム内での情報共有が円滑に行えるようになった。Pipeline については新しいバージョンがリリース予定となっているので、新しいマニュアルや仕様の変更について紹介する。

さらに、一般共同利用データについて、自動で pipeline の定型解析を行うサービスの開発も進めている。現状では自動処理のスク립トは完成しており、試験運用を開始する予定となっている。試験運用では、まず各観測ラン毎の約一ヶ月分の共同利用観測データ解析をまとめて行い、もしそのデータを利用したいユーザーがいた場合は配布することも検討中である。運用が安定的に行えるようになれば、HSC の運用開始から取得された全データに対して定型解析を行い、それを公開する Legacy Archive 構想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](#)

V225c HSC 近傍銀河データの PSF 測光

小宮山裕 (国立天文台)

すばる望遠鏡超広視野 CCD カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は、すばる望遠鏡の高解像力をもって直径 1.5 度角もの視野を一気に観測することが可能であり、見かけの大きさが大きく、銀河を個々の恒星に分離して観測することができる近傍銀河の研究には最適な観測装置である。一般に近傍銀河の恒星の測光には Point Spread Function (PSF) をフィットして恒星の全等級を求める PSF 測光が用いられる。この PSF 測光は、混雑領域の測光も可能にする、恒星についてはより暗い検出限界が得られるなど、近傍銀河研究にはなくてはならない手法である。一方、PSF 測光は相応の手間と計算時間がかかるため、HSC 画像データに適用するために最適な測光手法を確立することが必須である。

本研究では代表的な 3 つの PSF 測光ソフトウェア (DAOphot, PSFEx, hscPipe) を比較し、到達限界等級、測光精度、Completeness などそれぞれの特徴をまとめるとともに、混雑領域への適用可能性、計算スピードなど様々な観点から各々の測光ソフトウェアの得失についても比較を行う。また互いを組み合わせることにより、効率的かつ半自動で動く PSF 測光法についても検討を行ってきたので、その詳細を紹介する。その他、ここ数年間の研究によって分かってきた HSC 画像への適用における Tips などについても触れ、HSC による近傍銀河の研究に最適な PSF 測光手法についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226b 広島大学かなた望遠鏡のリモート観測システム

植村誠, 川端弘治, 中岡竜也, 川端美穂 (広島大学), 吉田道利 (国立天文台), 関敬之 (西村製作所)

広島大学の東広島天文台は2006年に開所し、口径1.5 mのかなた望遠鏡を有している。天文台は大学キャンパスから車で約20分の位置にあり、アクセスの良さと機動性・冗長性の高い運用を活かした突発天体现象の研究を主に行っているほか、他機関の装置試験なども積極的に受け入れてきた。

これまで、普段の観測は大学院生が主体となっており、大学キャンパスと天文台の間は各自が車で移動してきた。しかし、特に冬季は道路の凍結が発生するなど、移動中の事故が懸念される。また、安全性の観点から天文台での観測は2名以上で行うことを内規で定めているが、時期によっては観測対応可能な人員が少なく、運用に支障をきたすこともある。

そこで、大学キャンパスから安全にリモート観測を実行できるシステムを開発し、1名でも観測作業を実施できるようにした。安全性に関しては望遠鏡付近に作業者がいる時にリモート観測によって望遠鏡や装置が動くことによる事故発生が想定される。これを避けるため、ドーム入り口に新たな機械警備システムを導入し、ドーム内に人が居ない時にのみリモートでの望遠鏡制御が可能となるようにした。この他、雨天時のドームスリット閉状態の強制、停電時のドームスリット自動閉操作、ドーム内の映像と音声のリモート観測室からの監視、リモートとローカルで共有される観測装置制御、リモート制御可能なドーム内照明・望遠鏡制御架主電源の設置など、安全かつ利便性の高いシステムを実現した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227b 一露出型可視偏光撮像器 HOWPol の CCD 冷却機構の改良

松場祐樹、川端弘治 (広島大学)、秋田谷洋 (茨城大)、吉田道利 (国立天文台)

HOWPol は可視光の撮像・分光・偏光撮像観測が可能な装置であり、広島大学 1.5 m かなた望遠鏡のナスミス焦点に 2009 年より常設されている主力装置の一つである。ウォラストンプリズムを 3 枚搭載し、うち 2 種類は一度の露出で 4 方位の偏光像を得ることができるタイプのもので、1 回の露出で直線偏光パラメータをすべて得ることができ、GRB 残光など短い時間変動を示す天体の偏光観測に活躍している。HOWPol では、浜ホト製 2k4kCCD 2 枚を、Cryotiger 冷凍器を用いて 173K に冷却し運用しているが、冷凍器コンプレッサーの経年劣化に伴い、冬季以外は 173K での維持が困難となってきた。また、HOWPol は他の望遠鏡のペント・カセグレン焦点に搭載する計画があることから、コンプレッサー一体型のコンパクトな冷凍器に交換することが必要である。

そこで、我々は振動抑制型で十分な冷却性能を有するスターリング式冷凍器に交換することを目標に、必要な性能を満たす冷却デューワーとその支持機構を設計した。設計は 3D CAD(SolidWorks) を用いて行った。新しい冷凍器の重量はデューワーステージの許容荷重を超えるため、かなた望遠鏡のナスミス焦点で用いるためには、装置本体や真空シール部に負担を掛けない支持機構や、効率的に脱着作業を進められる固定法の工夫が要求される。装置ローテータによるデューワーの回転に対し、負担を掛けずにナスミス台から支持する必要もあり、その支持機構には滑車とワイヤーを用いた吊り下げ型を採用した。また、熱収支計算を行い十分な冷却を行うコールドパスの設計も行い、新たな冷却機構の全体像が確定した。現在、デューワーの製作を進めており、それができ次第、冷却試験へ取り掛かる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228a 太陽シンチレーションモニタによる高度に依存した大気擾乱推定及びシーイングの定量化

山本大二郎, 野澤恵 (茨城大学), 一本潔, 仲谷善一, 木村剛一, (京大飛騨天文台), 三浦則明 (北見工業大学), 萩野正興 (国立天文台), 浜屋ひかり, 宮良碧 (明星大学)

天体を地上から観測するとき、空間分解能は望遠鏡の回折限界よりもシーイングと呼ばれる地球大気擾乱による影響に依存してしまう。そのため、望遠鏡建設の際にはシーイングの小さい立地選択や望遠鏡の構造を工夫する必要がある。現在でもシーイングを定量的に示す研究が進められ、多様な装置が開発されている。その中でもシンチレーションモニタ SHABAR (SHAdow BAnd Ranger; 複数の光センサーを用いて太陽光強度のわずかな変動からシーイングを定量化する装置) は、高度に依存した大気擾乱のパラメータを導出可能である。そのことから、H.Socas-Navarro et al. (2005) では、現在建設中の口径 4 m の大型太陽望遠鏡 DKIST (Daniel K.Inouye Solar Telescope) のサイト調査で SHABAR を用いたことが報告され、国内でも太陽観測用 SHABAR の開発が進められている (仲谷 2012 年秋季年会 V246a)。

本研究では、これまで行われていない国内の太陽望遠鏡のサイト調査において、シンチレーションモニタによるシーイングの定量化および高度に依存した大気擾乱の推定を目的としている。本公演ではプロトタイプとして製作された SHABAR と他光学機器との同時観測による結果検証及び、茨城県水戸市茨城大学を含む日本各地での測定結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229b 太陽 SLODAR による大気ゆらぎ層の高さ分布の測定

三浦則明, 菊池駿, 鈴木貴博 (北見工大), 山本大二郎, 野澤恵 (茨城大), 萩野正興 (国立天文台), 上野悟, 一本潔 (京大)

開発中の太陽観測用の地表層補償光学系では、上空揺らぎ層の高さの情報が必要となる。揺らぎ層の高さを計測するため、太陽 SLODAR (Slope detection and ranging) 法の開発を行っている。

太陽 SLODAR では、比較的広い視野をもつ Shack-Harmann (SH) センサーを用いて太陽黒点群を観測する。異なる黒点からの光波が上空揺らぎ層の共通部分を通過したとき、それらは開口上で異なる地点に到達する。これを SH センサーで観測すると、離れたサブアパーチャ上で異なる黒点と同調した動きを示す。その同調の度合を時間相関によって評価する。

我々は、2017 年 6 月に飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡に SH センサーを設置し観測を実施した。早朝から夕方までわたって太陽を追跡しながら、およそ 15 分おきに 2 万枚のフレームを取得した。現在データ解析を進めているところであるが、解析が終了したデータからは地表層で大きな揺らぎを持つという従来の知見に合った結果が得られている。また、SHABAR による揺らぎ測定と同時観測を実施している。当日は両者の比較結果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](#)

V230b 京都大学理学研究科附属天文台 液晶チューナブルフィルター開発計画

木村剛一, 一本潔, 上野悟, 永田伸一, 仲谷善一, 大辻賢一, 阿南徹, 廣瀬公美, 徳田玲美 (京都大学)

京都大学理学研究科附属天文台では5年前から、太陽観測用狭帯域液晶チューナブルフィルターを開発している。フィルターの仕組みとしては、方解石や水晶といった複屈折光学結晶や偏光板を組み合わせ、波長チューニング素子として、液晶遅延素子を採用し、0.1秒という高速で波長チューニングを可能としている。また、広帯域の素子を用いることで、510nm-1100nmの様々な波長で観測が可能である。我々は、まず口径32mmのフィルター(UTF-32)を開発した。これは飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡や中国雲南省撫仙湖太陽観測所で成果をあげてきた。次に開発したのは口径40mmのフィルター(TF-40)で、現在飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡(SMART)における新観測装置(SDDI)に搭載され、太陽彩層全面像 $H\alpha$ 線の定常観測を2016年4月からおこなっている。

本講演ではUTF-32の性能を拡張するため、透過幅 $1/8\lambda$ のフィルターとしても使用できるあらたな装置開発を紹介する。これまでのUTF-32の透過幅が $1/4\lambda$ であったのに対してさらに狭い透過幅となる。これはUTF-32の最小透過幅ブロックの2倍の厚みがある素子を用い $1/8\lambda$ ブロックを新たに製作し、そのユニットを接続する事で $1/8\lambda$ の透過幅を実現する。このユニットの脱着によって $1/8\lambda$ の透過幅を実現する。このフィルターでは短波長域での高精度観測や幅の狭い光球起因のスペクトル線での観測に対応できると期待する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231c 太陽画像改善のための Phase Diversity 並列処理

鈴木貴博, 三浦則明, 桑村進 (北見工大), 上野悟, 一本潔 (京大)

地上にある望遠鏡を通して太陽を観測する際、大気ゆらぎの影響により観測する太陽像が劣化してしまう。劣化を抑制するために補償光学 (AO) が頻繁に用いられているが、従来の AO では参照点から離れるとゆらぎを補正しきれない。広範囲にわたるゆらぎを補正する手法の一つとして地表層 AO (GLAO) が知られているが、地表層にある揺らぎの補正しか行わないため上空層のゆらぎが残ってしまう。そこで、GLAO を用いて地表層のゆらぎを補正した像に対して、Phase Diversity (PD) 法を適用することにより、広範囲での太陽改善を目的として研究を進めている。

しかし、PD 法は非常に長い処理時間を要する画像処理である。また、ゆらぎが同じであると見なせる視野内で処理を行う必要があることから、画像を分割し、各分割像に対して PD 法を適用する必要がある。これらの状況に対応するため、計算機クラスタを用いて並列分散処理を行うシステムを作成した。また、このシステムによって処理時間の短縮に成功したので報告する。なお、現在は一組の on-focus 像と defocus 像を用いて像の回復処理を行っているが、本講演では複数組の像を使った PD 法の並列分散処理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](#)

V232b GROWTH プロジェクトにおける突発天体専用データベースの構築

伊藤 亮介, 谷津 陽一, 河合 誠之, 斉藤 嘉彦, 橋 優太郎, 吉井 健敏, 針田 聖平, 森田 浩太郎 (東京工業大学), 花山 秀和 (国立天文台)

東京工業大学が運用する明野観測所と石垣島天文台は、2015年から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。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。これらの観測において、参加パートナー機関の間での候補天体の情報の迅速な共有は極めて重要である。しかし、多種多様な観測形式が混在するため、観測計画の立案には様々な困難があり、観測に必要な情報を円滑に共有するシステムの構築が課題であった。

そこで我々東京工業大学では、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を構築した。各種情報はwebブラウザを介して登録・回覧できる他、ロボット観測所向けのコマンドラインによるデータ管理や、そのまま各種プログラムで取り込みやすいJSON形式での出力が可能である。各観測所の天候や天体のビジビリティも同時に表示できるため、複数観測所を用いた観測計画を立案する上で非常に有用である。また、観測結果も速やかに共有でき、簡単にライトカーブとスペクトルを描画できるシステムとなっている。また同データベースからの情報を元に明野50cm望遠鏡で自動的に観測が実施されるよう自動観測システムの更新を行った。本講演では構築したデータベースの概要と明野50cm望遠鏡における自動観測システムの概要について述べるとともに、GROWTHプロジェクトの観測によって得られた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](#)

V233b FOCAS用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 8

尾崎忍夫, 服部堯, 福島美津広, 三ツ井健司, 岩下光, 田中陽子, 都築俊宏, 岡田則夫, 宮崎聡, 山下卓也, 大淵喜之 (国立天文台)

我々はすばる望遠鏡で稼働中の可視光撮像分光装置 FOCAS に搭載する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を行っている。この IFU は遠方銀河などの淡く広がった天体の観測を目指して以下のような特徴を有している。1) 反射面に高反射率誘電体多層膜ミラーを採用することで高いスループットを達成している。2) ベストシーイング程度の適度に粗いサンプリングを採用することで、淡く広がった天体への感度向上を狙っている。3) 対象天体と 5.7 分角離れたスカイのスペクトルを天体データと同時に取得することで、スカイ引きの精度が上がると期待される。この IFU の視野は $13.5 \times 9.89 \text{ arcsec}^2$ 、空間サンプリングは 0.43 arcsec 、スライス数は 23 である。スライサー型 IFU では光学素子の数が多く (FOCAS IFU では 69 面のミラー)、その製作手法が技術課題となっている。金属を超精密切削で複数ミラーを一体加工すれば、アライメント調整の手間を省け、かつ高いアライメント精度を達成できる。しかし上述の高反射率誘電体多層膜を切削金属表面に施すと、剥離しやすいという欠点がある。そこで FOCAS IFU ではガラスを研磨加工してスライスミラー等の光学素子を製作することにした。しかしこの場合、個々のミラーを個別に加工し、高い精度で組み合わせる必要がある。光学設計は既に終了し、既に光学素子やホルダー等の機械部品の製作も完了している。これらについては過去の年会で報告済みである。本年会ではその後の進捗報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234b 3波長同時偏光撮像装置 “MuSaSHI” 偏光観測ユニットの開発

清野玄太、大朝由美子、荒沼佳純、平塚雄一郎、木内穂貴 (埼玉大)、潮田和俊 (埼玉大/住田光学ガラス)、柴田吉輝 (埼玉大/鉄道情報システム)、木野勝 (京都大)、秋田谷洋 (茨城大)、伊藤洋一、高橋隼 (兵庫県立大)

埼玉大学では、55cm 望遠鏡 “SaCRA” のカセグレン焦点部に搭載する、即時性・高効率・同時性を有した3波長同時偏光撮像装置 “MuSaSHI” を開発した。本装置は、3波長同時撮像部と偏光観測部の独立した2つのユニットにより構成されている。3波長同時撮像ユニットは昨年度までに性能評価を終え、科学観測に用いられている。偏光観測ユニットは、ワイヤーグリッドと1/2波長板を用いており、波長板を回転させることにより、天球に対する異なる方位角の直線偏光成分を3波長 (r、i、zバンド) 同時に検出できる。偏光観測ユニットを製作するにあたり、筐体案と波長板回転機構の設計および製作を行った。筐体案については円筒状と箱状の2案を検討し、構造解析による重力方向への変形を算出した結果から、あらゆる方向の荷重に対応できる円筒状の案を採用した。波長板回転機構については、ノーバックラッシギアを取り付けたステッピングモーターを制御する回路とプログラムを構築した。“SaCRA” のカセグレン焦点部に搭載した試験観測では、偏光観測を行えることを確認した。

また、本装置は小型な筐体かつ明るい焦点設計で、他の望遠鏡への搭載が容易であるという特徴がある。それを活かし、兵庫県立大学西はりま天文台 “なゆた” 2 m 望遠鏡に搭載するために、カセグレン焦点部への取り付けマウントの設計・製作を行い、“MuSaSHI” を搭載した試験観測を行った。本稿では3波長同時撮像ユニットの性能評価の結果と偏光観測ユニット、波長板回転機構の設計・製作ならびに試験観測の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235b 京大岡山 3.8m 望遠鏡搭載に向けた高コントラスト装置 SPLINE の開発 2

黒田真之佑, 村上尚史 (北海道大), 山本広大, 木野勝 (京都大), 小谷隆行 (AstroBiology Center/ 国立天文台), 河原創 (東京大), 松尾太郎 (大阪大), 馬場直志 (室蘭工業大), 田村元秀 (東京大/ 国立天文台/AstroBiology Center)

現在建設中である京大岡山 3.8m 望遠鏡への搭載に向けて、高コントラスト装置 SEICA の開発が進められている (山本他、2016 年春季年会 V247a)。SEICA は、極限補償光学およびコロナグラフなどから構成され、木星型巨大ガス惑星の直接撮像を目標としている。SEICA に搭載するコロナグラフには、サバール板横シヤリングナル干渉計 (SPLINE) が検討されている。SPLINE とは、直交する 2 枚の偏光子でサバール板を挟んだ、シンプルな構造のナル干渉型コロナグラフである (村上他、2010 年秋季年会 V36b)。SPLINE の利点として、アクロマティックな恒星除去が可能なことや、京大岡山 3.8m 望遠鏡のようなセグメント型望遠鏡に有効なことなどが挙げられる。我々は、SEICA 搭載に向けた SPLINE の開発を推進している。これまでに、SEICA での観測に要求される SPLINE 光学素子の位置精度の見積もりなどを行った (黒田他、2016 年秋季年会 V235a)。

現在、SEICA 搭載用 SPLINE 実機の構築を進めている。構築した SPLINE の安定性を評価するため、人工光源を用いた室内試験により、数日間にわたりコントラスト測定を行った。その結果、日単位でコントラストが上下に変動する様子が確認された。そこで、コントラストと同時に環境温度の測定を行い、上述の位置精度に対する考察も踏まえ、温度変化がコントラストにどのように影響を及ぼすかの調査を行った。本講演では、構築中の SPLINE 実機の構成や、安定性の評価結果など、開発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](#)

V236c 西はりまVTOSによるスペックル観測とデータ処理(3): パワースペクトル解析の精密化と拡張

桑村進, 小野翔太郎, 三浦則明(北見工大), 圓谷文明(西はりま天文台), 坂元誠(子ノ星教育社), 馬場直志(室工大)

西はりま天文台なゆた望遠鏡に設置されているVTOS(visible target observation system)は、可視域における高空間分解能イメージングを目的に開発された観測装置で、我々は当装置を利用してスペックル像再生法の研究を行ってきた。スペックル像再生法は、補償光学では困難な可視域の高空間分解能イメージング技術として重要である。これまで我々はVTOSデータを使い、パワースペクトル解析(スペックル干渉法)とシフト加算法の2手法を軸に像再生アルゴリズムの開発と改良を行ってきた。

VTOSには電子増倍型CCD(EMCCD)カメラが搭載され、アナログモードでスペックル撮像を行なっているが、昨年度の年会では、このような撮像モードにおける雑音モデルを新たに構築した。新しいモデルでは、これまでの光電子雑音と読み出し雑音に加え、擬似電荷雑音、増倍時過剰雑音、単電荷応答関数および量子効率不均一性が考慮されている。今回我々は、この新しいモデルに基づき、パワースペクトル解析における雑音バイアス補正アルゴリズムの見直しを行った。その結果、補助フレーム(ダークとフラット)を使用してバイアス補正を行う場合、補正公式を若干修正する必要があることが分かった。更に今回、パワースペクトル解析において次の2つの拡張を行う予定である: 1つ目は、新しい雑音モデルに基づいてSN比の理論計算を行い物体パワースペクトルの推定誤差を見積もれるようにする事、2つ目は、パワースペクトル解析から得られる再生像の不完全さを、シフト加算像によって補償するアプローチを検討する事である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a 国産の天文観測用大面積 InGaAs 近赤外線イメージセンサーの試作

中屋秀彦, 小宮山裕, 柏川伸成, 吉田道利 (国立天文台), 内田智久 (高エネルギー加速器研究機構), 永山貴宏 (鹿児島大学), 森裕樹, 松場祐樹, 川端弘治 (広島大学)

近赤外線観測装置には HgCdTe 検出器が最も使われているが、海外製しかなく高価であり入手にも時間がかかる。InGaAs 検出器は、感度のある波長が 0.9-1.6 μm (冷却時)であるが、国産で入手可能であり、工業用にも広く使われているなど比較的安価であることが期待される。

CCD などの Si 検出器は波長 1 μm までしか感度がないが、波長 1.3 μm 程度までは冷却瞳がなくても装置からの背景ノイズは小さく、可視光観測装置と同じ光学系が使える。可視光観測装置の検出器を InGaAs 検出器にすることで Jバンドもしくは Hバンドまで観測波長を広げることが可能であるが、InGaAs 検出器を天文観測で用いるためには、低ノイズ化と大面積化が必要である。

我々はこれまでに国産市販素子の性能評価 (2015 年秋季年会)、及び市販素子を元にした低ノイズ化の試作 (2016 年秋季年会) を行ってきた。今回、低ノイズ化と並び課題であった、小画素大面積化の試作を行った。試作した素子は画素サイズ 15 μm で、画素数は 1280x1280 である。これは、InGaAs 検出器としては海外製 1920x1080 素子に次ぐ大型サイズとなる。

試作した素子を冷却して試験した結果、不良画素 0.01% (約 160 画素) と非常に良い素子を製造することができた。一方で、読み出しノイズは 37e と悪くなってしまった。加えて、前回の低ノイズ化素子では見られなかった固定パターンも見られ、小画素大面積化と低ノイズ化の両立という点では満足する結果とはならなかった。今後は、これらの問題の調査・検討を行い、低ノイズ化と小画素大面積化の両立を目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V238b 1.3k×1.3k InGaAs 赤外線検出器の広島大学観測環境下における性能評価

森裕樹、川端弘治、松場祐樹 (広島大学)、中屋秀彦、吉田道利 (国立天文台)、伊藤亮介 (東京工業大学)、内田智久 (KEK)、永山貴宏 (鹿児島大学)

広島大学では、1.5m かなた望遠鏡の主力観測装置である HONIR の開発を進めている。HONIR では、可視 1 チャンネル・近赤外線 1 チャンネルでの同時観測 (撮像・分光 / 偏光) が可能であるが、近赤外線にもう 1 チャンネルを追加できる設計となっている。我々は、これまで国産の InGaAs 赤外線検出器の開発を進めてきており、1.3k×1.3k の大フォーマットの低ノイズ検出器が実現すれば、HONIR 用のもう 1 つの近赤外チャンネルの検出器の有力な候補となる。

我々は、今年初めに出来上がった 1.3k×1.3k InGaAs 検出器のエンジニアリンググレードに対し、冷却下 (140K) での基礎特性試験、および、かなた望遠鏡ナスマス焦点に搭載しての試験観測を行ったので、結果を報告する。リニアリティは $< 150000e^-$ の範囲で $\pm 1\%$ の精度で達成されており、現在 HONIR に搭載されている赤外線検出器 (VIRGO 検出器) と比較しても遜色ない結果となった。また、読み出し系 (InGaAs 検出器+読み出しシステム) のノイズは $\sim 35e^-$ と、観測に投入可能な水準に達していることが確認できた。試験観測では Y,J,H バンドで木星、及び M3 の観測を行い、雲の影響があるため下限値ではあるが検出器の効率を導出した。

今回、128×128 素子検出器では現れなかったものの、1.3k×1.3k 素子検出器になって現れた、3 種類の特徴的なパターンを見出した。そのうち 1 つは原因がまだ特定できておらず、今後、原因を追究して改善を目指す。また、並行してサイエンスグレードの試験も実施する予定である。

講演では、先行して行った 128×128 素子検出器の試験結果も併せて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239a 新しい4色同時撮像カメラ MuSCAT2の開発

成田憲保 (東京大学/ABC/国立天文台), 福井暁彦 (国立天文台岡山), 日下部展彦 (ABC), 渡辺紀治 (総合研究大学院大学), John Livingston, Jerome de Leon (東京大学), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), Enric Pallé, Roi Alonso, Alex Oscoz, Hannu Parviainen, Lisa Nortmann (IAC), 山室智康 (オプトクラフト), ほか MuSCAT2 チーム

TCS 望遠鏡 (Telescopio Carlos Sánchez) は、IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias : カナリア天体物理研究所) が所有する主鏡口径 1.52m の望遠鏡である。この望遠鏡は北緯 28 度 18 分 1.8 秒、西経 16 度 30 分 39.2 秒、標高 2387m に位置しており、スペイン・カナリア諸島のテネリフェ島・テイデ観測所内にある。

MuSCAT2 は 3 枚のダイクロイックミラーにより天体の光を 4 つの波長帯に分け、4 台の CCD カメラで独立あるいは同期して観測を行う。4 つの波長帯は g(400nm-550nm), r(550nm-700nm), i(700nm-820nm), z(820nm-920nm) バンドに相当している。本装置の視野は 7.4 分角で、装置ローテータを用いることにより 10 分程度離れた天体との相対測光まで可能である。CCD カメラは Princeton Instruments 社製の PIXIS1024 シリーズ (CCD は e2v CCD47-10) を採用し、フリッジの影響が出る波長帯にはフリッジ低減機能を施した CCD を採用した。

テイデ観測所の年間晴天率は約 7 割で、世界有数の天文観測最適地である。覚書により、2018 年から 5 年間にわたって、年間 162 夜の観測時間が MuSCAT2 に保証されている。このうち 25 夜は日本時間で、残りが日本とスペインの共同研究時間である。この時間を用いて、我々は 2018 年 3 月打ち上げ予定の TESS で発見されたトランジット惑星候補の発見確認や、トランジット惑星の大気やトランジット周期変動の観測などを予定している。

本講演では MuSCAT2 の仕様やサイエンス、2017 年 8 月に予定しているファーストライトの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V240a 小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の開発

峰崎岳夫, 河野志洋 (東京大学)

大気揺らぎを補正して望遠鏡の回折限界を引き出す補償光学技術の発展は著しい。観測波長が長いほど光学波面に対する大気の変動の影響が小さく、近赤外線であれば大口径望遠鏡の巨大なビームにおいても比較的少ない素子数の可変形鏡で波面補償が可能である。このためこれまでは大型望遠鏡における近赤外線観測装置を中心に補償光学技術が実用化されてきた。一方で観測波長が可視光であっても望遠鏡口径が小さければ、同様の素子数の可変形鏡で波面補償が可能であり、回折限界の性質を考えれば大口径望遠鏡 + 近赤外線観測に匹敵する高い角度分解能が小口径望遠鏡によっても達成可能である。近年の技術発展により可変形鏡をはじめとする補償光学の主要部品が比較的安価に入手可能になり、これを使って小口径望遠鏡用の補償光学装置を安価に製作できれば、豊富な観測時間を活かした新しい天文学的応用が期待できる。

そこで我々は小口径望遠鏡における可視補償光学の可能性を実証するため補償光学試験装置を開発した。機能実証と性能試験に目標を絞り、カタログ品・入手容易な部品を積極的に採用することで、小望遠鏡にも搭載可能な軽量コンパクトな装置を比較的安価に製作した。さらに本装置を広島大学かなた 1.5 m 望遠鏡および兵庫県立大学なゆた 2.0 m 望遠鏡に搭載して試験観測を行う機会をいただき、実際に補償光学によって星像・光学波面が改善することを示すことができた。今後、波面補償手法について改良を施して性能向上を図り、またチリ国 ESO La Silla 観測所内の口径 1m 望遠鏡に搭載し、さらに良いシーイング下における試験観測を予定している。

本講演では本装置の構成および制御の概要、これまでおよび今後の試験観測計画について報告する。国内試験観測で得られたデータによる本装置の性能評価の詳細については次の河野の講演を参照されたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a 小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の性能評価

河野志洋、峰崎岳夫 (東京大学)

我々が開発した小口径望遠鏡用可視補償光学の試験装置を、広島大学のかなた 1.5 m 望遠鏡と兵庫県立大学のなゆた 2.0 m 望遠鏡に取り付け、試験観測を行った。本装置の現状におけるベストパフォーマンスとしてなゆた望遠鏡で取得したデータを解析したので、本講演で報告する。

試験観測では主に Regulus(1.37 mag) をターゲットに中心波長 $0.65 \mu\text{m}$ で観測を行った。波面センサーでの積分時間は 5 msec とし、Tip/Tilt を含め 24 項の Zernike モードに対して補正をかけた。波面測定から補正にかかる時間は 8 msec であった。試験観測の結果、本装置によって星像は大幅に改善し、結像性能の観点からは FWHM が 1.0 arcsec から 0.4 arcsec に、ストレール比が 0.5 % から 2.0 % に改善し、波面誤差は $\text{rms}=0.8 \mu\text{m}$ から $0.3 \mu\text{m}$ に減少した。可変形鏡のストロークについては、たまに一部の素子の制御電圧が入力範囲の限界に達しており、あまり余裕のない状態であった。また、Chi Leonis(4.7 mag) でも補正がかかることが確認された。技術的には本装置から感度を 100 倍程度向上させることは難しくなく、その時には天文学研究にも十分実用可能な感度となる。

取得したデータから本装置の空間モードに対する補正性能を調査すると、制御している Zernike モードで補正が効き、Tip/Tilt モードをはじめ、各モードの波面誤差が減少していることが確認された。さらに、時間周波数成分に対する補正性能については、seeing と補正時における波面の時間変化を周波数解析することにより、およそ 10 Hz の制御帯域を持っていることが確認された。この結果は本装置の制御モデルでの予測と一致する。制御モデルを用いて処理の高速化が与える影響を調査したところ、本装置でさらに波面誤差 $\text{rms}=0.2 \mu\text{m}$ までの減少を期待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](#)

V242a ULTIMATE-Subaru: すばる次世代広視野補償光学計画の概要と現状

美濃和陽典、小山佑世、岩田生、服部堯、田中壘、Christophe Clergeon、高遠徳尚、吉田道利（国立天文台ハワイ観測所）、早野裕、大屋真、高見英樹、（国立天文台）秋山正幸、児玉忠恭、渡邊達朗（東北大）、本原顕太郎（東京大）、Francois Rigaut、Celine d'Orgeville、Ian Price、Nick Herrald（オーストラリア国立大）、有本信雄（ソウル大）

国立天文台ハワイ観測所では、HSC, PFS に続くすばるの基幹観測装置として、ULTIMATE-Subaru 計画を推進している。本計画では、すばる望遠鏡の副鏡を可変形鏡に交換し、大気ゆらぎの地表に近い層のみを補正することで、直径20分角の広視野に渡りKバンド($2.2\mu\text{m}$)で0.2秒角の空間分解能を実現する地表層補償光学(GLAO)の開発し、広視野近赤外線観測装置MOIRCSを始めとしたすばるの既存観測装置の大幅な性能向上を行う。また、GLAOによる広視野を最大限に活用するべく、 14×14 平方分角の広視野を持つ近赤外線撮像装置、及び多天体分光装置の開発を計画している。GLAOと広視野近赤外線装置を2020年代前半までに開発することで、2020年代後半から始まる30m級望遠鏡の時代において、HSC,PFS, ULTIMATE-Subaru を用いてすばる望遠鏡が引き続き遠方銀河の大規模サーベイ観測に基づく質の高い科学的成果を上げることが目標としている。

現在、ULTIMATE-Subaru 計画は、2018年前半のGLAOシステム、及び広視野撮像装置の概念設計に向けて、オーストラリア、カナダなどの国外研究機関と協力して検討を進めている。また、既存のすばる補償光学システム(AO188)のアップグレードを兼ねて、ULTIMATE-Subaru の主要コンポーネントとなるレーザーガイド星システム、波面センサーモジュールの基礎開発を進めつつある。本講演では、ULTIMATE-Subaru 計画の概要と、GLAOシステム、及び近赤外線撮像装置の概念設計に向けた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](#)

V243a すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学の開発

秋山正幸, 鈴木元気, 渡邊達朗, 櫻井大樹, 児玉忠恭 (東北大), 美濃和陽典, 小山佑世, 岩田生, 早野裕, 大屋真, 高遠徳尚, 田中賢幸 (国立天文台), 菅井肇 (東京大), 有本信雄 (ソウル大), ULTIMATE-Subaru チーム

レーザーガイド星を用いた補償光学システムの性能を制約する要因の一つは、レーザーガイド星が 90km 程度の有限な高さに存在することによってガイド星からの光路が円錐状になり、無限遠にある天体からの円筒状の光路全体をカバー出来ないという円錐効果である。これにより自然ガイド星を用いた補償光学に比べると補償性能が低くなる。特に開口が大きくなり、円錐効果も大きくなる次世代超大型望遠鏡においてはレーザーガイド星補償光学の性能を制約する大きな要因となる。トモグラフィー補償光学は、複数のレーザーガイド星を用いて、円筒状の領域をカバーする波面測定を行い、トモグラフィーの手法で大気揺らぎを高さ方向に分解して推定することによって、天体の方向に最適化した補償を行うシステムである。これにより円錐効果による性能の制約がなくなり、レーザーガイド星による補償光学システムで自然ガイド星を用いた場合と同じ程度の補償性能が実現できる。

我々はすばる望遠鏡のレーザートモグラフィー補償光学として、レーザーガイド星 4 個を 20 秒角程度の間隔で用意し、4 台の波面センサーによる測定を行うシステムの開発を進めている。既存の補償光学 AO188 の可変形鏡の素子数を増やすことと合わせて、レーザーガイド星補償光学の性能を大幅に向上し、可視光の領域でも十分な補償を行うことを目指している。本講演では、レーザートモグラフィー補償光学の全体構想と、シミュレーションから予想される補償性能、計画のスケジュールについて報告する。本開発は、ULTIMATE-Subaru 計画の地表層補償光学の開発につながるものであり、また TMT の第 2 期装置開発の基礎となるものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244b 飛騨天文台における AO/GLAO の開発

高橋進也, 三浦則明, 鈴木貴博, 菊池駿, 桑村進 (北見工大), 馬場直志 (室蘭工大), 花岡庸一郎 (国立天文台), 上野悟, 仲谷善一, 一本潔 (京大)

我々は、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡用の常設補償光学系 (AO) の開発を進めている。2016 年秋の年会では装置の開発状況と共に、光学系の不完全さによって結像性能が不十分であることを報告した。その後、放物面鏡を再研磨し、2017 年 6 月に光学系に再設置して校正作業を行った。校正はまだ十分とは言えないが、予稿の執筆時点でストレール比が 0.26 から 0.29 まで向上している。

また、広視野での太陽像改善を目指して地表層補償光学系 (GLAO) の開発も進めている。GLAO では、地表層の揺らぎを上空層の揺らぎから分離して計測する必要があり、このためにはトモグラフィック波面センサーを開発する必要がある。ただし、センサー以外の光学系は AO と共通に利用できる。現在、センサー上で動作するソフトウェアの開発を進めており、実際の観測像から地表層と上空層の波面位相分布を分離して導出することができている。GLAO を用いた観測を学会直前の 9 月に予定しており、可能であればその結果も報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V245b 天体観測のための補償光学システム開発

入部正継, 藤田勝 (大阪電気通信大学), 山本広大, 木野勝 (京都大学)

地上における天体観測では、観測の妨げとなる大気揺らぎを計測し補正する補償光学 (Adaptive Optics) が不可欠である。この補償光学装置によって星像は回折限界に近づき、高解像度観測やコロナグラフ装置による高コントラスト観測などが可能となる。我々は木星型の太陽系外惑星を直接撮像観測するために、この補償光学装置を搭載した高コントラスト観測装置 Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics (SEICA) を開発しており、これまでに補償光学装置の開発環境を整え、実験室環境で制御ループをかけることに成功している (2016 年秋季年会 V242a 中村参照)。本講演では、目標値とするストレールレシオ 0.3 を達成するために、大気揺らぎの計測を行う波面センサ (WFS) の測定値から補償に用いる可変形鏡 (DM) の出力値を計算する作用行列の取得アルゴリズムの改善、DM の制御領域を拡大 (空間分解能を拡大) するための DM 制御素子選定アルゴリズムの改善、制御のフィードバックゲインの最適化などを行った結果と、それらが補償光学システムへ与える影響について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246b Subaru/IRCS 熱赤外偏光観測機能の立ち上げ1 — 撮像偏光試験観測結果

本田充彦(久留米大学), 寺田宏, 工藤智幸, 服部堯, 橋本淳, 田村元秀(国立天文台), 渡辺誠(岡山理科大学)

我々は Subaru/IRCS に新たな観測機能として $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 熱赤外帯 (L band, M band) における偏光観測機能を追加すべく開発を進めている。8m クラス望遠鏡において、このような機能を実現している装置は非常に少ないため、比較的新しいパラメータスペースと言える。特に、 $3\ \mu\text{m}$ 帯には H₂O ice 等の固体物質の吸収バンドが存在し、散乱(偏光)スペクトルの空間分布を探ることができるなどユニークなサイエンスが期待できる。

本計画では、2016年度までに全機能部品が揃い、望遠鏡・装置への搭載を完了し、2016年6月と2017年5月に基本機能を確認する夜間試験観測が遂行された。本公演では夜間試験観測の中から、L' および H₂O ice 狭帯域フィルタを用いた撮像偏光試験観測の結果を紹介する。

まず、偏光度が既知の標準天体を3天体 (HD150193, GL2136, Elias 2-25) ほど観測し、標準的な解析から概ね先行研究と一致する結果を得た。また、無偏光標準星(候補天体含む)も3天体 (HD154892, HD162208, HD203856) 観測し、こちらも Subaru/HiCIAO で確立されている解析手法を適用し、第3鏡や AO イメージロータに由来する装置偏光成分をモデルにより補正することで、装置偏光を $\sim 0.2\%$ 程度以下まで抑えられることを確認した。

本公演では、これらの達成された性能の詳細について報告し、同時に見えてきた今後の課題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](#)

V247a 近赤外線高分散分光器 WINERED:高感度非冷却近赤外線分光器の実現

近藤莊平, 池田優二 (京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 安井千香子 (国立天文台), 福江慧, 鮫島寛明, 濱野哲史, 大坪翔悟, 渡瀬彩華, 村井太一, 竹中慶一, 新井彰, 河北秀世 (京都産業大学), 松永典之 (東京大学), WINERED 開発グループ

赤外線分光器は液体窒素温度以下に冷却して運用されるのが通常であるが、観測波長を近赤外の短い波長域に限る場合、周辺熱背景光ノイズを検出器の読み出しノイズ ($5 - 10 e^-$) 相当まで下げることが可能となり、可視光装置と同様に常温環境下に設置する「非冷却赤外分光器」が原理的に可能となる。それによる利点として: 1) 製作・メンテナンスの容易性、2) 開発期間の短縮、3) 関連予算の削減、などが挙げられる。そのような赤外線分光器は過去から提案されてきたが (e.g., Joyce et al. 1998)、周辺熱背景光を十分下げることができず、実現できていなかった。我々は、ついに波長域 $0.9 - 1.35 \mu\text{m}$ の高感度な非冷却近赤外高分散分光器 WINERED ($R_{\text{max}} = 28,000$: WIDE モード、 $80,000$: HIRES モード) を開発した (詳しくは今年会小林、池田の発表参照)。WINERED は、検出器と結像カメラ以外の光学系すべてを常温下に設置した構成で、独自開発のサーマルブロックフィルタと検出器に HAWAII-2RG $1.7\mu\text{m}$ cut-off を用いることで、観測波長以上の周辺熱背景光を遮断している。WINERED の数年に渡る熱背景光の外気温度依存性の解析により、観測波長内 ($\lambda < 1.35 \mu\text{m}$) の背景光はモデルで期待された通り僅かな値であると同時に、観測波長以上 ($\lambda > 1.35 \mu\text{m}$) の背景光は設計通りに完全に遮断できていることを確認した。一方で、外気温度に依存しない迷光成分も若干存在していることも分かった。迷光源の特定とその除去がさらなる高感度化へ向けた課題となるものの、全周辺熱背景光によるノイズはすでに目標値 ($< 10 e^-$) に達しており、WINERED で初めて高感度の非冷却赤外線分光器が実現できたと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a VINROUGE 搭載用高効率 Ge イメージンググレーティングの低温性能実証

猿楽祐樹 (東京大学), 池田優二 (Photocoding/京都産業大学), 加地紗由美 (京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 助川隆 (キヤノン株式会社), 新崎貴之, 近藤荘平, 河北秀世 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台)

多様な分子の振動回転遷移が密集している赤外線波長域での高分散分光観測は、星間分子の化学に極めて有効な情報をもたらす。とくに波長 $2\text{--}10\mu\text{m}$ はほぼすべての主要分子の振動遷移が集中しており、アストロケミストリー・アストロバイオロジー研究では外すことのできない波長域と言える。地上赤外線観測の大きな妨げとなる大気熱放射由来の背景光ノイズは、点光源の場合は、望遠鏡口径 (空間分解能) に比例して低減するため、TMT のような超大型望遠鏡時代におけるこの波長域での感度ゲインは極めて高い。我々は、これまでとは質的にまったく異なる高感度かつ高精度な赤外線高分散分光観測を可能とする新技術開発に取り組み、その実証機となる VINROUGE (波長 $2\text{--}5\mu\text{m}$ 、波長分解能 80,000) の開発を進めている。従来の反射グレーティングを用いた分光器では、口径や波長に比例して装置サイズも大きくなるのが TMT 用高分散分光器実現の大きな障壁となっている。それを解決するキーデバイスが、屈折率 (n) の高い媒質の表面に溝形状を刻線したイメージンググレーティング (IG) である (cf. Ikeda *et al.* 2015, *Applied Optics*, 54, 5193)。我々は 10 年以上にわたって近中間赤外線波長域をカバーするあらゆる材料の IG 開発に取り組み、そのひとつとして波長 $2\text{--}10\mu\text{m}$ 帯で天文観測が要求する十分に高い光学性能をもつゲルマニウム (Ge、 $n\sim 4$) 製の IG の開発に成功した。使用環境である低温 ($<35\text{K}$) で波長可変赤外線レーザー (波長 $4.30\text{--}5.12\mu\text{m}$) を用いて回折効率を測定し、設計値通りの高い絶対回折効率をもつことを実証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V249b 超低熱膨張セラミックを用いた赤外線観測用アサーマル反射光学系の開発

猿楽祐樹 (東京大学), 池田優二 (Photocoding/京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 馬目威男, 堀内雅彦, 柳橋健太郎, 飯田直人 (京セラ株式会社), 新崎貴之, 加地紗由美, 河北秀世, 近藤荘平 (京都産業大学), 松永典之 (東京大学), 本田充彦 (久留米大学), 安井千香子, 臼田知史 (国立天文台)

多様な分子の振動回転遷移が密集している赤外線波長域での高分散分光観測は、星間分子の化学に極めて有効な情報をもたらす。とくに波長 $2\text{--}10\mu\text{m}$ はほぼすべての主要分子の振動遷移が集中しており、アストロケミストリー・アストロバイオロジー研究では外すことのできない波長域と言える。地上赤外線観測の大きな妨げとなる大気熱放射由来の背景光ノイズは、点光源の場合は、望遠鏡口径 (空間分解能) に比例して低減するため、TMTのような超大型望遠鏡時代におけるこの波長域での感度ゲインは極めて高い。我々は、これまでとは質的にまったく異なる高感度かつ高精度な赤外線高分散分光観測を可能とする新技術開発に取り組み、その実証機となるVINROUGE(波長 $2\text{--}5\mu\text{m}$ 、波長分解能 80,000) の開発を進めている。TMTで得られる高い解像度を生かすには、冷却環境下でも高い波面精度を維持できる光学系が必須となる。そこで我々は従来の赤外線光学系に替わる新技術として、鏡から定盤まで含む冷却反射光学系を超低熱膨張セラミックのコーズライト CO-720(京セラ製) のみで製作する「赤外線用アサーマル光学系」を提案している。このような光学系は、コーズライトがもつゼロ線膨張性、高い研磨性、自由形状への加工特性によって初めて可能になる。その実証実験のために今回、独立した3枚球面からなるオフナー光学系を試作した。特別な光学調整なしに加工精度のみで組上げて光学特性を評価したところ、回折限界の結像性能を達成できていることを確認した。本発表では、今後の詳細なアサーマル性評価の計画およびVINROUGE開発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](#)

V250b 近赤外線高分散分光器 WINERED：波長安定性が高S/N赤外線スペクトルに与える影響

渡瀬彩華, 池田優二, 近藤莊平, 濱野哲史, 大坪翔悟, 福江慧, 鮫島寛明, 新井彰, 村井太一, 河北秀世 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台), Giuseppe Bono (ローマ大学), 松永典之, 小林尚人 (東京大学), WINERED 開発グループ

WINERED は京都産業大学神山天文台赤外線高分散ラボ (=LiH) で開発された近赤外線高分散分光器である。波長 $0.9 - 1.35\mu\text{m}$ (z, Y, J bands) において高分散 ($R_{\text{max}} = 28,000$ および $80,000$) を達成しつつ、これまでにない超高スループット ($> 50\%$: WIDE モード、 $> 35\%$: HIRES モード) による高感度を実現している。2017年1月より、WINERED はチリ・La Silla 天文台の口径 3.58m New Technology Telescope (NTT) に搭載され、運用を始めている (2017年春季年会、V207a 大坪他を参照)。

WINERED はいわゆる惑星ドップラー探査を目的としていないため、高精度の波長安定性に配慮をした設計ではないが、観測中の数分～数時間での安定性は高S/N比 (> 200) のスペクトルを得るために重要である。異なるフレーム間での波長ドリフトは、わずかな波長分解能の劣化のみならず夜光輝線の引き残しや地球大気吸収線補正の際の割り残しを発生させ、結果的にS/N比が劣化するからである。実際、NTT 移設前は環境温度に依存した $\sim 0.25 \text{ pixel K}^{-1}$ のドリフトが発生し、最終スペクトルのクオリティを制限していた。この原因は、ハニカム構造を使用した光学定盤内部の非均一な熱伝導であることが詳細解析によって判明したので、断熱材を用いて実効的な比熱を大きくすることで波長ドリフトの軽減を試みた。本発表では、2017年2月のNTTでの観測期における波長安定性の解析結果に加え、それらが最終スペクトル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](#)

V251b 可視近赤外線同時カメラ HONIR における一露出型偏光観測モードの性能評価

長木舞子、川端弘治、中岡竜也、川端美穂 (広島大学)、伊藤亮介 (東京工業大)、秋田谷洋 (茨城大)、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。通常モードでは半波長板を段階的に回転させつつ 2-4 回露出してストークスパラメータ Q/I 、 U/I を測定している。しかし、ガンマ線バースト残光のように変動時間スケールが秒・分程度の天体に対しては、1 回の露出で Q/I 、 U/I を同時に測定するのが望ましい。

本研究では、HONIR において一回の露出で直線偏光測定が可能な YLF 製のダブルウォラストンプリズムを新たに製作・導入し、その偏光測定性能を評価した。通常モードと一露出型モードの双方で、多数回の無偏光標準星の偏光測定を実施したところ、中心視野の可視バンドにおいて、それぞれ $P = 0.0 \pm 0.1\%$ 、 $0.0 \pm 0.4\%$ の結果が得られた。この値は器械偏光を表し、誤差は安定性 (1σ) を表す。一露出型で安定性が悪くなる原因は、ウォラストンプリズムにおける常光・異常光の透過効率比の不安定性が直接、測定精度に影響するためであると考えられる。実際、同日の測定で得た透過効率比を用いることにした場合、 1σ が 0.3% と改善がみられた。また、器械偏光の視野内の位置依存性に関しては、2 つのモードともに視野端ほど器械偏光が大きくなる傾向があり、特に一露出型モードではその程度が大きめで、中心から 2 分角の位置において $P \sim 2\%$ に達し、そのパターンには軸対称から外れる傾向もみられた。本講演では、偏光能率や方位角原点の波長依存性等について報告すると共に、一露出型モードで推奨される較正法について提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V252c IRDのためのモードスクランブラー試験2

石塚将斗, 小谷隆行 (国立天文台/ABC), 西川淳 (国立天文台/ABC), 田村元秀 (東大/国立天文台/ABC), IRD チーム

1995年に初めて主系列星周囲の系外惑星が発見されて以降、系外惑星の研究は急速に発展している。様々な観測手法を用いた観測の結果、系外惑星は普遍的に存在し、多様性に富むことがわかってきた。しかし、太陽型星に比べ低質量星周囲の系外惑星の発見数は未だ少なく、低質量星周囲の星形成については未知の部分が多い。また、アストロバイオロジーという観点では、太陽系近傍のハビタブルゾーン内にある地球型惑星の発見が世界的な目標となっている。このような背景のもと、近赤外トフラー法によって太陽系近傍の後期 M 型星周囲の惑星探査およびハビタブルゾーン内の地球型惑星発見を目指し、すはる望遠鏡用高分散分光装置 IRD (InfraRed Doppler Instrument) が開発されている。波長校正光源としてレーザー周波数コムの開発も同時に進んでおり、期待される視線速度測定精度は 1m/sec である。 1m/sec の視線速度測定精度の実現には、望遠鏡焦点から分光器に光を運ぶファイバの出射光パターンを安定させるモードスクランブラーという機構が必要となる。ファイバ出射光の重心変動は、視線速度測定精度を悪化させるためである。しかしトフラー法は主として可視光波長域で行われてきたため、近赤外波長域でのモードスクランブラーの研究は不足しており、近赤外波長で最も有効なモードスクランブラーが何かは知られていない。そこで我々は、近赤外波長域で有効なモードスクランブラーを決定するため、静的、動的なものを含む様々な種類のモードスクランブラー、およびそれらを組み合わせた系、合計 24 種の系のスクランブル効果を測定する系統的な試験を行った。本講演では、実験の最終的な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](#)

V253c Near-Infrared Thirty "Millimeter" Telescope (IR-TMT) の開発と今後の計画

森田亮介、板由房、小野里宏樹、岩松篤史、市川隆、花上拓海、小宮山貴洋 (東北大学)、柳澤顕史、筒井寛典、泉浦秀行 (国立天文台)、中田好一 (東京大学)

我々のグループは既存の近赤外線領域での測光カタログのデータは約 5 等よりも明るい星について測光誤差が大きいという点に目をつけた。そこで、そのような近赤外で明るい星の精密測光に特化した赤外線望遠鏡 IR-TMT (InfraRed Thirty Millimeter Telescope) を開発した。この望遠鏡は現在、我々のグループの専用望遠鏡として岡山天体物理観測所の協力のもと東北大学が中心となって運用中である。IR-TMT で使用している光学部品は市販の CaF₂ 平凸レンズ (常温) と CaF₂ のデュワー窓材のみで、コールドバッドで有効口径を 30mm 相当にしている。また、1 視野は 25 平方度もあり J,H,Ks3 種類のフィルターを備えている。フィルターごとに異なる焦点距離に対応するためにこれまでは CaF₂ 平凸レンズの位置を手動で動かしピント合わせを行っていた。そこで私は観測効率の向上や全面リモート化に向けフィルターの交換とともに自動でピント合わせを行う機構を開発、設置した。先日岡山天体物理観測所での取り付け作業、試験運転を経て 2017 年 6 月に IR-TMT の完全リモート観測が可能となった。本ポスターでは、この焦点自動調節機構の開発経緯と、IR-TMT を用いた今後の観測計画を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V254b 中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発・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)

Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe (MIMIZUKU) は TAO 6.5 m 望遠鏡の第一期装置として開発されている中間赤外線 観測装置である。本装置の特徴は広い観測波長帯 (2–38 μm) とリアルタイムな大気較正による高精度観測の実現にある。これにより、近・中間赤外線の安定的なモニタリング観測が実現し、多様な天体現象を時間変動を切り口に解明を進めることを目指す。

MIMIZUKU では様々な撮像・分光モードを搭載する。撮像モードでは $K_s \cdot L' \cdot M'$ バンドに加え、 $N \cdot Q$ バンドに各 4 つ、30 ミクロン帯に 2 つの中間帯域フィルター ($R \approx 10$) を搭載し、分光モードとして KL バンド ($\lambda = 2.1\text{--}4.0 \mu\text{m}$, $R = 210$) $\cdot 2.7\text{-}\mu\text{m}$ バンド ($\lambda = 2.40\text{--}2.95 \mu\text{m}$, $R = 620$) $\cdot LM$ バンド ($\lambda = 2.8\text{--}5.3 \mu\text{m}$, $R = 110$) $\cdot N$ バンド ($\lambda = 6.8\text{--}14 \mu\text{m}$, $R = 170$) $\cdot Q$ バンド ($\lambda = 17\text{--}26 \mu\text{m}$, $R = 100$) の 5 つを搭載する。現在これらの光学素子とその交換機構、および検出器を MIMIZUKU に搭載し、実際の観測性能の評価を進めている。

MIMIZUKU は来年度にすばる望遠鏡での試験観測を目指しており、これに向けてすばる望遠鏡の観測制御システム Gen2 を介した装置制御ソフトウェアの開発も進めている。本講演ではこれらハードウェア・ソフトウェアの開発、および装置の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](#)

V255b 中間赤外線観測装置 MIMIZUKU 用 Aquarius 検出器の性能評価

山口淳平, 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 内山允史, 森智宏, 吉田泰 (東京大学)

我々は中間赤外線観測装置 MIMIZUKU を東京大学アタカマ天文台 6.5 m 望遠鏡の第 1 期装置として開発している。MIMIZUKU は $2\text{--}38\ \mu\text{m}$ の広い波長範囲を覆うために 3 種の異なる検出器を搭載しているが、これらを効率よく制御するために我々は 3 種の検出器間でなるべく共通化した検出器読み出しシステムを開発している。地上中間赤外線観測では強い背景光による飽和を避けるために高速な読み出しが要求されるが、大規模な装置では配線の長大化に伴う寄生容量の増加が高速読み出しにおける出力信号に影響を与える。そのため我々の読み出しシステムでは、検出器に近い 20 K の低温部にソースフォロワによるバッファ回路を設置して信号を中継することで高速読み出しを可能としている。

我々は $6.8\text{--}26\ \mu\text{m}$ の波長帯を担当する Aquarius 検出器 (Si:As $1\text{k}\times 1\text{k}$, Raytheon 社製) を MIMIZUKU 本体に搭載し、駆動温度 7 K で検出器駆動試験と読み出しシステムの性能評価試験を行った。検出器は我々の読み出しシステムによって正常に読み出しを行えることが確認され、検出器を含めたシステム全体での読み出しノイズは検出器のカタログ値 $<1000\ e^-$ に対して $4 \times 10^3\ e^-$ となった。本講演ではこうした Aquarius 検出器と我々の読み出しシステムの性能評価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](#)

V256b TAO サイトにおける大気中の水蒸気量の時間変動の測定

内山允史, 宮田隆志, 大澤亮, 上塚貴史, 酒向重行, 森智宏, 山口淳平, 吉田泰 (東京大学)

地上から中間赤外線観測を行う上で注意しなければならないのは、その場所における大気中の水蒸気量である。地球大気中の水蒸気は宇宙からの赤外線を多くを吸収してしまうため、大気の窓を閉ざしてしまう。この吸収の効果は近赤外線より波長の長い中間赤外線波長域で顕著に表れ、水蒸気量の多いサイトでは中間赤外線観測を行うことができない。TAO サイトは乾燥したアタカマ砂漠にそびえるチャナントール山頂、標高 5640 m の高地に位置する。ここでは水蒸気量が非常に少なく、大気透過率が良好な環境で中間赤外線観測を行うことができる。

しかし、水蒸気量が低い場合でもそれが時間変動する場合、観測に悪影響を及ぼす。水蒸気量が変わると窓の開き方が変わり、大気透過率が変化する。観測中にこの変化が起こると正確なキャリブレーションを行うことができず測光誤差を生じることになる。本研究では TAO サイトにおける大気中の水蒸気量の時間変動を求めた。解析には TAO サイトに設置された miniTAO 望遠鏡の $31\ \mu\text{m}$ 撮像データを使用した。 $31\ \mu\text{m}$ 撮像は水蒸気量の変化に敏感であり、背景光カウントの変化は水蒸気量の変動と結びつく。複数の背景光カウントの時間変動データに着目し、観測時の水蒸気量と周波数解析した際の Power Spectrum Density (PSD) の関係を調べた。これより水蒸気量が上昇すると、PSD の傾きは変化しないが切片が減少することが分かった。これはすなわち水蒸気量が少なくて透過率が良好である日ほど、水蒸気量の変動が大きいことを示す。この結果は水蒸気が少ない日の方がむしろ高いチョッピング周波数を要求することを示唆する。今回提案する解析手法によって、大気透過率の変動の影響をキャンセルする適切な周波数を正確に求めることができる。この結果は TAO 望遠鏡に搭載する MIMIZUKU の長波長域の観測方法を確立するうえで重要となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V257a 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、現在、保護地区利用許可の再審査手続きが進められている。この手続きの重要なプロセスとして一般公聴会がハワイ島ヒロ市で 2016 年 10 月 20 日より開始され、2017 年 3 月に終了した (44 回開催、71 人証言)。この公聴会をふまえて審査官による利用許可承認についての判断がハワイ州土地天然資源委員会に提出され、同委員会での最終決定が 2017 年秋に行われる予定である。TIO としては保護地区利用許可の再認可を得次第、ハワイ州当局と協力のもとで山頂へのアクセスが安全に行われるかどうかを試すことを検討している。現地工事再開のスケジュールに変更はなく、2018 年 4 月開始を目指して準備を進めている。ハワイでの建設を第一に目指す方針に変わりはなく、ハワイの地元の方々の理解と協力を得る努力を続けているが、万一の場合の代替建設地として選択したスペイン領カナリア諸島ラ・パルマのロク・デ・ロス・ムチャチョス天文台と TIO 間の合意書が 3 月に締結され、建設許可取得に必要な申請書が提出される等の手続きを並行して進めている。

国内の進捗状況としては、望遠鏡本体の製造準備、主鏡の量産、第一期観測装置 (IRIS, WFOS) の設計・検討作業を進めている。また、全国各地での一般講演会や、TMT の模型や主鏡分割鏡の試作品を用いた展示、ウェブ公開などの広報普及活動を行なっている。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](#)

V258a 東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡プロジェクトの進捗報告

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, 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, 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

東京大学天文学教育研究センターは現在、南米チリのアタカマ高地にあるチャナンツール山頂 (5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を設置して宇宙論、銀河形成進化、星惑星形成などの幅広い天文学を展開する東京大学アタカマ天文台 (TAO) プロジェクトを推進している。現在望遠鏡及び各種付帯設備の製造・組立・調整が順次進められており、本講演ではその状況を報告する。

望遠鏡架台は兵庫県播磨町での仮組み立てと調整が進められている。望遠鏡各部については副鏡支持のヘキサポッド型位置調整機構が完成するとともに、第三鏡支持回転機構の詳細設計が進行中である。これらと並行して、Magellan 望遠鏡建設期間のマネジメントを行っていた Matthew Johns 氏をアリゾナ大学から招聘し、実際の現地での組立、光学系制御と調整の手順の詳細について議論した。

蒸着システムについては、既に完成している洗浄装置やこれまでの検討を受けて最適化された蒸着装置の設計を含めたシステム全体の観測運用棟内での最終的な配置・設置方法の検討を行なっている。

また、第一期観測装置の SWIMS および MIMIZUKU を山頂ドーム内で移動、回転、及びナスミス焦点へ取り付けるための各種台車の開発が進められ、製造が完了した。

ドーム・エンクロージャは大阪府能勢町で仮組み立てと機械系の駆動試験を進めている。山頂の観測運用棟の建設と山頂アクセス道路の拡張工事はともに詳細設計が完了した。2017 年内の着工を予定している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V259a 京大岡山 3.8m 望遠鏡：進捗と予定

長田哲也 (京都大学), 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画グループ

京大岡山 3.8m 望遠鏡は、2017年3月に竣工した本設ドームへと移設作業を行なっている。この望遠鏡のおおむね半分の時間は、全国大学共同利用のために使用する予定になっており、2018年8月には、国立天文台による全国大学共同利用を開始することを目標としている。

これまで、岡山ユーズ・ミーティングなどの機会を利用して、3.8m 望遠鏡用に提案された観測装置の情報を集め、ナスミス焦点のインストルメント・ローテータ、装置インターフェイス、分光器室などの設計開発を進めている。京大で開発中の観測装置としては、ファイバー型可視光面分光装置 KOOLS-IFU、高速測光分光装置、近赤外相対測光分光器、高コントラスト惑星探査装置 SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Ao) がある。これらはそれぞれ目的を研ぎ澄ました観測装置という性格を持っており、想定する研究対象はガンマ線バースト・重力波対応天体・スーパーフレア・ブラックホール連星などの突発天体現象、そして太陽系外惑星の撮像観測である。焦点部にはまだ観測装置を搭載する余地があり、特に汎用の装置を歓迎する。講演では、これらの進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V260a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

伊藤洋介 on behalf of the KAGRA Collaboration

アメリカに建設された2台の重力波検出器 LIGO は、2015年9月以来、すでにいくつかの重力波信号を検出している。今後中性子星を含む連星からの重力波の検出も期待されており、その場合、電磁波対応天体の観測が、重力波の発生にともなう様々な現象の解明に役立つと考えられている。電磁波対応天体の観測には方向決定精度の向上が極めて重要である。重力波の方向決定は本質的に信号の検出器への到着時刻の検出器間の時間差と検出した重力波の振幅・位相から求めることができるが、その方向決定精度は数百平方度程度となっている。3台以上の検出器による同時観測によって10平方度程度まで抑えることができると考えられており、LIGO およびイタリア・ピサ近郊に建設された Virgo 重力波検出器とともに、日本の岐阜に建設されている KAGRA 検出器による国際共同観測網の確立が待たれている。大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、国内外あわせて70以上の大学・研究機関の協力のもと推進されている。KAGRA は基線長3kmのレーザー干渉計型重力波望遠鏡であり、地上に比べて地面振動が1/100ほどの低振動環境である岐阜県飛騨市神岡町池の山の地下約200mに設置されている。また、鏡の熱雑音を避けるため鏡とその懸架系を20K程度にまで冷却することを大きな特徴とする。さらに光学系を多段の振り子で防振することにより、地面振動を避ける設計となっている。2016年3月から4月にかけて、KAGRA は、簡易的な干渉計構成での常温試験運転をおこなった。本講演では、試験運転時に取得されたデータを用いたデータ解析の取り組み、および、2018年第一四半期に予定されている低温運転に向けた KAGRA 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](#)

V261a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VIII

阿久津智忠, Simon Zeidler (国立天文台), 両角達彦, 三代木伸二 (東大宇宙線研), 齋藤芳男 (KEK, 東大宇宙線研), 麻生洋一, 大淵喜之, 浦口史寛, 池之上文吾, 都築俊宏, 齊藤栄, 福嶋美津広 (国立天文台), 谷岡諭 (総研大), 道村唯太 (東大物理), 苔山圭以子, 中野雅之, 宮川治, 上泉眞裕 (東大宇宙線研)

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。一般に重力波は極めて微弱な信号であり、これを地上の検出器でとらえるためには、あらゆる雑音源を想定して対策をほどこさなければならない。たとえば、干渉計を構成する鏡の地面振動によるゆらぎも雑音となる。KAGRA では、干渉計を地面振動の小さな神岡の地下に設置し、かつ多段の防振系を用いることで対策している。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも問題となるため、メインの鏡を 20K 付近まで冷却する予定である。

KAGRA 補助光学系とは、干渉計内の迷光対策や、3 km 光軸の長期安定制御を達成するために必要な、諸々の光学系サブシステムのことである。たとえば迷光対策としては、光学バッフルやダンパを順次インストールする予定である。また、長期安定稼働のために、3 km 光軸に対して、防振された透過光モニター用の大型望遠鏡を用意する予定である。本講演では、今年度末に予定されている KAGRA の冷却運転の予定をふまえて、これらの設計開発の現状および今後のアップグレードの予定について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V262a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の防振系

大石奈緒子、KAGRA collaboration

KAGRA は岐阜県神岡の地下に設置された基線長 3km の重力波望遠鏡であり、既に重力波の直接検出に成功したアメリカの LIGO や、ヨーロッパで調整が進められている VIRGO と同じレーザー干渉計型の観測装置である。この種の装置では、干渉計の腕の長さの差を精密に測定し、重力波による光路長の変化をとらえる。このため、重力波以外の要因で干渉計を構成する鏡が揺れてしまうとそれは雑音になる。重力波をとらえるためには、重力波信号以外のすべての雑音を、信号よりも小さくすることが必要である。

重力波望遠鏡の主な雑音-鏡を揺らす要因-のひとつに地面振動がある。地震や海の波、人の活動などさまざまな要因によって地面は常に揺れている。トンネルの中に入ることによって、地面振動は外に比べて静かになるが、微弱な重力波をとらえるためにはさらに工夫が必要である。地面振動による鏡の揺れを低減するために、重力波望遠鏡の主要な鏡は振り子や反バネ、倒立振り子などを組み合わせた防振系によって吊るされる。

KAGRA で用いられる防振系は、Type-A(4台)、B(4台)、Bp(3台)、C(8台) のおよそ 4 種類がある。2017 年 6 月の時点で、Type-A は Y エンド (KAGRA では、L 字の干渉計の要の部分の中央、中央から 3km 離れた端をそれぞれ X エンド、Y エンドと呼んでいる。) に 1 台がインストールされ、Type-B では、ほぼ 1 年をかけたビームスプリッター用防振系の組み立て試験を終えようとしている。Type-B を簡略化した Type-Bp は、既に 1 台のテストとインストールを完了した。Type-C は、3 台がインストールされ、2 台が改修中である。9 月には Type-A のもう 1 台が X エンドに、Type-Bp の残り 2 台もインストールされている予定である。本講演では、これらの防振系の概要と現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](#)

V263a Vibration isolation for KAGRA: status report on the beam splitter suspension test and installation

Fabián Erasmo Peña Arellano, the KAGRA collaboration

KAGRA is an underground interferometric gravitational wave detector currently under construction in Kamioka, Gifu prefecture. It aims to detect gravitational radiation from astronomical sources including core collapse supernovae and binary mergers of either black holes, neutron stars or both. As illustrated by the first LIGO detection, this type of measurement requires a strain sensitivity of the order of 10^{-21} for certain astronomical events. Such a goal can only be achieved by using high performance vibration isolation systems for the main optical components. In KAGRA these suspensions come in three different configurations, of which the Type B is used for the beam splitter and signal recycling mirrors. The Type B suspension comprises the payload, three geometric anti-spring filters for vertical isolation and one inverted pendulum for horizontal isolation. The payload comprises the optic, its marionette and their recoil masses which hold local displacement sensors and coil magnet actuators used for damping the resonant modes of oscillation of the suspension itself. The payload also relies on an optical lever to monitor the tilt of the optic from the ground. This presentation reports the results of a test of the Type B suspension with a dummy beam splitter. The test was carried out at the KAGRA site in a clean environment prior to the assembly of the real beam splitter suspension. Transfer functions, comparison with simulations and plans for the final suspension will be given.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V264a 液晶空間光変調器を用いたサバール板横シヤリングナル干渉計のためのスペックル除去技術の開発

河合研弥, 村上尚史 (北海道大), 小谷隆行 (AstroBiology Center/国立天文台), 河原創 (東京大), 松尾太郎 (大阪大), 馬場直志 (室蘭工業大), 田村元秀 (東京大/国立天文台/AstroBiology Center)

太陽系外惑星を直接観測するためには、惑星に対して莫大な強度比を持つ恒星光を除去する必要がある。そのための観測装置として、サバール板横シヤリングナル干渉計 (SPLINE) の開発が進められている (村上他、2010年秋季年会 V36b)。SPLINE とは、サバール板を直交する二枚の偏光子で挟んだ構造のコロナグラフで、理論上完全に恒星光を除去することができる。しかし実際には、光学素子の不完全性により波面が乱されることで、恒星光が斑点状の模様 (スペックル) として残ってしまう。これにより、惑星光の検出が妨げられる。従って、系外惑星を観測するためには、恒星スペックル光を強力に除去する必要がある。

我々はそのための技術として、液晶空間光変調器 (LCSLM) を用いる方法を提案した。LCSLM は、液晶分子をピクセルごとに制御することで、光波面に任意の位相変調を与えることができる。LCSLM により、スペックル電場と逆位相の電場を発生させれば、打ち消し合う干渉によりスペックルを除去できる。LCSLM は有効素子数が多いため、広い範囲にわたりダークホール (スペックルが除去された領域) の形成が期待できる。例えば、連星系に存在する惑星を観測する場合、主星だけでなく伴星のスペックルも除去する必要があり、主星から非常に離れた位置でスペックルを制御しなければならない。LCSLM によるスペックル除去は、このような観測にも有効であると期待される。我々は、 512×512 素子の LCSLM を用いた、SPLINE のためのスペックル除去技術の室内実証実験を行っている。本講演では、現在行っている実証実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](#)

V265a 広帯域コロナグラフ観測を目指した3層8分割位相マスクの特性評価2

小室佑介, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/AstroBiology Center), Raphaël Galicher, Pierre Baudoz, Fabien Patru (Observatoire de Paris), 馬場直志 (室蘭工業大), 田村元秀 (東京大/国立天文台/AstroBiology Center)

太陽系以外にある惑星 (太陽系外惑星) を直接撮像するためには、非常に明るい恒星光を強力に除去できる高コントラスト装置 (コロナグラフ) が必須である。ハビタブルゾーン (生命居住可能領域) 内にある地球型惑星を直接撮像するためには、広い波長域で恒星光を 10^{-10} まで除去できる性能が要求される。この目的のため、フォトニック結晶技術を用いた3層8分割位相マスク (3L8OPM) が提案され、その試作が行われている (村上他, 2016年春季年会 V224a)。設計した3L8OPMは理論上、可視の広い波長域で7桁程度のピークコントラスト (惑星探査領域で9-10桁のコントラスト) が期待できる。これまでに、試作した3L8OPMの波長依存性を評価するため、北海道大のテストベッドでコロナグラフ実験を行った。恒星モデルとしてレーザーおよび白色人工光源を使用し、波長域 532-750 nm にわたる7波長でコントラストを測定した (小室他, 2016年秋季年会 V237a)。

我々は今回、新たな3L8OPMの試作を行い、北海道大とパリ天文台のテストベッドにおいてコロナグラフ実験を実施した。試作したすべてのデバイスに対して、波長域 532-820 nm にわたるおよそ20波長において、コントラストの波長依存性を測定した。しかしながら、実験で得られたピークコントラストは、いずれも2-4桁程度に留まり、理論コントラストには到達できなかった。そこで、製造誤差を想定した数値シミュレーションを行い、実験結果と比較することで、3L8OPMの性能を制限する要因について考察を行った。本講演では、室内実証実験および数値シミュレーション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](#)

V266a 瞳面アポダイザを用いた8分割位相マスクコロナグラフの室内実証実験

渋谷恭平, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/AstroBiology Center), 田村元秀 (東京大/国立天文台/AstroBiology Center), 住貴宏 (大阪大), 塩谷圭吾, 山田亨 (宇宙科学研究所),
WFIRST ワーキンググループ

系外惑星を直接撮像するためには、非常に明るい恒星光を除去し、微弱な惑星光を検出するための高コントラスト装置が必要となる。例えば、地球型惑星を観測目標とした場合、 10^{-10} という高いコントラストが要求される。高コントラスト装置の一つとして、8分割位相マスクコロナグラフが提案されている (村上他、2010年春季年会、W20a)。8分割位相マスクコロナグラフは、望遠鏡瞳が完全な円形である場合、理論上恒星光を完全に除去することが可能である。しかしながら、一般的な望遠鏡瞳には副鏡やスパイダによる遮蔽が存在する。この影響により、恒星光除去性能が悪化してしまうという問題がある。

この問題の解決策として、瞳面アポダイザを用いた8分割位相マスクコロナグラフを提案する。瞳面アポダイザとは、焦点面で得られる像を操作するために、望遠鏡瞳の透過率を制御するように設計されたマスクである。適切に設計された瞳面アポダイザと8分割位相マスクの組み合わせにより、副鏡とスパイダを持つ望遠鏡でも、強力に恒星光を除去することができる。我々は、スペース観測計画 WFIRST の望遠鏡瞳を仮定した瞳面アポダイザを設計し、提案するコロナグラフの室内実証実験を行った。瞳面アポダイザは、液晶空間光変調器を用いることにより実現した。液晶空間光変調器を用いる最大のメリットは、実際にアポダイザを製造することなく、様々なデザインのアポダイザを描画して試験することができる点である。本講演では、液晶空間光変調器を利用した室内実証実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](#)

V267a 京都大学飛騨天文台 65cm 屈折望遠鏡制御装置の改修

仲谷善一, 廣瀬公美 (京都大学・理・天文台), 植村真人, 森山雅信, 大谷一人 (株式会社西村製作所)

京都大学飛騨天文台 65cm 屈折望遠鏡は 1972 年に設置され、惑星観測を中心に使用されてきた。近年では金星、木星、土星などの偏光観測に用いられている。望遠鏡の制御装置などは建設当時のまま使用されていることから、使用すると必ず故障するということが続いており、その修理のために多くの時間を要していた。制御方法も DTL(Diode Transistor Logic) のため回路構成面積が大きく故障個所の追跡が困難であること、同等仕様の部品の入手が困難になっているということで、制御装置の更新を行った。

各種モーターの取替え、各配線の張替え、制御装置の入替えを行い、これまで行うことができなかった自動導入が行えるようになったなど、使い勝手が格段に向上した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V268a 新しい原理による空間分解能をもつ高分散分光器の開発

細川晃（総合研究大学院大学）、小谷隆行（アストロバイオロジーセンター/国立天文台）、臼田知史、高見英樹（国立天文台）

可視赤外線観測用の望遠鏡に搭載されている分光器は、回折格子などの分散素子を用いて波長毎に光を分散させる分光法が主流である。しかし、この手法では高分散化することで装置の大型化が避けられないということ、高い光効率を達成することが難しいという問題がある。実際、波長分解能数万を超える現行の高分散分光器はおよそ10%以下の効率に留まっている。また、空間分解能を持たせることも難しい。

本研究では光の干渉縞模様をフーリエ変換を施すことで波長ごとの強度を得る、フーリエ分光法を基にした分光器の開発を行っている。干渉を用いたこの分光法は波長分解能を高めても理論上は効率数十%を達成するという利点がある。また先行研究によって鏡の位置を動かす必要のない静的フーリエ分光法 (StFT) が提案されたことで、この分光法の欠点であった鏡の位置制御の必要性や分光に時間がかかる点が解消され、分散分光に比べて干渉による分光法の有用性が高まった。これを踏まえ、試作中の分光器では静的フーリエ分光法に光学素子を追加することで、高い効率を維持しつつ、新たに大まかな空間分解能をもつ高分散分光器を目指している。現行の分光器ではスリットにより視野内の分光する位置を指定していたが、この方式では視野内の複数点を同時に分光することが可能となる。これにより太陽系外惑星の研究分野では、直接撮像が可能な天体について大気組成などをより詳しく探ることが可能となる。

本発表では、光学系の組み立て段階にある新分光器の現況、及び将来展望について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V269a 岡山天体物理観測所高分散分光器 HIDES 用天文コムの開発 II . 装置概要

稲場 肇, 中村圭佑, 大久保 章, 山本宏樹, 保坂一元, 大苗 敦 (産業技術総合研究所/ERATO), Malte Schramm (国立天文台/産業技術総合研究所/ERATO), 石川 純 (産業技術総合研究所), 洪 鋒雷 (横浜国立大/ERATO), 美濃島 薫 (電気通信大/ERATO), 神戸栄治, 泉浦秀行, 筒井寛典 (国立天文台/ERATO)

系外惑星の探索、星の振動や食連星の観測を利用した恒星の物理状態の解明、宇宙加速を直接測定する装置のための基礎的研究などを目的として、我々は、国立天文台岡山天体物理観測所 (OAO) 188 cm 望遠鏡用の高分散分光器 HIDES 用に天文コムを開発している。この計画では、最終的に波長 380 nm ~ 540 nm をカバーし、コムの間隔が 20 ~ 50 GHz で、視線速度測定精度 30 cm/s をもつ天文コムを開発することを目指しており、現在その調整を進めている。

光コムは、時間領域では超短光パルス列であり、周波数領域においては多数のレーザーモードが等しい周波数間隔で並んだものである。「天文コム」は、高分散分光器の波長校正に用いるために、分光器の分解能に適合した間隔周波数を持つ光コムのことを指す。分光器の波長帯域、および分解能により、最適なコムの間隔周波数は異なり、OAO の HIDES では上記波長および間隔周波数が求められている。そこで我々は、繰り返し周波数 100 MHz の Er モード同期ファイバレーザーからのを基に、まず 350 ~ 2000 nm の広帯域化を施し、ついで光共振器によるコムモードの切り出しを行い、波長 500 nm 帯において、間隔周波数が約 42 GHz の光コムを得た。産総研で製作されたこの天文コム装置は、2016 年 7 月に OAO に設置され、2016 年 12 月から検証実験や試験観測を実施している (神戸他、本年会)。講演では、光コム本体、周波数安定化レーザー、光共振器からなる天文コムシステムの概要と、現在までに得られている結果等について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V270a 岡山天体物理観測所高分散分光器 HIDES 用天文コムの開発II . 試験観測

神戸栄治, 泉浦秀行, 筒井寛典 (国立天文台/ERATO), 稲場 肇, 中村圭佑, 大久保 章, 山本宏樹, 保坂一元, 大苗 敦 (産業技術総合研究所/ERATO), Malte Schramm (国立天文台/産業技術総合研究所/ERATO), 石川 純 (産業技術総合研究所), 洪 鋒雷 (横浜国立大/ERATO), 美濃島 薫 (電気通信大/ERATO), 長谷川 椋 (東京工業大), K.G. Helminiak (NCAC/Poland)

系外惑星の探索、星の振動や食連星の観測を利用した恒星の物理状態の解明、宇宙加速を直接測定する装置のための基礎的研究などを目的として、我々は、国立天文台岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡用の高分散分光器 HIDES 用に天文コムを開発している (稲場他、本年会)。この計画では、最終的に波長 380 nm ~ 540 nm をカバーし、コムの間隔が 20 ~ 50GHz (現状は約 40 GHz) で、視線速度測定精度 30 cm/s をもつ天文コムを開発することを目指しており、現在その調整を進めている。

一方、実際の天体観測で高精度な視線速度測定を達成するためには、光源以外の問題、分光器の安定性、器機プロファイルの形状、分光器入口スリットの天体光の照射パターンの変化などによる測定への影響を、確実に除去もしくは補正する必要がある。そこで、我々は、2016年12月から、この天文コムに加えて、既存の Th-Ar やヨードセルなども利用して検証実験や試験観測を実施し、その評価を行っている。現在のところ HIDES の光学系 (高効率ファイバー経路) をそのまま使用しているが、それでは、恒星の分光器入口スリットの照射パターンの変化により 50 m/s 程度の測定精度しか得られないこと、分光器の器機プロファイルを高精度に補正しなければ波長と検出器のピクセルの関係が精度よく決まらないこと、などがわかっている。現在主に前者の問題を解決すべくファイバー・アジテータの製作を行っており、講演ではその効果など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](#)

V271a 岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES-F の全自動観測システムの構築

前原裕之, 神戸栄治, 浮田信治, 黒田大介, 柳澤顕史, 筒井寛典, 泉浦秀行 (国立天文台)

現在の国立天文台岡山 188cm 望遠鏡の主力観測装置の一つである HIDES-F は、視線速度精密測定による太陽系外惑星の探索などの研究で成果を挙げている。2017 年末の 188cm 望遠鏡の共同利用終了後に予定されている研究者有志等による運用期においても、こうした長期間にわたる高頻度の観測が必要となる研究を安定して継続するには、天候など観測可能条件の判定も含めた観測の完全自動化が不可欠である。

観測の全自動化を実現するために、2016 年秋季年会で報告したキューモード観測環境 (前原他, V232b) に加え、気象データなどの周辺環境の情報を基に観測の可否を自動判定するシステムと、観測対象リストを基に適切な観測順序を決定し観測コマンドをキューに登録するシステムを開発した。2017 年前期までに行った試験観測では、観測開始や観測中の天候悪化/回復に伴う観測中断/再開、観測終了などの手続きの自動実行、および観測天体リストに基づき観測を自動的に進めることができることを確認した。安定した天候の場合、観測開始や終了処理、校正用データの取得やフォーカス調整も含めて、(露出時間にもよるが) 一晩で 40-50 天体程度の観測を人による操作を一切介さずに自動的に行うことができた。本講演では全自動観測システムの概要と試験観測の結果、および全自動観測実施時に観測者側で必要となる準備や操作等について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V3. 観測機器】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [I会場]

V301a	10:30	次期 X 線天文衛星搭載に向けた小型 X 線 CCD 素子の性能評価 大西里実 (大阪大学)
V302a	10:42	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 (5) 森浩二 (宮崎大学)
V303a	10:54	将来の硬 X 線・ガンマ線衛星に向けたシンチレータ反射材の改良 清野愛海 (東京大学)
V304a	11:06	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 24: 裏面照射型 X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能評価 原田颯大 (京都大学)
V305a	11:18	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 25: 大型 X 線 SOI ピクセル検出器のイベント駆動読み出しの評価 林秀輝 (京都大学)
V306a	11:30	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 26: X 線ピクセル検出器「XRPIX」多段化システムの開発 立花克裕 (京都大学)
V307b	11:42	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 22: X 線用 SOIPIX 検出器の放射線耐性の評価 鎌田敬吾 (東京理科大学)
V308b	11:42	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 23: 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)
V309b	11:42	すぎく衛星搭載 XIS の Si-K 吸収端付近の応答関数の問題とその改善 林田清 (大阪大学)
V310a	11:54	すぎく衛星搭載 XIS を用いた地球超高層大気の組成解析のための応答関数の検討 森田佳恵 (埼玉大学)
V311c		すぎく衛星 HXD-PIN のバックグラウンドモデルの改良 深沢泰司 (広島大学)
V312a	12:06	「ひとみ」(ASTRO-H)/SXS スペア Be 窓の評価 II 吉田裕貴 (立教大学)
V313b	12:18	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器における軌道上バックグラウンドの理解 大野雅功 (広島大学)
V314b	12:18	超小型衛星 ORBIS に関するフラックスキャリブレーション候補天体の選定 中野慎也 (名古屋大学)
V315b	12:18	MAXI-NICER リアルタイム連携計画 三原建弘 (理化学研究所)

9月11日(月) 午後(14:30-16:30) [I会場]

V316a	14:30	X 線偏光観測衛星 IXPE への緊急参加 玉川徹 (理化学研究所)
V317a	14:42	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 三石郁之 (名古屋大学)
V318b	14:54	IXPE 衛星搭載 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 菅沼亮紀 (名古屋大学)
V319b	14:54	偏光観測衛星 IXPE 搭載用 GEM の画像処理を用いた品質検査法の開発 周圓輝 (東京理科大学/理化学研究所)
V320b	14:54	高エネルギー X 線を検出するマイクロパターン TPC 型 X 線偏光計の開発 早藤麻美 (理化学研究所)
V321c		ガンマ線バースト用ガンマ線偏光観測衛星 SPHiNX 計画 高橋弘充 (広島大学)
V322a	15:06	SPHiNX 衛星で用いる GAGG シンチレータの基礎特性評価 内田和海 (広島大学)
V323a	15:18	将来 X 線偏光観測に向けたシンチレータ+MPPC での低エネルギー応答の評価 鳥越健斗 (広島大学)
V324a	15:30	光電子追跡型 X 線偏光計の機械学習による偏光応答モデルの開発 北口貴雄 (広島大学)
V325a	15:42	分角の X 線望遠鏡を用いた秒角の高角度分解能を持つ光学系の設計検討 Yoshitomo Maeda (宇宙航空研究開発機構)
V326a	15:54	ダークバリオン探索ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 大橋隆哉 (首都大学東京)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

V327b	16:06	ダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡の開発	関大策 (名古屋大学)
V328b	16:06	炭素繊維強化プラスチックの X 線反射鏡における位置決め方法の開発	横田翼 (名古屋大学)
V329b	16:06	Time Projection Chamber とフーリエ合成による撮像偏光計の基礎研究	中野俊男 (理化学研究所)
V330a	16:18	X線多重像干渉計 MIXIM 計画の検討と基礎開発の現状	川端智樹 (大阪大学)

9月12日(火) 午前 (09:30-11:30) [I会場]

V331a	09:30	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	石原雅士 (名古屋大学)
V332a	09:42	太陽観測ロケット FOXSI-3 検出器の実機動作確認と性能評価	古川健人 (宇宙航空研究開発機構)
V333a	09:54	MeV ガンマ線天文学開拓のための豪州気球実験 SMILE-2+の準備状況	水村好貴 (京都大学)
V334a	10:06	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (13)	山本常夏 (甲南大学)
V335a	10:18	CTA 大口径望遠鏡用分割鏡の性能評価試験	黒田隼人 (東京大学)
V336a	10:30	Schwarzschild-Couder 光学系を用いた CTA 小・中口径望遠鏡の開発	奥村暁 (名古屋大学)
V337a	10:42	ALPACA 実験 2: ALPAQUITA 進捗状況	大西宗博 (東京大学)
V338a	10:54	重力波同期 X 線突発天体探査計画 Kanazawa-SAT ³	澤野達哉 (金沢大学)
V339a	11:06	Kanazawa-SAT ³ 搭載広視野 X 線撮像検出器のバースト判定システムの開発	太田海一 (金沢大学)
V340b	11:18	Kanazawa-SAT ³ 搭載 X 線撮像検出器プロトタイプモデルの性能評価	吉田和輝 (金沢大学)
V341b	11:18	Kanazawa-SAT ³ 搭載に向けた X 線撮像検出器 T-LEX のデータ処理系の設計	加川保昭 (金沢大学)
V342b	11:18	CTA 大口径望遠鏡初号機カメラの建設状況	平子丈 (京都大学)

9月12日(火) 午後 (13:00-13:48) [I会場]

V343a	13:00	X 線天文衛星代替機 (XARM) 計画の現状	田代信 (宇宙航空研究開発機構/埼玉大学)
V344a	13:12	X 線天文衛星代替機 (XARM) 搭載の軟 X 線分光器 Resolve の検討状況	石崎欣尚 (首都大学東京)
V345a	13:24	X 線天文衛星代替機 (XARM) 搭載の軟 X 線撮像装置の検討状況	林田清 (大阪大学)
V346a	13:36	X 線天文衛星 Athena 計画	松本浩典 (大阪大学)

V301a 次期X線天文衛星搭載に向けた小型X線CCD素子の性能評価

大西里実, 花坂剛史, 米山友景, 岡崎貴樹, 中嶋大, 松本浩典, 林田清, 常深博 (大阪大学)

「ひとみ」衛星に搭載された軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager : SXI) は、4つの大型CCD素子をモザイク状に配置し、 $38' \times 38'$ の広視野で0.5-15keVのエネルギー帯域において期待された撮像分光性能を発揮した。この広い有効帯域は、空乏層厚 $200\mu\text{m}$ を完全空乏化したPチャンネル裏面照射型の大型素子Pch-NeXT4(浜松ホトニクスとの共同開発)によって実現されており、広視野を生かしてペルセウス座銀河団のような広がったX線天体の撮像・分光に成功した。

一方で、SXIにはいくつかの改善余地が残っている。まず、打ち上げ前の時点からCCDの電荷転送非効率率が $\sim 10^{-5}$ と、過去に開発した素子で達成した値と比較して一桁程度劣っていたことが挙げられる。次に、軌道上の観測データについて有効観測時間に制限を課す結果となった、CCD受光面に施された可視光遮断層 (Optical Blocking Layer : OBL) におけるピンホールの存在である。これらの点を受け、次期X線天文衛星に向けては、電荷転送路幅を狭めることで電荷転送効率を向上させ、さらにOBLのピンホール数を低減させるなどの措置を加えた素子の開発を進めている。

短期間・低コストでの開発を実現するために、改良したCCDの性能評価はSXIの大型素子より小型のものを用いて行う。我々は、SXIエレクトロニクスを従来の $\sim 1/20$ のピクセル数の小型CCDと接続するカメラシステムを構築した。現在はPch-NeXT4と同等の仕様の小型素子を用いて、試験環境の調整を行っている。分光性能の評価結果を含め、そ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](#)

V302a 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 (5)

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), 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、システム検討の進捗、および、検出器・望遠鏡開発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](#)

V303a 将来の硬X線・ガンマ線衛星に向けたシンチレータ反射材の改良

清野愛海, 奥田和史, 中澤知洋 (東京大学), 奥村暁 (名古屋大学), 郡司修一 (山形大学), 牧島一夫 (理研)

X線衛星「すざく」や「ひとみ」の硬X線検出器、軟ガンマ線検出器のような観測装置では、大型の結晶シンチレータで主検出器を囲んで反同時計数をとることで、宇宙線などに由来するバックグラウンドを下げるのが極めて重要である。このシンチレータには、蛍光を光センサーに集めるため、ゴアテックスシートやESR (Enhanced Specular Reflector) フィルム、BaSO₄ 塗料などの反射材が用いられてきた。今回、次世代の硬X線観測衛星 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution) などへの適用に向け、検出光量を増やすこと、制作を手軽にすることを目指し、新たな反射材を用いてその性能評価を行った。

新たな反射材として、多層膜コーティングを追加したESR (反射率強化ESR) と片面が粘着性を持つESR (粘着ESR) を使用した。前者は光量改善、後者は制作の簡素化を目指すものである。24 × 24 × 25.8 mm の直方体BGOに反射率強化ESRを使用したところ、通常のESR 2重の場合と比較して～16% 光量が増加した。現在、より大型のBGOでの試験を進めている。次に、100 × 70 × 20 mm の直方体CsI (Tl) に対して、(i) ゴアテックス2重、(ii) ESR 2重+ゴアテックス、(iii) 反射率強化ESR+ESR+ゴアテックス、(iv) 粘着ESR+ESR+ゴアテックス、の4通りの反射材の組み合わせでその光量の違いを調べた。(iii) の場合に最も光量が高かったが、BGOほどでなく、(ii) と比べて～2% の増加であった。これは、BGOの光量のピークが～420 nm であるのに対してCsIが～550 nm であるため、反射率強化ESRでは青い光の帯域が特に強化されたことを反映していると考えられる。粘着ESRの粘着面をCsIに貼り付けた(iv)では、予想通り光量は減ったものの～17% 減で収まっており、潮解性対策などが重要な場合に製造にメリットがあることが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 24：裏面照射型X線SOIピクセル検出器の軟X線性能評価

原田颯大, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 松村英晃, 立花克裕, 林秀輝 (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, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 大野顕司, 鏑田敬吾 (東京理科大学), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha(静岡大学電子工学研究所)

我々は、次世代のX線天文衛星計画「FORCE」に搭載予定であるX線観測用ピクセル検出器「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。現行のX線天文衛星の主力検出器であるX線CCDは時間分解能が数sと遅いため、高エネルギー粒子起源の非X線バックグラウンド(NXB)が高いという問題がある。それに対しXRPIXは各ピクセルにイベントトリガー機能を実装しているため、ヒットのあったピクセルのみを読み出すことで、 $10\ \mu\text{s}$ の高時間分解能を実現できる。この時間分解能の向上により、NXBを除去する反同時計数処理を採用できX線CCDの $10\ \text{keV}$ をはるかに上回る $40\ \text{keV}$ までの硬X線撮像を実現する。FORCEは軟X線領域の観測も計画に入っている。XRPIXの表面側(回路層側)には厚さ $8\ \mu\text{m}$ 程度の回路層が存在する。軟X線を表面側から照射すると、回路層で軟X線が吸収され検出するのは困難である。そのため不感層の薄い裏面照射型素子の開発が必須となる。FORCEの不感層厚の要求性能は $1\ \mu\text{m}$ で、最終目標は $0.1\ \mu\text{m}$ である。我々はこれまで様々な裏面処理を行った素子を開発し、不感層 $0.5\ \mu\text{m}$ を達成している。今回発表するXRPIX6bDは、不感層を薄くするために裏面にインプラントするイオンのエネルギーを抑える改良などを加えた最新の素子である。このXRPIX6bDの性能を計測し評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 25: 大型X線SOIピクセル検出器のイベント駆動読み出しの評価

林秀輝, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 松村英晃, 立花克裕, 原田颯大 (京大理), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真, 福田昂平 (宮崎大工), 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 大野顕司, 鏑田敬吾 (東理大理工), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静大工)

我々は、次世代のX線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X線SOIピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIXは、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。現在主流のピクセル検出器であるX線CCDには、時間分解能が数秒と遅いことに起因して、 ~ 10 keV以上の帯域で非X線バックグラウンド(NXB)が高いという問題がある。XRPIXは、CCDと同等の位置分解能と分光性能を持ちながら、各ピクセルにイベントトリガー機能を備えることで、 $\sim 10 \mu\text{s}$ の時間分解能を可能とする。この高時間分解能により、NXBを除去する反同時計数法を用いることができ、 $0.5\text{--}40$ keVの広帯域撮像分光を実現する。

XRPIXの最大の特徴は、イベント検出タイミングで検出したピクセルの信号のみを選択的に読み出す、「イベント駆動読み出し」である。これまでに、イベント駆動読み出しによるX線スペクトル取得に成功している (Takeda et al. 2013)。今回、ピクセル数が 608×384 、サイズが $24.6 \text{ mm} \times 15.3 \text{ mm}$ の大型素子を開発し、大型で初のイベント駆動を行う。この素子のX線のフレーム読み出しでは、読み出しノイズが $\sim 37 e^-$ (rms)、分光性能が $\sim 420 \text{ eV}$ (FWHM) @ 5.9 keV だとわかっている。また、新しい読み出し周辺回路を導入したため、従来とは異なる読み出し手順となっている。本講演では、この大型素子のイベント駆動読み出しの評価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](#)

V306a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発26: X線ピクセル検出器「XRPIX」 多段化システムの開発

立花克裕, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 松村英晃, 林秀輝, 原田颯大 (京大理), 武田彩希 (宮崎大工), 島添健次, 中田直樹, 水町祐貴, 上ノ町水紀 (東大工), 小貫良行 (東大理), 新井康夫 (KEK)

現在 X 線天文学で主流の X 線 CCD は、時間分解能が数秒と遅いという欠点がある。我々が開発を進める X 線ピクセル検出器「XRPIX」は、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。CCD と同等の位置分解能と分光性能を持ちながら、各ピクセルにイベントトリガー機能を備えることで、 $\sim 10 \mu\text{s}$ の時間分解能を可能とする。我々はこの時間分解能を生かし、 $24.6 \text{ mm} \times 15.3 \text{ mm}$ の大面積素子「XRPIX5b」を積層したシステムを開発している。積層することで実効的なセンサー厚が大きくなり、硬 X 線領域での検出効率が向上する。さらに複数の層が同時に反応したイベントを同時に読み出すコンプトンカメラとしても利用できる。また X 線がコンプトン散乱する際、散乱 X 線が入射 X 線の電場ベクトルの垂直方向に散乱されやすいという散乱異方性があり、コンプトンイベントを再構成することで X 線偏光観測が可能となる。

このシステムの構築のために我々は新たに多段化基板を設計した。これまで使用してきた汎用読み出し基板にコネクタを用いて多段化基板を積層し、1 素子につき 1 つの FPGA で制御を行う。汎用読み出し基板の FPGA が全素子を統括し、各素子からのイベント情報から読み出すエリアを決定する。本講演では多段化システムの開発状況及び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](#)

V307b SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 22:X線用SOIPIX検出器の放射線耐性の評価

鎌田敬吾, 幸村孝由, 萩野浩一, 小木曾拓, 大野顕司, 根岸康介 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 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, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 濱野毅 (放医研), 他 SOIPIX グループ

我々は、次世代X線天文衛星への搭載を目指すSOIピクセル検出器「XRPIX」の開発を行っている。SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いることで、センサー部分と読み出し回路部分の一体化をはかり、X線が入射したピクセルのみを読み出すイベントトリガー機能が可能となる。この機能を用いてXRPIXは従来のCCD検出器と同等のエネルギー分解能と位置分解能を保持しつつ、数 μ sの高い時間分解能を実現を目指している。

地球磁場により捕捉された高エネルギー陽子などの宇宙線が、衛星に搭載するX線用半導体検出器に照射することで、エネルギー分解能などのX線に対する検出器の性能が劣化する。我々が開発しているXRPIXも半導体素子であるため、放射線量に対して、どの程度性能が劣化するか定量的に評価することは、開発で重要な課題である。

そこで我々は、放射線医学総合研究所の重粒子線加速器を用いて、表面照射型のXRPIX2bの放射線照射実験を行った。照射した陽子のエネルギーは6 MeVで、軌道上で3.5年に相当する量の陽子を、素子の表面から照射した。その結果、損傷後の読み出しノイズは2%、エネルギー分解能は10%程度劣化したことが分かった。また、ゲインが0.4%上昇したことも分かった。本講演では、7月に実施する放射線照射実験の結果も含め、詳細な結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308b SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 23: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, 鏑田敬吾 (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、各ピクセルに閾値回路を備えている。これにより XRPIX は高い時間分解能 (数 μs) を実現する。さらに、入射方向を制限するようにシンチレータで囲む配置にしたカメラシステムを用いることで、反時計計測を行い、X 線による信号だけを選択的に読み出すことが可能になり、広いエネルギー帯域 (0.5–40 keV) で低バックグラウンドの観測が可能になる。

先行研究により、SPring-8 において XRPIX1b に対し、ビームサイズを $\Phi=10 \mu\text{m}$ に絞った 8 keV と 18 keV の X 線を素子の表面側から照射し、ピクセル中心部に比べ、境界付近で検出効率が相対的に低いことが分かった。これは、ピクセル回路の配置によるセンサ内部の電場構造への影響が原因と考えられるため、ピクセル回路の配置を変更した素子を作成した。

本研究では、ピクセル回路の配置を改良した素子である XRPIX3b に対し、KEK-PF においてビームサイズを $\Phi=4 \mu\text{m}$ に絞った 2–5 keV の X 線ビームを、裏面側から $6 \mu\text{m}$ ピッチで照射し、サブピクセルの相対検出効率の評価実験を行った。その結果、ピクセル境界付近の電荷収集効率が改善されていること、相対検出効率では最大で約 30 % 以内で一様であることが分かった。本講演ではそ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](#)

V309b すざく衛星搭載XIS のSi-K 吸収端付近の応答関数の問題とその改善

林田 清, 正村 陸, 中嶋 大, 米山友景, 岡崎貴樹, 常深 博 (大阪大学), 森浩二 (宮崎大), 他
すざくXISチーム

すざく衛星搭載のX線 CCD カメラ、XIS の応答関数に関して、Si-K 殻吸収端 1.839 keV 付近にスペクトル残差が生じる問題 (=Si-K 吸収端問題) が、複数天体の解析で指摘されていた。2012 年には、FI-CCD(XIS0, XIS3) に対しては吸収端付近の量子効率 (XAFS) の調整、BI-CCD(XIS1) に対してはスペクトル成分の比の調整が行われ、交換版 CALDB にとりいれられている (海田、森他)。しかし、この改訂を支持する物理的描像が自明でなく、観測ターゲットによっては残差解消が十分でないという問題が残っていた。

本研究では、入射エネルギーと信号波高の関係 (Ex-PI 関係) を表す行列 (応答行列) に改めて着目し、Si-K 吸収端を境に行列要素の値にジャンプを導入することで問題の改善を図った。較正用天体としてブラックホール連星系 LMC X-3 のX線スペクトルをフィットした結果、FI-CCD(XIS0,3) ではSi-K 吸収端より下のエネルギーで波高が 7.3 eV 相当低くなる、BI-CCD(XIS1) ではSi-K 吸収端より上のエネルギーで波高が 3.65 eV 相当低くなる応答行列により、残差を解消できることを発見した (ただし 3.65 eV 単位の調査)。Si-K 吸収端を境に X 線の平均自由行程は $14\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ とジャンプする。結果、CCD の空乏層中を電荷が電極まで移動する距離が変わる。これまで X 線 CCD の電荷転送路あるいは入射面付近での電荷トラップに関しては多くの研究がなされてきたが、空乏層中でのそのような現象は考慮されてこなかった。従って、Si-K 吸収端問題の解決は、すざく衛星のデータ解析をする研究者にとって実益があるばかりでなく、X 線 CCD あるいはひろく半導体検出器を利用する X 線天文衛星の開発/較正にとっても重要な知見である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310a すざく衛星搭載XISを用いた地球超高層大気の組成解析のための応答関数の検討

森田佳恵, 田代信, 寺田幸功, 沼田佳介 (埼玉大学), 森浩二 (宮崎大学), 信川正順 (奈良教育大学)

地球超高層大気は太陽放射の影響により電離状態の原子、分子があると考えられており、太陽活動と大気組成変化の関係解明が期待できる。そこですざく衛星搭載のX線 CCD カメラ (X-ray Imaging Spectrometer:XIS) の観測データを用いて地球大気の分光観測を試みた。すざく衛星搭載のXIS 検出器は0.2–12.0 keV のエネルギー帯に感度を持ち、0.5 keV でのエネルギー分解能 (打ち上げ時) は40 eV (Koyama et al. 2007) である。地球大気的主要な構成元素である窒素と酸素はそれぞれ400 eV、530 eV 程度の特性X線を放出することが知られており、XIS 検出器でも検出されている。しかし、太陽放射の影響を知るために原子と分子とを分けて組成比を求めるには、20 eV の精度での中心エネルギー決定精度と輝線に対する応答関数のプロファイルを知る必要がある。この帯域はコンタミネーションや電荷転送効率、エネルギーゲインをよく考慮した上で、昼地球からの可視光の影響まで見積もる必要があるため、キャリブレーションとしても慎重な較正が必要である。XIS 検出器の較正は、天体や較正線源を用いて行われ、これらの特性はよく調べられているが、太陽に照らされた明るい地球を観測したデータを用いる本研究においては、さらに慎重な検討を要する。そこで我々は、昼地球のデータを用いて検出器の位置ごとにスペクトルを評価し、コンタミネーションの空間分布、可視光のゲインや分解能への影響の再評価を行った。本講演ではこれらの検討及び補正の結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311c すざく衛星 HXD-PIN のバックグラウンドモデルの改良

深沢泰司、西野翔（広島大学）

すざく衛星に搭載されていた硬X線検出器 HXD-PIN は、15–70 keV で NuStar 以前の観測装置としては最高感度を誇り、多数の天体を観測した。そのデータは、現在でも貴重なデータとして解析する価値がある。HXD-PIN の解析においては、非撮像検出器なので、信号と区別できないバックグラウンドは、モデル化して差し引かなければならない。そのため、HXD チームは2種類のバックグラウンドモデルを提供してきた。そのうち、tuned バックグラウンドでは、視野が地球を見ている時間帯である地没のデータを用いて、バックグラウンドの時間変動をさまざまなパラメータを含んだ empirical なモデルでフィットを行ってパラメータを月ごとに求めて、モデルを構築してきた。そのため、もう一方の quick 型に比べて精度良いモデルを提供してきた。しかし、PIN のスペクトルの低エネルギー側に現れるノイズ成分の突発的な変化が混ざりこんで、ライトカーブのフィットの精度が悪い時期が生じるため、それがモデル化の限界を決めていた。そこで、PIN のノイズを除去する閾値を月ごとに決めて、ほぼ完全にノイズ成分を消してバックグラウンドのモデル化を精度向上することができた。本発表では、モデル化の精度向上方法と再現性調査について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312a 「ひとみ」(ASTRO-H)/SXS スペア Be 窓の評価II

吉田裕貴, 星野晶夫, 北本俊二, 杉本樹梨, 石井亮太, 大木悠生, 佐藤清香, 糠森里美 (立教大学), 藤本龍一 (金沢大学), 山崎典子 (宇宙航空研究開発機構), 伊奈稔哲, 宇留賀朋哉 (高輝度光科学研究センター)

ひとみ衛星の初期運用期間中, SXS の観測はゲートバルブ (GV) を閉じたまま実施された。観測データは GV に取り付けられた Be 窓での吸収の影響を受ける。Be 窓は衛星打ち上げ前に未評価であった為, ひとみ衛星フライト品で使用された Be と同ロットで製作されたスペア Be 窓の評価を SPring-8 BL01B1 にて実施し, この結果については 2017 年春季年会 (星野 V340a) にて報告した。我々はさらに KEK-PF BL11B/BL7C において追加測定を実施した。これらの測定により, 2.5–30keV のエネルギー範囲のスペア Be 窓の透過率曲線を取得することができた。KEK-PF では測定箇所を Be 窓の中心と上下左右の 6.5mm オフセットの計 5 点とした。得られた透過率曲線には明瞭な Fe, Ni, Mn の K 吸収端と, Be の結晶面による Bragg 散乱による吸収端様構造が 6057eV, 6915eV, 7590eV, 9193 eV に確認でき, SPring-8 での測定結果と一致している。これらの構造に加え, 新たに 3460eV, 8790eV にも構造を検出した。SPring-8 と KEK-PF を合わせた透過率データは (1) Be と不純物 (Mn, Fe, Ni) による光電吸収と非弾性散乱の効果, (2) Be モザイク結晶の結晶面での Bragg 散乱による吸収端様構造, (3) 低エネルギー側の折れ曲がりの効果を考慮したモデルにより再現できた。この解析から, Be の厚みを $258.27 \pm 0.01 \mu\text{m}$ と求められ, 不純物量は仕様書の値と同程度であることが確認できた。また Be 窓全面の透過率走査測定により, Be 窓全面の厚みを評価した。その結果, 全面での厚みのばらつきは, 不偏標準偏差で 0.2% 程度であった。さらに都産研において LEXT による表面形状測定を行い R_a 値で $0.11\text{--}0.15 \mu\text{m}$ であった。これは spec sheet 値を満たす。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313b 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器における軌道上バックグラウンドの理解

大野雅功, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 北口貴雄, 田中康之, 勝田隼一郎, 河野貴文, 幅田翔, 岡田千穂, 大橋礼恵, 寺前拓人, 田中晃司 (広島大学), 高橋忠幸, 国分紀秀, 渡辺伸, 佐藤悟朗, 太田方之, 内田悠介, 都丸亮太, 米田浩基 (ISAS/JAXA), 小高裕和 (SLAC/KIPAC), 中澤知洋, 村上浩章 (東京大学), 田島宏康 (名大 ISEE), 木下将臣, 山岡和貴, 林克洋 (名古屋大学), ほか「ひとみ」HXI/SGD チーム

「ひとみ (ASTRO-H)」衛星に搭載された軟ガンマ線検出器 (SGD) は、狭視野多層半導体コンプトンカメラと BGO アクティブシールドを組み合わせた独自のコンセプトにより、極限までバックグラウンドを抑えることで 60-600 keV の軟ガンマ線領域でこれまでにない高感度観測を目指した検出器である。わずか数日の定常運用ではあったものの、検出器は正常に動作し、コンプトンカメラを用いた天体観測の有用性を示すことができた。高感度観測の鍵を握るバックグラウンドの低減に関しては、軌道上で生じるバックグラウンドの性質を正しく理解し、非常に多岐にわたる検出信号の組み合わせから、天体信号とバックグラウンドを見分ける適切な条件を見極めなければならない。本研究では、通常観測体制に移行後取得したおよそ4日間のバックグラウンドデータ、および5ks取得したかに星雲の観測データを詳細に調べた。その結果、軌道上バックグラウンドにおける輝線成分はSGDを構成する物質の放射化により生じた放射性同位体の崩壊に起因する輝線によりほぼ説明でき、崩壊モードによってBGOシールドで検出し、バックグラウンドとして判別されるか理解できた。また、かに星雲観測データとバックグラウンドデータにおいて、コンプトン散乱角や検出位置など複数のパラメータを統合的に比較することで、天体信号を効率良く選別し、バックグラウンドを適切に低減できる新しいデータ選別手法を開発した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314b 超小型衛星 ORBIS に関するフラックスキャリブレーション候補天体の選定

中野慎也、三石郁之、石原雅士 (名古屋大学)、佐原宏典、江副祐一郎、武内数馬 (首都大学東京)、磯部直樹、石川久美 (ISAS/JAXA)、中嶋広 (大阪大学)

超小型衛星は、既存の大型衛星や全天監視装置では困難であった小グループによる占有性が実現でき、単一ミッションでの長期モニター観測を可能とする利点を持つ。そこで首都大、ISAS/JAXA、阪大、名古屋大が中心となって超小型衛星「ORBIS (ORbiting Binary black-hole Investigation Satellite)」の開発を進めている (Matsushima et al. 2017 ISTS)。本衛星は 50 cm 立方、50 kg 級でミッション機器として X 線望遠鏡と CCD (有効面積 $4 \text{ mm}^2 @ 1 \text{ keV}$) を搭載している。また、自作バス機器の宇宙環境下での動作実証を目指している。銀河中心に存在する超巨大ブラックホールの進化の解明を主目的とし、2-10 keV の X 線領域で超巨大ブラックホールのバイナリ候補天体の長期時間変動を観測する。

本研究では、ORBIS の望遠鏡・検出器応答関数を使用してフラックスと観測時間に対する 2-10 keV 帯でのフラックス 決定精度の依存性を調べた。ここで、AGN の典型的なスペクトルとして知られるべき型のスペクトル ($\Gamma=1.7$) を仮定した。フラックス は 0.05, 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 mCrab、観測時間は 50, 100, 300, 500 ks を仮定した。その結果、例えば天体のフラックスが 1.0 mCrab の時、観測時間 300、500 ks に対してフラックスの誤差が $\pm 50\%$ 以内、 $\pm 30\%$ 以内で決まった。本講演では 70 万以上の X 線ソースが含まれている 3XMM catalog (Rosen et al. 2016) を用いて、ミッション電力確保の観点から黄緯 70 度以上でフラックスキャリブレーション候補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](#)

V315b MAXI-NICER リアルタイム連携計画

三原 建弘、岩切 渉、芹野 素子、中平 聡志 (理研)、根来 均 (日大)、榎戸 輝揚 (京大)、坪井 陽子 (中央大)、坂本 貴紀 (青学大)

2017年6月3日、NASA/GSFCのNICER装置が打ち上げられ、6/13現在ISS上で取付作業中である。NICERは大面積のX線検出器で単独パルサーのパルス波形を精度良く測り、中性子星の質量・半径を求めることを主目的としている。経緯台の上に56本のX線集光鏡が搭載され、ISSの自転を相殺して一天体を追尾観測できる。一方、MAXIは2009年の運用開始以来、88個のガンマ線バースト(GRB)と18個のMAXI新星を発見している。そのうち半数程度はSwift衛星で追観測が行われたが、うち7個は対応天体が発見されず、MAXI未同定短時間軟X線トランジェント(MUSST、マスト天体)と呼ばれている(2016春年会、三原)。未同定の原因は、天体が急速に減光するため追観測が間に合わないことである。そこでMAXIの新星発見を即時に伝え、NICERの機動性を利用したリアルタイム観測を計画している。地上経由の即時観測(地上MAN [MAXI and NICER])は既得の科研費を用いて行い、ISS機上に新星発見PCを設置する機上即時観測(OHMAN [On-orbit Hookup])の実施にはNASAおよびISASに米日双方で予算申請中である。地上MANは約1時間程度の遅延が生じ、現在のMAXI-Swift連携観測よりやや速い程度であるが、1時間スケールの増光現象(X線スーパーバースト、超巨大恒星フレア)を連続観測することができる。2分後から観測するOHMANでは、それらの立ち上がり(元素合成や粒子加速の現場)のスペクトル観測が可能となり、MUSSTのような急速減光天体は、検出された詳細位置が大望遠鏡による更なる追観測に供され正体が解明されるであろう。MUSST候補には、理論予想されているが未発見のGRBのOrphan残光や重力波対応天体などがある。OHMANは時間領域天文学の未発見領域を探查する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316a X線偏光観測衛星 IXPE への緊急参加

玉川 徹, 早藤麻美, 岩切 渉, 中野俊男 (理研), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 深沢泰司, 水野恒史, 北口貴雄 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 郡司修一 (山形大), 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) の枠組みでは、NASA ゴダード宇宙飛行センター (GSFC) が日本グループと共同で提案した PRAXyS (Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources) 衛星と、NASA マーシャル宇宙飛行センター (MSFC) がイタリアグループと共同で提案した IXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) 衛星が Phase A (予備検討) に採択され、2–10 keV 帯域の軟 X線偏光観測がにわかに現実味を帯びてきた。さらに、2017年1月には、IXPE 衛星が Phase B (ミッション定義) に進み、2020年11月打ち上げに向け、開発がスタートした。

日本チームは PRAXyS 衛星にハードウェア提供する予定であったが、そのコア技術は、IXPE 衛星でも同様に、必要とされているものである。そこで IXPE チームに対して、1月末から、ハードウェアの提供を含むプロジェクト協力の調整を始めた。その結果、名古屋大学が開発した X線望遠鏡の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が、IXPE でも採用されることとなった。現在は、ハードウェア提供に責任を負うメンバーとして、IXPE チームに参加する手続きを進めている。本講演では、IXPE 衛星、X線偏光計の詳細と、日本グループの参加形態について、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](#)

V317a 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

三石郁之, 菅沼亮紀, 二村泰介, 清水貞行, 田原謙, 立花一志, 大西崇文 (名古屋大学), 松本浩典 (大阪大学), 玉川徹 (理研)

2020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、 $>1\ \mu\text{m}$ 厚のポリイミド (PI) フィルムの使用を予定している。

2017年12月までにエンジニアリングモデルユニットの納品を目指し、熱シミュレーションや機械強度評価試験を実施し、設計検討を進めている。特に熱シミュレーションでは、フィルムおよび接着剤の耐熱性の観点から、最高到達温度の PI フィルムの厚みや金属製メッシュや金属薄膜の材質と厚み依存性を調べ、各種パラメータの最適化を図っている。また機械強度の評価として、構造解析や現時点での本ミッション用デザインを模擬したテストサンプルの静加圧試験やランダム振動試験を実施し、打ち上げ環境にも耐えうるであろうことを確認している。本講演では上記デザイン検討と製作および環境試験の結果とあわせ、今後の製作スケジュール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](#)

V318b IXPE 衛星搭載 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

菅沼亮紀, 二村泰介, 清水貞行, 石原雅士, 田原譲, 三石郁之, 田村啓輔, 石原大助, 立花一志, 大西崇文, 立花健二 (名古屋大学), 松本浩典 (大阪大学)

IXPE (Imaging X-ray Polarymetry Explorer) は、NASA/MSFC が主導し開発を推進している X 線偏光観測を主目的とする小型衛星である。名古屋大学は X 線望遠鏡サーマルシールド (TS) の開発を進めている。TS は衛星軌道上で望遠鏡の温度環境を一様に維持するための熱制御システムの一つであり、これまでもあすかやすざく、ひとみ衛星で実績がある。TS には太陽光吸収率 α_s と赤外線放射率 ϵ_N を低くしながら高い X 線透過率を有することが要求されるため、数ミクロン程度の厚さのフィルムが使用される。このフィルムをステンレスのメッシュで支持しアルミ枠で固定することで、ロケット打ち上げ時の環境に耐えうる TS が製作される。

現在、IXPE に搭載される TS のエンジニアリングモデル (EM) 開発に着手し、デザイン検討を行っている。衛星打ち上げには Pegasus ロケットが使用される予定で、本研究では現状の TS の模擬サンプルが EM に要求される環境試験レベルをクリアできるか検証した。今回行った試験は振動試験と静加圧試験の 2 つである。振動試験については使用する治具の特性により打ち上げ時にかかる振動帯全領域での測定は行えなかった。しかし、測定可能である 20 ~ 900 Hz においては 3 軸に相当する Pegasus 認定試験 (QT) レベルに対応するランダム振動試験を行うことができた。その結果、Pegasus の振動環境の予測値 + 3 dB において耐性があることを確認し、この振動帯において TS は共振周波数を持たないことを確認した。また、QT レベルの音響試験でかかる最大圧力に静的に耐えられるかどうかを静加圧試験で検証し、その要求を満たしていることを確認した。本講演では 2 つの試験の詳細及び EM 開発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](#)

V319b 偏光観測衛星 IXPE 搭載用 GEM の画像処理を用いた品質検査法の開発

周 圓輝, 村田 直人, 窪田 恵, 小田 苑会, 大久保 美穂, 若松 孝也, 玉川 徹 (理研, 東京理科大), 中野 俊男, 早藤 麻美, 岩切 渉 (理研), 北口 貴雄 (広島大), 榎戸 輝揚 (京都大)

NASA の小型衛星ミッション IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) に搭載する X 線偏光計には、我々の研究室で開発したガス電子増幅フォイル (GEM) が搭載される。IXPE 用の GEM は、 $50\ \mu\text{m}$ 厚の絶縁シートを $5\ \mu\text{m}$ 厚の銅電極シートで挟んだ構造をしており、ピッチ $50\ \mu\text{m}$ 、直径 $30\ \mu\text{m}$ の貫通穴を、 $15\ \text{mm}$ 四方の有感領域に約 4 万個、開けたものである。GEM の両極版間に $500\text{-}600\ \text{V}$ 程度の電圧をかけると、比例計数管として動作させることができる。フレキシブルな基板に、この程度の微細な貫通穴を開けることは、技術的には非常に難しく、製作後にその品質を評価する方法を確立する必要がある。本研究は、GEM を顕微鏡により撮像し、その画像を解析することで、穴の開き具合や、ゴミ等の詰まりがないかを調べる手法を、実際のフライトデザイン GEM に対して確立することを目的として行った。

IXPE 用 GEM のエンジニアリングモデル (EM) を透過光、落射光により $100\text{-}400$ 倍で顕微鏡撮影し、それをインテル社が開発したオープンライブラリである OpenCV を用いて処理することで、穴直径、楕円率、透過光面積などの情報を引き出した。具体的には、取得した画像をグレースケール化後に二値化し、輪郭検出をした上で、楕円フィットするプログラムを実装し、穴の開き具合を評価した。その結果、正常な穴についてはその直径のばらつき等を定量的に評価し、不完全な穴については、アラートを出し、目視による再確認を促すことが可能となった。本講演では、プログラムの詳細について述べ、実際に EM GEM を測定した結果について示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V320b 高エネルギー X 線を検出するマイクロパターン TPC 型 X 線偏光計の開発

早藤麻美, 中野俊男, 玉川 徹, 岩切 渉 (理化学研究所), 北口貴雄 (広島大学), 榎戸輝揚 (京都大), 窪田 恵 (東京理科大, 理研)

ブラックホールや中性子星などの天体から放射される X 線の直線偏光は、天体の物理状態を探る強力なプローブとして観測が期待されている。これまで我々は NASA/GSFC と共同で、マイクロパターンガス検出器と Time Projection Chamber の技術を利用した衛星搭載用の X 線偏光計を開発してきた。1 光子毎に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・偏光方向を測定する検出器で、形状の工夫によりアメリカ OSO-8 衛星搭載の X 線偏光計 (Weisskopf+78) に比べ感度を桁で向上させることに成功している (玉川 2017 春季年会他)。

この TPC 偏光計は 2–10 keV に感度を持たせるように設計していたが、さらに広いエネルギー帯での偏光観測の重要性が理論的にも予測されており、典型的な例として (低い偏光度の) 熱的放射と (高い偏光度が予測される) 非熱的放射が混ざり合う天体スペクトルの場合、エネルギーは高くなればなるほど非熱的放射が優勢になる。TPC 偏光計の検出できるエネルギーを高くすることは、適切なガスの種類と気圧を選択すれば原理的には難しくない。ただし検出器内で使用しているガス電子増幅フォイル (GEM) の増幅率・放電耐性、電子拡散の影響の評価等、最適化が必須となる。そこで我々は、高エネルギー X 線に対応した TPC 偏光計の開発を進めることにした。

実験には 10 – 30 keV の観測を想定し、1 気圧のアルゴン : ジメチルエーテル比が 6:4 の混合ガスを選択した。今回は混合ガス中における GEM の基本性能、偏光観測の重要なパラメータのひとつである電子ドリフト速度の実測とシミュレーションとの比較、モリブデン $K\alpha$ ライン (17.5 keV) を利用して取得した飛跡における評価について報告する。また気球観測の可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V321c ガンマ線バースト用ガンマ線偏光観測衛星 SPHiNX 計画

高橋弘充, 内田和海, 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

ガンマ線バーストは、約1日に1回の頻度で数秒間に 10^{52} erg ものガンマ線が突発的に観測され、ブラックホール・中性子星の合体や超新星爆発が起源と考えられている。しかし、そのジェットがどのように形成され、光速近くまで加速されるのかは不明である。エネルギースペクトルの研究からは、ジェットからガンマ線が放射されるメカニズムには2つのモデルが提唱されている。1つは、ジェット中で密度が高く光学的に厚い領域の表面から放射されているとする「光球面モデル」、もう一方は、物質が磁場に巻き付いてシンクロトロン放射をしていると考える「シンクロトロンモデル」である。偏光に着目すると、「光球面モデル」は無偏光に近いのに対し、「シンクロトロンモデル」では最大70%近い偏光が予想される。よって偏光度の頻度分布が、無偏光に近ければ「光球面モデル」、平均で40%近い偏光度があれば「シンクロトロンモデル」と区別できると期待される。

そこで我々は、日本とスウェーデン共同で SPHiNX (Segmented Polarimeter for High Energy X-rays) 衛星を開発し、1年間で数10個のガンマ線バーストの偏光度を決定することで、そのガンマ線の偏光度の頻度分布から放射メカニズムを切り分けること計画している。これまでに GAP 検出器により、数例のガンマ線偏光がすでに報告されているが、SPHiNX では検出数を10倍程度に増やし、統計的な議論を目指す。SPHiNX 衛星は50kg級の小型衛星で、2021年の打ち上げを目指している。現在スウェーデン国内で、Phase-A/B1の段階まで進んでおり、3候補の中の1つに選ばれている。ガンマ線偏光計にはコンプトン散乱を利用し、散乱体にプラスチックシンチレータ、吸収体に GAGG シンチレータを利用する。本講演では、SPHiNX 衛星の全体像について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V322a SPHiNX 衛星で用いる GAGG シンチレータの基礎特性評価

内田和海, 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されている。その起源はブラックホール/中性子星の衝突合体や、超新星爆発による相対論的ジェットからの放射であると言われているが、その物理はよく分かっていない。そこで我々は、ガンマ線バーストのガンマ線偏光観測からその放射機構を明らかにする SPHiNX (Segmented 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、それぞれのシンチレーション光を Multi-Pixel Photon Counter と光電子増倍管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年間で数十ものガンマ線バーストの偏光を観測し、統計的な議論から放射モデルに強い制限を与える。

GAGG シンチレータは開発されてまだ間もなく、特に SPHiNX 衛星では 60mm×30mm×5mm もの大きな GAGG シンチレータを用いるため、我々はそのサイズで基礎特性実験を行った。GAGG シンチレータの様々な位置から、コリメートした ^{137}Cs の 662keV ガンマ線を照射して自己吸収特性を調べた結果、シンチレーション光の通過経路が長くなると光量は下がった (光検出器から 6cm 遠ざかると、5%の減光)。この傾向は検出器応答を求めるシミュレーションに取り込む。また、GAGG シンチレータに宇宙での数千年分に対応するガンマ線を照射して実験を行い、ガンマ線耐性が十分にあることを明らかにした。

本講演では、これら SPHiNX 衛星用 GAGG シンチレータの基礎特性評価の実験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](#)

V323a 将来X線偏光観測に向けたシンチレータ+MPPCでの低エネルギー応答の評価

鳥越健斗、水野恒史、高橋弘充、深沢泰司 (広島大学)

X線偏光観測により、ブラックホール周辺の降着円盤や中性子星の磁場構造など、撮像や分光では見ることのできない構造についての情報が得られる。一般に硬X線偏光観測に用いるコンプトン散乱型偏光計には、散乱体にプラスチックシンチレータ、吸収体に光電子増倍管(PMT)を使用する。PMTは高いゲインをもち暗電流も小さく、散乱体に求められる微弱光の検出に優れる一方、サイズが大きく磁場に弱い。そこで量子効率が高く、小型で磁場に強いMPPCを代わりに用いることで、PMTと同程度の性能をもち、より扱いやすい検出器の実現が期待される。ただしMPPCは暗電流が大きいため、それを抑える工夫が必要となる。また、反応したピクセルと隣り合うピクセルが一定確率で反応するクロストークという現象が見られるため、その影響の補正も必要となる。

我々は、プラスチックシンチレータとMPPCを組み合わせた検出器において、低エネルギー側での応答(非線形性、スレッシュホールド)の評価を行なっている。スレッシュホールド目標値は30 keVの光子入射時を想定し、3 keVとした。使用したMPPCのモデルはS13360-3050CSである。微弱光を扱うため暗電流低減の必要があり、整形時定数50 ns, 温度-20 °C, オーバー電圧3.65 V, シンチレータのサイズ $4 \times 4 \times 15 \text{ mm}^3$ という実験条件下で評価を行った。スレッシュホールドは ^{55}Fe (5.9 keV)の信号に対応する平均光子数と検出限界光子数から $\sim 5 \text{ keV}$ と求めた。その際、光子数がポアソン分布に従うこととクロストークの影響を考慮し、フィッティングを行うことで平均光子数を求めた。また、 ^{55}Fe (5.9 keV), ^{109}Cd (22.2 keV), ^{241}Am (59.5 keV)を用いてエネルギーと光子数の関係を求めた結果、非線形性を確認できた。今後はスレッシュホールド目標値の達成のため、複数の検出器での同時検出が期待されるイベントを、時間情報を利用して抽出するコインシデンス法を用いて更なる暗電流低減を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V324a 光電子追跡型 X 線偏光計の機械学習による偏光応答モデルの開発

北口 貴雄, 深沢 泰司, 水野 恒史 (広島大), 玉川 徹, 早藤 麻美, 岩切 渉, 中野 俊男 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大)

我々は 2–10 keV の宇宙 X 線の直線偏光を観測するために、X 線偏光計を開発している。この偏光計はガス電子増幅器を内蔵するタイムプロジェクションチェンバーであり、X 線とガスが反応して飛び出す光電子の飛跡を撮像する。光電子の微分断面積は、入射 X 線の電気ベクトルからの方位角を ϕ とすると、 $d\sigma/d\phi \propto \cos^2 \phi$ の関係にあるため、光電子の射出方向を測定することで、入射 X 線の偏光情報を取得できる。光電子飛跡の画像は、X 線入射方向に射影した 2 次元イメージとして得られ、その大きさは約 3.6×3.6 mm で、 30×30 画素から成る。偏光計の感度を高めるためには、飛跡画像から光電子の最初の射出方向を正確に求める必要がある。

今回は、飛跡画像のイメージモーメントを用いて、光電子の射出角度を求める方法を紹介した (北口他, 17 年春季年会, V337a)。また、グラフ理論の最短経路問題を利用したアルゴリズムも、中国のグループにより開発されている (Li+17, NIMA)。今回は、第 3 の方法として、機械学習による角度再構成を報告する。

機械学習のライブラリは、Google が開発するオープンソース TensorFlow を用いた。訓練データとして、我々が開発してきた偏光計モンテカルロシミュレータを用いて、飛跡画像と光電子射出方向を得た。そして畳み込みニューラルネットワークを構築し、それに 30×30 画素の画像を 1 次元ベクトルに直したものを入力し、光電子角度を 36 等分した one-hot ベクトルをターゲット変数として出力した。24 コアを使って 6 時間、機械学習を行った結果、8.0 keV 単色 X 線での変調因子は 53% となった。これはイメージモーメントを用いた再構成法での値 56% に匹敵し、機械学習は天文データを較正する新たな手法になり得ることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a 分角のX線望遠鏡を用いた秒角の高角度分解能を持つ光学系の設計検討

前田 良知, 浅井 龍太, 佐藤 寿紀, 飯塚 亮, 石田 学 (ISAS/JAXA), 林多佳由 (GSFC/NASA, 名古屋大学), 池田 思朗, 森井 幹雄 (統計数理研究所)

X線望遠鏡は像の集光撮像を実現するため、天体の位置情報を取得することができる。1978年に打ち上げられたEinstein衛星に搭載されたX線望遠鏡が天体のX線像を取得して以来、X線を用いた宇宙の理解は大きく進んでいる。いまでは、10 keV以下の軟X線バンドではChandra衛星(1999年打ち上げ)の0.5秒角、10 keVから80 keVまではNuSTAR(2012年)、Hitomi HXT(2016年)で約1分角が実現され、現在のところ最高の解像度を提供している。今後は、この角度分解能を大きく越える望遠鏡の実現が望まれている。

現在実現されている角度分解能を大きく越える高角度分解能の光学系として、X線干渉計やX線フレネルレンズなどを用いた高角度分解能の観測装置が提案されている。しかしながら、どれもエネルギー範囲が狭いか、有効面積が小さい。そこで、我々は大有効面積で且つ広帯域に感度を持つ、高角度分解能望遠鏡の開発を目指している。

2017年3月の春の年会では、前置型光学系としてCoded Maskを導入すると角度分解能が集光光学系ではなく、前置型光学系で決まるという原理を発表した。今回は、その原理を使って、シミュレーションしたので報告する。反射型X線望遠鏡として分角の角度分解能を仮定し、Coded Maskで秒角の角度分解能を達成することを目指した。反射型X線望遠鏡の広帯域、大有効面積の特徴を生かしたまま、角度分解能が向上する例を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a 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

大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也 (首都大)、山崎典子、満田和久 (ISAS/JAXA)、田原譲、三石郁之 (名古屋大)、太田直美 (奈良女子大)、佐藤浩介 (東京理科大)、旧 DIOS ワーキンググループ

DIOS ワーキンググループは、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。「ひとみ」の異常と、それを受けた X 線天文衛星代替機の実施により、2020 年代前半という当初の計画で DIOS を実施す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) より後の時期 2030 年ごろに目標を定めて、能力を大幅に増強した Super DIOS の検討を開始しつつある。

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り、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 とほぼ同じである。Super DIOS としての変更は、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である。これにより source confusion の問題が一気に解決され、ダークバリオンへの感度も大きく上がる。X 線望遠鏡の角分解能と視野に関しては XMM-Newton などの実績があるが、より一層の面積軽量化を目指す。TES カロリメータは大きな技術開発が必要であるが、マイクロ波読み出しなど、超多素子へ向けた開発は各国で始まっている。Super DIOS の検討状況や技術的な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](#)

V327b ダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡の開発

関 大策, 馬場崎 康敬, 石原 雅士, 大塚 康司, 田原 譲, 三石 郁之 (名古屋大学)

ダークバリオン探査衛星 DIOS 用の望遠鏡として、600 mm の大口径、1200 mm の短焦点距離を有する 4 回反射型 X 線望遠鏡 (FXT: Fou-stage X-ray Telescope) の開発を進めている (2017 年春季年会 V306a 等)。FXT は従来の 2 回反射の光学系を 4 回反射に拡張することで、広視野かつ大有効面積を実現する一方、反射鏡の形状誤差や位置決め誤差が結像性能に顕著に影響する。そのため、現状ではまだ目標としている結像性能に達していない。

そこで、今回は反射鏡形状の改善を目指し、反射鏡の性能劣化の要因を切り分ける為にハウジングに組み込んだ状態での鏡面の 3 次元表面形状の精査を行う。その実験のためのミニチュア版のハウジング設計および製作も行った。まず、鏡面化前のアルミニウム基板をこのハウジングに組み込み、形状測定をしたところ、4 回反射で結像性能 5.4 分角 (Half Power Width;HPW) 相当であることがわかった。一方で、反射鏡製作のレプリカ工程で用いる金型の形状通りに反射鏡ができていれば 4 回反射相当で 1.3 分角の性能であることが期待される。この基板形状測定の結果と、ハウジングに搭載する前の基板の端面の形状が一致していることから、形状劣化の要因が、反射鏡製作工程の基板成形時 (ローラー成形、熱成形) にあることが考えられる。反射鏡が光を結像する位置は反射鏡の円周方向の形状と母線形状による。反射鏡基板の円周方向の形状性能は $50 \mu\text{m}$ 程度で、母線方向の形状性能 (頂角のズレ) は 1 分角である。現在、反射鏡製作工程を見直すことで、円周方向の形状劣化の要因をさらに細分化している。また、反射鏡形状測定の結果と可視光照射実験の結果を突き合わせて、母線方向の形状劣化要因も調べていく。本講演では上記内容の詳細報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328b 炭素繊維強化プラスチックの X 線反射鏡における位置決め方法の開発

横田翼, 三石郁之 (名古屋大学), 松本浩典 (大阪大学), 粟木久光, 岩切駿, 大上千智 (愛媛大学), 石田直樹 (玉川エンジニアリング)

X 線望遠鏡は、主に Wolter I 型光学系が用いられ、日本では特に厚さ約 0.2 mm の反射鏡を同心円上に多数配置した多重薄板型で、高い集光力を実現している。一方、現状の望遠鏡開発の上では、アルミニウム基板の個々の反射鏡をアライメントバーという櫛状の溝の中に固定することで位置決めを行ってきた。この場合、反射鏡の形状起因の収差による像の広がり、また、アライメントバー溝内の遊びによる位置決め誤差が発生し、結像位置が本来あるべき位置からずれる為に、角度分解能は数分角に制限されてきた。その向上には、高精度な反射鏡基板形状を実現すると共に、反射鏡の高精度な位置決めが要求される。

そのため、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) に着目し、より薄く軽い高精度形状な 1/4 周反射鏡基板 ($\phi 200$ mm、各段 150 mm) の開発を進めている。CFRP はアルミニウムと比べ、比重が約 2/3 倍、比弾性率が約 17 倍と軽量かつ高剛性である。更に任意な形状への成形が容易であるため、Wolter I 型光学系を忠実に再現した二段一体型反射鏡の開発が可能になり、形状由来の結像誤差を抑制できる。そして、更なる角度分解能の向上の為に、アライメントバーで達成しうる位置決め精度を超える方法を開発せねばならない。そこで、 piezoelectric アクチュエータを複数個使用し、反射鏡の位置と形状を精密に調整し、目標とする位置に反射鏡をピンで固定する方法を開発中である。反射鏡の位置は、レーザー変位計で測定しながら調整する。CFRP 平板を使った先行研究 (2017 年春季年会 粟木報告) で、 $2 \mu\text{m}$ 以下での調整が可能であることを示しており、今回は、その方法を 1/4 周基板に適用することを目標に取り組んでいる。本講演では開発中の位置決め方法及び CFRP 反射鏡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](#)

V329b Time Projection Chamber とフーリエ合成による撮像偏光計の基礎研究

中野俊男, 玉川 徹, 早藤麻美, 岩切 渉 (理化学研究所), 北口貴雄 (広島大学), 榎戸 輝揚 (京都大), 窪田 恵 (東京理科大, 理研)

X線による偏光観測は、中性子星やブラックホールのもつ強力な磁場や重力場、超新星残骸による粒子加速など、宇宙における高エネルギー現象を探るための強力な手段として長らく期待されてきた。近年、偏光計の開発が競うようになされており、2020年には Gas Pixel Detector(GPD) 偏光計を搭載した IXPE(Imaging X-ray Polarimetry Explore) 衛星が打ち上げられ、2–8 keV の X 線における本格的な偏光観測が始まる。我々はこれまで、Time Projection Chamber(TPC) 偏光計と、その要となるガス電子増幅フォイルの開発をしてきた。本講演では、将来に向けた、TPC 偏光計とフーリエ合成を用いた撮像偏光のアイデアについて報告する。

TPC 偏光計は、光軸と平行に並べられたストリップによる 1 次元読み出しと、電荷の到達する時間差により、光電子の飛跡を取得することで、入射 X 線の電場方向を測定する。GPD 偏光計と比べて TPC 偏光計では、1 次元でしか X 線の反応位置を決定できないものの、ガス検出部の奥行きを長く取ることができ、高い検出効率を得ることができる。こうした 1 次元検出器に、すだれコリメータを通して、X 線を照射すると 1 次元の射影パターンが得られる。次数の異なる射影パターンを複数取得し、フーリエ合成を施すことで、もとの X 線イメージを再構成することができる (Kotoku et al., 2003)。太陽観測衛星「ようこう」では 2 層のコリメータがフーリエ合成に用いられ、その開口率は 1/4 であったのに対し、1 次元検出器を用いると 1 層のコリメータで正弦成分と余弦成分を取得でき、開口率は 1/2 となる。TPC 偏光計は、射影パターンに加えて、入射 X 線の偏光方向と強度が得られる。本講演では、こうした偏光情報を付加したフーリエ合成の手法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330a X線多重像干渉計 MIXIM 計画の検討と基礎開発の現状

川端智樹、林田 清、花坂剛史、井上翔太、中嶋 大、松本浩典、常深 博（大阪大学）

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。構造は、X 線回折格子と X 線分光撮像検出器を組み合わせた単純な形式で、天体からの準平行光が回折格子を透過して作る像を撮影する。像は格子と同じ周期を持つので、それを解析で重ね合わせることで X 線天体のプロファイルが測定できる。実際には回折が効き像の乱れが生じるが、タルボ効果として知られているように、格子のピッチを d 、X 線の波長を λ として、 d^2/λ の整数倍の距離では干渉による格子の自己像ができる。X 線イベント毎にエネルギー測定をして、適切なエネルギーのイベントのみを取り出せば、高い角度分解能で X 線天体のプロファイルが得られる。我々は、これを X 線多重像干渉計 (MIXIM, Multi Image X-ray Interferometer Module (Mission)) と呼ぶ。

我々は既に、基礎実験として、マイクロフォーカス X 線源 (60kV, W ターゲット) と X 線回折格子 ($4.8\mu\text{m}$ ピッチ $17\mu\text{m}$ 厚 Au) 、ピクセルサイズ $30\mu\text{m}$ の XRPIX2b 検出器を組み合わせた装置で格子像の拡大撮影を行い、干渉縞の検出に成功している (2017 年春季学会)。4.4 倍の拡大率でも干渉縞の検出できているが、天体からの X 線は平行光であり、現状の格子ピッチに対しては、より高い位置分解能の検出器が必要である。一つの方策として、可視光用途ながら $4.25\mu\text{m}$ という微小ピクセルサイズの CMOS センサーに X 線を照射し、X 線撮像分光への応用の可能性を探っている。

一方で、角度分解能が 2 秒 \sim 0.02 秒、衛星サイズが超小型、小型、中型を念頭においた MIXIM のオプションを設定し、有効面積やバックグラウンドの点で mCrab 天体が現実的に観測できることを評価している。本講演では以上の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V331a 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

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、田原譲（名古屋大学）、松本浩典（大阪大学）、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、軟 X 線全天観測を目指している。軟 X 線帯域 (<2 keV) で高い分光性能 (<100 eV) の観測を行い、Local Hot Bubble や銀河系 X 線ハロー双方の温度・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、環境試験とサイエンス検討の一部を名古屋大学が担当する。結像系は搭載せず、約 12 度の視野を持つ 3 台のシリコントリフト検出器を用い、約一年間で全天観測を遂行する。

本ミッションにて、名古屋大学は散乱測定及び環境試験を担当する。検出器筐体内で散乱され検出器に入射する散乱光は、高温カスの温度と強度の正確な見積もりに影響する。その為、散乱光成分の入射角依存性及びエネルギー依存性を調べる散乱測定を行う。環境試験は熱真空試験を行い、衛星運用時の温度を再現した真空環境での軟 X 線に対する検出器性能を評価する。真空仕様の小型軟 X 線源は普及していないため、本学が所有する熱真空装置に適した、カーボンナノ構造体を線源とした 200 mm 角の評価システムの構築を進めている。

また、本ミッションのサイエンス実現性の検討および観測時間の最適化のため、実データに基づいたシミュレーションを行った。例えば典型的な輝度を仮定した場合、観測時間 10 ks では、Local Hot Bubble の温度および強度はどちらも 10% 程度、銀河系 X 線ハロー成分は各々 20, 50% 程度の決定精度であった。今後は様々な輝度を仮定した、決定精度の観測時間依存性を調べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a 太陽観測ロケット FOXSI-3 検出器の実機動作確認と性能評価

古川健人, 石川真之介, 高橋忠幸, 渡辺伸 (ISAS/JAXA), 萩野浩一 (東京理科大), 武田伸一郎 (OIST),
ほか FOXSI-3 チーム

我々は現在、NASA、ミネソタ大学、カリフォルニア大学バークレー校と共同で、ロケット搭載検出器によって太陽からの硬 X 線放射を直接撮像する FOXSI(Focusing Optics X-ray Solar Imager) 実験を行なっている。FOXSI-3 は 2018 年夏に打ち上げが予定されており、プロジェクト全体の現状報告は石川他が講演予定である。ロケットには高角度分解能を持つ斜入射望遠鏡が 7 台搭載され、そのうち 6 台分の焦点面検出器を我々のグループが提供する。焦点面検出器には我々のグループが FOXSI 用に開発した CdTe 両面ストリップ型検出器 (CdTe-DSD) を用いる。この検出器は、2m という短い焦点距離でも望遠鏡の高い角度分解能 (FWHM:5 秒角、焦点面上で約 $50\mu\text{m}$ に対応) を最大限に生かすため、 $60\mu\text{m}$ というこれまでにない微細なピッチ幅を持つ CdTe 検出器である。4 月には、新たに完成した FOXSI-3 用の検出器ボードのプロトタイプに対して、宇宙科学研究所で校正用線源を用いた性能試験を行った。その後 5 月にはプロトタイプボードの電源・通信システムの接続をテストするため、ミネソタ大学で実機試験を実施した。この実機試験ではボードがフライト用システムと接続し、線源から正常なスペクトルが取得できること、4keV 以上の観測が可能なノイズ性能を持つことを確認した。さらに詳細な解析からは、エネルギースペクトルやイメージの再構成のためには隣接したストリップに電荷が広がる現象を正確にモデル化し、処理する必要があることがわかった。本講演では、キャリブレーションの現状とエネルギースペクトルやイメージの再構成法について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a MeVガンマ線天文学開拓のための豪州気球実験 SMILE-2+の準備状況

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 谷口幹幸, 小野坂健, 齋藤要, 水本哲矢, 窪秀利, 松岡佳大, 宮本奨平, 中増勇真 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

MeV エネルギーガンマ線帯域での宇宙観測は、元素合成の現場を直接観測できる唯一の窓として貴重であり、超新星爆発および銀河進化の系統的研究や、銀河系内宇宙線起源など重要問題の解決が期待できる。世界中でコンプトン散乱事象を計測しガンマ線の到来方向を得るコンプトンカメラが開発されてきたが、測定物理量不足により望遠鏡性能の要である Point Spread Function (PSF) の評価が困難であった。我々は、ガスを媒質に用いてコンプトン反跳電子の飛跡を測定可能な電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) を開発し、世界で初めて PSF を明確に定義可能な MeV ガンマ線カメラを実現し、地上での性能証明を実験室や福島地域で実施してきた。現在、銀河中心領域から電子・陽電子対消滅線の観測および Crab の観測を行う事で、PSF に基づくガンマ線イメージング分光性能を気球高度でも実証し、MeV ガンマ線天文学を開拓可能であることを証明する気球実験 SMILE-2+ を計画し、2018 年春に豪州での飛翔機会を得た。この実証のため SMILE-2+ 装置は、シンチレータの阻止能を高めて散乱ガンマ線の測定エネルギー範囲を拡張し、ガス層内部にシンチレータを設置し反跳電子の測定エネルギー範囲を拡張し、有効面積 (200-300 keV で 4 cm^2 、1 MeV で 2 cm^2)、角度分解能 (662 keV の Half Power Radius で 10°) を得る。SMILE-2+ が成功する事で、将来の衛星規模装置で 1 mCrab の観測感度を実現する道すがら立ち、MeV ガンマ線天文学が開拓される。本講演では、SMILE-2+ 実験用検出器の改良状況とその性能評価結果とともに、気球実験に向けたシステム準備状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (13)

山本常夏 (甲南大), 手嶋政廣, 戸谷友則, 吉越貴紀 (東京大), 窪秀利, 井岡邦仁 (京都大), 田島宏康 (名古屋大), 吉田龍生 (茨城大), 田中康之 (広島大) 他 CTA-Japan Consortium メンバー

Cherenkov Telescope Array (CTA) は次世代の高エネルギーガンマ線天文台であり、宇宙で起こっている高エネルギー現象を観測するため国際共同実験として推進されている。口径 4 から 23 m の望遠鏡を多数配置することにより 20 GeV から 300 TeV まで 4 桁にわたるエネルギー領域のガンマ線を高精度で観測する。全天を観測するために北半球にあるスペイン・ラパルマと南半球にあるチリ・パラナルの 2 か所に建設する予定である。現在北半球のラパルマサイトで 23 m 口径の大口径望遠鏡の建設が行われている。この望遠鏡は 20 GeV 以上の低エネルギー領域を観測するため、大口径の鏡と高感度カメラを備えており、各観測所に 4 台ずつ設置することを目指している。この 4 台の大口径望遠鏡の周りに数十台中・小口径望遠鏡が配置される。これらの望遠鏡により銀河系内外にある多種多様な高エネルギー天体を観測し、高エネルギー宇宙物理を飛躍的に発展させることが期待されている。今年度中に大口径望遠鏡 1 台目が完成し、観測を行いながら並行して建設を進める予定である。本講演では CTA 計画の概要と建設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](#)

V335a CTA 大口径望遠鏡用分割鏡の性能評価試験

黒田隼人, 稲田知大, 加賀谷美佳, 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 20 GeV から 300 TeV 以上のエネルギー領域での 10 倍以上の感度向上を目標としている。この領域内では比較的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 1.51 m 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 23 m の放物面鏡を形成している。要求される結像性能はスポットサイズ径がカメラピクセルの 1/3 以下となる 16.7 mm であり、焦点距離は 28 m–29.2 m である。現在、結像性能の評価方法として用いられているのは 2f 法と呼ばれる測定法である。これ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、ラ・パルマ島現地では広いスペースの実験施設を確保できず品質管理を行うことが難しい。そこで今回は、基準となる鏡に対し焦点距離の位置に光源を置き、平行光を作ることによって省スペース化を実現した 1f 法と呼ばれる実験を開発した。本講演では、新たに組み立てた 1f 実験装置を用いて行われたラ・パルマ島での測定結果をはじめとする、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 Schwarzschild–Couder 光学系を用いた CTA 小・中口径望遠鏡の開発

奥村暁, 朝野彰, 田島宏康, 中村裕樹, 山根暢仁 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 片桐秀明, 重中茜 (茨城大学理学部), 他 CTA Consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array, CTA) は超高エネルギーガンマ線を観測する次世代の天文台計画である。ガンマ線の引き起こす空気シャワーを大気チェレンコフ光を使って検出することで、20 GeV から 300 TeV のエネルギー範囲のガンマ線を地上から全天観測する。4 桁にわたるエネルギー範囲を観測するため、大中小口径の異なる大きさの望遠鏡を 100 台規模で南北両半球に建設する。2018 年に初期観測を、また 2024 年にはフル望遠鏡アレイでの観測を開始する予定である。

大中小の望遠鏡の中で、我々は特に Schwarzschild–Couder (SC) 光学系を用いた中口径望遠鏡 (200 GeV–10 TeV) と小口径望遠鏡 (5–300 TeV) の開発を進めている。SC 光学系は非球面の主鏡と副鏡を持つ光学系であり、小型の光検出器を使った焦点面カメラと組み合わせることで、8 度の広い観測視野と 5–10 分角程度のカメラ画素サイズを実現することができる。我々は SC 光学系用の焦点面カメラの開発にこれまで取り組み、2015 年には試作望遠鏡と試作カメラを使った大気チェレンコフ光の検出に成功した。

本講演では焦点面カメラと光学系の開発状況について、また特に小口径望遠鏡を用いた PeV 宇宙線の加速源 (PeVatron) の探査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](#)

V337a ALPACA 実験 2: ALPAQUITA 進捗状況

浅羽孝典 (横浜国大工), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大教), 片岡幹博 (横浜国大工), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 川田和正 (東大宇宙線研), 小島浩司 (愛知工大工), R. Mayta (大阪市大理), P. Miranda (サン・アンドレス大), 宗像一起 (信州大理), 中村佳昭 (信州大理), 西澤正己 (国立情報学研), 荻尾彰一 (大阪市大理), 大西宗博 (東大宇宙線研), 大嶋晃敏 (中部大工), J. Quispe (サン・アンドレス大), M. Rajevich (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 佐古崇志 (ヤチャイ工大, 東大宇宙線研), 佐々木琢朗 (横浜国大工), 柴田祥一 (中部大工), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 鈴木大 (横浜国大工), 田島典夫 (理研), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多米田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), R. Ticona (サン・アンドレス大), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪市大理), 有働慈治 (神奈川大工), 若松海帆 (横浜国大工) 他 The ALPACA Collaboration

南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740 m) で宇宙放射線の観測を行う ALPACA 実験が計画されている。世界最大 ($5,400 \text{ m}^2$) の地下水チェレンコフ型ミューオン観測装置を世界で初めて南半球に設置し、これと広視野 (約 2 sr) 連続観測宇宙線望遠鏡である空気シャワー観測装置 (有効面積 $83,000 \text{ m}^2$) を連動することにより、背景となる原子核宇宙線からガンマ線を高効率で選別し、10 TeV から数 100 TeV 領域ガンマ線を高感度で観測することが可能となる。本計画はこれらの装置を用いて連続観測を行うことにより、南天における超高エネルギー宇宙ガンマ線天文学の開拓を目指している。本講演ではその計画の予備実験である ALPAQUITA 実験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](#)

V338a 重力波同期 X 線突発天体探査計画 Kanazawa-SAT³

澤野達哉, 米徳大輔, 吉田和輝, 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 (RIKEN), 池田博一 (ISAS/JAXA)

2018 年頃へ向けて Advanced LIGO, Advanced Virgo, KAGRA による重力波干渉計ネットワークが構築され中性子星連星やブラックホール中性子連星の合体・衝突による重力波の観測が期待されている。重力波を生み出す天体の母銀河や局所的な環境を解明するには、重力波干渉計のゆるやかな方向決定精度である十平方度から数百平方度をもってしては困難であり、電磁波との同時観測による詳細な位置決定が重要となる。特に、高密度星連星の合体衝突で生じるといわれている短時間ガンマ線バースト (SGRB) は重力波とほぼ同時期の放射が期待され同時計測の観点で利点をもつ電磁波突発天体である。そこで我々は重力波観測の飛躍に合わせた 2018 年度末の打ち上げを目指した超小型衛星計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。本計画は、SGRB の初期放射及び軟 X 線超過成分を主な観測ターゲットとし、重力波に同期した X 線突発天体の発生時刻と発生方向を地上に通報して、可視光・近赤外線望遠鏡などによる追観測を促すことで重力波候補天体の母銀河の同定に貢献する。ミッションの観測装置として視野 1 sr, 15 分角の方向決定精度をもつ符号化マスクと 1 次元シリコンストリップセンサーを用いた X 線撮像検出器 T-LEX を搭載する。T-LEX の符号化マスクは設計に幾何学的な制約を受けにくいランダムな開口パターンをもつ方式を採用し、開口率は Swift/BAT が検出したガンマ線バーストの観測データをもとに、突発天体に対する検出感度と方向決定の確度が最適化されるように設計を行った。本講演では、Kanazawa-SAT³ の科学的背景、バス機器及びミッション機器の準備状況、さらにミッション機器の期待される感度について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339a Kanazawa-SAT³ 搭載広視野 X 線撮像検出器のバースト判定システムの開発

太田海一，米徳大輔，澤野達哉，吉田和輝，加川保昭，伊奈正雄，鈴木大智，宮尾耕河，渡辺彰汰（金沢大学），三原建弘（理研），池田博一（ISAS/JAXA）

2018 年度より LIGO に加え Virgo や KAGRA を交えた本格的な重力波観測ネットワークが稼働し，様々な高密度天体起源の重力波観測が期待される．しかし重力波干渉計のみの観測では方向決定精度は 10-100 平方度と粗く母銀河の特定は難しい．一方，ブラックホール・中性子星連星や中性子星連星の合体の際に重力波放射と同時に X 線やガンマ線の強力な電磁波放射（Short Gamma Ray Burst：SGRB）が起こるとされ，重力波観測だけでは難しい発生源の特定を電磁波による同時観測でフォローすることが可能である．また重力波放射と電磁波放射の到来時刻差を 10 msec 以上の精度で観測できれば，SGRB のジェット駆動源を解明することも期待される．

我々は重力波観測が本格化する 2018 年度末の打ち上げを予定した超小型衛星 Kanazawa-SAT³ に搭載する，重力波源の特定を目指した広視野 X 線撮像検出器（T-LEX）の開発を進めている．SGRB の初期放射や付随して 100 秒程度続く軟 X 線超過成分の放射を主な観測ターゲットとし 1-20 keV に観測帯域を設定，方向決定は 1 次元符号化マスクとシリコンストリップセンサーを用いて行う．バースト判定は，様々な時間スケールに binning されたライトカーブをデジタル処理によって高速作成し，CPU に転送して計算を行う．開発した判定アルゴリズムに対しては BATSE や *Swift*/BAT による観測データを用いて判定能力の評価を行った．さらにプロトタイプモデルの基板を用いて，センサーで受けた X 線に対しバースト判定を行うまでの一連の処理がオンボードで実現できることを確認した．本講演では判定アルゴリズムの評価とオンボード試験の結果を報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V340b Kanazawa-SAT³ 搭載 X 線撮像検出器プロトタイプモデルの性能評価

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)

Advanced LIGO の重力波観測により重力波天文学が幕開けし、2018 年頃には KAGRA、Advanced Virgo が本格稼働を始める。今後はブラックホール連星に加えて中性子星を含む連星合体の重力波イベントが期待され、電磁波対応天体の追観測が重要となる。しかし、重力波干渉計の方向決定精度は複数で同時観測した場合でも十平方度程度であり、母銀河を同定できないため多波長の望遠鏡による詳細な追観測は難しい。一方で、中性子星連星、ブラックホール・中性子星連星の衝突合体が起源とされている短時間ガンマ線バースト (SGRB) は、重力波と同時観測できる最有力の電磁波突発天体である。

我々は SGRB を始め重力波に同期した X 線突発天体を監視する超小型衛星 Kanazawa-SAT³ を計画しており、2018 年度の打ち上げを目指している。搭載する X 線撮像検出器は視野 1str、方向決定精度 15 分角を有する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いる。検出器面積は 100cm² で、64ch の入力を持つ専用の ASIC を 16 チップ用いて X 線信号を読み出す。ASIC の性能は製造誤差によりチャンネルおよびチップごとにばらつきが存在するため、軌道上では 16 チップ分のばらつきを考慮して観測を行う必要がある。また、超小型衛星ではあらゆるリソースが限られており、観測データをピンングして地上に送るため、その際にも注意が必要である。そこでフライトモデルと同等の回路コンフィギュレーションであるプロトタイプモデルを用いて性能評価を行い、ASIC の雑音レベルや信号利得などアナログ性能のばらつきを調べた。本講演ではその試験結果を報告するとともに、軌道上で実現できる検出器の性能およびオンボードで作成するエネルギースペクトルの検討を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341b Kanazawa-SAT³ 搭載に向けた X 線撮像検出器 T-LEX のデータ処理系の設計

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), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

2018 年度には advanced LIGO, advanced Virgo, KAGRA による世界の重力波ネットワークが本格稼働し、連星中性子星や中性子星-ブラックホール連星などの様々な高密度星起源の重力波観測が期待されている。母天体の詳細な情報を得るには多波長の追観測が要求されるが、重力波干渉計のみの観測では到来方向を数十平方度と粗い精度でしか決定出来無いため、重力波源の同定は困難である。そのため、電磁波との同時観測により重力波と同期する電磁波放射から到来方向を決定する手法が重要となる。この同時観測は重力波と電磁波の到来時間差を見ることにより、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 による重力波対応天体探査を 2018 年度から行う計画を進めており、連星中性子星の衝突・合体により生じると考えられる、短時間ガンマ線バーストやこれに付随する Extended Emission などの X 線放射を観測し、重力波源の同定を目指す。搭載する広視野 X 線撮像検出器 T-LEX (Transient Localization EXperiment) は読み出し系のデジタル駆動用のものと CPU を実装しバースト判定を行うものの 2 つの FPGA を使用する。データの時間 binning、画像再構成の処理を駆動用 FPGA の並列演算で行うことにより、性能の乏しい CPU の負担を軽減し様々な継続時間 (100 msec - 100 sec) の突発天体現象に対応する。本講演では、超小型衛星の低速 (16 MHz) 環境下における、CPU の演算速度、FPGA 間通信を要因とするデータ転送時間、データ容量などの制約を述べ、同条件にて数 10 msec の変動のカウントレートトリガーと数 sec の緩い変動を捉えるイメージングトリガーを実現する、FPGA のデータ処理系の開発・設計について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V342b CTA 大口径望遠鏡初号機カメラの建設状況

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, 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, 内田智久, 田中真伸 (KEK, Open-It), 他 CTA-Japan Consortium

CTA(Cherenkov Telescope Array) 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。北半球のスペイン・ラパルマ島、南半球のチリ・パラナルに計約 120 台建設される予定で、全体で 20 GeV-300 TeV のレンジを持ち、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レンジを受け持つ 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。日本で量産された初号機用モジュールは、北サイト近くのスペインの研究所に送られ、現在、複数モジュールでの動作試験が進行中であり、今年度内に、初号機望遠鏡に取り付け、運用を開始する予定である。本講演では LST 初号機カメラの動作試験結果や建設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](#)

V343a X線天文衛星代替機 (XARM) 計画の現状

田代 信 (ISAS/JAXA, 埼玉大)、前島弘則、戸田謙一 (ISAS/JAXA)、ほか XARM プリプロジェクト準備チーム

2017年春季年会での特別セッション「X線天文衛星計画の概要「ひとみ」と「X線天文衛星代替機」」での報告につづき、X線天文衛星代替機 (X-ray Astronomy Recovery Mission: XARM) 計画の現状について報告する。

X線天文衛星「ひとみ」は、2016年2月に打ち上げられ、約1か月の観測のうちに通信異常を起こし、運用断念にいたった。本計画は、「ひとみ」がめざしたサイエンスの回復を目指している。リカバリーミッションであるXARMでは、開発にかかるコストとスケジュールを最小にするために、「ひとみ」が実現した「高分解能X線分光」と「広帯域X線分光観測」のうち、2020年代に早急に回復すべきミッションとして、前者に集中する。すなわち、X線マイクロカロリメータと、X線CCDカメラとそれぞれのためのX線望遠鏡の組み合わせた2式の観測装置によって、「超高分解能X線分光で拓く宇宙の新たな地平」を拓く科学目標として掲げる。

我々はまず、上記のミッション目的と、具体的な観測を前提とした衛星への要求をX線天文学コミュニティの有志による議論によってまとめ、これに基づいて、基本的な衛星の構成、および運用コンセプトをまとめシステム要求とした。現在は、プロジェクトを実施するためのメーカーを含む開発体制の決定、開発計画の詳細化を進めている。

また、これらと同時に、米国航空宇宙局および欧州宇宙機関との国際協力も進めている。本年会では、これら計画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](#)

V344a X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載の軟X線分光器 Resolve の検討状況

石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也, 一戸悠人 (首都大), 藤本龍一 (金沢大), 竹井洋, 安田進, 石田学, 山崎典子, 前田良知, 辻本匡弘, 飯塚亮, 小山志勇 (JAXA), 野田博文 (東北大), 玉川徹 (理研), 澤田真理 (青山学院大), 佐藤浩介 (東京理科大), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), G.V.Brown (LLNL), M.Eckart, T.Hayashi, R.L.Kelley, C.A.Kilbourne, M.A.Leutenegger, H.Mori, T.Okajima, F.S.Porter, Y.Soong (NASA), D.McCammon (U-Wisconsin), A.E.Szymkowiak (Yale-U), ほか XARM Resolve チーム

X線天文衛星代替機 (XARM; X-ray Astronomy Recovery Mission) は、「ひとみ」衛星のリカバリーミッションであり、最短で2020年度の打ち上げを予定している。XARMに搭載される軟X線分光器 *Resolve* は、「ひとみ」のSXT-S (Soft X-ray Telescope) とSXS (Soft X-ray Spectrometer) に相当し、焦点距離 5.6 m の多重薄板X線望遠鏡と、50 mK の極低温に冷却した 6×6 アレイの半導体温度計マイクロカロリメータを組み合わせたものとなる。「ひとみ」は2016年2月に打ち上げられ、SXSは軌道上で半値全幅 $\simeq 5$ eV のエネルギー分解能を実現し、ペルセウス座銀河団やCrabパルサーを含むいくつかの天体を観測したが、同年3月末に軌道上で不具合が発生して運用の継続を断念した。XARM *Resolve* は、原則として「ひとみ」SXT-S とSXSの再製作となるが、「ひとみ」の教訓を精査した結果、いくつかの設計変更が検討されている。例えば、機械式冷凍機の擾乱アイソレータへのロンチロックの追加や、デブリでフィルタに穴が空いた場合の光漏れ対策のバツフルの追加などが検討中である。また、「ひとみ」SXSは軌道上で真空断熱デューワー開口部のゲート弁を閉めたままであり、 ~ 260 μm 厚のBe窓ごしの観測しかできなかった。ゲート弁を開けた後の電磁干渉などによる性能劣化の可能性やその対策についても検討がされている。本講演では、これら XARM *Resolve* の検討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](#)

V345a X線天文衛星代替機(XARM)搭載の軟X線撮像装置の検討状況

林田清(大阪大学), 富田洋(ISAS/JAXA), 森浩二(宮崎大), 中嶋大, 松本浩典, 常深博(大阪大), 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛(京都大), 夏苺権(ISAS/JAXA), 山内誠, 甘日出勇(宮崎大), 村上弘志(東北学院大), 信川正順(奈良教育大), 幸村孝由, 萩野浩一(東京理科大), 平賀純子(関西学院大), 信川久美子(奈良女子大)他 XARM 軟X線撮像装置開発準備チーム

「ひとみ」衛星のリカバリーミッションとして最短で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: X-ray Astronomy Recovery Mission)には、軟X線分光器 *Resolve* とともに、軟X線撮像装置が搭載される予定である。軟X線撮像装置は、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。*Resolve* の3分角の視野内のX線天体をより高い位置分解能で検出するとともに、*Resolve* 視野周辺のX線天体を同時観測でとらえる。高エネルギー側まで大きな有効面積を確保し、*Resolve* とともにX線天体の連続成分を精度よく決定する。同時に、低い非X線バックグラウンドレベルで、低表面輝度の天体に関する高い感度を有する。軟X線反射鏡、X線 CCD カメラとも、代替機ミッションの要求に即して仕様の再検討を行ったうえで、基本的にひとみ衛星搭載のSXT-IおよびSXIの装置デザインを踏襲する。ただし、ひとみ搭載のSXIで問題になった可視光遮断性能に関しては、CCD素子レベル、衛星システムレベルでの対策を検討している。また、エネルギー分解能要求 FWHM 250 eV 以下 @ 6 keV(ミッション期間を通じて)を確保するために、電荷転送効率の向上、ゲイン向上を取り込んだ CCD 素子の試作を検討している。以上の検討状況を開発体制とともに紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V346a X線天文衛星 Athena 計画

松本浩典 (大阪大), 山崎典子, 満田和久 (ISAS/JAXA), 篠崎慶亮 (JAXA), 深沢泰司 (広島大), 鶴剛 (京都大), 常深博 (大阪大学), 粟木久光 (愛媛大), 海老沢研 (ISAS), 大橋隆哉 (首都大), 太田直美 (奈良女子大), 馬場 彩 (東京大), 上田佳宏 (京都大), 寺島雄一 (愛媛大)

ESA (European Space Agency) は Cosmic Vision 2015 – 2025 の大型計画 2号機 (L2) として、X線天文衛星計画 Athena (Advanced Telescope for High-ENergy Astrophysics) を採択した。Athena は、角度分解能 5 秒角の大面積望遠鏡 (Silicon Pore Optics; SPO)、エネルギー分解能 2.5 eV の TES マイクロカロリメーター (X-ray Integral Field Unit; X-IFU)、視野 40 分角の広視野半導体検出器 (Wide Field Imager; WFI) を搭載する。「Hot Universe: 宇宙の物質は如何にして集積し、今日の大規模構造を作り上げたか」、「Energetic Universe: 巨大ブラックホールは如何にして成長し、宇宙に影響を与えたか」、という宇宙物理学の 2 つの根本問題の解明を目指すものである。欧州が中心ではあるが、日米の国際協力を加え、2028 年の打ち上げを目指す。現在は Phase A にあり、打ち上げの境界条件、コスト条件を満たすべく、科学面へのインパクトも考慮しつつ、望遠鏡サイズなどの検討を続けている。

日本は、(1) Athena の科学的価値を高め、プロジェクトを確実に実施可能なものとすることに貢献する、(2) Athena の科学成果の最大化に日本の研究者が貢献する、を目的として、Athena 計画に参加することを決定した。(1) に向けて、X-IFU の冷凍機システム開発を中心に、WFI, SPO, 地上系も含めて観測機器開発に寄与することを考えている。(2) に向けて、Athena Sub Working Group に日本人研究者を送り込み、Mock Observation Plan の立案などに関与している。本講演では、Athena 計画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](#)

【W1. コンパクト天体】

9月11日(月) 午後(14:30-16:42) [C会場]

W101a	14:30	X線新星 MAXI J1807+132 の発見と Cyg X-1 の準ソフト状態への状態遷移の検出 -MAXI/GSC が検出した2017年度前半の突発現象- 根来 均 (日本大学)
W102a	14:42	ブラックホール連星 MAXI J1659-152 の準周期的振動とスペクトルの相関 早川亮大 (首都大学東京)
W103a	14:54	MAXI による X 線新星 MAXI J1807+132 の発見と X 線・可視光による追観測 志達めぐみ (理化学研究所)
W104a	15:06	State Transitions of GRS 1739-278 During the 2014 Outburst Sili Wang (Tokyo Institute of Technology)
W105a	15:18	スパース推定を用いた V404 Cyg の可視光・X 線ラグ解析 森井幹雄 (統計数理研究所)
W106a	15:30	銀河系内孤立ブラックホールが X 線突発現象を駆動している可能性 松本達矢 (京都大学)
W107a	15:42	NuSTAR 衛星による降着駆動型パルサー 4U 1626-67 の観測 (2) 岩切渉 (理化学研究所)
W108a	15:54	単独中性子星 XDINS の X 線スペクトルにおける keV-X 線超過成分の探索 米山友景 (大阪大学)
W109a	16:06	X 線衛星「すざく」を用いたガンマ線連星 LS5039 の X 線パルス探索 松元崇弘 (東京大学)
W110a	16:18	中性子星 ULX における光度=軌道周期関係 鴈野重之 (九州産業大学)
W111b	16:30	全天 X 線監視装置 MAXI のデータを用いた X 線短時間変動解析の改良 川瀬智史 (日本大学)
W112b	16:30	全天 X 線監視装置 MAXI のアーカイブデータを用いた LMC 領域の解析 下向怜歩 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
W113b	16:30	中性子星への超臨界降着は可能か? 高橋博之 (国立天文台)
		(プログラム変更) W114b は9月11日 12:06 C 会場になりました。
W115c		ULX と ULS の統合モデル 小川拓未 (京都大学)
W116c		カラー超伝導のペアリングと高密度星の熱的進化 野田常雄 (久留米工業大学)
W117c		超大質量星が重力崩壊した後に形成される BH-トーラス系の非軸対称な変形に対する不安定性についての研究 打田晴輝 (京都大学)

9月12日(火) 午前(09:30-11:18) [C会場]

W118a	09:30	輻射圧駆動相対論的球対称風 福江純 (大阪教育大学)
W119a	09:42	輻射圧駆動降着円盤風における相対論的輻射輸送 竹田奈央 (大阪教育大学)
W120a	09:54	有限平面光源に照らされた運動する層雲の終端速度 土居優介 (大阪教育大学)
W121a	10:06	多次元効果を考慮したブラックホールの超臨界成長・アウトフロー 竹尾英俊 (京都大学)
W122a	10:18	超臨界降着円盤から吹き出すクランピーアウトフローの3次元輻射流体シミュレーション 小林弘 (総合研究大学院大学)
W123a	10:30	銀河系中心大質量ブラックホール SgrA* の 350 GHz 帯短期強度変動 三好真 (国立天文台)
W124a	10:42	デカメータ電波パルス観測に基づく我が銀河系中心の巨大バイナリーブラックホールの発見 大家寛 (東北大学)
W125a	10:54	位置天文衛星 Gaia で発見できるブラックホールの質量分布 山口正輝 (東京大学)
W126a	11:06	中性子星の配置による軟 X 偏光に対する効果 矢田部彰宏 (早稲田大学)
W127a	11:18	マグネターコアの磁場構造 藤澤幸太郎 (早稲田大学)

(次頁に続く)

【W1. コンパクト天体】

9月12日(火) 午後(13:00-14:48) [C会場]

W128a	13:00	超臨界降着流のスペクトルの振る舞いと硬 X 線の起源 北木孝明 (京都大学)
W129a	13:12	観測的可視化のための一般相対論的輻射輸送コードの開発 川島朋尚 (国立天文台)
W130a	13:24	一般相対論的輻射磁気流体計算による中性子星への超臨界降着とアウトフロー形成機構 高橋博之 (国立天文台)
W131a	13:36	ブラックホール降着円盤からの二温度ジェット伝搬計算 大村匠 (九州大学)
W132a	13:48	超臨界降着流における円盤コロナモデル 川中宣太 (京都大学)
W133a	14:00	光学的に薄いシンクロトロン放射冷却を考慮した磁気リコネクション過程 竹重聡史 (京都大学)
W134a	14:12	ブラックホールの自転と2成分プラズマ流による外向きの電磁エネルギー流の生成と消滅 小嶋康史 (広島大学)
W135a	14:24	ブラックホール回転エネルギーのフォースフリー磁場による引抜きの数値計算 小出真路 (熊本大学)
W136a	14:36	W50 東端の Faraday Tomography による磁場構造解析 酒見はる香 (九州大学)

9月13日(水) 午前(09:30-11:18) [C会場]

W137a	09:30	連星中性子星合体からの重力波で探る高密度状態方程式 木内建太 (京都大学)
W138a	09:42	連星中性子星の質量分布に基づく合体時放出物質の平均的性質 関口雄一郎 (東邦大学)
W139a	09:54	中性子星連星合体後の粘性による質量放出 藤林翔 (京都大学)
W140a	10:06	初代星起源コンパクト連星からの重力波とその特徴 衣川智弥 (東京大学)
W141a	10:18	r-process 元素の不透明度と連星中性子星合体からの可視光・赤外線放射 田中雅臣 (国立天文台)
W142a	10:30	連星中性子星合体における shock breakout に伴う中性子の放出と電磁波放射 石井彩子 (東京大学)
W143a	10:42	中性子星連星の合体は宇宙線中の超重元素の起源か? 小宮悠 (東京大学)
W144a	10:54	コンパクト天体を含む4体系の相対論的軌道安定性 鈴木遼 (早稲田大学)
W145a	11:06	三重星におけるブラックホール降着円盤に関する流体計算 兼松慎一郎 (東北大学)

W101a X線新星 MAXI J1807+132 の発見と Cyg X-1 の準ソフト状態への状態遷移の検出 –MAXI/GSC が検出した 2017 年度前半の突発現象–

根来 均, 中島基樹, 川瀬智史, 酒巻 愛 (日本大学), 志達めぐみ, 芹野素子, 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 川室太希 (国立天文台), 上田佳宏 (京都大学), 杉田聡司, 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

前回の年会発表以降、MAXI が 2017 年度前半に発見、検出した突発天体・現象について報告する。2017 年 3 月 25 日にアウトバースト中の新天体 MAXI J1807+132 の検出を Astronomer's Telegram (ATel) に報告した (Negoro et al., ATel. #10208)。ディレイルック解析の結果、ピーク強度が約 10 mCrab 以下の、幾分、高銀緯 ($b = 15.7$ deg) に位置する暗い X 線新星であることがわかった。(その正体等については、志達らの発表参照。)

4 月 26 日には Cyg X-1 のハード状態から珍しい準ソフト状態への遷移について報告した (Negoro et al., ATel. #10322)。通常の Cyg X-1 のソフト状態への遷移は、数 keV 以下のソフト成分が増光し、それに伴い数日から数十日をかけて 10 keV 以上のハード成分も減光して完結する。今回の遷移では、MAXI では 10 keV 以下で 1.5-2 倍増光しているにもかかわらず、Swift/BAT の 15-50 keV バンドでは減光の兆しはなく、Fermi/GBM による 100 keV 以上でこれまでの同観測で見られないハード状態とソフト状態のちょうど中間の強度まで減光したまま安定した状態にある。発表では、電波による追観測の結果やこれまでの Suzaku による観測結果 (e.g., Yamada et al. 2013) と比較し、今回検出された新たな準ソフト状態について詳細を報告する。

また同期間に検出した、Be X線パルサー H1145–619 のノーマルアウトバーストの検出 (Nakajima et al. #10203) と 2 つのガンマ線バースト GRB 170511A (Takao et al. GCN #21137), GRB 170610A (Shidatsu et al. GCN #21243) 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](#)

W102a ブラックホール連星 MAXI J1659-152 の準周期的振動とスペクトルの相関

早川亮大, 山田真也, 大橋隆哉 (首都大), 根来 均 (日大)

ブラックホール (BH) 連星は、伴星からの物質供給が起こることによって、降着物質が重力エネルギーを獲得し X 線として解放される。このときに起こる放射は、主に降着円盤からの熱的な放射成分と、BH 周辺のコロナからのコンプトン放射による連続成分で構成され、前者が優勢のときソフト状態、後者が優勢の場合をハード状態と呼ぶ。また、QPO (準周期的振動) と呼ばれる、特定の周波数に変動のパワーが集中する現象が知られているが、それとスペクトルの関係は未だよくわかっていない。

MAXI J1659-152 は、国際宇宙ステーションに設置された全天 X 線監視装置 (MAXI) によって、2010 年 9 月 25 日に発見された BH 候補天体である (Negoro et al. 2010)。その後次々と追観測が行われ、「すざく」衛星では 2010 年 9 月 29 日から 2010 年 10 月 1 日までの間に 3 回観測が行われた。これまでの研究により、この天体の軌道周期は ~ 2.4 時間と、現在発見されている BH 連星中最短であり、伴星は $0.15-0.25M_{\odot}$ の M5 矮星であることなどが示唆されている (E.Kuulkers et al. 2013)。また、発見当初はハード状態であったが、「すざく」衛星での観測時はハード状態からソフト状態へ向かいつつある過渡期であったことがわかっている。

今回、この天体についての「すざく」衛星のデータ解析を行った。この天体は、XIS (CCD 検出器) には極めて明るいため、慎重な前処理が不可欠である。これまでに、我々はパイルアップの処理、テレメトリ欠損などを考慮したデータの選別を行い、スペクトルやライトカーブの取得を行った (Miyazaki et al. 2014)。今回、これらに加え、10-60keV の Low-Frequency QPO (準周期的振動) の周波数が、各観測ごとだけでなく、観測内でも若干の変動を示していることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W103a MAXI による X 線新星 MAXI J1807+132 の発見と X 線・可視光による追観測

志達めぐみ (理化学研究所)、橘優太郎、吉井健敏 (東京工業大学)、根来均 (日本大学)、川室太希 (国立天文台)、岩切渉、中平聡志、牧島一夫 (理化学研究所)、上田佳宏 (京都大学)、河合誠之 (東京工業大学)、芹野素子 (理化学研究所)、Jamie Kennea (ペンシルベニア州立大学)

MAXI J1807+132 は、2017 年 3 月に全天 X 線監視装置 MAXI で発見された X 線トランジェント天体であり、その後 Swift 衛星による追観測が行われた。Swift の各観測で得られた時間平均の X 線スペクトルは、X 線光度が $\sim 10^{37}$ erg s⁻¹ 以上の高光度のブラックホール X 線連星や、 $\sim 10^{35}$ erg s⁻¹ 以下の低光度の中性子星 X 線連星と似た形状を示しており、いずれも 0.1–0.5 keV 程度の低温の熱放射 (黒体放射あるいは降着円盤の多温度黒体放射) と、 $\Gamma \sim 2$ のべき型成分の組み合わせで再現することができた。低温の熱放射成分の温度と放射領域の大きさは、X 線減光にともなって複雑な変化を示した。

さらに、我々は、3 月末の 4 日間に、石垣島天文台 105 cm むりかぶし望遠鏡と明野観測所 50 cm 望遠鏡を用いて、同天体の可視光測光観測を行った。その結果、可視光の強度は、X 線強度の低下にともなって、1 日あたり ~ 0.4 等級ずつ減少していることがわかった。また、3 月 27 日に得られた X 線と可視光のデータを比較したところ、X 線強度に対する可視光強度の比が、典型的な高光度のブラックホール X 線連星に対して ~ 1 桁程度大きいことがわかった。以上の観測結果は、 $\sim 10^{35}$ 程度の低光度の中性子星低質量 X 線連星であるとすれば、自然に説明できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W104a State Transitions of GRS 1739-278 During the 2014 Outburst

Sili Wang, Megumi Shidatsu, Yutaro Tachibana, Taketoshi Yoshii, Nobuyuki Kawai

We report on the X-ray spectral analysis and time evolution of a black-hole binary during its 2014 outburst based on the Swift/XRT and MAXI/GSC observations. This report extends the earlier report by Sudo et al. (W119b, ASJ Meeting Fall 2016) considering a spinning black hole and over the whole outburst period. In the outburst, transitions from the low/hard state to the high/soft state and then back to the low/hard state was seen. In the broad time scale, a transition from the low/hard state to the high/soft state and then back to the low/hard state can be seen. During the high/soft state, the innermost disk temperature mildly decreased, while the innermost radius was constant at $\sim 14.82 \left(\frac{D}{7 \text{ kpc}}\right) \left(\frac{\cos i}{\cos 30^\circ}\right)^{-1/2}$ km, where D is the source distance and i is the inclination of observation. Our analysis shows that the object is less likely to be a Schwarzschild black hole and more likely to be a Kerr black hole. Assuming that the obtained innermost radius represents the innermost stable circular orbit for a Kerr black hole whose spin is 1, we estimated the black hole mass to be $12.0 \pm 0.4 \left(\frac{D}{7 \text{ kpc}}\right) \left(\frac{\cos i}{\cos 30^\circ}\right)^{-1/2} M_\odot$, where the correction for the stress-free inner boundary condition and color hardening factor of 1.7 are taken into account. If the inclination is $20^\circ - 50^\circ$ and the November 2014 soft-to-hard transition occurred at 1% – 4% Eddington luminosity, the fitting of Swift/XRT spectra with a multi-color disk model derives a constraint on the black hole mass to be 9.7 – 17.6 M_\odot corresponding to a distance of 6 – 8.5 kpc. The spectral fitting with a multi-temperature blackbody model for a thin accretion disk around a Kerr black hole (`kerrbb`) also confirms that the mass constraint is an “upper limit”.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W105a スパース推定を用いた V404 Cyg の可視光・X 線ラグ解析

森井幹雄 (統数研), 池田思朗 (統数研), 木邑真理子 (京大), 植村誠 (広大)

V404 Cyg は、2015 年 6 月に 26 年ぶりにアウトバーストを起したトランジェントなブラックホール X 線連星である。2015 年 12 月、この天体は再びアウトバーストを起こし、可視光や X 線など多波長による観測が行われた。木邑ほかは、2015 年 12 月の観測で得られた可視光と X 線 (INTEGRAL) の観測データをベイズ推定の方法 (Tak et al. 2016) で解析し、X 線変動が可視光変動に対して約数 10 秒遅れていたことを示した (ラグが存在する)。そして、この X 線の遅れは降着円盤外側で発生した降着流が円盤内縁部に伝搬するまでの時間に対応すると解釈した (日本天文学会 2017 年春季年会)。

一般に、天文観測で得られる時系列データは観測時刻が等間隔ではない。また、地上観測であれば悪天候のため、宇宙望遠鏡の場合であっても人工衛星の軌道による制限によって、比較的長い欠測期間が生じることがある。さらに、多波長観測の場合、同期観測であることはほとんどない。我々は、木邑らが用いたものと同じデータをスパース推定の方法によって解析することにした。この方法でも上記のような制限がある時系列データに対して解析を行うことができる。具体的には、group LASSO を用いた。可視光と X 線のライトカーブ、それぞれに対する周波数空間の実部と虚部の 4 成分を Grouping するような正則化項を用いてスパース推定 (LASSO) を行うことで、主要な周波数成分をまとめて抽出した。この 4 成分をもとに、周波数成分毎にラグを計算した。この解析により、木邑らが報告したラグをおおよそサポートする結果が得られたが、観測時間帯によって、ラグが顕著に見える時間帯やそうでない時間帯が存在することがわかった。これらの解析結果をもとに物理的な描像を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W106a 銀河系内孤立ブラックホールがX線突発現象を駆動している可能性

松本達矢, 寺木悠人 (旭川高専), 井岡邦仁 (京大基礎物理学研究所)

銀河系内でこれまで発見されてきたブラックホール (BH) のほとんどは、X線新星とよばれる X線突発天体として検出されてきた。この X線新星は、BH を含む連星系において降着円盤の不安定性によって駆動されると考えられている。本公演では、この X線新星が、連星系だけでなく BH 単体の系 (孤立 BH) でも駆動される可能性を提案する。我々は、銀河系内孤立 BH への質量降着率分布を計算し、分子雲中の BH では X線新星を引き起こす円盤不安定性が起こりうることを見出した。見積もられるイベントレートは現在観測されている X線新星のイベントレート (a few event/yr) と矛盾しない。さらに、過去に観測されている天体のうち、追観測の情報などから *IGR J17454-2919*, *XTE J1908-094*, *SAX J1711.6-3808* が孤立 BH 駆動の候補天体として挙げられる。これら、また将来観測される X線新星が実際に孤立 BH 駆動かをどのように確かめるかを X線以外の多波長による追観測に焦点を当てて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W107a NuSTAR 衛星による降着駆動型パルサー 4U 1626–67 の観測 (2)

岩切渉(理研), Katja Pottschmidt(NASA/GSFC), Sebastian Falkner, Jörn Wilms(Erlangen-Nuernberg Univ), Paul B. Hemphill(Massachusetts Institute of Technology), Felix Fürst(ESA/ESAC), 西村治(長野高専), 榎戸輝揚(京都大学)

降着駆動型パルサーは、その硬 X 線スペクトル中にしばしばサイクロトロン共鳴散乱による吸収構造が見られることから分かるように、 $\sim 10^{12}$ G の強磁場中に高温プラズマが存在し、X 線を放射している天体である。このような環境では、プラズマ電子の磁場に垂直な方向のエネルギーはランダウ準位に量子化されている複雑な系になっており、降着円筒内で起こっている現象を解明するには、放射伝播の過程の理論計算と観測から調べる事が重要となる。我々は、現在硬 X 線帯域において最大の感度を持つ米の NuSTAR 衛星を用いて、 ~ 40 keV にサイクロトロン共鳴散乱による吸収線が確認されている、降着駆動型パルサー 4U 1626–67 の観測を行った。2016 年秋季年会においては、自転位相平均スペクトルの解析結果を紹介し、従来用いられていた共鳴吸収線が単純なガウス関数やローレンツ関数のモデルでは再現できない、非対称なプロファイルを持つことを示した。今回はさらに自転位相で分割したスペクトルに対して解析を進め、共鳴プロファイルの自転位相による変化を調査した。その結果、明るい位相では非対称なプロファイルを示し、暗い位相ではプロファイルの中心エネルギーは低い方に移動し、幅は広く、深さは浅くなっていく傾向が確認された。また位相分割スペクトルの連続成分は、従来の経験的なモデルでは再現できなかった。この結果は、降着円筒内でサイクロトロン放射の光子がコンプトン散乱される成分の寄与が無視できないという可能性を示唆している。さらに、パルスプロファイルのモデリングを行い、自転一周期での視線方向と磁場方向のなす角の変化は $5 - 22^\circ$ 程度であると見積もった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W108a 単独中性子星 XDINS の X 線スペクトルにおける keV-X 線超過成分の探索

米山友景, 林田清, 中嶋大, 井上翔太, 松本浩典 (大阪大学)

ROSAT 衛星が発見した 7 つの XDINS (X-ray Dim Isolated Neutron Star) は、電波や X 線などで非熱的な放射がなく、可視光から軟 X 線バンドの熱的放射のみが観測されている単独中性子星である。そのスペクトルは 1 ~ 2 温度の黒体放射 ($kT \sim 30 - 100$ eV) と 0.3 ~ 0.8 keV の吸収線で再現出来ることが知られていた。ところが、我々が最も近傍の XDINS である RX J1856.5-3754 の X 線スペクトルを系統的に解析した結果、1 keV 付近にこのモデルでは説明できない成分 (keV 超過成分) があることを発見した (Yoneyama et al. 2017)。

本研究では、keV 超過成分が XDINS に共通するものであるかを調べることを目標に、XDINS の残り 6 天体について、XMM-Newton 搭載の EPIC-pn のデータを解析した。X 線スペクトルを既知の黒体放射と吸収線のモデルでフィットした結果、全ての天体で $E > 1$ keV のデータがベストフィットモデルを 20%以上上回っていた。これは keV 超過成分の兆候である。それぞれの天体に対して、RX J1856.5-3754 に対して行ったものと同じ検討、すなわちバックグラウンドの不定性やパイルアップの影響を詳しく評価した上で、keV 超過成分の強度とスペクトルの形状を比較する。各天体の周期や振幅もあわせて考え、keV 超過成分の起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W109a X線衛星「すざく」を用いたガンマ線連星 LS5039 のX線パルス探索

松元崇弘 (東大), 榎戸輝揚 (京大), 村上浩章 (東大), 牧島一夫 (理研), 中澤知洋, 馬場彩 (東大)

ガンマ線連星は全天で6つだけ知られている稀有な天体である。いずれも大質量星とコンパクト天体からなる連星で、X線からTeV帯域のガンマ線まで放射する。コンパクト天体の正体が中性子星(NS)と分かっているものは1天体だけで、他の5天体についてはブラックホール(BH)かNSか論争が続いている。

NSとBHを区別するには、放射の周期的パルスの有無を調べるのが良い。そこで我々は、上記5例の正体未知なガンマ線連星のうち、「すざく」により一公転周期を越える連続観測がなされたLS5039に対しX線の周期解析を行った。用いたのは2007年9月9日から15日まで、約500ksにわたり取得された「すざく」公開データである。そのうち、硬X線検出器(HXD)の10–30keVのイベントを用いて2秒から 5×10^5 秒までの周期範囲でフーリエ解析を行ったところ、周期8.96s付近にパルスの兆候を発見した。さらに、より感度のよい Z_m^2 テストという手法を用いたところ、フーリエ解析での結果を再確認することができた。

この結果が正しければ、LS5039のコンパクト天体はBHではなくNSであり、しかもそのパルス周期から、それがマグネターである可能性が浮上する。そうであれば、LS5039はマグネターが連星中に発見された最初の例となり、さらにLS5039のガンマ線放射は、大質量($\sim 23M_\odot$)の光学主星からの星風がマグネターの強い磁場に衝突する結果として発生していると考えられる。

ただしLS5039の光学観測によれば、コンパクト星は3.9日の連星周期で $a_X \sin i \sim 30$ 秒の軌道運動を行う。したがって、それによるパルス到着時間の変調効果を補正しなければ、結果の信頼性は低い。そこで現在、この補正を行った解析を行い、より有意度の高いパルスの検出とともに、連星パラメータの推定を試みている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W110a 中性子星 ULX における光度 = 軌道周期関係

鷹野重之 (九州産業大)

Ultra-Luminous X-ray source (ULX) は星程度の天体のエディントン光度を上回る X 線輝度を示す、銀河核から外れた X 線点源である。ULX の正体については、質量降着する中間質量ブラックホールか、エディントン光度を超える星質量ブラックホールかで議論が続いてきたが、最近になり、少なくとも一部の ULX は中性子星を放射源とすることがわかってきている。一方、系外の連星系の多くはドナーを光学的に同定できないことから、中性子星起源の ULX がどのような連星系なのかを調べることは困難である。そこで、本研究では、光学観測に頼らずに、X 線観測データのみからドナーや連星パラメタに制限を付ける手法を検討する。

本研究では、中性子星 ULX の X 線光度と軌道周期の関係に着目する。星進化モデルを考慮して、ロッシュローブを満たしつつ質量輸送する系で実現すると思われる X 線光度 = 軌道周期関係を理論的に構築する。これと観測量を比較することで、中性子星 ULX のドナーについての情報を推測することができる。この手法をドナーの正体が未知である中性子星 ULX である NGC5907 ULX-1 に適用したところ、ドナーは質量が $4 - 8M_{\odot}$ で、主系列を終えたばかりの星と推定された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W111b 全天X線監視装置 MAXI のデータを用いたX線短時間変動解析の改良

川瀬智史, 根来均 (日本大学), ほか MAXI チーム

ブラックホール候補天体 (BHC) や中性子星連星の X 線強度変動データに対してパワースペクトル解析を行うことで、降着円盤の状態遷移や準周期的振動 (QPO) の様子を探ることができる。50 μ s の時間分解能を持つ MAXI/GSC のデータを用いて、これらの天体の X 線短時間変動解析を行う。MAXI の検出器は他の衛星の検出器と比べ有効面積が小さく、一般的には短時間変動解析に向いていない。しかし MAXI には、太陽角の制限をあまり受けず長期に渡り観測が可能な点と、X 線を集光する鏡を持たないため非常に明るい天体を観測しても検出器の飽和が起こらないという点で、他にはない優位性がある。

GSC は位置同定にコリメータを用いているため、点源に対する有効面積がスキャン中に一定ではない。この有効面積の変化は、三角形の窓関数として光度曲線とパワースペクトルの形状に影響を与える。しかし、Suzuki et al. (2014) によって窓関数の影響を受けたパワースペクトルを正しく評価する方法が構築され、MAXI のデータによる短時間変動解析が BHC の状態の判別に有効であることが示された。

我々はさらにこのパワースペクトル解析を発展させるため、改良を施した。GSC のスキャン時間は、国際宇宙ステーションの軌道運動による回転軸から天体までの角度により 40-200 秒の幅を持つ。このスキャン時間の違いに対応することで、BHC の low/hard 状態でのパワースペクトルで 0.01-1 Hz に現れる折れ曲がりの周波数を精度よく求めることが可能となった。また約 100 mCrab 以下の天体のデータを解析する場合は、三角窓関数の影響で SN 比が低くなる部分を取り除き、天体由来の光子が多い部分だけでパワースペクトルを作成できるようにした。本講演では、改良の詳細と新たな解析方法による Cyg X-1 などのパワースペクト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](#)

W112b 全天X線監視装置 MAXI のアーカイブデータを用いた LMC 領域の解析

下向 怜歩 (東京大学, JAXA 宇宙科学研究所), 海老沢 研, 菅原 康晴, 古庄 多恵 (JAXA 宇宙科学研究所), 中平 聡志 (理化学研究所)

LMC (Large Magellanic Cloud : 大マゼラン雲) 領域には、4つの明るいX線天体 LMC X-1、X-2、X-3、X-4 が存在し、これらはどれも連星系である。X-1 と X-3 はブラックホール連星系、X-2 は磁場の弱い中性子星と低質量の伴星からなる X 線連星系、X-4 は強い磁場を持つ中性子星を含む連星 X 線パルサーで、いずれも伴星から中心天体への質量降着によって強い X 線を放出している。

全天 X 線観測装置 MAXI は、2009 年に国際宇宙ステーション (ISS) に設置された。ISS は約 92 分で地球を一周し、MAXI はそれに合わせてほぼ全天のスカンを行っている。私たちは MAXI データアーカイブの開発を進めており、これによって、長期間にわたる観測データを容易に解析できるようになってきた。本研究では、MAXI に取り付けられた二種類の検出装置、GSC (Gas Slit Camera) および SSC (Solid-state Slit Camera) を用いて、LMC 4 天体の 2009 年 10 月 ~ 2017 年 3 月における 2 - 20keV 帯域 (GSC) および 0.7 - 7 keV 帯域 (SSC) のイメージ、ライトカーブ、エネルギースペクトル変化を詳細に調べた。この期間において、LMC 領域を X 線で継続的にモニターを行ってきたのは MAXI だけである。

本講演では、MAXI の結果と過去の X 線観測の結果の比較から分かってきた LMC X-1, X-2, X-3, X-4 などの定常的に明るい天体に加え、これらブラックホール / 中性子星周辺に突発的に現れた天体を含む LMC 領域における X 線放射機構について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W113b 中性子星への超臨界降着は可能か？

高橋博之 (国立天文台)、嶺重慎 (京都大学)、大須賀健 (国立天文台)

X線連星に代表されるコンパクト星 + 降着円盤系はガス降着によってその活動性を維持しているため、降着率が重要なキーパラメーターとなる。その中でも特に降着率が高い超臨界降着円盤は膨大な重力エネルギーが解放されることから、超高光度 X 線源等の非常に明るい天体現象を説明する理論モデルとして有力である。

では、超臨界降着は実現可能か？大須賀ら ('07) は非相対論的輻射流体シミュレーションを用いることにより、ブラックホールへの超臨界降着が可能であることを示した。

では中心天体が中性子星の場合は超臨界降着は可能か？観測的には中性子星への超臨界降着が実現している事がわかっている (Bachetti '14, Furst '16, Israel '16) が、ブラックホールと異なりエネルギーを吸い込まない中性子星への超臨界降着が可能となる物理的理由はわかっていない。

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を用いて超臨界降着が可能である物理的理由を探った。その結果、円盤内部は光学的に厚いために膨大な輻射エネルギーがあるにも関わらずそれによる輻射力が弱いため、超臨界降着が可能であることがわかった。この膨大なエネルギーはアウトフローとして噴出するため、中性子星表面での降着率はエディントン降着率程度に抑えられる。従ってブラックホールに比べて中性子星からは非常にパワフルなアウトフローが形成されることがわかった。本講演ではこの詳細とブラックホール降着円盤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](#)

W114b 一般相対論的多次元ボルツマン輻射磁気流体コードの開発

朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健 (国立天文台)

降着円盤やジェットなど、ブラックホール周囲のガスダイナミクスや輻射の伝播を正しく計算するためには、一般相対論的多次元輻射磁気流体計算が必要である。降着円盤およびジェットの多次元輻射磁気流体シミュレーションは、大須賀らによって初めて行われ (Ohsuga et al. 2009; Ohsuga & Mineshige 2011)、その後一般相対論版への拡張が行われた (Sadowski et al. 2014, Takahashi et al. 2016)。しかし、これらの研究では、Flux limited diffusion (FLD) 近似や1次モーメント (M1) 法と呼ばれる近似的な手法を用いており、輻射場を厳密に解くことはできていない。特に、光学的に薄い領域での輻射場の扱いに問題があることが知られている。

そこで我々は、ボルツマン方程式に基づいてより厳密に輻射場を解く、一般相対論的多次元輻射磁気流体計算コードを開発した。このコードでは、ブラックホール時空中での光の伝搬はもちろんのこと、FLD 近似や M1 法では正しく解けなかったテスト問題 (例えば光ビームの交差テスト) も正しく解ける。本発表では、上記のブラックホール近傍での光の伝播テスト、光ビームの交差テスト、ガスと光の相互作用のテストなど、いくつかのテスト計算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](#)

W115c ULX と ULS の統合モデル

小川拓未, 嶺重慎 (京都大学), 川島朋尚, 大須賀健 (NAOJ)

近年、超高光度 X 線源 (Ultra-Luminous X-ray source; ULX) と呼ばれる天体が数多く発見されている。この天体は恒星質量ブラックホール ($M_{\text{BH}} \sim 10 M_{\odot}$) のエディントン光度 ($L_{\text{E}} \sim 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$) を超えるほどのエネルギーを X 線で放射しており、そのスペクトルは 10 keV 程度のコンプトン散乱を受けたような特殊な形になっている。一方で、超高光度軟 X 線源 (Ultra-Luminous Supersoft source; ULS) と呼ばれる天体が存在する。この天体もまた ULX と同様に非常に光度が高く、しかし一方でスペクトルが非常にソフト ($\lesssim 0.1 \text{ keV}$) であるという性質を持っている。

これら 2 つの天体に関して、「実はどちらも超臨界降着円盤を見ているもので、見込む角度が違うだけではないのか」という説がある (Gu et al. 2016)。そこで我々は 2 次元の輻射流体計算により、様々な降着率の超臨界降着円盤を計算し、この説を検証する事にした。輻射スペクトルを知るためにはアウトフローの構造を遠方領域まで正確に捉える必要があるため、今回のシミュレーションでは計算領域を $5000 r_{\text{S}}$ まで広げた。さらに、長時間のシミュレーションを行うことで定常状態を実現し、その結果の正当性も確かめた。

結果としては、質量降着率が $\dot{M} \gtrsim 10^3 L_{\text{E}}/c^2$ のときには、face-on から見た時に $100 L_{\text{E}}$ ほどの光度を持った 1keV-10keV のコンプトン散乱を受けた輻射が観測される、つまり ULX として観測されることが分かった。その一方で edge-on から見た時には光度が L_{E} 程度で 0.1keV を下回る黒体放射に近いスペクトルが期待される事が分かった。また、質量降着率が大きいほど ULS として観測される見込み角が広くなることも分かった。これらの結果は ULX と ULS がどちらも超臨界降着円盤を見ているもので、その違いは見込み角であるという説を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W116c カラー超伝導のペアリングと高密度星の熱的進化

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)

中性子星のような高密度星の内部は、クォークの閉じ込めが解けたクォーク物質や核子の超流動状態といった興味深い現象や状態の舞台となっている。このような状態の検証は、地上実験で行うことは困難であり、中性子星の発見から50年となる今日においても未だ解明されていない。

高密度星において、高密度物質でのニュートリノ放射が支配的な冷却機構である。このニュートリノ放射過程は内部の物質の状態によって決定されるため、観測結果と熱的進化計算を比較することで高密度物質の状態に制限をあたえることができる。

$2M_{\odot}$ の質量を持つ高密度星の観測は、星内部で実現する高密度物質に強い制限を与えたが、依然として様々な高密度物質の可能性は否定されていない。その代表例がクォーク物質である。クォーク物質は高密度星の温度-密度領域においては、カラー超伝導状態となることが考えられているが、カラーとフレーバーの自由度があるため、様々なペアリングが考えられる。その代表格が、CFL状態と2SC状態である。このペアリングの違いは、ニュートリノ放射過程に顕著な違いをもたらす。

本研究は、カラー超伝導のペアリングの違いが高密度星の熱的進化に与える影響を調査した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W117c 超大質量星が重力崩壊した後に形成されるBH-トラス系の非軸対称な変形に対する不安定性についての研究

打田晴輝, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所)

近年の観測により、重たい銀河の中心には約 10^6 太陽質量を上回るの超巨大ブラックホールが存在することが分かっている (e.g. Davis et al. 2014)。しかし、このような巨大なBHがどのようにして形成されたのかは分かっておらず、現在の宇宙物理学の大きな問題の一つになっている。この問題を解決できるシナリオとして、 10^5 太陽質量程度の超大質量星 (Super Massive Star; SMS) が宇宙初期に形成され、重力崩壊して同程度の質量を持ったBHが形成され、ガス降着により超巨大BHへ成長するというシナリオが考えられている。このシナリオを検証するにはSMSが宇宙初期に存在したことを確認できれば良いが、現在直接観測には成功していない。

そこで我々はSMSコアの重力崩壊に着目し、重力崩壊に伴い観測できる電磁波や重力波が放出される可能性について調べている。我々の過去の研究により、回転するSMSが重力崩壊を起こすとブラックホールの周りに最大でコアの質量の5%程度がトラスとして残ることが分かった (Uchida et al. 2017)。このような重たいトラスは非軸対称な変形に対し不安定になる可能性があることが分かっている (Papaloizou & Pringle 1984)。もしこのような不安定性が成長すると強い重力波を放出し、宇宙重力波望遠鏡であるLISAで観測できる可能性がある。

そこで、現在我々は過去の研究で得られたBH-トラス系を初期条件として、数値相対論を用いたシミュレーションを実行し、非軸対称な摂動を加えた際の系の不安定性及び放出される重力波の観測可能性について調べている。本発表では研究の進捗を報告し、放出される重力波の観測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](#)

W118a 輻射圧駆動相対論的球対称風

福江 純 (大阪教育大)

相対論的な流れ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、相対論的な領域における性質もよくわ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。先に、相対論的平行平板流における相対論的形式解の導出を行い、相対論的平行平板流の問題に適用した (Fukue 2014, 2015)。さらに、相対論的球対称流における相対論的形式解の導出を行い、相対論的球対称流の問題に適用した (Fukue 2016, 2017)。今回は、重力場を考慮して、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解き、輻射圧で駆動される相対論的球対称風：ブラックホール風の構造を調べた。

主なパラメータは、エディントン比 Γ_* 、系の典型的な光学的厚み τ_* 、無次元化した質量流出率 \dot{m} 、最終速度 β_{out} ($= v_{\text{out}}/c$) などだが、一つ (たとえば \dot{m}) は固有値として定まる。また数値解およびラフな見積もりから、 $\dot{m} = 2(\Gamma_* - 1)\tau_*\beta_*\beta_{\text{out}}^{-2}$ という関係が得られた。さらに風が吹くためには、エディントン比に対して、 $\Gamma_* \gtrsim \sqrt{(1 + \beta_{\text{out}})^3/(1 - \beta_{\text{out}})}$ ぐらいの条件が必要なこともわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W119a 輻射圧駆動降着円盤風における相対論的輻射輸送

竹田奈央、福江 純 (大阪教育大)

相対論的な流れ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、相対論的な領域における性質もよくわ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の導出を行い、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いて、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、速度場を試行的に与え、相対論的輻射輸送方程式を逐次近似で数値的に解き、得られた輻射場のモーメント量を運動方程式に代入し速度場を求め、その速度場から輻射場を再び計算するという、二重の逐次近似で最終的には輻射場と速度場を無不順に解いた。

中心ほど重力が強くなる球対称風と異なり、降着円盤における鉛直方向の重力場は、円盤面で0になる特徴があるため、重力場がないときと比べて大きな違いは見られない。ただ、質量降着率、吹き出す半径、光学的厚み、質量流出率、最終速度など多くのパラメータがあるので (一つは固有値として決まる) いろいろなケース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](#)

W120a 有限平面光源に照らされた運動する層雲の終端速度

土居 優介、福江 純（大阪教育大）

活動銀河中心核などにある降着円盤周辺には、しばしばガス雲や層雲などが存在する。それらのガスは降着円盤の放射場によって加速されるが、外向きの輻射流束によって加速される一方、光行差によって進行方向前方から入射してくる輻射は減速に働く。この輻射抵抗の結果、無限に広がった一様光源による放射場では、ガス粒子の速度には $0.45c$ の終端速度が存在することが知られていた（Icke 1989）。

粒子の場合は前方散乱と後方散乱が対称なトムソン散乱で考えたが、実際のガス雲では、ガス雲内での輻射輸送によって前方散乱と後方散乱が必ずしも対称ではなくなる。そのような有限の光学的厚みを持ったガス雲や層雲では、雲全体による輻射の散乱・吸収や反射や通過など、輻射輸送的な効果を考慮する必要がある。相対論的輻射輸送効果を考えた有限なサイズの層雲では、終端速度は層雲の光学的厚みに依存することが、エディントン近似を用いた解析解（Fukue 2014）および用いない数値解（Masuda and Fukue 2016）によって示された。

今回、一様な光源が無限に広がっておらず、有限のサイズである場合について、運動する層雲における相対論的輻射輸送を、エディントン近似を用いずに数値的に計算した。終端速度は層雲の光学的厚みに依存するが、光学的厚みが小さい領域で、エディントン近似を用いた解析解とは反対の振る舞いをする結果となった。また光学的厚みが大きくなると、無限平面光源の場合と比べて、有限平面光源ではより終端速度が大きくなることがわかった。また無限平面光源の中央に有限サイズの穴が空いている場合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](#)

W121a 多次元効果を考慮したブラックホールの超臨界成長・アウトフロー

竹尾英俊 (京都大学)、稲吉恒平 (コロンビア大学)、大須賀健、高橋博之 (国立天文台)、嶺重慎 (京都大学)

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 7$) における超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_{\odot}$) の存在は、ブラックホールが短時間で急成長したことを示唆するが、その具体的な過程は不明である。こうした急成長には、超臨界降着 (エディントン限界を上回る降着) が不可欠とされる一方、ガス降着に伴う輻射電離加熱により超臨界降着は困難とされてきた。

これまで我々は、多次元効果をキーワードにブラックホールの降着成長を研究してきた。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、降着と輻射のすみ分けが起こり、超臨界成長が可能であること、また、 $M_{\text{BH}} \gtrsim 5 \times 10^5 M_{\odot}$ 程度の大質量ブラックホールでは、電離領域が消滅することを明らかにしてきた (e.g., 17年度春年会における我々の講演, Sugimura *et al.* 2017)。

今回我々は、電離領域が消滅した後に噴出するアウトフローを詳細に解析し、その性質を明らかにした。我々の2次元輻射流体計算によれば、初め赤道方向からのみ流入していた中性ガスが、中性領域から溢れ、輻射源を覆うことで電離領域が消滅した。しかし、電離領域消滅後も、回転軸付近では輻射が強く、光子がガスに運動量を与えることでアウトフローが噴出した。アウトフローは吸収に対して光学的に厚いため中性であり、さらに 8000 K という、電離ガスよりも低い温度を持つことが判明した。またアウトフローによる質量損失率は、降着率の1割にも達することが明らかになった。この中性アウトフローは、ガスに深く埋もれたブラックホールの新しい観測的特徴となることが期待される。本講演では、この中性アウトフローの性質について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W122a 超臨界降着円盤から吹き出すクランピーアウトフローの3次元輻射流体シミュレーション

小林弘（総合研究大学院大学）、大須賀健（国立天文台/総合研究大学院大学）、高橋博之、朝比奈雄太、川島朋尚（国立天文台）、嶺重慎（京都大学）

ブラックホール周囲の超臨界降着円盤からは、輻射圧によって駆動された強力なアウトフローが吹き出す。このアウトフローは、輻射場中のレイリー・テイラー不安定によって分裂し、クランピーな構造が形成されることが竹内らのシミュレーションによって示唆されている (Takeuchi et al. 2013)。このクランピーな構造は光学的厚みが1程度であり、超光度 X 線源が示す時間変動の起源として注目されている。しかしながら、竹内らのシミュレーションでは2次元軸対称を仮定している。よって、より現実的にアウトフローの構造やダイナミクスを解き明かすためには、空間3次元の輻射流体シミュレーションが必要である。

そこで我々は、超臨界円盤から吹き出すアウトフローの3次元輻射流体シミュレーションを行った。その結果、アウトフローは小さなシート状に分裂しながら、回転軸から主に2070度の方向へ噴出することがわかった。分裂片の幾何学的厚みはシュヴァルツシルト半径の数十倍程度で、光学的厚みは数程度である。また、この結果が初期に与える揺らぎの波長にほぼ依存しないことも確かめた。我々のシミュレーションは、2次元軸対称シミュレーションでは知ることのできなかつた、クランピーアウトフローの3次元構造を解明し、クランピーアウトフローが超光度 X 線源の時間変動を生み出す有力なモデルであることを示したのである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W123a 銀河系中心大質量ブラックホール SgrA* の 350 GHz 帯短期強度変動

三好真、朝木義晴 (国立天文台)、坪井昌人、上原顕太 (宇宙研)、加藤成晃、松元亮治 (千葉大学)、岡朋治、岩田悠平 (慶應大)、高橋真聡 (愛教大)

ALMA 観測データから、銀河系中心大質量ブラックホール SgrA* のサブミリ波帯における強度変化を調査している。SgrA* では X 線、赤外線、電波にわたる観測から準周期的強度変動の報告がある。信憑性については議論が多いが、ブラックホール降着円盤振動に起因するならば、ブラックホールの質量とスピンを推定できる。近赤外観測から SgrA* の質量に関しては正確な計測が実現している一方、スピンの測定報告は少ない。

SgrA* の電波放射は常時観測される。ミリ波電波 (43GHz 帯) の観測データを解析し、56, 32, 22, 17 分の 4 つの周期的強度変動を報告、円盤振動を解釈して質量 420 万太陽質量、スピン 0.44 を報告した (2011 年秋年会 S39a, S40a, Kato 他 2010MNRAS.403L.74K, Miyoshi 他 2011PASJ63.1093M)。しかし、各周期成分は全強度の 2% 以下であり、43GHz 帯では核周プラズマの散乱の影響下にあった。

SgrA* はサブミリ波帯では数 Jy と、銀河中心域で最も明るい電波源となる。高感度の ALMA によれば、短時間での強度変動を高い信頼度で検出できるはずだ。ALMA、cy-3 におけるデータ (Dust Cores around SgrA*, 2015.1.01080.S, PI: M.Tsuboi, Co-I: M. Miyoshi, A. Miyazaki, K. Uehara, Y. Kitamura, S. Ishikawa) の解析を行った結果を報告する。仮に数分程度での大きな強度変化があれば、SgrA* の質量から考えて、降着円盤の回転運動・強重力場による効果ではその説明は困難になる。他の物理的メカニズムによる変動、降着円盤上における爆発的現象を想定するほかない。常に高頻度爆発がある場合、現在・近未来の VLBI の「時間」分解能では SgrA* のブラックホール近傍の撮像は不可能となり、スペース VLBI 等での新たな観測装置を期待することとなる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W124a デカメータ電波パルス観測に基づく我が銀河系中心の巨大バイナリーブラックホールの発見

大家 寛(東北大学)

1. 序 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は Kerr ブラックホールのスピン周期で、また観測される周期の規則変動として現れるドップラー効果から BH バイナリーの場合の軌道運動速度が判明し、スピン周期と合わせブラックホールの質量、半径、および回転パラメータを決定することが可能である。今回、東北大学・長距離基線デカメータ電波干渉計により 2016 年 6 月 5 日から 30 日にわたり銀河中心部の直接観測を実施し他方、2016 年 12 月 5 日から 28 日および 1 月 12 日から 2 月 20 日に至る銀河中心の観測されない期間の観測に基づきデータ解析過程で持ち込む干渉計のフリンジ変調・パルスの問題が除去され、ブラック・ホールバイナリー の存在を結論するに至った。2. パルス周期探索のための FFT 解析 干渉計からの出力データは方位。検出用テンプレート・フリンジと相関を取ったのち周期 10 から 8200sec の間の FFT 解析にて背景雑音の 0.1 3. シミュレーション結果との対比 FFT 解析結果から対応する物理像を再現する手法として必要パラメータ を掃引・検索して構築したシミュレーション関数の FFT 解析と観測データに対する FFT 解析結果との一致性を検証する方法をとった。BH バイナリー を作る 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 及び 19 ± 1 4 . 結論 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、得られたパラメータに Kepler 法則を適用すると 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 ± 0.5 および 1.5 ± 0.4 となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W125a 位置天文衛星 Gaia で発見できるブラックホールの質量分布

山口正輝 (東京大学)、川中宣太 (京都大学)

位置天文観測衛星 Gaia によって発見できるブラックホール (BH) 連星の数を推定し、その BH の質量分布を調べた。この銀河系には 10^{8-9} 個の BH が存在すると言われているが、我々が知る BH の数は 60 個程度である。さらに質量を制限できているのはこのうち 10 個程度である。多くの BH を発見しその質量を推定できれば、超新星爆発を通じた BH 形成の謎を解く手がかりとなる。現在観測を続けている位置天文衛星 Gaia は、BH の探査及びその質量推定に適した観測仕様を持つ。

星形成率、初期質量関数 (IMF)、連星質量比分布、そして連星進化過程を仮定し、銀河系内の BH 連星の数を推定したところ、 3×10^5 程度となった。このうち、Gaia で発見できる BH 連星は 1000 個程度と推定された。これらの BH の質量分布を調べたところ、ほぼ単一べき分布を示すことがわかった。これは、IMF と質量比分布、そして主星の主系列時質量と BH 質量の関係則を反映していると考えられる。このことは、Gaia で発見される BH の質量分布から主系列時質量と BH 質量の関係を推定できることを意味し、BH 形成の物理を解明できると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W126a 中性子星の配置による軟X偏光に対する効果

矢田部彰宏, 山田章一 (早稲田大学)

X線領域での中性子星の観測では光度曲線やスペクトルなどが観測されている。それぞれの観測量が得られるたびに中性子星に対する理解が大きく進んできた。観測技術の進歩により、近い将来に軟X線領域での中性子星の偏光観測が可能になる。実際、2020年の軟X線偏光の観測衛星IXPEの打ち上げをはじめとして、複数の軟X線領域での偏光観測衛星が計画中である。偏光という今まではほとんど得られていなかった観測量を利用することで中性子星に対する理解が一層進むと考えられる。

軟X線で観測される中性子星としては、強磁場中性子星のマグネターがある。マグネターはその表面からの熱的放射が軟X線の領域で観測されていて、その表面における放射は偏光していると考えられている。これは強い磁場のもとでの散乱断面積が偏光ごとに異なるためである。また、表面からの放射は磁気圏において伝播する過程でも偏光の向きを変える。これは強い磁場による量子論的な効果で真空の誘電的な性質が変わってしまうことから起こる。本発表ではこれらに基づき、回転軸と視線方向がなす見込み角などの中性子星の配置に関連するパラメータを様々な値にふり、偏光の観測量である偏光角と偏光度を計算することで議論する。特にマグネターのように強い磁場が双極子磁場の形状をもつときには、中性子星の自転の位相に関して、位相ごとの偏光角と位相の平均をとった偏光度が中性子星の配置によって異なることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W127a マグネターコアの磁場構造

藤澤幸太郎 (早稲田大学)

マグネターは強力な磁場を持っている中性子星の一種であると考えられている。その双極子磁場の強さは自転周期とその変化率から磁気双極子放射を仮定することでみつもられ、その値は典型的には星の表面で 10^{14}G から 10^{15}G 程度である。マグネターはこの強力な磁気エネルギーを解放することで放射している天体であると考えられているため、マグネターの磁場は時間とともに減衰していくことになる。実際に観測されているマグネターの双極子磁場の強さと、自転周期とその時間変化からみつもられる特性年齢には負の相関が見られ、マグネターの磁場は時間とともに減衰しているといえる。特に SGR 0418+5729 などの双極子磁場の弱いマグネターは、磁場が減衰した老齢なマグネターであると考えられている。

マグネターの年齢を t 、双極子磁場の強さを B として $dB/dt \sim -B^{\alpha+1}$ というような現象論的な磁場減衰モデルを考えると、 $\alpha \sim 1.75$ 辺りのモデルがマグネターの磁場減衰の観測を説明できることが知られている。マグネターの磁場が星内部の陽子、電子などの多種の荷電粒子によって担われているとすると、 $\alpha = 1$ の減衰はクラストのホール効果、 $\alpha = 2$ の減衰はコアでの両極性拡散に対応しており、マグネター内部の磁場を考えるためには多流体の効果が重要であることが示唆されている。そこで本研究では、これらの多粒子による多流体の影響を考慮してマグネターのコア磁場・クラスト磁場の構造を計算した。その結果、コア磁場の構造はクラスト磁場との境界条件に大きな影響を受け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](#)

W128a 超臨界降着流のスペクトルの振る舞いと硬X線の起源

北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (国立天文台), 川島朋尚 (国立天文台)

非常に高いX線光度 ($L_X \gtrsim 10^{39}$ erg/s) で輝く超高光度X線源 (ULX) と呼ばれる天体がある (Makishima+2000)。その正体は恒星質量ブラックホール ($M_{\text{BH}} \sim 10M_{\odot}$) への超臨界降着か、中間質量ブラックホール ($10^2M_{\odot} \lesssim M_{\text{BH}} \lesssim 10^3M_{\odot}$) への亜臨界降着かが論争になっている。我々は前者の立場に立ち、超エディントン光度を持つ天体の周りでは、輻射圧が卓越するためにアウトフローが生じ、コンプトン散乱を通してX線スペクトルに大きな影響を与えることなどを明らかにしてきた (Kawashima+2012、2017年春季年会)。

しかし、Kawashima+2012によるモンテカルロ放射輸送計算では光子数が十分でないため、硬X線領域を詳細に調べることができていなかった。そこで、超臨界降着流の正確な硬X線スペクトル特性の解明に重点を置いて、精度をあげたスペクトル計算を行った。硬X線スペクトル形成の過程は単純な逆コンプトン散乱では説明できないこと、すなわち軟X線 ($\sim 1\text{keV}$) として発生した種光子が、一旦 10^9K の加熱領域で大きく加熱された後、ファンネル内でやや低温の電子で冷却されること、またバルクコンプトンも最終的に効いていることがわかった。その結果、硬X線領域でWien分布からの超過成分を確認し、それが光子指数 $\alpha \sim 3$ のべきをもつこともわかった。これはULXの観測 ($\alpha = 3.1_{-1.2}^{+0.3}$) を再現する (Walton+2015)。

本講演では、超臨界降着流におけるスペクトルの硬X線の起源に関してメインに議論し、併せてブラックホール質量や質量降着率、見込み角等の依存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](#)

W129a 観測的可視化のための一般相対論的輻射輸送コードの開発

川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (国立天文台/総研大)

ブラックホール周囲でのガスダイナミクスや輻射スペクトルに関する一般相対論的効果は長年にわたって議論されてきた。例えば磁力線を介してブラックホールから回転エネルギーを抽出する Blandford-Znajek メカニズムは相対論的ジェット駆動メカニズムの最有力候補であり、一般相対論的磁気流体力学に基づく理論およびシミュレーション研究が精力的に行われている。そのような理論・シミュレーション研究に基づく降着流・噴出流モデルが観測と無矛盾であるかを検証するためには、一般相対論輻射輸送計算により輻射スペクトルやイメージングを明らかにして観測データと直接比較することが必要不可欠である。

そこで我々は、モンテカルロ法に基づく一般相対論的輻射輸送コードを開発した。本コードでは、ブラックホール近傍の歪んだ時空中での光子の伝搬はもちろんのこと、降着円盤やジェット、円盤上空のコロナにおいて重要な輻射過程であるシンクロトロン放射、制動放射、コンプトン散乱過程を近似を用いることなく正しく扱うことができる。これにより、電波から X 線領域にわたる精緻な輻射スペクトルを計算し、観測と理論の直接比較が可能となる。本発表では様々なテスト計算結果や、簡単化した流体モデルに本コードを適用して得られた輻射スペクトル計算結果を紹介すると共に、今後の展望について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W130a 一般相対論的輻射磁気流体計算による中性子星への超臨界降着とアウトフロー形成機構

高橋博之、大須賀健 (国立天文台)

超高光度 X 線源 (Ultra Luminous X-ray sources, 以下 ULXs) は光度が $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ を超える非常に明るいコンパクト天体である。この ULXs の起源が恒星質量ブラックホール+超臨界降着か、中間質量ブラックホール+sub Eddington 降着であるかは現在も尚論争が続いている。その一方で、Bachetti ら ('14) は ULXs の一つである M82 X-2 から X 線パルスが放射されていることを発見した。その後他の 2 つの天体からも同様の X 線パルスが発見された。これは、これらの ULXs の起源は超臨界降着を伴う中性子星であり、降着のダイナミクスに影響するほど十分に強い磁場を持つことを示している。

中性子星への超臨界降着のダイナミクスはほとんどわかっていないが、我々は前回の年会において、中性子星への超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションの結果について発表した (高橋'17)。前回の発表では特に降着円盤と中性子星の相互作用に着目し、強磁場を持つ中性子星に降着円盤が降着すると、その角運動量が中心天体へと輸送されて中性子星の回転速度が上がることで、それによる中性子星の回転速度の時間変化は観測をある程度説明出来ることを示した。

そこで本講演ではより大局的な構造に着目し、アウトフローの形成機構について調べた結果について報告する。アウトフローは超臨界降着円盤から輻射によって駆動される他、磁気リコネクションによっても形成されることがわかった。本講演ではこのアウトフロー形成のメカニズムと、中性子星表面に形成される降着柱の構造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](#)

W131a ブラックホール降着円盤からの二温度ジェット伝搬計算

大村匠, 町田真美 (九州大), 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)

宇宙ジェットは、X線連星など恒星スケールの大きさの天体から活動銀河中心核までの天体で観測される普遍的な現象である。これまでは、ジェットの軸か縁のいずれかが輝くと考えられていたが、M87銀河の電波観測ではジェットの軸と縁の双方が輝く spine-sheath 構造が見られる事が指摘されている (Kovalev et al.2007)。ジェットの形成は、中心天体回りの降着円盤とそれを貫く磁場、中心天体の回転などが重要な役割を果たすと考えられている。近年、観測量と数値計算結果を直接比較するために、ジェットを含む降着円盤の数値計算結果を用いたスペクトル計算が多数行われている (Drappeau et al.2013)。しかし、これらの数値計算は、一流体プラズマの取り扱いのため、イオン温度を用いて輻射スペクトルを計算している。しかし、輻射を正確に計算するには電子温度の分布を知る必要がある。また、ジェットはX線スペクトルがハード状態で観測される事が多い。ハード状態では、高温低密度となることから、電子とイオンの温度が分離する二温度状態になると考えられている (Narayan & Yi 1995 Esin et al. 1996)。つまり、ジェットも二温度プラズマで構成されている可能性が高い。

今回、我々は一流体二温度 MHD コードを開発し、ジェット伝搬と構造の時間進化を調べた。数値計算は2次元軸対称を仮定し、ジェット根本からエネルギーを注入している。電子と陽子のエネルギー交換はクーロンカップリングを、輻射冷却は熱制動放射を仮定している。その結果、電子はジェットの軸と縁で高温になることが確認できた。また、本発表では、更に輻射冷却機構としてシンクロトロン放射を考慮した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](#)

W132a 超臨界降着流における円盤コロナモデル

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 型銀河のような天体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円盤が考えられている。これらの天体の X 線スペクトルをフィッティングする際は、系内 X 線連星など他のブラックホール天体についてよく行われるのと同様、降着円盤からの熱的放射成分とその降着円盤を取り囲む高温プラズマ (コロナ) 中の電子によって熱的光子が逆コンプトン散乱されてできる成分とが仮定されるが、その結果得られるコロナは、亜臨界降着円盤を持つ天体に比べて光学的に厚く ($\tau \gtrsim 3$)、温度は 1 桁以上低く ($T \lesssim 10$ keV) なることが知られており、その物理的な理由は明らかになっていない。我々はこのような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によってコロナが円盤上空に供給されているという予想を立て、そのようなコロナが観測的な特徴を説明できるか考察を行った。このとき、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、コロナの性質をブラックホール質量や降着率などの関数で表現できる簡単なモデルを構築した。その結果、コロナの性質はエディントン比のみに弱く依存すること、その典型的な光学的厚みは 1 – 10 程度で温度は 1 – 10 keV 程度になること、X 線スペクトルの形状は超高光度 X 線源の観測的な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 型銀河など他の超臨界降着円盤にも適用可能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](#)

W133a 光学的に薄いシンクロトロン放射冷却を考慮した磁気リコネクション過程

竹重聡史（京都大学大学院理学研究科附属天文台）、高橋博之（国立天文台）、柴田一成（京都大学大学院理学研究科附属天文台）

我々の宇宙では磁気エネルギーの解放によって駆動される様々な爆発現象が観測される。これらの速いエネルギー解放過程を説明する上で重要と考えられる磁気リコネクション過程は数値計算を用いて精力的に研究されてきた。近年の数値計算技術の恩恵をうけて、抵抗性相対論磁気流体 (RRMHD) 数値計算を行うことが可能となり、高エネルギー天文現象に伴う相対論的な磁気リコネクション過程が研究されている。中性子星大気やブラックホールの降着円盤のコロナなどの強磁場中のプラズマでは、相対論的な電子から放射されるシンクロトロン放射冷却が重要となることが示唆される。そこで我々の研究では、放射冷却を考慮した RRMHD 数値計算を行うことで、古典的なペチェック型リコネクション過程に与える影響を調べた。本研究では放射冷却を考慮することで、リコネクションのアウトフローが冷却によって圧縮され開口角が小さくなること、またリコネクション率がわずかに上昇することを明らかにした。これに加えて、MHD 衝撃波が放射冷却によってどのように影響を受けるかについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W134a ブラックホールの自転と2成分プラズマ流による外向きの電磁エネルギー流の生成と消滅

小島 康史 (広島大)

活動銀河核のジェットへのエネルギー輸送機構として、中心ブラックホールの回転エネルギーの電磁的抽出過程 (Blandford-Znajek 過程) が提唱されて 40 年になる。数値シミュレーションを含め、これまで国内外の多くの研究者により研究がなされてきたが、外向きの電磁的エネルギーの流れ (ポインティングフラックス) がどこで、どのように生成されるかは未解決である。理想 MHD 近似が成立つとすると、起電力ポテンシャル (または等価である磁力線の回転速度) がある条件を満たす場合にエネルギー流はブラックホールの地平面から外向きであることという共通の理解があるが、その起源の場所、機構と大きさが問題である。地平面は受動的境界 (地平面外側で起こる現象が最終的にその条件に反映する場所) であり、数学的な解を得るのにそこでの条件を用いても良いが、何がそれを決めるのか、何らかの機構が内在しているかを調べることは重要である。

以前の研究 [2016 年春季年会 (W109) や論文 (MNRAS, 454(2015)3902) など]、電荷が正負からなる二成分のプラズマ流体の流れとそれを源とした無矛盾な電磁場構造を求める研究を紹介した。自転がない球対称なブラックホールに動経的な形状磁場がある場合、球対称な中性の流れが実現するが、そこにブラックホールの微小な自転が付け加わる場合、それらの電磁場とプラズマ流の構造が変更を受け、電磁場のエネルギー流が生成されるかを WKB 解析で調べたものである。その解析に一部の誤りがあり不完全であり、再度、より詳細に検討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 ブラックホール回転エネルギーのフォースフリー磁場による引抜きの数値計算

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放出される相対論的ジェットやガンマ線バーストのエネルギー供給源のひとつとして、ブラックホールの回転エネルギーが考えられる。それらの天体現象において、ブラックホール回転エネルギーを引き抜くため媒体のひとつとして磁場がとえられる。その具体的なモデルとしてブランドフォード・ナエク機構は有名である。しかし、ブラックホール地平面では物質、エネルギー、情報はすべてブラックホールの外側から内側にしか移動・伝播できないという地平面での因果律にブラックホールのエネルギーを引き抜くというのは反するように思える。一方、ペンローズ過程では相対論的な分裂により負のエネルギーに落ち込んだ粒子をブラックホールに落とし込むことにより因果律的にブラックホールの回転エネルギーを引き抜く。電磁場の場合では負のエネルギー密度を考えられるが、スカラー量ではないのでその符号は座標系に依存し、負の電磁場エネルギーをブラックホールに落とし込むということはできない (Toma & Takahara 2016)。

われわれはブランドフォード・ナエク機構におけるブラックホールからの回転エネルギーの引き抜きを因果的に理解するために、フォースフリー電磁場の時間発展を計算する1次元コード (FFMD-1D) の開発を行なった。ここで、カーシールド座標を用いたので、地平面での時間の凍結がなく地平面での電磁場の挙動を観察することができる。まず、ブラックホールの回転パラメーターが1よりも十分小さい場合について、ブランドフォード・ナエクの単磁荷解が定常解となっていることをFFMD-1Dで確認した。続いて、定常とはならない初期条件のもとでの電磁場の時間発展を計算した。十分時間が経つと、それらはブランドフォード・ナエク解に収束する。定常状態に達するまでの時間発展を詳しく調べることによりブランドフォード・ナエク解の因果的な理解を試みる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W136a W50 東端の Faraday Tomography による磁場構造解析

酒見はる香, 町田真美 (九州大学), 赤堀卓也, 中西裕之 (鹿児島大学), 赤松弘規 (SRON), 藏原昂平 (鹿児島大学), Jamie Farnes (Radboud University)

宇宙ジェット形成・収束において磁場は重要な役割を果たしていると考えられている。しかし、未だジェット内部の磁場構造は観測的に明らかにされていない点が多い。ジェットの磁場構造が明らかになれば、ジェット自体の性質だけでなく、ジェットの衝撃波による分子雲の形成など、ジェットに付随する物理現象についての理解も深まるであろう。そこで我々は、ジェット天体の中でも比較的距離が近く、構造が分解できる X 線連星 SS433 に注目し、偏波解析を行った。特に、これまでも多く研究されてきたジェット噴出領域ではなく、ジェット先端があると考えられている星雲 W50 の東端領域に着目した。

従来の解析では、観測波長の 2 乗と偏波角を線形補間して回転量度を見積もり、磁場の向きの決定などを行ってきた。しかし、Australia Telescope Compact Array の 1.4 – 3 GHz のデータを用いた W50 東端の解析の中で、線形補間できない変動を示す領域が存在することを確認した (Sakemi et al. submitted)。そこで、観測した偏波強度をフーリエ変換し、Faraday depth (磁場と電子数密度の積を視線方向に積分した値、FD) を見積もり、構造を分解する Faraday Tomography を実行した。その結果、ジェット先端に溜まった物質に後のジェット物質が衝突し形成される衝撃波面 (Terminal shock) 付近で、視線方向上、あるいはビーム内に FD が異なる構造が少なくとも 3 つあることを示した。また、各構造の FD から、Terminal shock がジェット軸に対称な構造を持っていることを確認した。今回の解析結果から、これらの構造は、ジェット本体、前景、ジェット先端と星間物質との間に形成される Bow shock のいずれかに相当するだろうと考察した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W137a 連星中性子星合体からの重力波で探る高密度状態方程式

木内建太（京都大学）

2015年9月14日に重力波が初観測された。続いて、2015年12月26日、2017年1月4日にも重力波検出に成功したという報告がなされ、いよいよ重力波天文学が幕を開けた。先の重力波の波源は連星ブラックホールの合体であったが、連星中性子星合体も依然有望な重力波源である。Advanced LIGOに加え、Advanced VIRGO, KAGRAの本格観測も間近である。連星中性子星合体からの重力波がもたらす情報の一つに高密度状態方程式が挙げられる。真の状態方程式は未だに理解されていないが、中性子星内部の高密度状態は地上実験で実現不可能なため、高密度下での強い相互作用が完全には理解されていないのが主たる理由である。また、天文学的な観点からは高密度状態方程式の不定性は、連星中性子星合体に付随する高エネルギー天体現象のモデリングに系統誤差をもたらすと言える。

仮に重力波の観測から高密度状態方程式が決定されれば、原子核物理学のみならず中性子星が関連する高エネルギー天体物理学にも大きな進展をもたらす。そこで本講演では重力波の将来観測に備え、連星中性子星が合体に至るまでに放出する重力波の精緻な理論波形の導出について発表する。数値相対論シミュレーションを元に波形テンプレートの作成について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W138a 連星中性子星の質量分布に基づく合体時放出物質の平均的性質

関口雄一郎, 木内建太 (京大基研), 久徳浩太郎 (KEK), 柴田大 (京大基研), 谷口敬介 (琉球大)

r 過程元素合成の起源天体として、2010 年頃までは超新星爆発が有力視されていたが、近年の理論研究により、観測と合致するような元素合成パターンを達成するのが極めて難しいことが明らかとなり、超新星爆発が r 過程元素合成の起源天体である可能性に多くの疑問が投げかけられている。代わって注目を集めているのが、中性子星-中性子星/ブラックホール連星の合体時に放出される中性子過剰の物質中での r 過程元素合成である。

これに対し、これまで我々は、連星中性子星合体の一般相対論的なニュートリノ輻射流体シミュレーションを行い、合体時に放出されるエジェクタの熱力学特性を明らかにするとともに、シミュレーションによって得られた結果を流体背景場として元素合成計算を行い、連星中性子星合体での r 過程元素合成が金やウランなどの r 過程元素の起源である可能性が高いことを示してきた。

本発表では、最近質量が決定された、これまで知られていたよりも非等質量度の大きい連星パルサー J0453+1559 を考慮し、非等質量度の大きい連星中性子星を初期条件とした合体の一般相対論的なニュートリノ輻射流体シミュレーションの結果を報告するとともに、これまでのシミュレーション結果を用いて、現在観測されている連星中性子星の質量分布に基づく、連星中性子星合体時の放出物質の平均的性質を求め、 r 過程元素合成起源としての可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W139a 中性子星連星合体後の粘性による質量放出

藤林翔, 木内建太, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所), 関口雄一郎 (東邦大学)

連星中性子星は現在稼働中の地上重力波干渉計の有望な重力波源である。それと同時に、合体からの質量放出に伴う電磁波放出が期待されている。近年は連星の合体後、即時に力学的に放出される物質の他に、合体後の中心天体+降着円盤系からのニュートリノによる加熱や、磁気乱流起源の粘性加熱によって放出される物質の質量や、化学的性質が精力的に調べられている。我々の目的は、連星合体から合体後の系までの一連の期間において、連星中性子星合体の質量放出の描像を得ることである。そのため我々は、粘性を考慮した数値相対論によるニュートリノ輻射流体コードを開発し、それを用いたシミュレーションにより、連星中性子星合体後の大質量中性子星+降着円盤からの質量放出を調べた。シミュレーションの結果、ニュートリノによる加熱に加え、粘性加熱の影響によって合体後の質量放出がより激しく起こることが確かめられた。質量放出率は $10^{-3} M_{\odot}/s$ 程度となり、これは連星の合体後、粘性による質量放出が10秒程度続けば、合体後の力学的な質量放出を凌駕し得ることを示している。本講演ではその概略と、放出物質中での元素合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](#)

W140a 初代星起源コンパクト連星からの重力波とその特徴

衣川智弥 (東大宇宙線研)

2015年9月14日、アメリカの重力波観測器 advanced LIGO は世界で初めて重力波 (GW150914) の直接観測に成功した。日本でも重力波観測器 KAGRA がテスト稼働を終え、本格的な観測に向け動き出している。今はまさに重力波天文学の黎明期に位置している。重力波観測のメインターゲットはコンパクト連星の合体である。コンパクト連星は重力波放出により軌道が縮まり、いずれ合体する。重力波によるエネルギー放出は弱いため、合体までのタイムスケールは数億年から宇宙年齢以上と非常に長い。したがって、宇宙初期にできたコンパクト連星でも現在で合体するものがあるはずである。そこで我々は宇宙最初の星である初代星に注目し、重力波源として研究を行ってきた。その結果、初代星起源の連星は典型的に約 30 太陽質量程度の連星ブラックホールになることを 2014 年に示した。そして、LIGO による重力波の初検出はまさに約 30 太陽質量の重い連星ブラックホール (BH) の合体によるものであった。これにより、宇宙には従来考えられていなかった重い連星 BH が多く存在することが示唆されており、それらは宇宙初期にできたものかもしれない。また、初代星は連星 BH 以外にも重い連星 NSBH になり、LIGO で観測されうることも我々は示した。本講演ではこれら初代星起源のコンパクト連星の特徴について講演する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W141a r-process 元素の不透明度と連星中性子星合体からの可視光・赤外線放射

田中 雅臣 (国立天文台), 加藤 太治 (核融合科学研究所), Gediminas Gaigalas (Vilnius University), 和南城 伸也 (上智大学), 関口 雄一郎 (東邦大学), 中村 信行 (電気通信大学), 田沼 肇 (首都大学東京), 坂上 裕之, 村上 泉 (核融合科学研究所)

中性子星が合体を起こすと強い重力波放射が起きるとともに、 $10^{-3} - 10^{-2}$ 太陽質量程度の物質が宇宙空間に放出される。この放出物質中では r-process 元素合成が起きるため、連星中性子星合体は宇宙における r-process 元素の起源としても期待されている。さらに、r-process 元素が放射性崩壊を起こすことで電磁波が放射されると予想されている。この電磁波放射は kilonova もしくは macronova と呼ばれており、重力波の電磁波対応天体として可視光・赤外線観測のターゲットとなっている。

連星中性子星合体からの可視光・赤外線放射の性質を正確に予言するためには、光をせき止める r-process 元素の束縛遷移の不透明度の理解が必要不可欠である。しかし、これまでは不透明度を計算するために必要な原子束縛遷移のデータが不十分であったため、連星中性子星合体からの電磁波放射の性質には大きな不定性があった。

我々は、r-process 元素である Se ($Z = 34$)、Ru ($Z = 44$)、Te ($Z = 52$)、Nd ($Z = 60$)、Er ($Z = 68$) の原子構造計算を新たに行い、これらの元素の不透明度を計算した。その結果を用いて連星中性子星合体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結果、(1) 放出物質にランタノイド元素が含まれる場合の不透明度はこれまで知られていた通り $10 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 程度であるのに対し、(2) 放出物質にランタノイド元素が含まれない場合は不透明度が $0.5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 程度となることが明らかになった。これらの結果をもとに kilonova/macronova の観測的な性質を示し、電磁波追観測の戦略を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W142a 連星中性子星合体における shock breakout に伴う中性子の放出と電磁波放射

石井彩子 (東京大学), 田中雅臣 (国立天文台), 茂山俊和 (東京大学)

重力波を放出する天体の有力な候補として、連星中性子星合体が考えられている。中性子星同士が合体する際には中性子過剰な不安定原子核が周囲にばらまかれ、それらの崩壊によって電磁波が放射されると考えられている。先行研究から、中性子星合体時に形成された衝撃波が表面付近で加速され shock breakout を起こすことが指摘されている (K. Kyutoku et al. 2014)。衝撃波加熱によって高温になった領域では、原子核はばらばらになり自由中性子が発生する。その後の断熱冷却が速い最先端部では核融合反応が進まず、自由中性子が放出される可能性が指摘されている (B. D. Metzger et al. 2015)。自由中性子が β 崩壊するときの電磁波は光学対応天体探索にとって重要であると考えられる。そこで、合体時にどの程度の自由中性子が放出されるかを見積もるために、shock breakout の流体シミュレーションを行う必要がある。

本研究では、相対論的ラグランジュ流体計算コードを開発し、連星中性子星合体からの電磁波放射計算の第一ステップとして中性子星合体時における shock breakout の計算を行った。一次元流体場を仮定し、中性子星表面付近の領域に着目して計算を行い、衝撃波の加速とその後の進化を追った。さらに、衝撃波によって加熱された領域での温度や密度の情報から自由中性子の放出量を見積もり、元素合成の計算を行った結果について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](#)

W143a 中性子星連星の合体は宇宙線中の超重元素の起源か？

小宮悠, 茂山俊和 (東京大学)

中性子星連星の合体は、 r プロセス元素の有力な起源天体と考えられている。本研究では、宇宙線源としての中性子星合体に注目した。宇宙線中の r プロセス元素成分に関しては、中性子星合体の際に合成され、そこで加速もされた粒子が大きく寄与している可能性がある。我々は、中性子星合体から来る宇宙線の、エネルギー損失、衝突破碎を考慮した拡散モデルを構築し、宇宙線の強度を推定した。前回の年会では、この拡散モデルを用いた計算結果を紹介し、中性子星合体が宇宙線中の r プロセス元素成分の主要な起源たりうることを示した。またその強度には、数百万年のタイムスケールで大きな時間変動が見られることが予測される。

宇宙線中の鉄族以上の重元素成分（超重元素宇宙線）の観測には、衛星や気球を用いる方法と、隕石中に残された宇宙線による傷跡を測る方法とがある。このうち隕石を用いた観測では、隕石が宇宙線にさらされていた期間全体の情報、つまり過去の宇宙線のデータを得ることが可能である。これにより将来的に、上述の中性子星連星合体起源の宇宙線強度の時間変動を検出し、太陽系近傍での中性子星合体の発生史を再現できる可能性がある。

また今回は、 r プロセス元素宇宙線が星間物質と衝突してできる2次粒子の寄与についても検討した。中性子星合体起源の宇宙線の場合、超新星で加速された宇宙線と比べると、2次粒子の比率にも大きな変動が見られると予想される。そのため、隕石観測と衛星観測の間に組成パターンの違いがあらわれる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W144a コンパクト天体を含む4体系の相対論的軌道安定性

鈴木遼（早稲田大学），中村友祐（東京大学），山田章一（早稲田大学）

観測技術が目覚ましい発展を遂げ、2017年6月現在で3400以上もの系外惑星の存在が確認されている。多数の個性的な系外惑星の中で我々がとりわけ注目しているのが、パルサーを中心に複数の惑星が公転している、パルサー・プラネットと呼ばれる系である。パルサーは超新星爆発を経て形成されるため、周りに惑星が存在しているのは驚くべきことであり、このような系の軌道や形成過程は超新星爆発についても新たな情報を提供する可能性があるため非常に興味深い。

代表的なパルサー・プラネットである PSR B1257+12 は、パルサーを中心に惑星が3つ公転している4体系である。Chambers et al. (1996) は、4体系では「惑星間距離」と「軌道が安定性を保っていられる時間」に相関関係があることを示した。しかし、この研究では「惑星の質量は木星以下」「離心率や軌道系射角は0とする」等様々な条件を課しており、さらに、ニュートン力学を用いて軌道を計算していた。PSR B1257+12 のようなパルサー・プラネットはこれらの条件を満たさず、また、惑星が水星軌道よりも中心天体に近い距離を公転していることから、水星軌道との類推により一般相対性理論の考慮が必要である。そこで本研究では、軌道計算を一般相対論を考慮したものに拡張し、先行研究で課されていた条件を満たさないパルサー・プラネットに対して、「惑星間距離」と「軌道が安定性を保っていられる時間」の相関関係を調べた。計算においては、1次のポストニュートン近似を用いた相対論的な運動方程式を採用し、それを Implicit Runge-Kutta 法を用いて直接数値積分した。「惑星が重い場合」「離心率をもつ場合」等先行研究から条件を1つ1つ変化させた場合における結果の違いを調べたほか、ニュートン力学による計算と相対論を考慮した計算の比較を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W145a 三重星におけるブラックホール降着円盤に関する流体計算

兼松慎一郎, 澤田恵介 (東北大学大学院)

我々は、三重星におけるブラックホール (BH) 降着円盤の数値計算を行い、BH 降着円盤のスパイラルショックのパターンの変化や質量降着への影響に着目した研究を行う。

2015年、LIGOによって重力波の観測が初めて成功したことは記憶に新しい。他方で、重力波源となり得る三重星が発見されており (Ransom et al. 2014)、重力波による三重星の観測可能性が議論されている (Meiron et al. 2017)。しかし、仮に三重星の重力波を観測出来たとしても、追観測では光学的な対応天体の理解が必要である。三重星における想定可能な現象の1つにBH降着円盤が挙げられる。しかし、これまで三重星BH降着円盤現象に関する数値計算は知られていない。そこで、まず本研究では三重星BH降着円盤において、スパイラルショック形状とそれによる質量降着への影響について着目する。

本研究では非構造格子を用いた不連続ガレルキン法による二次元非粘性流体計算を実施して、正三角解の安定条件下限付近である質量比 1:1:60 (伴星:伴星:主星) の三重星に生じる降着円盤の流れ場を求める。澤田らの報告 (Sawada et al. 1986) により、低質量比の二重星においては主星周りのポテンシャル場の歪みによってスパイラルショックが誘発されることが分かっているが、三重星での計算例は知られていない。高質量比の三重星では円盤内で発達する衝撃波形状が変化し、質量降着の様子や光学的な見え方に影響すると考えられるため、今回はその点について議論する。また、ガスの比熱比の変化がスパイラルショックのピッチアングルに影響を及ぼすことが分かっているため、これについても調査を行う予定で、時間が許せばこのことについて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](#)

【W2. コンパクト天体】

9月11日(月) 午前(10:30-12:06) [C会場]

W201a	10:30	矮新星 GK Persei の X 線スペクトル解析による白色矮星質量の推定	和田有希 (東京大学/理化学研究所)
W202a	10:42	ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象の多様性	川名好史朗 (東京大学)
W203a	10:54	高速電波バースト分散度分布の作り方	新納悠 (国立天文台)
W204a	11:06	非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波での磁場増幅過程	富田沙羅 (青山学院大学)
W205a	11:18	多波長解析で迫るガンマ線バーストの E_{peak} 多様性の要因	勝倉大輔 (埼玉大学)
W206a	11:30	三次元相対論的流体シミュレーションから明らかにする米徳関係の起源	伊藤裕貴 (理化学研究所)
W207a	11:42	Very Long FRED GRB 060814B のスペクトル時間発展	杉田聡司 (東京工業大学)
W208a	11:54	X 線天文衛星「すざく」搭載広帯域全天モニター WAM 単独での位置決定法を用いた FRED GRB の解析	小高勝也 (埼玉大学)
W114b	12:06	(プログラム変更) 一般相対論的多次元ボルツマン輻射磁気流体コードの開発	朝比奈雄太 (国立天文台)

W201a 矮新星 GK Persei の X 線スペクトル解析による白色矮星質量の推定

和田有希 (東大理, 理研), 湯浅孝行, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研), 林多佳由 (名大理, GSFC/NASA), 石田学 (IASA/JAXA)

激変星 GK Persei は強磁場白色矮星 (WD) と恒星との連星系である Intermediate Polar に属する。恒星からのガスは WD の周りで降着円盤を形成し、その内縁から磁場に沿って WD の磁極付近へ降着柱を形成しながら降着する。降着柱の WD 表面付近で生じる定在衝撃波によって加熱されたガスの最高温度は、降着円盤の内縁から WD 表面までの重力ポテンシャルに比例し (Aizu 1973)、WD の質量-半径関係式 (Nauenberg 1972) を援用することで WD 質量を推定できる。

GK Persei は降着円盤の不定性によって質量降着率が変動する矮新星にも分類され、約 2 年ごとに 2 ヶ月にわたる矮新星爆発を引き起こす。我々は 2015 年 3 月の矮新星爆発と同 9 月の静穏期における *NuSTAR* の X 線観測データを解析した。増光時の 3–50 keV フラックスは静穏期の 23 倍に達しており、降着ガスの最高温度は増光時で 17.7 ± 0.07 keV、静穏期で $43.9_{-3.5}^{+3.0}$ keV となった。降着円盤の内縁は降着ガスの動圧と磁気圧がつり合っているとされ (Ghosh & Lamb 1979)、質量降着率の高い増光時は円盤内縁が WD 表面に接近することで降着ガスの最高温度が低下したと考えられる。X 線光度と温度の変化から、増光時には降着円盤の内縁が静穏期の 1/5 となり、WD 中心から $1.7 R_{\text{WD}}$ にまで接近していることが示された。WD 質量は $0.89_{-0.04}^{+0.05} M_{\odot}$ と推定され、過去の可視光による観測結果 ($>0.63 M_{\odot}$: Morales-Rueda et al. 2002; $>0.78 M_{\odot}$: Reinsch 1993) と矛盾せず、~5% の高い精度が達成された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W202a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象の多様性

川名好史朗, 谷川衝, 吉田直紀 (東京大学)

ブラックホール (BH) 近傍を星が通過すると、BH の潮汐力が星の自己重力に勝り、星が壊される場合がある。壊された星の一部は BH の非束縛軌道を辿るが、残りの残骸は BH に束縛され、降着円盤やジェットを形成して突発天体として観測される。この一連の現象は Tidal Disruption Event (TDE) と呼ばれる。

TDE の中でも、白色矮星 (WD) が破壊される TDE は興味深い特徴を二つ持つ。その一つは、WD が BH の潮汐力で特に強い圧縮を受けた場合、高温・高圧になり爆発的原子核反応を起こす点である。第二の特徴は、TDE を起こしうる BH の質量が $M_{\text{BH}} \simeq 10^{0-5} M_{\odot}$ に限定される点である。この制限は、BH 質量が大き過ぎると WD が潮汐破壊される前に BH に吸い込まれてしまうことに由来する。この点で、WD が破壊される TDE は、中間質量 BH の探求に適した現象であると言える。

BH-WD TDE においては、BH 質量や WD 質量・組成、軌道の近点距離などのパラメータに幅があるため、この現象の観測兆候にも多様性があると考えられる。しかし、Rosswog et al. (2009) などの先行研究で調べられたパラメータ空間は狭く、BH-WD TDE の多様性を調べる上では不十分であった。

本研究では、核反応を考慮した SPH シミュレーションを多数のパラメータの組に対して行い、これらのパラメータ空間を広範かつ詳細に探索した。結果として、爆発的原子核反応が起こるパラメータ領域を明らかにした。さらに、解放される核エネルギーにより非束縛軌道を辿る残骸の質量が増えるものの、その影響は $M_{\text{WD}} = 1.2 M_{\odot}$ の重い WD では弱いことを明らかにした。この理由は、残骸の軌道運動エネルギーを決める上では、核反応で解放されるエネルギーよりも、BH の潮汐力による軌道運動エネルギーの変化が支配的であるためである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W203a 高速電波バースト分散度分布の作り方

新納悠 (国立天文台)

高速電波バースト (Fast Radio Burst, 以下 FRB) は 1–2 GHz の電波域で近年発見された突発天体であり、その正体は未だ謎に包まれている。FRB の位置・距離・フラックス・スペクトルの測定には大きな不定性があり、正確に測定可能な観測量である FRB の分散度 (Dispersion Measure, 以下 DM) が FRB の発生源を探る非常に重要な手掛りとなっている。

DM は電波信号の到来時刻の周波数に依存した遅れとして測定される、発生源までの視線上の自由電子柱密度に対応した物理量である。FRB の DM はその視線方向で予想される天の河成分の量を超過しており、その超過分を銀河間物質由来と仮定することで FRB 発生源までの宇宙論的な距離を測る指標として用いられている。一方、天の河成分を超過する DM の一部が銀河間物質ではなく FRB 発生現場の星周物質や星間物質に由来している可能性もあるため、観測される DM 分布がどの程度 FRB の距離分布 (赤方偏移分布) を反映しているのかははっきりしていない。

本研究では、未だ謎に包まれた FRB の発生頻度史・光度分布関数・スペクトル・発生環境といった諸性質が観測される DM 分布をどのように決定づけるのか解析的なモデルを用いて議論し、モデル予想と実際の DM 分布の比較から許容されるモデルの範囲を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W204a 非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波での磁場増幅過程

富田 沙羅, 大平 豊 (青山学院大学)

GRB 残光の観測は、相対論的無衝突衝撃波の下流の広い放射領域で、星間空間の磁場を圧縮した値から約 100 倍にも磁場を増幅する必要があると示唆する。しかし、その磁場の増幅機構は未解明である。ワイベル不安定性は、磁場を生成するプラズマ不安定性であり、相対論的無衝突衝撃波での磁場増幅機構の候補とされてきた。先行研究では一様プラズマ中を伝播する衝撃波での、ワイベル不安定性の Particle-in-cell (PIC) シミュレーションが行われてきた。しかしワイベル不安定性による磁場は、衝撃波面付近だけで強く増幅し、下流ですぐに減衰するため、観測が示唆する広い放射領域を占めることが出来ないことが分かってきた。

本研究では、非一様媒質中を伝播する相対論的無衝突衝撃波下流では、非等方な密度構造が形成され、非等方な速度分布が生成されることで、ワイベル不安定性が下流でも生じるという、新たな磁場増幅モデルを提案した (S. Tomita & Y. Ohira, ApJ, 2016)。そして、非一様 (1次元構造) 媒質中を伝播する相対論的無衝突衝撃波での磁場増幅機構を、PIC シミュレーションを用いて調べた。その結果、我々のモデルの予想通り、下流でもワイベル不安定性によって磁場が生成される事を明らかにした (2016 年度春季年会で発表)。そこで新たに、上流の非一様性を 2次元構造に変えて、同様のシミュレーションを行った。その結果、衝撃波下流では温度非等方性が存続し、1次元と同様な結果が得られた。本講演では、存続している温度非等方性によって励起されたワイベル不安定性のミクロな磁場揺らぎと、乱流との非線形相互について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W205a 多波長解析で迫るガンマ線バーストの E_{peak} 多様性の要因

勝倉 大輔 (埼玉大学), 坂本 貴紀 (青山学院大学), 田代 信, 寺田 幸功 (埼玉大学)

ガンマ線バースト (GRB) の即時放射のスペクトルにおいて、 νF_ν スペクトルのピークに対応する光子のエネルギーは E_{peak} と呼ばれ、GRB の性質を表す指標とされている。この E_{peak} は keV-MeV の広範囲に連続的に分布することが *HETE-2* 衛星に代表される過去の観測で明らかになった (Sakamoto et al. 2004 他)。この E_{peak} の多様性を説明する理論モデルはいくつか提唱されているが、その物理機構は未だに分かっていない。本研究ではその物理機構に迫るため、 E_{peak} の帯域ごとの可視光、X線残光の振る舞いを調べた。まず 2014年2月までに *Swift*/BAT で観測された GRB を、Sakamoto et al. 2008 の定義に基づき、ソフトなものから順に X-Ray Flash (XRF), X-Ray Rich GRB (XRR), Classical GRB (C-GRB) の3種に分類した。次に、XRF と XRR は *Swift*/BAT、C-GRB は *Swift*/BAT と *Fermi*/GBM のデータを用いて即時放射のスペクトル解析を行い、観測者静止系での E_{peak}^{obs} を求めた。赤方偏移が既知なものは GRB 静止系での E_{peak}^{src} を求め、その値が XRF から C-GRB まで連続的に分布することを確認した。その上で、*Swift*/XRT で観測された GRB の X線残光の解析を行った。その結果、0.3-10 keV の光度は E_{peak}^{src} が小さいほど暗い傾向があった。加えて、X線・可視光残光のライトカーブに対して、Van Eerten et al. 2012 において開発された外部衝撃波のモデルでフィッティングを行ったところ、X線残光が外部衝撃波による放射のみでは説明できないことが分かった。最後に、上記の結果の要因がジェットの性質に由来するか否かを議論するため、非検出のものを含めた XRF, XRR, C-GRB の発生数を *Swift*/BAT の機上検出アルゴリズムを模擬したソフトウェア (Lien et al. 2014; Graff et al. 2016) を用いて見積もった。本公演では、多様な E_{peak} を持つ GRB に対して即時放射から残光までの多波長のデータを系統的に解析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](#)

W206a 三次元相対論的流体シミュレーションから明らかにする米徳関係の起源

伊藤裕貴、松本仁、長瀧重博、Don Warren(理化学研究所)、Maxim Barkov(Purdue 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、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、輻射輸送計算を行う事によりジェットからの光球面放射を評価した。ここでは、ジェットのパワーが異なる3つのモデル計算を行うことによって、主に放射がジェットの性質にどのように依存するかについて調べた。その結果、放射の時間変動や明るさなどはモデルごとに大きく異なる一方、ピーク光度とピークエネルギーの相関関係である米徳関係は全てのモデルにおいて自然に満たされる事が明らかになった。相関関係の起源は、ジェットの正面に位置する観測者は高いピークエネルギーと光度を観測し、正面からずれるにつれこれらの観測量は低くなるといった、放射の観測者依存性によるものである。モデルのパラメータによらず米徳関係が普遍的に再現される事を示した本研究結果からは、光球面放射が主な放射機構を担っている事が強く示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W207a Very Long FRED GRB 060814B のスペクトル時間発展

杉田聡司 (東京工業大学), 山岡和貴 (名古屋大), 田代信, 寺田幸功 (埼玉大), 大野雅功 (広島大), 浦田裕次 (NCU), 岩切渉 (理研), 大森法輔 (宮崎大) 他すざく WAM チーム

GRB 060814B はプロンプト放射の継続時間が ~ 2700 sec と非常に長く明るい Long GRB である (Pal'shin et al., 2008)。ライトカーブは単一パルスの FRED (Fast Rise Exponential Decay) 形状をしており、発生から ~ 90 sec をピークに Rise/Decay フェーズに分けられる。我々は「すざく」衛星搭載 Wide-band All-sky Monitor (WAM) の観測データを用いて、GRB 060814B ガンマ線スペクトルの時間発展を詳細に調査した。

5~20 sec の時間間隔に分割しスペクトル解析を行った。その結果、ガンマ線 Flux は FRED な時間発展であったのに対して、エネルギーピーク (E_{peak}) は Rise/Decay 通して発生時が最も高く時間とともに小さくなっていった。GRB プロンプト放射のスペクトルには E_{peak} とエネルギー放射量との間に相関があることが報告されている。典型的にはベキ 0.5 乗程度の順相関が見られ、この相関関係はいくつかの放射モデルで説明できている (Zhang & Mészáros 2002, Beloborodov 2013)。060814B において、Decay フェーズのスペクトルには E_{peak} と Flux にはベキ 0.5 乗の相関が見られた。一方 Rise フェーズではこれから大きく外れ、高 E_{peak} -低 Flux から Decay フェーズの相関へ向かって連続的に遷移し、相関的にはむしろ逆相関を持つことが明らかになった。過去、他の GRB においても発生初期には E_{peak} が高い例は報告されているが (Ohno et al., 2009 等)、統計の良い Long FRED GRB 060814B の詳細解析によって Rise から Decay へ連続的に繋がる遷移過程が明らかになった。

本講演では WAM で観測した GRB 060814B のスペクトル時間発展の解析結果と、プロンプト放射モデルでの Rise/Decay フェーズの遷移過程の解釈を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W208a X線天文衛星「すざく」搭載広帯域全天モニター WAM 単独での位置決定法を用いた FRED GRB の解析

小高勝也、田代信、寺田幸功、勝倉大輔 (埼玉大学)、大森法輔 (宮崎大)、岩切渉 (理研)、山岡和貴 (名古屋大)、杉田聡司 (東工大)、大野雅功 (広島大)、浦田裕次 (NCU)、他すざく WAM チーム

ガンマ線バースト (GRB) の放射機構として、非熱的電子によるシンクロトロン放射、逆コンプトン散乱の他に、熱的放射が議論されている。これらを観測的に区別するためにスペクトル変動の研究が有効である。GRB の初期放射の特徴として、明るさに急激な変動がみられる。その初期放射において、素早く立ち上がり指数関数で減光する (FRED) という特徴を持った GRB が稀に存在する。放射冷却による減光は指数関数、幾何学的効果による減光は冪関数に比例して減光することが知られており、FRED GRB の減光過程では観測 Geometry の効果よりも放射冷却による減光が支配的であると考えられる。既に Tashiro et al.(2012) において、X 線天文衛星「すざく」搭載の広帯域全天モニター (WAM) を用いた、6 例の明るい FRED GRB についてライトカーブの解析が行われた。その結果、時定数のエネルギー依存性は 6 例中の 4 例でシンクロトロン放射、逆コンプトン散乱による冷却の値である $\gamma = -0.5$ と矛盾しない値であり、スペクトル解析が可能だった 2 例は、非熱的放射と熱的放射、もしくは非熱的放射のみのモデルでよく再現できた。WAM のスペクトル解析には天体位置の情報が必須なので、残り 4 例のスペクトル解析は報告されていない。そこで、今回、藤沼洸 (2016 修士論文) で開発された手法により、WAM だけで位置情報が推定できるようになったため、6 例全てを対象にスペクトル変動の解析を行い、更に新たに WAM で検出した FRED GRB を追加した。その物理的解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【X. 銀河形成】

9月11日(月) 午前(10:30-12:30) [J会場]

X01a	10:30	Surface density: a new parameter in the fundamental metallicity relation of star-forming galaxies 橋本哲也(国立清華大学)
X02a	10:42	円盤星の金属量分布と銀河系形成におけるガスの再降着過程の重要性 豊内大輔(京都大学)
X03a	10:54	Far UV フィードバックの銀河の形成と進化への影響 斎藤貴之(東京工業大学)
X04a	11:06	銀河形成シミュレーションによる星形成銀河の星形成率とガス流入・流出率 岡本崇(北海道大学)
X05a	11:18	宇宙論的流体計算による銀河 cold flow の feedback と 密度環境への依存性 中村亮介(大阪大学)
X06a	11:30	レンズクエーサーを用いた多視線分光観測による CGM の内部構造の調査 小山田涼香(信州大学)
X07b	11:42	SDSS データで決定する銀河とアウトフローの物理量の相関関係 菅原悠馬(東京大学)
X08b	11:42	化学進化からみる銀河のガスの流出入の質量依存性 深川奈桜(総合研究大学院大学)
X09b	11:42	バルジが卓越した $z \sim 1$ の銀河の星形成効率 村田一心(宇宙航空研究開発機構)
X10a	11:54	近傍銀河における星形成活動と分子ガス存在量の関係の環境依存性調査 小山舜平(東京工業大学/宇宙航空研究開発機構)
X11a	12:06	HI & H ₂ gas properties of ~ 80 Virgo galaxies on the phase-space diagram 諸隈佳菜(宇宙航空研究開発機構)
X12a	12:18	すばる HSC の銀河カタログを用いた $z=0.5-1.5$ における銀河-ガス関係の探索 野沢朋広(東京大学)

9月11日(月) 午後(14:30-16:30) [J会場]

X13a	14:30	渦状腕の重力不安定理論 I: 不安定性パラメータと分裂不安定条件 井上茂樹(東京大学)
X14b	14:42	渦状腕の重力不安定理論 II: 渦状腕分裂によるクランプ形成 井上茂樹(東京大学)
X15b	14:42	Dynamics of a compact relic galaxy at $z=0.5$ explored by optical integral field spectroscopy with Subaru/Kyoto 3DII + AO188 満田和真(東京大学)
X16b	14:42	$z_{phot} \leq 1.0$ における銀河の軸比分布とその進化 佐藤佑樹(愛媛大学)
X17a	14:54	Blue Horizontal-Branch 星に基づく銀河系恒星ハローの構造の解明 福島徹也(東北大学)
X18a	15:06	$z=2.5$ の銀河で発見された高速回転するスターバーストコア 但木謙一(Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics/国立天文台)
X19a	15:18	すばる AO 近赤外線撮像による、 $z=4$ までの大質量早期型銀河のサイズ進化 久保真理子(国立天文台)
X20a	15:30	矮小銀河ダークマターハローの普遍的性質 林航平(北京大学/東京大学)
X21a	15:42	主成分分析を用いた矮小銀河サイズのダークマターサブハローの性質解析 金城和樹(千葉大学)
X22a	15:54	合体シミュレーションによる小スケールハローの内部構造の進化 佐々木拓洋(千葉大学)
X23a	16:06	Stellar to Halo Mass Ratio and Baryon Conversion Efficiency of LAEs at $z \sim 2$ 日下部晴香(東京大学)
X24a	16:18	The Galaxy-Halo Connection in High-redshift Universe 石川将吾(国立天文台)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

9月12日(火) 午前(09:30-11:30) [J会場]

X25a	09:30	超重ブラックホールの形成と銀河形成 森川雅博 (お茶の水女子大学)
X26a	09:42	銀河のダウンサイジング ーブラックホールが先にできるとー 中道晶香 (京都産業大学)
X27a	09:54	マージャープロセスにおけるブラックホールへの質量降着 川口雄大 (鹿児島大学)
X28a	10:06	ダストに覆われた巨大ブラックホールの成長過程 矢島秀伸 (東北大学)
X29a	10:18	北黄極ディープサーベイ領域の Dust Obscured Galaxies は活動的銀河核と共進化中のスターバーストか? 松原英雄 (宇宙航空研究開発機構)
X30a	10:30	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた中間赤外線で見える Dust-Obscured Galaxies の可視光線の性質の調査 登口暁 (愛媛大学)
X31a	10:42	“radio mode” AGN feedback が銀河の速度分散と年齢の関与に与える影響 白方光 (北海道大学)
X32a	10:54	HSC サーベイによる 赤方偏移 0.6-3.0 における AGN 周辺銀河の特性 白崎裕治 (国立天文台)
X33b	11:06	非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着 豊内大輔 (京都大学)
X34b	11:06	定量的指標による COSMOS 領域の $z=0.7-0.9$ の相互作用・合体銀河探査 樋本一晴 (愛媛大学)
X35b	11:06	$z=2.84$ の超高光度クエーサー周辺での銀河形成 菊田智史 (総合研究大学院大学/国立天文台)
X36b	11:18	Black hole mass measurements of $z \sim 6$ low-luminosity quasars 尾上匡房 (総合研究大学院大学)
X37b	11:18	大質量星からの輻射圧による低金属度星形成雲からのダスト排出の可能性について 福島肇 (京都大学)
X38b	11:18	COSMOS 領域における $z=0.2-1.1$ の銀河の性質とクラスタリングの関係 坂東卓弥 (愛媛大学)

9月12日(火) 午後(13:00-15:00) [J会場]

X39a	13:00	No Ly α emitters detected around a QSO at $z=6.4$: Suppressed by the QSO? Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
X40a	13:12	すばる HSC-SSP と FIRST 電波サーベイによる遠方電波銀河の調査 山下拓時 (愛媛大学)
X41a	13:24	AzTEC 1.1mm による Ly α Blob 周辺領域の原始銀河団探査 斎藤智樹 (兵庫県立大学)
X42a	13:36	HSC を用いた宇宙再電離と高赤方偏移銀河団の探査 樋口諒 (東京大学)
X43a	13:48	HSC-SSP の PDR1 データによる赤方偏移 $z < 1.5$ の輝線銀河探査 林将央 (国立天文台)
X44a	14:00	Properties of extremely strong emission line galaxies discovered with Subaru/HSC Kiyoto Yabe (The University of Tokyo)
X45a	14:12	COSMOS 領域における中間赤方偏移 EELGs の環境効果及びクラスタリング特性 西塚拓馬 (東北大学)
X46b	14:24	El Gordo 銀河団にはたらく強い重力レンズ効果の解析およびドロップアウト銀河の星形成活動 菊地原正太郎 (東京大学)
X47b	14:24	AzTEC で検出された COSMOS 領域におけるサブミリ波銀河の ALMA 1.3mm 帯データを用いたミリ波輝線銀河探査 山下祐依 (東京大学)
X48b	14:24	Phoenix 銀河団における ALMA 3mm 帯データを使ったミリ波輝線銀河探査 李建鋒 (東京大学)
X49b	14:36	COSMOS 領域における low-redshift 強輝線天体サーベイ 平野洸 (東北大学)
X50b	14:36	Rest-frame optical emission lines of $z > 4$ galaxies with Subaru/HSC and SPLASH 播金優一 (東京大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X51b 14:36 The MUSE Hubble Ultra Deep Field Survey: Ly α Equivalent Widths at $2.9 < z < 6.6$ 橋本拓也 (リヨン天文台/大阪産業大学/国立天文台)

X52a 14:48 直接温度法で解明する Ly α 輝線銀河の高電離状態 小島崇史 (東京大学)

9月13日(水) 午前(09:30-11:30) [J会場]

X53a 09:30 Dust Grain Growth Explains Huge Dust Mass in Galaxies at $z = 7 - 8$? 竹内努 (名古屋大学)

X54a 09:42 ALMA による赤方偏移 $z \approx 8.4$ のライマンブレイク銀河のダスト検出 田村陽一 (名古屋大学)

X55a 09:54 アルマ望遠鏡による $z = 3$ 巨大水素ガス天体のサブミリ連続波観測 松田有一 (国立天文台)

X56a 10:06 星間塵のサイズ分布進化を考慮した銀河スペクトルエネルギー分布モデルの構築 西田和樹 (名古屋大学)

X57a 10:18 星形成領域における photoelectric grain heating の影響 一色翔平 (北海道大学)

X58a 10:30 シミュレーションにおける星質量による順位が変化しないと仮定したときの銀河進化と実際の進化について 畑千香子 (北海道大学)

X59a 10:42 Lagrange 的手法を用いたシミュレーションにおける resolution 制限 山本泰義 (北海道大学)

X60a 10:54 大規模宇宙論的 N 体シミュレーション・データベースの公開 石山智明 (千葉大学)

X61a 11:06 四重極項計算の SIMD 化によるツリー法の高速度化 児玉哲史 (千葉大学)

X62a 11:18 クエーサーおよび大質量星による宇宙再電離と高速電波バーストの分散測定 井上進 (理化学研究所)

9月13日(水) 午後(13:30-14:30) [J会場]

X63a 13:30 Impact of Star Formation and Stellar Feedback on First Galaxies and beyond 長峯健太郎 (大阪大学)

X64a 13:42 SPH 粒子データを直接用いた Lyman-alpha 輻射輸送計算コードの開発 安部牧人 (筑波大学)

X65a 13:54 初代銀河の衝突で誘起されるガス雲形成 荒田翔平 (大阪大学)

X66a 14:06 低赤方偏移銀河間物質の観測による初代星起源金属汚染の検出可能性 桐原崇亘 (筑波大学)

X67a 14:18 宇宙再電離期 21cm 線と LAE 相互相関に対する前景放射の影響 吉浦伸太郎 (熊本大学)

X01a Surface density: a new parameter in the fundamental metallicity relation of star-forming galaxies

橋本哲也、後藤友嗣 (国立清華大学)

Star-forming galaxies display a close relation among stellar mass, metallicity and star-formation rate. This is known as the fundamental metallicity relation (FMR), and it has a profound implication on models of galaxy evolution. However, there still remains a significant residual scatter around the FMR. We show here that a fourth parameter, the surface density of stellar mass, reduces the dispersion around the FMR. In a principal component analysis of 29 physical parameters of 41,338 star-forming galaxies, the surface density is found to be the fourth most important parameter. The new four-dimensional fundamental relation forms a tighter hypersurface that reduces the metallicity dispersion to 50% of that of the FMR. We suggest that future analyses and models of galaxy evolution should consider the FMR in a four-dimensional space that includes surface density. The dilution time scale of gas inflow and the star-formation efficiency can explain the observational dependence on surface density.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a 円盤星の金属量分布と銀河系形成におけるガスの再降着過程の重要性

豊内大輔（京都大学）、千葉柁司（東北大学）

銀河系円盤を形作る円盤星の金属量分布は銀河系の形成史、化学進化史を知る重要な手掛かりとなる。最新の銀河系内赤外分光サーベイである APOGEE サーベイは非常に広範囲にわたって詳細な金属量分布を明らかにした。本研究では APOGEE で観測された円盤星の金属量分布について銀河円盤化学進化モデルを用いて議論した。本研究で用いた化学進化モデルにおいて特筆すべきは恒星フィードバックに伴い円盤から一旦放出されたガスの円盤上への再降着過程を陽的に取り扱っている点である。このようなガスの再降着過程はこれまで銀河形成シミュレーションの中で存在が確認されており、銀河円盤全体の化学進化に対する影響が示唆されていたが、これまで具体的に議論されることが無かった。本研究ではモデル計算の結果、観測された銀河系の金属量分布を再現するにはそのようなガスの再降着過程が必ず必要であることを示した。本発表ではガスの再降着過程が銀河系円盤の化学進化史に与える影響を中心にモデル計算の結果得られた銀河系形成史に関する幾つかの示唆について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a Far UV フィードバックの銀河の形成と進化への影響

齋藤貴之 (東京工業大学)、馬場淳一 (国立天文台)、平居悠 (東京大学)、牧野淳一郎 (神戸大学)

銀河の形成・進化においてフィードバックは極めて重要な役割を果たす。今回我々は、遠紫外線 (以下 FUV; エネルギーレンジ 6 eV–13.6 eV) によるフィードバックをモデル化し、その効果を孤立銀河を用いて調べた結果を報告する。FUV によるフィードバックは、特に矮小銀河の進化に重要な影響を与えることが指摘されている (Forbes et al. 2016)。

我々は次のように FUV フィードバックモデルを構築した。まず、Simple stellar population 近似の元で星粒子が放出する FUV のエネルギー量を、予め PÉGASE 用いて計算したテーブルを用いて評価する。FUV の放出量は年齢と金属量に依存する。特に金属量がゼロの場合に対応するために、Yoon et al. (2012) らの進化トラックを Padova トラックに接木し、最大 500 M_{\odot} まで対応出来るようにした。ガス粒子が存在する点における周囲の星からの FUV 強度は、ツリー法を用いて求める。また、光源からガス粒子に到達するまでの吸収は Gnedin et al. (2009) らの提案した局所的な物理量から見積る近似方法をもちいる。こうして得られた FUV による加熱率をガスの温度進化を解くときにもちいる。

我々の孤立銀河の数値シミュレーションによると、FUV フィードバックは、矮小銀河だけでなく、天の川銀河スケールの銀河の進化においても、非常に強く星形成を抑制する働きがある。ただし、FUV による加熱は高々 10^4 K 程度なので、ガスは銀河円盤に存在していて、銀河構造に対して破壊的な影響は及ぼさない。このようにガスを維持しつつ星形成を抑制する機能を持つ FUV フィードバックは、銀河形成に大きな影響を与えうると考えられる。講演では、銀河形成シミュレーションに FUV フィードバックを導入した結果についても触れたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X04a 銀河形成シミュレーションによる星形成銀河の星形成率とガス流入・流出率

岡本崇 (北海道大学)

銀河の星形成活動を定める最大の要素は銀河内のガス質量である。一方このガスの量は星形成率、銀河へのガスの流入率、銀河からのガスの流出率の3つで決定される。また、銀河へのガス流入率はダークマターハローの質量増加率に比例し、銀河からのガス流出率は銀河の星形成率に依存すると考えるのが自然である。このような考え方にもとづいた単純な化学進化モデルは、観測される銀河の星質量、星形成率、金属量からその進化史を推測するためにしばしば用いられる。

今回、私は宇宙論的銀河形成シミュレーションを用いて、星形成銀河の星質量、星形成率、ガス流入率、ガス流出率について調べた。その結果、星形成銀河では、ガスの流入率と流出率はほぼ等しく、星形成率はそれらに比べると無視できる程度に小さいことが分かった。このことは、星形成銀河では星形成は self-regulated に行われており、流入したガスのごく一部が星になり、残りの大部分は銀河風として銀河から流出すること、流出したガスの大部分はその後また銀河に戻ってく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](#)

X05a 宇宙論的流体計算による銀河 cold flow の feedback と 密度環境への依存性

中村亮介, 長峯健太郎, 清水一紘 (大阪大学)

近年宇宙論的流体シミュレーションを用いた研究により、比較的高赤方偏移 ($z \geq 2$) において、“cold flow” と呼ばれるガスの流入のモードがあることが分かってきた。このモードのガスは、shock heating を経験することなく効率的にガスが銀河へ流入する。銀河の形状とその周りの密度環境には、高密度領域の方が楕円銀河が存在しやすく、低密度領域では渦巻銀河が存在しやすいという “morphology-density relation” と呼ばれる関係が存在するが、前述のように cold flow によって銀河へ効率的にガスが流入する為、銀河の形状 (ディスクの有無など) に影響を与えていると考えられ、また高赤方偏移での爆発的星形成活動のトリガーにもなり得る。今後行われる Subaru PFS Survey では広視野の観測が得られ、inflow (cold flow) や mass loading factor などの物理量が観測と比較可能であり、各環境での cold flow の割合とその構造を理論的に予測しておくことは非常に重要である。我々は星形成と feedback モデルを実装した SPH のシミュレーションコードである GADGET-3 の改良版を用いて zoom-in 計算を行った。 $10^{11-12} M_{\odot}$ のハローにおいて、 $2 \leq z \leq 4$ で高温のガス ($T_h \sim 10^6 K$) 中に低温ガス ($T_c \sim 10^4 K$) のフィラメントが貫いており、そのメタリシティーが小さいこと ($Z \sim 0$) を確認した。ハロー周辺のガスの温度分布と降着率は赤方偏移が小さくなるにつれて高温ガス ($\sim T_h$) の割合が低温ガス ($\sim T_c$) のそれに対して大きくなっていき、 $z \sim 1$ あたりで heating (SN feedback や shock-heating) の効果でフィラメント構造が消えていく様子を確認した。現在 cold flow の feedback モデルとハロー周辺の密度環境への依存性を明らかにする為、我々のグループで現在開発中のモデルを含め4つのモデルについて検証し、また異なる密度環境下にあるハローについてもそれぞれ zoom-in 計算を行い、cold flow の系統的な違いを検証している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X06a レンズクエーサーを用いた多視線分光観測による CGM の内部構造の調査

小山田涼香, 三澤透 (信州大学), 稲田直久 (奈良高専), 大栗真宗 (東京大学), 柏川伸成 (国立天文台), 大越克也 (東京理科大学)

近年の銀河形成と進化の研究分野において、銀河周辺物質 (Circum-Galactic Medium; CGM) が注目を集めている。CGM が銀河に降着することで星形成が促進される一方で、銀河中の超新星爆発やアウトフローによって物質が再び CGM として還元される。この銀河-CGM 間の物質循環を解明することが、銀河進化の有力な手がかりとなる。CGM は希薄なガス相の物質なので、クエーサー吸収線の手法を用いれば、柱密度や速度分散といった物理量の調査が可能であるが、一視線方向の情報しか得られないので CGM の重要な指標である空間情報を取得することは困難である。その欠点を補う手法の 1 つに重力レンズクエーサーを背景光源に用いる多視線分光観測がある。重力レンズ効果を受けたレンズ像を分光観測すれば、多視線で CGM を吸収線として捉えることが可能になり、遠方宇宙に存在する CGM の広がりや内部構造といった空間情報が入手できる。

本研究は数秒角の離角を持つ 13 個の重力レンズクエーサーのスペクトルを使うことで、100 pc – 10 kpc の視線間実距離に対応する多視線調査を行い、その結果、約 280 本の CGM 金属吸収線ペアを検出することに成功した。吸収線ペアを電離状態でサブサンプル化し、視線間の等価幅の差異と吸収線の出現頻度に注目したところ、高電離吸収体に比べて低電離吸収体の方が小スケールでの密度揺らぎを持っている傾向が確認できた。また単純な等価幅分布を持つガス球モデルから観測結果を再現した結果、高電離吸収体は ~100 kpc のサイズでほぼ一様なガス分布を有するのに対し、低電離吸収体は小スケール (~1 kpc) の吸収体の集合である、という電離度による空間分布の差異を確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07b SDSS データで決定する銀河とアウトフローの物理量の相関関係

菅原悠馬, 大内正己 (東京大学)

活発な星形成銀河では恒星風や超新星爆発によって星間ガスが駆動され、アウトフローとして吹き出す。星形成銀河のアウトフローは銀河形成・進化の鍵を握るフィードバックの主要因と考えられており、原子雲など冷たいガスの吸収線を用いて観測されてきた。Chisholm et al. 2015 と Heckman et al. 2016 は近傍銀河の紫外線観測により銀河の物理量 (星形成率 [SFR] や星質量 [M_*] や星形成率面密度 [Σ_{SFR}] など) とアウトフローの物理量 (アウトフロー速度など) に正の相関関係があることを示した。しかし最も強い相関を示した銀河とアウトフローの物理量関係は両研究で異なっており、アウトフローの性質を決定付ける銀河の物理量ははまだ決定されていない。そこで本研究では大規模な SDSS 星形成銀河のスペクトルを使用して詳細な銀河とアウトフローの物理量の相関関係を求める。まず 34,611 個の face-on 星形成銀河のスペクトルを SFR 、 M_* 、 Σ_{SFR} ごとにビン分けしてスタックし、信号雑音比の高いスペクトルを作成した。次に NaID 吸収線をガウス関数でフィッティングし、銀河の静止波長とベストフィットのガウス関数中心波長との差をアウトフロー速度と定義した。その結果、アウトフロー速度は SFR と Σ_{SFR} の両方に強い正の相関関係を示した。 M_* との相関関係は弱かった。また、アウトフローの発生条件は $\log \Sigma_{SFR} [\text{km s}^{-1} \text{ kpc}^{-2}] \gtrsim -1.3$ であった。これはこれまで慣用的に使われてきた $\log \Sigma_{SFR} > -1$ よりも小さい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X08b 化学進化からみる銀河のガスの流出入の質量依存性

深川奈桜（総合研究大学院大学）、兒玉忠恭（東北大学）、石丸友里（国際基督教大学）

星は星間ガスから形成されるため、銀河のガスの流出入は銀河の星形成史を左右する重要な物理過程であるが、その規模や、どのように星形成活動に寄与しうるのは明らかになっていない。このように、未だ謎の多い現象であるガスの流出入について知る手がかりとなりうるのが、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、ガスの流出入により、銀河の重元素量が変化しうる。従って、銀河における星形成とガスの流出入の歴史が金属量に反映されると期待される。これまでに、観測データと解析的な化学進化モデルとの比較により、宇宙の過去の時代の星形成銀河ほどガスの流出率・降着率が高い可能性が示唆されてきた (e.g., Yabe et al. 2015)。銀河の性質は、その質量に大きく依存することが知られる。そこで、本研究では、化学進化の観点から銀河のガスの流出入の質量依存性の調査を試みた。

具体的には、3種類の化学進化モデル (A. 孤立系、B. ガスが降着する系、C. 重元素を含むガスが流出する系) による予測と、宇宙の異なる時代 (赤方偏移 2.2, 1.4, 0) の星形成銀河の物理量を比較した。モデル C について、観測データを説明しうるパラメータの値を各時代ごとに調べた結果、銀河の星質量が大きいほど、(i) 星形成率が低い、または (ii) ガスの流出率が高いことが示唆された。星形成銀河の星質量と星形成率の間に相関がみられる (e.g., Noeske et al. 2007) ことなどを考慮し、結果について議論した。ガスの降着について情報を得るためには、ガスの降着・流出両方を考慮したモデルが必要である。また、ガス質量を電波望遠鏡による観測により測定する必要性が挙げられる。現在は金属量とガス質量の両方が測定された星形成銀河の観測データ (Seko et al. 2016) とモデルとの比較により、銀河のガスの流出入の調査を試みている。本講演では、その初期成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](#)

X09b バルジが卓越した $z \sim 1$ の銀河の星形成効率

村田一心、諸隈佳菜、小山舜平、植村千尋 (宇宙科学研究所)

本研究では近傍でも遠方でも、バルジが卓越した銀河の星形成効率が低いことを示した。これは宇宙全体の星形成活動の衰退に、バルジの発達による星形成効率の減少が関与していることを示唆する。

宇宙全体の星形成活動は、 $z \sim 2$ から現代にかけて徐々に衰退してきたことが広く知られている。銀河の星形成活動が衰退する原因は、大きく2つに分けられる; 星の材料となるガスが枯渇しているか、ガスから星への変換効率が低下するか、である。近年の研究により、一部の明るい星形成銀河に関しては100億年前から現代にかけて分子ガス量が減少してきたことが示されつつあるが、それが宇宙全体の星形成活動の衰退を説明できるかどうかは定かではない。一方、分子ガスから星への変換効率は、バルジが卓越した銀河ほど低いことが知られている。ただし、これは近傍の宇宙のみで調べられたもので、遠方の宇宙でもこの関係が成り立つかは定かではない。そこで本研究では、宇宙全体の星形成活動が衰退し始めた $z \sim 1$ の宇宙において、明るい銀河だけでなく暗い銀河も含めてバルジの強さと星形成効率との関係を調べた。

その際必要な物理量は、バルジの強さの指標と星形成率、分子ガス質量である。このうち特に、分子ガス質量の推定には大規模な電波観測を要するため、Morokuma-Matsui et al.(2015) で示された Dn4000 と星質量に対する分子ガス質量の割合との関係を利用した。本研究では、COSMOS 領域の多波長データを用いて、これらの物理量を求めた。

その結果、近傍の宇宙と同様、バルジが卓越した銀河ほど星形成効率が低いことが示された。この結果は、宇宙全体の星形成活動の衰退に、バルジの発達による星形成効率の低下が寄与していることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10a 近傍銀河における星形成活動と分子ガス存在量の関係の環境依存性調査

小山 舜平 (東工大, ISAS/JAXA), 小山 佑世 (ハワイ観測所), 山下 拓時 (愛媛大学), 諸隈 佳菜, 松原 英雄, 中川 貴雄 (ISAS/JAXA), 児玉 忠恭 (東北大学), 林 将央, 鈴木 智子, 但木 謙一 (国立天文台), 田中 壺 (ハワイ観測所), 嶋川 里澄 (UCO/Lick Observatory), 山元 萌黄 (総研大)

銀河が密に存在する環境であるほど星形成が活発な銀河が少なく、不活発な銀河が多くなるといった、環境効果の存在が知られている。この銀河の性質と環境との強い相関は、銀河周囲の環境が銀河の星形成活動に強い影響を与えていることを示唆しているが、環境が銀河にどのように作用することによってこの傾向を生み出したのかは未だ明らかになっていない。

そこで本研究では、環境効果の起源として星形成の材料である分子ガスへの影響に着目し、星形成活動の低下に伴う分子ガス存在量の変化を広い環境範囲に渡って調べた。ここで、環境はSDSSカタログの座標と赤方偏移の情報から局所的な数密度を用いて定義し、銀河の分子ガス質量の推定には野辺山45mによるCO(1-0)観測と、IRAM30mによる近傍銀河のCOサーベイであるCOLDGASSの文献データとを合わせたデータセットを用いた。

結果として、主系列付近の銀河については星形成活動と分子ガス存在量の関係は環境依存性をもたないことを明らかにした。しかし、パッシブな銀河についてはCO輝線が検出できていないものが多く、個別銀河に対してより広い星形成活動の範囲に渡って環境依存性を調べることは困難であった。そこで本研究ではさらに、これら未検出のCO輝線に対してスタッキング解析を行うことで、パッシブな銀河にまでこの関係が成立しているのか、または、異なった振る舞いを示すのかについても調べた。本公演では、これら結果を踏まえ、環境効果の起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X11a HI & H₂ gas properties of ~80 Virgo galaxies on the phase-space diagram

諸隈佳菜 (ISAS/JAXA), 諸隈智貴 (東京大学), 児玉忠恭 (東北大学), 中西康一郎, 小山佑世 (国立天文台), 小山舜平 (東京工業大学/ISAS), 山下拓時 (愛媛大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 徂徠和夫 (北海道大学)

銀河団のように銀河の個数密度が高くダークハロー質量が大きい系に所属する銀河は、孤立銀河と比べると星形成活動性が低いことが知られている。本研究では、銀河団環境下において星形成活動性を低下させる原因を探るため、最も近傍に存在する銀河団であるおとめ座銀河団に注目し、銀河団銀河の低温ガス (星形成の材料) の性質を調べた。まずはこれまでの観測データを収集し、おとめ座銀河団の過去最大の原子ガス (HI, 529 天体)・分子ガス (H₂, 111 天体) データベースを構築した (HI・H₂ が揃うのは 81 天体)。次に、Jaffe et al. (2015, MNRAS, 448, 1715) に従い、おとめ座銀河団の phase-space diagram (横軸: 銀河団中心からの距離、縦軸: 銀河団速度に対する銀河の相対速度) 上で、銀河を “recent infall” (最近銀河団ポテンシャルに捕らえられた銀河)・“virialized” (銀河団中心付近を既に何度か回転している銀河)・“stripping” (ラム圧でガスが剥ぎ取られやすい銀河) の3つに分類した。これらの情報を使い、各領域の銀河の HI 質量・H₂ 質量・星質量・星形成率の4つの量の比を比較した。その結果、(1) HI 質量/星質量比と H₂ 質量/星質量比は recent infall > virialized > stripping の順で高い、(2) 星形成率/(HI+H₂ 質量) 比は stripping > virialized > recent infall の順で高いが、星形成率/H₂ 質量比は領域ごとに大きな差はない、ことがわかった。これらの結果と金属量の情報を合わせて、おとめ座銀河団銀河における星形成活動性低下の原因を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X12a すばる HSC の銀河カタログを用いた $z=0.5-1.5$ における銀河-ガス関係の探索

野沢朋広, Ting-wen Lan(Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 他

銀河は、ダークマター、星、ガスから成る天体であり、その進化発展を議論するにあたり、ガスは重要な役割を担っている。ガスの物理は複雑であるため、理論的解明が困難であり、観測的に銀河周辺での分布や銀河の物理量への依存性などを調べ、銀河との関係を探る必要が有る。

ガス雲は可視光では非常に暗く、望遠鏡での観測が難しいため、クエーサーの吸収線系により同定される。先行研究では、Sloan Digital Sky Survey(SDSS) の銀河カタログとクエーサーの吸収線系を用いて銀河と MgII 吸収線系の相関関数が調べられた。しかし、SDSS の銀河カタログは浅いため、その研究は $z\sim 0.5$ に限られていた。そこで、本研究では、現在進行中のすばる Hyper Supreme-Cam(HSC) による深い銀河サーベイの結果を用いて、銀河と MgII 吸収線系の相関を調べた。その結果、 $z=0.5-1.5$ で銀河-MgII 吸収線系の相関を十分な統計精度で見ること成功した。そして、銀河-MgII 吸収線関係の赤方偏移進化や物理量（銀河の光度や種類など）への依存性を議論したので、その結果について本講演で発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a 渦状腕の重力不安定理論 I: 不安定性パラメータと分裂不安定条件

井上 茂樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構 / 東京大学), 吉田 直紀 (東京大学)

本研究では、銀河渦状腕の重力不安定について議論する。高赤方偏移宇宙で主に観測されるクランプ構造を持つ円盤銀河の形態を説明するために、我々は銀河渦状腕が重力不安定によって分裂し、クランプを形成するのではないかという仮説を検証する。

線形摂動理論を用いて、渦状腕に沿って伝搬する摂動波の重力不安定性について調べ、解析的に不安定性パラメータを定義し、その不安定条件を導出することができた。また、それを星とガスから成る2成分系モデルへ拡張した。この摂動解析を試験するために、我々は簡単な等温ガスを仮定した孤立系円盤銀河シミュレーションを行い、そのデータに摂動解析を適応した。その結果、我々の線形解析から得られた不安定条件はかなり正確で、条件を満たした場合のみ、渦状腕は重力不安定によって分裂するということがわかった。この結果は、 N 体のみの円盤系や異なったポテンシャル形状の円盤銀河系のシミュレーションでも成り立っていることを確認した。分裂した渦状腕はクランプ構造を作るが、腕に沿った1次元の崩壊によってクランプを形成するため、その質量は、(腕の表面密度) \times (腕の幅) \times (不安定摂動の波長) として見積もられる。シミュレーション中で形成したクランプの質量も、この線形解析の理論予測によく一致するものであった。

同講演者による同セッションの b 講演「渦状腕の重力不安定理論 II: 渦状腕分裂によるクランプ形成」において、我々の渦状腕分裂 (Spiral-Arm Instability: SAI) モデルに基づく高赤方偏移の円盤銀河形成シナリオについて議論する。

なお、本講演の内容は、arXiv:1706.01895 にて論文としてまとめられている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14b 渦状腕の重力不安定理論 II: 渦状腕分裂によるクランプ形成

井上 茂樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構 / 東京大学), 吉田 直紀 (東京大学)

本公演の内容は、同講演者による同セッションの a 講演「渦状腕の重力不安定理論 I: 不安定性パラメータと分裂不安定条件」において発表される結果に基づいている。

高赤方偏移の宇宙で主に観測されているクランプ構造を保持した銀河を説明する形成・進化モデルとして、従来はトゥームレ不安定に基づく「Violent Disc Instability モデル」(VDI モデル) が広く受け入れられてきた。しかし、同様にトゥームレ不安定の結果ともいわれている渦状腕とはなぜ異なっているのかなど、説明できない点もあった。本研究では、こうした円盤銀河のクランプ構造の新たな形成モデルとして、渦状腕の分裂によってクランプが形成するとする、「Spiral-Arm Instability モデル」(SAI モデル) を新たに提案する。

銀河渦状腕の重力不安定解析の結果から得られた分散関係と不安定条件を用いて、我々は渦状腕分裂不安定によって形成するクランプ構造の物理量のスケールリング則を求め、それらと観測データを比較した。クランプのサイズ、速度分散、円盤半径、回転速度の間のスケールリング則については、VDI モデルと SAI モデルではほんのわずかな差しかなく、どちらのモデルも観測と矛盾しない。しかし、クランプと円盤の質量比については、SAI モデルが円盤半径への依存性とガス量への弱い依存性を示すのに対し、VDI モデルはガス量への強い依存性を示し、円盤半径に依存しない。観測との比較では、SAI モデルの方が VDI モデルよりも良い一致を示したが、まだ観測サンプルも非常に小さく、有意な判定ができたとは言えない。しかし、本研究の結果から、SAI モデルも高赤方偏移宇宙の円盤銀河におけるクランプ構造の形成シナリオとして十分にあり得る物理的メカニズムであると言える。

なお、本講演の内容は、arXiv:1706.01895 にて論文としてまとめられている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15b Dynamics of a compact relic galaxy at $z=0.5$ explored by optical integral field spectroscopy with Subaru/Kyoto 3DII + AO188

満田和真, 土居守, 諸隈智貴, 酒向重行, 菅井肇, 下農淳司 (東京大学), 小久保充 (東北大学), 尾崎忍夫, 美濃和陽典, 服部堯, 早野裕, 松林和也 (国立天文台), Alan Stockton (Univ. of Hawaii)

Recent studies have found that massive early-type galaxies (ETGs) at high redshifts ($z > 2$) are much more compact than in the local universe suggesting that local massive ETGs are assembled from compact ancestors. Dynamics of the high-redshift compact ETGs (cETGs) provide further constraints on the evolution of massive ETGs which have slow rotation in the local universe. However, there is little knowledge about the dynamics of high-redshift ETGs because of difficulties in obtaining stellar kinematics. Compact relic galaxies (CRGs) at lower redshifts provide us opportunities for detailed studies. CRGs are as compact as cETGs and have old stellar population, indicating that they are survivors of high-redshift cETGs. Although CRGs are extremely rare, recent studies have found six CRGs at $z \sim 0.5$. In this study, we report the dynamical property of one of the six CRGs, SDSS J134412.30+010906.6 ($z = 0.532$). We carried out optical integral field spectroscopy (IFS) using Subaru/Kyoto 3DII + AO188. From the IFS data, stellar velocity and velocity dispersion fields are derived. The velocity field shows a tentative sign of rotation with the projected rotation velocity of ~ 80 km/s. The angular momentum and ellipticity of the target are consistent with fast rotation, which implies that high-redshift cETGs may be rotating. Our result implies that massive ETGs in the local universe have experienced dynamical evolution from fast to slow rotation if they are assembled from high-redshift cETGs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16b $z_{phot} \leq 1.0$ における銀河の軸比分布とその進化

佐藤佑樹, 鍛冶澤賢, 坂東卓弥, 樋本一晴

銀河の軸比を統計的に見ることで、銀河の三次元での形の分布を推定することが出来る。先行研究により、円盤銀河をランダムな方向から見た時の軸比分布は平坦な形をとり、楕円体状の銀河をランダムな方向から見たときは $B/A \sim 0.8$ をピークとする山型をとることが分かっている (Padilla & Strauss, 2008, MNRAS, 388, 1321)。Takeuchi et al. (2015, ApJ, 801, 2) では、この方法を $0.5 \leq z_{phot} \leq 2.5$ の遠方銀河に適用し、丸い円盤銀河が $z_{phot} \sim 0.85$ 付近で出現し始めることを明らかにしている。しかし、 $z_{phot} \leq 1.0$ における銀河の軸比分布の進化については詳しく調べられていない。また、星形成活動や星質量別の軸比分布の進化についても同様である。本研究は、 $z_{phot} \leq 1.0$ における銀河の見かけの軸比分布を星形成活動や星質量別に求めることで、星形成史や星質量集積史と銀河形状の関係を明らかにすることを目的としたものである。

本研究では、COSMOS 領域の、 $0.2 \leq z_{phot} \leq 1.0$, $M_V \leq -20$, $M_{star} > 10^9 M_\odot$ の銀河をサンプル天体とし、その軸比を HST/ACS データを用いて測定した。また、 $sSFR > 10^{-10} [\text{yr}^{-1}]$ を star-forming 銀河、 $sSFR < 10^{-10} [\text{yr}^{-1}]$ を passive 銀河と定義し、それぞれについて軸比分布の進化を調べた。その結果、passive 銀河は $B/A \sim 0.8$ をピークとする山型の分布が確認され、star-formation 銀河は平坦な分布が確認された。さらにそれぞれの進化を見てみると、star-forming 銀河の軸比分布はほとんど変化を示さないのに対して、passive 銀河では $0.6 \leq z_{phot} \leq 1.0$ から $0.2 \leq z_{phot} \leq 0.6$ になるとよりフラットな銀河の割合が大きく増加することが分かった。さらに passive 銀河を質量別に見てみると、 $M_{star} > 10^{11} M_\odot$ の銀河集団では軸比分布はほとんど変化せず、 $10^{10} M_\odot \leq M_{star} \leq 10^{11} M_\odot$ の範囲で軸比分布が大きく変化していることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X17a Blue Horizontal-Branch 星に基づく銀河系恒星ハローの構造の解明

福島徹也, 千葉柁司, 本間大輔, 田中幹人 (東北大学), 岡本桜子 (上海天文台), 小宮山裕, 田中賢幸 (国立天文台)

銀河系ハローには古い星が多く、銀河系形成時の動力学情報を保存していることから、これらの星の空間分布・力学情報を得ることは銀河形成の研究において非常に重要である。本研究では、すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた戦略枠プログラムのデータの中から、青色水平分枝星 (BHB) をその測光的特長から取り出し、銀河系中心から約 300 キロパーセックのハローの端に及ぶ銀河系ハローの構造を明らかにするのが目標である。BHB 星は絶対等級が明るいことと距離の評価が容易であることから、ハローの構造を決定する上で大変優れたトレーサーである。BHB の抽出には、たとえば SDSS で行われたように、 $u - g$ vs $g - r$ の 2 色図を用いバルマー線の違いを反映した方法を取ることが多いが、今回用いた HSC のデータには u -band がないので、 z -band におけるパッシェン系列の違いにより BHB を選択する。その際、HSC と SDSS のデータをクロスマッチして一致した天体を基準として、HSC のフィルターシステムを用いた新たな BHB の選択条件を決めた。

本研究では、ハローの構造を動径方向にべき乗 (べき α) の形を持つ密度分布で、軸対称で一定の軸比 (q) をもつ関数形を採用した。そして、今回の新たな方法により選ばれた BHB に対して最尤法を用い、パラメータ α と q を推定した。その結果、ハローの全体構造は一般にプロレート状であるが、いて座矮小銀河による恒星ストリーム (Sgr stream) が卓越した観測領域を除外すると、ハローの構造はオブレート状であることが分かった。また、動径方向の密度分布も一定の特長があり、これらは銀河系ハローの形成過程を反映したものと考えられる。

銀河系ハローのより詳しい構造やその意味について、年会で発表する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X18a $z=2.5$ の銀河で発見された高速回転するスターバーストコア

但木謙一, 児玉忠恭 (東北大学), E. J. Nelson, S. Belli, N. M. Foerster Schreiber, R. Genzel, R. Herrera-Camus, D. Lutz, L. J. Tacconi, H. Uebler, E. Wisnioski, M. Lippa (MPE), 林将央, 小山佑世, 嶋川理澄, 中西康一郎, 鈴木智子, 田中壱 (国立天文台), P. Lang (MPIA), S. Wuyts (Univ. of Bath), 五十嵐創 (Univ. of Groningen), 廿日出文洋, 河野孝太郎, 田村陽一 (東京大学)

現在の宇宙における最も重い銀河では、星形成活動が弱く、楕円型の形態をしており、顕著な回転運動は見られない。その一方で星形成銀河はいつの時代も円盤型で、回転運動が卓越している。遠方宇宙において銀河が (1) どのように星形成活動を止め、(2) 形態を変化させ、(3) 角運動量を失ったのかという3つの疑問を全て説明できたとき、我々は銀河進化の全容を理解したと言えるかもしれない。

我々はすばる望遠鏡の広視野観測によって同定した $z = 2.19$ または $z = 2.53$ にある最も重い星形成銀河を ALMA 望遠鏡を用いて観測し、ダストの連続光放射が有効半径 1-2 kpc のコンパクトな領域に中心集中していることを明らかにした。すでにできた星の空間分布は円盤型で 3-5 kpc と広がっていることから、まさに楕円球 (バルジ) 成分が形成しつつある現場を捉えたと考えられる。さらに CO(3-2) 輝線のフォローアップ観測を行った結果、これらのコンパクトなスターバーストコアに付随する分子ガスが高速回転しており、回転が卓越した運動を示していることがわかった。今回観測した天体は $z = 2.5$ の時代ですでに星質量が $\log(M_*/M_\odot) > 11.2$ を超えている最も重い銀河であることから、 $z = 0$ では速度分散が卓越する slow rotator へと進化する可能性が高い。これまでの全ての結果を観測説明するためには、銀河は $z \sim 2$ の時代にコンパクトなスターバーストによって形態を円盤型から楕円型へ変化し、星形成活動を止め、その後長い時間をかけて角運動量を失っていったと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a すばる AO 近赤外線撮像による、 $z = 4$ までの大質量早期型銀河のサイズ進化

久保真理子、田中賢幸 (国立天文台)、矢部清人 (東京大学)、Sune Toft、Mikkel Stockmann (Dark Cosmology Centre, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen)

近年の近赤外線深撮像探査によって、100 億年を超える遠方宇宙に現在の大質量早期型銀河のような星形成が不活発な大質量銀河が発見されてきた。これらは現在の大質量早期型銀河の祖先の一つと考えられているが、 $10^{11} M_{\odot}$ 程の大星質量を持つ一方で、ハッブル宇宙望遠鏡による高分解能近赤外線深撮像から現在の大質量早期型銀河に比べて非常にコンパクトだったことが判っている。一方で赤方偏移 $z > 2.5$ を超える遠方銀河の星成分を観測するにはハッブル宇宙望遠鏡の観測波長帯は短く、より遠方の、特に星形成が不活発な赤い銀河の形態は明らかになっていなかった。

本講演では、地上補償光学 K バンド撮像による $z \sim 4$ の星形成が不活発な大質量銀河の形態の観測結果について議論する。SXDS 領域の多波長深撮像観測データを用いた Spectral Energy Distribution (SED) フィットに基づく photometric redshift から $z \sim 4$ の星形成が不活発な大質量銀河を選び、明るい ($K \sim 22$ in AB, 星質量 $10^{11} \sim 10^{11.5} M_{\odot}$ 程) 5 天体について、すばる望遠鏡補償光学システム AO188 を用いた K バンド高分解能撮像観測を行った。FWHM PSF = 0.15 ~ 0.23 秒の分解能を達成し、ターゲット全てが有効半径 $r_e = 0.5 - 2$ kpc 程のコンパクトな銀河であることが判った。ハッブル宇宙望遠鏡 ($z < 2.5$)、すばる補償光学 K バンド撮像 ($z \sim 3$) による先行研究の結果との比較から、これらの星質量 $10^{11} \sim 10^{11.5} M_{\odot}$ の最も大質量な早期型銀河的な銀河について、先行研究で提案されていた $r_e \propto (1+z)^{-\beta}$ ($\beta \sim 1.5$) のサイズ進化が $z \sim 4$ まで続くことを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20a 矮小銀河ダークマターハローの普遍的性質

林航平 (KIAA-PKU/Kavli IPMU), 石山智明 (千葉大学), 扇谷豪 (Observatoire de la Côte d'Azur), 千葉柁司 (東北大学), 井上茂樹 (Kavli IPMU), 森正夫 (筑波大学)

Cold dark matter 理論 (以下、CDM 理論) は、矮小銀河スケールではダークマター中心密度構造が観測を再現できない (カスプ問題) などの問題が残存している。これらの解決には超新星爆発などのフィードバック機構が最有力だと考えられている。しかしこれらバリオン物理への理解は不完全であり、十分に再現できていない観測事実も数多くあるため、バリオン物理に依存しない、ダークマターハローの観測と理論の直接比較が理想的である。一方でフィードバックが起きるのは主に星形成領域であり、それはダークマターハローのごく中心部であると考えられる。そこで本研究ではフィードバックの影響が小さい領域であるダークマターハローの最大回転速度に対応する半径に注目した。またその半径以内のダークマターハロー平均面密度を定義し、矮小銀河に対してその面密度の計算を行った。この面密度はダークマターシミュレーションと直接比較できるだけでなく、ダークマターハローの中心密度とスケール長さの縮退を打ち消す物理量であるため、その不定性を軽減できる利点を持つ。

高解像度ダークマターシミュレーションを用いて観測から得られるダークマターハロー平均面密度の比較を行った結果、両者は非常によく一致していることがわかった。よってこの面密度は、実際にバリオンの影響を受けない物理量であり、さらに CDM 理論が小質量ダークマターハロースケールでも観測を再現可能である事を示した。またダークマターハロー面密度と最大回転速度との関係には、その質量や環境効果に依らず普遍的な性質を持つことが明らかになった。これはダークマターハローがこの関係上で力学的に安定している事を示し、その力学進化の理解に重要な物理量となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X21a 主成分分析を用いた矮小銀河サイズのダークマターサブハローの性質解析

金城和樹 (千葉大学), 石山智明 (千葉大学)

現在, 我々の銀河系において約 40 個の矮小銀河が観測されているが, これらの形成進化や銀河系形成史との関係は十分に解明されていない. 矮小銀河はサブハローと呼ばれるダークマターの局所密度が高いシステムに所属する. そのため, 銀河の形成や進化がそれらをホストするハローの性質に依存するのと同様に, 矮小銀河の形成にはサブハローの性質が重要であると考えられている. そこで, 本研究では矮小銀河の形成や進化を理解するために, 銀河系サイズハローに存在するサブハローの性質を統計的に調べた. まず, ボックスサイズ $32\text{Mpc}/h$, 質量分解能 $3.28 \times 10^5 M_\odot/h$ の高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションから, $z = 0$ において銀河系程度の質量を持つハローの中に存在するサブハローを抽出し, 質量, 質量の中心集中度, 真球度, スピンパラメータ, 親ハローの半径内に入った時の赤方偏移, 親ハローに対する接線方向速度, 相対距離などの多数の特徴をそれぞれパラメータ化した. そして, これらのパラメータを基に主成分分析法により導出した主成分軸と各パラメータ間の相関を調べた.

その結果, 寄与率の大きい 2 つの主要な主成分軸が存在した. 第一主成分軸は全体の約 3 割程度の情報を保有し, 質量の中心集中度, 真球度, スピンパラメータなどのハローの内部構造を記述するパラメータと比較的相関が強い. 一方, 約 2 割程度の情報を保有する第二主成分軸は親ハローの半径内に入った時の赤方偏移, 親ハローに対する接線方向速度, 相対距離などのサブハローの進化を記述するパラメータと比較的強い相関を示す. この第二主成分軸は親ハローのみの主成分分析を行った Jesson-Daniel et al.(2011) では見られなかった特徴を持つ軸で, サブハローに特有の性質をよく表現している. 本講演では解析の詳細やサブハローの性質の傾向を報告するとともに, 矮小銀河や銀河系の形成史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](#)

X22a 合体シミュレーションによる小スケールハローの内部構造の進化

佐々木拓洋 (千葉大学), 石山智明 (千葉大学)

ダークマターハローの構造は銀河の形成、進化に影響を与える。更にダークマター検出の手がかりである地球近傍を通過するダークマターのフラックスは局所密度に比例するため、ハローの構造の解明は重要な課題である。

これまでハローはその質量スケールに関わらず密度構造が中心部では半径の -1 乗、外側では -3 乗程度に比例すると考えられていた。しかし、解像度が向上した最近のシミュレーションに基づくと、物理的な最小スケール付近のハローの密度構造は密度カスプが -1.5 乗から -1.3 乗と大スケールのハローに比べて鋭く、合体を繰り返すことによって -1 の冪に近づいていくことが分かってきた。

このような進化が起こる物理的なメカニズムを明らかにするため、球対称な密度構造と等方的な速度構造を持つ理想化されたハローを用いた合体シミュレーションによる研究が行われている (Ogiya et al. 2016)。しかし実際のハローは理想化されたものではなく、実際の環境に近いシミュレーションを実行しその差を確認する必要がある。本研究では宇宙論的 N 体シミュレーションで生成されたハローを初期条件とし、合体の軌道パラメータを系統的に変えた N 体シミュレーションを行い、ハロー構造の進化を調べた。その結果、最小スケール付近で中心密度の高い構造を持つハローは合体によって中心部の密度が合体前のハローの2倍にならず、密度カスプが緩やかになるという結果が得られた。これは大スケールのハローは合体を経ても構造が保存するという結果と対照的であり、宇宙論的シミュレーションや理想化されたシミュレーションに基づく研究と一致する。また、合体の軌道パラメータによって中心部の密度は約1.4倍程度異なり、密度カスプの冪にも違いが見られた。本講演では、これらのシミュレーション結果の詳細について報告し、構造進化の物理的メカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X23a Stellar to Halo Mass Ratio and Baryon Conversion Efficiency of LAEs at $z \sim 2$

日下部晴香¹, 嶋作一大¹, 中島王彦², 大内正己¹, 後藤亮介⁴, 橋本拓也³, 今野彰¹, 播金優一¹, 小野 宜昭¹, 1: 東京大学, 2: ESO, 3: 大阪産業大学, 4: VASILY, Inc.

遠方の小質量銀河とされる Ly α 輝線銀河 (LAEs) は、普通の星形成銀河と同様の物理的性質をもつのであろうか。先行研究により、 $z \sim 2$ の LAEs は Star Formation Main Sequence (SFMS) にのり、星種族の性質も普通の星形成銀河と似ていることが明らかとなりつつある (e.g., Kusakabe et al. 2015; Shimakawa et al. 2017)。しかし、銀河進化において重要なダークマターハロー (DH) 質量は、見積もりの精度が不十分なため、Behroozi et al. 2013 (B13) らによる平均的な DH 質量と Stellar to Halo Mass Ratio (SHMR) や Baryon Conversion Efficiency (BCE \equiv SFR/ baryon accretion rate) の関係との信頼性の高い比較はなされていない。これまで我々は、SXDS 領域の LAEs を中心に扱っていたが (2016 年秋季 年会 X32b)、本研究では新たに 3 領域を加え、同じ $z \sim 2$ での先行研究である Guaita et al. に比べて広さで約 3 倍 (1 平方度)、天体数で約 5 倍 (1250 天体) のサンプルを確保し、DH と星種族の性質を調べた。clustering 解析の結果、LAEs の平均 DH 質量として $M_h \sim 3.4_{-2.5}^{+4.5} \times 10^{10} M_\odot$ が得られた。Guaita et al. 2010 が 0.3 平方度のサンプルから得た数倍重い値は、cosmic variance の影響を大きく受けている可能性がある。SED fitting の結果、LAEs は平均的に $M_* \sim 1 \times 10^9 M_\odot$ 、 $SFR \sim 3 M_\odot \text{yr}^{-1}$ の SFMS 銀河であることが確認された。SHMR も BCE も平均的星形成銀河よりも高い値が得られたことから、LAEs は過去も現在も相対的に高い効率で星を形成していると考えられる。本講演では、銀河形成の理論モデルとも比較して、SFMS 銀河でありながら 高い星形成効率を実現するメカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24a The Galaxy–Halo Connection in High-redshift Universe

石川将吾、柏川伸成（国立天文台）、利川潤（東京大学）、田中賢幸、浜名崇、新納悠、市川幸平（国立天文台）、内山久和（総合研究大学院大学）

ΛCDM 宇宙モデルによると、銀河はダークマターの塊であるダークハローの内部で形成されて進化することが予言されている。そのため、銀河進化を研究する上で様々な銀河種族の属するダークハローの性質を明らかにすることは極めて重要である。本講演では、高赤方偏移宇宙に存在するライマンブレイク銀河（以下、LBG）とそれらの属するダークハローの関係について報告する（Ishikawa et al. 2017, ApJ, 841, 8）。

我々は赤方偏移 3, 4, 5 に存在する LBG の大規模サンプルを構築し（Toshikawa et al. 2016, ApJ, 826, 114）、SED フィッティング法（Tanaka 2015, ApJ, 801, 26）などを適用することで各 LBG の星質量を推定した。推定された星質量を元に LBG サンプルをサブサンプルに分割してクラスタリング解析を行った。得られた二体角度相関関数（以下、ACF）は明らかな星質量依存性を示し、またサンプル数が多いため広い角度スケールで S/N 比の高い ACF が得られたことにより、小スケールでのべきの超過（1 ハロー項）も確認された。我々は得られた高精度な ACF に対して halo occupation distribution モデルを適用し、LBG を有するダークハローの詳細な性質について調べた。その結果、赤方偏移 3 から 5 にかけて存在する LBG は $10^{11.7} - 10^{12.8} h^{-1} M_{\odot}$ 程度の質量を持つダークハロー内に存在し、また赤方偏移 2 よりも近傍での結果（McCracken et al. 2015, MNRAS, 449, 901; Ishikawa et al. in prep.）と比較すると衛星銀河が極めて少ないことが明らかになった。さらに星・ダークハロー質量比を計算したところ、数値シミュレーションによるモデル予測（Behroozi et al. 2013, ApJ, 770, 57）と極めて高い精度で一致することが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25a 超重ブラックホールの形成と銀河形成

森川雅博（お茶大・理）, 中道晶香（京産大・神山天文台）, 高橋さくら（お茶大・理）

$z=6-7$ の早い時期に 10^{7-9} 太陽質量の超重ブラックホールがたくさん観測されてきている。これらのブラックホールは、星やガスなど通常のバリオン凝集からは形成に時間がかかりすぎるといふ困難も、様々な研究から明らかになりつつある。

この講演では、バリオンを介さずに超重ブラックホールが速く直接作られるというシナリオを提案する。このために、暗黒物質あるいは暗黒エネルギーを構成するコヒーレントなスカラー場が重力崩壊するモデルを考察する。まず一般相対論的な線形解析から、膨張宇宙において崩壊の不安定性を導く。非線形領域ではニュートン重力を考え、コヒーレントな場に対するグロスピタエフスキー方程式をポアソン方程式とともにガウス近似で解く。物質がシュバルツシルト半径に入ればブラックホールが形成したと簡便に判定する。多体の凝集ではないし、通常物質のような圧力も存在しないので、ブラックホール自身は短時間に形成される。等方的な場合、楕円体形状の場合など様々な崩壊形態を計算して、観測と比較する。特に、銀河ハローの暗黒物質と形成するブラックホールの質量の相関を導く。これは銀河スケールに依存することがわかる。

この超重ブラックホールがジェットやアウトフローなどの活動性を通して、その周囲に星や銀河を作っていく基本的な過程も、簡単なモデルと数値計算を通して明らかにする。特に、合体・衝突に寄らずに、銀河の様々な形態が生成されることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26a 銀河のダウンサイジング – ブラックホールが先にできるとー

中道晶香 (京産大・神山天文台), 森川雅博 (お茶大・理)

大きな銀河の方が早い時期に形成されたと考えられる観測結果が多く存在するが、通常の冷たいダークマターモデルによるボトムアップ構造形成のシナリオと矛盾する。そこで、ダークマターの量子凝縮により、超巨大質量ブラックホール (SMBH) が銀河より早く $z = 10 - 20$ 頃に形成されたと仮定し、SMBH からのジェットが星形成を促進し、銀河を形成していくシナリオを提案する。

2016 年秋の年会では、SMBH がジェットの周辺に爆発的に星形成し、その一部が落下して銀河を作るシミュレーションを行い、星形成率と降着率の両方とも大きい場合は楕円銀河が形成され、降着率が小さい場合はレンズ銀河、星形成率が小さい場合は渦巻銀河が形成されることを示した。

本講演では、ジェットが星形成へ与えるフィードバックを計算した結果を報告する。銀河が形成されるタイムスケールを見積ったところ、大きなサイズの銀河ほど早く形成される結果となる。さらに、楕円銀河の方が渦巻銀河より先に形成された。これは我々のモデルに特有な非常に一般的な帰結であり、銀河のダウンサイジングの観測結果と矛盾しない。観測面を強調して、銀河の合体成長モデルとの対比を鮮明に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27a マージャープロセスにおけるブラックホールへの質量降着

川口雄大, 和田桂一 (鹿児島大学)

銀河の衝突・合体はスターバースト核の発生をトリガーすると考えられている。合体する銀河の質量比が大きく、母銀河と衛星銀河がともに大質量ブラックホール (SMBH) を持つ場合、連星ブラックホールが形成されることでガス円盤のダイナミクスに大きな影響を及ぼし、激しい星形成とブラックホール (BH) への質量降着を起こすことが指摘されている (Taniguchi & Wada 1996)。

一方、高赤方偏移 quasar で SMBH がすでに形成されていることから、非常に大きな質量降着率が SMBH 形成に不可欠であると考えられている。しかし、銀河合体時にガスが銀河中心領域に降着したとしても、すべてが BH の成長に寄与するわけではない。一部は星になり、一部はアウトフローで失われるであろう。このようなマージャープロセスによる BH 成長モデルは銀河形成シミュレーションには入っているが、これまでのシミュレーションでは銀河中心領域の分解能がなく、BH 近傍の降着プロセスを明らかにすることができていない。そこでマージャープロセスのみを取り出した高分解能計算により、マージャーにより銀河中心部に星+ガス+BH が持ち込まれた時に銀河の BH の成長にそれらがどのように寄与するかについて議論する。計算には N-body SPH コード ASURA を用いて、母銀河 (BH+Stellar System) へ衛星銀河 (BH+Gas+Stellar System) を落とすシミュレーションを行い、ブラックホールへの質量降着及び、BH 周辺のガスの分布について調べた。その結果、BH への降着率の上昇が見られ、さらに BH 周辺への大きなガスの供給が見られた。講演では、マージャーの回数やパラメータ、吸い込み半径などで結果にどのような影響を及ぼす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](#)

X28a ダストに覆われた巨大ブラックホールの成長過程

矢島秀伸 (東北大学), Massimo Ricotti (University of Maryland), KwangHo Park (Georgia Tech),
杉村和幸 (東北大学)

近年の観測により、初期宇宙のクエーサー周辺には大量のダストが存在していることが示唆されている。したがって、初期宇宙の大質量ブラックホールの成長を理解する上で、ダストの影響を考えることは必要不可欠である。先行研究では、初代星起源のブラックホール成長において、ダストを含まない始原ガスの降着過程が輻射流体計算により調べられてきた。始原ガス内では、電離加熱によるフィードバックによって降着率は著しく低下する事が示唆されている。その後、星形成が進むにつれブラックホール周辺にもダストが存在するようになる。ダストが存在すると、電離光子の吸収により電離加熱フィードバックは抑制されるが、その一方で、ダストへの輻射圧によってガス降着は妨げられる可能性がある。我々は一次元球対称輻射流体計算により、ダストを含んだガス雲内でのブラックホール成長過程を調べた。結果として、ダストを考えた場合、始原ガスに比べ輻射圧の影響で降着率は1桁程度小さくなることが分かった。また、ダストによって降着過程の時間変動は抑制され、電離バブルの大きさも時間変化しないことが示された。本講演では、これらの結果とともに、ダストからの赤外線再放射スペクトルを使ったエディントン比の推定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](#)

X29a 北黄極ディープサーベイ領域の Dust Obscured Galaxies は活動的銀河核と共進化中のスターバーストか？

松原英雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), 宮地崇光 (UNAM), 大井渚 (関西学院大), 後藤友嗣 (国立清華大), 他 NEP 多波長ディープサーベイチーム

70~100 億年前の激動期宇宙において、銀河の星形成活動と活動的銀河核 (AGN) はどのような関係にあったのか？この研究の上で、 $f_{\nu}(24)/f_{\nu}(R) \geq 1000$ ($f_{\nu}(24)$, $f_{\nu}(R)$ はそれぞれ $24 \mu\text{m}$, R バンドでのフラックス) で定義される Dust Obscured Galaxies (DOGs) は、この研究に適した種族として注目されてきた。我々は 2015 年秋季年会において、北黄極領域の DOGs について静止系紫外~遠赤外線のスpekトルエネルギー分布 (SED) から AGN も考慮した SED 進化モデルでフィットして得られた、星質量・星形成率・ダスト減光等の物理量について報告した。本発表では、 $0.5 \leq z \leq 2.5$ の DOGs 43 天体 (内 Bump DOGs が 26、Power-Law DOGs が 17) について、平均的な静止系 SED の導出と、X 線光度を調べた結果を報告する。

まず超高光度 ($L_{\text{IR}} = 10^{12} L_{\odot}$ 台) の Power-Law DOGs と Bump DOGs の平均的静止系 SED は中間赤外で大きく異なり、前者にダストトランス放射の存在が示唆される。一方高光度 ($L_{\text{IR}} = 10^{11} L_{\odot}$ 台) DOG では、その差が比較的小さい。超高光度 DOG の遠赤外光度は、Power-Law と Bump による違いはなく、sSFR (星形成率と星質量の比) ではむしろ Power-Law の方が Bump よりも大きい。次に AGN の存在の検証のために、X 線源カタログ (Krumpe et al. 2015) を調べたところ、X 線検出率は Power-Law が 42 %、Bump は 5 %であった (すべて超高光度 DOG)。X 線光度と遠赤外光度の比は Obscured AGN の期待値に等しい。以上から超高光度の Power-Law DOGs では活発な星形成と AGN 活動が共進化中にあると結論される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X30a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた中間赤外線で明るい Dust-Obscured Galaxies の可視光線の性質の調査

登口暁, 長尾透 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 仁井田真奈, 松岡良樹, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 尾上匡房 (総研大)

本講演では中間赤外線の明るさが可視光線の明るさの1000倍以上である Dust-Obscured Galaxies (DOGs) の可視光線の性質について報告する。母銀河と銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBHs) の共進化を理解する上で DOGs は共進化シナリオの急成長段階に位置すると考えられ、近年注目されているが、こういった性質を持つ銀河種族であるかは理解が進んでいない。本研究では DOGs の rest-UV/optical の性質について調べるべく、Toba et al. (2015) の選出方法を基にし、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC, 可視光線) のすばる戦略枠観測で取得した最新データと VIKING (近赤外線) の最新のデータと WISE (中間赤外線) のデータを用いて、DOGs を $\sim 53 \text{ deg}^2$ で 427 天体選出した。可視光線における $(g-z)$ のヒストグラムを調べると、一般的な天体に対して DOGs は相対的に赤い天体であるだけでなく、大きな分散を示すことがわかった。このヒストグラム上では $(g-z)$ の値の小さい側に Active Galactic Nuclei (AGN) による放射が支配的で power-law な SED を示す AGN-dominated DOGs があつまっており、 $(g-z)$ の値の大きい側には Star Formation (SF) による放射が支配的で SED 上の rest- $1.6 \mu\text{m}$ に bump 構造を示す SF-dominated DOGs が見られた。この結果から、進化が進むにつれて星形成に起因する連続光放射よりも AGN に起因する連続光放射の方が相対的に強くなり、SF-dominated DOGs の SED 上に見られていた bump 構造が AGN-dominated DOGs の SED 上では見えにくくなるのが原因で $(g-z)$ の値が小さい側に AGN-dominated DOGs が集まるというシナリオが考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31a “radio mode” AGN feedback が銀河の速度分散と年齢の関係に与える影響

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 川口 俊宏 (尾道市立大学), 石山 智明 (千葉大学)

AGN feedback は, Supernovae feedback が効かない重い銀河について, 星形成の抑制機構として重要だと考えられている. しかし AGN feedback が銀河成長に影響を与えているという観測的な証拠はあまりない. Martín-Navarro et al. (2016) は近傍銀河の可視光スペクトルサンプルをもとに, 銀河中心の超大質量ブラックホール (SMBH) 質量が銀河の速度分散に対して大きな系ほど銀河の年齢が系統的に古いことを指摘した. 彼らは, これが AGN feedback が銀河成長に影響を与えている証拠であると主張している.

我々は, Martín-Navarro et al. (2016) の主張を理論的に検証するため, 準解析的銀河形成モデルを用いて, 銀河の年齢と速度分散, SMBH 質量の関係性を調べた. モデルでは, 重い銀河に対する AGN feedback の影響を調べるため “radio mode” の AGN feedback モデル (Bower et al. 2006) を用いた. 我々は radio mode AGN feedback を考慮したモデルと考慮しないモデル結果の比較を行った. その結果, radio mode AGN feedback の効果で, “SMBH 質量が速度分散に対して大きな銀河ほど年齢が古い” という傾向が説明できることがわかった. ただし銀河年齢と速度分散, SMBH 質量の関係性は, 銀河の選出条件に大きく依存する. 本発表では, 銀河の選出条件を変えた場合の結果も示す.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32a HSC サーベイによる 赤方偏移 0.6–3.0 における AGN 周辺銀河の特性

白崎裕治 (国立天文台), 秋山正幸 (東北大学), 長尾透 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 何晚秋 (東北大学), 大石雅寿, 水本好彦, 宮崎聡 (国立天文台), 西澤淳 (名古屋大学), 白田知史 (国立天文台)

質量が $10^5 M_{\odot}$ を越える超大質量ブラックホール (SMBH) は、ほぼすべての銀河の中心部に存在することが明らかになってきている。SMBH がどのようにしてその質量を獲得してきたのかについてはいくつかモデルが提唱されている。銀河円盤やバー構造の不安定性にもとづく内部起源モデル、銀河同士の合体や近傍銀河との相互作用による外部起源モデル、銀河を取り巻くハローからのガス降着モデル等である。いずれのモデルによる機構も SMBH の成長の一過程において多かれ少なかれ寄与していることが観測より明らかになってきているが、質量が $10^9 M_{\odot}$ を越える最大質量ブラックホールの形成には内部起源モデルでは説明が難しく、周辺銀河等との相互作用が主要な要因ではないかと考えられる。そこで、BH 質量が推定されている AGN についてその周辺銀河の数密度分布、カラー分布、絶対光度分布を求め、その BH 質量依存性を導き出すことにより、周辺銀河との相互作用が BH の成長に関与しているのかを調査した。解析は、赤方偏移が 0.6 から 3.0 の AGN のうち BH 質量が推定された約 5000 個のサンプルと、HSC SSP Survey S15b のデータセットから選び出した銀河サンプルを利用して行われた。その結果、AGN 周辺の銀河数密度については有意な BH 質量依存性は認められなかったが、赤い銀河の割合が BH の質量が大きいほど増加する傾向にあることが認められた。また、 L_* より明るい銀河数密度について平均値からの超過がみられ、高赤方偏移ほどその超過度が大きくなる結果が得られた。これらの結果は今回解析対象とした AGN は、数 Mpc にわたって銀河進化が急速に進行している環境にあることを示しており、その BH の成長はそうした環境と密接な関係にあることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33b 非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着

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 $z7$ 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おらず、ガスが重元素からなるダストを含み輻射圧によって降着が阻害されやすくなった場合について検証する必要がある。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たが、この計算は一次元球対称の下でしか行われていない。一方で、Sugimura et al. (2016) では2次元軸対称の計算により降着円盤からの輻射が非等方である場合にはブラックホールへの超臨界降着が実現されることが明らかにされている。そこで本研究では Sugimura et al. (2016) で行った2次元軸対称の輻射流体シミュレーションをダストの影響を考慮できるよう拡張し、非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着過程について調べる。本講演ではコード開発の現状と初期の結果について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34b 定量的指標による COSMOS 領域の $z=0.7-0.9$ の相互作用・合体銀河探査

樋本一晴, 鍛冶澤賢, 坂東卓弥, 佐藤佑樹 (愛媛大学)

銀河の合体は、形態の変化や星形成活動の誘発など、銀河の性質に変化をもたらすことが知られている。さらに、銀河の個数密度が高い遠方の銀河は、近傍の銀河より頻繁に合体现象が起こることが期待される。よって、遠方銀河の合体について調べることは銀河進化を理解するために重要である。合体銀河の選出方法の1つに定量的指標を用いる方法がある。先行研究では、非対称度 A や $M20$ などの指標が用いられてきた。一方、これらの指標を用いた研究では、銀河がどのような相互作用・合体の段階にあるのかについてはあまり注目されてこなかった。本研究では、どのような合体の段階にある銀河かの分類を行うために、銀河が1つの部分にまとまった形態なのか、複数の部分に分かれているのかという点に着目して、これを直接的に区別できる指標の開発を目指した。

新たに考案した指標は、中心表面輝度比 (Central Surface Brightness ratio : CSB) である。これは、輝度分布重心の表面輝度と、明るい方のピクセルから積算して全体の20%分の明るさを含む部分の平均表面輝度との比である。これにより、銀河が1つの部分にまとまった形態なのか、複数の部分に分かれているのを区別できることが期待される。本研究では、CSB と $A \cdot M20$ を組み合わせて、COSMOS 領域の $z = 0.7 - 0.9$, $M_V < -20(\text{mag})$ をもつ銀河 11,150 天体を対象に、HST/ACS データを用いて銀河形態を分類した。その結果、CSB が小さい領域には複数の部分に分かれている形態の銀河が分布し、CSB が大きくなるに従って明るい部分の間の距離が互いに縮まり、1つの部分にまとまった形態の銀河になることがわかった。さらに、分類された銀河と星形成活動の活発さを表す比星形成率 (sSFR) との関係を見ると、合体銀河の中で特定の CSB, A , $M20$ の値を持つ銀河が、特に sSFR の値が高くなるなど、指標により分類された形態と sSFR の値に関係性が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](#)

X35b $z=2.84$ の超高光度クエーサー周辺での銀河形成

菊田智史, 松田有一, 今西昌俊, 小宮山裕 (総合研究大学院大学/国立天文台)

高赤方偏移のクエーサーが存在する環境を探ることは銀河形成を解き明かす上で重要な知見を与える。まず第一に、そのような明るいクエーサー活動を駆動する超巨大ブラックホール (SMBH, $> 10^9 M_{\odot}$) が形成される条件に制限を与えられる。このような SMBH は銀河団の祖先である原始銀河団領域において銀河合体とそれに伴う大量のガス降着により形成されると考えられるが、そのような状況が必要か否かは決着がついていない (Kikuta et al., 2017, ApJ, 841, 128, and reference therein)。第二に、クエーサーの周囲に広がるガスが放射する $\text{Ly}\alpha$ 輝線をとらえることで通常の領域では探ることが難しい銀河周辺物質 (Circumgalactic Medium; CGM) および銀河間物質 (Intergalactic Medium; IGM) の分布を探ることができる。クエーサー周辺ではクエーサーの放射に水素ガスが照らされることで明るく輝くため、既存の背景光源のスペクトル中の吸収線を利用した観測では得られない情報を引き出せる可能性がある (Cantalupo et al., 2014, Nature, 506, 63)。

本研究では $z = 2.84$ に存在する超高光度クエーサー (Hyperluminous QSO) HS1549+1919 を中心とした非常に広い領域 (視野直径 1.5 度) をすばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) で観測した結果について報告する。観測は $z = 2.84$ からの $\text{Ly}\alpha$ 放射をとらえられる狭帯域フィルター NB468 およびその波長を含む G バンドフィルターで行い、領域中の $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河 (LAE) やその周囲に広がる $\text{Ly}\alpha$ ハローを検出する。ポスターではこれらの天体の分布と性質を調べ、それらとクエーサーまでの投影距離との関係を議論し、CGM/IGM の検出についても示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X36b Black hole mass measurements of $z \sim 6$ low-luminosity quasars

Masafusa Onoue (Sokendai/NAOJ) and HSC-SSP Project 18 Members

It has been under debate what is the origin of super massive black holes (SMBHs). Recent observations of $z > 6$ quasars have revealed that i) there exist the most massive black holes with $M_{\text{BH}} > 10^9 M_{\odot}$ in such an early epoch, ii) their relative growth with host galaxies is faster at high redshift, and iii) host galaxies are already metal-rich. However, these implications are likely biased as we currently see the most massive and active SMBH population at this epoch. We present the first results of BH mass measurements for the $z \sim 6$ quasars identified through our low-luminosity quasar search with the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP). The sample in this study is based on our initial discovery of > 30 quasars from the first-year data covering $\sim 400 \text{ deg}^2$ (Matsuoka et al. 2016, 2017). The typical absolute magnitude of the new quasars is $M_{1450} \sim -23$, which is about two magnitudes fainter than the SDSS limit. From a deep Gemini/GNIRS spectroscopy with 3.7 hour integration times of one quasar, J2239+0207 at $z = 6.26$, we detect the MgII $\lambda 2798$ emission line and power-law continuum, from which we obtain its BH mass using the so-called single-epoch method. We find that this quasar is powered by a $10^8 M_{\odot}$ BH, which is the least massive among the existing sample at $z > 6$, and its bolometric luminosity is close to the Eddington limit, which is similar to the trend of more luminous quasars. In our presentation, we show the obtained spectrum and measured properties of the low-luminosity quasar, with a few more quasars whose observations have been underway with Gemini and VLT.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X37b 大質量星からの輻射圧による低金属度星形成雲からのダスト排出の可能性について

福島 肇(東北大学, 京都大学), 矢島秀伸, 大向一行(東北大学)

初代星は重元素を含まない始原ガスによって形成され、典型的には数十 M_{\odot} 以上の大質量星となることが理論的に予測されている。これら初代星は超新星爆発により周りに重元素を放出し、その後形成される初代銀河はこの低金属度のガスを取り込んで形成される。この際、ガスに含まれるダスト粒子が冷却剤として機能するため、小質量コアへの分裂が起こり、小質量星が多く形成されると予想されている。

低金属度環境において星形成が始まると、分子雲内部に含まれるダスト粒子は輻射圧を受けることでガスと相対速度を持つようになり、やがて外部へ排出される可能性がある。また、分子雲からダスト粒子が排出されると、その後の星形成において小質量コアへの分裂は起こらず、初代星形成と同様に大質量星が多く形成される環境が実現すると考えられる。

本研究では、分子雲の数密度と半径、星形成効率に対して、上記のようにダスト粒子を含まない分子雲が形成可能であるかを調べた。今回は、分子雲内部は低金属度であり、星からの直接光に対して光学的に薄いことを仮定した。ダストなし分子雲の形成条件として、ダスト粒子が分子雲から排出されるのに要する時間が、大質量星が寿命となり超新星爆発を起こす、もしくは HII 領域が広がり分子雲全体が電離される時間よりも短くなる必要がある。結果として、金属度が $Z < 10^{-3} Z_{\odot}$ 、星形成効率が $\epsilon_{cl} > 0.03$ を満たす際に、ダストなし分子雲が形成可能であることがわかった。また、ダストなし分子雲中で形成される星の化学組成や典型的な質量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](#)

X38b COSMOS 領域における $z=0.2-1.1$ の銀河の性質とクラスタリングの関係

坂東卓弥、鍛冶澤賢、佐藤佑樹、樋本一晴（愛媛大学）

銀河はダークマター (DM) ハローの中で形成・進化されると考えられている。DM ハローと銀河の星質量成長の関係がどのようにしているのかを観測的に検証することは銀河進化の理解のために非常に重要である。そこで本研究では、ダークマターと銀河の星質量成長の関係、特に銀河の星形成の終焉と DM ハローとの関係を調べるために、photo- z の精度が高い COSMOS の測光赤方偏移カタログを用いて $z_{\text{photo}} = 0.2 - 1.1$ の Star-forming (SF) 銀河と passive 銀河のクラスタリング強度を星質量別に調べた。その結果、SF 銀河は $M_{\text{star}} = 10^{8.5-11} M_{\odot}$ にわたり星質量が増えるにつれてクラスタリングが強くなる相関があり、 $M_{\text{star}} = 10^{11-11.5} M_{\odot}$ の passive 銀河は SF 銀河の相関の延長上に位置するようにクラスタリングしていた。これは DM ハローと SF 銀河の星質量がともに次第に大きくなり DM ハロー質量がある値より大きくなると passive 銀河になる可能性を示唆している。そこで SF 銀河から passive 銀河に移り変わるクラスタリングの強さがどのようなハロー質量に対応するのかを Millennium Simulation (MR7; Guo et al. 2013, MNRAS, 428, 1351) の DM ハローカタログを用いて調べてみると $M_{\text{halo}} = 10^{13-13.5} h^{-1} M_{\odot}$ だった。一方で、 $M_{\text{star}} = 10^{8.5-10} M_{\odot}$ の低質量 passive 銀河は非常に強くクラスタリングしており、このクラスタリング強度に対応するハロー質量は $M_{\text{halo}} = 10^{13.75-14.0} h^{-1} M_{\odot}$ で、低質量 passive 銀河は銀河団などの大質量ハローに付随していることが示唆された。このことから、低質量 passive 銀河は低質量 SF 銀河が銀河団に降着する過程でラム圧などの影響でガスが剥ぎ取られた銀河ではないかと推測される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X39a No Ly α emitters detected around a QSO at z=6.4: Suppressed by the QSO?

Tomotsugu Goto (NTHU), Yousuke Utsumi (Hiroshima-U), Satoshi Kikuta, Satoshi Miyazaki (GUAS/NAOJ), Kensei Shiki (Hiroshima U), and Tetsuya Hashimoto (NTHU)

Understanding how QSO's UV radiation affects galaxy formation is vital to our understanding of reionization era. Using a custom made narrow-band filter, *NB906*, on Subaru/Suprime-Cam, we investigated the number density of Ly α emitters (LAE) around a QSO at z=6.4. To date, this is the highest redshift narrow-band observation, where LAEs around a luminous QSO are investigated. Due to the large field-of-view of Suprime-Cam, our survey area is ~ 5400 cMpc², much larger than previously studies at z=5.7 (~ 200 cMpc²).

In this field, we previously found a factor of 7 overdensity of Lyman break galaxies (LBGs). Based on this, we expected to detect ~ 100 LAEs down to *NB906*=25 ABmag. However, our 6.4 hour exposure found none. The obtained upper limit on the number density of LAEs is more than an order lower than the blank fields. Furthermore, this lower density of LAEs spans a large scale of 10 pMpc across. A simple argument suggests a strong UV radiation from the QSO can suppress star-formation in halos with $M_{vir} < 10^{10} M_{\odot}$ within a pMpc from the QSO, but the deficit at the edge of the field (5 pMpc) remains to be explained.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40a すばる HSC-SSP と FIRST 電波サーベイによる遠方電波銀河の調査

山下拓時, 長尾透, 松岡良樹, 仁井田真奈 (愛媛大学), 池田浩之 (国立天文台), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 秋山正幸 (東北大学), 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、これらの形成と進化を理解する上で重要な銀河種族である。また、遠方の電波銀河はしばしば密度超過領域に存在するため、遠方原始銀河団を探査する際の目印としても利用することができる。

FIRST 20 cm 電波サーベイの電波源の中で、SDSS ($r < 22.2$ mag) の可視対応天体を持つ割合は、可視光データが浅いために 30% に留まっていた (Ivezić et al. 2002)。我々は、これまで同定されていなかった電波銀河を発見するために、従来よりも深い可視光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* カタログとを組み合わせ、電波銀河の探査を行った。結果として、HSC-WIDE 領域 ($i < 26.4$ mag; 154 平方度) では同定率が 43%、より深い HSC-Ultradeep 領域 ($i < 27.2$ mag; 1.78 平方度) では、53% となり、可視光データが深くなることで従来よりも多くの電波銀河を同定することに成功した。これら HSC-SSP によって新たに同定された電波銀河サンプルには、SDSS による電波銀河よりも高い radio-loudness を持つ銀河や、より遠方 ($z > 1$) の銀河を多く含んでいる。本発表では、HSC-SSP によって発見された新たなパラメータスペースに存在する電波銀河について、その統計的性質について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X41a AzTEC 1.1mm による Ly α Blob 周辺領域の原始銀河団探査

齋藤智樹 (兵庫県立大), 松田有一, 川邊良平, 児玉忠恭, 田中脛 (NAOJ), 河野孝太郎, 廿日出文洋, 李民主 (東大), Ian Smail, Cedric Lacey (Durham), 井上昭雄 (大阪産業大), 田村陽一 (名大), Carlos De Breuck (ESO), 山田亨, 林野友紀 (東北大), 太田耕司 (京大), Alvaro Orsi (PUC), 谷口義明 (放送大)

我々はすばる・Suprime-Cam と中間帯域フィルターを用いて、Ly α Blob (LAB) 周辺環境を探る探査を行ってきた。これまで、 $z = 4.1$ の電波銀河を伴う LAB 周辺に、強い LAE 密度超過と $50/h\text{Mpc}$ スケールでの高い密度コントラストを同定した。また $z = 2.8$ のサブミリ銀河 (SMG) 周辺にも、それに準ずる特徴を同定した。今回、視野の限られていたサブミリ波領域の探査を拡張するため、AzTEC 1.1mm で取得したデータを用い、LAE とのマッチング解析を行った。特に $z = 2.8$ SMG に付随する LAB 周辺を調べたところ、SMG のトレースする構造の位置角は、LAE のフィラメント構造と極めてよく一致していることが分かった。これは、ダストに埋もれた星形成が支配的な領域が、 $1/h\text{Mpc}$ スケールで入り組んでいるか、視線方向上のフィラメント構造の前後に並んでいる可能性を示唆している。

一方で個々の天体については LAE のサブミリ対応天体はほとんど存在せず、LAB 本体 (既知) のみが検出された。これは過去の SCUBA による $850\mu\text{m}$ の観測でも検出された天体である。この天体は LAE・SMG 双方の密度町歌領域に存在しており、埋もれた爆発的星形成活動によって周辺環境と劇的な相互作用をしているものと考えられる。この天体から半径 $15/h\text{Mpc}$ 以内の領域では Ly α 光度関数が特異な形をしており、 $z = 4.1$ 電波銀河領域と同様な、星形成/AGN の活性化が起きている領域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](#)

X42a HSC を用いた宇宙再電離と高赤方偏移銀河団の探査

樋口 諒, 他 HSC Project 96

宇宙再電離に関する問題の一つに、宇宙再電離の進み方に関するものがある。宇宙再電離の主要な電離源の種類によって、2つの宇宙再電離の進み方のモデルが考えられる。星形成銀河など電離光子のエネルギーが低い電離源の寄与が大きい場合、電離源はその近傍の銀河間水素しか電離できない。そのため宇宙再電離は銀河の高密度領域から進むと予想される (Inside-Out)。電離光子のエネルギーの高い AGN などの電離源寄与が大きい場合は、電離源はその遠方の銀河間水素も電離できる。この場合電離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む傾向にあると予想される (Outside-In)。宇宙再電離モデルの判定に、我々は強い $\text{Ly}\alpha$ 輝線を発する星形成銀河である $\text{Ly}\alpha$ emitter (LAE) のサンプルを用いた。 $\text{Ly}\alpha$ 線が銀河間の中性水素の散乱を受けるため、LAE は周囲の銀河間水素の電離比率を知ることに役立つ。宇宙再電離が Inside-Out モデルで進行する時、LAE 高密度領域では電離バブルが形成され、LAE の $\text{Ly}\alpha$ 輝線の等価幅が大きくなると予想される。その結果、宇宙再電離期の $\text{Ly}\alpha$ 等価幅と LAE 密度超過 (周囲の LAE 密度と平均密度のずれ) の相関が強くなると考えられる。我々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を使い、 $z = 5.7(6.6)$ の 594 (164) 個の LAE サンプルの $\text{Ly}\alpha$ 等価幅と LAE 密度超過の相関を調べた。その結果、この相関に有意な赤方偏移進化は見られず、Inside-Out/Outside-In モデルの判定はできなかった。LAE 密度超過を計算する過程で、我々は LAE 密度超過が高い値を示す $z = 5.7$ と 6.6 の原始銀河団候補を多数確認した。本講演ではこれらの探査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](#)

X43a HSC-SSP の PDR1 データによる赤方偏移 $z < 1.5$ の輝線銀河探査

林将央, 田中賢幸 (国立天文台), 嶋川里澄 (Lick Observatory), 古澤久徳 (国立天文台), 百瀬莉恵子 (国立清華大学), John Silverman (Kavli IPMU), 小山佑世 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大), 小宮山裕 (国立天文台), Alexie Leauthaud (UCSC), Yen-Ting Lin (ASIAA), 宮崎聡 (国立天文台), 長尾透 (愛媛大), 西澤淳 (名古屋大), 大内正己, 澁谷隆俊 (東京大), 但木謙一 (国立天文台), 矢部清人 (Kavli IPMU)

Hyper Suprime-Cam (HSC) のすばる戦略枠プログラム (SSP) が現在進行中である。その最初の公開データがリリースされ (PDR1)、Deep/UltraDeep 領域において、二つの狭帯域フィルター撮像データ (NB816 と NB921) が含まれる。NB816 データは約 5.7 平方度、NB921 データは約 16 平方度の領域をカバーしており、これまでの狭帯域フィルター撮像サーベイの中で最も広い領域をカバーする探査の一つである。我々は、この HSC-SSP-PDR1 データを用いて、赤方偏移 $z < 1.5$ の輝線銀河カタログを作成した。このカタログには、 $z \approx 0.25, 0.40$ の約 8,000 個の $H\alpha$ 輝線銀河、 $z \approx 0.63, 0.84$ の約 9,000 個の [OIII] 輝線銀河、 $z \approx 1.19, 1.47$ の約 17,000 個の [OII] 輝線銀河が含まれる。広視野データのおかげで、光度関数は明るい側まで精度よく明らかにすることができ、cosmic variance の影響を最小限に抑えることができています。また、50Mpc 以上にもわたる輝線銀河の大規模構造を明らかにし、幾つかの大規模構造の交差点には銀河団が存在することが示された。幅広い環境を網羅しており、銀河の性質の環境依存性を調べるのが可能である。さらに、輝線の等価幅が非常に大きい小質量銀河を見付けることにも成功している。本講演では、HSC-SSP-PDR1 の赤方偏移 $z < 1.5$ の輝線銀河カタログ (HSC-SSP のウェブサイト で公開予定) を紹介するとともに、この輝線銀河カタログを使って進められているプロジェクトの概要を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X44a Properties of extremely strong emission line galaxies discovered with Subaru/HSC

Kiyoto Yabe (Kavli IPMU), Takashi Kojima, Yoshiaki Ono, Yuichi Harikane, Takatoshi Shibuya (ICRR), Rhythm Shimakawa (UCO/Lick Observatory) and HSC GP team

Revealing the nature of low mass strong emission line galaxies is of importance to understand the early stage of galaxy formation and evolution. Detailed studies at high redshift, however, are not easy because of observational limitations. Thanks to its deep and wide imaging data, we are conducting a survey to search for strong emission line galaxies at $z < 1$ by using Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC).

We selected candidates of strong emission line galaxies at $z \sim 0.3 - 0.8$ by using the excess of the HSC broad-band filters over the entire HSC survey fields. We made a follow-up spectroscopic observation of the candidates with Gemini/GMOS-S and confirmed the spectroscopic redshifts of 19 galaxies at $z = 0.35 - 0.83$. From 4 galaxies, we detected very strong [OIII]5007 emission with the rest-frame equivalent width of $\gtrsim 1000 \text{ \AA}$ and other multiple emission lines including weak [OIII]4363.

The [OIII]5007/[OII]3727 emission line ratio (O_{32} index) ranges from ~ 3 to ~ 10 , which is comparable to that of SDSS green pea galaxies and Ly α emitters at $z = 2 - 3$, indicating extreme ionization states. The resulting oxygen abundance based on the “direct” method using [OIII]4363 is $12+\log(O/H) \lesssim 8.0$. One of the sample shows very low oxygen abundance of $12+\log(O/H) \sim 7.3$, which is comparable to extremely metal poor galaxies in the local Universe. In this talk, we will discuss the origin of the galaxies with low metallicity and high ionization state.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X45a COSMOS 領域における中間赤方偏移 EELGs の環境効果及びクラスタリング特性

西塚拓馬, 平野洸, 村山卓 (東北大学), 谷口義明 (放送大学), 長尾透, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 小林正和 (呉工業高等専門学校)

Low-mass 銀河は宇宙誕生から各時代において最も数多く存在する天体であり、銀河進化を解明する上で重要な手掛かりになると考えられている。そのような天体の中で、Extreme Emission-Line Galaxies (EELGs) は非常に興味深い天体であり、low-mass で非常に高い specific star-formation rate (sSFR) を持つことで知られている。 $z \sim 1$ のような近傍宇宙における星形成銀河の環境効果も多数研究されているが、 $z > 1$ から $z \sim 0$ にかけて Blue Compact Dwarf や dwarf galaxies のような low-mass の EELGs などの環境効果は十分に解明されていない。

今回、HST の基幹プログラムである「COSMOS20 project」の観測で得られた 3097 天体の EELGs を選別した。この EELGs は、Subaru Suprime-Cam の 6 枚の広帯域フィルターと 2 枚の狭帯域フィルターに加え、12 枚の中帯域フィルター (IA フィルター) を用いて非常に大規模なサーベイ領域から選択的に選出されている。その EELGs の中で最も多く選出された 2340 [OIII] EELGs に特に着目し、環境効果及びクラスタリングを評価する為に表面密度、及び Auto Correlation Function (ACF) の評価を行った。

最も多く選出された IA827 フィルターの [OIII] EELGs のクラスタリングを評価した結果、10 arcsec 以下の局所的なスケールで [OIII] EELGs の ACF がべき型の近似曲線から乖離が見られる特徴があった。また IA827 フィルターで超過している [OIII] EELGs に対して表面密度を評価した。その結果、同じ領域に存在する Non-emitter と比べて表面密度が高くなるにつれて [OIII] EELGs の割合が減少する特徴が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X46b El Gordo 銀河団にはたらく強い重力レンズ効果の解析およびドロップアウト銀河の星形成活動

菊地原正太郎, 河野孝太郎, 大内正己, 大栗真宗, 石垣真史, 川俣良太 (東京大学)

本研究では El Gordo 銀河団領域において $z \gtrsim 5$ ドロップアウト銀河のサンプルを構築し、それらの星形成活動を考察する。大質量銀河団による重力レンズ効果は、望遠鏡だけでは観測できないような高赤方偏移にある暗い銀河の観測を可能にする。 $z \gtrsim 5$ の遠方銀河を探索することは、まだ解明の進んでいない初期の銀河形成史を解明する上で大きな価値をもつ (Ishigaki et al. 2017)。そこで RELICS プロジェクト (REionization Lensing Cluster Survey; PI: Coe) は、重力レンズ効果を強く受けている 41 個の大質量銀河団領域をハッブル宇宙望遠鏡 (HST) で深く撮像した。本研究では RELICS のうち ALMA での観測も併せて行われている El Gordo 銀河団領域について、HST の可視光・近赤外データを元に、 V_{606} バンド ($z \sim 5$)、 $i_{814} + z_{850}$ バンド ($z \sim 6-7$) のドロップアウト銀河 (LBG) サンプルを計 20 個構築した。また重力レンズ効果解析ソフトウェアの glafic (Oguri 2010) を用い、El Gordo 銀河団の質量分布モデルを、先行研究 (Zitrin et al. 2013) よりも良い精度で決定した。モデルを元に、ドロップアウト銀河が重力レンズ効果を受ける前の明るさが求められた ($\sim 29-32$ mag)。ドロップアウト銀河の星形成活動をより正確に見積もるためには、上記の解析に加えてミリ波での解析も必要である。そこで HST に加えて、ドロップアウト銀河の ALMA 1.2 mm 連続波画像 ($\text{FoV} = 3.4 \text{ arcmin}^2$, $\sigma = 0.1 \text{ mJy}$) における対応天体を探索した。個々に検出された天体はなかったため、サンプルの赤方偏移ごとにスタッキング解析を行った。HST と ALMA で得られた測光結果を適当な SED にフィットすることで、ドロップアウト銀河の星形成の指標として、星形成率および IRX- β 関係に上限を与えることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X47b AzTEC で検出された COSMOS 領域におけるサブミリ波銀河の ALMA 1.3mm 帯データを用いたミリ波輝線銀河探査

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 (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)

[CII] 輝線は、静止系遠赤外域で最も明るい輝線であり、銀河内の広範な領域で放射されるため、銀河のガスの構造や運動の良いトレーサーとなる。また、CO 輝線は、銀河の分子雲質量のトレーサーとして一般的に用いられている。近年、クエーサーのような激しい星形成を伴う高赤方偏移大質量銀河の周辺で、このようなミリ波輝線を放射する星形成銀河が発見されており、宇宙初期における銀河進化の理解につながることを期待されている。

本研究では、ASTE 望遠鏡の 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含む各領域 (視野 24") に対して、ALMA 望遠鏡で観測した波長 1.3mm 帯のデータを用い、周波数幅 15.625MHz (~ 20km/s) の 3次元データキューブ (S/N キューブ) を作成し、Clumpfind を用いて輝線銀河候補天体を選び出した。典型的なノイズレベルは、1.4mJy (1σ) であった。検出の信頼性を判定するため、負の S/N ピークも調査した。今後、検出された輝線銀河候補天体に対して、COSMOS 領域で利用できる豊富な可視光 ~ 赤外線域のデータとの照合を行い、対応天体の評価を行うことで、輝線の帰属 ($z \sim 6$ 付近の [CII] なのか、より低赤方偏移の CO 輝線か) および赤方偏移などの調査を進めていく。さらに、ADF-S, SXDF, SSA22 の領域のデータについても同様に解析を進め、これらのデータを統計的に評価して [CII] および CO 輝線光度関数の制限を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X48b Phoenix 銀河団における ALMA 3mm 帯データを使った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 (国立天文台)

宇宙における星形成率密度は、赤方偏移が $1\sim 3$ 付近で最大となっていることが近年の観測から明らかになっているが、その原因は未だに解明されていない。星形成の材料である分子ガス密度の進化を知るため、数多くの探査が行われているが、遠方からの CO 輝線の検出は時間がかかるため、銀河の星質量或いは星形成率で選択された銀河を目標として観測することが多い。こうした既知銀河に対する CO 輝線の探査だけでなく、分子ガス密度を bias なく測ることが重要である。我々は、Phoenix 銀河団 (SPT-CL J2344-4243, $z \sim 0.596$) 領域における S-Z 効果の観測を目的とした、深く広い (7 視野 mosaic) 波長 3mm 帯での ALMA データを用いて、ミリ波輝線銀河の探査を行なった。作成した 3 次元 data cube の周波数幅は 15.6 MHz ($\sim 50\text{km/s}$) であり、典型的なノイズレベルは 0.10-0.15 mJy (1σ)、また、空間分解能は $2''.1 \times 1''.7$ であった。周波数範囲は、84-88, 96-100 GHz であり、CO(1-0), (2-1), (3-2) 輝線に対しては、それぞれ $z=0.15-0.20$, $0.34-0.37$, $z=1.31-1.40$, $1.62-1.74$ 、そして $z=2.46-2.60$, $2.93-3.12$ の範囲を探査している。CLUMPFIND を用いて探査し、負の S/N cube も調査した結果、 $S/N > 5$ となる候補天体を 3 個検出した。輝線幅はいずれも約 $100-150\text{km/s}$ 程度で、遠方の星形成銀河から期待される値である。一方、Chandra、Herschel、Spitzer、WISE、2MASS のデータと比較すると、これらの波長での対応天体は見えていないが、対応天体がありそうな $S/N \sim 4.5$ 程度の候補天体を 2 個も検出した。講演では、これらの輝線銀河候補天体の性質や、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](#)

X49b COSMOS 領域における low-redshift 強輝線天体サーベイ

平野洸, 西塚拓馬, 村山卓 (東北大学), 谷口義明 (放送大学), 長尾透, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 小林正和 (呉工業高等専門学校)

銀河がどのように形成され、どのような進化過程であったか解明することは現代天文学の課題の一つとなっている。その中で銀河進化初期を知るためのアプローチとして矮小銀河が挙げられる。矮小銀河の進化タイムスケールは長く銀河形成初期時代に近い姿をしていると考えられているため、矮小銀河の観測・研究を行うことで銀河進化初期を知る手がかりを得ることができると考えられる。現在、近傍宇宙において多数の矮小銀河が見つまっている。しかし矮小銀河は非常に暗いため観測が難しく、特に遠方宇宙においてはまだまだ観測が進んでいない。そこで本研究では星形成矮小銀河の特徴の一つである強輝線に注目し、low-redshift 強輝線天体の選出を行った。本研究では COSMOS プロジェクトの一環として、すばる望遠鏡 Suprime-Cam の中帯域フィルターを用いて COSMOS 領域中の強輝線天体サーベイを行った。このサーベイの結果、3097 個の強輝線天体を選出することができた。これらの天体について多波長測光データを用いて spectral energy distribution (SED) fitting 解析を行い、強輝線の同定と強輝線天体の物理量の算出を行った。その結果、これらの天体の主な物理量は $0.01 \leq z_{\text{phot}} \leq 1.22$ 、 EW_0 の中央値は 181\AA 、星質量の中央値は $1.5 \times 10^8 M_{\odot}$ 、星形成率の中央値は $0.8 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ と算出された。またこのうちの 87 天体は分光観測がされており、スペクトルデータの z_{spec} から今回の SED フィッティングから得られた z_{phot} は精度よく算出されていたことがわかった。また今回得られたサンプルは、低質量かつ高い星形成率を示すような Blue Compact Dwarf (BCD) や高い EW_0 を示す Extreme Emission-Line Galaxy (EELG) が多数含まれていることがわかった。今回得られた強輝線天体の物理量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](#)

X50b Rest-frame optical emission lines of $z > 4$ galaxies with Subaru/HSC and SPLASH

Yuichi Harikane, HSC Project 209 team

Inter-stellar medium (ISM) properties of galaxies are important to understand galaxy evolution. They also give insight into the source of the cosmic reionization at high-redshift. In this context, we investigate rest-frame optical emission lines of ~ 25000 $z \gtrsim 4$ galaxies found in our GOLDRUSH and SILVERRUSH projects using deep and wide Spitzer/IRAC images obtained by the Spitzer Large Area Survey with Hyper-Suprime-Cam (SPLASH). The rest-frame optical emission lines at $z > 4$ are redshifted into the wavelength coverage of the Spitzer/IRAC images, which sometimes makes a color excess of $[3.6] - [4.5]$. We stack the Spitzer images of ~ 900 Ly α emitters (LAEs) at $z = 5.7$ and 6.6 , and detect the color excess of $[3.6] - [4.5] < -0.5$, implying the strong [OIII]5007 emission line redshifted into the [3.6] band. In this presentation, we also show results of the LBGs, and discuss the ISM properties of the LAEs and LBGs based on relations between the IRAC color excess and the equivalent width of Ly α emission or the UV magnitude.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X51b The MUSE Hubble Ultra Deep Field Survey: Ly α Equivalent Widths at $2.9 < z < 6.6$

T. Hashimoto, T. Garel, B. Guiderdoni, A. B. Drake, R. Bacon, J. Blaizot, J. Richard, H. Inami, F. Leclercq (Lyon), R. Bouwens, J. Schaye (Leiden), A. Verhamme (Geneva)

We present rest-frame Ly α equivalent widths, EW, of 470 Ly α emitters (LAEs) detected with MUSE on VLT at $2.9 < z < 6.6$ in the Hubble Ultra Deep Field. Based on the deep MUSE spectroscopy with ancillary HST photometry data, we have carefully measured EW values taking into account extended Ly α emission and UV continuum slopes (β). Our LAEs have unprecedented depths in both Ly α luminosities and UV absolute magnitudes: from $\log L(\text{Ly}\alpha) \sim 41.0$ to 43.0 erg s^{-1} and from $M_{\text{UV}} \sim -16$ to -21 (0.01 - $1.0 L_{z=3}^*$). The EW values span in the range of ~ 5 to 240 \AA or larger, and the EW distribution can be well fitted by the exponential law of $N = N_0 \exp(-\text{EW}/w_0)$. Interestingly, we find 13 (five) objects with $\text{EW} > 200 \text{ \AA}$ (400 \AA) above 1σ uncertainties. Four among the 13 LAEs show signatures of mergers or AGN activity: a Ly α blob has the clear detection of the HeII $\lambda 1640$ line. For the remaining nine very large EW LAEs, we find that EW values can only be reproduced by young stellar ages ($< 100 \text{ Myr}$) and low-metallicities ($< 0.02 Z_{\odot}$). With these results, we discuss importance of accurate measurements of EW values.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X52a 直接温度法で解明する Ly α 輝線銀河の高電離状態

小島崇史, 大内正己, 澁谷隆俊, 播金優一, 小野宜昭 (東京大学), 中島王彦 (ESO)

星形成領域におけるガスの電離状態は、星の種族や年齢・金属量などに依存し、星形成や銀河進化との関係が深い。ガスの電離状態を理解する上で特に重要な物理量は、ガス金属量と電離パラメータ（単位ガスあたりに照射する電離光子量の指標）である。Nakajima & Ouchi 2014 は、 $z = 2$ の Ly α 輝線銀河 (LAE) が、ライマンブレイク銀河 (LBG) や $z \sim 0$ 星形成銀河よりも高い電離パラメータを持つことを示した。しかし、Nakajima & Ouchi 2014 で用いられていた測定方法には系統的な不定性を含む可能性が残されていたため (e.g., Kewley & Ellison 2008)、詳細な定量的比較や、電離パラメータと金属量の関係性の議論をすることまではできなかった。電離状態をより詳細に理解するためには、信頼性の高い測定手法である直接温度法による調査が必要であった。

そこで本研究 (Kojima et al. 2017) は、世界に先駆けて直接温度法による LAE/LBG 電離パラメータの調査を行なった。我々は、合わせて 35 個の典型的な $z = 2$ の LAE/LBG からなるサンプルを構築した。直接温度法が適用できる $z \sim 2$ 銀河としては世界最大のサンプルである。これらの LAE/LBG に直接温度法を適用し、金属量 $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.05\text{--}8.14$ 、電離パラメータ $\log q_{\text{ion}} = 7.67\text{--}8.23$ cm/s の値を得た。LAE/LBG を $z = 0$ 銀河と比較すると、LBG は $z = 0$ 銀河で知られる電離パラメータ-金属量の関係に従っていたが、LAE はこの関係から逸脱し、高い q_{ion} を示していることが明らかになった。この LAE の逸脱は、LAE の電離状態と LBG/ $z = 0$ 銀河の電離状態との間に本質的な違いが存在することを示している。LAE における大質量星の割合の増加やガス構造の変化を示唆しているものと考えられる。本研究は、信頼性の高い直接温度法を用いて、LAE が系統的に高い電離状態にあることを初めて裏付けた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X53a Dust Grain Growth Explains Huge Dust Mass in Galaxies at $z = 7-8$?

竹内 努, 浅野 良輔, 田村 陽一 (名古屋大学), 野沢 貴也 (国立天文台), 馬渡 健, 井上 昭雄 (大阪産業大学)

Recently huge amount of dust $M_{\text{dust}} \simeq 10^{6-7} M_{\odot}$ at $z = 7-8$ has been discovered by ALMA observations. The suggested timescale of the dust production was a few–several $\times 10^8$ yr, while the stellar mass is several $\times 10^9 M_{\odot}$. With such a moderate star formation rate, this amount of dust cannot be easily explained only by a supply from supernovae, especially if we consider the dust destruction by reverse shocks.

Recently, we have succeeded in constructing a consistent theoretical framework to describe the evolution of the total mass, grain size distribution, and chemical composition of dust in galaxies (Asano et al. 2013a, b, 2014; Nozawa et al. 2015). Particularly, our model naturally reproduced the significantly nonlinear relation between metallicity and dust-to-gas mass ratio discovered by *Herschel* (Rémy-Ruyer et al. 2014). The key physical process inducing the nonlinearity is the grain growth in the interstellar medium (ISM).

In this presentation, we show that this model consistently explains the dust mass in these high- z galaxies, as well as the SFR and stellar mass. Hence, we conclude that even at such an early epoch of the Universe, the dust grain growth in the ISM plays a significant role in galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X54a ALMAによる赤方偏移 $z \approx 8.4$ のライマンブレイク銀河のダスト検出

田村陽一, 竹内努 (名古屋大), 井上昭雄, 橋本拓也, 馬渡健 (大阪産業大), 松尾宏, 松田有一 (国立天文台), 清水一紘 (大阪大), 岡本崇 (北海道大), 吉田直紀, 澁谷隆俊, 河野孝太郎, 廿日出文洋 (東京大), Erik Zackrisson (Uppsala U.), 谷口義明, 梅畑豪紀 (放送大), 太田一陽 (Cambridge U.)

いつどのように銀河がダスト質量を獲得してきたのか、その歴史を理解することは、宇宙の化学進化を理解する上できわめて重要である。とくに、宇宙年齢が中小質量星の年齢を下回る赤方偏移 $z > 8$ では、事実上II型超新星のみが重元素の供給に寄与する。このため、既存の観測装置で検出にかかるほどのダスト質量を銀河が獲得するのは、難しいとされてきた。

このような背景のもと、我々は、Frontier Field 銀河団 MACS J0416.1-2403 の背後、赤方偏移 $z_{\text{photo}} \approx 8.4$ に見つかった明るい ($H_{160} = 25.9$ AB) ライマンブレイク銀河に対し、ALMA バンド 7 ($850 \mu\text{m}$) をもちいた観測を行った。この結果、ダスト連続波放射を 6.3σ で検出した。 $z = 8$ を超える宇宙におけるダストの検出例としては、これが2例目である。レンズ増光 ($\mu_g \approx 1.7$) を補正した全赤外線光度は $L_{\text{TIR}} = 1.4 \times 10^{11} L_{\odot}$ ($T_{\text{dust}} = 40$ K, $\beta_{\text{dust}} = 1.5$ を仮定)、ダスト質量は $M_{\text{dust}} = 1.1 \times 10^7 M_{\odot}$ と推定される。本銀河は、静止系紫外線で青く ($\beta_{\text{UV}} \approx -2$) 減光も小さい ($A_V < 0.4$) にも関わらず、ダスト放射の広がり静止系紫外光の空間分布とほぼ一致することがわかった。

化学進化を取り入れた宇宙論的シミュレーションとの比較によれば、本銀河に対して推定されるダスト対金属量比は、天の川銀河と同程度 (≈ 0.5) に到達しているようだ。このような高いダスト対金属量比は、II型超新星単体のダスト生成だけでは説明ができず、星間物質中で気相重元素が降着することによるダスト粒子の非線形成長を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X55a アルマ望遠鏡による $z = 3$ 巨大水素ガス天体のサブミリ連続波観測

松田有一, 伊王野大介, 川邊良平, 久保真理子, 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), 齋藤智樹 (兵庫県立大学), 林野友紀 (東北大学), 廿日出文洋, 加藤裕太, 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)

アルマ望遠鏡を用いて、SSA22 $z = 3.1$ 原始銀河団中の4つの巨大水素ガス天体 ($\text{Ly}\alpha$ Blobs) のサブミリ連続波観測を行った。巨大水素ガス天体は、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輝線ガス構造を示す天体であり、形成期の銀河とその周囲の銀河間ガスとの循環過程を調べるのに適した天体と考えられている。しかし、なぜ巨大水素ガス天体が銀河高密度環境に多く見つかるのかはまだ良くわかっていない。我々は、アルマによる $860\mu\text{m}$ 連続光観測 (空間分解能 $0.3''$ 、 $\text{rms}=0.44\text{mJy/beam}$) で巨大水素ガス天体の中に爆発的星形成銀河が存在するかを調べた。その結果、合計9個 (1輝線天体あたり1-4個) の連続波ソースの検出に成功した。ソースカウントを比較したところ、9個中8個は巨大水素ガス天体に付随すると考えられる。さらにソースの明るさとサイズから星形成率表面密度を推定すると、全て銀河風が吹くリミットを超えていることがわかった。この結果から、銀河高密度領域環境の密度が高い銀河間ガスが、銀河風によるアウトフローとぶつかって加熱されて光ったり、あるいは、銀河風で空いた穴を通り抜けた出た電離光子に照らされて光っているのが巨大水素ガス天体ではないかと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X56a 星間塵のサイズ分布進化を考慮した銀河スペクトルエネルギー分布モデルの構築

西田和樹（名古屋大学理学研究科）

銀河 spectral energy distribution (SED) からは、星間塵 (ダスト) 質量や、星形成率など、重要な物理量を推定できる。銀河 SED モデルを構築するためには、銀河誕生からこれまでの進化を仮定し、銀河を構成する星、ダスト、ガスなどのスペクトルを全て足し合わせる必要がある。従来の SED モデル (e.g., Noll et al. 2009) の多くでは、銀河系や近傍銀河で観測された経験的なダストモデルが用いられている。しかし、ダストは紫外線や可視光を吸収し、赤外線を再放射するだけでなく、ダスト表面で水素分子を形成することで、ガスを冷却して星形成を促進するなど、銀河の形成や進化に多大な影響を与える。そのため、現実に応じた銀河 SED モデルを構築するためには、ダストの空間分布、サイズ、組成を考慮したダストモデルを用いる必要がある。

本研究では、ダスト進化を理論的に解いた Asano モデル (Asano et al. 2013a, 2013b, 2014) を組み入れて、波長 $0.1 \mu\text{m}$ – $1000 \mu\text{m}$ に対応した銀河 SED モデルを構築した。星種族からの放射は、PÉGASE (Fioc & Rocca-Vomerange 1997) を用いて計算した。ダストの放射するエネルギーは温度によって異なるが、サイズの小さいダストは平衡温度を持たないため、モンテカルロシミュレーションによってダストの温度分布を求め (Draine & Anderson 1985)、ダスト放射を計算した。また、ダストの高密度領域を1つの巨大なダストと仮定するメガグレイン近似と、一次元円盤銀河の輻射輸送方程式を解く (Inoue 2005) ことで、空間構造を解く方法に比べ、計算コストを大幅に削減することに成功した。本モデルで赤外放射に注目すると、銀河年齢 1–3 Gyr 程度で放射量のピークを持ち、その後は徐々に減少するという特徴を持つ。本公演では、本モデルについて詳しく紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X57a 星形成領域における photoelectric grain heating の影響

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

Forbes et al. (2016) は, 矮小銀河において, 自身の銀河内にいる星団由来の FUV (far-ultraviolet) によるダストの photoelectric grain heating が支配的に星形成の抑制をしていることを示した. しかし, 彼らの研究では, ダストによる FUV の減光を考慮せずに photoelectric grain heating の影響を算出していた. こうした方法は, 本来 FUV が届くはずのない領域まで加熱してしまい, その影響を過大に見積もってしまう可能性がある.

本研究では, ダスト減光を含めた photoelectric grain heating の影響を調べるため, 以下の2つの計算を行った.

1. Interstellar UV radiation field による photoelectric grain heating が星形成に与える影響を調べるため, Cloud の周囲から Forbes et al. (2016) と同程度の FUV を与えた. そして, 次元輻射輸送方程式を解く事で, どの程度 FUV が Cloud に侵入し, ガスを暖めるのかを調べた.
2. Cloud 内部で誕生した星団が, 自身の誕生した Cloud を破壊するとき, photoelectric grain heating によってどの程度影響を与えるかを求めるため, 次元輻射流体方程式を解いた.

両者のシミュレーションの初期条件としては, 球対称にガスとダストを分布させた. Cloud の成分としては H, He, グラファイトとした. Photoelectric grain heating は, Draine et al. (2006) のものを使用した.

シミュレーションの結果, Interstellar UV radiation field の与える影響については, $Z=0.1 Z_{\text{sun}}$ の時, ダスト減光の影響をほとんど無視して, photoelectric grain heating によって, Cloud 内部まで暖めることができる. 一方, $Z=1.0 Z_{\text{sun}}$ の場合, もはやダスト減光の影響は無視できずに FUV は Cloud 内部までは届かず中心部を暖める事は出来なかった. 自身の誕生した Cloud に対して, 星団が与える影響については, photoelectric grain heating はガスの photoionization heating と比較して, 無視できない影響を与えたが, 支配的な影響を及ぼす程ではなかった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X58a シミュレーションにおける星質量による順位が変化しないと仮定したときの銀河進化と実際の進化について

畑千香子、岡本崇（北海道大学）

観測的に銀河の進化を調べるためには、異なる赤方偏移の銀河の性質を先祖と子孫として結びつける必要がある。この方法として一般的なものが銀河の数密度が同じ銀河を同じ銀河の先祖と子孫として結びつけるという方法である。この方法は銀河を星質量で順位づけした際、この順位が時間によって変化しない、あるいは、変化したとしても大きな影響はない、という仮定に基づいている。

これについて、Torrey et al. (2015) は、Illustris simulatio (Nelson et al. 2015) のデータを用いて調べた場合、数密度が時間によって一定ではなく、実際の星質量などの進化を数密度が同じと仮定した場合と比較した場合、その成長が大きいことを示している。一方、Clauwens et al. (2017) は EAGLE simulation (Schaye et al. 2015; Crain et al. 2015) の結果を用いて、大質量銀河については数密度が同じであるとしても実際の進化とあまり差はないことを示している。これらの研究では銀河形態の違いについては考慮されていない。

そのため、本研究では、Illustris simulatio のデータを用いて天の川銀河サイズの銀河を銀河内部の星の角運動量や銀河の flux をもとに disk-dominate な銀河と bulge-dominate な銀河に分類し、星質量と星質量密度について、実際の進化と星質量による順位が同じ銀河における時間変化を調べて比較した。その結果、角運動量で分類した場合 disk-dominate な銀河は、星質量の順位が変わらないとした場合と実際の進化とで星質量などの時間変化に差が少なく、bulge-dominate な銀河ではより大きな差がある。これは bulge-dominate な銀河ほど合体による質量成長が大きいためであると考えられる。しかし、この結果は銀河形態の分類方法にも依存する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X59a Lagrange的手法を用いたシミュレーションにおける resolution 制限

山本泰義, 岡本崇 (北海道大学), 齋藤貴之 (東京工業大学)

銀河進化の理論研究において、観測では得られない銀河の長時間進化を調べることが可能な点で宇宙流体計算は重要な役割を果たす。Lagrange的手法を用いた計算では、流体は粒子分布によって表現される。各流体粒子は質量、速度、内部エネルギーの他に決まった近傍粒子数 N_{NEIB} を含む最小距離である kernel size を持っている。また、物理量は kernel 関数と呼ばれる kernel size に依存する関数によって重み付けされ表現される。この手法を用いる際、対象とする現象を描写するのに十分な粒子数を用いていないと物理的に正しい計算結果が得られない可能性がある。これを検証する方法の一つとして、重力収縮による構造形成の計算を行う上で必要な resolution を評価する Jeans test (Hubber et al. 2006) が挙げられる。この方法には解析解が存在するため、各 resolution における計算結果の振る舞いを解析解と比較することにより、計算に必要な resolution を評価できる。

本研究では、GIZMO (Hopkins et al. 2015) という一般公開されているコードで Jeans test を行なった。GIZMO には複数の Lagrange 的流体手法が内装されており、それらの流体手法に起因する Jeans test の解析解への収束性を比較した。また、kernel 関数の表式を変化させた場合に Jeans test の結果にどのような違いが生じるのかを検証した。その結果、次に示す3つが判明した。(i) resolution (=流体粒子の平均直径/密度ゆらぎのスケール) は少なくとも 0.25 以下である必要がある。(ii) kernel 関数が高次であるほど解析解によく収束する。(iii) Traditional SPH (TSPH), Pressure SPH (PSPH), Meshless Finite Mass (MFM), Meshless Finite Volume (MFV) を用いた結果を比較すると TSPH と PSPH の結果に差は無く、MFM や MFV に比べて解析解によく収束しているように見えるが別の値に収束している可能性がある。MFV より MFM の方が解析解に近い値となる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X60a 大規模宇宙論的 N 体シミュレーション・データベースの公開

石山智明 (千葉大学)

宇宙論的 N 体シミュレーションは、宇宙初期の微小な密度揺らぎからはじまる、ダークマター分布の重力的な進化を計算する手法のひとつであり、大規模構造やダークマターハローの研究に広く用いられている。また ν^2 GC (Makiya et al. 2016) をはじめとした準解析的モデル、halo occupation distribution モデル、abundance matching モデルなどと組み合わせ、ハローの中で誕生する銀河などの天体の性質を推定し観測と比較するなど、その適用事例については枚挙にいとまがない。

近年の大規模天体サーベイと比較可能な空間体積、質量分解能を実現したシミュレーションは、粒子数が1兆程度、総データサイズは1ペタバイト以上にも及ぶ。このようなシミュレーションはそう何回もできるものではないため、データを個々のハローやサブハローごとにそれらの特徴をよく表す複数のパラメータに縮約した“ハローカタログ”や、個々のハローの合体形成史を記述する“merger tree”といった再利用しやすい形式でコミュニティに公開する必要がある。

我々も ν^2 GC シミュレーション (Ishiyama et al. 2015) をはじめとした、一連のシミュレーションデータを公開してきた (<http://hpc.imit.chiba-u.jp/~nngc/>)。またデータベースシステムを利用することで、個々のユーザが必要なデータのみをダウンロード可能である。本講演ではシミュレーションの詳細や、データ形式、ダウンロード方法について紹介するとともに、世界の他のグループによって公開されているデータに対する優位性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X61a 四重極項計算のSIMD化によるツリー法の高速化

児玉哲史 (千葉大学), 石山智明 (千葉大学)

重力多体系とは、粒子同士が相互にニュートンの万有引力を及ぼしあう系である。重力多体系の N 体シミュレーションでは、各粒子の運動方程式を数値的に解くことで、その時間発展を追う。 N 体シミュレーションは、球状星団や銀河、銀河団などの天体や、宇宙の大規模構造を理解するのに有用な手段である。

ツリー法は、計算量が $\mathcal{O}(N^2)$ の直接計算法よりも劇的に少ない計算量、 $\mathcal{O}(N \log N)$ で重力を近似的に計算するアルゴリズムであり、広く用いられている。ツリー法では、近傍の粒子からの重力は直接計算して、遠方の粒子群からの重力は多重極展開による近似計算で求める。重力計算はCPUの各コアに備わっているSIMD演算器 (Single Instruction Multiple Data: 1命令で複数データの演算を並列に行う) を利用することで高速化される。これまで報告されている高性能なツリー法のコードでは、CPUのSIMD命令を最大限利用し、単極子項の重力計算を大幅に高速化する Phantom-GRAPE (Tanikawa et al. 2012, 2013, <http://code.google.com/p/phantom-grape/>) という高度にチューニングされたライブラリが用いられることが多かった。

我々のコードでは Phantom-GRAPE を拡張し、四重極項を含めた重力相互作用の計算をSIMD並列化した。単極子項のみを用いる場合に比べ、より近くの粒子群からの重力も高速に近似計算できるようになり、粒子が一樣に分布している条件では、単極子項のみを用いた場合に比べて重力計算が約10%高速化された。本講演では、我々のコードの詳細について報告すると共に、擬似粒子法や他のコードとの比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X62a クエーサーおよび大質量星による宇宙再電離と高速電波バーストの分散測度

井上進 (理研), Sourav Mitra (U. Western Cape), Tirth Roy Choudhury (NCRA), Andrea Ferrara (SNS Pisa)

近年発見された継続時間が数ミリ秒の高速電波バースト (FRB) は、正体はまだ不明であるが、電離銀河間物質の中を伝播して来た際に生じたと思われる大きな分散測度 (dispersion measure; DM) を示すことから、赤方偏移が $z \sim 0.2 - 3$ 程の銀河系外天体であると考えられている。将来的には、SKA などの観測施設によって、FRB 検出数の大幅な増加が見込まれるとともに、母銀河の同定などを通じた独立な赤方偏移の系統的測定が期待されている。これにより、全天の多数の視線で電離銀河間物質の分布と進化の情報が得られるはずであり、宇宙再電離を探る新たな手法として有望である。

我々は、今後の FRB 観測に向けて、大質量星・クエーサー双方を含み、関連する様々な最新の観測情報と合致している宇宙再電離の準解析的モデル (Mitra, Choudhury, Ferrara 2016) に基づき、銀河間物質による DM の予想を立てた。また、今後の FRB 観測から、銀河間水素とヘリウムの再電離履歴を通じて、最近話題となっている低光度クエーサーの宇宙再電離への寄与と進化を探る可能性を検討した。その結果、宇宙再電離・クエーサー進化の異なるモデルを識別するためには、FRB 近傍および母銀河に起因する DM を十分な精度で制限する必要があることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X63a Impact of Star Formation and Stellar Feedback on First Galaxies and beyond

長峯健太郎 (大阪大学), 矢島秀信 (東北大学), 清水一紘 (大阪大学)

We present the results on the formation of first galaxies at $z \geq 6$ using cosmological hydrodynamic simulations with zoom-in initial conditions. We focus on three different halos with masses $M_h \sim 10^{10} - 10^{12} h^{-1} M_\odot$ at $z = 6$. Our simulations probe the impact of different subgrid models of star formation (SF) and supernova (SN) feedback. We find that SF occurs intermittently due to SN feedback at $z \geq 10$, and then it proceeds more smoothly as the halo mass grows at lower redshifts. Galactic disks are destroyed due to SN feedback, while galaxies in simulations with no-feedback or a lower SF efficiency can sustain a galactic disk for longer periods. The expulsion of gas by SN feedback makes the inner density profile of dark matter shallower, but not for a long period of time. Our simulated galaxies reproduce the observed star formation rates and stellar masses of observed Lyman- α emitters at $z \sim 7 - 8$ fairly well.

We also present some test results of new GADGET3-Osaka feedback model, which utilizes the Sedov-Taylor solution for the SN feedback bubble expansion and its lifetime. We verify the model with isolated galaxy model, and find that a reasonable outflow is generated from self-regulated star formation in the disk. We also show that our new Osaka-feedback model produces more favorable results on galaxy stellar mass function and stellar-to-halo-mass ratio in a cosmological volume of comoving $(40 h^{-1} \text{Mpc})^3$ compared to previous models. These new simulations will be useful in making various predictions for the upcoming Subaru PFS observations.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X64a SPH 粒子データを直接用いた Lyman-alpha 輻射輸送計算コードの開発

安部牧人 (筑波大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), Benoit Semelin (Observatoire de Paris), 矢島秀伸 (東北大学), 梅村雅之 (筑波大学)

Ly α 輝線で非常に明るい高赤方偏移銀河 (Lyman alpha emitters, LAEs) の理論的な研究として、流体力学計算に Ly α 輝線輻射輸送計算 (Monte Carlo 法) を組み合わせた計算が行われて来ている。銀河形成シミュレーションの流体計算の際には、粒子法である SPH 法が広く用いられて来ているが、その一方でこれまでの Ly α 輻射輸送計算コードはメッシュベースで開発されてきた。そのため、従来手法では Ly α 輻射輸送計算の際に SPH シミュレーションデータをメッシュに割り当てる必要があり、SPH 計算の情報を人工的に落としてしまうことが問題であった。そこで我々は、SPH 粒子を輻射輸送計算のグリッドに直接用いることで、SPH 計算の情報を損なうことなく Ly α 輻射輸送計算を行う計算コードを開発した。本計算コードは、解析解が知られている一様ガス球からの脱出光子スペクトルや、dusty slab からの Ly α 光子脱出確率をよく再現する他、実際の銀河形成シミュレーションで得られた非常に複雑な系に対しても meshfree で Monte Carlo 計算が可能である。本講演では、開発したコードの概要や標準的なテスト計算の結果、さらに実際の銀河形成シミュレーションに本コードを適用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](#)

X65a 初代銀河の衝突で誘起されるガス雲形成

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)

ΛCDM 宇宙論に基づく銀河形成では、宇宙初期に初代銀河が誕生し、衝突合体を繰り返して現在の巨大な銀河へ成長したと考えられている。従って、初代銀河における星形成を理解することは、現在の銀河の building-block を理解することであるため重要である。しかし、星形成の起源となるガス雲の形成や性質は観測的にも理論的にも明確になっていない。赤方偏移 ~ 10 の銀河では、星間ガスは現在に比べて高密度かつ低金属量、そして強い紫外線輻射場に晒されている状態にあり、その熱進化によってガス雲が形成されたと考えられる。そこで我々は初代銀河の物理状態を考慮して、銀河衝突時のガスダイナミクスを 3 次元流体シミュレーションによって調べた。その結果、金属量 $Z = 0.1 - 0.01Z_{\odot}$ の場合では衝突に伴う衝撃波後面で熱的不安定性によって星間ガスが 2 相化し、冷たいガス雲が多数形成されることを確認した。ガス雲の質量は $Z = 0.1Z_{\odot}$ では $10^{2-3}M_{\odot}$ 、 $Z = 0.01Z_{\odot}$ では $10^{3-4}M_{\odot}$ と低金属量ほど大質量であった。これは熱的不安定性の最大スケールから理論的に見積もられるガス雲の質量と整合的である。冷たいガス雲のうち一部は重力的に不安定であるため、崩壊して星形成が起きると予想される。また、銀河のポテンシャル場に従ってガス雲が合体成長または潮汐破壊を受け、ガス雲の質量分布は時間発展することが分かった。この作用は衝突パラメータに依存しており、銀河の回転方向が揃っている場合に最も効率良く働くことが示された。また、より低密度・低金属量における大スケールの揺らぎは、ガスの冷却時間が銀河の力学的時間より長いため、銀河円盤の速度シアで引き伸ばされて成長できないことが分かった。これにより、 $10^{5-6}M_{\odot}$ 以上のガス雲を熱的不安定性で形成することは困難であ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](#)

X66a 低赤方偏移銀河間物質の観測による初代星起源金属汚染の検出可能性

桐原崇巨, 梅村雅之, 森正夫 (筑波大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), 石山智明 (千葉大学), 鈴木尚孝, 大内正己 (東京大学)

クエーサーや銀河を背景光としてそのスペクトル上に現れる吸収線を観測することで、銀河間物質中の金属量やその空間分布を調べることができる。銀河間物質の金属量や重元素空間分布は、天体形成史と密接に関わっているため、特に種族 III 星が及ぼす寄与についてその詳細を明かにすることで、金属吸収線の観測から種族 III 星に関する情報を引き出せる可能性がある。我々は、種族 III 星の形成モデルを組み込んだ質量解像度の高い宇宙論的 N 体計算 (Ishiyama et al. 2016) の結果を用いて、種族 III 星の超新星爆発により放出される重元素量と重元素汚染半径モデルを組み込むことで、種族 III 星由来の重元素の $z = 3$ における空間分布を調査した。種族 III 星由来の重元素は $\log(1 + \delta) \lesssim 0$ という低密度領域においても分布していることが確認できた。さらに、スペクトル生成プログラム Trident (Hummels et al. 2016) を使用して、汚染領域を通過する光線を擬似的に作成し、得られた $O_{VI}1031, 1037$ と $C_{IV}1548, 1550$ の吸収線から種族 III 星起源の重元素の情報を引き出す方法を検討した。

銀河近傍の高密度領域では $Mg_{II}1239, 1240$ 吸収線をみた場合に、銀河からの距離と Mg_{II} 吸収線の等価幅との間に逆相関の関係が観測的に知られている (Zhu et al. 2014)。一方で我々の結果は、低密度領域における種族 III 星起源の重元素がつくる等価幅の大きさが、銀河からの距離に対してほとんど変化しないことを示している。これは将来観測によって、 O_{VI} や C_{IV} の吸収線で捉えられる可能性がある。講演では、種族 III 星由来の重元素に加えて、銀河からの銀河間物質の重元素汚染に対するコンタミネーションを考慮した議論も行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X67a 宇宙再電離期 21cm 線と LAE 相互相関に対する前景放射の影響

吉浦伸太郎, 久保田賢志 (熊本大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), Jack.L.B. Line (Melbourne University), 高橋慶太郎 (熊本大学)

宇宙の初期に誕生した星や銀河から放射された紫外線光子が当時宇宙を満たしていた中性水素ガスを電離する時代を宇宙再電離期と呼ぶ。現在まで宇宙再電離期に関する観測的証拠は乏しく、詳細な電離度の進化やそれに関わる電離源の特徴を明らかにするまでには至っていない。そこで現在、世界各地で中性水素の超微細構造線である 21cm 線を用いた宇宙再電離期の観測が試みられている。宇宙再電離期やそれ以前の宇宙は中性水素が主な銀河間物質の成分であったため、赤方偏移した 21cm 線を観測する事で当時の銀河間物質の空間的な様子を捉える事ができる。この 21cm 線の電波観測は有用だが、そのシグナルは非常に弱く、観測には銀河系等の前景放射を高精度で差し引く必要があり、未だ検出には至っていない。そこで本研究では、前景放射の影響を抑えるため、高赤方偏移銀河である Lyman- α emitter (LAE) との相互相関に注目する。LAE は電離源の一種であり、その周囲には大きな電離領域が存在する。そのため、LAE の数密度と 21cm 線のクロスパワースペクトルを見た際に大スケールで負の相関が見られると考えられている。一方で LAE の数密度と前景放射の間には相関が無く、その項がエラーとして寄与する。十分な観測領域があればエラーは軽減されるため、高精度の前景放射除去がなくとも 21cm-LAE 相互相関が観測できると期待される。今回、前景放射と 21cm 線の詳細な理論モデルを用いて、前景放射の 21cm 線-LAE 相互相関観測への寄与を定量的に調べた。ここで Murchison Widefield Array による 21cm 線観測と、Subaru Hyper Supreme-Cam と Prime Focus Spectrograph による LAE の観測を想定し、21cm 線-LAE 相互相関の観測には少なくとも 90%以上の精度で前景放射を差し引く必要がある事を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

9月12日(火) 午後(13:36-15:00) [A会場]

Y01a	13:36	プラネタリー・ディフェンスの国際動向と日本における活動について 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
Y02a	13:48	地球衝突天体を発見した時、我々はどのように対応すべきか 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
Y03a	14:00	1956年の滋賀オーロラ目撃報道と山本一清の対応 玉澤春史(京都大学)
Y04a	14:12	大正末期の建築指図に描かれた緯度観測所の建造物 馬場幸栄(国立民族学博物館)
Y05b	14:24	天文学は私たちの文化、天文学のアウトリーチ用の星景写真集の制作 I 大西浩次(長野工業高等専門学校)
Y06b	14:24	「太陽系の旅 銀河系の回転と地質年代」の教材開発 下井倉ともみ(東京学芸大学)
Y07b	14:24	小学校の授業で天体望遠鏡を使おう! 初心者によくあるトラブルと対策 土橋一仁(東京学芸大学)
Y08b	14:36	教育学部大学生及び現職教員を対象にしたGIGASTARによる天体望遠鏡実習 内山秀樹(静岡大学)
Y09b	14:36	全国の大学生を対象とした天文分野の理解度・意識の継続調査: 理解度を高める要因は何か? 大朝由美子(埼玉大学)
Y10b	14:36	埼玉大学における中・高校生への天文学の研究体験指導 小田達功(埼玉大学)
Y11b	14:48	全天モニタ画像座標較正 Web サービスの改良 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y12b	14:48	国立科学博物館所蔵太陽黒点スケッチのデジタル化と公開 洞口俊博(国立科学博物館)
Y13b	14:48	天体観測実習を含む有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの試み 水村好貴(京都大学)
Y14c		N_2H^+ 分子輝線の解析の学部生向け教材の開発 広瀬亜紗(東京学芸大学)
Y15c		Mitakaを活用した天文教育用簡易ドーム投影システムの開発 福田尚也(岡山理科大学)
Y16c		高感度デジタルカメラの連続撮影による流星と流星痕観測 戸田雅之(チーム流星痕/日本流星研究会)
Y17c		高校生によるゼロからの太陽電波観測 篠原 徳之(国立天文台)

(次頁に続く)

【Y. 天文教育・その他】

9月13日（水）午前（09:30-10:42）[A会場]

Y18a	09:30	アクロマート屈折望遠鏡で超色消し画像得る試み（その2）	竹内彰継（米子工業高等専門学校）
Y19a	09:42	太陽観測衛星ひのでが観測した水星太陽面通過画像を利用した実習教材	矢治健太郎（国立天文台）
Y20a	09:54	津山高専の公開講座を活用した天文教育	佐々井祐二（津山工業高等専門学校）
Y21a	10:06	高等学校「課題研究」における天文教育の実践	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）
Y22a	10:18	Twitter を用いたすばる望遠鏡観測「実況」の試み	藤原英明（国立天文台）
Y23a	10:30	Mitaka における科学的可視化について	加藤恒彦（国立天文台）
Y24a	10:42	「一家に1台 天体望遠鏡」計画 ? 「君もガリレオ!」プロジェクト・エピソード2?	縣秀彦（国立天文台）

Y01a プラネタリー・ディフェンスの国際動向と日本における活動について

吉川真 (JAXA)

天体の地球衝突問題を扱う活動は「スペースガード」として20年ほど前から本格化しているが、最近では「プラネタリー・ディフェンス」として国際的な活動となってきている。本年(2017年)5月には、「プラネタリー・ディフェンス・コンファレンス」という国際会議を日本で開催した。本講演では、この国際会議で議論されたことも踏まえて、天体の地球衝突問題についての国際的な動きを整理した上で、日本としてどのような活動をすべきなのか、技術的な観点から一般の人への対応までについて議論する。

現在における国際的な活動は、国連の委員会で議論された IAWN (International Asteroid Warning Network) と SMPAG (Space Mission Planning Advisory Group) である。前者は地球に接近する天体の観測を、後者は天体衝突回避を主目的にした活動を行っている。また、一般向けとしては Asteroid Day という活動があり、天体の地球衝突という問題を一般の人にも正しく理解してもらうことを目標にしている。日本では、これらの国際的な会合や活動に参加するとともに、美星スペースガードセンターにおける観測や、「はやぶさ」や「はやぶさ2」の小惑星ミッションもプラネタリー・ディフェンスに貢献している。さらに、アジア・太平洋地域での小惑星の観測を活性化する目的で APAON (Asia-Pacific Asteroid Observation Network) も設立した。

日本としては、特に観測の強化が必要であるし、防災という観点での議論が決定的に抜けている。さらには、上記の国際会議でもかなり議論されたが、衝突回避のための核の使用とか経済的な影響、さらには国際的な協力をを行うときの問題点など、検討すべき項目は広範囲にわたる。大きな被害を伴う天体衝突は頻度は低いとしてもそれに向けた検討はさらに進めておく必要がある。そのための日本国内の議論を始める必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a 地球衝突天体を発見した時、我々はどのように対応すべきか

浦川聖太郎、奥村真一郎 (日本スペースガード協会)、吉川真 (JAXA)

小惑星や彗星といった天体(地球接近天体)の地球への衝突は、我々が直面する最大の自然災害と言える。天体の地球衝突問題を扱う活動をスペースガード、あるいはプラネタリー・ディフェンスと呼ぶ。仮に直径300m程度の小惑星が、東京に衝突した場合、関東地方全体が壊滅する。東京に小惑星が衝突するということは、ただ単に地域が壊滅するだけではない。世界の経済に壊滅的な影響を与えることとなる。もし、東京のような大都市への小惑星衝突が現実なものとなれば、世界の多くの機関が衝突を避けるための英知を集めてくれるであろう。それでは、どの程度の規模の都市まで、世界は救ってくれるであろうか？そして、その判断は、どこで誰が行うのであろうか？そして、この時、科学者の役割は何であろうか？こうした、問題に対する議論は国内でほとんど行われていないのが現状である。また、2017年3月に隕石落下と思われる衝突痕が青森県の私有地で見つかる事象が発生した。これまでのところ、隕石は発見されていないが、仮に学術的価値の高い隕石が発見された場合、その保全と保護は誰がどのように行うべきであろうか？このような場合の指針も存在していないのが現状である。

本講演では、地球衝突天体問題の現状を述べ、地球衝突天体が発見された時、我々科学者がどのように対応すべきか議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a 1956年の滋賀オーロラ目撃報道と山本一清の対応

玉澤春史，河村聡人，磯部洋明（京都大学）

山本一清（1889-1959）は京都大学の花山天文台長をつとめたあと私設天文台として山本天文台を開設，またアマチュア天文家の育成をしており，現在で言うところの科学コミュニケーションに積極的な先駆者であるともいえる．また，当時滋賀県出身の天文学者として知られていたため，山本の元には新聞社や市民からの問い合わせがあったようである．1956年に山本が観測中に何らかの発光現象を目撃，山本はオーロラの専門家ではなかったものの，滋賀でオーロラが見えたとの発表，新聞に報道された．当時の地磁気指標などと比較してみるとオーロラであったと考えるのは難しいのだが，報道を受けて山本の元には市民からの問い合わせが来て対応している．一部新道では地球物理学の専門家からのコメントもを引用してオーロラかどうか疑わしいとも報道している一方，山本の発表に基づいて報道しているところもある．

山本天文台に残された資料（花山天文台に移管）にはこのオーロラ報道に関する記録や市民からの問い合わせ記録が残っており，当時の様子が伺える．必ずしもオーロラの専門家ではない山本が対応した当時の姿は，専門領域以外への研究者の対応，およびそれに対する報道や市民の反応という点で現代にも通じる事象である．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a 大正末期の建築指図に描かれた緯度観測所の建造物

馬場幸栄（国立民族学博物館）

国立天文台前身組織のひとつである緯度観測所は文部省直轄の機関として明治 32（1899）年より天文学・地震観測学・高層気象学・報時の研究に取り組み、Z 項を発見するなどの成果を挙げて近代天文学の発展に大きく寄与してきた。しかし、いまや緯度観測所の初期の様子を知る者は殆どおらず、しかも同観測所はその研究活動に合わせて敷地の拡張および建造物の増改築を繰り返して来たため、同観測所における初期の建造物配置や各建造物の内部構造および具体的用途については現在では不明な点が多い。そこで、国立天文台水沢 VLBI 観測所図書室の協力を得て、大正末期に緯度観測所が編綴した簿冊『国有財産関係書類』（国立天文台蔵）の調査を実施した。結果、同簿冊のなかから、当時の建造物配置や内部構造を詳細に記した建築指図（図面）27 点が発見された。本発表では、これらの建築指図および『国有財産関係書類』本文等から判明した大正末期緯度観測所の建造物配置、建造物の内部構造および具体的用途について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y05b 天文学は私たちの文化、天文学のアウトリーチ用の星景写真集の制作 I

大西浩次（長野高専）

いま、全天で4000個近い系外惑星が発見されている。これら系外惑星系（主星と惑星たち）に名前をつけるとしたら、どのように命名するだろうか。国際天文学連合 (IAU) は、2014年から、一般の人々から提案と投票で系外惑星の名前を決める系外惑星命名「キャンペーン」を行なった。その結果、20の惑星系に対して45カ国のさまざまな天文団体から247の名前が提案され、一般投票で最高投票数を得た名前より、19系外惑星系（14の主星と31個の惑星）の名前が2015年12月15日に発表された。これらの内、4惑星系が日本の天文団体から提案された命名であった。

今回の「キャンペーン」で命名された系外惑星系の名前を見ると38%が神話・民話関係、25%が人名（天文学者など）、20%が言葉（ラテン語など）などと、人々の文化に根付いた命名であった。これらの命名された系外惑星系に、より多くの人々が親しみを持ってもらうために、また、天文学のいろいろなアウトリーチのための素材として、星と風景の中での系外惑星を持つ恒星を写しこんだ「星景写真」セットを制作した。

夜空を見上げるといろいろな思いを込めた名前のある星を見つけることができる。これらの名前を見ると、天文学は私たちの文化そのものなのだと改めて思う。このような文化を多くの人に広めるためにも、また、天文学の研究のアウトリーチや天文教育のプレゼンテーションのためにも、今回制作した「星景写真」セットを使用していきたい。なお、現在、系外惑星系の紹介用の星景写真の続編を制作すると同時に、すばる望遠鏡 HSC 公開用チャート写真や、X線や電波などの天体分布表示用の星景写真なども製作中である。この発表を機会に、多くの分野からの制作の要望を受けたいと考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06b 「太陽系の旅 銀河系の回転と地質年代」の教材開発

清水今日子, 土橋一仁, 下井倉ともみ, 佐藤たまき, 生田巳裕, 鉄矢悦朗 (東京学芸大学)

我々は、銀河系の回転と地質年代を関連付けて学習することができる新しい地学教材を開発した。「太陽系の旅 銀河系の回転と地質年代」と名付けたこの教材は、NASA が作成した銀河系のイラスト上に、太陽系の公転軌道を時計代わりにして地質年代上の重要な古生物や出来事をプロットしたものであり、A1 サイズのポスターとして小学校高等学校の教室に掲示して活用することを想定している。

天文分野や古生物分野は、児童・生徒にとって興味や関心の高い分野である一方、日常とはかけ離れた時間的・空間的スケールなど、理解の難しい分野でもある。太陽系の公転周期は約2億年であり、これは、カンブリア爆発(5億4千万年前)やペルム紀の大量絶滅(2億5千万年前)といった地質年代上の重要な出来事と同じオーダーの時間スケールである。これを利用し、本教材では、現在の太陽系の位置から公転軌道に沿って時間を遡るとともに、0.33回転前=白亜紀末の恐竜の絶滅、1.8回転前=イクチオステガの出現、2.7回転前=カンブリア爆発、といった事項を関連付けて考えさせる。これにより、時間的・空間的スケール感を同時に養えることが期待できる。

教材には、銀河系の回転・構造とともに、先カンブリア時代・古生代・中生代・新生代の8種類の古生物と4つの出来事を取り上げ、それぞれイラストを作成して解説文とともに掲載した。これらの古生物や出来事は、できるだけ高校までの理科の教科書に記述のあるものを選んだ。教材に使用する8種類の古生物と4つの出来事のイラストについては、美術を専攻する著者の一人(生田)が、古生物学の専門家であるもう一人の著者(佐藤)の監修を受けつつ色鉛筆で描いたものをスキャナーで取り込み、加工して作成した。本講演では、この教材を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07b 小学校の授業で天体望遠鏡を使おう！初心者によくあるトラブルと対策

土橋一仁、下井倉ともみ、西浦慎悟（東京学芸大学）

本講演では、小学校理科の授業で天体望遠鏡を活用することを念頭に、天体望遠鏡の扱いに不慣れな小学校教員や児童にありがちなトラブルの例を紹介し、その対策や留意点について述べる。太陽表面の黒点、月のクレーター、木星とガリレオ衛星、土星の輪などは、小口径の望遠鏡でも見応えのある観察対象である。このような天体を小学校理科の授業の一環として観察することは、知的好奇心や科学的思考力を発達させつつある児童に、自然の美しさや不思議さに気付かせる絶好の機会になり得る。

天体望遠鏡を所有している小学校は多いと思われるが、残念ながら、理科の授業で実際に天体望遠鏡が活用されることは、ほとんど無いのが実情である。教員研修等の機会に現職の小学校教員に聞いてみると、「使い方が分からない」ので授業に活用できない、という趣旨の回答が多い。望遠鏡の扱いに慣れるためには、各地の天文台、科学館、大学等で行われている天体望遠鏡の操作に関する講習会に参加したり、書物を片手に自力で経験を積みばよいと思われるが、そのような講習会や書物だけでは必ずしもわからない「初心者にありがちなトラブル」というものがある。本講演では、東京学芸大学における(1)教員志望学部生に対する学生実験、(2)小学校の現職教員に対する教員免許状更新講習会、(3)児童を含む近隣住民に対する星空観望会、を通して経験的に得られた「初心者にありがちなトラブル」を紹介する。これらのトラブルは、天体望遠鏡の姿勢や部品を固定するためのクランプやネジに関することと、対物レンズ・接眼レンズの取り扱いに関することに大別される。どちらのトラブルも簡単な練習で克服できるので、天体望遠鏡に不慣れな小学校教員もその操作法を習得し、「月と星」(小学校第4学年)や「月と太陽」(第6学年)等の授業で、天体望遠鏡を活用して欲しい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08b 教育学部大学生及び現職教員を対象にした GIGASTAR による天体望遠鏡実習

内山秀樹（静岡大学）、間瀬康文（特定非営利活動法人ギガスター）

小中学校での天文教育（天体観測）の充実には、指導する教員が望遠鏡の扱いに慣れ、苦手意識を持っていないことが必要である。しかし、近年の調査（平成 23 年 JST）によると、小学校教員養成課程で天体望遠鏡の使い方を指導している大学の割合は 5 割に満たない。そして小学校教員を目指す学生が指導に最も不安を抱えている実験・観察の 1 つが「天体望遠鏡の使い方」となっている。大学で天体望遠鏡の使い方の指導がなされない理由の 1 つに、望遠鏡実習が天候に左右される上、夜間に行う必要があり、実施が難しい点が考えられる。GIGASTAR を使った天体望遠鏡実習はこれを解決し得る。GIGASTAR は特定非営利活動法人ギガスターが開発を進める直接式プラネタリウムであり、望遠鏡で拡大しても、実際の星空と同様にシャープな「点」として星が見えるのが特長である。GIGASTAR を模擬的な観測対象とすることで、望遠鏡の操作を学ぶ実習が日中の屋内で可能になる。

我々は、静岡大学教育学部の学生を対象にした地学実験（2014～2016 年度）および、小中学校・高校の現職教員を対象にした教員免許状更新講習（2016 年度）にて、GIGASTAR を使った天体望遠鏡実習を行なった。本講演では、その実施の様子と、実習の前後に行なった受講者アンケートの結果について報告する。アンケート結果から、多くの大学生は天体望遠鏡の操作・組み立てを「授業等の機会があれば出来る様になりたい」と考えており、授業内での望遠鏡実習への需要は高いことが分かった。更に、望遠鏡を使った指導に対する大学生の自信が、実習により高まっている様子も見取れた。また、現職の教員からは、小中学校でも昼間に天体の観測は難しいため、天文分野の授業を進める上で GIGASTAR を使ってみたい、といった感想が多く出された。これらのアンケート結果を基に、GIGASTAR を使った実習の今後の発展や改良の見通しについても論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b 全国の大学生を対象とした天文分野の理解度・意識の継続調査：理解度を高める要因は何か？

大朝由美子 (埼玉大学), 吉田康貴 (埼玉大学/さいたま市役所), 埼玉大学教育学部 / 大学院理工学研究科天文学研究室

「太陽と月，地球は何が違うか？」太陽と月や銀河系を含む宇宙については，小学校3，4，6年，及び中学校3年次で学習し，身近な天体であるにも関わらず，明確に答えられない大学生は少なくない。太陽が固体である，月は地球より大きい，宇宙で最も大きな天体は太陽である，と考えている大学生や，太陽系の外に広がる宇宙について全く知らない大学生もいる。天文分野の知識の定着率の低さは何が原因だろうか。理解度の上昇には何が必要だろうか。

これらを検証すべく，本研究では主に大学生を対象に，天文分野における理解度と意識の調査を行った。内容は天文学を含む理科への関心「太陽と月，天の川」など中学校3学年までに学ぶ知識や観察経験を問うものとなっており，調査対象は，主として教員養成系学部，比較として理工系/文系の大学生，及び現職教員や高校生など35機関の約4600人である。2013年度から埼玉大学で調査を開始し，2014年度は全国の大学の協力から約2800人の回答が得られ，太陽の方角等「位置天文学」の要素に比べて，太陽や月の光り方等「天体物理学的」要素については正答率が低いことが明らかになった（大朝ら2014年秋季年会）。埼玉大学ではその後も理解度の継続調査を行っており，2016年度に再び14大学の追跡調査の協力が得られたため，この結果をもとに，興味関心の度合い，文・理や高校地学選択の有無，天体観測経験等の項目と理解度との相関関係をロジスティック回帰分析から検証した。本講演では，これまでの調査結果と共に，天文分野の理解度を高める要因や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](#)

Y10b 埼玉大学における中・高校生への天文学の研究体験指導

小田達功, 大朝由美子, 平塚雄一郎 (埼玉大学)

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、2010年度から中高生を受け入れて研究体験活動を行っている。これは、埼玉大学で実施している、小・中学生対象の未来の科学者を育成することを目的とした「科学者の芽育成プログラム」や、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)」及び、スーパーサイエンスハイスクール (SSH) の一環である。

我々はこれまでに、2010年度に中学生1名、2014年度に高校生1名、2014~2016年度に中学生1名、2016年度に高校生5名の計8名を対象に研究体験の指導を行った。これまで行った研究テーマはそれぞれ、「月のクレーター模擬実験」「すばる望遠鏡データを用いた多色解析」「手作り電波望遠鏡による天体観測」「太陽系外惑星のトランジット法による観測」「多波長測光観測から星や星団の進化に迫る」「分光観測における前主系列星候補天体の観測」である。「手作り電波望遠鏡による天体観測」では2015年度にグローバルサイエンスキャンパスの全国受講生研究発表会で、優秀賞を受賞した。本研究体験では、観測の立案もしくは装置の設計や製作から実際の観測・データ解析と議論まで、埼玉大学の望遠鏡を用いた観測を主軸に、大学生や大学院生とともに年間を通じて研究を進めた。それぞれの中・高生の興味・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、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いる。

本講演ではこれらの教育活動の中でも、測光学的手法に基づいた研究に焦点を絞り、その成果や課題及び今後の展望について紹介する。また、同じテーマの研究体験を大学2年生が実施した時との比較・考察も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11b 全天モニタ画像座標較正 Web サービスの改良

小澤友彦 (紀美野町文化センター), 川野元聡 (国立天文台), 尾久土正己 (和歌山大学)

全天モニタ画像の取得は研究所や観測所に留まらず、機器の高性能化・低価格化により観光や天文教育を主とした天文台にも広まっている。そして、これらの画像はインターネットを通じ、誰もが閲覧・入手できる環境が整っている。しかし画像上に写る星の位置や座標を求めることは容易ではなく、星座線や恒星名を記入して教育コンテンツを作成したり、変光星の測光を長期に渡って実施することには多大な労力がかかる。

全天モニタ画像には魚眼レンズの光学系やカメラの設置状況のような不確定要素が含まれるため、画像上の星の位置を予測する一般式を立てることは難しい。そこで我々は全天モニタ画像の位置較正を行うツールを開発し、併せてウェブページ上で動作するサービスの構築を行い、2017年春季年会にて発表した (Y14b, Y15c)。ユーザはウェブブラウザ上で画像をアップロードし、簡単なオプションを付加するだけで画像の位置較正ができる。この際同時に星座線の描かれた画像も自動的に作成される。

今回は前回発表の際のコメントを反映し、画像上の赤経赤緯座標の表示や星の測光に使えるよう WCS を付加した FITS 形式への変換といった、より実用的な機能を追加した。ウェブページ上での座標測定は自動較正された投影係数と変換式を組み込んだ JavaScript で実装した。また、NASA GSFC/HEASARC にて開発された nom.tam と呼ばれる Java のクラスライブラリをサーバサイドへ組み込んで JPEG から FITS へ画像を変換し、同時に FITS ヘッダーに WCS のパラメータに換算された投影係数を書き込んで位置較正済み FITS ファイルを提供している。

本件では、追加した機能の概要、構築方法を説明する。また利用方法の概要を示し、より必要とされる機能の構築に向け意見と求め議論する。なお、本研究は JSPS 科研費 16K01112 の助成を受けたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12b 国立科学博物館所蔵太陽黒点スケッチのデジタル化と公開

洞口俊博, 中島隆 (国立科学博物館)

国立科学博物館には当館の職員であった小山ヒサ子氏 (1916-1997) が残した膨大な数の太陽黒点スケッチが保管されている。1947年に上野の国立科学博物館屋上で20cm屈折赤道儀を用いた観測を本格的に開始した小山ヒサ子氏は、定年で退官した後も同望遠鏡での観測を続け、その観測枚数は1996年まで総計で1万枚におよんでいる。われわれは今回そのスケッチすべてをスキャナーでデジタル化し、その整約結果とともに閲覧できるよう、インターネットで公開を開始したので、その概要について報告する。

一人の観測者がこれほどの長期にわたって同一の望遠鏡で行った太陽観測の記録は非常に貴重なものであり、直径30cmに投影して行われたスケッチは極めて詳細なものである。サイト(*)では各観測日のスケッチや相対数だけでなく、各黒点群の緯度、経度、型・相対数の推移、1か月ごとのスケッチアニメーションなども公開しており、教育的にも有用と考えられる。

(*) http://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/sunspot/

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13b 天体観測実習を含む有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの試み

水村好貴, 中宮賢樹, 土井隆雄, 三木健司 (京都大学)

宇宙は人類にとって進出可能な新世界となり、国際宇宙ステーションに代表されるように国際協力の時代に発展した。日本では、1985年に国際宇宙ステーション計画への参加決定を契機に、宇宙実験・ロボットアーム操作・船外活動など有人宇宙活動に必須な技術を獲得した。2008年に「きぼう」日本実験棟を設置するミッションを契機に、日本人宇宙飛行士による長期ミッションが開始され、宇宙飛行士訓練・有人宇宙施設の運用・長期宇宙実験の実施・宇宙貨物船の運用などの技術を獲得した。しかしながら、これら30年以上にわたる有人宇宙活動による技術獲得の間、その全体を系統立て理解し有人宇宙活動を率いていく人材育成が、大学レベルで行われることはなかった。現在の多様化する有人宇宙活動を支え、さらに宇宙産業を活性化・発展させる若い人材の育成が急務となっている。将来の有人宇宙活動には、飛翔体工学・通信工学・ロボティクス・建設工学などのみでなく、微小重力・閉鎖空間・真空といった極限状態における生命科学、さらには宇宙法・経済学・倫理学などの人文社会科学まで、あらゆる学問・専門領域が必要で、これらをまとめた総合科学を創出する必要がある。

京都大学では、「有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの開発と実践」という事業を開始し、専門が強固になる前の大学学部生を対象とした総合科学教育プログラムを開発し、今年度から講義を提供し、来年度から実習教育プログラムを提供する。実習プログラムには、閉鎖環境におけるストレス反応を検討するもの、模擬微小重力における植物育成実験を行うもの、微小重力を体験し認知応答の変化を調査するもの他に、光学望遠鏡を用いた系外惑星観測とその分析を行うものがある。本講演では、提供を開始している講義の状況を分析した結果と、実習プログラム（特に光学望遠鏡による系外惑星観測）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](#)

Y14c N_2H^+ 分子輝線の解析の学部生向け教材の開発

広瀬亜紗, 土橋一仁, 下井倉ともみ, 西浦慎悟 (東京学芸大学)

我々は、学部生のための 93 GHz 帯の N_2H^+ 分子輝線の学習教材を開発した。93 GHz 帯の N_2H^+ 分子輝線は、1974 年に Turner (1974) によって初めて分子雲コアの中で検出された。この分子輝線は、星形成が起きる分子雲コアの特に密度の高い部分 ($n_{\text{H}_2} > 10^5 \text{ cm}^{-3}$. 例えば, Crapsi et al. 2005) で検出されるので、分子雲コアの探査やその物理量の推定によく利用される。しかし、超微細構造により生じる 7 本の輝線からなる N_2H^+ 分子輝線の一般的な解析には複雑なプログラムを作成する必要があり、プログラミングに不慣れな学部生が解析を行うことは容易ではない。そこで、本研究では、7 本の輝線のうち光学的に最も厚い輝線と最も薄い輝線の 2 本のみ注目することにより、学部生でも簡単に N_2H^+ 分子輝線の解析法を学べる教材を開発した。初学者が利用できる同様の分子輝線解析の教材としては、濤崎ほか (2009) が開発した 2324GHz 帯の NH_3 分子輝線の教材や、高木ほか (2010) が開発した 110GHz 帯の ^{13}CO 分子輝線の教材が挙げられる。これらの教材は、定規と電卓だけで簡単に解析が行えるように工夫されている。我々もこれに倣い、定規と電卓だけで学習できるよう、教材を整備した。本教材を濤崎ほか (2009) や高木ほか (2010) が開発した教材と合わせて活用すれば、学部生でも分子雲内部の様々な密度範囲について、効率的に学習することができる。

開発した本教材の有用性を確かめるために、東京学芸大学の学部 3・4 年生 7 名に対し、本教材を用いた授業実践を行った。また、受講生の理解度や本教材の改善点等を調べるために、授業後にアンケート調査を行った。その結果、本教材を用いることで、学部生でも分子輝線の解析法を理解できることがわかった。少ない人数での授業実践ではあったが、本教材を効果的に利用する上での注意事項も、いくつか明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Y15c Mitaka を活用した天文教育用簡易ドーム投影システムの開発

福田尚也, 加藤真奈, 森原早有理 (岡山理科大学)

小学生や中学生を対象とした天文教育では夜間の観測実習が困難であるため、プラネタリウムがその教育の一部として用いられていることがある。多くのプラネタリウム館では、小学生や中学生を対象とした学習投影が、平日の日中に実施されている。プラネタリウムの設置数は日本では300を超えるが、全ての地域をカバーするほどではなく、地域差も大きい。本研究では、国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクトで開発されたMitakaがバージョンアップし、プラネタリウム投影のようなドームマスター形式の投影が可能になったので、一般の教育の現場に活用できるよう簡易ドーム投影システムの開発に取り組んだ。

投影システムを設計するにあたって、投影の半球スクリーン、設置方法、プロジェクター、コンピューターの検討を行った。持ち運びが可能で手に入れやすいスクリーンとして、地球や惑星の投影でダジック・アースにも用いられていた半球発泡スチロールの、内側とした。投影は市販のプロジェクターで真下からとし、スクリーンを支えるものとしては、パイプフレームを複数組み合わせた。半球スクリーンとパイプフレームの間には、設置を安定化させるジョイントを3Dプリンターでデザインを行ない、製作した。ドームマスター投影は平面投影に比べ情報量が多いため、一世代前のコンピューターでは平滑な投影が難しい。

設計した投影システムに関して、大学のイベント「科学博物館」にて一般公開し、参加者に対して平面3D投影との比較のアンケートも行った。アンケートの結果は保護者と児童とで異なり、保護者は平面投影、児童は半球投影の方が好評であった。解説に集中するためには視点の移動が少ない平面投影が好ましく、星空を見上げる感覚からは半球投影の方が好まれるのかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y16c 高感度デジタルカメラの連続撮影による流星と流星痕観測

戸田雅之(チーム流星痕/日本流星研究会)

流星痕は流星消失後の軌跡上に淡く光り、時間の経過と共に形状と明るさが変化した後消失する。継続時間の長さによって3秒までを短痕、3秒以上30秒以内を流星痕、30秒以上継続して光るものを永続流星痕と呼んでいる。流星痕は対地速度の速い流星群(例としてしし座流星群(71km/s)、オリオン座流星群(66km/s)、ペルセウス座流星群(59km/s))に属する明るい流星で目撃・報告される。永続流星痕の発生確率は年に数個程度だが、継続時間の長さゆえに多くの人に目撃および写真撮影されることもある。短痕は最も出現確率が高く、写真撮影で緑色に写ることもあるが、殆どが1~3秒で消失してしまう。2007年11月に市販されたデジタル一眼レフカメラ(ニコンD3)は当時優れた高感度特性を持ち、拡張感度ながらも初めてISO25,600を達成した。このカメラに対角線画角74度の28mm F1.4レンズを装着し、シャッタースピードは1秒(のちに0.77秒)の連続撮影で、撮影視野内に出現した流星出現から流星痕/短痕消失まで切れ目の無い画像を数多く取得することに主眼を置いた。ペルセウス座流星群やふたご座流星群などの主要流星群で1時間に30個を超える流星を記録することもあり、短痕を流星群毎に統計可能な数を得ることが可能になった。大量の撮影済みデータセットから流星と流星痕を抽出するのにPCで1コマずつ手作業で目視判別するので、1ヶ月3ヶ月もの時間がかかる。最高感度ISO12,800の一眼レフカメラが大多数を占める現在、流星撮影は容易であることなどを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y17c 高校生によるゼロからの太陽電波観測

篠原 徳之（国立天文台 野辺山宇宙電波観測所、石澤 育博、高校生（長野県立駒ヶ根工業高校）

野辺山観測所の広報活動の一環として高校生以上を対象に天文学習を行って来た。当初は観測所の見学と簡単な装置説明、天文学を座学で行なっていたが前任者の移動に伴い、筆者が担当になることでさらに掘り進んだ講座に様変わりをさせた。相手校の担当教諭による SPP からの研究費が獲得できるようになったことと、同校の創設 50 周年記念が重なり、アンテナ制作ができる費用に目処が付き太陽観測システムの構築ができる環境が整い 4m のアンテナシステムの制作を開始した。観測周波数は海外衛星放送周波数の「4GHz」とした。受信機については電波強度を電圧に変換する一般的な検波方式とし、使用する検波器については NRO 製のものを高周波回路を学びながら改良を加え、性能を上げることで十分使用に耐えるものが制作できた。当該高校は専門科のある工業高校であるため、観測システムに必要な様々な分野で専門科が担当し、学校内部で完成まで完結できたことは非常に重要な要素でもある。例えば、アンテナ基礎・測量は建築土木科、電気工事などは電気科、アンテナ制御・データ収集は情報処理科と分業して行うことで、全校が参加して観測システムの構築に関与できたことは重要な事項であると思う。構想から 5 年、ちょうど完成に合わせたように太陽フレアの観測に成功し、天文学会ジュニアセッションにて発表・紹介をすることができた。このプロジェクトで筆者が一番苦勞した点がある。それは関係する生徒さんが最大 2 年間しか参加できないことと、学校であるため 1 週間に確保できる時間が数時間しかない点である。毎年メンバーが入れ替わるため知識と経験の継承が非常に難しかった。現在発展形として「複数台アンテナによる干渉計型強度計」の制作を初めている。1 台のアンテナで学んだことをベースにさらなる発展を展開させる予定である。本発表では、筆者が感じた難しさ等を挙げ解説を行なう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y18a アクロマート屈折望遠鏡で超色消し画像得る試み（その2）

竹内彰継（米子高専）

昨年日本天文学会秋季年会では、アクロマート屈折望遠鏡でも赤、緑、青のフィルターで別々に惑星を撮像してPC上でRGB合成すれば画期的に色収差が低減できることを示した。具体的には、色収差が非常に強く出る安価な口径15cm、F8の短焦点アクロマート屈折望遠鏡にAstronomik社のR,G,Bフィルターを装着して木星を撮像し、PC上でRGB合成すれば蛍石アポクロマートレンズにも匹敵する色収差の少ない画像が得られることを示した。

そこで、今回は現在天文の入門機となっている口径8cmのアクロマート屈折望遠鏡を利用して、上述の方法で木星を撮像し、どの程度の画像が得られるか調べてみた。その結果、口径8cmのアクロマート屈折望遠鏡でも、熟練の眼視観測者が口径30cmの反射望遠鏡を用いて描いたスケッチと同等の画像が得られることがわかった。ここまで木星面上の様子がとらえられれば、最近縮小と経度方向の後退が話題になっている大赤斑のドリフトチャートなど容易に作成できる。さらに木星の展開図を作成すれば、昨年末に発生したSEB outbreakの時間変化も追跡できる。

以上のことから、本手法を用いれば天文の入門機である口径8cmのアクロマート屈折望遠鏡でも木星の様子の時間変化の追跡が十分可能であることが示された。現在小口径のアクロマート屈折望遠鏡は非常に安価になっている。このため、この手法は小、中、高校の天文クラブにも惑星の撮像観測への道を開く強力な手段になると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y19a 太陽観測衛星ひのでが観測した水星太陽面通過画像を利用した実習教材

矢治健太郎 (国立天文台), 大西浩次 (長野高専), 洞口俊博 (国立科学博物館), PAOFITS ワーキンググループ

太陽観測衛星が観測した水星太陽面通過のデータを使って太陽・地球間の距離 (1 天文単位) を求める方法がこれまでに報告されている (大西 2004)。2016 年 5 月 9 日の水星太陽面通過は、日本では観測されなかったが、ひので衛星が 3 つの各観測装置で観測している。ひのでの X 線望遠鏡 (XRT) で、全面像 (2048x2048 秒角) の観測を約 25-30 分ごとに計 20 回行っており、また、その間も、部分画像 (768x384 秒角) の観測を 30 秒ごとに行っている。ひのでは極軌道を取って地球を周回しているため、ひのでからは水星が太陽面を波打って移動しているように見える。この振幅が衛星上から見た視差となり、原理的に 1 天文単位を求めることができる。

この観測データを使って、1 天文単位を求める実習教材を考案し、今年 3 月に開催した天体画像教育利用ワークショップで実践した。この実習には 28 名が参加した。太陽面上の水星の位置の測定にはマカリイを用いた。また、大量のデータを共同作業で処理するために、クラウド (Google Drive) 上の共有ファイルを活用した。その結果、

12 時 21 分-13 時 32 分 (133 枚) のデータセットでは、1 天文単位=2.04 億 km (時刻は世界時)

16 時 12 分-18 時 27 分 (173 枚) のデータセットでは、1 天文単位=1.61 億 km

という結果が得られた。前者は実際の値から大きく外れたが、後者は近い値が得られた。実習の結果、位置測定の精度など課題が残ったものの、衛星データから 1 天文単位を求める教材を考案する、また、クラウドを活用して共同作業で実習を行なうという目的は達したと考えられる。今後は、学校等で実践を行いたい。

本講演では、ひのでによる水星太陽面通過の観測の概略と、今回の実習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](#)

Y20a 津山高専の公開講座を活用した天文教育

佐々井祐二（津山高専）

津山高専では、世界天文年 2009 を契機として小中学生対象の公開講座「天体観測会 君も未来のガリレオだ！」を年 4、5 回開催しており、地域住民から好評である。本年も 4 月から補助学生のトレーニングを行った上で、5 月 29 日に第 1 回「口径 35cm 望遠鏡で木星を見よう」を実施し、47 名の参加者があった。また、津山市公民館から「天体観測教室」を依頼されることもあり、本年も 8 月に実施予定である。天体観測会では、発表者の研究室の口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡などを活用している。本校 3 年の自発的学習科目チャレンジゼミナール生などを望遠鏡操作担当の補助学生としており、公開講座を通じた相互教育による教育体験が補助学生の天文基礎知識の習得にも繋がっている。

本発表では、教員と補助学生、さらに本校学術・社会連携推進室がチームを組み実施 9 年目に入った公開講座の天体観測会について、その活動内容、アンケートを通じた受講者および学生の教育効果について報告する。

部活動でなく、授業の受講学生は毎年度メンバーが交代するので 4 月にはリセットの繰り返しであった。津山高専では平成 28 年度に 4 工学科と一般科目を総合理工学科に統合した。既存の工学科を発展させる 3 工学系の他に、全国高専初の理学系である先進科学系を設け、学生の学年進行に伴い天文教育の継続性が生まれようとしている。天体の単なる観望では学生の興味も長続きしない。学生が主体的に行った校内向け天体観測会の他に、今後注力したい食連星の観測やその解析についても紹介する。岡山県北部地域の科学技術教育センターを目指したい本校の立ち位置についても考えてみたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y21a 高等学校「課題研究」における天文教育の実践

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)

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、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、「サイエンスリテラシー II(以下 SLII)」という授業がある。本校は理数科であり、SLIIの履修をもって、文部科学省が定める「課題研究」の履修に替えている。生徒が選択できる分野には、生命科学、環境、ナノテク材料・物理、情報通信・数理、地球科学があるが、定員の関係で希望通りの分野にならないこともある。本研究では、講演者が担当する地学分野の天文学コースにおける生徒の傾向を分析した。対象は、講演者が指導した平成25年度から平成28年度の4年間に天文学コースで探究活動を行った生徒47名である。

天文学コースに対する生徒の志望状況を分析したところ、天文学コースに配属になった生徒の65%が本コースを第1希望にしていた。しかし、高校卒業後に天文学や天体物理学を学べる大学に進学した生徒の割合は全体の12%に留まった。また、生徒がどのようなテーマを設定していたか分析した。天文学コースは、「太陽」か「太陽以外の天体」の2コースに分かれている。前者では、よく知られている現象である太陽黒点を、後者では、銀河や星団など、より地球から遠い場所にある現象をテーマに選ぶ生徒が多いことが分かった。本講演では、4年間の分析結果から見てきた、高等学校「課題研究」における天文教育の成果、問題点などについて詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a Twitter を用いたすばる望遠鏡観測「実況」の試み

藤原英明, 小山佑世, 田中壘, 寺居剛, 仲田史明 (国立天文台)

すばる望遠鏡は口径 8.2 メートルの光学赤外線望遠鏡であり、米国ハワイ島のマウナケア山頂エリアに設置されている。国立天文台ハワイ観測所が運用する世界最大級の天体望遠鏡として日本国内外からの認知度は高く、観測で得られた科学成果に基づく広報活動（プレスリリースや講演など）への反響も大きい。一方で、従来の広報活動では、研究現場における「時間」や「興奮」を多くの方と共有するのが困難である、という課題があった。研究や装置開発など観測所における活動の多くは、(例えばロケット打ち上げや天文現象などのイベントに比べて) 進行のタイムスケールが比較的長く、その様子を時々刻々と臨場感を持って伝えるのが難しいためである。

このたび、すばる望遠鏡に搭載された主焦点カメラ Suprime-Cam が、ハワイ時間 2017 年 5 月 29 日 (日本時間 2017 年 5 月 30 日) に最後の観測夜を迎えた。Suprime-Cam は広い視野を一度に撮影できるユニークなカメラとして、すばる望遠鏡による観測天文学の「牽引役」として活躍した装置である。我々はこの Suprime-Cam 最終観測を、一晩というほどよいタイムスケールで進行する天文学の研究現場において「時間」や「興奮」を多くの方と共有するチャンスと捉え、マウナケアにあるすばる望遠鏡観測室から Twitter を通じて最終観測の様子を「実況」するキャンペーンを行った。マウナケア山頂エリアの特殊な環境、すばる望遠鏡や Suprime-Cam の特長、実際の観測体制や観測の進行状況などを伝える 30 ほどのツイートに対して、一晩のみのキャンペーンのにもかかわらず様々な反応があった。本発表では、実際に行ったすばる望遠鏡観測「実況」キャンペーンの内容や実施体制、反応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](#)

Y23a Mitaka における科学的可視化について

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、個人のPC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や銀河系モデルなどでこうした可視化を行っており、地球大気ではレイリー散乱モデルを用いて、銀河系モデルでは星を発光体、塵を光の吸収体として、それぞれ輻射輸送の方程式を解いて可視化をしている。さらに、6月現在開発中のバージョンでは土星リングの可視化についても改良を進めており、太陽に面した側と裏側の環の見え方や土星本体に落ちる環の影などがより現実に近いものになった。また、観測者と土星リングと太陽が衝の位置関係にあるときに起きる増光現象 (Opposition Effect/Surge) も見るできるようになった。月の可視化についても現在開発を進めている。本公演では、これらの可視化手法について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y24a 「一家に1台 天体望遠鏡」計画 - 「君もガリレオ！」プロジェクト・エピソード2 -

縣 秀彦(国立天文台) 高田裕行(国立天文台) 加島信次(ピクセン) 都築泰久(ピクセン)

国立天文台では、2008年度より「君もガリレオ！」プロジェクト(*)を実施し、国内外の子どもたちに小型天体望遠鏡による天体観察の機会を提供してきた。現在、比較的安価に購入可能な天体望遠鏡キットは複数ある。しかし、小中学校の理科カリキュラムに沿う内容での利用を前提に、学校でまとめて、あるいは児童・生徒が個々に購入して利用する場合、性能や価格面等で十分とは言えない。そこで、「一家に1台 天体望遠鏡」をめざし、安価な小型天体望遠鏡を開発し、低価格での頒布を実現したい。

関心・意欲が高い理科分野の一つである天文・宇宙に関する学習は、天体観察という実習を伴うため、通常の授業時間内でその実習が不可能であり、長年に渡って学習指導要領上の目的を達成できないまま今日に至っている。近年特に、児童・生徒の安全管理や教職員の労働環境等の理由で、学校にて夜間、全員が天体観察を行うことはほぼ不可能となっている。このため、家庭で各自が観察実習可能なよう、学習効果が高く、安全かつ安価な教材・教具の開発・提供が必要不可欠な課題となっている。

本共同開発計画においては、この課題解決を目的に、国内全家庭にて学習用具として購入可能なレベルの安価な小型天体望遠鏡キットを開発する。習字用具、リコーダー、絵の具用具、男子の柔道着などと同様に、天体望遠鏡もほぼすべての児童・生徒が購入する必需品となることにより、国内すべての子どもたちが、天体望遠鏡による天体観察をおこなえる環境を整えることを目標とする。本講演では、本プロジェクトの目的・目標と事業計画案および最新の開発状況について紹介する。*「君もガリレオ！」プロジェクト <http://kimigali.jp/>

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)