

2016年 春季年会

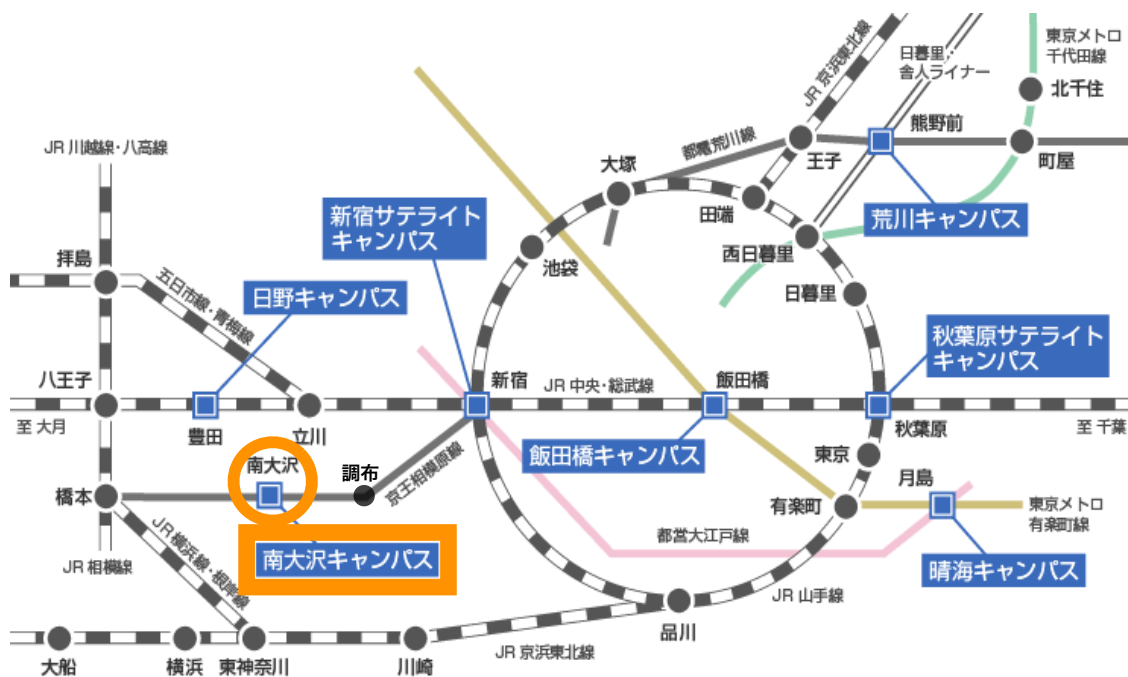
講演予稿集

電子版

於 首都大学東京

2016年3月14日(月) ~ 3月17日(木)

首都大学東京 南大沢キャンパス



京王相模原線「南大沢」駅には
特急・準特急・急行を含む全ての
電車が停車します

南大沢キャンパス

所在地

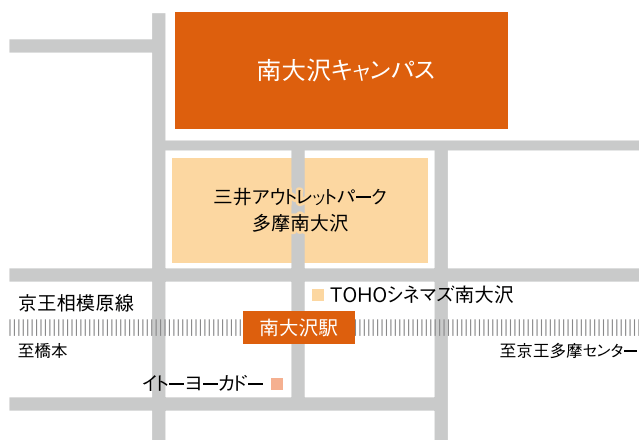
〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1
TEL.042-677-1111(代)

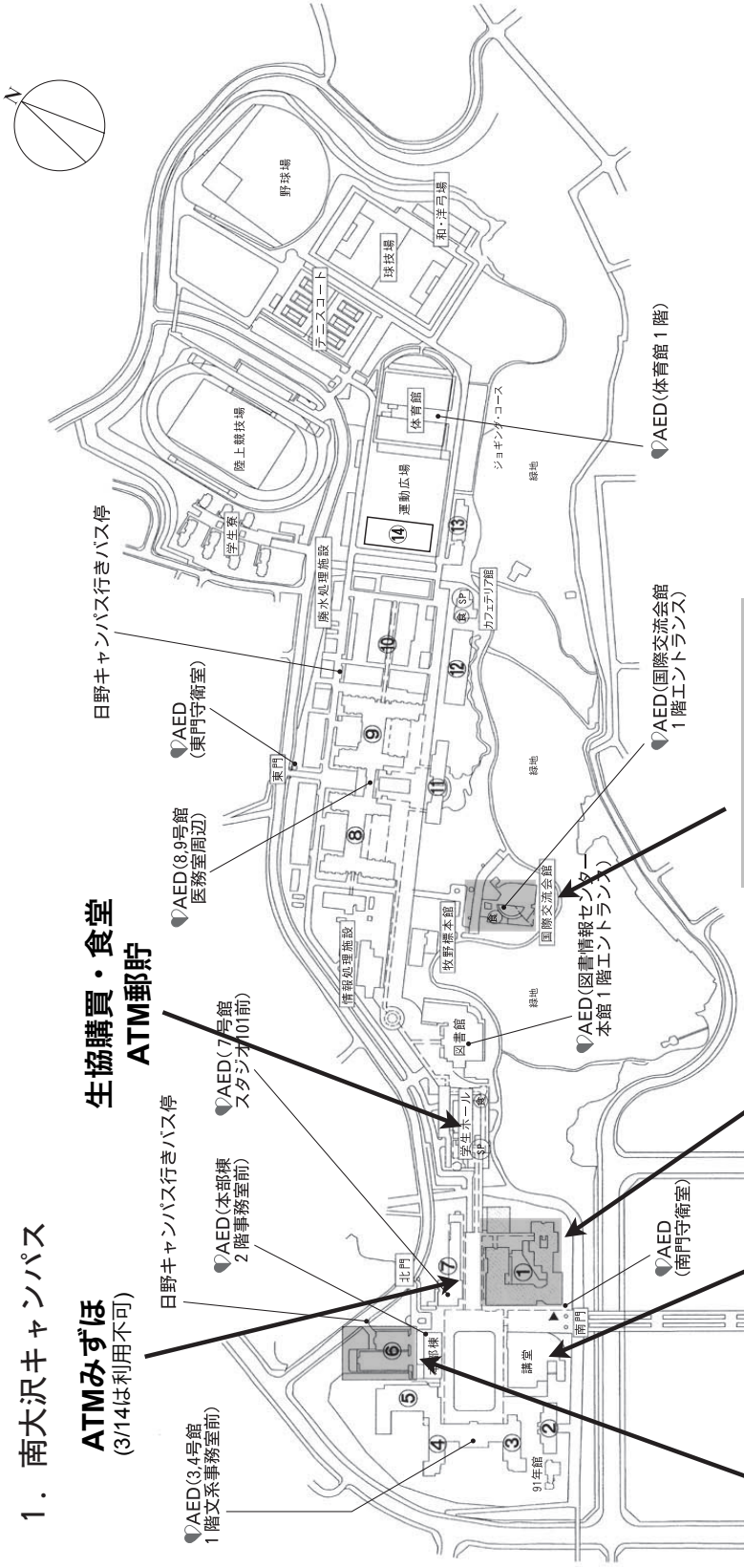
所属組織

都市教養学部、都市環境学部、人文科学研究科、
社会科学研究科、理工学研究科、都市環境科学
研究科、人間健康科学研究科、ヘルスプロモ
ーションサイエンス学域

アクセス

■京王線相模原線「南大沢」駅下車
改札口から徒歩約5分
※改札口を出て右手に緑に囲まれたキャン
パスが見えます。





1. 南大沢キャンパス

ATMみずほ
(3/14は利用不可)

生協購買・食堂
ATM郵貯

日野キャンパス行きバス停

●AED(3,4号館
1階文系事務室前)

日野キャンパス行きバス停

●AED(本部棟
2階事務室前)

●AED(7号館
スタジアム(01前))

●AED(8,9号館
医務室周辺)

●AED(東門守衛室)

●AED(体育館1階)

●AED(国際交流会館
1階エントランス)

ジュニアセッション受付
J・ポスター会場
6号館

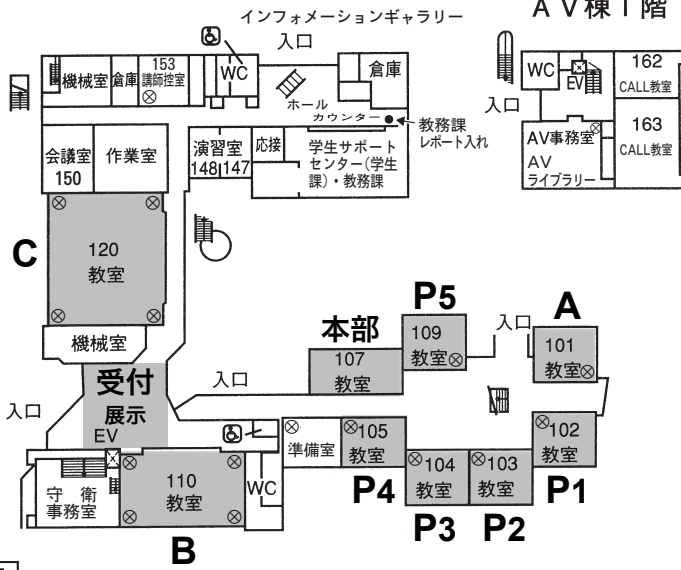
年会受付・本部
A~I・ポスター会場
1号館

懇親会
ルヴェンヴェール
国際交流会館

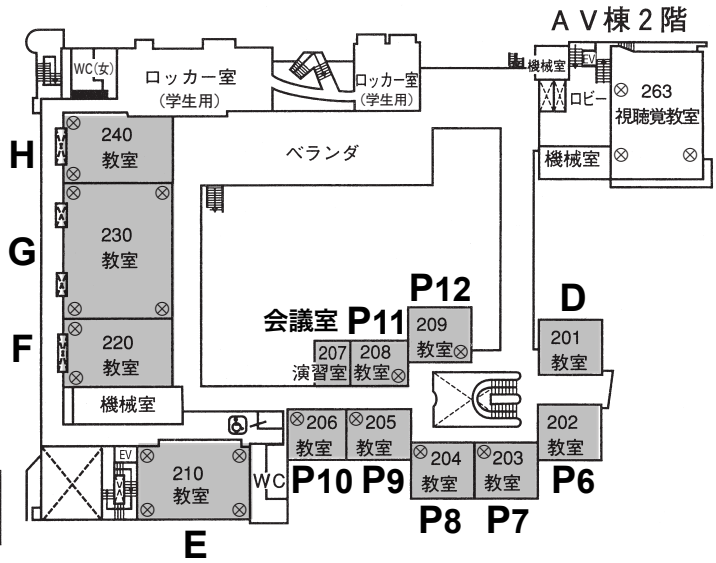
公開講演会
講堂小ホール

南大沢駅

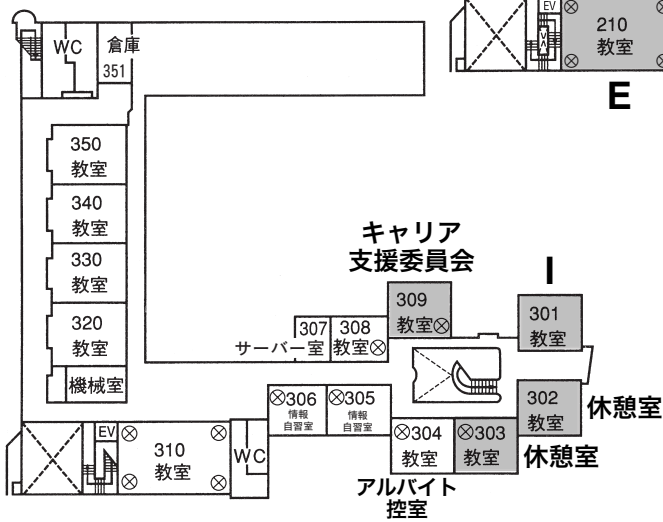
1号館 1階



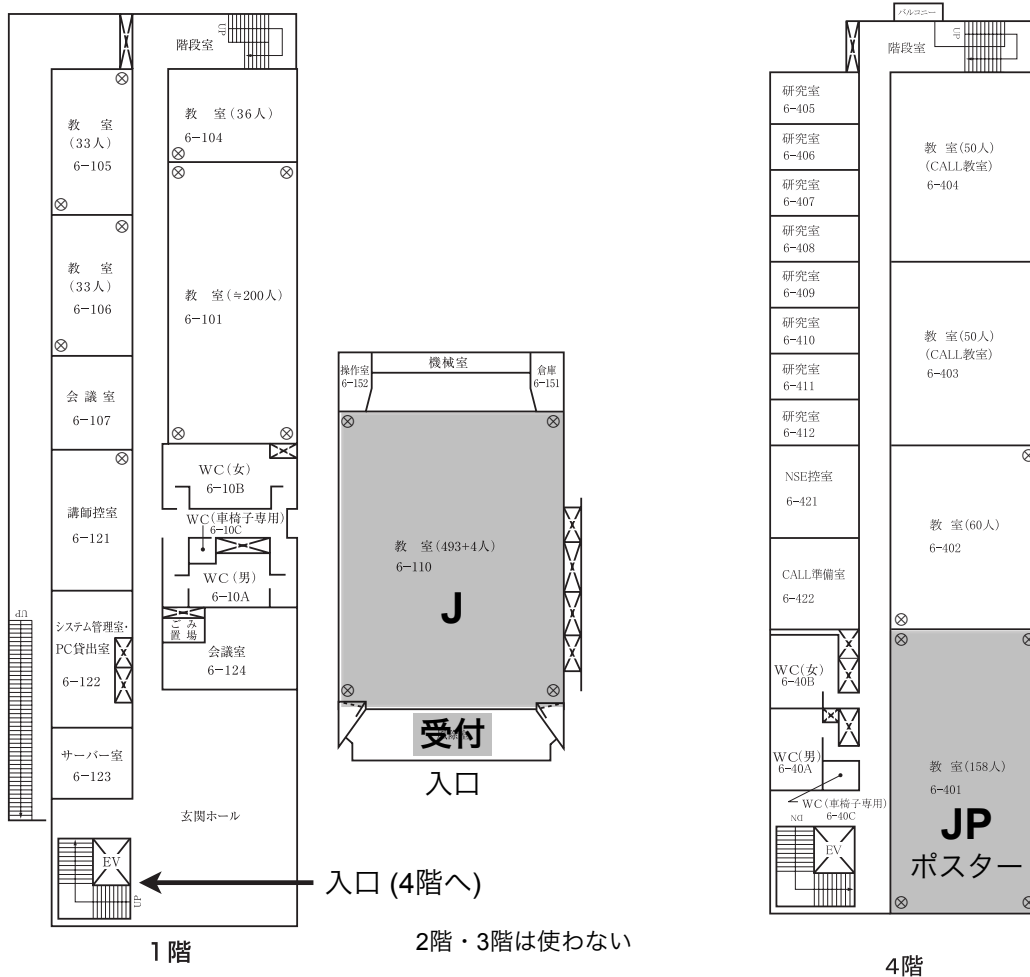
1号館 2階



1号館 3階



6号館 ジュニアセッション



口頭セッション 3月14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
開始時刻	【銀河】	【星・惑星】	【教育・他】	【観測機器】	【恒星】	【太陽系】/ 【活動銀河核】	【プラズマ宇宙】	【超新星爆発】	【銀河団】
13:00	R01a	P101a	Y01a	V201a	N01a	L01a	Z201r Z216b	K01a	T01a
13:12	R02a	P102a	Y02a	V202a	N02a	L02a		K02a	T02a
13:24	R03a	P104a	Y03a	V203a	N03a	L03a		K03a	T03a
13:36	R04b R05b R06b	P105a	Y04a	V204a	N04a	L04b L05b L06b		K04a	T04a
13:48	R08a	P106a	Y05a	V205b V206b V207b	N05a	S01b S02b S03b		K05a	T05a
14:00	R09a	P107a	Y06a	V208a	N06a	S04a		K06a	T06a
14:12	R10a	P108a	Y07a	V209b V210b V211b V213b	N07a	S05a		K07a	T07a
14:24	R11a	P109a	Y08a	V214b V215b	N08a	S07a		K08b	T08a
14:36	R12b R13b R14b	P110a	Y09b Y10b Y11b	V216a	N09a	S08a		-	T09a
14:48	R15b R16b	P111a	Y12b Y13b Y14b	V217a	N10a	S09a		-	T10b T11b T12b
15:00	-	P112b P113b P114b	Y15b Y16b	-	-	-	-	T13b	
15:15	ALMA 特別セッション (G 会場)								
17:00	天文教育フォーラム (G 会場)								
18:45	理事会 (会議室)								

口頭セッション 3月15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
開始時刻	【銀河】	【星・惑星】	【教育・他】	【観測機器】	【恒星】/【高密度星】	【活動銀河核】	【プラズマ宇宙】	【計算惑星】	【星間現象】
09:30	R21a	P116a	Y19a	V219a	N11a	S10a	Z217r } Z234b	Z301r } Z312b	Q01a
09:42	R22a	P117a	Y20a	V220a	N12a	S11a			Q02a
09:54	R23a	P118b P119b P120b	Y21a	V221a	N13a	S12a			Q03c
10:06	R24a	P122a	Y22a	V222a	N14b N15b N16b	S13a			Q04a
10:18	R25a	P123a	Y23a	V223a	N17a	S14a			Q05a
10:30	R26a	P124a	Y24a	V224a	N18b W201b	S15a			Q06a
10:42	R27a	P125a	Y25a	V225a	W202a	S16a			Q07a
10:54	R28a	P126a	Y26a	V227b V228b V229b	W203a	S17a			Q08a
11:06	R29a	P127a	Y27a	V230a	W204a	S18a			Q09a
11:18	R30a	P128b P129b P130b	Y28a	V231a	W205b W206b W208b	S19a			Q10a
11:30	-	-	-	-	-	S20a	Q11a		
11:30	昼休み(代議員総会)(D会場)								
12:30	ポスター								
開始時刻	【太陽】	【星・惑星】	【星・惑星】	【観測機器】	【高密度星】	【観測機器】	【プラズマ宇宙】	【計算惑星】	【星間現象】
13:30	M01a	P131a	P201a	V232a	W210a	V301a	Z235r } Z246a	Z313r } Z324b	Q12a
13:42	M02a	P132a	P202a	V233b V234b V235b	W211a	V302b V303b V304b			Q13a
13:54	M03a	P133a	P203a	V236a	W212a	V305a			Q14a
14:06	M04a	P134a	P204a	V237b V238b V239b	W101a	V306a			Q15a
14:18	M05a	P135a	P205a	V240a	W102a	V307a			Q16b Q17b Q18b
14:30	M06a	P136a	P206a	V241a	W103a	V308b V310b V313b			Q19a
14:42	M07b M08b M09b	P137a	P207a	V242b V243b V244b	W104a	V314a			Q20a
14:54	M10b M11b M12b M13b	P138b P139b P141b	P208a	V245a	W105a	V315b V316b V317b V318b			Q21a
15:06	M14b M15b	P142a	P209b P210b	V246a	W106a	V319b V320b V321b V322b V323b			Q22a
15:18	-	-	-	V247a	W107a	-			Q23a
15:30	-	-	-	-	-	-	Q24b		
15:45	会員全体集会(G会場)								
16:45	受賞記念講演(G会場)								

口頭セッション 3月16日(水)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場		
開始時刻	【太陽】	【宇宙論】	【星・惑星】	【観測機器】	【高密度星】	【観測機器】	【銀河形成】	【TAO】	【星間現象】		
09:30	M18a	U01a	P214a	V101a	W108b W111b W112b	V324a	X01a	Z101r }	Q25a		
09:42	M19a	U02a	P215a	V102a	W113b W114b W115b W116b	V325a	X02a		Q26a		
09:54	M20a	U03a	P216a	V103a	W117b W119b	V326a	X03a		Q27a		
10:06	M21a	U04a	P217a	V105b V106b V107b	W120a	V327a	X04a		Q28a		
10:18	M22a	U05a	P218a	V108a	W121a	V328a	X05a		Q29a		
10:30	M23a	U06a	P219a	V109a	W122a	V329b V330b	X06a		Q30c		
10:42	M24a	U07a	P220a	V110a	W123a	V332a	X07a		Q31a		
10:54	M25a	U08a	P221a	V111a	W124a	V333a	X08a		Q32a		
11:06	M26a	U09a	P222b P223b P224b P225b	V112a	W125a	V335a	X09b X10b X11b		Q33a		
11:18	M27a	U10a	P226b	V113a	W126a	V336a	X12b		Q34b Q35b		
11:30	-	U11a	-	V114a	W127a	-	-	-			
11:42	-	U13b U14b U15b	-	-	-	-	-	-			
11:30	昼休み										
12:30	ポスター										
開始時刻	【太陽】	【宇宙論】	【星・惑星】	【観測機器】	【高密度星】	【観測機器】	【銀河形成】	【TAO】	【ニュートリノ】		
13:30	M28a	U17a	P227a	V115a	W128a	V337a	X13a	Z111r }	Z401r }		
13:42	M29a	U18a	P228a	V116a	W129a	V338a	X14a				
13:54	M30a	U19a	P229a	V117a	W130a	V339a	X15a				
14:06	M31a	U20a	P230a	V118a	W131a	V340a	X16a				
14:18	M32a	U21a	P231a	V119a	W132a	V341a	X17a				
14:30	M33a	U22a	P232a	V120a	W133a	V342a	X18a			Z120b	Z412b
14:42	M34a	U23a	P233a	V121a	W134a	V343a	X19a				
14:54	M35a	U24a	P234a	V122b V123b V124b V126b	W135a	V344a	X20a				
15:06	M36a	U25a	P235a	V127b V128b V129b	W136a	V345a	X21a				
15:18	-	U26a	P236a	V130b V131b	-	V346a	X22a				
15:30	-	U27a	P237a	V132b	-	-	-	-	-		
15:40	SPICA 特別セッション (G 会場)										
17:40	懇親会 (ルヴェソンヴェール (国際交流会館))										

口頭セッション 3月17日(木)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場
開始時刻	【太陽】		【星・惑星】	【観測機器】	【高密度星】	【観測機器】	【銀河形成】		
09:30	M37a	-	P238a	V138a	W137a	V347a	X23a	-	-
09:42	M38a	-	P239a	V139a	W138a	V348a	X24a	-	-
09:54	M39a	-	P240a	V140a	W139a	V349a	X25a	-	-
10:06	M40a	-	P241a	V141a	W140a	V350a	X26a	-	-
10:18	M41a	-	P242a	V142a	W141a	V351a	X27a	-	-
10:30	M42a	-	P243a	V143a	W142a	V352a	X28a	-	-
10:42	M43a	-	P244a	-	W143a	V353a	X29a	-	-
10:54	M44a	-	P245a	-	W144a	V354a	X30a	-	-
11:06	-	-	P246a	-	W145a	V355a	X31a	-	-
11:18	-	-	P247a	-	W146a	V356a	-	-	-
11:30	-	-	P248a	-	-	-	-	-	-
11:30	ポスター								
12:30	昼休み								

ポスターセッション 3月14日(月) ~ 3月17日(木)

<p>ポスター会場 1</p> <p>【L. 太陽系】(6)</p> <p>L04b L05b L06b L07c L08c L09c</p> <p>【M. 太陽】(11)</p> <p>M07b M08b M09b M10b M11b M12b M13b M14b M15b M16c M17c</p> <p>【N. 恒星】(4)</p> <p>N14b N15b N16b N18b</p>	<p>ポスター会場 4</p> <p>【R. 銀河】(7)</p> <p>R16b R17c R18c R19c R20c R31c R32c</p> <p>【S. 活動銀河核】(5)</p> <p>S01b S02b S03b S06c S21c</p> <p>【T. 銀河団】(5)</p> <p>T10b T11b T12b T13b T14c</p> <p>【U. 宇宙論】(5)</p> <p>U12c U13b U14b U15b U16c</p>
<p>ポスター会場 2</p> <p>【P1. 星・惑星】(17)</p> <p>P103c P112b P113b P114b P115c P118b P119b P120b P121c P128b P129b P130b P138b P139b P140c P141b P143c</p> <p>【P2. 星・惑星】(5)</p> <p>P209b P210b P211c P212c P213c</p>	<p>ポスター会場 5</p> <p>【K. 超新星爆発】(2)</p> <p>K08b K09c</p> <p>【V1. 観測機器】(20)</p> <p>V104c V105b V106b V107b V122b V123b V124b V125c V126b V127b V128b V129b V130b V131b V132b V133c V134c V135c V136c V137c</p>
<p>ポスター会場 3</p> <p>【P2. 星・惑星】(5)</p> <p>P222b P223b P224b P225b P226b</p> <p>【Q. 星間現象】(9)</p> <p>Q03c Q16b Q17b Q18b Q24b Q30c Q34b Q35b Q36c</p> <p>【R. 銀河】(8)</p> <p>R04b R05b R06b R07c R12b R13b R14b R15b</p>	<p>ポスター会場 6</p> <p>【V2. 観測機器】(20)</p> <p>V205b V206b V207b V209b V210b V211b V212c V213b V214b V215b V218c V226c V227b V228b V229b V233b V234b V235b V237b V238b</p>

ポスターセッション 3月14日(月) ~ 3月17日(木)

ポスター会場 7

【V2. 観測機器】(5)

V239b V242b V243b V244b V248c

【V3. 観測機器】(15)

V302b V303b V304b V308b V309c

V310b V311c V312c V313b V315b

V316b V317b V318b V319b V320b

ポスター会場 8

【V3. 観測機器】(7)

V321b V322b V323b V329b V330b

V331c V334c

【W1. 高密度星】(12)

W108b W109c W110c W111b W112b

W113b W114b W115b W116b W117b

W118c W119b

ポスター会場 9

【W2. 高密度星】(6)

W201b W205b W206b W207c W208b

W209c

【X. 銀河形成】(4)

X09b X10b X11b X12b

【Y. 天文教育・他】(10)

Y09b Y10b Y11b Y12b Y13b

Y14b Y15b Y16b Y17c Y18c

ポスター会場 10

【Z1. TAO】(5)

Z109b Z110b Z118b Z119b Z120b

【Z3. 計算惑星】(10)

Z303b Z304b Z310b Z311b Z312b

Z315b Z316b Z322b Z323b Z324b

【Z4. ニュートリノ】(5)

Z405b Z406b Z407b Z410b Z411b

ポスター会場 11

【Z4. ニュートリノ】(3)

Z412b Z413c Z414c

【Z2. プラズマ宇宙】(17)

Z203b Z204b Z205c Z206c Z207b

Z208b Z209b Z211c Z212b Z213b

Z214b Z215b Z216b Z220b Z221b

Z222b Z223c

ポスター会場 12

【Z2. プラズマ宇宙】(19)

Z224b Z225b Z226b Z227c Z228b

Z229b Z230b Z231c Z232b Z233c

Z234b Z238b Z239b Z240b Z241b

Z242c Z243b Z244b Z245c

【Z1. 東京大学アタカマ天文台のサイエンス戦略】

3月16日(水) 午前(09:30-11:42) [H会場]

Z101r	09:30	東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画の概要・(24)	吉井讓 (東京大学)
Z102a	09:54	キューサーで探る [Mg/Fe] 組成比の宇宙論的進化と星形成史・(12)	鮫島寛明 (京都産業大学)
Z103a	10:06	Super-MAGNUM project ~Unprecedented Long-Term Infrared Monitoring of High-Redshift QSOs~・(12)	峰崎岳夫 (東京大学)
Z104r	10:18	TAO による銀河形成研究の新展開・(24)	梅村雅之 (筑波大学)
Z105a	10:42	SWIMS-18 サーベイ: $1 < z < 5$ の銀河形成史を極める・(12)	児玉忠恭 (国立天文台)
Z106a	10:54	超新星追観測でせまる親星・爆発の統一的理解と TAO に期待される役割・(12)	前田啓一 (京都大学)
Z107a	11:06	ガンマ線バースト観測衛星 HiZ-GUNDAM と TAO 望遠鏡との連携による初期宇宙探査・(12)	米徳大輔 (金沢大学)
Z108a	11:18	TAO による重力波放射源の光学対応天体の追跡探査・(12)	吉田道利 (広島大学)
Z109b	11:30	宇宙最遠キューサーの探索: Subaru/HSC から TAO/SWIMS へ・(3)	松岡良樹 (国立天文台)
Z110b	11:33	SWIMS-18 サーベイによる原始銀河団探査・(3)	利川潤 (国立天文台)

3月16日(水) 午後(13:30-15:30) [H会場]

Z111r	13:30	星間物質/星形成から TAO に期待すること・(24)	中村文隆 (国立天文台)
Z112r	13:54	TAO で紐解くダスト形成過程・(24)	野沢貴也 (国立天文台)
Z113a	14:18	TAO 中間赤外線観測を用いた双極状惑星状星雲ダストトーラスの観測計画・(12)	浅野健太郎 (宇宙航空研究開発機構)
Z114a	14:30	惑星系の多様性と起源の解明に向けた系外惑星トランジット観測の重要性・(12)	生駒大洋 (東京大学)
Z115a	14:42	K2/TESS による全天トランジットサーベイと TAO との連携・(12)	成田憲保 (アストロバイオロジーセンター)
Z116a	14:54	TAO/MIMIZUKU による小惑星の近赤外線分光サーベイ計画・(12)	白井文彦 (東京大学)
Z117a	15:06	TAO とハレアカラ望遠鏡群による木星ならびに小天体の連続観測・(12)	坂野井健 (東北大学)
Z118b	15:18	Subaru/COMICS データで探る金星雲頂構造の特徴-TAO への期待・(3)	佐藤隆雄 (宇宙航空研究開発機構)
Z119b	15:21	TAO 中間赤外線観測によるミラ型変光星のダスト形成モニタリング観測・(3)	上塚貴史 (東京大学)
Z120b	15:24	TAO 中間赤外線観測による dustiest evolved stars の観測計画・(3)	宮田隆志 (東京大学)

Z101r 東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画の概要

吉井讓, 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 宮田隆志, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 酒向重行, 諸隈智貴, 田村陽一, 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), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学は、天文観測所としては世界最高標高となる南米チリのアタカマ砂漠、チャナントール山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の大型望遠鏡を建設する東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画を推進している。南天における日本唯一の大型光学赤外線観測施設となること、新しい波長のフロンティアである $30\mu\text{m}$ 以上を含む $0.3\text{--}38\mu\text{m}$ の広い赤外線波長領域で観測能力をもつなどの特徴を活かして、ダークエネルギー、銀河や惑星の起源など天文学の重要課題の解明を目指す。TAO は東京大学における先端的な教育研究施設となるのみならず、全国の大学にも開かれた観測所として運用を進める。TAO 望遠鏡および付帯設備の製作は 2012 年度の補正予算措置を受けて本格開始し、既に基本的な設計を完了、2017 年度末のファーストライト観測に向けて製造が大詰めを迎えている。現時点で、主鏡・副鏡・第三鏡およびこれらのミラーセル、望遠鏡架台、ガイダー・波面測定装置、鏡輸送洗浄システムとエンクロージャの一部製作を行ったほか、山頂設備および蒸着装置の設計も進んでいる。現地では TAO サイト最寄りのサンパドロ・デ・アタカマ市の東大所有地に TAO 山麓研究棟が完成した。

本講演では、このような天文台建設の現状に加え、TAO 計画当初から目指しているサイエンスの柱である High- z QSO cosmology について述べる。具体的には超長期赤外分光モニター観測による BLR/ダスト反響法に基づく超遠方天体の距離決定、また、赤外スペクトル観測による Mg/Fe 輝線強度比を組成比に変換する手法開拓とそれに基づく宇宙の化学進化解明、それぞれの現状と展望を概説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z102a クェーサーで探る [Mg/Fe] 組成比の宇宙論的進化と星形成史

鮫島寛明 (京都産業大学), 吉井謙 (東京大学)

宇宙論的タイムスケールにおける宇宙の化学進化の様子を調査することは、宇宙の星形成史を探る上で決定的に重要である。特に宇宙初期における鉄と α 元素の組成比の進化は、星形成史を色濃く反映することが理論的に予測されており、観測による調査の重要性は論をまたない。現在クェーサーは赤方偏移 7 を超えるものが見つかっており、一階電離した鉄から放射される輝線 Fe II および一階電離したマグネシウム (α 元素の一種) から放射される輝線 Mg II の強度測定が、そのような遠方天体に対しても既に行われている。もし Fe II, Mg II の輝線強度から [Mg/Fe] 組成比を導出することができれば、ガンマ線バーストのような突発現象に頼らずとも宇宙初期の化学進化を明らかにすることが可能となる。ところが、現在のところクェーサーを用いた組成比の導出法は報告されておらず、宇宙論的タイムスケールでの [Mg/Fe] 組成比進化の様子は依然として明らかになっていない。

我々はクェーサーの Fe II, Mg II 輝線強度から [Mg/Fe] 組成比を導出する方法を考案し、SDSS クェーサー約 17,000 天体の解析から赤方偏移 0.7–1.6 の範囲における [Mg/Fe] 組成比進化の様子を明らかにすることに成功したので、その内容について報告する。得られた [Mg/Fe] 組成比進化と理論計算を比較したところ、赤方偏移 2 に相当する時期あるいはそれ以前に、中質量星からの質量放出により α 元素の濃縮が起こったことを強く示唆する結果を得た。講演では東京大学アタカマ天文台に搭載される近赤外線多天体分光カメラ SWIMS を用いて、[Mg/Fe] 進化研究が今後どのように進み、星形成史にどのような制限を加える事ができるかについて展望を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z103a **Super-MAGNUM project ~Unprecedented Long-Term Infrared Monitoring of High-Redshift QSOs~**

峰崎岳夫, 吉井譲, 諸隈智貴 (東京大学天文学教育研究センター)

TAO 望遠鏡による Super-MAGNUM プロジェクトについて報告する。

宇宙膨張の測定とダークエネルギーの解明のためには遠方天体の距離測定が重要なことは論を待たない。とくに活動銀河核 (AGN) は赤方偏移が 2 を超える遠方での距離測定が可能なターゲットとして期待され、古くからいくつかの AGN の距離測定法が提案されてきた。なかでも reverberation mapping を利用した手法が近年注目を集めている。中心降着円盤から広幅放射領域 (BLR) およびダストトラス内縁領域までの距離は降着円盤光度の平方根に比例することが理論的に予想され、また観測的にも確認されている。従って各放射領域半径が求められれば AGN 光度、ひいては AGN の距離を測定することができ、その放射領域半径は分光あるいは測光モニター観測に基づく reverberation mapping により測定される。実際我々は、これまで遂行してきた MAGNUM プロジェクトによる可視近赤外線多波長モニターに基づく dust reverberation 観測とダスト放射平衡モデルからハッブル定数を評価し、 $H_0 = 73 \text{ km/s/Mpc}$ という結果を得た (Yoshii et al. 2014)。また近傍 AGN の BLR の reverberation mapping 観測によっても、現在の標準的な宇宙モデルと矛盾しないとする結果が得られている (Watson et al. 2011)。これらの結果は reverberation mapping による AGN 距離測定の有用性を示している。

さらに本手法は原理的に $z = 7$ を超える QSO にも適用可能であり、これを実現すべく TAO 望遠鏡と搭載観測装置 SWIMS、MIMIZUKU による遠方 QSO の長期間の赤外線分光測光モニター観測計画 : Super-MAGNUM プロジェクトを進めている。講演では計画概要のほか最近の研究動向や期待される様々な成果についても述べたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z104r **TAO による銀河形成研究の新展開**

梅村 雅之 (筑波大学 計算科学研究センター)

銀河形成問題は、第一世代天体、宇宙再電離、初代銀河、超巨大ブラックホールの誕生と銀河との共進化、などの重要問題に関係し、宇宙暗黒時代から宇宙再電離を経て現在に至る宇宙史解明の根幹をなす。初代星については、これまで多くの研究が行われてきたが、最終的にどのような大きさの初代星が誕生するかは未だに明らかにされていない。大質量の初代星は、最期に超新星爆発を起こし、ガンマ線バーストとして観測される可能性がある。これを観測で検出できれば、初代星の質量分布に対する重要な制限となる。さらにガンマ線バースト残光から $z > 6$ の宇宙の電離状態についての情報を得ることができる。また、初代星は超大質量星として生まれる可能性があり、これは巨大ブラックホールの種となりうる。初代銀河の誕生は、宇宙再電離の起源を解き明かす上で極めて重要である。初代銀河は低金属期に強い HeII 輝線を放つと考えられており、実際に最近 $z = 6.6$ で強い HeII 輝線を放つ天体が発見されている。しかしながら、本当に初代星によるものなのかは検証が必須である。また、 $z = 6$ を超えるような初期宇宙で、銀河がどのように進化したかは分かっておらず、現在喫急の課題である。さらに、銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) は、存在そのものが謎である。近年、 $z = 6$ 以上で見つかったクェーサー中心の超巨大ブラックホールは、もし初代星からガス降着のみで作られたとすると、エインシュタインの降着限界を超える超臨界降着を必要とするが、そのような証拠はまだ得られていない。これを解明するためには、観測的には活動銀河核 (AGN) の大規模な探査が必要である。また、超巨大ブラックホールの数密度進化を明らかにするためにも $z > 6$ の遠方クェーサー探査を大規模に進める必要がある。本講演では、これら銀河形成に関わる重要問題の解明において TAO によって期待される研究の新展開を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z105a **SWIMS-18 サーベイ： $1 < z < 5$ の銀河形成史を極める**

児玉忠恭 (国立天文台) ほか SWIMS-18 チーム一同 (東大天文センター、国立天文台)

SWIMS-18 サーベイ計画は、TAO の近赤外装置 SWIMS の広視野かつ 2 バンド同時観測の特長を最大限に活かし、従来になかった規模の近赤外線、超多色撮像観測を行うものである。3 枚の広帯域フィルターに加え、中間帯域 9 枚と狭帯域 6 枚との計 18 枚を用いて、銀河形成最盛期とその前夜の時代 ($1 < z < 5$) において星質量選択銀河と星形成選択銀河の圧倒的なサンプルを構築し、銀河の星形成と質量集積の歴史を、より遠方でかつ高精度で得ることを目標とする。密に配置された中間帯域フィルターによって、銀河スペクトルのバルマー/4000Å ブレイクを稠密に捕らえられるため、 $z < 5$ までの銀河の赤方偏移を高い精度 ($\Delta z < 0.02$) で測定できる。同種の ZFOURGE プロジェクトと比べて独創的な点は、K バンドも 3 枚のフィルターで分割していることであり、これによって $3.5 < z < 5$ にある星質量選択銀河を初めて系統的にサンプルし、その存在量や性質を調べることができる。また狭帯域フィルターは、電離領域から出る輝線 ($H\alpha$, [OIII], [OII]) を捕らえることによって、 $0.9 < z < 4.8$ の星形成銀河および AGN を極力無バイアスにサンプルすることができる。独創的な点は、 $z=1.5$ と 2.3 近辺の 4 つの特定の赤方偏移において、特に強い $H\alpha$ 輝線と [OIII] 輝線とを両方捕らえることができるようにフィルターペアを形成していることである。それにより赤方偏移の確認はもちろんのこと、輝線の強度比 ([OIII]/ $H\alpha$) から星形成領域の電離状態を知ることができる。TAO の大量の時間 (数百晩以上) を投入して、すばるの HSC や HST の CANDELS 等と連携した UDS, COSMOS, GOODS-S フィールドを併せた計 1 平方度のサーベイを計画しており、それによって新しく発見される 10 個程度の原始銀河団 ($z > 2$) を含め、 $1 < z < 5$ の間の時代と環境を網羅した数万個の銀河サンプルを構築し、銀河形成過程の初期から最盛期にかけてを徹底的に解明する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z106a 超新星追観測でせまる親星・爆発の統一的理解とTAOに期待される役割

前田啓一 (京都大)

近年、突発天体観測研究は急激に進展している。超新星の親星・爆発前の進化・爆発の性質のそれぞれに大きな多様性があることが明らかになりつつあるが、一方これらの相互の関係の理解はますます混沌としている。近傍超新星の密な追観測とそのデータを用いた解析により、親星進化と爆発の関係性を突き止めることが統一的理解への大きな一歩である。

超新星は時間とともに温度・密度といった熱的状况が変化するため、異なる時期の観測データから親星・爆発の異なる性質の情報を得ることが可能である。近年の突発天体サーベイの進展により爆発後数日以内の分光観測が可能になりつつあるが、これは親星の半径や表面組成など主に親星の表面付近の情報に感度がある。数週間のタイムスケールで最も明るい時期においては、親星の質量や爆発エネルギーといった大局的な量が放射の性質を決める。数か月から年のタイムスケールでの観測は、爆発により作られた重元素の質量・分布を調べるのに力を発揮するとともに、星周物質やダスト形成の情報も得られるようになる。

国内の小・中望遠鏡群と連携することを視野に入れ、TAOの役割としては爆発直後の最初期観測および年のタイムスケールでの後期観測を担うことが考えられる。本講演では、これまでに得られている爆発直後の測光を中心とした結果、すばるなどにより得られている後期観測からの知見をもとに、超新星追観測におけるTAOの役割を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z107a ガンマ線バースト観測衛星 HiZ-GUNDAM と TAO 望遠鏡との連携による初期宇宙探査

米徳大輔 (金沢大学), HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象であり、初期宇宙を見渡すプローブとして利用されている。これまでに分光観測では赤方偏移 $z = 8.26$ が、測光観測では $z = 9.4$ が報告されており、将来はより遠方の宇宙を観測できると期待されている。そこで、日本の GRB 観測コミュニティを中心に、GRB を用いた初期宇宙探査衛星 HiZ-GUNDAM (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission) を計画している。赤方偏移の効果を強く受けた GRB を検出し、同時に搭載する近赤外線望遠鏡で多チャンネル測光観測を行うことで高赤方偏移 GRB の候補天体を特定する。その後、GRB 残光の明るいうちに大型望遠鏡で分光観測を行い、初期宇宙の物理状態を探査する計画である。

大口径でかつ機動力の高い TAO 望遠鏡と連携することで、初代星の形成時期に迫る赤方偏移 7 ~ 12 の初期宇宙を効果的に探査できるようになる。特に、TAO 望遠鏡の分光観測により、水素のライマン 吸収端の減衰翼構造や吸収線構造を検出し、宇宙再電離時期の特定や宇宙で最初期に合成された重元素の化学進化など、現代宇宙論の最重要課題の解明に挑戦できると期待している。このような観測を展開するためには、X 線観測と光赤外線天文学との緊密な連携が必須であり、戦略的な観測計画が必要となる。本講演では、HiZ-GUNDAM 計画の概要と、TAO 望遠鏡との間で想定される具体的な連携について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z108a TAOによる重力波放射源の光学対応天体の追跡探査

吉田道利（広島大学）

重力波は、時空の歪みが波として伝わる現象である。重力波の直接検出は長らく困難を極めていたが、2010年代後半に入り、世界各地で建設が進んでいる最新鋭の重力波望遠鏡が状況を変えることが期待されている。米国のLIGO、欧州のVirgo、日本のKAGRAといった望遠鏡は2016年～2018年にかけて次々と立ち上がる予定であり、完成の暁には中性子星-中性子星合体に伴う重力波イベントを年間10個程度検出すると予測されている。このような状況の中、重力波放射の電磁波対応現象の同定が喫緊の課題として浮上してきた。重力波望遠鏡の位置決定精度は極めて悪く（数10平方度～100平方度）、その天文学的な対応現象の同定は重力波だけで行うことは当面不可能であり、重力波放出現象の解明には電磁波やニュートリノなど他の観測手段（マルチメッセンジャー）による対応現象の同定と詳細な観測が不可欠である。我々は、日本の有する光学赤外線望遠鏡および電波望遠鏡を連携させて、LIGO、Virgo、KAGRAの重力波アラートに対応して追跡観測を行うコンソーシアム、J-GEM (Japanese collaboration of Gravitational-wave Electro-Magnetic follow-up) を立ち上げ、2015年9月より最初の定常運転の始まったLIGOの追跡観測を開始している。TAOは、その優れた赤外線性能と極めて良好なサイト条件から、J-GEMの一員として重力波放射源の追跡観測に大きな力を発揮するものと期待される。中性子星-中性子星合体においては、合体時の放出物質から近赤外線にピークを持つ電磁波放射が予測されている。TAOは大学所有の望遠鏡であると機動力を活かし、他の広視野望遠鏡・観測装置と連携して赤外線領域での追跡観測、特に分光フォローアップに威力を発揮するであろう。講演では、最新の理論予測や重力波望遠鏡計画の進捗状況などを踏まえ、この分野でTAOに期待される役割について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z109b 宇宙最遠クエーサーの探索：Subaru/HSCからTAO/SWIMSへ

松岡 良樹（国立天文台）、土居 守、河野 孝太郎、本原 顕太郎（東京大学）、長尾 透（愛媛大学）

高赤方偏移 ($z > 6$) クエーサーは、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成、宇宙再電離、母銀河の進化などを探る上で極めて有用なツールの1つである。また宇宙暗黒時代からまもない時期における高光度の活動銀河核現象として、それ自身非常に興味深い天体種族でもある。これまでに SDSS, CFHT Legacy Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1 などの広域探査によって 50 天体ほどが発見されているが、それらは観測の制約によって、おおむね光度 $M_{1450} \lesssim -24$ 等、赤方偏移 $z \leq 7.1$ という種族のみに限られている。光度関数のより暗い側（すなわち平均的にブラックホール質量の低い側）あるいは赤方偏移のより高い宇宙にどれだけのクエーサーが存在するのかが、巨大ブラックホール形成メカニズム、また宇宙再電離への放射寄与との関連からも非常に重要な問題となっている。我々はこの問題に取り組むため、すばる望遠鏡搭載の Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いて、従来よりも約 2 等深く、かつ現在の最遠記録 $z \sim 7.1$ を超えるクエーサーにまで感度のある画期的な探査プロジェクトを遂行している。すでに初期成果として、いくつかの高赤方偏移クエーサーと明るい輝線銀河の発見に成功している（本年会における松岡らの講演）。

一方で赤方偏移 $z \sim 7$ を大きく超える宇宙の探査は、近赤外線波長での広く深い撮像観測を必要とする。将来的にはこの波長帯でのスペースミッションが大きな貢献をすると期待されるが、それに先駆けて、TAO/SWIMS の高いサーベイ能力を生かした探査計画を提案したい。特に HSC サーベイの広域可視光データと組み合わせることにより、非常にインパクトのある探査観測を遂行できることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z110b SWIMS-18 サーベイによる原始銀河団探査

利川潤、児玉忠恭 (国立天文台) ほか SWIMS-18 チーム一同 (東大天文センター、国立天文台)

銀河の性質と環境の間には密接な関わりがあることが知られており、遠方の高密度領域である原始銀河団を直接観測することは銀河団形成のみならず、銀河進化における環境効果を理解する上でも重要である。9枚の中間帯域フィルターと6枚の狭帯域フィルターを用いた1平方度の超多色撮像観測であるSWIMS-18サーベイにより、高い精度の測光赤方偏移に基づく星質量選択銀河や輝線に基づく星形成率選択銀河の両方のサンプルから原始銀河団探査を行うことができる。理論モデルから、SWIMS-18サーベイによって赤方偏移2を越える原始銀河団は10個以上発見されると期待され、またライマンブレイク銀河(LBG)のような広帯域フィルターを使った探査とは異なり、分光観測を行うことなく確度の高い原始銀河団候補を見つけ出すことができる。これらの原始銀河団サンプルに基づき、系統的に原始銀河団の性質について議論することが可能となる。特にSWIMS-18サーベイの独創的な点はKバンド帯にも中間帯域フィルターを持つことにより、 $z \sim 4-5$ においても星形成を行っていない銀河を検出できる点である。単純な原始銀河団の発見だけではなく、原始銀河団のような高密度領域ではどれほどの割合の銀河が星形成を終えているか、またはそのような銀河はどのような環境に存在しているかを調べることができる。そしてこれらの性質が赤方偏移とともにどのように変化していくかを調べることで、星形成活動に及ぼす環境効果の理解へと繋がる。また同じ赤方偏移に対して星形成活動に敏感なLBGを用いた探査とも組み合わせることによって、原始銀河団の性質を多角的に捉えることができる。本講演ではSWIMS-18サーベイによる原始銀河団探査の理論モデルを用いた検討を報告するとともに、これまでの原始銀河団探査との違いなどを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z111r 星間物質/星形成から TAO に期待すること

中村文隆 (国立天文台)

星は分子雲の高密度領域で誕生する。そのため、生まれたばかりの星は厚い星間塵に埋もれ、可視光で見るとは難しく、星形成過程の解明には、赤外線・電波による観測が重要となる。TAO を用いれば、星形成領域の近赤外線から中間赤外線の観測が高視野かつ高角分解能 ($< 1''$) で実現でき、星形成研究にとって非常に有用なデータが取得できる。TAO と ALMA 観測を連携させれば、同程度の角分解能でミリ波・サブミリ波～赤外線にわたる広い周波数域のデータ取得も実現可能である。

星の進化は主に生まれた時の質量によって決められるが、生まれる星の質量に応じてその形成過程がどう異なるか等の詳細については十分に理解が進んでいない。特に、大質量星については、その形成領域が遠方であり Spitzer 望遠鏡等の先行研究では十分な分解能の観測は難しいため、その形成過程はいまだ謎に包まれている。TAO を使えば、太陽近傍数キロパーセク内にある大質量星形成領域にある原始星周辺 ($\sim 10^3$ AU) からの赤外線を検出でき、大質量星形成過程の理解を格段に進められると期待される。

さらに、近傍の分子雲中に深く埋もれた誕生間もない褐色矮星・小質量星の観測にも威力を発揮すると期待され、小質量星天体の形成、原始惑星系円盤の形成、連星の形成等の問題において、貴重なデータをコミュニティにもたらすだろう。

講演では、星形成過程の研究における残された問題について簡単に述べ、TAO で切り開くことのできる星形成研究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](#)

Z112r TAOで紐解くダスト形成過程

野沢貴也 (国立天文台)

星間ダストは、種々の天体観測に大きな影響を及ぼすだけでなく、星や惑星の形成過程に重要な役割を果たす宇宙の基本的な構成成分の一つである。ダストの主要な形成場所は、進化した星の星風中および超新星爆発時に放出されたガス中と考えられているが、形成されるダストの組成、サイズ分布、放出量については未だ系統的に理解されていない。特に近年、大量のダストを有する遠方銀河の観測が次々と報告されており、宇宙初期の星間ダストの進化史を理解する上で、大質量星の活動に伴うダストの形成過程の解明は緊切な課題となっている。

本講演では、まず超新星爆発におけるダスト形成の最近の研究について簡単にまとめ、ダスト形成量の理解は大きく進展した一方で、ダストの形成時期や形成されるダストの性質は観測的にほとんどわかっていないことを述べる。そして近傍の系外銀河で起こった超新星に対して、形成されたダストからの熱放射の検出可能性を評価するとともに、TAOによる観測から超新星ダストの形成にどのような制約を与えることができるかを議論する。また、もし銀河系内または大小マゼラン雲で超新星が起こった場合には、TAOによる定期的かつ長期的な赤外線フォローアップ観測が、超新星放出ガス中でのダストの形成史を解き明かす決定打となることを説明する。

星風中でのダスト形成については、本講演では大質量星から進化した高光度青色変光星 (luminous blue variables, LBVs) に着目する。LBVsは銀河系の南天に数多く存在し、そのほとんどが大規模な質量放出を通じて大量のダストを形成している。そこで、TAOの高空間分解能を生かしたLBVsの近中間赤外線マッピング観測を行うことにより、LBVsに付随する星周ダストの空間分布を世界で初めて詳細に研究し、過酷な環境下におけるダスト形成過程・形成条件を明らかにすることを目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z113a TAO 中間赤外線観測を用いた双極状惑星状星雲ダストトーラスの観測計画

浅野健太郎 (JAXA/ISAS)、植田稔也 (デンバー大学)、宮田隆志、上塚貴史 (東京大学)

中小質量星 (初期質量 $1-8 M_{\odot}$) はダストの主たる供給源の 1 つである。ダスト形成は質量放出現象と深く結びついており、生成されるダストは周囲の密度環境、およびその環境の持続時間に大きく依存している。

このような星の終末期天体である惑星状星雲 (PN) は、現在までの質量放出の痕跡を有している。高温中心星の輻射と電離ガス輝線にダストは強く照らされるため、低温な AGB 期に比べても、中心星からより遠い、過去のダスト形成まで迫る事が出来る天体である。中でも蝶型をした双極状惑星状星雲は、近年の研究により初期質量が $4 M_{\odot}$ 以上の重い恒星の終末期天体だという事が示唆されており、生成されるダスト量も大きい事が期待される。

近年のガス輝線等の観測により、双極状惑星状星雲では質量放出が主に赤道面方向に、トーラスまたはディスク状に $10^{-4}\sim 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ で起きている事が明らかになってきた。その拡散速度は緩やかであり、典型的には 10 km/s 程度である。したがって等方的質量放出をしていると想定される AGB 星等に比べると、ダストは圧倒的に長期間、高密度な環境に晒されていた事が予期される。この環境下では様々なダスト種の形成、サイズの成長が見込まれ、ダストの進化を知る上では極めて重要である。

ダスト質量の大半は 100 K 、もしくはそれより低い温度のダストが担っており、この熱放射は $30 \mu\text{m}$ 帯にピークを持つ。低温ダストの密度を正確に求める為には、 $30 \mu\text{m}$ 帯の高分解能観測、高精度測光観測が、ダスト種を同定する為には中間赤外線の分光観測が重要である。この観測を現在最も有効に行う事が出来る装置と望遠鏡は TAO/MIMIZUKU である。本講演では ALMA 望遠鏡の観測検討と比較しつつ、観測計画を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z114a 惑星系の多様性と起源の解明に向けた系外惑星トランジット観測の重要性

生駒大洋, 川島由依 (東京大学), 成田憲保, 福井暁彦 (国立天文台)

これまでの系外惑星サーベイによって、宇宙には惑星系が普遍的に存在することが観測的に証明された。それだけでなく、惑星の数や軌道要素、質量、半径等に関して、惑星および惑星系は実に多様であることも明らかになった。特に、太陽系では惑星が存在しない主星近傍の領域に様々な質量または半径の惑星が存在することから、これまで惑星形成標準理論（京都モデル）の大前提であった「その場形成」という静的な描像を捨て、惑星の大移動を含む動的な描像を我々は受け入れざるを得なくなった。結果として、惑星系形成論における自由度が圧倒的に増し、より多くの観測的制約なしに起源解明は困難であることは明らかである。中でもここ数年注目を浴びているのが、スーパーアースやミニネプチューンと呼ばれる小規模な惑星である。太陽系に存在しないこの種の天体が、太陽系外では大多数を占め、さらに質量と半径の多様さが顕著であることが最近では知られている。したがって、この小規模惑星の特性を明らかにすることは、惑星系形成論の枠組みでも最優先課題の一つである。そのために、惑星の質量や半径という基本的な特徴をより高精度に決定するフォローアップ観測が必要である。さらに、可視から赤外にわたるトランジット分光観測によって、大気の成分を明らかにすることも極めて重要である。2017年に打ち上げ予定の宇宙望遠鏡 TESS では、近傍星を対象としたサーベイによって、こうした特徴付けに相応しい惑星が大量に検出されることが期待される。それらに対して、TAO を用いて網羅的なフォローアップ観測が可能になれば、惑星系形成論の飛躍的な進歩につながることは間違いない。本講演では、これまでの我々のグループの活動をもとに、TAO で期待されるサイエンスとその意義について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z115a K2/TESSによる全天トランジットサーベイとTAOとの連携

成田憲保 (ABC)、福井暁彦 (岡山観測所)、生駒大洋、川島由依 (東大)

2009年に打ち上げられたケプラー衛星は、4000個以上のトランジット惑星候補を発見し、宇宙には地球サイズから天王星・海王星サイズの小型惑星が多数存在していることを統計的に明らかにした。その後ケプラー衛星は、リアクションホイールの故障を経て、太陽光の輻射圧を1軸の固定に用いて黄道面の領域を観測するK2計画として再起動している。さらにケプラー衛星の後続機として2017年に打ち上げられる予定のトランジットサーベイ衛星TESSは、黄道面を除く全天を2年間かけて観測し、トランジット惑星を探す計画となっている。従って、K2とTESSは相補的に全天のトランジットサーベイを2020年頃までに行う予定である。K2やTESSは、ケプラーが発見してきたような小型惑星を、より太陽系に近い恒星のまわりで発見することが期待されている。太陽系には地球と天王星・海王星の中間のサイズの惑星は存在しないため、このような惑星がどのような組成を持ち、どのように形成されたのかを明らかにすることは、天文学・惑星科学にまたがる最重要課題のひとつと言える。

TAOは、日本人がアクセス可能な南天の大型望遠鏡としてユニークであるだけでなく、高地にあり水蒸気量が極めて少ないという点で、他の大型望遠鏡では得られない近赤外やUバンドに極めてユニークな窓を持つ。その利点を活かしたSWIMSやUバンドの観測装置は、K2やTESSで発見される小型惑星の大気に対して、他の望遠鏡で得られない波長の情報を与えてくれる。そのため、TAOで小型惑星に対する集中的な観測キャンペーンが実施できれば、系外惑星の分野において非常に大きなインパクトがある。本講演では、K2/TESSのサーベイ計画と予測される惑星発見数をもとに、TAOのターゲットとしてどのような惑星がどの程度の数見込まれるのかを紹介し、K2/TESSによる全天トランジットサーベイと連携したTAOの系外惑星サイエンスを提案したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z116a TAO/MIMIZUKUによる小惑星の近赤外線分光サーベイ計画

臼井 文彦, 上塚 貴史, 宮田 隆志 (東京大学), 長谷川 直 (ISAS/JAXA), 高遠徳尚 (NAOJ)

太陽系には様々な形態の水が広く存在することが知られるようになってきた。水の分布は太陽系の形成と進化、特に温度環境の変遷を解き明かす手がかりになる。小惑星は形成以降にあまり熱的進化をしておらず、太陽系初期の状態をよく保持している。そこで太陽系における水の探査には、多様な小惑星について水氷および含水鉱物の存在を調べるのが有効である。含水鉱物は小惑星内部において液体の水と珪酸塩鉱物が反応して生成されるが、水氷の昇華温度以上でも安定に存在するため、かつて液体の水が存在したことを示す指標になる。

水氷や含水鉱物は、特に波長 $3 \mu\text{m}$ 帯のスペクトルに顕著な吸収フィーチャーを持つ。これを捉えるには宇宙望遠鏡が用いられるが、観測機会が限定的であるため、数多くの天体を網羅的に観測するには必ずしも適当ではない。含水鉱物の吸収のパターンを正しく議論するには、数100天体のサンプルを集める必要がある。これに対して、地上観測による安定的な観測体制が確立できれば、あらゆる種類の小惑星のデータ取得が可能になる。ただし、含水鉱物の特徴的なフィーチャーの現れる $2.7 \mu\text{m}$ 付近は地球大気の影響を強く受けるため、一般に地上望遠鏡では観測がきわめて困難である。そこで、標高 5640 m の TAO に着目した。このサイトの高い標高と砂漠気候により、大気中の水蒸気量が低く、 $2.7 \mu\text{m}$ 帯の観測も可能となる。我々は TAO 望遠鏡に搭載される中間赤外線カメラ MIMIZUKU の近赤外線チャンネルに、小惑星の水氷・含水鉱物探査に特化した近赤外線分光機能を追加する検討を行っており、 $2.4\text{--}2.95 \mu\text{m}$ ($R=600$) と $2.1\text{--}4.0 \mu\text{m}$ ($R=200$) の2つのグリズム分光モードを準備している。

本講演では、観測目的と方針、近赤外線分光機能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](#)

Z117a **TAO とハレアカラ望遠鏡群による木星ならびに小天体の連続観測**

坂野井健, 鍵谷将人, 北元, 笠羽康正 (東北大), 宮田隆志, 大坪貴文, 臼井文彦, 上塚貴史 (東京大), 平原靖大 (名古屋大), 米田瑞生 (ドイツ・ケーペンハウワー研), 長谷川直, 佐藤隆雄 (ISAS/JAXA)

我々は、ハワイ・ハレアカラの可視赤外線望遠鏡群 (T60、T40、PLAENTS) とチリ・アタカマの大型赤外線望遠鏡 (TAO) を用いた太陽系天体 (木星とその衛星、小惑星、彗星) の多点継続モニタ観測計画について報告する。この目的は、それらの天体におけるガス噴出と電磁圏現象の時空間変動を捉え、その成り立ちと固体-大気-プラズマ上下結合過程について理解することである。また、これらの地上望遠鏡と、運用中の紫外宇宙望遠鏡 SPRINT-A/EXCEED や、2016 年に木星に到着する Juno 等の飛翔体観測との共同観測を計画している。

木星は強い磁場と高速 10 時間自転による発電により、地球と比較して強い磁気圏-大気圏相互作用が存在するが、その活動を H3+ (3.9 μ m) オーロラの時空間変動から知ることができる。一方、その衛星イオは高い活動度を持つ活火山をもち、多量のガスを磁気圏に供給している。また近年、火星-木星間メインベルト帯にある小惑星に活動的な噴出を示す天体が発見され、彗星との類似性や相違点が議論されている。これらの周期的または過渡的・突発的変動現象の理解のためには、公募大型望遠鏡のスポット観測ではなく、占有の望遠鏡設備による継続的モニタ観測が必須である。

我々は、これまでハワイ・ハレアカラで口径 60cm (T60) ならびに 40cm (T40) 望遠鏡、miniTAO 1m 望遠鏡などを用いてイオ火山活動や Holmes 彗星のアウトバーストの解明で成果を挙げてきた。本研究では、2 年後完成予定の新規 PLANETS 2m 望遠鏡や TAO 6.5m に可視分光器と近赤外～中間赤外分光器を設置する。これにより、これまでに類を見ない時間軸・空間変動データによる太陽系惑星・衛星・小天体研究が期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z118b Subaru/COMICS データで探る金星雲頂構造の特徴-TAO への期待

佐藤隆雄 (宇宙航空研究開発機構), 佐川英夫 (京都産業大学), 神山徹 (産業技術総合研究所), 佐藤毅彦 (宇宙航空研究開発機構), 今村剛 (宇宙航空研究開発機構)

「スーパーローテーション」等の特異な大気現象で知られる金星は、高度 50-70km に広がる厚い濃硫酸の雲に覆われている。この雲は入射太陽光の約 8 割を宇宙空間に反射する一方で、下層大気からの赤外放射を吸収し温室効果をもたらす。つまり雲層は惑星全体の熱エネルギー収支を支配しており、雲層構造の時空間変動の把握は、大気力学のみならず気候システムを理解する上でも重要な基礎情報である。

こうした背景から、我々は、Subaru/COMICS で取得した 5 日間 (2007 年 10 月 25 日-29 日) にわたる撮像データを解析した。中間赤外波長では熱放射に比べ太陽光が十分弱いため、金星の昼面及び夜面を同質データとして得る強みがあり、使用した 2 波長 ($8.66\mu\text{m}$ と $11.34\mu\text{m}$) は雲頂高度付近 (約 70km) に感度を有している。詳細なデータ校正の結果、観測期間中の金星ディスク平均輝度温度 ($8.66\mu\text{m}$ で約 230K, $11.34\mu\text{m}$ で約 238K) は、金星探査機「あかつき」の中間赤外カメラによる 2010 年 12 月の結果 ($8-12\mu\text{m}$ の広帯域フィルターで約 236K) と整合しており、金星ディスク中心における空間解像度は約 200km であることが分かった。さらに、(1) 南北極域の輝度温度模様が同期しながら西向きに移動する可能性や、(2) 雲頂には様々なスケールの微細構造が全球にわたって存在しており、紫外波長で観測される「水平 Y 字模様」と類似した特徴をもつことが初めて観測的に明らかとなった。以上より、金星においては今日までの探査機観測の空間解像度及び質に匹敵する中間赤外データを地上大型望遠鏡で得られることを実証し、地上大型望遠鏡を用いた惑星大気モニタリングの有用性を示した。

本発表では更なる研究の深化を可能とする TAO/MIMIZUKU に寄せる期待についても述べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z119b TAO 中間赤外線観測によるミラ型変光星のダスト形成モニタリング観測

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清, 山口淳平 (東京大学), 浅野健太郎 (JAXA), ほか TAO グループ

ミラ型変光星は星周におけるダスト形成と星間空間への質量放出が盛んなことから、宇宙のダスト供給源として重要な天体である。このダスト形成・質量放出のプロセスの理解は物質の起源・輪廻を理解する上で重要であるが、いまだその解明には至っていない。多くの天体に対してこれらのプロセスを調べるには、近・中間赤外線モニタリングが有効であり、TAO/MIMIZUKU はこれに最適な装置である。

中間赤外線では星周ダストの熱放射が観測され、そのスペクトルはダストの量と温度によって変化する。星近傍のダスト形成に伴うダストの量の変化によってもスペクトルの変化が期待され、これをモニタリング観測で抑える事で「どのようなタイミングでこういったダストが形成するのか」といったダスト形成・質量放出現象の基本的な疑問に迫ることができる。この変化はせいぜい10 – 20% のフラックス変動と考えられ、観測するには数% のモニタリング精度が必要である。量の変化とは別に、中心星の変光に伴うダストの温度変化によってもスペクトルは変化する。これらを切り分けるには広い波長域を観測し、中心星の輻射の状態とダスト温度を決める必要がある。また、ミラ型変光星の変光周期は数百日と非常に長い為、長いモニタリング期間が求められる。TAO/MIMIZUKU はこれらの要求をすべて満たすことができる。また、ダストの熱放射の抽出には、恒星やその上層大気的气体からの連続的な放射の振り舞いを理解する必要がある。これには近・中間赤外線の一貫したスペクトルモニタリングが重要で、TAO/MIMIZUKU の広い観測帯域はこの点でも非常に有効である。

本講演ではこれらの利点を利用した TAO/MIMIZUKU によるミラ型変光星モニタリング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](#)

Z120b TAO 中間赤外線観測による dustiest evolved stars の観測計画

宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清, 山口淳平 (東京大学), 浅野健太朗 (ISAS), ほか TAO グループ

AGB 星などの晩期型星は星間空間へのダストの供給源として重要である。近年、AGB 星の中でも熱赤外のカラーが非常に赤く ($[3.6] - [8.0] > 0.8$)、強い質量放出を示す extreme AGB(xAGB) 星と呼ばれる天体が注目を集めている。たとえば LMC では、xAGB 星は全 AGB 星の 3% 程度の数しか存在しないが、そのダスト生成量の総計は全 AGB からのダスト形成量の 80% にも達することが報告されている (Boyer+2012)。

しかしながら xAGB 星の捜査や観測はまだ不完全である。たとえば強い質量放出がおきると、形成されるダストの組成や結晶構造、サイズなどが変化し、赤外光度からダスト量への換算率が変化してしまう。このようなダストの変化を観測的にとらえるには、広い波長範囲での SED 測定と同時に、10-40 μm での分光観測が必要であるが、どちらも十分行われているとは言い難い。また、現在見つかっている xAGB 星よりもさらに強い質量放出現象を伴う天体の場合、放射のピークがより長波長にずれてしまうため、現在の観測では見落とししたり、YSO と誤認されてしまう可能性もある。さらにこのような天体は長周期の変光星であることが期待されるが、変光の観測もほとんど行われてはいない。

TAO は世界で唯一 30 μm 帯を観測できる望遠鏡であり、6.5m の口径を活かした 30 μm 帯高解像度・高感度観測が行える。また地上望遠鏡のメリットを活かし、長期にわたるモニタ観測も実施可能である。我々は、MIMIZUKU のキーサイエンスのひとつとしてこの xAGB 星を含む、非常に深くダストに埋もれた晩期型星 (dustiest evolved stars) の捜査観測を検討している。本講演ではこの観測計画について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z2. プラズマ宇宙物理】

3月14日(月) 午後(13:30-15:00) [G会場]

Z201r	13:00	実験室および宇宙プラズマにおけるジャイロ運動論・(30)	渡邊智彦(名古屋大学)
Z202a	13:30	強磁場中におけるレーザープラズマ実験とその応用・(20)	佐野孝好(大阪大学)
Z203b	13:50	強磁場中でのレーザー・プラズマ相互作用に関するPICシミュレーション・(3)	田中勇氣(大阪大学)
Z204b	13:50	大型レーザーを用いた宇宙プラズマ物理実験: 無衝突ワイベル衝撃波生成・(3)	坂和洋一(大阪大学)
Z205c		磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験: 2015年度の実験結果	山崎了(青山学院大学)
Z206c		無衝突衝撃波の高強度レーザー実験における協同トムソン散乱	松清修一(九州大学)
Z207b	13:50	磁化プラズマにおけるプラズマ乱流のマルチスケール性・(3)	前山伸也(名古屋大学)
Z208b	14:02	Self-consistent model of helicon discharge・(3)	Isayama, Shogo (Kyushu Univ.)
Z209b	14:02	互いに異なる回転平衡状態にあるイオン流体と電子流体の重畳実験・(3)	比村治彦(京都工芸繊維大学)
Z210a	14:10	太陽内部熱対流・ダイナモ研究の最近の話題と展望・(30)	堀田英之(千葉大学)
Z211c		イン=ヤン=ゾン格子による全球MHDシミュレーション	陰山聡(神戸大学)
Z212b	14:40	対流に駆動された周期的な磁気リコネクション現象: 太陽黒点ライトブリッジの観測・シミュレーション研究・(3)	鳥海森(国立天文台)
Z213b	14:40	磁気リコネクションによって発生するエネルギーフラックスとコロナ加熱・(3)	岩本直己(茨城大学)
Z214b	14:40	非対称電流シートでの磁気リコネクションの特徴・(3)	新田伸也(筑波技術大学)
Z215b	14:52	系の回転が乱流スペクトルと乱流輸送に与える影響・(3)	永岡賢一(核融合科学研究所)
Z216b	14:52	Flow induction by inhomogeneous turbulent helicity・(3)	Yokoi, Nobumitsu (Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [G会場]

Z217r	09:30	中性子星磁気圏のリモートセンシング・(30)	寺澤敏夫(東京大学)
Z218a	10:00	宇宙天体现象のプラソフシミュレーション・(20)	震島敬(海洋研究開発機構)
Z219a	10:20	MHD乱流中の二次フェルミ加速の再考・(20)	寺木悠人(理化学研究所)
Z220b	10:40	無衝突衝撃波における宇宙線駆動乱流の数値シミュレーション・(3)	天野孝伸(東京大学)
Z221b	10:40	高マッハ数衝撃波の3次元構造と電子加速・(3)	松本洋介(千葉大学)
Z222b	10:40	相対論的無衝突衝撃波の多次元長時間PICシミュレーション・(3)	池谷直樹(千葉大学)
Z223c		相対論的衝撃波における航跡場加速	岩本昌倫(東京大学)
Z224b	10:52	PICシミュレーションにおける高エネルギー粒子のエネルギーロス III・(3)	加藤恒彦(国立天文台)
Z225b	10:52	降着円盤中での乱流加速シミュレーション・(3)	木村成生(東北大学)
Z226b	10:52	非等方放射の誘導コンプトン散乱・(3)	田中周太(東京大学)
Z227c		無衝突駆動磁気リコネクションにおける磁気島の役割について	堀内利得(核融合科学研究所)
Z228b	11:04	無衝突磁気リコネクションにおける電子軌道の全ラグランジュ解析・(3)	銭谷誠司(国立天文台)

(次頁に続く)

【Z2. プラズマ宇宙物理】

Z229b	11:04	宇宙空間プラズマ中における波動粒子相互作用の直接観測手法の検討・(3)	北原理弘 (東北大学)
Z230b	11:04	斜め伝搬 MHD 波動による荷電粒子の拡散過程：クラスター衛星観測とテスト粒子計算の比較・(3)	大塚史子 (九州大学)
Z231c		惑星磁気圏におけるコーラス放射と相対論的高エネルギー電子との相互作用	加藤雄人 (東北大学)
Z232b	11:16	誰も気づかなかった銀河と銀河団高温プラズマの相互作用・(3)	牧島一夫 (理化学研究所)
Z233c		衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 における 2 つの衝撃波の観測的研究	加藤佑一 (東京大学)
Z234b	11:16	磁気流体キンク不安定性による銀河団中心低温成分の加熱・(3)	横山央明 (東京大学)
3月15日(火) 午後(13:30-15:30) [G会場]			
Z235r	13:30	宇宙線の非ガウスの輸送と加速・(30)	羽田亨 (九州大学)
Z236a	14:00	MHD Simulations using Athena++ with Mesh Refinement・(20)	富田賢吾 (大阪大学)
Z237a	14:20	ホール効果によって引き起こされる 2 種類の原始惑星系円盤の進化過程・(20)	塚本裕介 (理化学研究所)
Z238b	14:40	Godunov Smoothed Particle Magnetohydrodynamics・(3)	岩崎一成 (同志社大学)
Z239b	14:40	高次精度 MHD スキームを用いた磁気回転不安定性駆動乱流の計算機実験・(3)	平井研一郎 (東北大学)
Z240b	14:40	磁気乱流由来の強電場による電子の加熱が原始惑星系円盤に与える影響・(3)	森昇志 (東京工業大学/名古屋大学)
Z241b	14:52	磁気流体波動の散逸が駆動する巨大ガス惑星からの大気散逸現象について・(3)	田中佑希 (名古屋大学)
Z242c		磁気流体力学方程式に対する高次精度衝撃波捕獲差分スキームの開発	三好隆博 (広島大学)
Z243b	14:52	熱伝導を考慮した降着円盤状態遷移の磁気流体シミュレーション・(3)	谷田部紘希 (千葉大学)
Z244b	14:52	Formation Mechanism of Galactic Center Molecular Loops in Multi-Phase Clumpy Interstellar Medium・(3)	Peng, Chih-Han (Chiba Univ.)
Z245c		熱過程を考慮した銀河系中心部分子雲ループ形成シミュレーション	栗原理 (茨城大学)
Z246a	15:04	一般相対論的輻射磁気流体による超臨界降着円盤シミュレーション・(20)	高橋博之 (国立天文台)

Z201r 実験室および宇宙プラズマにおけるジャイロ運動論

渡邊智彦 (名古屋大学)

ジャイロ運動論は、磁化プラズマにおけるドリフト波などの低周波揺動を取り扱うための理論として1960年代に定式化がはじまり、主に磁場核融合プラズマの乱流輸送研究に用いられてきた。本講演では、ジャイロ運動論的方程式と、その実験室および宇宙プラズマへの応用について紹介する。

磁場に垂直方向の密度および温度勾配や磁気シアなどにより、プラズマ中には多種多様な不安定性が誘起され乱流へと遷移する。イオン温度勾配 (ITG) 駆動乱流と電子温度勾配 (ETG) 駆動乱流は、質量比の平方根倍程度異なる時空間スケールをもち、これらが同時に発生すると、乱流応力により駆動される帯状流との相互作用を含んだマルチスケール乱流場が形成される。最近の大規模シミュレーションにより、分布関数揺動の非線形結合を介した ITG/ETG 乱流と帯状流の相互作用過程が明らかになってきた [1]。特に、微細な ETG 乱流が、帯状流を介して、巨視的な流れ場が駆動する熱輸送に影響を及ぼし得る、という新たな知見が得られた。

ジャイロ運動論は、磁気流体時間スケールにおいても磁力線に平行な電場成分を扱うことができる。これは、オーロラ粒子加速の問題を取り扱う場合においても有用な理論解析手法となる。オーロラ構造の発達は、磁気圏と電離層プラズマの Alfvén 波を介した相互作用で生じる不安定性の問題として定式化される。ここにジャイロ運動論を導入することで、オーロラにともなう密度および電流構造の発達とオーロラ電子の加速を、はじめて統一的に取り扱うことが可能になった [2]。

[1] S. Maeyama et al., Phys. Rev. Lett. **114**, 255002 (2015).

[2] T.-H. Watanabe, Geophys. Res. Lett. **41**, 061166 (2014).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z202a 強磁場中におけるレーザープラズマ実験とその応用

佐野孝好 (大阪大学)

近年、キロテスラを越える磁場の発生が、大型レーザー実験で実現可能になっている。このような強磁場中では、従来のレーザー・プラズマ相互作用とは全く異なり、臨界密度を越えるような高密度プラズマと電磁波 (ホイッスラー波) が「直接」相互作用を及ぼすことが可能となる。この新たに開拓された極限状態において、高強度レーザーと高密度プラズマとによって引き起こされる物理過程を実験的に検証できれば、プラズマ物理の基礎過程として非常に興味深い問題となる。例えば、サイクロトロン共鳴やパラメトリック不安定などを介して、電磁波から効率的なプラズマ加熱・加速が可能となれば、プラズマ物理の様々な分野に大きなインパクトを与え結果になるであろう。

本講演では、キロテスラ級の磁場が今後実際にレーザー実験で使えるようになった場合に、具体的にどのような課題に取り組むことができるかについて考察する。その一例が、レイリー・テイラー不安定などの界面不安定における強磁場の効果である。磁場強度を制御することによる不安定性の抑制や、非等方な熱拡散がもたらす力学進化への影響などを、実験的に調べられる可能性がある。これらは、超新星爆発のような天体プラズマ現象や、慣性核融合プラズマの爆縮過程における乱流混合などの理解に繋がるであろう。また、強磁場中におけるレーザー駆動粒子加速も面白い課題である。地球の双極子磁場で起っている、ホイッスラー波による相対論的電子のサイクロトロン共鳴と同様な加速過程などを、実験的に模擬できるかもしれない。本講演では、レーザーによる強磁場発生実験の現状と、理論シミュレーションを用いた応用実験のデザインなどについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z203b 強磁場中でのレーザー・プラズマ相互作用に関するPICシミュレーション

田中勇気、山口智士、佐野孝好、村上匡且 (大阪大学)

慣性核融合や宇宙物理の分野において、強磁場中におけるプラズマと高強度レーザーパルス(電磁波)との関係は多くの関心を集めるところである。磁場と同じ方向に伝播するレーザーパルスをプラズマ中に侵入させると、レーザーパルスは右回り偏波(R波)と左回り偏波(L波)で異なる挙動を見せる。通常のレーザー・プラズマ相互作用には臨界密度が存在し、その密度よりも高密度のプラズマにはレーザー光は侵入できない。磁場中での左回り偏波の場合も同様に、プラズマの密度が左回りカットオフ密度に達すると、レーザー光は反射されてしまう。一方、右回り偏波は、磁場の強さによってカットオフや共鳴点が変わるため、強磁場をかけることによって、どんな密度のプラズマにも侵入することが可能となる。この特性は、慣性核融合において高密度プラズマである爆縮コアへの効率的な加熱方法への利用や、医療・宇宙物理分野で重要となる粒子加速機構への応用なども期待できる。

本研究では一次元PICシミュレーションを用いて、強磁場中での高強度レーザーと薄膜状のプラズマとの相互作用の解析を行っている。今回は、特に臨界密度近傍のプラズマ密度において、レーザーからプラズマへのエネルギーの変換効率を、磁場の強度との依存性に主眼を置いて定量的な解析を行った。右回り偏波は、ある磁場強度において、電子とサイクロトロン共鳴を起こすことが知られている。我々のシミュレーションの結果として、臨界強度以下の弱い磁場の場合でも、高効率でプラズマにエネルギーに渡すことができることがわかった。この場合、サイクロトロン共鳴以外の効果が働いていると考えられ、要因の一つとしてパラメトリック不安定性などが考えられる。本講演では、この過程で発生している物理メカニズムや磁場の役割について詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z204b

大型レーザーを用いた宇宙プラズマ物理実験: 無衝突ワイベル衝撃波生成

坂和洋一 (大阪大), H.-S.Park, C.Huntington, J.S.Ross, D.D.Ryutov, B.Pollock, B.Remington, S.V.Weber, D.P.Turnbull, H.Rinderknecht (LLNL USA), G.Gregori, J.Meinecke, M.C.Levy (Oxford U,UK), A.Spitkovsky (Princeton U,USA), F.Fiuza (SLAC USA), C.K.Li, A.Zylstra, R.Petrasso (MIT,USA), N.L.Kugland (Lam Research Corp,USA), R.P.Drake, C.Kuranz (U Michigan,USA), D.H.Froula, S.Regan, M.Rosenberg (LLE,USA), D.Lamb, P.Tzeferacos (U Chicago,USA), N.Woolsey (York U,UK), M.Koenig (LULI,France), 森田太智 (九州大), 蔵満康浩, 森高外征雄 (National Central U,Taiwan), 加藤恒彦 (国立天文台), 高部英明 (Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf,Germany)

近年, 大出力・高強度の大型レーザーを用いて, 宇宙でしか観測されないような高温・高エネルギー密度, 超高速流プラズマを実験室内に実現し, プラズマ物理学や宇宙物理の理解を深めていくことを目指す「レーザー宇宙プラズマ物理研究」が注目されている. 我々は, その中でも, 宇宙線の加速に重要な役割を果たしていると考えられている, 無衝突衝撃波の生成に着目して研究を行っている.

2008年に加藤と高部は2次元PICシミュレーションを用いて, 超新星爆発によって発生する非相対論的高速プラズマにおいても二流体系でワイベル不安定性を励起し, 発生した強い自己磁場によって粒子軌道が曲げられ, 実効的なエネルギーの散逸がおきて無衝突ワイベル衝撃波が形成される事を示した. 本講演では, 米国のOmegaおよびNIFレーザーを用いた, ワイベル不安定性によって生成される乱流磁場中の非相対論的な無衝突衝撃波生成を目的とした実験について報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z205c **磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験: 2015年度の実験結果**

山崎了, 正治圭崇, 富谷聡志, 富田沙羅, 大平豊 (青山学院大), 坂和洋一, 佐野孝好, 原由希子, 下河原浩志 (大阪大), 松清修一, 森田太智, 富田健太郎 (九州大), 高部英明 (ドレスデン研究機構), 米田仁紀, (電通大), 田中周太 (東京大), 寺木悠人 (理研)

超新星残骸等に存在する無衝突衝撃波では、相対論的エネルギーをもつ粒子が生成されており、地球にも宇宙線となって飛来してきている。無衝突衝撃波における粒子の加速機構には衝撃波面を粒子が行き来することでエネルギーを得るフェルミ加速が考えられているが、衝撃波での波動励起やフェルミ加速への注入問題など未解決問題が多い。無衝突衝撃波による粒子加速については観測やシミュレーションによる検証が行われているが、様々な困難を抱え、いまだ完全な解明には至っていない。そこで本研究では、天体観測研究、理論研究に次ぐ第三の研究手法として地上の大型レーザーを用いて磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波を生成し、その精密測定を通じて粒子加速の理解に迫ることを目指す。真空容器に雰囲気ガスとして水素を数 Torr 封入し、Al ターゲットの背面からレーザーを照射すると、表側にアブレーションプラズマが生成され、さらにそこからの輻射によって雰囲気ガスもプラズマ化される。これら2つのプラズマの相互作用により無衝突衝撃波が生成される。ここであらかじめ外部磁場を印可しておくことで水素プラズマは磁化される。このようなデザインのもとで、大阪大学の激光12号レーザーを用いて、実際に磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成を試みた。今回の発表では、実験によって得られた自発光のストリーク計測、協同トムソン散乱計測、シャドウグラフ計測等のデータから特にイジェクタに相当するAlプラズマのバルク速度や電子数密度を求め、1次元輻射流体コードや衝撃波接続条件の結果と比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z206c 無衝突衝撃波の高強度レーザー実験における協同トムソン散乱

松清修一, 潮崎幸太, 香月のどか, 富田健一郎, 森田太智, 羽田亨 (九州大学), 坂和洋一, 佐野孝好, 原由紀子, 下河原浩志 (大阪大学), 蔵満康浩 (国立中央大学), 山崎了, 正治圭崇, 富田沙羅 (青山学院大学), 高部英明 (ドレスデン研究機構)

我々は、激光 12 号レーザー（大阪大学レーザーエネルギー学研究センター）を用いた無衝突衝撃波の生成実験を行っている。実験では様々な非接触プラズマ計測が行われるが、中でもトムソン散乱計測は、プローブ光経路に沿った空間各点における局所的なプラズマ諸量を高解像度で計測できるため、衝撃波遷移層などで本質的な役割を担うミクロスケール物理の計測に威力を発揮すると期待されている。トムソン散乱計測では、入射プローブ光がプラズマの自由電子によって弾性散乱された散乱光スペクトルの特徴から、プラズマの状態を推定する。このとき、これまでフィッティングに用いられる散乱光のモデルスペクトルは、熱平衡状態に近いプラズマを仮定して得られたものである。しかしながら、無衝突衝撃波の遷移層では、プラズマはしばしば著しい非平衡状態にあることが知られている。こうした場合の散乱光スペクトルは、平衡プラズマによるそれとは大きく異なることが予想されるが、非平衡プラズマによるトムソン散乱理論は十分に整備されていない。ここでは特に、入射光および散乱光の波長がプラズマのデバイ長よりも大きい協同トムソン散乱に着目し、非平衡プラズマにおける散乱光スペクトルの特徴を議論する。具体的にはまず、宇宙の無衝突衝撃波遷移層でしばしば観測されるビーム不安定性を念頭に、この場合に予想される協同トムソン散乱スペクトルの特徴を整理する。さらに、ビーム不安定性のフル粒子シミュレーションを行い、同時にプローブ光電磁場を系に入射して協同トムソン散乱をも再現して、得られる散乱光スペクトルの特徴を精査する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z207b 磁化プラズマにおけるプラズマ乱流のマルチスケール性

前山伸也, 渡邊智彦 (名古屋大学)

プラズマ中で生じる乱流は、極微細な電子スケールの揺らぎと長波長のイオンスケールの揺らぎを内包する本質的にマルチスケールの物理現象である。ジャイロ運動論は磁化プラズマにおける乱流を微細構造まで精度よく解析するために開発された理論である。従来の研究では、しばしば電子・イオン間のスケール分離を仮定して解析が行われてきたが、近年の超並列スーパーコンピュータを駆使した大規模シミュレーションにより、両者のスケールを統一的に取り扱うマルチスケールプラズマ乱流シミュレーションが可能となった。

我々のマルチスケール乱流に関する研究の重要な成果の一つは、電子スケール乱流とイオンスケール乱流の間に相互作用が存在することを発見したことである。これにより、単一スケール乱流の解析結果に比べて、乱流揺動スペクトルが大きく変化することを示した。さらに、三波結合解析をジャイロ運動論に適用することで、マルチスケール相互作用の物理機構を明らかにした [S. Maeyama, Phys. Rev. Lett. 114, 255002 (2015)]。

もう一つの重要な観点は、電子の運動論的效果が重要となる微細スケールで起こるマイクロティアリングモードの存在である。その電流層の厚さは電子 Larmor 半径の数倍程度に局在するが、波の伝搬方向にはイオン Larmor 半径程度の波長をもつため、本質的にマルチスケールの不安定性といえる。そこで本講演では、マイクロティアリングモードや磁気リコネクションに伴う電子熱輸送についても議論する。

天文分野においても電子スケール構造の直接計測やマイクロ・マクロスケール相互作用に関心が高まっている今、磁化プラズマにおけるマルチスケール相互作用の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](#)

Z208b **Self-consistent model of helicon discharge**

Shogo Isayama, Tohru Hada(Kyushu Univ), Shunjiro Shinohara(TUAT)

Helicon plasma is a high-density and low-temperature plasma generated by the helicon wave, i.e., electromagnetic whistler wave bounded typically in the cylindrical geometry. Since helicon plasma can be generated under a wide range of external parameters, it is expected to be useful for various applications. The mechanism of helicon plasma production has been studied by many authors with theoretical and experimental investigations. On the other hand, there remains a central problem that has not been fully answered: How does the helicon discharge grow? The mechanism of the helicon discharge includes the wave propagation in the plasma (dispersion relation), collisional or non-collisional wave damping and plasma heating, and ionization/recombination of neutral particles which causes time evolution of the dispersion relation.

In this study, we construct a fluid model of the helicon discharge including all the physics mentioned above self-consistently. By numerically solving the model, we show the time evolution of the helicon discharge in the cylindrical model and discuss how the waves influence the plasma density, electron temperature and their profiles. Furthermore, we make some comparisons with experimental results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z209b 互いに異なる回転平衡状態にあるイオン流体と電子流体の重畳実験

比村治彦, 中田誓治, 河合祥吾, 山田祥平, 古川耕佑, 政宗貞男, 三瓶明希夫 (京都工繊大)

プラズマ物理の未開拓テーマの一つ、2流体プラズマを実験的に検証するために、特性長がイオンスキン長のオーダーになっている系において、互いに異なる回転平衡状態にあるイオン流体と電子流体を別々に作り出した後、これら2つの流体を実際に重畳して、しばらく保持する。その後、イオン流体と電子流体を別々に取り出して、それら2流体の2次元構造の空間・時間変化を観測するという実験を開始している。実験はBX-U装置 (H. Himura, submitted to *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* (2015)) で行い、観測用測定器には蛍光盤付MCP (S. Nakata, H. Himura, and A. Sanpei, submitted to *Rev. Sci. Instrum.* (2015)) を用い、MCPに与える電圧の軸方向分布を真空リレーで切り替えることで (S. Yamada and H. Himura, *to be submitted.*)、ワンショット中にイオン流体と電子流体両方の2次元イメージを取得している。イオン流体はリチウムイオンで作成 (S. Kawai, H. Himura, and S. Masamune, submitted to *Phys. Plasmas* (2015))、電子プラズマ同様、熱平衡状態においてから重畳させている。初期実験では、リチウムイオン流体と電子流体の重畳後の経過時間をパラメータとして、2次元イメージデータを集めている。2流体が重畳されることで、イオン流体と電子流体は回転平衡状態から非平衡な状態へと移ることになるが、重畳から1秒後のイメージからも確かに構造の変化が認められる。講演では、これらの観測結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z210a 太陽内部熱対流・ダイナモ研究の最近の話題と展望

堀田英之 (千葉大学)

太陽物理学最大の問題の一つである「黒点数 11 年周期の問題 (太陽ダイナモ問題)」に関連する研究の最近の進展とこれからの展望についてレビューする。太陽はその中心部で核融合によりエネルギーを生成する。太陽内部の最後の 30%では放射が効率的でないために、熱対流によりエネルギーが運ばれる。低い粘性と太陽の大きなスケールのために、この熱対流は非常に乱流的になる。太陽深部は完全に電離したプラズマ状態となっているので、熱対流運動は磁場を生成・増幅する (ダイナモ)。この熱対流・ダイナモを理解することが黒点数 11 年周期を理解するためには重要と考えられているが、非常に非線形となっている乱流運動を理解するためには、数値計算による調査が必須である。昨今のスーパーコンピュータの進化により乱流の慣性領域を一桁以上分解した計算が可能になってきており、太陽の差動回転の生成維持、そして磁場生成機構の理解も新しい段階に入った。また、太陽内部の観測手法である日震学手法も進展してきており、数値計算との詳細な比較が進んでいる。これらの取り組みによって新しい問題も掲げられている。講演では、観測・理論の両面から太陽ダイナモ問題のこれまでとこれからを解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z211c イン=ヤン=ゾン格子による全球 MHD シミュレーション

陰山 聡 (神戸大学), 古園 拓也 (神戸大学), 山本 晃平 (神戸大学)

球は単純だが、計算機で扱うにはたいへんやっかいな形でもある。その難しさの根源は、球座標 (r, ϑ, φ) の極軸 ($\vartheta = 0, \pi$) と原点 ($r = 0$) に座標特異点が存在することにある。[ここで r は半径、 ϑ は北極から測った余緯度、 φ は経度。] 地球科学や天体物理においては (多くの天体は丸いので) 球での計算が不可欠であるし、工学においても球のもつ対称性の高さから様々な計算需要がある。

我々は以前、極軸の座標特異点 (正確に言えばその周囲での格子点の集中) を回避する重合格子 “イン=ヤン格子” を考案した (G-cubed, 2004)。イン=ヤン格子は幸い、様々な分野で利用されるようになったが、球原点の座標特異点を回避することはできないという問題があった。今回我々はこの問題を解決し、球の内部全体を離散化する新しい計算格子 “イン=ヤン=ゾン (Yin-Yang-Zhong) 格子” を開発した (J. Comput. Phys., in press)。球内部の流体ソルバで現在よく使われている空間離散化手法には、スペクトル法、スペクトル要素法、非構造格子、重合格子などがある。(本研究では主に流体系への応用を想定している。) イン=ヤン=ゾン格子は重合格子法の一つであり、中でも大規模並列計算に適しているという特徴がある。

我々は現在、このイン=ヤン=ゾン格子を応用し、薄い球殻での MHD ダイナモ (球の中心部分は磁場の拡散方程式を解き、外部は MHD 方程式を解く) と、球内部の MHD 緩和計算 (球全体で MHD 方程式を解く) の二つの問題に挑戦している。本講演ではその途中経過を報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z212b 対流に駆動された周期的な磁気リコネクション現象：太陽黒点ライトブリッジの観測・シミュレーション研究

鳥海森, 勝川行雄 (国立天文台), Mark C.M. Cheung (ロッキードマーチン太陽天体物理学研究所)

太陽黒点は惑星を上回るスケールの強力な磁場の集合体であり、その近傍では磁場に由来する様々な活動現象が観測される。本研究では、黒点の「ライトブリッジ」と呼ばれる磁場構造に発生するエネルギー解放現象のメカニズム解明を目的として、ひので衛星・IRIS 衛星による太陽黒点の共同観測データを解析した。ひのでの光球(太陽表面) 磁場データからは、ライトブリッジには弱い水平な磁場が存在し、周囲に位置する黒点の強い垂直磁場に挟まれた構造を持つことが明らかになった。ライトブリッジ上空の彩層(低温大気) では突発的な増光が10-20分の周期で繰り返し観測されたが、IRISの彩層分光データからは、増光が磁気リコネクションに由来している可能性が明らかになった。また、増光に伴って低温のジェットがさらに上空のコロナ(高温大気) へ繰り返し打ち上げられていた。これらの周期的な増光・ジェット噴出の原因を探るため、本研究では輻射冷却による表面对流の効果を含んだ黒点再現シミュレーションを実施し、計算データを解析した。その結果、黒点では磁場が支配的となり対流が抑制されている一方、黒点に挟まれたライトブリッジの内部には対流が存在し、磁束を太陽深部から表面へと繰り返し輸送していることが明らかになった。対流の時間スケールは10-20分であった。以上から、黒点ライトブリッジにおける周期的な活動現象は、ライトブリッジ内部の対流が磁束を表面へ繰り返し供給し、彩層高度で周囲の黒点磁場とリコネクションすることで周期的な増光が発生、そのリコネクション流出流がジェットとしてコロナ高度まで到達しているのだと結論づけた。このような対流に駆動された磁気リコネクションは成長中の黒点領域や黒点半暗部においても存在が示唆されており、磁気流体に普遍的な現象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](#)

Z213b 磁気リコネクションによって発生するエネルギーフラックスとコロナ加熱

岩本直己、野澤恵（茨城大学）、高橋邦生（海洋研究開発機構）

太陽物理学における未解決問題の一つとして、太陽表面である光球（6000 K）よりも上層に存在するコロナ（100 万 K）の方が2桁温度が高い、というコロナ加熱問題が存在する。このコロナ加熱のメカニズムとして、Alfvén 波加熱説とナノフレア加熱説がある。前者は光球からコロナを貫く磁力線が光球の対流運動によって揺さぶられ、Alfvén 波が発生し、コロナで散逸するという説である。後者は対流運動によって磁力線が捻じられることで、磁気エネルギーが蓄えられナノフレアにより解放されるという説である。しかしナノフレアを引き起こすリコネクションでは Alfvén 波も発生するため、これらを分けて考えることは難しく、現在では両者は統一的に考えられている。

Kigure et al. (2010) では重力無し、一様な条件下において 2.5 次元シミュレーションを行い、リコネクションにより発生する Alfvén 波のエネルギーフラックス量を調べた。その結果、Alfvén 波がコロナ加熱に寄与している可能性を示唆した。また、フラックス量のガイド磁場への依存性も示した。

本研究では重力成層を考慮した計算を行い、poynting flux と enthalpy flux、kinetic energy flux を求めた。poynting flux は $10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と、静穏領域のコロナ加熱に必要な $3 \times 10^5 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を超える量であった。また、kinetic energy flux も同等であったが、enthalpy flux はこれらより一桁大きな値であった。

本計算では上空へ向かって磁場が開くことからプラズモイドがより大きく成長し、flux が卓越する範囲は拡大する。一方で上空へ行くほど密度や磁場が減少する。これらの相対する効果のうち後者が勝り、flux により多少異なるが、基本的には重力無しよりも重力有りの方が小さな flux 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](#)

Z214b 非対称電流シートでの磁気リコネクションの特徴

新田伸也 (筑波技大)、和田智秀 (理研)、淵田泰介 (愛媛大)、近藤光志 (愛媛大)

非対称磁気リコネクションは近年のホットトピックの一つであるが、未だ標準的理解には達していない。我々は、MHDシミュレーション (OpenMHD コード、HLLD 法) によって非対称リコネクションの特徴を調べてきた。等温電流シート平衡にある電流シート両側での磁場強度比 k を段階的に変化させる事で、非対称性の効果を取り入れ、リコネクションシステム全体の特徴を明らかにした。今回、本企画セッションの趣旨に則り、複数の学会関係者に向けて本研究のこれまでの進捗をまとめて報告する。

初期条件として $k = 1$ (対称) から段階的に増加させてシミュレーションしたところ、非対称リコネクションについて下記の特徴が明らかになった。

- 1) 非対称性が強まる (大まかに $2 < k$) と、ジェット中の速度分布に2層構造 (加速層、高速層) を生じ、高速層では、ほぼ磁力線に沿った流れとなる。リコネクションジェットは横磁場を持つとの従来の常識を覆す結果である。
- 2) 大まかに $1 < k < 7$ では、強磁場側プラズモイド先端から弱磁場側ローブ領域に大規模な強い Fast shock (最大で $M \sim 1.6$) が発生する。新たな粒子加速サイトとして期待出来る。
- 3) 弱磁場側にあった高密度のプラズマが強磁場側プラズモイドに巻き込まれ、接触不連続を形成する。新たな高効率プラズマ混合過程として期待出来る。
- 4) 非対称性が増大するに連れ、リコネクションレイトは低下し続ける。

僅か磁場強度比2程度の非対称でも、対称系での構造から大きく変貌する事が判明した。現実の現象ではある程度の非対称は不可避であろうから、新たな標準モデルの構築が必要とな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](#)

Z215b 系の回転が乱流スペクトルと乱流輸送に与える影響

永岡賢一, 吉村信次, 小林達哉 (核融合科学研究所), 日高芳樹, 前田和也, 寺坂健一郎 (九州大), 大島慎介 (京都大)

宇宙における星形成過程や降着円盤、及び、核融合応用を目指した実験室プラズマでは、乱流による輸送が重要な研究課題となっている。一般に我々が理解したい系では、乱流スケールよりはるかに大きなスケールで構造が形成され、非常に複雑なシステムとなっている。そのような複雑な系を理解するための一つの方法として、シンプルな系を対象に様々な要因（回転や磁場といった軸性ベクトルやスカラー場の非対称性など）が乱流や乱流輸送にあたえる影響を理解する方法でアプローチしている。今回は、軸性ベクトル（回転）が乱流スペクトルと乱流拡散に与える影響を調べた実験を報告する。

液晶に電圧を印加することで発生する電気対流乱流は、通常流体（Navier-Stokes系）のレイリー・ベナール対流とほぼ等価な系と考えることができる。発達した乱流状態では、乱流中の粒子は拡散輸送特性を持つことが確認されている。乱流の制御性と計測の利点から、この電気対流を用いて実験を行った。これまでの実験では、Rossby数が1以下程度まで回転を上げると、乱流スペクトルはほとんど変化しないが、低波数領域に有意な非線形結合（3波相互作用）が観測されている。今回は、系を回転させたときの乱流拡散を評価した。前回同様、Rossby数が1以下程度まで回転を上げると、乱流拡散係数が約1/2程度まで減少することが観測された。この結果は、乱流のスペクトルが変化しなくても乱流輸送特性は大きく変化することができることを示している。ポスター発表では、乱流拡散係数のRossby数依存性や、非線形結合と乱流輸送の相関などについて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](#)

Z216b **Flow induction by inhomogeneous turbulent helicity**

Nobumitsu Yokoi (Univ. of Tokyo), Axel Brandenburg (NORDITA, Univ. of Colorado)

A prominent effect of turbulence is transport enhancement through eddy viscosity, eddy diffusivity, turbulent magnetic diffusivity, etc. However, in a system with broken symmetry, turbulence may also contribute to transport suppression. Turbulent dynamo against the turbulent magnetic diffusivity is one of such examples. In this work, the effect of kinetic helicity (velocity–vorticity correlation) on turbulent momentum transport is investigated. The turbulent kinetic helicity (pseudoscalar) enters into the Reynolds stress (mirrorsymmetric tensor) expression in the form of a helicity gradient as the coupling coefficient for the mean vorticity and/or the angular velocity (axial vector), which suggests the possibility of mean-flow generation in the presence of inhomogeneous helicity. This inhomogeneous helicity effect, which was previously confirmed at the level of a turbulence- or closure-model simulation, is examined with the aid of direct numerical simulations of rotating turbulence with non-uniform helicity sustained by an external forcing. The numerical simulations show that the spatial distribution of the Reynolds stress is in agreement with the helicity-related term coupled with the angular velocity, and that a large-scale flow is generated in the direction of angular velocity. Such a large-scale flow is not induced in the case of homogeneous turbulent helicity. This result confirms the validity of the inhomogeneous helicity effect in large-scale flow generation and suggests that a vortex dynamo is possible even in incompressible turbulence where there is no baroclinicity effect.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z217r 中性子星磁気圏のリモートセンシング

寺澤敏夫（東京大学宇宙線研究所）

本特別セッション参加メンバーに共通した興味の対象として、地球などの惑星、そして彗星、太陽、恒星、原始星、... 中性子星、ブラックホール（+ 銀河、銀河団も？）に至る磁気圏現象があると考えられる。過去四半世紀の磁気圏物理学の大きな進展は磁気リコネクションと無衝突衝撃波の解明が進んだことであろう。いずれのテーマも、地球、太陽などを舞台とした *in situ* 観測もしくは高分解の時間・空間構造観測を基にして素過程の理解が深まった後、遠くの天体への応用が飛躍的に進んだものである。QED 的超強磁場、相対論的星風といった極端な物理条件により特徴付けられる中性子星磁気圏の研究にも、地球・太陽磁気圏において得られた知識が基礎となっていることは勿論である。この講演では、中性子星磁気圏、特にパルサー磁気圏の電波によるリモートセンシング研究の現状を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z218a 宇宙天体现象のブラソフシミュレーション

簗島敬 (海洋研究開発機構)

多体粒子の位相空間分布の振る舞いを記述するボルツマン方程式は、プラズマを始め、自己重力系、輻射輸送、気体分子運動論など、様々な集団運動の基本となる方程式である。なかでも、衝突項を無視したブラソフ方程式は、無衝突プラズマや自己重力系の第一原理方程式として広く用いられている。ブラソフ方程式系は粒子とその集団運動によって生じる場が結びついた非線形方程式のため、その理解には数値シミュレーションが重要な役割を果たしてきた。ブラソフ方程式の数値計算手法としては、常微分方程式として解く粒子法が大きな成功を納めている。一方で、位相空間を離散化してブラソフ方程式を直接解くブラソフシミュレーションも提案されている (Cheng et al. 1976; Fujiwara 1981)。この手法は、粒子法固有の問題である統計誤差が生じない利点があり、特に速度分散の大きな系において有用であると期待されている。また、物理量をグリッドベースで扱うため、超並列計算機との相性も良い。一方で粒子法と比べると、多くの計算機資源を要求するため、これまでの研究は限定的であった。

しかし近年では計算機資源の飛躍的な発展に伴い、5次元、6次元位相空間での計算が実現可能となってきた。また、多次元無拡散移流方程式であるブラソフ方程式を精度良く解くための様々な数値計算手法が提案され、ブラソフシミュレーションを用いて物理現象を議論できるレベルに達してきている。本発表では、ブラソフシミュレーションの現状について紹介し、その将来展望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](#)

Z219a MHD 乱流中の二次フェルミ加速の再考

寺木悠人 (理化学研究所) 浅野勝晃 (東京大学)

2 次フェルミ加速 (Stochastic Acceration, SA) は 1 次フェルミ加速に比較して一般に加速効率が悪く、高エネルギー天体の粒子加速機構としてはマイナーな存在と考えられてきた。しかし近年は様々な天体の観測事実から、重要な役割を演じている可能性が示唆されている。SA の理論的研究は、磁場に対して磁場強度が小さい波 (摂動的な波) による加速が基盤となっている。それに対して宇宙線加速の現場では、MHD 流体不安定や宇宙線自身が関与した運動論的不安定により背景磁場を超える強度の磁場が励起されていることが理論的に予想され、それを支持する観測事実も得られている。

従来の手法では取り扱えない電磁場のもとでの粒子加速について理解に向けて、本研究ではまず実験的手法で粒子加速の挙動を調べた。数値的実験の手法としては、乱流について振動数-波数空間で与え、それをフーリエモードの重ね合わせとして実空間の乱流を表現する。そしてその中に粒子を注入して運動方程式を解くという直接的なものである。この手法は非線形波動や乱流の発展は解くことができないという弱点を持つ一方、全ての物理パラメータを手で与えることができるという点が、粒子加速の挙動を調べる実験の手法としては非常に強力である。また、流体シミュレーションでは扱うことが難しい磁場が支配的な (アルフベン速度が光速に近いような) 乱流も扱うことができるなど、高エネルギー天体への応用も視野に入れた場合、有効な手法と言える。

本発表においては MHD 乱流では避けて通れない非等方乱流や、線形波動近似が破れるギリギリの値である (しかし、高エネルギー天体ではしばしば仮定される) Bohm limit 近辺の粒子加速の挙動などについて報告する。拡散係数の大きさや拡散近似の限界について考察し、従来の理論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](#)

Z220b 無衝突衝撃波における宇宙線駆動乱流の数値シミュレーション

天野孝伸 (東京大学)

現在では超新星残骸衝撃波は銀河宇宙線加速の最も有力な候補として広く受け入れられている。衝撃波における粒子加速の標準理論であるフェルミ加速では、被加速粒子が衝撃波近傍の磁気流体波動(乱流)による散乱を受け、効率の良い閉じ込めが達成されると考える。そのため、乱流強度は宇宙線の加速効率を直接支配する重要な要素の一つとなっている。衝撃波の上流では加速された宇宙線粒子が拡散し、宇宙線圧力の勾配を作る。この圧力勾配を自由エネルギーとし、様々な不安定性によって乱流が駆動されている。この宇宙線が駆動する乱流は観測が示唆する磁場増幅を説明する候補の1つともなっており、超新星残骸衝撃波のダイナミクスを理解する上で鍵となる重要な素過程である。

宇宙線が励起する不安定性の最も基本的なものとして、宇宙線と背景プラズマ間の相対速度によって励起されるビーム不安定性が挙げられる。古典的には宇宙線成分のサイクロトロン共鳴によって励起される共鳴型不安定性が良く知られているが、近年では非共鳴型不安定性が磁場増幅に渡す役割の重要性も指摘されている。一方で、多次元における不安定性の性質や非線形発展については必ずしもよく分かっていない点も多い。本研究では2次元および3次元の数値シミュレーションによって共鳴型および非共鳴型不安定性の両者の非線形発展を議論する。シミュレーション手法としては、電子を流体とし、熱的イオン、宇宙線を運動論的に扱うハイブリッドシミュレーションと、電子および熱的イオンを流体とし、宇宙線のみを運動論的に扱う宇宙線ハイブリッドシミュレーションを相補的に使い、特に不安定性の飽和レベルや飽和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](#)

Z221b 高マッハ数衝撃波の3次元構造と電子加速

松本洋介(千葉大), 天野孝伸(東大), 加藤恒彦(国立天文台), 星野真弘(東大)

近年の我々の研究では、イオンワイベル不安定を介した乱流磁気リコネクションが無衝突衝撃波におけるエネルギー散逸、電子加速に本質的に重要であることを示した(Matsumoto et al., Science, 2015)。これは高い空間解像度を「京」によって達成することで初めて見えてきた新しい描像であり、大規模計算による質的に新しい物理の発見の可能性を示した。本発表では、3次元計算(論文では2次元計算)の衝撃波構造とそれに伴った電子加速について報告する。衝撃波前方では、Buneman不安定の励起による衝撃波波乗り加速が有効に働き、これまでの2次元計算と同様の結果が得られた。遷移層ではイオンワイベルが3次元的に励起され、高強度の磁気乱流構造を生み出した。衝撃波前方で事前に加速された電子はこの乱流構造で更に加速を受けながら、全体としてべき乗分布に従うエネルギースペクトルを形成することが明らかになるなど、2次元計算では得られなかった描像が明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z222b 相対論的無衝突衝撃波の多次元長時間PICシミュレーション

池谷直樹(千葉大学), 松本洋介(千葉大学)

超高エネルギー宇宙線の生成機構として、ガンマ線バーストやAGNジェットなどに伴う相対論的無衝突衝撃波が有力な候補の一つに挙げられるが、その加速メカニズムには未解決部分が多い。高エネルギー粒子が生成される過程を解析する際の有効な手法の一つとしてParticle-in-Cell(PIC)シミュレーション法が知られている。しかし、PIC法によって相対論的な流れが存在する多次元シミュレーションを行う際、数値チェレンコフ放射と呼ばれる数値的な不安定性が発生してしまうことが一般的に知られた問題となっている。従来の方法では、デジタルフィルタリングを用いて数値チェレンコフ放射を抑制していたが、粒子加速において重要となる衝撃波面上流の物理的な電磁場も同時に除去してしまうことが考えられていた。これに対し、近年、特定の数値解法アルゴリズムとCFL条件を組み合わせた数値チェレンコフ放射の抑制方法が報告された(Godfrey&Vay,2013)。我々はこの結果を受け、マクスウェル方程式を陰解法で解き、電磁場の補間に運動量保存のスキームを用いることで新たなクーラン数1.0での抑制方法を発見した。本研究では、上記の抑制方法を相対論的無衝突衝撃波シミュレーションへ応用し、長時間計算に成功した。その結果、既存のデジタルフィルタリングによる長時間計算と比べ、衝撃波面や、衝撃波上流の磁場の強度が強く現れることを発見した。また、従来の研究ではシミュレーションセルあたりの粒子数が2~8個と少なく、加速効率の低下が懸念されていたが、本論文ではセルあたりの粒子数を十分に確保し、粒子数による衝撃波構造の差異を見出した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z223c 相対論的衝撃波における航跡場加速

岩本昌倫（東京大学）、天野孝伸（東京大学）、松本洋介（千葉大学）、星野真弘（東京大学）

宇宙線に含まれる高エネルギー粒子がどこでどのように生成されるのかは、宇宙物理学に残された問題の一つである。宇宙線の起源を説明するために、多くの粒子加速機構が考えられてきたが、いくつかの有力な加速メカニズムの中でも航跡場加速の研究はあまり進んでいない。航跡場加速自体は、実験室プラズマではよく知られた加速機構であり、その原理は以下のとおりである。プラズマ中に超高強度の横波の電磁波であるレーザーパルスを入射すると、レーザーパルスの輻射圧で電子が跳ね飛ばされて、電子密度に疎密が生まれ、縦波のプラズマ波が励起される。レーザーパルスに追従するようにプラズマ波が励起されるので、このプラズマ波の位相速度はほぼ光速であり、そのポテンシャルに補足された粒子は効率よく加速される。これがレーザーを用いた航跡場加速である。

宇宙プラズマでは、相対論的衝撃波で航跡場加速が生じると考えられている。Lyubarsky (2006) は、相対論的衝撃波では大振幅電磁波が励起され、この電磁波によって衝撃波上流では電子が加速されることを示した。Lyubarskyの研究を受けて、Hoshino (2008) が、衝撃波上流に伝播する大振幅電磁波が航跡場を励起し、衝撃波上流で非コヒーレントな航跡場加速が生じることを1次元 Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションによって示した。

しかし、先行研究は1次元でのシミュレーションであるため、電磁波のコヒーレンスがわからなかった。航跡場加速には電磁波のコヒーレンスが必要であるため、2次元系で航跡場加速が生じるかは定かではない。そこで、本研究では2次元によるPICシミュレーションをおこない、電磁波の振る舞いに注目して、1次元における先行研究と比較検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z224b PICシミュレーションにおける高エネルギー粒子のエネルギーロス III

加藤恒彦 (国立天文台)

宇宙空間は高温で希薄なプラズマに満ちている。このようなプラズマでは、荷電粒子間のクーロン衝突よりも電磁場が関係した集団的現象がそのダイナミクスを支配し、無衝突プラズマと呼ばれる。無衝突プラズマ中を伝播する衝撃波は無衝突衝撃波と呼ばれ、超新星残骸、GRBの衝撃波、AGNジェット、パルサー風など、宇宙のさまざまな現象に付随して発生すると考えられている。これらの衝撃波は高エネルギー粒子を伴うことが多く、衝撃波において粒子加速機構が働いている可能性が高い。

無衝突衝撃波における粒子加速過程を第一原理的に調べるために、電子も陽子も共に粒子として取り扱う無衝突プラズマのPICシミュレーションを用いた研究が行われてきている。2014年春季年会(Q40a)では、PICシミュレーションを用いて準平行衝撃波における粒子加速過程を調べた結果を発表した。一方、この研究の過程で、PICシミュレーションでは、使用する粒子の数に応じて高エネルギー粒子に対してエネルギーロスが働き、それによって粒子加速過程が影響を受けることも明らかになった。2013年秋季年会(Q48b)および2014年秋期年会(Q12b)では、このエネルギーロス過程について、プラズマの温度が非相対論的・相対論的な場合、背景磁場が無い場合とある場合について調べた。

今回はこの研究をさらに進め、磁場が非常に強い場合や、高エネルギー粒子の速度がプラズマの熱速度に近づいた際の挙動などについて、非相対論的・相対論的それぞれの場合について調べた。さらに、PICシミュレーションで冷たいビームプラズマを扱う際に生じる「冷たいビームの非物理的不安定性」について、ビーム速度が非相対論的な場合と相対論的な場合それぞれについて調べた。講演ではこれらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z225b 降着円盤中での乱流加速シミュレーション

木村成生, 當真賢二 (東北大学), 鈴木建, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

質量降着率の小さい活動銀河核では、降着円盤は非常に高温かつ希薄な無衝突プラズマとなる。降着円盤内では磁気流体不安定により乱れた電磁場が生成されるため、乱流加速により宇宙線陽子が生成されると期待される。これまでは現象論的に乱流加速を考えて高エネルギー放射を計算する研究が行われてきたが、降着円盤内での乱流は非等方に強く乱れているため数値計算を用いた研究が必要である。我々は磁気流体シミュレーションで得られる現実的な乱流場を用いて、数万体のテスト粒子の軌道計算を行い、降着円盤内での乱流加速を調べた。宇宙線陽子は乱流場との相互作用によりランダムにエネルギーを増減させる。宇宙線陽子は実空間上で非等方に拡散し、速度シアーの方向へ拡散しやすい。拡散係数のエネルギー依存性はボーム拡散に近いことがわかった。分布関数の進化は運動量空間の拡散方程式で良く記述され、エネルギーの大きな粒子に対してはシアー加速が支配的であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z226b 非等方放射の誘導コンプトン散乱

田中周太 (東京大学)

一部の高エネルギー天体现象や地上のレーザー実験では、輝度温度が電子の静止エネルギーを優に超えるような高輝度放射が生成されている。このような高輝度放射がプラズマ中を伝播する際に起こす光子とプラズマの非線形相互作用の中に、誘導コンプトン散乱がある。これまでの研究では簡単のために等方的な系を考えることで、我々は誘導コンプトン散乱による散乱光のスペクトルを追う発展方程式を見出した (Tanaka et al. 2015, PTEP 073E01)。その結果、光子スペクトルが線スペクトルを多数形成するという、特徴的な振る舞いをする事がわかった。

一方で、天体现象やレーザー実験で得られる高輝度放射は強い指向性を持つ。そこで我々は、誘導コンプトン散乱による光子分布関数の非線形発展について、放射の非等方性を考慮した定式化を行った。非等方放射を考えると、コンプトン散乱の最低次であるトムソン散乱が重要となり、誘導コンプトン散乱は入射光の広がりに対して散乱率が強く依存することがわかった。誘導コンプトン散乱は放射ビームが細くなると急激に散乱率が落ちるが、トムソン散乱よりも誘導コンプトン散乱が卓越するようなパラメータ領域は可能である。本講演では、誘導コンプトン散乱の非等方放射への拡張についてこれまでの研究成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z227c 無衝突駆動磁気リコネクションにおける磁気島の役割について

堀内利得（核融合科学研究所、総研大）

磁気リコネクションでは、しばしば、磁気島（プラズモイド）をともなった突発的エネルギー解放現象が見られる。本研究では、開放系粒子シミュレーション手法を用いて、外部駆動源の存在する無衝突駆動リコネクションにおける磁気島の役割を解析した。上流境界で与える外部駆動電場を制御することにより、同じ初期条件から出発したリコネクションシステムの時間発展において異なる2種類の解が発生することを見いだした。第1は磁気島の発生を伴わない解、第2は時間の経緯につれ磁気島が間欠的に発生する解である。両者を比較することにより、第2の解におけるエネルギー変換率は、第1の解のそれに比べかなり大きいことが分かった。これは、磁気島がエネルギー変換における鍵となる役割を果たしていることを示唆している。また、磁気島の発生を伴う解では、磁気リコネクションで発生した高速のプラズマが、リコネクション下流に存在する磁気島に捕らわれることにより熱化が促進され、蓄積された大量の高エネルギープラズマが間欠的に放出されることも分かった。この際の起こる電磁場からイオンへのエネルギー変換率は、縦磁場の存在や磁気島の存在にかかわらず、常に電子への変換率の約2倍となっていることも分かった。詳細は本講演にて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z228b 無衝突磁気リコネクションにおける電子軌道の全ラグランジュ解析

銭谷誠司 (国立天文台), 長井嗣信 (東京工業大学), 篠原育 (宇宙研)

無衝突磁気リコネクションの電子ダイナミクスを直接観測するために 2015 年 3 月に打ち上げられた NASA MMS 衛星は、順調に飛行を続け、9 月から高解像度の電子の速度分布関数データを送信してきている。実質解像度が上がる磁気圏夜側のリコネクション領域では、電子運動を反映した複雑な形状の速度分布関数が見えることが期待されている。

MMS の観測結果をよりよく理解するために、プラズマ粒子シミュレーションを用いて、リコネクション系における電子分布関数と電子のラグランジュ運動との関係を理解しておくことは重要である。こうした試みとしては、例えば、星野・平出ら (Hoshino et al. 2001, EPS) の先駆的な研究が挙げられる。さらに、MMS 打ち上げを控えた 2010 年前後から X-line 近傍の分布関数と電子運動の関係を議論するシミュレーション研究が活発に行われるようになってきた。しかし、これらの研究は意外な盲点を抱えていた。

本研究では、この制約を回避して、シミュレーション結果から、電子運動についての多くの情報を引き出すシンプルな手法を提案する。我々は、この手法によって原理的にあらゆる種類の電子軌道を見ることができるようになった。そして、一部の電子がこれまで予想されていた Speiser タイプの軌道を通して運動することを確認した。さらに今回、我々は 3 種類の新しいタイプの電子軌道を発見した。本発表では、これらの新しい軌道の性質や観測的特徴を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](#)

Z229b 宇宙空間プラズマ中における波動粒子相互作用の直接観測手法の検討

北原理弘, 加藤雄人 (東北大学)

来たる2016年度JAXA/ISASより打ち上げられる磁気圏探査衛星ERGには、Fukuhara et al., EPS (2009)により提唱された波動粒子相互作用解析装置(Wave-Particle Interaction Analyzer; WPIA)が搭載される。WPIAはその場で観測された電磁場ベクトルの波動成分と粒子の速度ベクトルの相対位相角を測定することにより、様々な物理量を機上で演算・出力するソフトウェア型の観測装置である。WPIAは波動-粒子間で授受されるエネルギーや運動量を測定するため、宇宙空間における波動粒子相互作用の直接的な実証手段として有力である。

本研究ではFukuhara et al., EPS (2009)により提案された波動-粒子間のエネルギー授受量を表す物理量に加えて、ピッチ角散乱を直接計測するための手法を提案した。具体的には計測された個々の粒子の速度ベクトルを用いて、粒子に働くローレンツ力を算出するアルゴリズムである。

また高エネルギー電子によりコーラス放射の生成過程を再現したシミュレーション結果[Katoh and Omura, GRL 2007]に対して提案するWPIA手法を適用し、その有用性を検討した。シミュレーション空間内に複数の擬似観測点を置き、その場所を通過した高エネルギー電子の速度ベクトルと電磁場ベクトルを用いて、解析を行った結果、発生するコーラス放射の周波数帯とサイクロトロン共鳴条件を満たすエネルギー・ピッチ角範囲に対応する電子が、波動を励起するためにエネルギーを失い、かつピッチ角散乱される方向に有意なローレンツ力を受けることが示された。この結果からWPIAの解析手法によって、電子のジャイロスケールの波動粒子相互作用が直接的・定量的に評価可能であることが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z230b 斜め伝搬 MHD 波動による荷電粒子の拡散過程：クラスター衛星観測と
テスト粒子計算の比較

大塚史子, 中西健斗, 松清修一, 羽田亨 (九州大学, 総合理工学研究院)

地球バウショック上流には、垂直衝撃波面側で反射したイオンが、磁力線に沿って衝撃波上流に逆走する沿磁力線ビーム (Field-Aligned Beam: FAB) イオンが存在することが知られている。このビームイオンは上流のアルフヴェン波動とサイクロトロン共鳴を起こし波動を励起する。我々はこれまで、FAB 由来の波動が荷電粒子の拡散過程において、どのような役割を果たすのか、テスト粒子計算により調べてきた。その結果、FAB 由来の波動は、FAB イオンと同程度以上の高エネルギー粒子を効率よく散乱するとの結果を得た。この結果は、このエネルギー帯のイオンに対して、衝撃波を介した拡散的フェルミ加速が効率よく起こっていることを示唆する。しかし、これまでの数値計算モデルでは、クラスター衛星による地球バウショック上流のイオンの直接観測 (Kis ら、2004) を定量的に説明するには至っていない。

そこで本研究では、観測より得られた MHD 波動特性を、より正確に数値モデルに組み込み、観測を説明することを試みる。これまでの研究で用いた MHD 波動は、FAB 由来の波動成分を含む平行伝搬のアルフヴェン波の重ね合わせであった。また、波動の分散性は考慮していなかった。しかし、バウショック上流の観測では、MHD 波動の伝搬角は 10-20 度との報告がある。また、イオンジャイロ周波数より高周波の波動が観測されており、高周波側では波動の分散性を考慮する必要がある。本研究では、観測される波動特性 (伝搬角、分散性) を考慮に入れて、バウショック上流でのイオンの拡散過程をテスト粒子計算により議論し、観測と数値計算の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z231c 惑星磁気圏におけるコーラス放射と相対論的高エネルギー電子との相互作用

加藤雄人(東北大学・大学院理学研究科), 深沢圭一郎(京都大学・学術情報メディアセンター)

ホイッスラーモード・コーラス放射は惑星磁気圏に普遍的に存在するプラズマ波動である。近年の研究により、放射線帯を構成する相対論的高エネルギー電子の生成過程において、コーラス放射が重要な役割を果たすことが指摘されている。本研究はコーラス放射の発生と相対論的電子加速過程を同時に再現する電子ハイブリッドシミュレーションを、磁気圏構造の時空間変動を解く磁気流体力学(MHD)シミュレーションと連携して実施し、地球ならびに木星磁気圏におけるコーラス放射と相対論的高エネルギー電子との相互作用を解き進める。特に、惑星磁気圏内のどの領域で、どのような波動特性を持つコーラス放射が励起するかに着目して、衛星観測による結果との比較に基づいて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z232b 誰も気づかなかった銀河と銀河団高温プラズマの相互作用

牧島一夫 (理研/東大), Gu Liyi (SRON), 稲田直久 (奈良高専), 兒玉忠恭 (国立天文台), 中澤知洋 (東大理), 川原田 円 (JAXA)

宇宙で最も優勢な既知バリオン成分は、銀河団を満たす高温プラズマ (ICM; Intra-Cluster Medium) で、その存在は 1970 年代に宇宙 X 線の観測がもたらした大発見であった。ICM は、宇宙年齢の間に放射で冷えて「冷却流」を形成すると論じられたが、我々は「あすか」による観測でその考えの誤りを見抜き、代わりにプラズマ物理学的な新解釈を提案した [1,2]。すなわち ICM 中を遷音速で動き回るメンバー銀河たちは、ICM と MHD 的に相互作用することで ICM の冷却を抑制し、その抵抗により銀河は銀河団の中心に落下するという予言である。

我々は、銀河が ICM 中の重元素よりも中心集中すること [3]、銀河団中心部では ICM が 2 温度構造を示すこと [4,5] などを発見し、新描像を強化した。さらに $z = 0 - 1$ の多数の銀河団を X 線と可視光で比較することにより、銀河たちが宇宙年齢かけて ICM 中を中心へと落下してきた明確な証拠を得た [6-8]。誰も気づかなかったこの効果は、ICM の存在が実は銀河や銀河団の進化に大きな影響をもつことを示唆し、いくつもの謎を解く鍵を提供してくれる。例えば ICM による抵抗は銀河の「環境効果」の有力な起源となるし、中心への落下は銀河合体を促し、銀河が ICM 中に作り出す乱流は、粒子加速の場となろう。打ち上げ予定の ASTRO-H 衛星により、大きな視線速度をもつ銀河の周辺で ICM が引きずられる効果を検証できれば、この描像は揺るぎないものとなる。

[1] K.Makishima+2001, PASJ 53, 401 [2] 牧島, 池辺靖: 天文月報 2003 年 12 月号 [3] M.Kawaharada+2009, ApJ 691, 971 [4] I.Takahashi+2009, ApJ 701, 377 [5] L.Gu+2012, ApJ 749, 186 [6] L.Gu+2013, ApJ 767, id 157 [7] 牧島, Gu, 稲田: 天文月報 2013 年 12 月号 [8] L.Gu+2015, ApJ, submitted

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z233c 衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 における 2 つの衝撃波の観測的研究

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)

銀河団は数 Mpc にも広がったプラズマを擁する宇宙最大の天体である。その質量は $10^{14-15} M_{\odot}$ にも達し、そのおよそ 20 % がプラズマにより占められている。銀河団は現在も成長を続けており、その巨大な重力により周りの物質を集めたり、もしくはお互いに引き合い衝突しながら、大型のものへ進化していく。銀河団同士の激突で解放される重力エネルギーは膨大で、 10^{57-58} J にも及ぶ。その折には、往々にして衝撃波が立つことが観測から知られている。これは無衝突衝撃波で、低マッハ数 ($M \sim 1-3$)、低密度 ($n_e \sim 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$) という際立った特徴を持つ。莫大な解放エネルギーは、衝撃波を通してプラズマ加熱及び粒子加速・磁場増幅に消費される。しかし、粒子加速・磁場増幅がどのような物理過程でどれだけ引き起こされるのかは、未だに正確なことは明らかでない。

我々は近傍にある既知の衝突銀河団の中で、衝撃波の X 線輝度が最も明るい CIZA J1358.9-4750 を X 線観測衛星「すざく」及び Chandara で観測した。本天体では、北西と南東に銀河団に対応する 2 つの広がった X 線源が位置し、その間を結ぶ領域がそれらの相互作用により明るく輝く。「すざく」により、北西と南東の銀河団のプラズマ温度はそれぞれ 4.6 ± 0.2 keV 及び 5.6 ± 0.2 keV である一方で、中間領域ではこれが 9 keV 以上にまで加熱されていると分かった (Kato et al. 2015)。この高温領域は衝突方向に対して垂直に 1 Mpc 以上にも渡り広がっていた (加藤ら 2015 秋 天文学会)。さらに、「すざく」より角分解能が 100 倍以上も優れる Chandra により、高温領域に台形状の輝度ジャンプを見つけた。これは、ほぼ左右対称の衝突により 2 つの衝撃波が生じたためと推測される。温度/輝度ジャンプから求めたマッハ数は、それぞれ 1.3 ± 0.2 及び 1.17 ± 0.03 と誤差内で一致した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z234b 磁気流体キック不安定性による銀河団中心低温成分の加熱

横山央明 (東京大理)

銀河団を満たす X 線高温プラズマ (Intra-Cluster Medium : ICM) は、宇宙のバリオンの多くを占めている。その中心部では電子密度が高く放射冷却が効く。しかしいっぽうで冷却の帰結である「冷却流」仮説は現在では「あすか」衛星観測などで否定されており、それは何らかの加熱源があることを示唆している。牧島らはメンバー銀河たちと ICM との磁気流体的相互作用を提案している。

われわれは、同じく磁気流体的相互作用により加熱がはたらいっていると考え、牧島らの考えに加えて新しい機構を提案する。メンバー銀河がもつ磁力線が、中心重力源である cD 銀河の周囲を公転する際に互いに絡まりあい、磁気流体キック不安定性を起こすことで ICM を加熱すると考えた。われわれの試算では、観測から示唆される必要な加熱率に対して、ほぼ同等か 10 倍以上のエネルギー解放率が見込める。また、磁力線どうしが絡まりあうことで生じる微細電流シート内での磁気リコネクションでの加熱率もみつめたが、こちらはひと桁ほど弱かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z235r 宇宙線の非ガウスの輸送と加速

羽田 亨

宇宙天体プラズマ中にはMHD乱流が存在し、数多くの物理過程において重要な役割を果たしている。特に衝撃波における宇宙線の統計加速過程(DSA過程)では、宇宙線の散乱体として衝撃波上流および下流域のMHD乱流の存在は本質的である。これらMHD乱流による宇宙線拡散を古典的拡散過程と捉え、これを衝撃波前後の流体圧縮と組み合わせた移流拡散モデルを考えると、この解は実際に観測される宇宙線スペクトルをある程度定量的に説明するものであり、広く受け入れられている。一方、MHD乱流による粒子拡散は、乱流の電磁場を介した波動粒子相互作用によるものであり、一般に古典的拡散であるとは限らない。

本講演では、非ガウスの(非古典的)拡散に基づく宇宙線の輸送と加速について、最近の研究をレビューする。DSAに関しては、準拡散の場合には宇宙線は十分に加速されないまま下流域に運ばれるため、宇宙線のエネルギースペクトルは標準的なDSAモデルよりもソフトになる。一方、沿磁力線拡散ではMHD乱流に多く存在する間欠性のために超拡散となる時間スケールが存在するが、この場合、下流域に流されるまでに宇宙線が多く衝撃波を横切ることができるため、ハードなスペクトルが実現し得る。古典的ランダム歩行を行う粒子のアンサンブルが古典拡散方程式であらわされるように、非ブラウン歩行(レビ歩行)を行う粒子のアンサンブルを記述する自然なモデルとしてフラクタル拡散方程式が提案されている。一見、数学的には複雑で難解であるが、最近では数値計算の手法もいくつか提案され、宇宙線を記述するモデルとして有用であることがわかってきた。粒子軌道とアンサンブル時間発展の両面より、できるだけ物理的な視点から宇宙線の輸送と加速について議論を行い、さらに観測結果との関わりについて言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z236a **MHD Simulations using Athena++ with Mesh Refinement**

Kengo TOMIDA (Osaka University), James M. Stone (Princeton University)

Athena++は Princeton 大学を中心として開発されてきた公開磁気流体シミュレーションコード Athena(Stone et al. 2008) を完全に再設計するものであり、現在公開に向けて準備を進めている。本コードは以前の Athena コードと比べ (1) 解適合細分化格子 (AMR) や円筒・球面極座標を含むより柔軟な格子配置 (2) 輻射輸送や化学反応、一般相対性理論等の多様な物理過程 (3) 現代的な大規模並列計算機向けの最適化・並列化 などの点で大幅に機能・性能が向上しており、原始惑星系円盤から相対論的ブラックホール降着流に至るまで幅広い宇宙物理学の問題に応用することが可能である。本公演ではこのコードと、それを用いた実際の宇宙物理学のシミュレーションの例を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z237a ホール効果によって引き起こされる2種類の原始惑星系円盤の進化過程

塚本裕介（理化学研究所）、岩崎一成（同志社大学）、奥住聡（東京工業大学）、町田正博（九州大学）、犬塚修一郎（名古屋大学）

本講演では原始惑星系円盤の形成進化過程におけるホール効果の影響について報告する。ホール効果はポロイダル磁場からトロイダル磁場を誘導し、磁気張力によってガスの回転を惹起するという興味深い性質がある。その強さは磁場のホールドリフト速度を考察することによって見積もることができ、簡単な見積りから典型的な原始惑星系円盤の角運動量を十分説明しうるほど大きなものであることがわかる。さらに分子雲コアが持っていた回転の方向とホール効果による回転の方向が揃っている場合と揃っていない場合ではその他の条件がまったく同じ初期条件から始めても形成する円盤の角運動量は大きく異なることが予想される。以上の点からホール効果は円盤形成過程に重要な影響を与えたと考えられる。

本講演では、まずホール効果が円盤形成においてなぜ回転を誘起するのかという点とホール効果による回転強度的な見積りも説明する。次に、最近講演者が行った円盤形成の3Dシミュレーションの結果について紹介する。我々のシミュレーションでは分子雲コアの回転ベクトルと磁場ベクトルが平行か、反平行かによって中心領域の比角運動量が10倍程度異なるという結果が得られた。それに対応して平行の場合1 AU程度の円盤しか形成しなかったのに対して、反平行の場合20 AU程度の比較的大きな円盤が形成した。

分子雲コアの角運動量ベクトルと磁場は独立に決まると予想されるので、およそ半分の分子雲コアでは磁場と角運動量ベクトルは平行、およそ半分では反平行となるはずである。したがって、我々の結果はClass 0 YSOs およそ半分で比較的大きな円盤が形成され、半分では比較的小さい円盤しか形成されないことを予言する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z238b

Godunov Smoothed Particle Magnetohydrodynamics

岩崎一成 (同志社大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

完全 Lagrange 法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法は、高密度領域で自動的に分解能を上げることができるため、宇宙物理学の研究で広く用いられている。しかし、長年、磁気流体が扱えないことが SPH の大きな弱点であった。そこで、我々は、有限体積法で用いられている Godunov 法を SPH 法に応用し、線形波動および不連続面を精度よく解くことができる Smoothed Particle Magnetohydrodynamics (SPM) 法を開発した (Iwasaki & Inutsuka 2011, 2013)。すでに、星形成の研究に適用されている (c.f, Tsukamoto et al. 2015 a,b)。

我々は、SPM 法の線形解析をおこない、磁気圧優勢下で、線形波動の精度が極端に悪化するという問題を発見し、その問題を最小限にする処方箋を見出した (Iwasaki 2015)。SPM 法では、我々の手法に限らず、磁気圧優勢下で起こる数値不安定を抑制するために、運動方程式とエネルギー方程式に磁場の発散に比例する修正項を加えている。この修正項によって、磁場に沿って伝播する slow wave の数値的な位相速度が、理論値を大きく超えてしまうことがわかった。これは、磁場が数値的に復元力として働いてしまうために引き起こされる。整形解析から、修正項の大きさをちょうど半分にすると、数値的な安定性を保ったまま、上記の問題を取り除くことができることがわかった。この処方箋の有効性は、複数のテスト計算で確認された。衝撃波が頻繁に発生するような動的な状況では、従来の SPM 法でも比較的精度よく解くことができるが、sub-Alfvénic 乱流などが重要な状況では精度が悪化するため、我々が見つけた処方箋が有効である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z239b 高次精度 MHD スキームを用いた磁気回転不安定性駆動乱流の計算機実験

平井研一郎、加藤雄人、寺田直樹(東北大学・理)、河合宗司(東北大学・工)

降着円盤で発生する磁気流体不安定性である磁気回転不安定性 (MRI)(Balbus & Hawley, 1991) は、乱流粘性による円盤ガスの中心星への質量降着 (e.g. Hawley et al., 1995) だけでなく、円盤風を駆動することによる円盤構造の大規模な時空間変化 (Suzuki et al., 2010) や、原始惑星系円盤においては惑星形成過程においても重要な役割を果たすと考えられており (e.g. Johanasen, 2011)、今日においても素過程、応用現象ともに多くの計算機実験が行われている。Goodman & Xu (1994) や Pessah (2009;2010) らの線形解析により、MRI の線形成長は、Kelvin-Helmholtz(K-H) 不安定性や磁気リコネクションに関連して引き起こされる、Parasitic 不安定性によって飽和する可能性が示された。このことは、MRI の非線形段階では乱流と不連続が複雑に影響し合って発展していくことを示唆しており、MRI の非線形段階の時空間発展を MHD シミュレーションを用いて解くためには、これらの双方を高い解像度で解くことができるシミュレーション手法を用いることが求められる。本研究では、MRI 乱流を高精度で解くために、Kawai(2013) により提案されたコンパクト差分法と LAD 法を組み合わせた MHD スキームを用いたシミュレーションコードを開発し、局所円盤系における MRI の成長と非線形発展に関する計算機実験を行った。軸方向一様磁場を与えた局所円盤座標系でのシミュレーションを行い、MRI の線形成長の飽和段階の解析を行ったところ、K-H モードの Parasitic 不安定性の波の励起が広い波数領域で確認された。高次精度の数値計算で得られた結果の解析結果を報告し、円盤の進化過程への影響について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z240b 磁気乱流由来の強電場による電子の加熱が原始惑星系円盤に与える影響

森昇志 (東京工業大学/名古屋大学), 奥住聡 (東京工業大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤内の乱流粘性は、円盤の角運動量輸送を担うため、円盤進化を理解する上で非常に重要である。円盤内の乱流粘性の有力な起源の一つは、磁気回転不安定性 (MRI) と呼ばれる、プラズマと磁場の相互作用による不安定性である。MRI は低電離度ではオーム散逸によって安定化されるため、円盤における MRI の役割を理解する上で電離度の理解は欠かせない。円盤の十分電離した領域では MRI は十分発達し激しい磁気乱流を生成すると考えられているが、そこでは磁気乱流に付随する強電場が電子を加熱することが指摘されている (電子加熱)。また電子加熱が起こると、加熱電子がダストに頻繁に衝突し吸着される。その結果、電離度が減少する。そのため、電子加熱によって磁気乱流が抑制される可能性が示唆されている。

本研究では、円盤内における電子加熱の重要性を示すために、電子加熱が磁気乱流に影響を及ぼす領域とその程度について調べた。まず我々は、円盤の全領域で電離度を計算し、電子加熱によるオーム散逸がおきるかどうかを判定した。円盤モデルは、ダストガス比 0.01 で、あるサイズ分布 (最大サイズ 0.3 μm 、最小サイズ 0.03 μm) を持つダストを考え、電離源を宇宙線と中心星からの X 線とした。その結果、中心星から 80AU 以内という広い領域で電子加熱が起きることが分かった。また、乱流強度を見積もったところ、電子加熱領域では、激しい磁気乱流の場合に比べ、乱流粘性パラメータ α が 2 桁から 3 桁以上減少しうることが分かった。このような非常に弱い乱流は、最近 ALMA 望遠鏡で観測された HL Tau から示唆されている。さらに、この弱乱流下で永年重力不安定が成長すれば、HL Tau に見られる縞状構造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](#)

Z241b 磁気流体波動の散逸が駆動する巨大ガス惑星からの大気散逸現象について

田中佑希, 鈴木建, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年は数多くの太陽系外惑星が発見されており、その中にはホットジュピターと呼ばれる、中心星に非常に近い軌道を公転する巨大ガス惑星が存在する。ホットジュピターを様々な波長で観測することによって、大気組成や大気構造に関する興味深い情報を得ることが出来る。その一例が、紫外線領域でのトランジット観測によって明らかにされた、水素原子からなる高温の超高層大気と、大気からの大量の質量放出現象の存在である。これらの観測によると、ホットジュピターの高層大気からは大気が超音速で流出していることが示唆されており、またモデル依存性はあるものの質量放出率の推定値も得られている。

質量放出の主要な駆動源としては、中心星からの X 線・極端紫外線による高層大気の加熱が考えられているが、これまでに惑星磁場の効果を考慮した質量散逸の駆動については考慮されてこなかった。そこで我々が提案しているのが、大気中における磁気流体波動の散逸によって駆動される、太陽風的な質量放出現象である。惑星が固有の磁場を持ち、惑星大気の乱流によって磁力線に擾乱が与えられた場合、磁力線に磁気流体波動が励起される。その波動が上空へ伝播して散逸することにより、高層大気の急激な加熱とガスの加速が行われ、惑星大気上層からの質量放出を駆動する。本研究では、ホットジュピターに典型的だと考えられるパラメータを用いて磁気流体力学シミュレーションを行い、磁気流体波動の散逸による大気散逸の駆動と大気構造に与える影響についての評価を行った。その結果、磁気流体波動の散逸による質量放出は、観測から推定されている値を説明出来るだけの量になることが分かり、また高層大気も高温に加熱される事を示した。本講演では、磁気流体力学シミュレーションによって明らかにされた大気散逸の振る舞いとそのパラメータ依存性についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z242c 磁気流体力学方程式に対する高次精度衝撃波捕獲差分スキームの開発

三好隆博 (広島大学), 簗島敬 (海洋研究開発機構), 松本洋介 (千葉大学)

プラズマの巨視的なダイナミクスは、磁気流体力学 (MHD) 方程式によってよく記述される。理想 MHD 方程式は非線形双曲型保存則であるため、有限時間で衝撃波などの不連続解を形成し得る。特に宇宙プラズマにおいては、遍く存在する高レイノルズ数、高マッハ数 MHD 流れによって生み出される MHD 衝撃波と乱流の複雑な相互干渉が、様々な宇宙プラズマ現象に対して本質的に重要な役割を果たす。それ故、高い精度を持つ MHD 衝撃波捕獲スキームの開発は、宇宙プラズマ研究において必要不可欠な重要課題である。

MHD 方程式に対する衝撃波捕獲スキームとして、有限体積法的なアプローチが現在広く採用されている。有限体積法は保存則の積分形式に基づく数値手法であり、解適合格子 (AMR) を含む任意の計算格子に対し容易に適応できる。しかし、多次元問題においては、有限体積法の高次精度化は容易ではない。一方、有限差分法的なアプローチでは、一般に滑らかな計算格子が要求されるが、多次元問題に対する高次精度化は比較的容易に実現可能である。そこで本研究では、MHD 方程式に対する衝撃波捕獲差分スキームの高次精度化を検討した。特に、WCNS 法 (Weighted Compact Nonlinear Scheme) を採用し、多次元高次精度 MHD 衝撃波捕獲スキームを新たに開発した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z243b 熱伝導を考慮した降着円盤状態遷移の磁気流体シミュレーション

谷田部紘希, 松元亮治 (千葉大学)

重力を及ぼす天体に物質が回転しながら落下する際に形成される降着円盤はX線放射やジェット噴射等、様々な活動性を駆動する。ブラックホールの周りに形成される降着円盤には、高温低光度の光学的に薄いソフトステートと低音高光度の光学的に厚いハードステートの二つの状態が存在することが知られている。さらに、X線観測より、ソフトステートとハードステートの間で相互に状態遷移が起きていることが知られている。状態遷移中には低温領域と高温領域が共存するため熱伝導を考慮する必要がある。

本研究では、我々の研究室で開発した磁気流体シミュレーションコードCANS+に熱伝導モジュールを実装し、降着円盤の状態遷移シミュレーションを実施した。磁気流体コードは、近似リーマン解法のHLLD法を用いており、メッシュ境界値の計算はMP5法を適用し高次精度化している。熱伝導モジュールには、通常の陽解法よりも長い時間刻みを用いて安定に計算できるsuper-time-stepping法を採用した。

軸対称を仮定して初期に弱いポロイダル磁場を有する回転トラスの時間発展を計算した結果、円盤密度が臨界値を越えると、高温円盤から低温円盤への遷移が起き、円盤が鉛直方向に収縮することによって赤道面付近に強い方位角磁場で支えられた低温円盤が形成された。熱伝導を考慮すると、質量降着によって円盤密度が低下するに従って円盤物質が蒸発して高温円盤に遷移することが期待される。この過程に磁場が及ぼす影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z244b **Formation Mechanism of Galactic Center Molecular Loops in Multi-Phase Clumpy Interstellar Medium**

Chih-Han Peng (Graduate School of Science, Chiba Univ.), Yuki Kudoh (Graduate School of Science, Chiba Univ.), Yuta Asahina (Division of Theoretical Astronomy, NAOJ), Ryoji Matsumoto (Graduate School of Science, Chiba Univ.)

Huge molecular loops are found in Galactic central region (Fukui et al. 2006). The scale of molecular loops are about few hundreds parsec in height and length. At the foot points of molecular loops, strong CO emission and large velocity dispersions are observed. These features indicate that molecular gas slide down along undulating magnetic field lines. Numerical simulations of Parker instability can explain the velocity profile along the molecular loop. However, it is not easy to uplift dense molecular gas from the equatorial region. Here we consider the possibility that dense gas clouds moving in the interstellar medium trigger the Parker instability. We carried out MHD simulations taking into account the heating and cooling function (Inoue et al. 2006) to deal with thermal processes in multi-phase interstellar medium. We found that Parker instability triggered by the upward motion of molecular clouds can form molecular loops and reproduce the velocity distribution along the molecular loops.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z245c 熱過程を考慮した銀河系中心部分子雲ループ形成シミュレーション

栗原理, 野澤恵 (茨城大学), 高橋邦生 (海洋研究開発機構)

銀河系中心部で特徴的なスケール (300 - 500 pc) を持つ分子雲ループが発見された (Fukui et al. 2006)。この分子雲ループは観測的な特徴から Parker 不安定性で説明できると考えられている。Takahashi et al. (2009) では銀河円盤の温度構造を考慮した 3 温度での局所的 2 次元 MHD シミュレーションによって、ループに沿った周囲よりも密度の高い shell-like 構造が見られることなどが示されている。しかし、断熱の計算であり、低温高密度分子雲を形成するために冷却効果を取り入れる必要性を述べている。本研究では、星間ガスの加熱・冷却と熱伝導を考慮した Parker 不安定性の 2 次元 MHD シミュレーションを行った。

初期に円盤面、円盤大気ともに熱的に安定平衡な高温ガス (C1 モデル)、円盤面のみ熱的に不安定平衡な温度のガス (C2 モデル)、円盤面は熱的に安定平衡な低温ガスでその上に熱的に不安定平衡な温度のガス (C3 モデル) の 3 通りについて計算を行った。その結果、どのモデルにおいても分子雲ループに相当するループ状の低温高密度構造は形成されなかったが、次の結果が得られた。C1 モデルの場合は先行研究 (Mouschovias et al. 2009) と同様の結果が得られた。C3 モデルの場合はループに沿った速度勾配も大きくなり、熱不安定性によって銀河面に垂直で分子雲に相当するスパーク構造が上空まで成長した。Fujishita et al. (2009) で見積もられた H I protrusion の質量とシミュレーションによって得られたスパーク構造の質量を比較すると、H I protrusion は $1.5 \times 10^4 M_{\odot}$ 、スパークは奥行き方向に 7.5 pc 程度の厚みを持つことで H I protrusion と同等の質量を持ちう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](#)

Z246a 一般相対論的輻射磁気流体による超臨界降着円盤シミュレーション

高橋博之(国立天文台)、大須賀健(国立天文台)

ブラックホールや中性子星といったコンパクト天体からは様々な放射スペクトルやアクティビティが観測されており、これらは中心天体へのガス降着量によってその様相が変わると考えられている。高降着円盤ではソフトな X 線に加えて 10keV 程度までのびる硬 X 線が受かっているが、この硬 X 線源の起源はわかっていない。我々はこの硬 X 線源の起源を探るため、一般相対論的輻射磁気流体計算を用いてブラックホール周りにおける降着円盤の大局的シミュレーションを行った。その結果、ブラックホール近傍 ($r \lesssim 10 - 20r_g$) に輻射と熱平衡にならない高温ガス雲が形成されることがわかった。ブラックホール近傍では降着時間が放射冷却による時間よりも短くなるため、ガスは冷却されずに高温ガス雲を形成する。この高温ガス雲が観測される硬 X 線源の起源になると考えられる。さらにこの高温ガス雲の温度はブラックホールスピンの影響を受けることがわかった。これはブラックホールの回転エネルギーの一部が円盤へと伝わり、円盤加熱へと寄与したためと考えられる。本発表ではこの高温ガス雲の構造の詳細について、さらに中心天体が中性子星の場合についても発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z3. 計算科学による惑星形成・進化・環境変動研究の新展開】

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [H会場]

Z301r	09:30	「京」からポスト「京」へ・(20)	牧野淳一郎(理化学研究所)
Z302r	09:50	惑星形成シミュレーションの量的・質的向上に向けて・(20)	玄田英典(東京工業大学)
Z303b	10:10	大規模 N 体計算が切り拓く惑星形成研究の新時代・(3)	押野翔一(国立天文台)
Z304b	10:10	FDPS(Framework for Developing Particle Simulator) を用いた惑星形成シミュレーションへの応用・(3)	岩澤全規(理化学研究所)
Z305a	10:18	Kninja を使った惑星集積計算・(12)	小南淳子(東京工業大学)
Z306a	10:30	軸対称かつ面対称である円環形状天体の外部重力場の帯円環調和関数展開・(12)	福島登志夫(国立天文台)
Z307a	10:42	ルジャンドル陪関数の計算手法の比較・(12)	榎本剛(京都大学)
Z308a	10:54	タンデム惑星形成・(12)	戎崎俊一(理化学研究所)
Z309a	11:06	地球形成の「ABEL モデル」から導かれる今後の研究の展開・(12)	丸山茂徳(東京工業大学)
Z310b	11:18	タンデム円盤における粒子成長・(3)	今枝佑輔(理化学研究所)
Z311b	11:18	FDPS を用いた巨大衝突の高解像度計算・(3)	細野七月(理化学研究所)
Z312b	11:18	圧縮性流体用のメッシュフリー法の高次化・(3)	山本智子(東京工業大学/理化学研究所)

3月15日(火) 午後(13:30-15:30) [H会場]

Z313r	13:30	汎惑星気象・気候シミュレーションに向けて・(20)	林祥介(神戸大学)
Z314r	13:50	原始惑星系円盤乱流と微惑星成長・(20)	石原卓(名古屋大学)
Z315b	14:10	原始惑星系円盤中の局所構造におけるダストの合体成長と微惑星形成・(3)	瀧哲朗(東京工業大学)
Z316b	14:10	乱流の「第一原理計算」による原始惑星系円盤中のダスト粒子衝突過程に対する鉛直重力の影響の解析・(3)	小林直樹(名古屋大学)
Z317a	14:18	火成活動、マントル対流と岩石惑星の進化・(12)	小河正基(東京大学)
Z318a	14:30	マントル対流シミュレーション: 地球型惑星内部の解明に向けて・(12)	亀山真典(愛媛大学)
Z319a	14:42	スーパーアースのマントル対流シミュレーション・(12)	宮腰剛広(海洋研究開発機構)
Z320a	14:54	惑星系形成領域の有機物進化・(12)	相川祐理(筑波大学)
Z321a	15:06	宇宙空間でのアミノ酸生成反応機構についての理論的研究・(12)	庄司光男(筑波大学)
Z322b	15:18	高速回転する薄い球殻内の熱対流により引き起こされる表層縞状構造の消滅・(3)	竹広真一(京都大学)
Z323b	15:18	暴走温室状態の発生条件に関する大気大循環モデル実験・(3)	石渡正樹(北海道大学)
Z324b	15:18	慣性変化法によるマントルの熱対流シミュレーション・(3)	竹山浩介(東京工業大学)

Z301r 「京」からポスト「京」へ

牧野淳一郎 (理研 AICS)

本講演では、「京」、ポスト「京」について、その計画の概要、サイエンスを推進していく体制等の概要と、惑星科学研究との関係について述べる。

「京」は 2011 年度に完成、2012 年度に共用開始した、理論ピーク性能 10PF 強と現時点で国内最高速、世界でも第 4 位のスーパーコンピューターである。「京」による科学技術研究については、5 つの「戦略分野」が選ばれ、年間 5 億円程度の研究費で「京」向けのソフトウェア開発と「京」を使った研究を推進してきた。惑星科学・太陽圏科学については、分野 5「物質と宇宙の起源と構造」において、MHD シミュレーションによる太陽対流圏の研究や、 N 体シミュレーションによる惑星形成研究等が行われている。これらは、従来の並列計算機での計算規模をはるかに超える数千から数万ノードでの高い実行効率での並列化に成功し、大きな成果をあげた。

2014 年度から、アプリケーション性能で「京」の 100 倍を目指す、ポスト「京」システムの開発が始まっている。これは、2019-20 年頃の完成を予定している。開発担当は「京」の開発も行った富士通であり、「京」と同様な汎用メニーコアプロセッサをトランスネットワークで接続したものになる計画である。

ポスト「京」については、「京」の 5 戦略分野に代わるものとして、9 個の「重点課題」と 4 個の「萌芽的課題」が選定されている。惑星科学は、「萌芽的課題」の一つ、「太陽系外惑星（第二の地球）の誕生と太陽系内惑星環境変動の解明」としてポスト「京」で実施するテーマとなっている。重点課題については既に実施体制が決まっているが、「萌芽的課題」については現時点 (2015/11) ではまだ決まっていない。講演時点ではある程度進展があると期待できるので、その状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z302r 惑星形成シミュレーションの量的・質的向上に向けて

玄田英典（東工大）

惑星形成過程は、究極的には惑星の材料となる天体（注目するステージによってダスト、微惑星、原始惑星など様々なサイズを持つ）の中心星周りの軌道進化と、それら天体の衝突合体の積み重ねである。現在、前者のプロセスにおいて必要とされていることは、原始惑星系円盤全体を考慮したグローバルな計算である。例えば、太陽系の地球型惑星の形成過程において、木星や土星の形成タイミングや移動などが最終的に形成される地球型惑星のサイズや軌道特性、さらには地球に供給される水量などの様々なことに重要な役割を果たすと考えられている。後者の天体衝突のプロセスにおいて現在必要とされていることは、様々な衝突条件（天体サイズ、質量比、衝突速度、衝突角度、物性など）で、どのような結果となるのかを系統的に調べることである。天体が破壊されるのか、また合体するにしてもどのような質量分布の破片が飛び出するのかなどを詳細に知るためには、高解像度のシミュレーションが必須である。さらに、惑星形成過程はこれら二つのプロセスが絡み合った過程であるため、両者を同時に扱うことは量的にも質的にもチャレンジングな問題となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z303b 大規模 N 体計算が切り拓く惑星形成研究の新時代

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

惑星形成の N 体計算は、重力多体問題専用計算機・GRAPE を用いることによって扱える粒子数がそれ以前と比べて飛躍的に増加し、暴走成長過程や寡占的成長過程 (Kokubo & Ida 1998) が発見されてきた。しかし、その後行われている惑星形成過程の N 体計算は数千~数万体が主流であり、1兆体まで扱えるようになった宇宙論的 N 体計算 (Ishiyama et al. 2012) などと比較すると粒子数の増加は頭打ちとなっていた。

この原因として、惑星形成では粒子の近接相互作用を解く必要があり、その必要がない宇宙論的 N 体計算などと比較すると並列化効率の改善が難しく、そのため並列計算があまり行われてこなかったという現状がある。しかし、並列計算は粒子数を増やすためには必要な手法であり、最新の並列化 N 体計算コードでは「京」コンピュータを用いて数十万粒子までの惑星形成過程の N 体計算が可能となっている。

粒子数の増加を阻むもう一つの問題は、惑星形成の計算では、粒子間の相互作用を全て直接計算するダイレクト法が用いられている点にある。この手法では粒子数の2乗で計算コストが増加してしまう。そこで我々は、遠方の粒子からの力の計算にはツリー法 (計算コスト $O(N \log N)$) を用いる PPPT 法 (Oshino et al. 2011) を用い、さらに並列化を行ったコードを開発した。並列化には粒子系シミュレーションのための汎用プラットフォーム「FDPS (Framework for Developing Particle Simulator)」(Iwasawa et al. 2015) を用いて開発している。

本発表では、我々の新規開発コードによる惑星形成過程の計算における性能について報告する。我々は、今後 GPU クラスタを用いることで、扱える粒子数をさらに増やし、キロメートルサイズの微惑星からの惑星形成シミュレーションを行っていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z304b **FDPS(Framework for Developing Particle Simulator) を用いた惑星形成シミュレーションへの応用**

岩澤全規 (理研)、谷川衝 (東大)、細野七月 (理研)、似鳥啓吾 (理研)、村主崇行 (理研)、牧野淳一郎 (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法、DEM等の手法を通して、惑星形成から宇宙論に至るまで天文学の幅広い分野で広く使われている。一方、大規模並列型スパコンで効率よく動作する粒子法プログラムの開発は容易ではなく、多くの研究者はソフトウェアの開発に多大な時間と労力を割く必要がある。しかし、並列化された粒子法プログラムのアルゴリズムはその手法によらず似ており、アルゴリズムを一般化することが可能である。そこで、我々は大規模並列型スパコンで効率よく動作する粒子法シミュレーションプログラム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。大規模並列アプリケーションプログラムが複雑になるのは、計算領域分割やその領域に合わせた粒子の再配分、また効率的な相互作用の為に必要な粒子のツリー構造での管理等が必要なためである。FDPSはこの部分を担当する。その為、ユーザーは並列化を意識することなく数百行程度でアプリケーションプログラムを開発出来る事が分かった。本発表ではFDPSの概要及び、FDPSを用いた惑星形成用のアプリケーションについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z305a Kninja を使った惑星集積計算

小南淳子 (東工大), 台坂博 (一橋大), 牧野淳一郎 (理研 AICS), 藤本正樹 (JAXA)

本研究ではアイスラインも含めた広い領域の微惑星集積の N 体計算を行った。微惑星集積シナリオを構築するため、現在まで多くの N 体計算が行われてきたが、粒子数の制限により局所的な計算、あるいは領域が広い初期条件でも、粒子の質量の大きい計算に限られてきた。本研究ではスーパーコンピュータ「京」を用いた並列化 N 体コード Kninja を開発し、小ノード数のときに理論ピーク性能の 30% の実行性能を達成した。このコードを開発したことにより、広い領域、かつ個々の微惑星の質量の小さい計算を可能にし、微惑星どうしの自己重力を含めたより現実的な場合でも、微惑星の重力による惑星の外側への移動を再現した。粒子数は 8 万體を使い、10 万年計算した。使用したノード数は主に 1024 ノードで計算時間は一週間ほどかかった。

微惑星円盤はアイスラインの外側で面密度が大きくなる。そのため、アイスラインのすぐ外側での微惑星の暴走成長は起こる。本研究ではアイスラインの外側で暴走成長した原始惑星の周囲の微惑星はその暴走成長天体に集積するとして計算を行った。その結果、暴走成長した原始惑星は円盤内を動径方向に移動することを確認した。また、この微惑星の成長プロセスはガス円盤内で起こる。本研究ではさらに、ガス抵抗とタイプ 1 惑星移動の効果をも含めた現実的な N 体計算を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z306a 軸対称かつ面対称である円環形状天体の外部重力場の帯円環調和関数展開 福島登志夫 (国立天文台)

原始惑星系円盤や活動銀河核周辺の降着円盤など天文学では中心に穴が開いた円環形状天体がしばしば現れる。天体周辺の粒子やガスの運動を考える場合には天体の重力場計算が必要となるが、ドーナツ状天体の場合、例えば天体が対称性を有していても天体近傍、特に中心の穴の付近の計算は面倒である。軸対称の場合、究極の方法はポアソン核を持つ2次元数値積分であるが計算時間は膨大である。しかし、重力ポテンシャルの外部解はラプラス方程式の解なので適当な座標系 (今の場合、円環座標系) を取れば次のように調和関数展開することができる。

$$\Phi(u, \theta, \phi) = -\sqrt{u - \cos \theta} \left(\frac{GM}{a} \right) \sum_{n=0}^{\infty} C_n \left(\frac{P_{n+1/2}(u)}{P_{n+1/2}(u_R)} \right) \cos n\theta, \quad (1 \leq u; 0 \leq \theta < 2\pi; 0 \leq \phi < 2\pi) \quad (1)$$

ここに (u, θ, ϕ) は円環座標、 GM は天体の重力定数、 a は円環座標系の中心環半径、 C_n は展開係数、 $P_\nu(u)$ は ν および u を実数次数および引数とする第1種ルジャンドル関数、 u_R は規格化基準引数である。重力加速度についてもポテンシャルを偏微分することにより同様の展開が行える。計算上の難関は $P_\nu(u)$ の比の数値計算であるが、数種の完全楕円積分を初期値とする漸化式により効率的に計算できることがわかった。展開係数の決定に必要な十数点程度の2次元数値積分を一度実行しさえすれば、得られた調和関数展開により天体の外部重力場は精度よくかつ非常に高速に計算できる。Bannikova et al. (2012, MNRAS, 424, 820) のN体計算で得られた gaussian 風の密度分布を持つ卵形断面の円環天体について外部重力場の計算比較実験を行ったところ、新しい方法は約15桁の計算精度を有し、かつ2次元数値積分に比して3千から1万倍の高速化を実現することが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z307a ルジャンドル陪函数の計算手法の比較

榎本剛 (京大防災研)

ルジャンドル陪函数は、球面を扱う幅広い分野で利用されているが、気象学では大気大循環モデルの力学過程やエネルギースペクトルの解析に用いられている。計算機性能の向上に伴い、10年ほど前に試みられた1000程度の切断波数を用いて現在数値天気予報が行われており、10000程度の切断波数が視野に入りつつある。

切断波数が1700程度よりも大きくなると、従来用いられてきた3項漸化式では、アンダーフローのために倍精度の範囲ではルジャントル陪函数の値を正確に求めることができなくなる。この問題を解決する手法として、4点漸化式を用いる手法 (Swarztrauber 2002) と拡張浮動小数点数を用いる手法 (Fukushima et al. 2011) とがある。

本研究 (Enomoto 2015) では、高次高階のルジャンドル陪函数の計算に適したこれら二つの手法を切断波数39から10239まで比較した。4点漸化式を用いる方法は、切断波数2000程度から精度が低下し始めることが分かった。その原因を調べたところ、フーリエ展開の係数の計算の桁落ちであることが明らかになった。桁落ちを回避する工夫を施したところ、切断波数10239まで拡張浮動小数点数よりも高い精度が得られた。拡張浮動小数点数を用いる手法は、精度でやや劣るものの、並列計算に適しており、4点漸化式を用いる方法よりも逐次計算で数倍高速であることが分かった。

参考文献: Enomoto, T., 2015: *SOLA*, **11**, 144–149. Fukushima, T. 2011: *J. Geodesy*, **86**, 271–285.
Swarztrauber, P. N., 2002: *SIAM J. Sci. Comput.*, **24**, 945–954.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z308a タンデム惑星形成

戎崎俊一, 今枝佑輔 (理研)

林らが約30年前に構築した理論的枠組みに、回転磁気不安定 (Balbus and Hawly 2000) や、多孔性粒子成長機構 (Okuzumi et al. 2012, Kataoka et al. 2013)、中心星が放射する電離放射線の影響などの新物理を取り込んで、惑星形成論を再構築した。その結果、0.3-20 天文単位の領域 (諸条件により変わる) に、磁気回転不安定の抑制により静穏領域ができることが分かった。そして、静穏領域の外側の境界と内側の境界の二か所で固体粒子が円盤中央面付近に集積し、重力不安定を起こして数キロメートルの微惑星を効率的に形成することが分かった。前者では、氷 (雪) が、後者では岩石粒子が集積する。これらがさらに合体を繰り返し、前者がガス惑星の核、後者が岩石惑星に成長することが期待される。これをタンデム惑星形成と名付けた。

タンデム惑星形成において、岩石微惑星の形成場所の温度は 1000-1300K とかなり高温で、水分をなどの揮発成分は固体成分から失われることが予測される。これは、地球が水を持たない星として生まれ、後に少量の水を獲得したとする ABEL モデルと整合的である。また、水なしの原始地球表面に形成される還元的な鉱物と、後からやってきた水の激しい反応は、リン酸を含む有機物の形成を促進する。また、原始惑星系円盤のガスは、中心星からの電離紫外線による光電離蒸発で、惑星形成開始から 100-300 万年後に内側から失われる可能性が高い。

今後、原始惑星系円盤における物質分布とその化学組成を明らかにし、惑星・小惑星の材料物質を議論し、小惑星・隕石の同位体組成などとの関係を議論する。また、原始星を作る母星雲が持つ角運動量と磁気フラックスの強さにより、原始惑星系円盤の静穏領域の大きさが規定されることが分かってきた。これを用いて、系外惑星系の多様性の説明を試みる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z309a 地球形成の「ABELモデル」から導かれる今後の研究の展開

丸山茂徳（東工大）

地球は、全く大気・海洋成分をもたないドライな状態で45.6億年前に誕生し、約44億年前に、大気・海洋成分が二次的に付加した。このようなプロセスで説明される地球形成モデルをABELモデル(Advent of Bio-Elements Landing Model)と呼ぶ。固体地球の起源がエンスタタイトコンドライトであることは、酸素同位体組成ほか7種類の元素の同位体分析によって明らかであると同時に、地球の水の起源が炭素質コンドライトであることは水素同位体比によって強く裏付けられている。これらを最もうまく説明するのがABELモデルであり、生命誕生に至る代謝のプレカーサであったことが強く示唆される。

ABELモデルの提案に基づき改めて導かれる、「計算科学による惑星形成・進化・環境変動研究の新展開」の具体的描像を、隕石学、月形成論(ジャイアントインパクト説)、小惑星帯の化学組成累帯構造などを含めて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z310b タンDEM円盤における粒子成長

今枝佑輔, 戎崎俊一 (理研)

我々は前回の年会に於いて、電離度計算と Shakura and Sunyaev (1973) の定式化に基づき原始惑星系円盤の構造を一次元定常粘性降着円盤解として求め、そのガス円盤中での固体粒子の合体成長過程を Okuzumi et al. 2012 と Kataoka et al. 2013 の内部密度進化に従って調べた。その結果、静穏領域の内縁と外縁の2箇所のみにて集中的に微惑星形成が進行することが示され、これをタンDEM惑星形成と名づけた。

本発表では、前回発表とは異なる原始惑星系円盤モデルにおける粒子成長計算について発表する。具体的には乱流領域で $\alpha = 0.01$ 、静穏領域で $\alpha = 0.001 \times \sqrt{10}$ と、以前に比べて静穏領域と乱流領域の差が小さいガス円盤モデルを考えた。計算には

- 1 質量近似のもとでの固体粒子の付着合体成長
- 粒子-粒子間の衝突、粒子-ガス間の動圧、固体粒子自身の自己重力による内部密度圧縮
- 粒子同士の高速衝突による破壊効果
- 粒子円盤の自己重力不安定による微惑星形成と微惑星の暴走的成長

が取り入れられている。また超粒子近似を行う計算法を導入し、固体粒子の移動を計算した。その結果、かなり広いパラメーター（降着率や磁場の強さなど）領域において、タンDEM惑星形成が頑健に進行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](#)

Z311b **FDPS を用いた巨大衝突の高解像度計算**

細野 七月, 岩澤 全規, 谷川 衝, 似鳥 啓吾, 村主 崇行, 牧野 淳一郎

巨大衝突とは、2つの原始惑星どうしの衝突の事であり、惑星科学においては月の起源として重要な意味を担っている。そのため、これまで様々な巨大衝突の数値計算が Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法と呼ばれる流体数値計算手法を用いて、なされてきた。一方近年、この SPH 法による計算結果の妥当性を調べるため、巨大衝突の数値計算の解像度収束性が調べられ初めて来たが、最高解像度としては現在の所 10^6 粒子程度であり、それ以上に関しては今だ詳しく調べられてはいない。SPH 法の計算結果の妥当性を調べるためには、更なる高解像度化が必要であるが、そのためには大規模な並列計算が必要である。そのような大規模並列コードは開発に多大な時間と労力が必要であり、簡単では無い。そこで近年、我々は Framework for Developing Particle Simulator (FDPS) と呼ばれる、粒子的数値計算用の大規模並列計算 Framework を開発した。この FDPS は、ユーザー側に大規模並列計算に特有な複雑な処理などを一切記述させることなく、大規模並列計算コードの開発を可能にさせる。そこで、本研究ではこの FDPS を用いた SPH コードを開発し、先行研究よりもより高解像度な巨大衝突の数値計算を行った。その結果、衝突後に形成されるクランプが中心惑星に落下する時刻などが、解像度に即して変化していくという傾向が見えた。これは、衝突時にやり取りされた角運動量が、未だに収束していない事を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z312b 圧縮性流体用のメッシュフリー法の高次化

山本智子 (東京工業大学、理化学研究所)、牧野淳一郎 (理化学研究所、東京工業大学)

圧縮性流体用のメッシュフリー法は、構造変化を伴う流体シミュレーションに幅広く用いられている。しかしながら、従来のメッシュフリー法は、自由表面や接触不連続面を適切に扱うことができないという問題がある。この原因は二つある。一つ目は、従来の多くの圧縮性流体用メッシュフリー法では物理量の推定値に0次の誤差があり、高精度化ができないことである。この、0次の誤差は、密度を近傍粒子の重みを付けた総和で求めていることによる。多くの方法ではこの重みの総和が1になることが保証されていないため、密度に誤差が残る。二つ目は、従来の圧縮性流体用メッシュフリー法では、物理量の勾配評価が低次であるためである。従って、運動方程式やエネルギー方程式に誤差が生じる。

これらの問題を解決するために、我々は、空間に対し高次化した圧縮性流体用のメッシュフリー法を開発した。一つ目の問題に対しては、連続の式を用いることにより、密度を直接求めることを避けることで、解決する。二つ目の問題に対しては、Tamai et al. (2013) で開発された、空間高次の勾配評価を応用することで解決する。

我々は、これらの方法を用いて高次化したメッシュフリー法と、従来のメッシュフリー法の一つであるSPH法におけるテスト計算結果を比較した。結果、高次化したメッシュフリー法は、SPH法以上に、自由表面と接触不連続面を適切に扱うことができることがわかった。しかしながら、大きな圧力成層のある接触不連続面に関しては、空間に対し無限次の精度の勾配評価を必要とするため、適切に扱うことができていない。従って、今後は、高次化したメッシュフリー法を、このような不連続面にも対応させていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z313r 汎惑星気象・気候シミュレーションに向けて

林祥介 (神戸大・理)

本講演では、大気を持つ地球以外の惑星 (衛星) の気象・気候シミュレーションとそのためのソフトウェア開発の現状を概観し、今後を展望する。

仮想的な惑星を数値的に設定し、その気象・気候を計算機上に表現しこれを考察することによって、惑星表層環境の普遍性・特殊性に思いを馳せる、という行いは、20世紀の終わり頃までは欧米ではめったに予算のつかない趣味の領域の研究とされてきた。惑星表層環境に関する進化・多様性の考察は、放射伝達を解くエネルギー収支的な解析としては精力的に進められてきたが、大気循環による物質輸送の陽な表現を行うことは稀であった。しかるに今日、系外惑星観測の進展とにともない、系外惑星の表層環境を数値的に探求するという行いが急速に前景化し、また、太陽系形成の理解の進展は惑星とその表層初期環境の数値的考察を促すに至っている。

しかしながら、惑星探査や宇宙望遠鏡あるいは地球上からの観測によって多少なりともデータの得られている太陽系の惑星気象・気候の理解は、その知見を持って系外や過去に自信をもって展開するにふさわしいレベルに到達しているとは言えない。火星表層の特徴である全球ダストストームの非周期的に出現は未だ理解されておらず、金星表層の特徴である4日循環 (高速東西風) は、内在する擾乱や乱流構造が不明であり、流体力学的に整合的に組み上げられるには至っていない。木星の縞帯構造に関しては、相変わらず諸説乱立の状況から出られていない。

地球の天気予報や気候予測を担保する観測の展開が、これらの惑星では容易ではなく、いわんや系外においてはほぼ不可能である中、その数値的探求の科学的正当性をどう確保していくかが、持続的な研究を行う上で重要な問題となるだろう。我々は「階層的モデル群」とこれを支えるライブラリ群の開発を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z314r 原始惑星系円盤乱流と微惑星成長

石原卓, 江野畑圭, 小林直樹, 白石賢二 (名大), 中本泰史 (東工大), 梅村雅之 (筑波大)

原始惑星系円盤中の微惑星成長過程が未解明である．原始惑星系円盤乱流がダストの集積・衝突・合体に大きな影響を与えると考えられているが，乱流中のダスト成長の確かなシナリオは得られていない．これは，非線形性の強い原始惑星系円盤乱流の性質の理解が不十分なこと，乱流によって運ばれるダスト（慣性粒子）は流体運動への追従性がダストサイズ（慣性の大きさ）に依存して運動が複雑なことに起因すると考えられる．乱流の非線形性の強さはレイノルズ数 $Re = UL/\nu$ (U と L は乱流中のエネルギー保有渦の代表的な速さと大きさ， ν は動粘性係数)，粒子の流体運動への追従性はストークス数 $St = \tau_p/\tau_\eta$ (τ_p は粒子の緩和時間， τ_η は乱流中の最小渦のタイムスケール) で表される．原始惑星系円盤乱流の場合 $Re = O(10^{10})$ であり，大小の渦のスケール比は巨大である．また， St の値は 0.01 程度から 100 以上となる．高 Re 乱流の性質の理解にはナビエ・ストークス (NS) 方程式の「第一原理計算」，すなわち，数値粘性などを用いることなく微細な渦の動きまで解像する大規模な直接数値計算 (DNS) が有効である．粒子運動の理解には，乱流 DNS に基づく粒子追跡計算が有効である．近年，流体分野では乱流 DNS を用いた粒子追跡計算が盛んであり，乱流による微粒子のクラスタリングや衝突促進などを示す恣意性のないデータが得られている．しかし，従来の計算は $Re < 10^4$ に限られ，原始惑星系円盤乱流中のダストの成長過程の本質的な解決には至っていない．我々のグループは，原始惑星系円盤乱流中の微惑星成長過程解明を目的とし，NS 方程式の大規模 DNS に基づく高 Re 乱流中の粒子追跡の大規模数値実験を計画し，準備を進めている．講演では，乱流の大規模 DNS，および，高 Re 乱流特有の渦の組織構造についてレビューしたのち，粒子追跡数値実験の概要，および， $Re > 10^4$ の乱流中の粒子追跡計算で得られた最近の結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](#)

Z315b 原始惑星系円盤中の局所構造におけるダストの合体成長と微惑星形成

瀧哲朗, 奥住聡 (東工大), 藤本正樹 (ISAS/JAXA, 東工大 ELSI), 井田茂 (東工大 ELSI)

微惑星の形成過程は惑星系形成理論における重大な未解決問題のひとつである。微惑星形成の理論的困難は大きく分けて2つあり、それぞれ「中心星落下問題」、「衝突破壊問題」と呼ばれている (Johansen et al. 2014)。前者は、成長したダストが円盤からガス抵抗を受けることによって中心星方向に急速に移動してしまうというものである。後者は、円盤内で駆動されるダストの相対速度が、合体成長可能な速度よりも大きいというもので、特に岩石ダストの場合に深刻となる。惑星系形成理論を完成させるためには、これらの問題点を同時に回避した微惑星形成モデルの構築が必要である。

本研究では圧力バンプ (Whipple, 1972; Haghhighipour & Boss, 2003) と呼ばれる原始惑星系円盤内の局所構造に注目した。これまでの我々の研究から、圧力バンプは落下するダストを捕獲してダスト空間密度を増加させるとともに、ダストの相対速度を大きく減少させる性質をもつことが明らかになっている (Taki et al. submitted)。これらの結果は、圧力バンプがダストの合体成長にとって有利な環境であることを意味している。

今回、我々は圧力バンプにおけるダスト-ガス系のダイナミクスの計算にダストの合体成長モデルを導入し、それらを自己無撞着に解く数値実験を行った。結果、圧力バンプによって濃集されたダストの急速な成長が観察された。さらに成長したダストはガスと力学的に分離し、これによってダストの中心星方向への移動速度が低下することが分かった。このときダストは圧力バンプを通過する間に十分成長できることが期待される。今回の講演ではこれらの現象が微惑星形成モデルに与える影響について議論するとともに、将来的により大規模な数値実験を行う際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](#)

Z316b 乱流の「第一原理計算」による原始惑星系円盤中のダスト粒子衝突過程に対する鉛直重力の影響の解析

小林直樹, 江野畑圭, 石原卓, 白石賢二 (名古屋大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系円盤中の微惑星形成過程において、乱流は微粒子の衝突・合体を妨げるものと従来考えられていたが、乱流にはむしろ衝突・合体を促進する働きがあるとして近年着目されている (Pan et al., *Astrophys. J.* 2011)。微惑星形成過程の解明のためには乱流中の慣性粒子 (流れへの追従性が慣性に依存する微粒子) の運動の理解が重要であると考えられるが、乱流中の微粒子が一定の平均沈降速度をもつ要因となる鉛直重力の影響も把握しておく必要がある。乱流中の慣性粒子の運動に対する鉛直重力の影響を理解するため、本研究では外力のあるナビエ・ストークス方程式を数値粘性などを用いることなく直接数値計算 (DNS) する「第一原理計算」により、微細な渦の動きまで解像して得られる乱流場中で鉛直重力の働く慣性粒子の運動を数値的に追跡する数値実験を行った。重力の働く慣性粒子は、ストークス数 (粒子の緩和時間 τ_p と乱流中の最小渦のタイムスケール τ_η の比: $St = \tau_p/\tau_\eta$) とフルード数 (乱流中の最小渦の加速度 η/τ_η^2 と重力加速度 g の比: $Fr = \eta/\tau_\eta^2/g$) の2つのパラメータで特徴付けされる (η と τ_η はおのおの乱流中の最小渦の長さと同時間スケール)。最大格子点数 1024^3 の乱流 DNS において St と Fr の値の異なる慣性粒子の追跡を行い、動径分布関数と平均接近速度、および、それらの積で表される衝突頻度を原始惑星系円盤中のダスト粒子と流体の密度比を想定して解析した。その結果、 $St > 1$ の粒子は鉛直重力の影響を受け集積の傾向が $Fr = O(0.1)$ で最も強くなること、平均接近速度は鉛直重力の影響が大きくなると St の大きい粒子ほど大きく減少することなどが分かった。また、原始惑星系円盤中の粒子半径における衝突頻度は、重力の影響が大きいほど減少することが分かった。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](#)

Z317a 火成活動、マンテル対流と岩石惑星の進化

小河正基（東京大学）

我々の太陽系の岩石惑星では、少なくとも火星よりサイズの大きな惑星ではマンテル対流が起こっている。マンテル対流にはブルームによるものとプレートによるものという二つのモードがあり、その挙動は惑星サイズと伴に変化する。

ブルームは火星、金星、地球の全ての惑星で活動しており、マンテルが十分高温のとき火成活動を引き起こす。この火成活動からマンテル対流へのフィードバック（MMU フィードバック）のため激しい対流攪拌が起こり、特に大型の惑星では火成活動によるマンテルの物質分化にもかかわらずブルームはマンテルを均質化する。これに対し、プレート運動は地球でのみ定常的に起こっているが、MMU フィードバックが働かないため穏やかであり、その結果起こる海嶺火山活動はマンテルを不均質化する。

地球のマンテルは、このブルーム活動とプレート活動の相互作用の結果均質なマンテルから不均質なマンテルへ二段階で進化する。これに対し、より小さな火星はブルームのみが活動し、不均質なマンテルから均質なマンテルへ単段階で進化する。月のようなさらに小さな惑星ではMMU フィードバックが働かず、穏やかなブルームによる火成活動が初期の段階でマンテルを不均質化する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z318a マントル対流シミュレーション: 地球型惑星内部の解明に向けて

亀山真典 (愛媛大学), 宮腰剛広, 柳澤孝寿 (JAMSTEC), 小河正基 (東京大学)

地球でいえば「マントル対流」とは、岩石からなるマントルが主に固体の状態を保ったまま、非常に長い時間(数百万年~数億年)をかけて、ゆっくりとした速度(数 cm/年)で地球内部を流動している現象を指す。この流動は、我々が地球表面で観察できる地学現象(地震・火山・プレート運動など)のほとんど全てに関与している重要なものである一方で、地球深部で起こっている流動・変動現象の中でもとりわけ特異な性質をもつ流体の運動でもある。かくも特異なマントル対流の全貌を理解する上では、数値シミュレーションが不可欠なツールの1つである。また近年の惑星探査の進展、さらには太陽系外の巨大地球型惑星(スーパー地球)の相次ぐ発見により、マントル対流シミュレーション研究の守備範囲やその意義が大きく広がりつつある。

マントル対流シミュレーションが対象とする科学的課題の1つとして、地球型惑星内部の熱・化学状態とその進化過程の解明を挙げることができる。この自己無撞着な取り扱いには、固体マントル物質の(部分)融解やこれに伴う物質分化過程を含んだ火成活動のモデル化が決定的に重要である。しかしながら、こうした火成活動とマントル対流とを結合させた系のシミュレーションでは、時間刻みの制約や両者のフィードバックに伴う計算不安定が存在することもあり、これまでは主に2次元モデルによって基本的な性質を解明することに留まっているのが現状である。そのため、地球を含めた地球型惑星の内部を今後より深く理解するためにも、3次元あるいは球殻ジオメトリを用いたモデリングの実現が強く望まれている。本発表ではその実現に必要な技術的な課題とそれに対する我々の取り組みについて紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z319a スーパーアースのマンテル対流シミュレーション

宮腰剛広（海洋研究開発機構）、亀山真典（愛媛大学）、小河正基（東京大学）

惑星内部のマンテル対流は、惑星表面のプレート運動の様相、表層と内部間の物質循環や火成活動に影響し、さらにはコア対流への影響を通じて惑星磁場の強さなどにも影響を及ぼす。従って、惑星のハビタブル性を考える上で、マンテル対流の理解は重要な要素の一つとなると考えられる。

我々は、スーパー・アースのマンテル対流はどのようなものかに興味を持って研究を行っている。スーパー・アースの場合、地球のマンテルと顕著に異なる特徴の一つとして、静水圧による圧縮性（断熱温度変化、及び密度変化）が大きい事が挙げられる。この断熱温度変化の強さは散逸数という無次元パラメータが目安になるが、地球の場合表面で約 0.9 程度の値を取るのに大して、大きな（地球の 10 倍質量程度の）スーパーアースの表面では約 5 という大きな値となる。地球のマンテル対流のシミュレーション研究では、散逸数=0 とする（ブシネスク近似）事が多いが、我々はこのような大きなスーパー・アース（散逸数=5）の場合に、どのようなマンテル対流が生じるかを数値シミュレーションにより調べた。本発表の内容は主に Miyagoshi et al. (2014, *Astrophys. J. Lett.*; 2015, *J. Geophys. Res.*) に基づくものである。

シミュレーションの結果、以下の事が分かった。(1) コア-マンテル境界から上昇するホットプルームは、惑星表面から落下するコールドプルームと比較して弱くなる。この特徴は特にマンテル全体の粘性率のコントラストが増大するにつれて顕著になる。(2) 対流の熱輸送効率が、断熱圧縮効果を考慮しない場合に比べて下がり、惑星表面に形成されるプレートも地球に比べてかなり厚いものとなる。(3) stagnant-lid 型の対流に移行するのに必要な粘性率コントラストが（ブシネスク近似モデルとは異なり）、Rayleigh 数が上昇するに従って増大する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z320a 惑星系形成領域の有機物進化

相川祐理 (筑波大学)

近年、太陽質量程度の原始星の周囲でギ酸やジメチルエーテル等の大型有機分子の輝線観測が盛んに行われている。ALMA の試験観測では原始星 IRAS16293 の周囲に最も簡単な糖であるグリコールアルデヒドも検出された (Jørgensen et al. 2012)。これらの分子は比較的昇華温度が高いこと、またその生成にはダスト表面反応が重要な役割を果たすと予想されることから、固相には輝線で見える気相よりもさらに多くの大型有機分子が存在すると期待される。星・惑星系形成領域での大型有機分子、特に固相での存在度は、固体集積で形成される地球型惑星さらには生命の材料物質としても重要である。しかし、固相の大型有機分子の詳細な組成と存在量を観測で直接調べることは困難である。よって輝線観測と理論を組み合わせ、気相・固相の物質進化を総合的に理解しなくてはならない。ここで必要となる理論は (i) 星・惑星系形成のダイナミクス、(ii) 気相・固相での素反応を組み合わせた化学反応ネットワークモデル、(iii) 素反応の反応過程・反応係数と多岐にわたる。講演では、星形成前の冷たい分子雲コアから円盤形成に至る 3 次元輻射流体計算 (Tsukamoto et al. 2015) をもとに、気相・固相の組成進化を追った数値シミュレーション (Yoneda et al. in prep) など最近の研究例を紹介し、上記 (ii)(iii) の現状と課題を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z321a 宇宙空間でのアミノ酸生成反応機構についての理論的研究

庄司光男、木立佳里、佐藤皓允、小松勇、相川祐理、重田育照、梅村雅之（筑波大）

星間雲中における分子の化学進化は未だ不明な点が多いため、宇宙観測や地上実験により分子形成を検討する研究が近年盛んに行われている。地球に飛来した隕石からはアミノ酸やアミノ酸前駆体（ヒダントイン）が検出されている（G. W. Cooper et al. 1995）。また、観測ではニトリル等のアミノ酸前駆体も見つかっていることから、星間雲中において生体を構成する有機分子（アミノ酸）や高分子が生成されていると予想されている。ALMAでもアミノ酸の直接検出が期待されている。

しかしながら、アミノ酸生成は最も単純なグリシンであっても膨大な反応経路が考えられるため、全貌を解明することは容易ではない。本研究では、グリシンの生成機構について（１）一般的化学合成反応経路と（２）ラジカル反応の２つの機構に絞り、高精度第一原理計算（密度汎関数法）により反応機構を検討した。前者については反応物に水１分子を加えることで氷ダスト上を仮定したモデルで反応機構を検討した。

その結果、化学合成経路では水分子により大きく反応障壁が減少するものの、星間雲での温度に対し、反応障壁が高すぎる事が明らかになった。一方でラジカル反応機構は反応障壁がほとんどない事が明らかになった。そのため、星間中ではラジカル反応過程が好ましいことを支持する結果となった。

京とポスト京を用いる事でリアリストックシミュレーションが可能となる。スパコンの計算能力を活かした研究の発展と関連する重要な未解決問題についても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z322b 高速回転する薄い球殻内の熱対流により引き起こされる表層縞状構造の消滅

佐々木洋平, 竹広真一, 石岡圭一 (京都大学), 中島健介 (九州大学), 林祥介 (神戸大学)

木星と土星の表層の流れは赤道周辺の幅の広い順行ジェットと、中高緯度で交互に現われる幅の狭いジェットによって特徴づけられる。この表層のジェットが深部領域の対流によって生成されているのか、表層の流体運動の結果なのかは未だに明らかになっていない。Heimpel and Aurnou (2007) (以下 HA2007) ではこれまでに考えられていたものより薄い球殻領域内の深部対流運動を考え、レイリー数が十分大きく内球接円筒での対流が活発な場合に、赤道域の順行流と中高緯度の交互に現われる狭いジェットが得られている。しかしながら、彼らの研究では経度方向に8回対称性を仮定しており、全球の1/8の領域の運動しか解いていない。さらに積分時間が1600回転(0.024粘性拡散時間)と短いため、統計的定常状態に達しているか定かではない。そこで本研究では、薄い球殻対流の長時間数値計算を全球で行い、HA2007の主張するように赤道域および中高緯度領域の帯状流が形成されるか否かを吟味した。時間積分の中間段階では、HA2007の結果と整合的な赤道ジェットと中高緯度の縞状構造が出現した。しかしながら、さらに時間積分を進めると、中高緯度が全体に西風加速され縞状構造が消滅していき、最終的には南北中高緯度に幅広の帯状流がそれぞれ1本ずつ出現した。

謝辞：本研究の数値計算には海洋研究開発機構の地球シミュレータ (ES2) を用いた。

参考文献：Heimpel, M., Aurnou, J. (2007) *Icarus*, 187, 540–557.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z323b 暴走温室状態の発生条件に関する大気大循環モデル実験

石渡正樹 (北海道大学・理), 納多哲史 (京都大学・理), 中島健介 (九州大学・理), 高橋芳幸 (神戸大学・理), 竹広真一 (京都大学・数理研), 林祥介 (神戸大学・理)

系外惑星での生命存在可能性を念頭に置き、惑星表層における液体の水の存在条件に関する議論が行なわれている。その1つが、暴走温室状態の発生条件に関する考察である。暴走温室状態とは、表面に海が存在する惑星の湿潤な大気において、大気が射出可能な最大赤外放射量 (射出限界) を越えた入射フラックスが与えられ、熱収支が均衡しえなくなる状態である (Nakajima et al., 1992)。近年の大気大循環モデル (GCM) を用いた研究では大気循環の効果や雲のアルベド効果によって暴走温室状態が発生する太陽定数が決定されると議論されている (Leconte et al., 2013; Yang et al., 2013; Wolf and Toon, 2015 など)。これに対して、我々は、暴走温室状態の発生条件は、全球平均日射吸収量が赤外放射量の最大値を越えることであると予想している。この予想を確かめるため、地球を想定した日射分布、同期回転惑星を想定した日射分布を与えた場合について太陽定数変更実験を行なった。用いたモデルは大気大循環モデル DCPAM5 (<http://www.gfd-dennou.org/library/depam>) である。サブグリッドスケールの物理素過程は気象学分野で標準的なパラメータ化の方法を用いて表現する。雲水量は、生成、移流、乱流拡散、消滅 (雲水量に比例し、消散時間をパラメータとして与える) を考慮した時間発展方程式を解くことにより求める。地表面は全て比熱が 0 の沼地であると仮定する。GCM 実験の結果、大気放射が灰色であるか否か、雲の有無、日射分布によらず、太陽定数が増大した場合には、惑星放射の水平偏差が小さくなった。どの場合でも、赤外放射量最大値を全球平均日射吸収量が越えると暴走温室状態が発生するように見える。赤外放射最大値は系の設定に応じて異なるけれども、暴走温室状態が発生するか否かを決定する機構自体は共通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](#)

Z324b 慣性変化法によるマンツルの熱対流シミュレーション

竹山浩介（東京工業大学）、斎藤貴之（地球生命研究所）、牧野淳一郎（理化学研究所）

地球のマンツル対流の数値シミュレーションは、地震や火山噴火などの惑星の地学現象を理解する上で重要である。これまでのほとんど全てのマンツル対流のシミュレーションは陰解法で行われてきた。陰解法では、CFL条件に制限されない長い時間ステップを可能にする、という利点がある一方、これにより導出される行列は悪条件であり、特に粘性の空間変化が大きい場合への対応が極めて困難である。また、この行列を並列計算機で解くためには、計算ステップごとに計算ノード間のグローバルな通信を必要とし、近年の大規模な並列計算機に向かない。そこで、我々はマンツル対流を陽解法で解くための新たな方法を提案する。

マンツルでは、マッハ数とレイノルズ数が非常に小さいので、これら2つのパラメータを独立に変化させることが可能な定式化（慣性変化法）を考案した。まず、我々はレイノルズ数とマッハ数が1よりも小さい範囲では、流れの性質は変わらない事に注目し、運動方程式の慣性項に粘性依存の係数を乗じる定式化をした。さらに、熱伝導率と粘性を同時にスケールリングし、対流の特徴が変わらない定式化を行った。これら2つの定式化により、マッハ数とレイノルズ数を独立に変化させる事が可能であり、理論的にはこれらのパラメータが1より小さい範囲では対流の性質は変わらない事が予想される。

この方法を実装し、テスト計算を行った結果、慣性変化法によりレイノルズ数・マッハ数を1近くにしても、熱対流の性質は変わらないことが確認出来た。また、粘性が5桁以上変化する場合も計算可能であった。この方法は陽解法であるため、近年の大規模な並列計算機に適しており、将来的に、非常に高解像度のマンツル対流シミュレーションを行えると期待している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z4. 2020年代に向けたニュートリノ天文学の新展開】

3月16日(水) 午後(13:30-15:30) [I会場]

Z401r	13:30	ニュートリノ天文学の歴史と発展・(24)	中畑雅行(東京大学)
Z402a	13:54	Supernova neutrinos and multi-messenger strategies・(18)	Horiuchi, Shunsaku (Virginia Polytechnic Institute & State Univ.)
Z403a	14:12	超新星前兆ニュートリノの観測と大質量星の最終進化・(12)	吉田敬(東京大学)
Z404a	14:24	2次粒子の衝撃波加速による高エネルギーニュートリノのフレーバー比の変更・(12)	川中宣太(東京大学)
Z405b	14:36	数値計算で明らかにする超新星ニュートリノの系統的性質・(3)	中村航(早稲田大学)
Z406b	14:39	重力崩壊型超新星爆発のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射輸送計算・(3)	岩上わか(京都大学)
Z407b	14:42	密度行列を用いた超新星ニュートリノの物質振動の計算・(3)	藤井貴之(東京理科大学)
Z408a	14:45	ハイパーカミオカンデプロジェクト・(18)	塩澤真人(東京大学)
Z409a	15:03	IceCube's Role in Multi-messenger Astronomy・(18)	Relich, Matthew (Chiba Univ.)
Z410b	15:21	Super-Kamiokandeでの暗黒物質対消滅ニュートリノの探索と将来・(3)	伊藤好孝(名古屋大学)
Z411b	15:24	ハイパーカミオカンデにおける天体ニュートリノの観測・(3)	矢野孝臣(神戸大学)
Z412b	15:27	Neutrino Telescope Array (NTA)・(3)	佐々木真人(東京大学)
Z413c		Super-K Gdプロジェクトによる超新星背景ニュートリノの探索	小汐由介(岡山大学)
Z414c		大型液体シンチレータ検出器による超新星ニュートリノ研究の可能性	石徹白晃治(東北大学)

Z401r ニュートリノ天文学の歴史と発展

中畑雅行 (東京大学宇宙線研究所)

カミオカンデにおける超新星 1987A からのニュートリノ観測により、ニュートリノ天文学が始まった。その後も本年度のノーベル物理学賞に関係するスーパーカミオカンデなどによる太陽ニュートリノの観測とそれにともなう太陽ニュートリノ振動と太陽標準模型の確立や、IceCUBE による超高エネルギー天体ニュートリノの観測など、日本の観測グループがニュートリノ天文学を牽引してきた。現在もスーパーカミオカンデにガドリニウムを添加することによる超新星背景ニュートリノの探索実験 (SuperK-Gd) や、カムランドにおけるシリコン燃焼による超新星爆発の予知の研究など、様々なグループによる非常に活発な研究が我が国で展開されている。さらに2020年代の観測開始を目指し、ハイパーカミオカンデなどニュートリノ源天体の観測が可能な次世代の大型プロジェクトも計画されている。

本講演では、ニュートリノ天文学の誕生となった超新星ニュートリノの観測から、現在にいたる本分野の発展について、またスーパーカミオカンデや IceCube など最新の成果を概観し、今後の展開を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z402a **Supernova neutrinos and multi-messenger strategies**

Shunsaku Horiuchi (Virginia Tech)

Neutrinos open new windows to unraveling the mysteries of some of the most violent astrophysical phenomena in the Universe, from the mechanism of supernovae to the origins of cosmic rays. Current and upcoming neutrino detectors are well positioned to realize the promise of neutrino astronomy. This talk will focus on the particular case of core collapse of massive stars and their subsequent supernovae. These explosive transients are ubiquitous, yet timely information on how the core of a massive star collapses is lost when photon messengers are initially obscured by several solar masses of opaque stellar plasma. Consequently, neutrinos offer a unique opportunity to reveal the physical conditions deep in the interiors of core-collapse supernovae in realtime. I will summarize the current theoretical understanding of the supernova explosion mechanism, explore the landscape of neutrino emission predictions, and discuss the importance of neutrinos in the context of multi-messenger astronomy including photons and gravitational waves. In particular, I will focus on recent developments in multi-dimensional simulations of core collapse and multi-progenitor studies, which have allowed multi-messenger signals to be studied across a broad range of realistic systems.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z403a 超新星前兆ニュートリノの観測と大質量星の最終進化

吉田敬, 高橋亘, 梅田秀之 (東京大学)

超新星爆発時には大量のニュートリノが放出されるが、爆発直前のケイ素燃焼期においても相対的に少量、低エネルギーながらニュートリノが放出される。もし数 100pc という近傍で超新星爆発が起きた場合には超新星爆発の数日前のケイ素燃焼から爆発に至るまでに KamLAND で数 10 個程度のニュートリノイベントが観測されると予想されている。2020 年代には HyperKamiokande によるニュートリノ観測が計画され、世界でも JUNO や RENO50 という 20kton サイズのシンチレーション型ニュートリノ検出器や DUNE という液体アルゴンを用いたニュートリノ検出器が計画されている。これらのニュートリノ観測装置を用いれば近傍で超新星爆発が起きた場合に超新星前兆ニュートリノが数 100 個単位で観測されることが予想され、これらの観測から大質量星の最終進化についての情報を得られると考えられる。

本研究では大質量星のケイ素燃焼から重力崩壊に至る進化における星の構造とニュートリノ放出について詳細に調べ、観測される前兆ニュートリノから得られる星内部の進化の情報について調べた。我々は 12, 15, 20 太陽質量の星の進化を水素燃焼から重力崩壊直前まで計算し、酸素燃焼以降における電子陽電子の対消滅によって放出されるニュートリノのスペクトル進化を求めた。結果のひとつとして、ケイ素燃焼が起こる時にはニュートリノ放出率は一時的に減少するがより高エネルギーのニュートリノが出るためにニュートリノイベントの検出率は増加することが得られた。発表では 12, 15, 20 太陽質量の星が進化した超新星爆発が 200pc のところで起きた場合における新しいニュートリノ観測装置による前兆ニュートリノの観測予測について述べ、イベント数の時間変化と超新星の親星の最終進化との関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z404a 2次粒子の衝撃波加速による高エネルギーニュートリノのフレーバー比の変更

川中宣太 (東京大学), 井岡邦仁 (高エネルギー加速器研究機構/総研大)

天体からの高エネルギーニュートリノは、衝撃波や乱流により加速された陽子が周辺の輻射場やガスとの相互作用から生まれた π 中間子や μ 中間子が崩壊することにより生成される。ところでこの π 中間子や μ 中間子は荷電粒子であるため、加速時間が崩壊時間に比べ十分短ければ親粒子である陽子同様、衝撃波や乱流により加速を受ける可能性がある。このとき、生成されるニュートリノのスペクトルは勿論、そのフレーバー比もまた変更を受けることが予測される。我々はまず一般的な衝撃波における π 中間子および μ 中間子の移流拡散方程式を解くことにより、粒子の加速時間が崩壊時間に比べて十分短い極限では地球で観測されるニュートリノフレーバー比 $\nu_e : \nu_\mu : \nu_\tau$ が高エネルギー側では標準的なもの $1 : 1 : 1$ から $1 : 1.8 : 1.8$ に変更を受けることを示した。また、ニュートリノのエネルギースペクトルは高エネルギー側でハードな超過を示し、スペクトルとフレーバー比の両方を見ることでニュートリノ源における粒子加速過程の特性（加速時間や衝撃波のダイナミクスなど）を探ることができることを示した。特に今回は低光度ガンマ線バーストにおいて親星の中を伝搬中のジェット内で生じる内部衝撃波についてこのモデルを適用し、この効果が IceCube や次世代のニュートリノ検出器によって詳しく調べられるであろう PeV – EeV のエネルギーで顕著に見えることを示した。本講演ではこの考察によりニュートリノのフレーバー比という新たな目が天体高エネルギー現象のプロープとして有力であることを主張する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z405b 数値計算で明らかにする超新星ニュートリノの系統的性質

中村航 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星の爆発機構として、ニュートリノ駆動爆発が有力と考えられている。我々の研究グループでは、大量の超新星親星モデルに対してニュートリノと物質の相互作用を考慮した数値計算を実行し、重力崩壊とその後の進化から超新星の系統的性質を明らかにする試みを進めている (Nakamura et al. 2015)。

このような網羅的研究を可能にしたのが、IDSA (Isotropic Diffusion Source Approximation; Liebendörfer et al. 2009) と呼ばれる近似法による計算の高速化と、国立天文台の Cray XC30 に代表される高性能共同利用計算機である。我々の計算は、同種の系統的研究と比較して以下の特徴を備えている：

- (1) 超新星が重力崩壊から爆発に転じる過程を、中心の原始中性子星の進化にともなうニュートリノ放射を解きながら調べている (中心をくり抜いたりニュートリノ光度を手で与えたりしていない)。
- (2) 空間 2 次元なので、ニュートリノ加熱に影響を与える対流や SASI (Standing Accretion Shock Instability) 等の流体不安定性に起因する運動を解くことができる (パラメータで与えていない)。

日本天文学会 2015 年春季年会において、Woosley, Heger, & Weaver (2002) の超新星親星モデル 378 個 (ZAMS 質量 $10.8\text{--}75 M_{\odot}$ 、金属量 $0\text{--}1 Z_{\odot}$) に対する計算結果を発表した。超新星爆発を特徴付ける量として、爆発のエネルギーや中心に残る中性子星の質量は compactness parameter ξ (O'Connor & Ott 2011) とよい相関を示した。今回、ニュートリノ放射に関してより詳細な解析を行いその結果を報告する。ニュートリノ光度・スペクトルの時間発展と、その親星構造依存性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z406b 重力崩壊型超新星爆発のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射輸送計算

岩上わかな（京都大学）、長倉洋樹（京都大学）、松古栄夫（KEK）、住吉光介（沼津高専）、山田章一（早稲田大学）

重力崩壊型超新星は大質量星の進化の最終段階で起こる大爆発であり、爆発と同時に中性子星を形成すると考えられている。しかし、その爆発機構は未だに解明されていない。現在、最も有力であると考えられているものはニュートリノ加熱メカニズムであるが、数値計算の信頼性が高まると同時に爆発に必要なエネルギーが不足して、衝撃波が途中で失速してしまう傾向がある。本研究グループでは、ニュートリノ加熱メカニズムによる爆発機構を検証するために、空間2次元+運動量空間3次元のボルツマン方程式を直接解くニュートリノ輻射輸送計算を行うコードを開発した。このコードでは、特殊相対論的効果を v/c の全てのオーダーで取り入れられるよう工夫がされており、三種類のニュートリノについて電子捕獲反応を始めとする様々な反応を計算をすることができる。また、光学的に厚くもなく薄くもない中間領域を計算することができるのが特徴的である。本研究では、重力崩壊を一次元球対称で計算し、バウンス後にエントロピーの負の勾配が発生した時点で二次元軸対称計算に切り替え、擾乱を与えて流体力学的不安定性が成長する様子をスーパーコンピュータ「京」で計算した。その結果、二次元軸対称で 11.2Msol と 15Msol の星のモデルは爆発しないということがわかった。本講演では、11.2Msol と 15Msol の違いや、ニュートリノ輸送の詳細など、本計算で解析された様々な結果について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](#)

Z407b 密度行列を用いた超新星ニュートリノの物質振動の計算

藤井貴之，横地沙衣子，鈴木英之（東理大理工）

超新星爆発で生成されたニュートリノは，コアから表面に到達するまでにさまざまなものと相互作用する．ひとつは超新星を形成している物質であり，これは線形効果であるため解析的に解くことができる．もうひとつはコア近傍においてニュートリノが大量に存在することに起因する，ニュートリノ自己相互作用である．こちらについては，非線形効果であり，観測結果にどのような影響を与えるのか分かっていない．

自己相互作用を含んだニュートリノ振動の計算手法としては，以前よりフレーバー偏光ベクトルを用いて研究が行われている．それに対して，最近ではニュートリノのフレーバーの存在確率および混在度を成分とする密度行列を用いて計算する手法が提案されている．しかし，この手法を用いた超新星ニュートリノの振動計算はまだされていない．そこで我々は，先行研究 (Y. Zhang and A. Burrows, 2013) に基づいて、ニュートリノ振動について計算するコードを新たに開発した．今回は基礎研究として物質効果までを考慮した計算を行い，従来の計算手法での結果を再現することができた．本講演では，この計算手法とコードについて紹介する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z408a ハイパーカミオカンデプロジェクト

塩澤真人 (東京大学宇宙線研究所), ほか Hyper-Kamiokande Proto Collaboration

ハイパーカミオカンデプロジェクトは、世界最大の核子崩壊・ニュートリノ検出器であるスーパーカミオカンデに比べ約十倍の有効体積をもつメガトンクラスの次世代地下大型水チェレンコフ検出器による実験計画である。本装置では超新星爆発からのニュートリノや太陽ニュートリノなどニュートリノ天文学分野における飛躍的な感度の向上が見込まれる。また本年度のノーベル物理学賞をもたらした大気中で発生するニュートリノ観測や加速器ニュートリノ測定によるニュートリノ振動現象の完全な解明や、宇宙進化の謎にせまるニュートリノ CP 対称性の破れの発見も期待される。さらには暗黒物質対消滅によるニュートリノの探索や大統一理論から予測される陽子崩壊の発見も目指しており、天文学のみならず素粒子物理学・宇宙物理学にまたがる様々な研究目的をもつ計画である。現在、国際的な共同研究グループによって種々の開発が精力的にすすめられており、検出装置の設計作業も最終段階に入っている。

本講演では、ハイパーカミオカンデプロジェクトについて、検出器のデザイン、目指す物理目的とその感度、プロジェクトの現状と今後の予定について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z409a **IceCube 's Role in Multi-messenger Astronomy**

Matthew Relich, (IceCube collaboration)

The IceCube detector is comprised of a cubic kilometer of instrumented ice located at the South Pole. With over 5000 optical modules buried deep in the ice, it measures the properties of muons and electro-magnetic cascades in order to study and probe a variety of physics phenomena from neutrino oscillations, to dark matter, to searching for the origin of astrophysical neutrinos. As IceCube continues to mature, many flagship analyses are moving online to become triggers for observatories around the globe. This presentation will highlight IceCube 's role in multi-messenger astronomy and layout the latest analyses to move into a realtime framework. We discuss how the high energy cosmic ray sources can be identified by the multi-messenger approach triggered by the IceCube's neutrino signals.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z410b Super-Kamiokande での暗黒物質対消滅ニュートリノの探索と将来

伊藤好孝 (名大 ISEE) ほか Super-Kamiokande コラボレーション

暗黒物質の候補である WIMP の対消滅から生成するニュートリノを観測することで暗黒物質の間接的証拠を得ることができる。ニュートリノは他の宇宙線に比べ宇宙物理的な不定性が少ない利点がある。逆に、巨大な観測装置と大気ニュートリノバックグラウンドの存在がネックとなる。このような探索が IceCube などのニュートリノ望遠鏡で精力的に行われているが、Super-Kamiokande では、これまでの精密な大気ニュートリノ振動の解析手法を応用した、比較的軽い WIMP の対消滅ニュートリノ探索が行われている。

銀河ハロー中の WIMP 対消滅ニュートリノ探索では、初期宇宙での WIMP 生成量に関わる WIMP 対消滅断面積 σ_A と速度 v の積 $\langle \sigma_{Av} \rangle$ に感度がある。GeV から TeV の広い WIMP 質量領域について、 $\nu\bar{\nu}$ への分岐に対して、 $\sigma_{Av} < 10^{-24} \sim 10^{-23} \text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ の上限値を得ている。

一方、太陽や地球に侵入した WIMP が物質と散乱して重力場に捕獲されると、やがて対消滅しニュートリノが観測される。この時、ニュートリノの量は WIMP-核子散乱断面積に依存し、反跳原子核を検出する直接探索実験と比較可能となる。特に太陽の場合、直接探索実験で困難な陽子とのスピン依存型散乱の探索に有利である。太陽方向からの WIMP 対消滅探索では、 $\sigma_{SD} < 10^{-41} \text{cm}^2$ ($\tau^+\tau^-$ へのモード) という結果を得ている。この値は直接探索実験を含め、スピン依存型散乱断面積に関して軽い 20GeV 以下の WIMP では最も厳しい制限である。また、直接探索実験が得意とするスピン非依存型散乱断面積についても、10GeV WIMP について $2 \times 10^{-42} \text{cm}^2$ ($\tau^+\tau^-$ へのモード) と、DAMA 実験の主張する領域を一部排除している。今後 Hyper-Kamiokande などの現在の 10 倍以上の体積を持つ検出器ができれば、これらの感度を数倍改善できるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z411b ハイパーカミオカンデにおける天体ニュートリノの観測

矢野孝臣 (神戸大学), ほか Hyper-Kamiokande Proto Collaboration

ハイパーカミオカンデ計画は、メガトンクラスの検出体積を持つ次世代超大型水チェレンコフ検出器による地下実験計画である。ハイパーカミオカンデでは陽子崩壊の探索や、人工ニュートリノビーム・大気ニュートリノによるニュートリノの物理的性質の測定その他、天体からのニュートリノ観測を行うことが計画されている。

ハイパーカミオカンデは現在世界最大の水チェレンコフ検出器であるスーパーカミオカンデ検出器と比して、数十倍の有効体積を持つ。この巨大な有効体積によって太陽や超新星といった天体からのニュートリノを、類を見ない大統計で観測することが可能である。特に太陽ニュートリノについてはニュートリノ混合角 θ_{12} の精密測定、超新星ニュートリノについては大統計の観測による超新星爆発プロセスの詳細にわたる解明、超新星背景ニュートリノについては宇宙における超新星爆発の頻度やその性質の解明が期待される。

本講演ではハイパーカミオカンデを用いた太陽ニュートリノ、超新星ニュートリノ、超新星背景ニュートリノの観測および期待される物理について、計画の概要と物理および検出に関する R&D を交えて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z412b **Neutrino Telescope Array (NTA)**

佐々木真人 (東京大学宇宙線研究所), ほか NTA Collaboration

高エネルギー宇宙の観測研究は重大な転機を迎えている。EeV-ZeV 宇宙線核子観測からカットオフが確認され、その原因は、背景光子による散乱 (GZK) が組成に依存する加速限界が未定だが、いずれにせよ、宇宙線核子の起源は GZK 地平 (40 Mpc) 内近傍に限定される。KeV-TeV 光子観測からはハドロン加速起源の存在が強く示唆される。また、IceCube は PeV ν 3 事例報告し、PeV-EeV のハドロン加速天体の存在を直接的証拠として示しているが、正確な方向決定を伴わず対応天体は未同定のままである。今まさに、Neutrino Telescope Array (NTA) による高感度高解像 ν 観測が要求される。Ashra-1 集光器 1 台で広視野 42 度を 3 分角の高解像で時定数の異なる空気シャワー (AS) からのチェレンコフ光と蛍光を独立にトリガー撮像が可能である。NTA 単位検出器は、Ashra-1 を基礎に 1.5 倍スケールアップした集光器 4 台を同視野を睨むように積み上げて実効 3 m 口径の集光能力をもたせるマルチテレスコープであり、4 集光器から粗像を FOP 束で集めて高感度トリガー判定を行う。ハワイ島の 3 山が囲む地域に複眼検出効率が最大となる三角頂点と中心の 4 地点に単位検出器 30 台を水平方向に向け配備する予定である。30 度以下の仰角をもつ地球かすり ν_τ が変換した τ のシャワー像を精細撮像し、 ν_τ の起源天体を悪くとも 0.2 度以内で同定する。巨大な地殻質量を ν_τ 標的に使い空気中の AS 発光を撮像するため、氷の透過率で制限される IceCube に比べ、PeV-EeV ν に対して 10-100 倍の検出感度を持つ。大気 を無視でき、地殻や山が宇宙線核子 AS による背景事例を遮蔽するため、発見される事例は明快で信頼度が高い。NTA は、Hummer ら (2012) の GRB モデル ν 流量を仮定すると、GZK 地平の 10 倍以上遠方に相当する深さ 600 Mpc まで視野 30 度 \times 360 度の広い範囲において、PeV-EeV ν_τ 天体を探査できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z413c Super-K Gd プロジェクトによる超新星背景ニュートリノの探索

小汐由介 (岡山大学), ほか Super-Kamiokande コラボレーション

宇宙が始まって以来これまでに約 10^{17} 回の超新星爆発が起きていたと計算されており、それに伴うニュートリノは宇宙に満ちていると考えられている。これを超新星背景ニュートリノとよび、観測に成功すれば宇宙の初めからの大質量星の歴史を探ることができる。その観測にはスーパーカミオカンデのような大容量の検出装置が必要であるが、現在はバックグラウンドに埋もれてしまい発見には至っていない。しかしその観測上限値は理論からの予測に迫っており、スーパーカミオカンデの改良により発見を目指すのが Super-K Gd プロジェクトである。

Super-K Gd プロジェクトではスーパーカミオカンデの純水にガドリニウムを添加することにより、特に反電子ニュートリノ反応による中性子の検出効率を向上させ、先発信号である陽電子事象との同時遅延計測を行うことで超新星背景ニュートリノ探索の感度を飛躍的に向上させる。現在、スーパーカミオカンデコラボレーションでプロジェクトを推進することが正式に決定され、実現に向けた様々な R&D を遂行している。

本講演では、プロジェクトの現状、特にスーパーカミオカンデを模した 200 トンガドリニウム添加水チェレンコフ検出器 EGADS による R&D の結果、さらには今後の予定を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z414c 大型液体シンチレータ検出器による超新星ニュートリノ研究の可能性

石徹白晃治 (東北大学)

超新星ニュートリノの観測は超新星爆発のメカニズムの解明やニュートリノ物理の理解の促進につながることが期待されている。現在、世界中で複数の大型ニュートリノ検出器が稼働している。さらに、2020年代には複数の大型液体シンチレータ型ニュートリノ検出器が稼働する。また、日本でも Super-KamLAND-Zen の可能性が提案されている。液体シンチレータ型検出器では、水チェレンコフ型検出器では困難な超新星前兆ニュートリノの観測や反跳陽子を用いたミューオン/タウ型ニュートリノの観測が期待されている。また、近年では液体シンチレータ中でのカーボン反応を用いた電子型ニュートリノの情報抽出方法なども提案されている。

本発表では、実際に稼働している世界最大の液体シンチレータ型検出器である KamLAND の公開されているバックグラウンドデータをもとに将来の大型検出器での可能性を定量的に評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【K. 超新星爆発】

3月14日（月）午後（13:00-14:36）[H会場]

K01a	13:00	マグネター駆動超新星の進化シミュレーション 増山美優（東京大学）
K02a	13:12	降着流の非球対称・非定常性を取り入れた定在降着衝撃波不安定性の線型解析 高橋和也（早稲田大学）
K03a	13:24	前兆ニュートリノの親星依存性 加藤ちなみ（早稲田大学）
K04a	13:36	ボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算コードを用いた重力崩壊型超新星爆発の二次元軸対称計算 岩上わかな（京都大学）
K05a	13:48	Iax 型超新星 SN 2014dt の可視近赤外における中期・後期観測 川端美穂（広島大学）
K06a	14:00	Ia 型超新星の特異な減光則と星周ダストによる多重散乱の効果 長尾崇史（京都大学）
K07a	14:12	MeV ガンマ線超広角撮像カメラによる Ia 型超新星の起源解明可能性 水村好貴（京都大学）
K08b	14:24	白色矮星内部の組成分布が Ia 型超新星の元素合成に与える影響 松尾直人（京都大学）
K09c		IIP および IIL 型超新星の観測と統計的調査に基づく包括的研究 福嶋大樹（大阪教育大学）

K01a マグネター駆動超新星の進化シミュレーション

増山美優, 中野俊男, 茂山俊和 (東京大学)

マグネターは2-12秒の自転周期を持つ中性子星で、磁気双極子放射によって自転が遅くなっているとすると、 $B \sim 10^{14} - 10^{15}$ G もの強力な磁場を持つと考えられる。しかし、マグネターがどのような超新星爆発によって作られたのかはまだよくわかっていない。付随する超新星残骸の観測から、マグネターの親星の質量は40太陽質量程度と示唆されており、このような大質量星が重力崩壊のあとにブラックホールではなく中性子星を残すには、通常を上回る $\sim 10^{52}$ erg 近くの爆発エネルギーが必要となる。また理論的な研究から、1 ms 程度の高速自転をする原始中性子星内部でダイナモ効果により磁場が増幅されマグネターが誕生するという説が提唱されている (Duncan&Thompson 1992)。

そこで我々は、高速で自転する原始マグネターの回転エネルギーが強力な磁気双極子放射によってイジェクタに渡され、重力崩壊が止まり超新星爆発を起した結果マグネターが残されたと考えた。このシナリオを理論的に検証するために本研究では、強磁場を持ち高速回転する原始マグネターの回転エネルギーをエネルギー源とするマグネター駆動超新星の10,000年にわたる進化の流体力学シミュレーションを行った。

その結果、瞬間的にエネルギーを注入するニュートリノ加熱モデルの場合と比較してマグネター駆動超新星は温度が低くなるため ^{56}Ni の合成される量が少なくなり、崩壊後に作られるFeが少ないと予想される。また、マグネター駆動超新星はマグネターから継続的なエネルギー注入があるため、超新星残骸の中心部の密度が下がる傾向にあることが分かった。本講演ではこれらの結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](#)

K02a 降着流の非球対称・非定常性を取り入れた定在降着衝撃波不安定性の線型解析

高橋和也（早稲田大） 山本佑（早稲田大） 岩上わか（早稲田大・京都大） 山田章一（早稲田大）

現在、重力崩壊型超新星爆発の爆発メカニズムとして有力視されているのものの中に、ニュートリノ加熱メカニズムがある。これは原始中性子星から放射されるニュートリノによって、定在降着衝撃波を復活させるメカニズムである。定在降着衝撃波不安定性は、実行的にニュートリノ加熱効率を上げることで、衝撃波復活に大きく寄与すると考えられている多次元の流体不安定性である。

近年、重力崩壊を起こす親星の特徴の1つとして、鉄コア上層部のシリコン・酸素層の核燃焼に由来する対流が着目されている。この対流によって定在降着衝撃波の上流は非球対称・非定常となるが、このような状況は爆発に有利に働くということが、Couch & Ott (2014) などの数値計算によって報告されたからである。

このような背景の下、本研究では、降着流の非球対称・非定常性を取り入れた定在降着衝撃波不安定性の線型解析を行うことで、上層の対流が衝撃波ダイナミクスに与える影響を系統的に調べた。本発表では、バックグラウンドに1次元球対称流を仮定した場合の線型解析の結果と、多次元流への応用の仕方について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a 前兆ニュートリノの親星依存性

加藤ちなみ(早稲田大学), 山田章一(早稲田大学), 長倉洋樹(California Institute of Technology), 高橋亘(東京大学), 吉田敬(東京大学), 梅田秀之(東京大学), 石徹白晃治(東北大学)

SN1987Aをはじめとして、超新星爆発は主なニュートリノの放出源としてよく知られている。しかし、ニュートリノ自体は、爆発のおよそ数か月前より主に中心部から盛んに放出されている。そして、中心部での温度や密度を操り、進化の経路を決める。この爆発前に放出されるニュートリノを「前兆ニュートリノ」と呼ぶ。これらは、近距離($\sim 1\text{kpc}$)の親星については次世代の大型ニュートリノ観測装置で検出ができ、直接的な親星の中心構造の解明につながると期待されている。(Kato et al. 2015)

そこで本研究では、親星の判別手段の一つとして、前兆ニュートリノの観測を提案する。具体的には、初期質量の違う親星の進化計算及び重力崩壊計算によって得られた密度や温度を用いて、ニュートリノのスペクトル及びルミノシティを計算し、次世代のニュートリノ観測装置におけるイベント数を見積もることで、観測的な観点からの判別可能性を示す。日本天文学会 2015 年春季年会において報告した、親星の進化後半の前兆ニュートリノの計算に加え、重力崩壊段階における前兆ニュートリノの計算を行い、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](#)

K04a **ボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算コードを用いた重力崩壊型超新星爆発の二次元軸対称計算**

岩上わかな（京都大学）、長倉洋樹（京都大学）、松古栄夫（KEK）、住吉光介（沼津高専）、山田章一（早稲田大学）

大質量星は一生の最後に大爆発を起こし重力崩壊型超新星を経て中性子星を形成すると考えられている。しかし、その爆発機構は未だに謎に包まれており、精力的に研究が行われている。現在、ニュートリノ加熱メカニズムによる爆発機構に注目が集まっているが、その爆発機構を検証するためにはニュートリノ輻射輸送計算を正確に行う必要がある。近年、空間2次元+運動量空間3次元のボルツマン方程式を直接解くニュートリノ輻射輸送計算コードが開発された。光学的に厚くもなく薄くもない中間領域をも計算することができるこのコードを利用すれば、特殊相対論的効果を v/c の全てのオーダーで計算することができ、三種類のニュートリノに関する多くの反応を計算をすることができる。本研究では、重力崩壊からバウンスまでの一次元球対称計算を東大FXで、バウンス後の二次元軸対称計算をスーパーコンピュータ「京」で計算した。二次元軸対称計算において、バウンス後にエントロピーの負の勾配が発生する時点で擾乱を与えたところ、11.2Msolと15Msol共に対流が発生し一旦衝撃波が大きく膨んだが、11.2Msolではゆっくりと衝撃波が収縮し、15Msolでは定在降着衝撃波不安定性（SASI）が発達して、爆発には至ることはなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K05a Iax 型超新星 SN 2014dt の可視近赤外における中期・後期観測

川端美穂, 川端弘治, 高木勝俊, 中岡竜也, 伊藤亮介, 神田優花, 高田紘司 (広島大), 山中雅之 (甲南大), 前田啓一 (京都大), 松本桂, 福嶋大樹, 増本一成 (大阪教育大), 森谷友由希 (Kavli IPMU)

Ia 型超新星は近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達する際、主要元素の一部である炭素の燃焼が発生、熱核暴走反応によって爆発現象を引き起こす。Ia 型超新星では、極大光度と減光速度の相関関係があることが知られており、銀河の宇宙論的な距離指標となっている。しかし近年になり、減光速度は典型的な Ia 型超新星と違いがないものにも拘らず、極大光度は 1 等以上暗いものが複数見つかってきた。この特異な Ia 型超新星は Iax 型超新星と呼ばれ (Foley et al. 2014)、異常な暗さの他に、放出物質の速度が遅い、初期には高温のスペクトルを示すなどの特徴を示す。その爆発モデルは未解決であり、精力的に研究が進められている。

SN 2014dt は近傍銀河 M61 で 2014 年 10 月 29 日に板垣公一氏によって発見され、10 月 31 日には Iax 型超新星と同定された (Ochner et al. 2014)。我々は 11 月 3 日よりフォローアップ観測を開始し、広島大学かなた望遠鏡、大阪教育大学 51cm 反射望遠鏡、すばる望遠鏡を用い、*BVRIJHK_s* バンドにおける測光、及び可視分光観測を行った。発見がやや遅れ、極大以降の観測となったが、約 290 日後までの長期にわたる多バンドでの連続測光観測例としては初めてである。スペクトルは過去に良く観測された Iax 型超新星 SN 2005hk に似ているものの、SN 2014dt の方はやや吸収線が細く、青方変位量も小さいことから、爆発エネルギーが小さいことが示唆される。後期の光度変化では SN 2005hk よりも緩やかな減光を示し、Iax 型超新星によってもばらつきが見られることが分かった。本講演では SN 2014dt の爆発パラメータを推定し、爆発モデルについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a **Ia型超新星の特異な減光則と星周ダストによる多重散乱の効果**

長尾崇史、前田啓一（京都大学）、野沢貴也（国立天文台）

Ia型超新星は絶対光度と光度の減衰率に関係があり、距離測定の指標として使われている（Riess et al. 1998; Perlmutter et al. 1999）。この際、距離の見積もりで一番大きな不定性が生じるのは減光の補正である。Ia型超新星は観測的に特異な減光則（小さな R_V ）を示すことが知られており、このIa型超新星の減光の理解の不足が距離測定において大きな不定性となっている。その為、この特異な減光則を理解することは精密宇宙論にとって重要である。この特異な減光則をIa型超新星周りの星周ダストによる多重散乱で再現できるという提案がある（Wang 2005; Goobar 2008）。しかし、これらの研究ではいくつかのダストモデルについてのみ議論しており、どのような性質を持つダストであればそのような小さな R_V を再現するのか分かっていない。本研究では、多重散乱によって小さな R_V を再現するためにはどのようなダストが必要かを明らかにすることを目的とした。様々な散乱係数、吸収係数を持つ星周ダストモデルを使用し、定常光源の星周ダスト内での輻射輸送計算を行った。その結果、Vバンドに対するBバンドのアルベドの比が小さく、逆に質量減光係数の比が大きい場合にのみ多重散乱で小さな R_V を達成できることが分かった。またこのような光学特性を持つダストとして条件を満たすものは、サイズの小さなシリケートダスト、あるいはPAHであることを明らかにした。つまり、多重散乱により R_V が小さくなるという効果は普遍的なものではなく、ダストの種類やサイズに依存すること、またIa型超新星に対して測定された R_V から親星進化の過程で生成・放出するダストに制限をつけられることを明らかにした。また実際のIa型超新星は非定常光源であり、光源の時間進化によって多重散乱の効果がどのように影響されるのかも議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K07a MeV ガンマ線超広角撮像カメラによる Ia 型超新星の起源解明可能性

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 岸本哲朗, 古村翔太郎, 宮本奨平, 水本哲矢, 中増勇真, 園田真也, 竹村泰斗, 吉川慶, 窪秀利, 松岡佳大, 中村輝石, Parker Joseph, 友野大 (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)

天文学における Ia 型超新星爆発は、宇宙への元素供給源としても、観測上の距離指標としても重要な天体現象である。その発生過程として、白色矮星からの様々な進化・爆発モデルが提案され、伴星からの質量降着を経て着火する SD モデルと、白色矮星同士の連星融合にて爆発する DD モデルの二過程が広く支持されつつあるが、どちらが主要な過程なのか活発な議論が続いている。近年、Ia 型超新星の爆発過程診断手法として、MeV ガンマ線観測での時間発展分析の有効性が説かれた (A. Summa, et al., 2013)。INTEGRAL 衛星による SN2014J の観測でも時間発展分析が行われたが、その観測統計量は十分でなく、現在のところ観測性能が十分な全天型ガンマ線望遠鏡の稼働計画も無い。

我々は超広角撮像分光性能を持つ MeV ガンマ線望遠鏡 (ETCC) の開発を続け、地上評価試験結果および準備状況を観測機器セッション等で報告を続けている。また、Ia 型超新星の起源解明を目指した ETCC 将来機での全天撮像のシミュレーションにて、多数の Ia 型超新星の光度曲線を足し合わせる事で、SD モデル・DD モデルのどちらが Ia 型超新星の爆発過程なのか、さらに両者が混在していた場合にどちらが支配的な過程なのか解明できる事を報告済みである。本講演では、Ia 型超新星の爆発過程診断の確実性を高めるため、観測ガンマ線光度の時間発展のみならず、 ^{56}Ni および ^{56}Co から期待されるラインガンマ線の時間変化を分析し、hardness ratio 等の別アプローチを組み合わせた検討結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08b 白色矮星内部の組成分布が Ia 型超新星の元素合成に与える影響

松尾直人, 前田啓一 (京都大学)

Ia 型超新星 (以下 SNIa) とは連星系での白色矮星 (以下 WD) が爆発する現象であり、鉄族元素の起源や標準光源として宇宙を研究する上で重要な役割を果たす。しかし、爆発に至るまでの進化などは完全には理解されていない。近年観測技術の発達により SNIa には無視できない多様性があることがわかり、その多様性を説明するため様々な爆発モデルが提唱されている。その中には WD の限界質量である Chandrasekhar mass (以下 Mch) に到達する前に爆発する Sub-Mch の爆発モデルもある。しかし、Sub-Mch モデルは Mch モデルと比較して中性子過剰な鉄族元素の量や ejecta での分布が異なるという問題が存在する。Mch モデルでは ejecta の内側に中性子過剰な鉄族元素が多量に存在するが、Sub-Mch モデルの計算ではそうっていない。これは Mch モデルの中性子源が「電子捕獲」と「質量数 22 の Ne」(以下 ^{22}Ne) であるのに対し、Sub-Mch モデルの中性子源は「 ^{22}Ne 」に限られるためである。

従来の Sub-Mch モデルは WD の元素分布は一様を仮定しているが、実際の WD では内部の温度がそれほど大きくないため、ガスが結晶化している場合があると考えられる。この結晶化により原子番号の大きな元素ほど沈殿が起こりやすくなり、 ^{22}Ne が他の元素に比べ WD の内側に集中した分布になる可能性が考えられる。

そこで本研究では、 ^{22}Ne が内側に集中して存在する非一様な元素分布をもつ Sub-Mch の WD モデルを用いて、流体力学と核反応のシミュレーションを行った。この結果、元素組成が一様な場合に比べ爆発後の中性子過剰な鉄族元素の量や ejecta での分布が異なることがわかった。この結果に基づき、Sub-Mch WD の爆発モデルで観測データを説明できるか、そのためにはどの程度の元素組成の非一様性が必要かを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K09c IIP および IIL 型超新星の観測と統計的調査に基づく包括的研究

福嶋大樹、松本桂、増本一成、前田一樹 (大阪教育大学)、山中雅之 (甲南大学)、前田啓一 (京都大学)、川端弘治、高木勝俊、中岡竜也、川端美穂 (広島大学)

II 型超新星は光度曲線の減光速度によって極大後 80 ~ 120 日間程度にわたってほぼ光度が一定である期間 (plateau phase) が認められる IIP 型と極大後直線的に減光する IIL 型に分類されてきた。減光速度の違いは爆発前の親星が持っていた水素の質量に起因すると考えられているが、その起源が二つの種族であるのか、同一であるのか明らかになっていない。一方で、近年 II 型超新星のシステムティックな観測サンプルに基づき、極大光度、光度曲線の傾きや plateau length などのパラメータに対する統計調査が盛んに行われている (Anderson et al. 2014, Faran et al. 2014)。

近年、爆発初期から tail phase に至るまで観測された IIL 型超新星のサンプル数が増加している。いくつかの IIL 型超新星において、IIP 型超新星の plateau phase の終わり頃に見られるような急減光が見られることがわかった (Valenti et al. 2015)。また、我々も 2015 年秋季年会において、大阪教育大学の 51cm 反射望遠鏡を使って、IIL 型超新星 SN 2014G にもこのような急減光が見られた事を報告している。

本講演では、特に爆発初期から tail phase に至るまでよく観測された IIP および IIL 型超新星のサンプルを集め、それらの光度曲線より求めた爆発における各超新星の全放射エネルギーに注目し、極大光度や爆発で生成された ^{56}Ni 質量などとの統計調査を行った。するといくつかの観測量において、放射エネルギーと強い相関のあることを見出すことができた。これら統計調査の結果から、これまでの研究でほとんど議論されてこなかった放射エネルギーが親星・爆発の性質を特定する上で非常に有用であることを提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

3月14日（月）午後（13:00-13:48）[F会場]

L01a	13:00	X線天文衛星「すざく」による太陽極大付近での木星観測	江副祐一郎（首都大学東京）
L02a	13:12	外縁天体表面の水氷結晶度測定	寺居剛（国立天文台）
L03a	13:24	「あかり」遠赤外線全天画像に基づく黄道光ダストバンド構造の抽出	大坪貴文（東京大学）
L04b	13:36	チェリャビンスク火球の発光メカニズム	柳澤正久（電気通信大学）
L05b	13:36	アジア太平洋地域小惑星観測ネットワーク APAON の構築	奥村真一郎（日本スペースガード協会）
L06b	13:36	ひさき衛星によるイオ周辺の酸素原子 130.4nm 発光の時間変動解析	古賀亮一（東北大学）
L07c		流星群の4次元予報計算	佐藤勲（日本大学）
L08c		ハレアカラ 60cm 望遠鏡による土星衛星エンケラドス・トラス酸素原子発光の観測	小野紘夢（東北大学）
L09c		低活性彗星 209P/LINEAR の可視・近赤外偏光観測	黒田大介（国立天文台）

L01a X線天文衛星「すざく」による太陽極大付近での木星観測

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

2000年代に入り、最新のX線天文衛星によって、さまざまな太陽系天体からX線放射が発見されている (Bhardwaj et al. 2007 PPS)。しかし、多くの天体の放射メカニズムには未知の部分が多い。我々は2006年の太陽極小期付近に「すざく」によって観測した木星データを解析した。そして、1–5 keVバンドで木星周辺の $\sim 20 \times 8$ 木星半径に広がった放射を発見した (Ezoe et al. 2010 ApJ)。1–5 keVのスペクトルは光子指数 1.4 ± 0.2 の巾関数で再現され、非熱的な放射を強く示唆する。我々はX線のスペクトル形状や、過去の探査衛星による粒子計測などから、木星の内部放射線帯に存在する数十 MeV 電子による太陽光の逆コンプトン放射説を提案した。

今回、我々は太陽極大付近の2014年4月15–21日に「すざく」で木星を160 ks再観測した。1–5 keVのイメージにはやはり広がったX線放射の兆候が見られ、スペクトルも光子指数 $1.0_{-0.6}^{+0.5}$ の巾関数で再現できた。我々は射影イメージの広がりから、木星本体と広がった放射の寄与を切り分けて、0.2–1 keVと1–5 keVでのX線光度を見積もった。その結果、0.2–1 keVのX線は木星のみで説明できるが、2014年は 1.8×10^{16} erg/s と2006年に比べて約5倍増加していること、1–5 keV光度は木星が 2.8×10^{15} erg/s と約3倍増加したのに対して、広がったX線は 3.3×10^{15} erg/s と有意な変動がないことを見いだした。木星本体のX線光度の増加は、太陽X線と太陽風の増加に伴うものと考えられる。一方、広がったX線が逆コンプトンとすると、これはMeV電子密度とスペクトルに大きな変化がないことを示唆する。これは木星から ~ 2 木星半径内に見られるMeV電子によるシンクトロン電波強度が太陽活動によって $\sim 30\%$ しか変わらないことと一致しており、逆コンプトン説を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a 外縁天体表面の水氷結晶度測定

寺居剛（国立天文台ハワイ観測所），伊藤洋一（兵庫県立大学），大朝由美子（埼玉大学），古
荘玲子，渡部潤一（国立天文台）

近年の近赤外分光観測により，多くの太陽系外縁天体（TNOs）で結晶質の水氷が検出されている．外縁領域は非常に低温の環境であるため，円盤ガスから凝集した当初の水氷は非晶質だったと考えられている．結晶質氷の存在を説明するには，何らかの原因によって100K程度に加熱されて天体表面上で結晶化した，あるいは氷火山によって天体内部から供給される必要がある．いくつかの仮説が提案されているものの，そのメカニズムは明らかにされていない．これまでの分光観測で多数のTNOsのスペクトルが取得されているが，一部の明るい天体を除いてその多くが結晶質氷の有無を判別できるだけの精度に達しておらず，結晶質氷はTNO全般に見られるのか，あるいは天体サイズや形成・進化過程に依存するのかも判明していない．

我々は，すばる望遠鏡/近赤外多天体撮像分光装置 MOIRCS と狭帯域フィルター NB1657 を用いた TNOs の測光観測を実施し，結晶質の水氷のみが示す $1.65 \mu\text{m}$ 吸収の強度を高い精度で測定する手法を確立した．本講演では，(1) すでに結晶質氷の存在が確認されている3天体（Haumea, Quaoar, Orcus）について，本研究でも同様に高い結晶度値が得られたこと，(2) Orcus の結晶度は Haumea や Quaoar に比べて低いことが確認されたこと，(3) 中型の TNO 2 天体からも結晶質氷の存在が示されたことを報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a 「あかり」遠赤外線全天画像に基づく黄道光ダストバンド構造の抽出

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

太陽系内の惑星間塵からの熱放射である黄道光放射は、中間赤外線波長域 ($\sim 20 \mu\text{m}$) にその放射のピークを持つが、遠赤外線波長域 ($< 100 \mu\text{m}$) でも銀河面以外では空の明るさの大きな部分を占めている。赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線全天画像データ (65, 90, 140, 160 μm) は、現在広く一般に対し公開されている (2015年春季年会、土井他) が、これは黄道光研究にとっても重要なデータである。黄道光の空間的微小構造として、小惑星ダストバンドが過去の赤外線衛星の観測で検出されていたが、「あかり」の遠赤外線画像でも、短波長側 (65, 90 μm) で黄道面付近と黄緯 $\pm 10^\circ$ の数 MJy/sr レベルのダストバンドが明確に検出できていることを確認した (2015年春季年会、大坪他)。「あかり」遠赤外線全天画像の公開によって、60 μm よりも長い波長域でこのダストバンド構造をほぼ全黄経に渡って詳細に解析できるようになった。そこで今回我々は更に解析を進め、この構造の黄緯、幅、強度をガウシアン・フィッティングを基にモデル化し、小惑星ダストバンドの表面輝度全天分布のテンプレート作成を完了した。過去の IRAS 衛星で確認されたダストバンドのうち、 $\sim 1\text{--}2 \text{ MJy/sr}$ の黄緯 $\pm 1.4^\circ$, $\pm 2.1^\circ$, $\pm 10^\circ$ の主要な 3 つに加え、今回 $\pm 17^\circ$ 付近の構造もわずかながら検出された。長波長側の 140, 160 μm の 2 つの波長帯では明確なダストバンドは検出されなかった。今回求めた黄道光ダストバンドのテンプレートを差し引くことで、 $> 1 \text{ MJy/sr}$ 以上の太陽系起源の前景放射の影響を幅広い黄緯において取り除くことができ、銀河系ダスト放射に関しても、「あかり」の遠赤外線全天画像を用いてより詳細な科学的解析が可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04b チェリャビンスク火球の発光メカニズム

柳澤正久 (電気通信大学)

2013年2月15日3時20分(世界時)にロシア南西部の都市チェリャビンスク(Chelyabinsk)近郊で観測されたチェリャビンスク火球の爆発規模はTNT爆薬500kton相当で(1kton = 4.2e12 J)、天体衝突が原因と考えられている1908年のツングースカ爆発(約2000kton)に次ぐ大きさだった。アポロ型小惑星の軌道を持つLL5コンドライト組成のメテオロイドの地球大気との衝突が原因だった。我々は、車載カメラによって撮影された動画を解析し、火球のRGB(赤、緑、青)の各バンドでの明るさの時間変化を調べた。そしてバンド間での明るさの比が黒体放射で説明できるかどうかを検討した。なお、このカメラでは、非常に強い光が入射した場合に、像が真白に飽和するのではなく、逆に黒くなるというCMOSイメージセンサ特有の性質が十分補正されていない。そのため、火球の最も明るい部分が暗い像として浮かび上がっており、その形状を知ることができた。結果は次のようにまとめることができる：(a) 光エネルギーの90%は、高度47kmで始まったメテオロイドの分裂に伴う1-2秒間のフレア(光度が急激に増大する現象)で放出された；(b) 高度47km以上での放射は、黒体放射ではなかった；(c) フレア時のスペクトルは約4000Kの黒体放射と矛盾しない；(d) 放射領域は、最も明るい時には直径1km、長さ7kmに及んだ。結果(c)(d)は高度80km以上での流星の発光とは異なる。流星では線スペクトルが卓越しており、また、主な発光領域の長さは直径に比べて2倍程度である。低高度(47km以下)でのメテオロイドの分裂がその発光特性に大きな影響を与えたようである。なお、以上の結果の詳細については以下を参照されたい。M. Yanagisawa, Radiative characteristics of the Chelyabinsk superbolide, Planetary and Space Science., 118C, 79-89, 2015.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

L05b アジア太平洋地域小惑星観測ネットワーク APAON の構築

奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真 (JAXA), 渡部潤一 (国立天文台), ほか APAON メンバー

天体の地球衝突問題の対策 (いわゆるスペースガード) は人類にとって重要な課題であり国連でも議論されてきたが、2013年2月のチェリャビンスク隕石の落下によりその重要性はさらに認識されるようになった。現状、地球接近小天体の発見の多くは米国本土とハワイの観測による成果である。新発見天体は発見後速やかに追跡観測を実施しないと見失ってしまうことがあるが、米国・ハワイで発見された天体の追跡観測という観点でアジア・太平洋地域での観測は非常に重要である。しかしこの地域では、このような追跡観測が組織だって実施されることはなかった。

そこで我々は、アジア太平洋地域の観測所、研究者のほかアマチュアのアstromerにも呼びかけ、地球接近小惑星をはじめとして小惑星観測への取り組みをこの地域で充実させる事を目指し、小惑星観測ネットワーク APAON (Asia-Pacific Asteroid Observation Network) の構築を進めている。現在、日本の他タイ、インドネシア、マカオ、台湾、中国、マレーシア、ウズベキスタン、モンゴル、韓国、チリにある観測所の協力が得られている。APAON の構築によりスペースガード的な観測に留まらず、多種多様な観測装置による科学観測やアウトリーチ活動の進展も期待できる。本講演ではこれまでの APAON の取り組みと今後の展望について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L06b **ひさき衛星によるイオ周辺の酸素原子 130.4nm 発光の時間変動解析**

古賀亮一, 土屋史紀, 鍵谷将人, 坂野井健, 米田瑞生 (東北大学), 吉川一朗, 吉岡和夫 (東京大学), 村上豪, 山崎豪 (宇宙科学研究所), 木村智樹 (理化学研究所)

木星の衛星イオとエウロパでは火山活動が確認されている。この原因として、木星からの潮汐作用や公転周期の比が整数比になる軌道共鳴 (イオ:エウロパ:ガニメデ=1:2:4) による相互作用が挙げられる。このように潮汐作用や軌道共鳴によって火山活動がおきている衛星は土星のエンセラドスやタイタン、海王星のトリトンが挙げられ、また互いに共回転しているカイパーベルト天体の冥王星とカロンにもニューホライズンの観測によって氷火山の存在が発見された。これらの天体の火山活動を考えるモデルケースとしてイオやエウロパの火山活動によって放出されたガスのモニタリング観測は重要である。地上観測のナトリウム 589nm 発光観測 (Yoneda et al., 2015) と、ひさき衛星によるイオプラズマトラスの紫外観測 (Tsuchiya et al., 2015) から、2015年13月にイオ火山活動が活発化したことが確認された。本研究ではこの現象に着目し、ひさき衛星によって2014年11月27日 2015年5月14日の期間に連続観測されたイオ火山起源の酸素原子 130.4nm 発光強度を解析した。この発光は太陽光の共鳴散乱と電子衝突励起の両方により引き起こされる点に注意が必要である。その結果、酸素原子発光の増光が1月16日頃から開始し、2月中旬にピークとなったことが確認された。これは地上観測によるナトリウム 589nm 発光増光の結果と整合的である。2月中旬以降の減光時には、ナトリウム発光と比較して酸素原子発光は20日ほど平常時に戻るのが遅くなった。講演では、この増光現象の詳細な結果とその物理的解釈を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L07c 流星群の4次元予報計算

今村優志, 佐藤勲, 阿部新助 (日本大学)

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

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

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L08c ハレアカラ 60cm 望遠鏡による土星衛星エンケラドストーラス酸素原子発光の観測

小野紘夢、坂野井健、鍵谷将人 (東北大)

土星の衛星エンケラドスは、その南極域から水蒸気を中心としたプルームを噴出している。このために、土星磁気圏内は中性粒子に富んでおり、その密度はプラズマ密度の約 10 倍と言われる。しかしながら、その空間分布・時間変動の継続した観測は行われていない。そこで、本研究では、長期間モニター観測可能な占有望遠鏡を用いてエンケラドストーラスの時空間変動を観測データより議論することを目的とし、トーラス中の酸素原子の太陽光共鳴散乱および電子衝突励起による 630.0nm 発光に着目する。

我々は、ハワイ・ハレアカラ観測所にある東北大学 60cm 望遠鏡及び可視エシエル分光器 Vispec (波長分解能 37,000) を用いて、2015 年 8 月 31 日から 9 月 18 日までエンケラドストーラスの連続観測を行った。観測波長帯は約 629–632nm とし、4 秒角 × 3 分角スリットを土星東側 3.9Rs の位置に南北方向に置いた。露光時間は 1 フレーム 20 分とた。総積分時間 7 時間のデータから、エンケラドス軌道位置 (3.9 土星半径) における有意な酸素原子発光は検出されなかった。誤差解析を行った結果、この領域における酸素原子発光波長の平均の明るさは $-0.2 \pm 1.7 \text{Rayleigh} (= 10^6 \text{ph}/4\pi/\text{s}/\text{cm}^2/\text{sr})$ となり、発光強度の上限値は 1.5R であることが分かった。2009 年の我々の観測では $4 \pm 2\text{R}$ の発光強度であり、有意な減光が確認された。本発表では、この先行研究との比較や、HISAKI/EXCEE D による極端紫外域での酸素原子発光の観測の結果と比較しながら、発光強度減少の原因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09c

低活性彗星 209P/LINEAR の可視・近赤外偏光観測

黒田大介 (NAOJ), 石黒正晃 (ソウル大), 渡辺誠 (北大), 秋田谷洋 (広大), 高橋隼 (兵県大), 長谷川直 (JAXA), 宇井崇紘, 神田優花, 高木勝俊, 伊藤亮介 (広大), 森谷友由希 (東大), 今井正亮, 合田周平 (北大), 高木悠平, 森鼻久美子, 本田敏志 (兵県大), 新井彰 (京産大), 花山秀和 (NAOJ), 永山貴宏 (鹿児島大), 野上大作 (京大), 村田勝寛 (名大), 猿楽祐樹, 諸隈智貴 (東大), 斉藤嘉彦 (東工大), 大朝由美子 (埼大), 関口和寛, 渡部潤一 (NAOJ), 光・赤外線天文学大学間連携観測チーム

本研究では、低活性の木星族彗星 209P/LINEAR について、ダストとガスからなるコマ部分が光学的に薄いことと利用し、彗星核とコマの直線偏光度を導いた (Kuorda et al., 2015, ApJ, 814, 156)。観測は、光・赤外線天文学大学間連携観測ネットワーク (OISTER) による測光・偏光観測キャンペーンとして行った。偏光観測は、観測装置 MSI(北海道大学ピリカ望遠鏡) と HONIR(広島大学かなた望遠鏡) を用いて 5 夜実施した。

209P のような活動度の低い彗星の偏光度は、核とコマのフラックス比によって変化すると考えられる。彗星核は恒星と同様の PSF をもつと仮定し、測光モニター (Ishiguro et al. 2015, ApJL, 798, L34) から得た核の等級と合わせることでフラックス比を推定できる。それぞれ FWHM の 1-5 倍のアーチャーで測定した値から計算した偏光度と推定したフラックス比の比例関係から、彗星核とコマの偏光度を算出した。

経験的な関数でフィッティングすると、その最大値は彗星核で 30.8%、コマのみで 29.6% とどちらも高い偏光度を示した。この彗星核の偏光度の最大値とアルベドの間に、Umov law が成立するとすると、1-100 μm サイズのレゴリス粒子の存在を示唆する。また、Rc と J バンドの間では、その偏光度に大きな差はなかった。

本講演では、上記に加え、彗星核と小惑星の偏光度の比較、ガスコンタミネーションの可能性も含め報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

3月15日(火) 午後(13:30-15:18) [A会場]

M01a	13:30	太陽 Lyman α 線偏光分光観測ロケット実験 CLASP での彩層散乱偏光観測 鹿野良平 (国立天文台)
M02a	13:42	CLASP/SJ で捉えた太陽彩層に偏在し高速で伝播する準周期的振動現象 久保雅仁 (国立天文台)
M03a	13:54	CLASP が捉えた太陽ライマン α 線偏光スペクトルの時間変化 成影典之 (国立天文台)
M04a	14:06	次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」今後の進め方 渡邊鉄哉 (国立天文台)
M05a	14:18	Sunrise 気球実験による太陽彩層大気の高解像度・高感度偏光分光観測 勝川行雄 (国立天文台)
M06a	14:30	2波長同時撮像による彩層微細構造の速度場観測 一本潔 (京都大学)
M07b	14:42	Mg II triplet 線を用いた彩層増光現象の観測とエネルギーの見積もり 加納龍一 (東京大学)
M08b	14:42	Parameter survey of mode coupling in a single sheared current sheet Wang, Shuoyang (The University of Tokyo)
M09b	14:42	SMART-T4 の観測による 2015 年 8 月 24 日の M5.6 フレアのトリガと大規模コロナ磁場構造の変動について 永田伸一 (京都大学)
M10b	14:54	活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発 塩田大幸 (名古屋大学)
M11b	14:54	CALLISTO 受信機を用いた茨城大学太陽電波観測装置 鷺田英舞 (茨城大学)
M12b	14:54	NICT 太陽電波望遠鏡-IV 久保勇樹 (情報通信研究機構)
M13b	15:06	太陽ライマンアルファ線偏光分光観測ロケット CLASP 飛行時の波長板モーターの性能 石川真之介 (宇宙航空研究開発機構)
M14b	15:06	飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の補償光学装置及びイメージローテーターの偏光特性測定 阿南徹 (京都大学)
M15b	15:06	太陽彩層偏光観測装置 (Chro-Mag-Ro) の開発状況 萩野正興 (国立天文台)
M16c		2015 年 10 月 19 日~23 日に発生した C クラスフレアの高速度 2 次元分光観測 當村一朗 (大阪府大高専)
M17c		6-14 世紀の古文獻オーロラ・黒点記録サーベイ 玉澤春史 (京都大学)

3月16日(水) 午前(09:30-11:30) [A会場]

M18a	09:30	コロナループ足下の遷移層におけるサブ秒角増光現象の観測的研究 木村泰久 (東京大学)
M19a	09:42	コロナルレインと下層大気の相互作用とその時空間スケール 石川遼太郎 (東北大学)
M20a	09:54	時間距離図における二重リッジ問題について 神原永昌 (総合研究大学院大学/国立天文台)
M21a	10:06	Hinode-IRIS 共同観測による MHD 波動のエネルギー散逸量の見積もり 加納龍一 (東京大学)
M22a	10:18	アルフベン波に対する強い衝撃波の非線形効果 庄田宗人 (東京大学)
M23a	10:30	太陽彩層伝播アルフベン波のモード変換効率計算 河野隼也 (東京大学)
M24a	10:42	プラズモイド型リコネクションにおける圧縮性効果(2) 銭谷誠司 (国立天文台)
M25a	10:54	太陽コロナにおけるダブルアーク不安定性 石黒直行 (名古屋大学)
M26a	11:06	Thermal Evolution of Reconnection Outflows in Solar Eruptions Cheung, Mark C. M. (国立天文台)
M27a	11:18	太陽電波ゼブラパターンの統計的偏波特性 金田和鷹 (東北大学)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

3月16日(水) 午後(13:30-15:18) [A会場]

M28a	13:30	CME時に観測されたEUV波によるプロミネンス振動	花岡庸一郎(国立天文台)
M29a	13:42	強密度成層が誘起するダイナモ生成磁束の浮上と活動領域の自発的形成	政田洋平(愛知教育大学)
M30a	13:54	磁気要素の自動追跡モジュールを用いた太陽黒点の崩壊過程の解析	加藤翔大(名古屋大学)
M31a	14:06	大規模画像データを用いた太陽コロナホール生成・消滅過程の研究	加納大空(名古屋大学)
M32a	14:18	St. Patrick's eventの数値シミュレーション:高速太陽風について	田光江(情報通信研究機構)
M33a	14:30	EIS観測における迷光寄与の評価と太陽活動長期変動に伴う極域構造の変化	藤下祐人(名古屋大学)
M34a	14:42	ひので/XRTで検出された高エネルギー粒子の長期的な振る舞い	山田正矩(茨城大学)
M35a	14:54	歴史的文献にみる17~20世紀の中国のオーロラの記録	河村聡人(京都大学)
M36a	15:06	低緯度で白色オーロラは見えただろうか	早川尚志(京都大学)

3月17日(木) 午前(09:30-11:06) [A会場]

M37a	09:30	非線形フォースフリー磁場外挿による4重極フレアの3次元磁場構造解析	川畑佑典(東京大学)
M38a	09:42	Xクラスフレア前後でのコロナ磁場のねじれ変化とエネルギー解放	清水敏文(宇宙航空研究開発機構)
M39a	09:54	Analysis for a flare trigger with IRIS, SDO, and Hinode	伴場由美(名古屋大学/宇宙航空研究開発機構)
M40a	10:06	Statistical Analysis on Flaring Active Regions of the Sun	鳥海森(国立天文台)
M41a	10:18	2014年12月20日X1.8フレアの解析結果について	吉田正樹(総合研究大学院大学)
M42a	10:30	Mクラスフレアに伴う噴出現象とdimming	大山真満(滋賀大学)
M43a	10:42	京都大学飛騨天文台SMART/FISCHによる2015年5月6日(日本時間)の白色光フレアの観測II	石井貴子(京都大学)
M44a	10:54	太陽磁場観測による機械学習を用いた太陽フレア予報モデル開発	西塚直人(情報通信研究機構)

M01a 太陽 Lyman 線偏光分光観測ロケット実験 CLASP での彩層散乱偏光観測

鹿野 良平, 成影 典之, 石川 遼子, 久保 雅仁, 勝川 行雄, G. Giono, 坂東 貴政, 原 弘久, 末松 芳法 (国立天文台), 石川 真之介, 清水 敏文, 坂尾 太郎 (ISAS/JAXA), 後藤 基志 (核融合研), 一本 潔 (京都大学), A. Winebarger, K. Kobayashi(NASA/MSFC), J. Trujillo Bueno(IAC), F. Auchere(IAS), 他 CLASP チーム

日米欧共同観測ロケット実験 “Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter(CLASP)” は、太陽の彩層・遷移層が放つライマン 輝線 (121.6nm) の直線偏光を 0.1%の高精度で検出し、ハンレ効果で彩層・遷移層の磁場情報を得ようとするプロジェクトである。国立天文台で行ってきたフライト観測装置の組立と試験も 2015 年春に完了し、米国での噛合せ試験や射場試験を経て、2015 年 9 月 3 日に米国ホワイトサンズ・ロケット発射場にて観測を実施した。ロケットの完璧な飛翔と姿勢制御により、CLASP の観測スリットは太陽リム近傍の静穏領域にて動径方向に固定され、これまた完璧に機能した観測装置により、ライマン 輝線での高精度偏光観測が成功した。

ライマン 輝線の裾野には、リムにほぼ直交する 1~6%の偏光が見られ、太陽中心方面からリムに向けて増大する Center-to-Limb Variation(CLV) が見られた。これは、Belluzzi et al.(2012, ApJ) が FAL-C 大気モデルにより予測したプロファイルの振舞いと基本的に一致する。また、裾野の偏光には 20 秒角程度で強度と方位角が変動する局所的構造も見られ、太陽表面のネットワーク構造に伴う大気構造の変化による影響と考えられる。一方、ハンレ効果が効く輝線中心でも 0.5%程度の明らかな偏光が観測されたが、ここには 20 秒角ほどの局所的変動のみが見られた。輝線中心でもあると予想された CLV 構造 (Stepan et al. 2015, ApJ) が見られない要因として、まず大気構造の局所変化の影響が考えられるが、十分強い彩層・遷移層磁場で掻き消された可能性も否定できない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a **CLASP/SJ で捉えた太陽彩層に偏在し高速で伝播する準周期的振動現象**

久保雅仁, 勝川 行雄, 末松芳法, 鹿野良平, 坂東貴政, 原弘久, 成典之, 石川遼子 (国立天文台), G. Giono (総研大), 石川真之介, 常田佐久 (ISAS/JAXA), A. Winebarger, K. Kobayashi (MSFC), J. Trujillo Bueno (IAC), F. Auchere (IAS),

2015年9月3日に打ち上げられた観測ロケット実験 CLASP に搭載された slit-jaw 光学系は、ライマン 輝線 (121.567nm) 波長域で太陽彩層の2次元像を観測した。空間分解能は2秒角程度と高いわけでは無いが、0.6秒間という非常に高い時間分解能が特徴である。ゆっくりと明るさが変わる成分を取り除くと、数パーセント程度の明るさの変動のパターンが一方向に伝わっていく現象が発見された。変動の周期は1分以下で、彩層で良く観測される3分周期の振動に比べて短周期である。変動パターンの伝わる速度は150km/s~400km/sで、彩層・遷移層の一般的な音速の数倍から10倍近く大きく、彩層上部・遷移層の Alfvén 速度と同程度の値である。5分間という短い観測時間の中でも、このような現象が太陽の活動領域だけでなく、静穏領域でも多数観測された。太陽表面の磁場の分布と比較すると、磁場の強い領域から離れる方向に伝わるものが多く、磁場の canopy 構造と関係があると考えられる。1分以下の短周期で準周期的に明るさが変動する現象は、太陽フレアの最中に発生することが知られている (quasi-periodic pulsations)。仮に我々が観測した現象が太陽フレア中に観測される現象と同じメカニズムだとすると、ナノフレアのような検出できていない微小なエネルギー解放現象が静穏領域で頻発している可能性がある。高速で伝播する準周期的振動現象の発生メカニズムの候補としては、磁気流体波動や周期的な磁気リコネクションに伴うジェット等が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a **CLASP が捉えた太陽ライマン 線偏光スペクトルの時間変化**

成影 典之, 鹿野 良平, 石川 遼子, 久保 雅仁, 勝川 行雄, G. Giono, 坂東 貴政, 原 弘久, 末松 芳法 (国立天文台), 飯田 佑輔, 石川 真之介, 清水 敏文, 坂尾 太郎, 常田 佐久 (ISAS/JAXA), A. Winebarger, K. Kobayashi (NASA/MSFC), J. Trujillo Bueno (IAC), F. Auchere (IAS), CLASP チーム

太陽では6千度の光球の上空に、100万度以上のコロナが広がっている。しかし、どの様にこの高温の大気層が作られ、安定して存在しているかは、未だ解明されていない太陽物理学における謎の一つである。2006年に打ち上げられた太陽観測衛星「ひので」は、彩層の撮像観測を行い、至る場所で活動的な現象（ジェット現象や波動現象など）が起きていることを発見した。このことは太陽大気中の磁気エネルギーが何からの形で散逸し、加熱に使われている可能性を示唆している。そして2013年、彩層の分光観測を目的とした衛星 IRIS が打ち上げられ、加熱の現場が捉えられ始めてきた。しかし、太陽の大半を占める静穏領域での彩層磁場測定はこれまで殆ど行われておらず、磁気エネルギーの散逸により加熱が起きているかどうかは、まだ明らかになっていない。

このような中、2015年9月3日、彩層静穏領域の磁場測定を目的とした「太陽ライマン 線偏光観測ロケット実験 CLASP」が打ち上げられ、世界で初めて太陽ライマン 線における直線偏光を検出した。この直線偏光は、彩層の放射場に起因する Atomic polarization と彩層磁場に起因による Hanle 効果によって生み出されている。つまり、CLASP が取得した偏光データの時間変化を解析することで、彩層磁場の振る舞いについての知見を得ることが出来る。本研究では彩層・コロナの加熱源候補である彩層活動現象（ジェット現象や波動現象など）に着目し、CLASP のデータから、その磁場の彩層領域での振る舞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](#)

M04a 次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」今後の進め方

渡邊鉄哉（国立天文台）、他 Solar-C WG（ISAS/JAXA）、Solar-C 準備室（国立天文台）

「SOLAR-C」計画は、太陽表面から太陽コロナおよび惑星間空間に繋がるプラズマダイナミクスをひとつのシステムとして理解するとともに、宇宙プラズマに普遍的に現れるプラズマ素課程を解明することを基本目的とし、太陽活動が地球と人間社会に与える影響の理解と予測に貢献する。この視点にたち、(I) 彩層・コロナと太陽風の形成機構の解明、(II) 太陽面爆発現象の発現機構の究明、(III) 太陽放射スペクトルの変動機構の解明、の3課題に挑戦する計画である。平成27年2月にISAS/JAXAが募集した平成26年度戦略的中型計画の提案に応募したが、ISAS/JAXAとESAにおける第一段階選考の結果、早期のプロジェクト化は困難な状況にあるとの判断を受け、WG活動を継続して、「Solar-C」計画の科学目的の尖鋭化を最優先の課題として検討することとなった。より実施可能な国際協力体制を構築するため、NASAの協力を得て、Joint Solar-C Science Definition Team (JSSDT) を立ち上げ、2024年2025年頃に想定される太陽活動極大期の観測を想定して、主として中型衛星2号機による衛星打ち上げを目指している。同時に「Solar-C」計画の科学目的を部分的にでも実現できる飛翔実験機会も視野に入れ、その可能性についても検討を進める予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a **Sunrise 気球実験による太陽彩層大気の高解像度・高感度偏光分光観測**

勝川行雄, 久保雅仁, 石川遼子, 原弘久, 末松芳法, 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, 石川真之介, 清水敏文, 大場崇義 (ISAS/JAXA)

太陽彩層で発生する磁気リコネクションや磁気流体波動は外層大気の加熱・加速に大きく影響していると考えられている。彩層を偏光分光観測し彩層のダイナミクスを理解することは今後の太陽観測研究の中心課題である。そのため、これまで欧州(ドイツ・スペイン)を中心に進められてきた Sunrise 気球実験に参加し、光球・彩層の高解像度・高感度偏光分光観測を実現する検討を開始した。Sunrise は口径 1m の光学太陽望遠鏡で、高度 35km 以上の高高度から地上ではできない波長 200-300nm の紫外線観測や大気ゆらぎのない安定した可視・近赤外線観測を 24 時間連続 5 日間以上できる。これまでの 2 度の飛翔実験では主に光球の撮像観測が行われた。3 度目の飛翔実験では撮像観測装置をアップグレードするとともに、新たに彩層磁場を観測できる偏光分光装置を搭載し、光球に加え彩層磁場とそのダイナミクスの観測を狙う計画である。偏光分光装置は光球から彩層中部までを連続的にカバーするため Na I D 線 (589 nm) と Ca II 線 (854 nm) の 2 波長域を同時に観測することをベースラインとして科学課題と装置検討を行っている。視野は約 50 秒角四方、空間分解能は 0.2 秒角であり、15 秒の積算で彩層磁場観測に必要な 3×10^{-4} の偏光測定感度を達成する。装置は SOLAR-C の偏光分光装置とできる限り共通の構成とし、SOLAR-C や CLASP ロケット実験のために開発してきた可動機構や光学技術を発展させるとともに、今後開発が必要な高速読出カメラとそのデータ処理装置、熱構造設計などについても、SOLAR-C に向け技術獲得を目指す。偏光分光装置は日本が主担当となり、コンポーネントの一部をスペイン・ドイツとの国際協力で開発する。フライト時期を 2019-2020 年として口径 4m の太陽望遠鏡 DKIST と伍する成果を得ることを目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06a 2 波長同時撮像による彩層微細構造の速度場観測

一本潔, 鄭祥子, 坂上峻仁, 木村剛一, 上野悟 (京大), 萩野正興, 篠田一也, 原弘久 (国立天文台)

太陽の彩層が短時間に激しく変動する大小のプラズマ構造からできていることは、すでによく知られるところである。個々の事象のダイナミクスを明らかにし、それらの成因および彩層・コロナの形成過程との関連を理解するためには、2次元的に広がった彩層領域の速度構造を高い空間分解能と時間分解能で観測することが必要である。こうした目的には波長可変な狭帯域チューナブルフィルターによる分光撮像が最も威力を発揮するところであるが、地上観測においては彩層ラインの複数波長の撮像をおこなう間にシーイングによって像がゆがめられ、それが画像間の差をとって得られる速度場情報に大きな誤差となって現れる。

我々はこれまで京都大学飛騨天文台が宇宙科学研究所や国立天文台と共同して開発を進めてきた狭帯域チューナブルフィルター (UTF32, 萩野他 2015 秋季年会) を用い、彩層ラインの中の2波長を同時に撮像することを可能とするシステムを構築した。UTF32は7段の方解石と液晶ブロックからなる透過幅 0.25\AA (@656nm) のフィルターであるが、その出口に偏光ビームスプリッタをおいて射出光を2つに分けることにより、 $H \pm 0.5\text{\AA}$ の画像を同時に取得することができるように設計されている。2015年8月に飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて、活動領域やダークフィラメントの観測を行った。2つの高速カメラで同時に $H \pm 0.5\text{\AA}$ の撮像をし、スペckルマスキングをかけることで、彩層微細構造の信頼性の高いドップラーグラムを取得することができた。

本講演では得られた彩層速度場データを紹介するとともに、ドップラーグラムに含まれるノイズ評価および、微小ダイナミック現象の検出限界について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07b Mg II triplet 線を用いた彩層増光現象の観測とエネルギーの見積もり

加納龍一 (東京大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽大気のように熱源から離れたプラズマを加熱するためのメカニズムとして、小規模な磁気エネルギー解放がいたるところでプラズマを加熱する「ナノフレア加熱説」が挙げられる。エネルギーを定量的に見積もることが大気加熱を理解するためには重要であるが、彩層におけるエネルギー収支については理解が乏しい。その理由の一つに、彩層は光学的に厚いためプラズマの密度を診断するのが難しいことが挙げられる。そこで我々はIRIS衛星を用いて多波長同時分光観測することでエネルギー解放が起こった高度 (\leftrightarrow 密度) を見積もった。これまでもIRIS衛星を用いて彩層増光現象を観測した研究は行われてきているが、我々はPereira et al. (2015) で新たに報告された温度最低層付近に感度のあるMg II triplet 線を彩層や遷移層に感度のあるMg II線、C II線、Si IV線と組み合わせることで、温度最低層から遷移層まで、先行研究よりも広範囲のプラズマを同時に診断した。

浮上磁場領域のデータ解析を行ったところ、光球で正負の磁極が衝突するような領域では、磁気リコネクションの証拠となる双方向流が観測された。我々は赤方偏移と青方偏移が切り替わる高度を調べることで、エネルギー解放高度を見積もった。具体的には [1]Mg II triplet 線では赤方偏移が、Mg II線、C II線、Si IV線では青方偏移が観測される場合、[2] 全ての線で青方偏移が観測される場合の大きく二つに分類することができ、それぞれ [1] 彩層中間部、[2] 温度最低層付近でエネルギー解放が起きたことが推定された。また、黒点半暗部近傍ではMg II triplet 線でのみ増光が見られる現象が発見された。この現象については温度最低層付近で比較的小規模なエネルギー解放が起きていることが考察される。本講演では、これらの増光現象を引き起こしたメカニズムとともに、解放されたエネルギー量の見積もりについても議論していきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08b **Parameter survey of mode coupling in a single sheared current sheet**

Shuoyang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo)

Magnetic reconnection is a strong supporting mechanism to explain various energy release events in the universe. But how to reach fast reconnection in an enormous 3D system is still unresolved. In our previous research, we noticed that when multiple tearing layers coexist in the same sheared current sheet, inflow and outflow regions tend to couple with each other across the layer and form a positive-feedback system (PFS), which enhances the reconnection rate overall. In order to understand more details on the mode coupling, we applied 4 different sets of rotational-symmetric tearing eigenmodes to the same sheared current sheet and solve 3D resistive MHD equations. The resulting reconnection rate is not a monotonic function of the PFS aspect ratio, namely the ratio between the vertical size of PFS and the distance between two tearing layers. When the ratio is small, the PFS does not build. On the other hand, the reconnection reduces with PFS aspect ratio when it is larger than a certain threshold. Due to the coupling, strong cascading of energy to the smaller scale are observed. The cascading at first concentrate along the initial mode direction but afterwards inclined to be along the initial guide field direction. No inverse cascade is found thus no large structure is reproduced.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09b **SMART-T4 の観測による 2015 年 8 月 24 日の M5.6 フレアのトリガと大規模コロナ磁場構造の変動について**

永田伸一、佐野聖典 (京都大学)

我々は、太陽フレアとそれに伴う Coronal Mass Ejection(CME) の発生機構解明、さらに予測をも目指し、京都大学飛騨天文台設置の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope:SMART) の部分像マグネトグラフによる、高精度磁場観測を行っている。現状、Fe I 6302.5Å 吸収線の 4 波長点を、約 1 分間隔で観測しており、画像積算により統計誤差を SN 比 $\sim 10^{-3}$ にまで抑えこむことができている。2015 年 8 月 24 日 UT07:26 に NOAA12403 発生した GOES M5.6 のフレアでは、発生前後の 4 時間を比較的良好なシーイング状態で観測することに成功した。GOES 強度曲線に見られる enhancement は 9 分と impulsive な事象で、Solar Dynamics Observatory(SDO) の Atmospheric Imaging Assembly(AIA) の観測によると、後行黒点での急激な発光に引き続いて、東側の plage 領域に、発光および coronal dimming、さらに filament の移動が認められる。HMI および SMART のマグネトグラフでは、フレア発生前に、後行黒点近傍に浮上磁場領域が確認できるため、浮上磁場と既存の黒点磁場との間の磁気リコネクションによりフレアが発生し、さらに黒点と plage 領域をつなぐ磁場構造の変化を引き起こしたと考えられる。本講演では、SMART が観測した浮上磁場の詳細な時間変動、HMI が捉える黒点間の大規模構造の変動と、AIA のコロナループのトポロジー変化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10b 活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発

塩田大幸、草野完也、山本哲也、増田智、今田晋亮(名古屋大学)、井上諭(Max Planck Institute)

太陽フレア・コロナ質量放出は、コロナ中の磁場に蓄積された磁気エネルギーが解放されることで発生する爆発現象である。その現場となるコロナ磁場の3次元構造は直接観測が非常に困難であるため、光球で観測されるベクトル磁場分布に基づく外挿によって上空の非線形フォースフリー磁場(NLFFF)を求める手法が、磁場構造を知る最も有効な手段となっている。現在NLFFF解析は、フレアが発生した活動領域のエネルギー蓄積・解放過程の研究に必要な不可欠なツールの一つとなりつつある。

名古屋大学宇宙地球環境研究所では、前身の太陽地球環境研究所の時代の2012年よりひのでサイエンスセンター@名古屋を運用し、そこで進められているGEMISIS-Sunプロジェクトの一環として活動領域のNLFFFを計算する磁場モデルの開発を行ってきた。このモデルは、Inoue et al. (2014)によるデカルト座標NLFFFコードをベースとした球座標NLFFFコードである(山本ら2012年秋季年会M07b、塩田ら2013年秋季年会M20b)。これまでは大規模フレアが発生した活動領域のNLFFFを我々が計算し、その結果を可視化した画像をデータベースとして公開していた。しかし現状の公開方法では利用に困難を伴うため、幅広い研究者が各自で結果を自由に解析できる環境が望まれる。

そこで我々は、2016年度初頭に予定されている計算機システム更新の機会を利用して、多くの太陽研究者が容易にNLFFFを計算できる環境の構築を目指している。ひので/SP、SDO/HMIのベクトル磁場観測データに対して、解析を行う研究者が自ら180度不定性の除去を行い、その結果を入力として計算を行うことができる。本講演では、利用法・解析例と共にひのでサイエンスセンター@名古屋の今後の方針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](#)

M11b CALLISTO 受信機を用いた茨城大学太陽電波観測装置

鷲田英舞 (茨城大学), 岩井一正 (情報通信研究機構), 野澤恵 (茨城大学)

太陽ではフレアなどの爆発現象に伴い、高エネルギーの放射線粒子や、高速のプラズマ雲の噴出現象が発生する。これらは地球にも到来し、人工衛星の運用や電波通信に影響を与える。太陽からはこの爆発現象に伴って突発的な電波が放射され、太陽電波バーストとして観測される。特に MHz 帯 (メートル波帯) の太陽電波バーストは、コロナ中の衝撃波の発生や、伝搬速度などの推定に利用でき、天候に左右されることなく地上で観測可能である。したがって、太陽からの電波放射を常時観測することは、宇宙天気の前報に有効である。

CALLISTO(Compound Astronomical Low cost Low frequency Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory) ネットワークは 66 か所以上で太陽電波観測を行っている。CALLISTO 受信機は 45MHz から 870MHz までの周波数帯域の観測が可能であり、周波数分解能は 62.5KHz である。同一の受信機を用いた基地局が世界中にあり、それらのデータを合わせることで、太陽電波バーストの 24 時間観測を可能にしている。しかし、日本での観測は行われておらず、日本から太平洋にかけた地域での観測が不足している。そこで茨城大学では CALLISTO 基地局の一つとして新たにアンテナを設置し、データの提供を目指している。本研究では 50MHz から 1300MHz の広帯域ログペリオディックアンテナを本大学屋上に南向きに設置した。水戸市内の強い人工電波でフロントエンド部のプリアンプがサチレーションを起こしてしまうため、それを防ぐために複数のフィルタを用いた。

本発表ではアンテナ・受信機等の装置、人工電波での試験観測結果、試験運用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](#)

M12b NICT 太陽電波望遠鏡 - IV

久保勇樹, 岩井一正, 石橋弘光, 亘慎一, 石井守 (情報通信研究機構)

太陽コロナ中で発生する太陽電波バーストは、MHz 帯 ~ GHz 帯にわたる広い周波数帯域の電波を放射する現象であるが、MHz 帯と GHz 帯で放射過程が異なるなどの非常に興味深い特徴を持っており、科学研究の素材として非常に面白い。一方で、GHz 帯の太陽電波バーストが原因で GPS の測位誤差が増大するといった障害や、GHz 帯の太陽電波バーストによって航空機のレーダーシステムが乱され空港での航空機トラフィックが中断するなどの障害が報告されており、宇宙天気災害の原因究明のためのモニターとしての重要性も高まっている。2015 年 10 月に米国ホワイトハウスから出された NATIONAL SPACE WEATHER STRATEGY AND ACTION PLAN の中で、基準 (Benchmark) を決めるべき 5 つの宇宙天気現象の 1 つとして太陽電波バーストは含まれており、宇宙天気災害という観点でも今や太陽電波バーストは中心課題の 1 つとなっている。情報通信研究機構 (NICT) では、MHz 帯 ~ GHz 帯の太陽電波バースト全てをモニター出来る太陽電波望遠鏡を開発しており、既にシステムは完成して現在試験観測を行っている。試験観測で判明したシステム上の不具合もほとんど解決し、2016 年 4 月から定常運用に入る見込みである。本発表では、NICT 山川電波観測施設で稼働を開始した山川太陽電波望遠鏡 (愛称募集中!) で観測されたデータを紹介するとともに、NICT 平磯太陽観測施設の HiRAS と山川太陽電波望遠鏡で同時に観測されたイベントの比較を行う等、山川太陽電波望遠鏡の現状を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13b 太陽ライマンアルファ線偏光分光観測ロケット CLASP 飛翔時の波長板モーターの性能

石川真之介, 清水敏文 (ISAS/JAXA), 鹿野良平, 坂東貴政, 石川遼子, G. Giono (国立天文台), D. Beabout, E. Beabout (NASA/MSFC), 中山聡, 田島崇男 (三菱プレジジョン), 他 CLASP チーム

我々は、史上初のライマンアルファ線 (波長 121.6 nm) の高精度偏光観測を行ってハンレ効果を用いた太陽彩層上部の磁場測定を目指す国際共同観測ロケット実験 CLASP (Chromospheric Lyman-alpha SpectroPolarimeter) を 2015 年 9 月 3 日に打ち上げた (詳細は鹿野講演)。CLASP では偏光測定のために連続回転する波長板を用いている。CLASP の波長板連続回転機構は、次期太陽観測衛星 SOLAR-C に搭載予定の光学磁場診断望遠鏡 (SUVIT) に向け、宇宙科学研究所を中心とする SOLAR-C ワーキンググループが三菱プレジジョンと共同開発してきたものであり、性能評価用駆動回路を用いた地上試験で CLASP の科学要求を満たす高い回転一様性の達成を確認している (2013 年春季年会で発表)。CLASP の打ち上げに向け、我々は CLASP に最適化したフライト用のモーター駆動回路の開発を行った。モーターと駆動回路は、NASA のグループが開発した CCD カメラとのかみ合わせ試験を行ってインターフェースの確認を行い、CLASP へ取り付けられた。振動試験の前後でモーターの性能が変化しないことを確認した後、波長板モーターを搭載して CLASP は打ち上げられた。フライト時に取得されたデータによると、波長板モーターは地上試験とまったく遜色ない性能が発揮されていることが確認され、CLASP の高精度変更観測を実現することができた。本講演では、フライトに向けた試験と、フライト時に達成した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](#)

M14b 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の補償光学装置及びイメージローターの偏光特性測定

阿南徹、仲谷善一、金田直樹、一本潔（京都大学）、萩野正興（国立天文台）

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に設置された複数の波長帯を観測できる水平分光器を用いた偏光分光観測システムの開発を進めている。装置の完成によって、複数の波長帯を同時に高精度に偏光分光観測することが可能となり、光球から彩層までの連続した磁場構造の測定、複数のスペクトル線を用いた電場測定、磁場の乱流成分の測定などの新たなプラズマ診断手法の開拓が可能となることが期待される。太陽からの偏光を高精度に測定するためには望遠鏡や補償光学装置、イメージローターの偏光特性を測定する必要がある。可視光から近赤外における望遠鏡の偏光特性は Anan et al. (2012) によって測定された。現在、申請者らは2つの回転波長板を用いた偏光特性を測る手法 (Ichimoto et al. 2006) を用いて、補償光学装置やイメージローターの偏光特性を測る装置を開発している。本ポスターでは、偏光特性を測定する装置や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](#)

M15b 太陽彩層偏光観測装置 (Chro-Mag-Ro) の開発状況

萩野正興 (国立天文台), 阿南徹, 一本潔, 木村剛一, 上野悟, 金田直樹 (京都大), 篠田一也, 花岡庸一郎 (国立天文台)

次期太陽衛星観測 (SOLAR-C) への搭載や地上大型望遠鏡でのバックエンド装置としての使用を目指し、高速で波長スキャンが可能な狭帯域チューナブル・フィルターの開発を行ってきた。このフィルターは、波長チューニング素子として液晶・可変リターダ (LCVR) を用い高速でチューニングし (約 0.1 秒)、広波長域 (510–1100nm) をカバーする。このフィルターを用いて 2013 年 6 月から実際の太陽彩層観測を始めている。

現在、このフィルターと組み合わせて彩層の偏光観測を行う装置を開発している。この装置は回転波長板を用いて観測するので、Chromospheric Magnetograph with Rotating wave-plate、略して Chro-Mag-Ro と呼んでいる。従来の分光器を用いた分光偏光観測ではスリットで太陽面をスキャンする手法のため、二次元マップを取得するのに長い時間が掛かり、空間的に広がる短時間で変化する現象を捉えることができない。しかし、本研究で開発している観測装置ではフィルターを用いて波長方向にスキャンさせる分光偏光観測が可能になる。

本講演ではこの Chro-Mag-Ro の詳細な構造や開発状況を紹介します。また、2016 年 1 月に実施予定の国立天文台三鷹キャンパス気球太陽望遠鏡実験室のシーロスタットでの Chro-Mag-Ro の観測状況も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16c **2015年10月19日～23日に発生したCクラスフレアの高速度2次元分光観測**

當村一朗 (大阪府大高専), 上野悟, 一本潔 (飛騨天文台)

太陽フレアはコロナから彩層におよぶ広範囲で大規模なエネルギー解放現象であるが, その時間変化のスケールは, 特に発生初期において数秒あるいはそれ以下と考えられるので, フレア時の太陽大気の物理状態を調べるためには高い時間分解能で2次元的に分光観測する必要がある.

著者たちは2015年10月19日～23日に京都大学飛騨天文台において活動領域の高速度2次元分光観測(スペクトロヘリオグラム観測)を行い, 少なくとも5個のCクラスフレアについて, その発生から衰退までのH α スペクトルを最高約3秒のcadenceで, 60～90 × 140arcsecの視野で十数分あるいはそれ以上の時間にわたり2次元的に取得することに成功したので, その結果を報告する.

観測には同天文台のドームレス太陽望遠鏡および水平分光器を用い, 太陽像の高速移動には同天文台の回転ガラスブロックを用いた. 補償光学系は用いていない. 一方, 今回は2048 × 1088px(フルフレーム)で最高170 fps撮像可能なカメラを新たに導入したことにより, 上述のようにスペクトロヘリオグラム1枚分のデータを最高3秒程度で取得することができた.

得られたスペクトルから強度, 線幅, ドップラーシフト等の物理量を求め, それらの2次元分布の時間変動を追った. 年会ではそれぞれのフレアについて, これらの物理量の時間・空間変化を詳しく報告し, フレア時の彩層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](#)

M17c 6-14世紀の古文献オーロラ・黒点記録サーベイ

玉澤春史，早川尚志，河村聡人，磯部洋明（京都大学）

近代観測が始まる前の太陽活動を知るのは長期変動に加え極端宇宙天気現象を知る上でも重要である．近年の太陽型星におけるスーパーフレアの観測（Maehara et al.(2012)），および年輪の放射性同位元素の測定による突発的な宇宙線の変化の発見（Miyake et al.(2013)）より，近代観測により記録されている最大級の太陽フレアよりも巨大な規模のスーパーフレアが過去に発生していたかどうか議論となっている．こういった近代観測が始まる前の現象を探るためには年輪や氷床コアの放射性同位体元素を調べるのに加え，日本や中国を含む低緯度地域で観測されたオーロラや肉眼黒点の記録を調べ，相補的に利用するのが有用である．一方で，従来は疑問視されていた歴史文献上に記録されている現象が実際にどの時期に起こったかによって解釈変更の可能性がでてくるなど，極端宇宙天気現象の痕跡は自然科学・人文科学両面において重要な意味を持っている．近年発生したの極端宇宙天気という観点，また文献のオンラインテキスト化などにより以前にも行われていた文献における太陽活動の研究をより詳細に見直す必要がでてきた．我々は歴史学と天文学による共同研究として再検討した低緯度オーロラなどのデータをオンラインデータベース化して公開することにより様々な分野の研究者が利用しやすくなるための環境整備を目標としている．今回は現状で調査を進めている7世紀から14世紀の範囲について，中国の文献を中心に欧州その他の他地域との比較，および年輪の炭素¹⁴変動や氷床コアデータとの比較報告を行う．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M18a コロナループ足下の遷移層におけるサブ秒角増光現象の観測的研究

木村泰久 (東京大学), 原弘久, 勝川行雄 (国立天文台)

コロナの構造であるコロナループの幅は X 線, 極紫外線観測により 1 秒角以上であることが知られており, サブ秒角 (1 秒角以下) の構造の集合であることが明らかとなっている。また, ひのでに搭載された EUV Imaging Spectrograph (EIS) の極紫外線のスペクトル観測では, コロナループの足下で集中したエネルギー解放現象が起こっている可能性が示唆されていることから, コロナループ足下のサブ秒角構造とその変化をくわしく調べることは重要である。そこで, コロナサブ秒角構造を調べるために, Atmospheric Imaging Assembly (AIA) と Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) の衛星データを解析した。AIA と IRIS のデータはそれぞれ, 空間分解能が 1.2 秒角と 0.3 秒角, 時間分解能が 12 秒と 10 秒である。活動領域プラージュにおいて, 温度 0.01-1MK をもつ遷移層と温度 1MK 以上をもつコロナのサブ秒角構造がつながっていると考え, 0.08MK に特徴的な温度をもつ IRIS SiIV 輝線で間欠的に増光する輝点のデータを多数解析した。輝点サイズ同定のため, 輝点の放射強度最大時の放射強度分布の半値幅をサイズとした。結果は約 90 % がサブ秒角であった。また, これらの遷移層サブ秒角構造がコロナに関する構造であるか調べるため, Si IV の増光のピーク時間のまわり 5 分間で Si IV と AIA 193 (Fe XII)、および, Si IV と AIA 171 (Fe IX) の時間変動に対してタイムラグを含めて相互相関をとった。相関係数が 0.7 以上の高い相関が見られる増光現象は 50 % 程度であり, AIA 193 でみられる増光のほとんどが輝点に対してほぼ同時か 20 秒程度の範囲で遅れる傾向があることが分かった。さらに, AIA 193 の変動プロファイルは Si IV と比べて緩やかな減光フェーズを持つことがわかった。これは, SiIV, AIA193 で違う温度成分の変動に相関関係があることを示唆している可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M19a コロナルレインと下層大気の相互作用とその時空間スケール

石川遼太郎 (東北大学), 勝川行雄, Patrick Antolin, 鳥海森 (国立天文台)

太陽の活動領域上空ではコロナルレインという現象がしばしば観測される。コロナルレインは、熱的不安定性によってコロナで生成された低温高密度のガス塊が、生成後短時間で太陽表面へと落下する現象と考えられている。このガス塊は冷却され落下していく過程で小さな塊へと壊れていくためにコロナルレインが微細構造を有することが知られているが、その具体的なスケールは分かっていない。また、コロナルレインが落下後に下層大気とどのような相互作用を起こすのかについてもあまり議論がされてこなかった。本研究ではSDO衛星AIAのコロナ画像とIRIS衛星の分光データ及びスリットジョー画像とを組み合わせることで、遷移層・彩層温度におけるコロナルレインのガスの追跡とその速度や明るさの解析を行った。その結果、IRIS衛星のSi IV 1400Å スリットジョー画像においてコロナループに沿った下降流が見え、さらにそれに対応した増光・ドップラーシフトが分光データにおいて確認できた。またその下降速度の視線方向成分は約90 km/sであり、音速(約20 km/s)よりも十分に速いことが分かった。これによりコロナルレインが下層大気と超音速で衝突・加熱したことで、大気の発光が発生しているという因果関係の存在を示すことができた。さらにIRISのMg II 2796Å, Si IV 1394Å, C II 1336Åのスペクトル線では速度と明るさの変化において約40秒と約25秒程度の時間スケールで変動がみられた。この周期性は落下した際のコロナルレインが有している微細構造の空間的スケールや、コロナ領域でガス塊が生成される時間スケールを反映していると考えられる。本講演ではコロナルレインと下層大気の相互作用と、その時空間スケールに関する報告と議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20a 時間距離図における二重リッジ問題について

神原永昌、関井隆 (総合研究大学院大学/国立天文台)

太陽表面層からの大気にかけての音波の生成・伝播・減衰などを理解することは、コロナや彩層の加熱メカニズムとの関連だけでなく、内部構造診断のために必要な、音波振動のパワースペクトルの精密なモデリングにおいても重要である。これに関して Jefferies et al. (1997) は、太陽表面ドップラー速度場の振動シグナルの相互相関関数(時間-距離図)から、興味深い現象を報告した。彼らの南極における観測データ(Nyquist 周波数: 約 11.9 mHz) の解析から、遮断周波数(約 5.4 mHz) より高い周波数の成分だけを用いて時間-距離図を作ると、波の伝播距離と伝播時間との関係を表すリッジが、二重になったのである。これを彼らは、彩層上部で波の反射が起きている証拠だと主張した。しかし、高周波成分を取り出す際に用いたフィルターが遮断周波数より低周波の成分をひろっており、これが高周波成分と干渉を起こして二重リッジが現れるのだという説(Sekii et al. 2005) もあり、決着はついていない。この解析では、鋭いリッジを出すためにフィルターが十分に広く、つまり Nyquist 周波数が遮断周波数より十分高くなくてはならない。スペースからの観測データと比較しようにも、SOHO/MDI では Nyquist 周波数が約 8.3 mHz とやや不十分であった。そこで今回は、SDO/HMI のデータ(Nyquist 周波数: 約 11.1 mHz) を用いてこの問題を調べることにした。二重リッジが低周波成分の漏れ込みによるという説(Sekii et al. 2005) を確かめるために、2015年4月のデータから時間-距離図を作成し、周波数フィルターに対する依存性を調べた。この結果、遮断周波数より高周波の成分に低周波成分が混ざっている時には二重リッジが現れ、高周波成分だけを用いた時には二重リッジは現れないことを確認した。本講演では、この結果に基づいて改めて両説を比較し、また波の生成領域の深さなどに関して制限をつける方法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](#)

M21a Hinode-IRIS 共同観測による MHD 波動のエネルギー散逸量の見積もり

加納龍一 (東京大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (名古屋大学)

太陽彩層やコロナのように熱源から離れたプラズマを非熱的に加熱するメカニズムとしては、磁力線を伝播する波によりエネルギーを運ぶ「波動加熱説」が有力な候補として考えられている。だが、太陽大気における MHD 波動のエネルギー収支については未だに観測的な理解が不十分であり、MHD 波動が太陽大気の加熱にどれだけ寄与しているのかは定量的に理解されていない。そこで我々は Hinode 衛星と IRIS 衛星を用いて、光球と彩層におけるエネルギーフラックスを比較することで、伝播の最中に散逸されたエネルギーを定量的に見積もった。

具体的な手順を以下に示す。はじめに、エネルギーフラックスの表記を知るためにモードの同定を行った。Hinode により観測された物理量の位相関係を理論式 (Fujimura & Tsuneta 2009) と比較することで、黒点暗部の光球には Slow-mode の波が上下方向に伝播していることが明らかになった。同時に IRIS を用いてその上空を解析すると、光球よりも短周期の波動が進行波として卓越していることがわかった。これら二つの結果は、重力の影響で短周期の波しか彩層へと伝播できないという理論からの示唆 (acoustic cutoff) と整合している。次に、上記の波動のモードを踏まえた上でエネルギーフラックスを観測量から見積もった。光球における密度は先行研究では仮定されてきたが、我々は観測された物理量の擾乱振幅を用いた Seismology から光球の密度を見積もった。進行波成分を High-pass filter を用いて取り出すことで、光球と彩層における上向きのエネルギーフラックスは計算することができる。結果、それらの差 (散逸量) は $\sim 10^7 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 程度で、彩層を加熱するために十分な量となった。これは、波動が彩層加熱に大きな役割を担うことを観測から定量的に示した重要な結果となっている。

本講演では上記の結果を示したデータを示し、不定性の要素である観測高度変化の影響についても議論をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22a アルフベン波に対する強い衝撃波の非線形効果

庄田宗人、横山央明（東京大学）

コロナ加熱・太陽風加速はアルフベン波によるエネルギーの伝播、散逸により理論的に説明できると考えられており、そのような理論的枠組みでは彩層は光球とコロナをつなぐエネルギーの通り道として考えられている。現在の理論モデルでは、アルフベン波は衝撃波を形成したり乱流を駆動したりして強く減衰しながら彩層を透過すると考えられている。しかしながら、現在のモデルの多くは彩層中を満たす大振幅の音波（およびその衝撃波）がアルフベン波におよぼす影響を無視している。音波とアルフベン波は一般に非線形相互作用を介してエネルギーの交換を行うので陽に音波を取り扱うことは重要であり、特に彩層下部では音波はアルフベン波に比べ大きなエネルギーを持っていると考えられるため、その影響は無視できない。

そこで私たちは一次元周期系の磁気流体シミュレーションを用いて強い衝撃波とアルフベン波の非線形相互作用の素過程を調べた。その結果、プラズマベータが1に近くかつ音波がアルフベン波に比べ大きなエネルギーを持っているとき、アルフベン波の増幅が生じることがわかった。この増幅は音波が波動間相互作用を介してアルフベン波にエネルギーを輸送することで生じると考えられている。私たちの結果は、彩層下部でアルフベン波が強く増幅され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](#)

M23a 太陽彩層伝播アルフベン波のモード変換効率計算

河野隼也, 横山央明 (東京大学)

太陽光球表面下の対流運動によって励起されるアルフベン波は彩層の加熱機構として提唱されている。これまでに我々は対流層からコロナまで及ぶ磁束管において、光球表面から励起されるアルフベン波パルスの伝播を、1.5次元のMHD方程式を用いた数値シミュレーションにより調べた。数値計算の結果から、周波数3–100 mHzのアルフベン波は彩層中で非線形効果により、圧縮波のモードを生成し、この圧縮波のエネルギーは彩層の加熱に対して十分なエネルギーを持つことが示唆された。しかしこれらの計算では、プラズマベータ値を光球表面で1、コロナで0.1とした比較的強い背景磁場強度が仮定された場合のみ調べられた。

そこで本研究では、彩層中におけるアルフベン波のモード変換効率の背景磁場強度に対する依存性を調べるため、光球表面プラズマベータ値に対するパラメタサーベイを行う。光球表面におけるプラズマベータ値を1, 3, 10として、同様の数値計算を行った結果、3–100 mHzの低周波数の波について、光球表面におけるプラズマベータ値を大きくすると、背景磁場強度が弱まり、同じ初期速度振幅1.0 km/sを持った波について非線形性がより増大するため、彩層中で生成される圧縮波のエネルギーはより大きくなることが明らかとなった。一方で、30–100 mHzの高周波数の波について、プラズマベータ値を10とした場合、生成された圧縮波のうちファーストモードの波はより速い音速で彩層中を上方へと伝播し、コロナへ抜けていくため、彩層中における圧縮波のエネルギーはプラズマベータ値を3とした場合より小さくなることも明らかとなった。設定されたプラズマベータ値の範囲で生成される圧縮波はどの場合も彩層加熱に寄与するだけのエネルギーを持つ。高プラズマベータにおいて生成されるより大きなエネルギーを持つ圧縮波は、より彩層中で衝撃波を形成し加熱へ寄与する可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M24a プラズモイド型リコネクションにおける圧縮性効果 (2)

銭谷誠司 (国立天文台)

磁気リコネクションは太陽フレアなどに関わる重要な物理素過程である。MHD 近似でリコネクションの進行速度 (エネルギー変換効率) を議論する場合、Petschek 型の速いリコネクションと Sweet-Parker 型の遅いリコネクションの 2 つの理論モデルが考えられてきた。しかし、前者は電気抵抗の扱いに仮定が必要で、後者は現実の太陽コロナのパラメーターではリコネクション速度が遅すぎるという問題を抱えていた。しかし 2000 年代後半、十分大きな Sweet-Parker 系では細長い電流層のあちこちでプラズモイド (磁気島) を生成する乱流リコネクションが起き、リコネクション速度もそこそこの値 ($\mathcal{R} \sim 0.01$) に落ち着くことがわかってきた (Loureiro+ 2007, Bhattacharjee+ 2009, Uzdensky+ 2010)。これは、流体力学の層流から乱流への遷移に相当する大きな展開であった。

さらに、最近の研究では、典型的なプラズマ β が低い場合にリコネクションジェットの速度が音速を超えるため、衝撃波をはじめとする圧縮性流体効果が現れることもわかってきた (Zenitani & Miyoshi 2011, Zenitani 2015)。太陽コロナ下層の低プラズマ β 領域では乱流と圧縮性という 2 つの流体効果が効くと考えられる。そこで、プラズモイド型乱流リコネクションの圧縮性 (プラズマ β) 依存性を理解することは重要である。

前回の発表 (2014 年天文学会秋季年会 M24c) では、予稿投稿後に高 β で数値散逸するという HLL 型数値解法の問題が見つかり、この問題を十分に検証することができなかった。今回は、この問題を克服した HLLD 型数値解法での計算の初期結果を報告する。さらに、コードの検証過程で見つかった HLLD 法の問題点と対処法を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M25a 太陽コロナにおけるダブルアーク不安定性

石黒直行、草野完也（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

太陽コロナにおけるフラックスロープの安定性の解明は、太陽フレアやコロナ質量放出 (CME) といった太陽面爆発現象の発生とその成長過程に関連した重要課題である。近年、軸対称電流ループに対するトーラス不安定性が太陽面爆発現象の駆動メカニズムとして提案された。トーラス不安定性は太陽での爆発現象の発生に対する有用な基準となりつつあるが、その不安定状態に至る詳細な過程は未だ解明されておらず、いくつかのモデルが提案されている。本講演では、太陽面爆発の原因の一つと考えられるテザーカッティングリコネクションが形成するダブルアーク型電流ループの安定性を、数値計算を用いて解析した結果について発表する。解析の結果、トーラス不安定性とは異なるダブルアーク不安定性と呼ぶべき新しい不安定性を発見した。ダブルアーク不安定性はトーラス不安定性に比べて不安定化しやすく、外部磁場が高さ方向に減衰しない場合でも不安定化し得ることがわかった。これはテザーカッティングリコネクションが発生する場合、磁場の鉛直方向減衰率 (decay index) が必ずしも太陽面爆発発生 of 適切な基準になりえないことを示唆している。またダブルアーク不安定性が発生するために必要な磁場構造について考察し、磁力線のねじれが $1/2$ 以上であることがその必要条件となることを示した。さらに、ダブルアーク不安定性が CME の発生原因となる可能性についても議論を展開する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26a **Thermal Evolution of Reconnection Outflows in Solar Eruptions**

Mark C. M. Cheung (NAOJ, LMSAL), Shinsuke Takasao (University of Kyoto)

The atmosphere of the Sun is a natural laboratory for astrophysical reconnection. We study reconnection outflows from solar eruptions using (1) an MHD simulation including field-aligned thermal conduction, and (2) application of a validated differential emission measure (DEM) inversion method on narrow-band EUV images from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) onboard the Solar Dynamics Observatory (SDO).

The comparative study allows us to (a) examine the role of mass transport and compression by retracting field lines, (b) elucidate the role of the fast mode shock for the energy and mass budget of flare loops, and (c) follow the thermal history of plasma from chromospheric evaporation to condensation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M27a 太陽電波ゼブラパターンの統計的偏波特性

金田和鷹、三澤浩昭（東北大学）、岩井一正（情報通信研究機構）、土屋史紀、小原隆博（東北大学）

ゼブラパターン（ZP）とは、太陽電波 IV 型バースト中に観測されるスペクトル微細構造のひとつである。この現象は、狭帯域の放射バンドが多数並んで出現する縞模様状のスペクトル形状で特徴づけられる。このようなスペクトル微細構造は太陽コロナ中での様々なプラズマ素過程を反映しており、フレア領域のプラズマ診断を行う上で有効なツールとなり得るが、その放射過程については未だに議論が続いている。本研究は ZP の放射過程の解明を目的としている。

Kaneda et al. (2015, ApJL) では、メートル波帯太陽電波観測装置 AMATERAS で観測された一例の ZP の高分解偏波解析により、左右の円偏波成分間の時間遅れとその周波数依存性から放射源付近で depolarization が起きている可能性を示した。しかし、このような偏波特性が ZP に共通のものであるのかはわかっていない。そこで本研究では、ZP の統計的特性に注目し、データ解析を行った。AMATERAS の約 3.5 年分のデータアーカイブの中から 17 例の ZP を同定し、それぞれの特徴を整理したところ、周波数ドリフトなどのスペクトル特性や、円偏波率・時間差といった偏波特性はイベントごとに大きく異なっていることがわかった。一方で、同定された 17 例のうち 8 例が LDE フレアに伴って出現していることがわかった。これは、全フレアにおける LDE フレアの発生頻度が 10% 程度であるのに対して高い頻度であり、フレアによるプラズマ粒子の加速機構と ZP の放射との関連性を示唆する結果である。本講演では、統計的な特徴と各イベントの詳細な解析結果を示すとともに、それらから考えられる ZP の放射に必要な条件について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28a CME時に観測された EUV 波によるプロミネンス振動

花岡庸一郎 (国立天文台), 浅井歩 (京都大学)

CMEに伴う EUV 波によってプロミネンスに振動が励起されることがあるのはよく知られている。2014年2月25日に発生した X4.9 フレアではハロータイプの CME が起こっており、さらに EUV 波の発生も観測されている。このフレアを起こした活動領域 NOAA11990 の近くのリム上に見えていた静穏プロミネンスにおいて、EUV 波に関連すると思われる振動が、国立天文台三鷹フレア望遠鏡の $H\alpha$ 観測でとらえられた。EUV 波が通過していくのに合わせてプロミネンスの部分的な(見かけの)消失と再出現が高速(約 1000 km s^{-1})で進行していくのが見え、またその後には周期数分~十数分程度の大きな振動が見えている。大きな振動は SDO 衛星の He II 304 Å 画像でも同様に見えているが、部分的な消失の進行は $H\alpha$ のみで見えている。消失は、プロミネンスがドップラー速度のため狭帯域の $H\alpha$ 観測で透過波長帯から輝線の波長がずれたことによって起こっていると考えられるが、装置の不具合のため通常撮影している $H\alpha$ オフバンドの画像が無く吸収線中心のみでの観測であったため、正確なドップラー速度は不明である。しかしながら、観測された現象は、EUV 波のフロントの通過がプロミネンスの小規模かつ高速の変形を起こしたことを示していると言ってよい。EUV 波の性質については様々な議論があるが、プロミネンスがどのように EUV 波に反応したかをとらえることで、どのような物理量(温度・密度・磁場)のコロナの中を EUV 波が通過しプロミネンスが振動したか、について探ることが可能であり、年会ではこの点について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M29a 強密度成層が誘起するダイナモ生成磁束の浮上と活動領域の自発的形成

政田洋平（愛知教育大学）、佐野孝好（大阪大学）

黒点に代表される磁気活動領域をダイナモ生成磁束から自己無頓着に作り出すことは、太陽内部物理学の重要な目標である。その解決へ向けて主に2つの側面からのアプローチが続いている：対流層最上部での活動領域形成機構に焦点を当てた研究と、より深部でのダイナモ機構の解明に軸足を置いた研究である。前者では、磁束の浮上・組織化過程が詳しく調べられており、近年、活動領域の自発的形成を捉えた計算結果が相次いで報告されている (e.g., Stein & Nordlund 2012; Rempel & Cheung 2014)。しかし、これらの研究では初期条件または境界条件として大局的磁場が課されており、その起源については研究の範囲外である。一方後者では、回転球殻 MHD 熱対流計算で、太陽磁場を想起させる周期変動をともなう大局的磁場の再現に成功した例が複数報告されている (e.g., Ghizaru et al. 2010; Kopyla et al. 2012; Fan & Fang 2014)。しかし、ダイナモから活動領域形成までの首尾一貫した計算に成功した例は未だ存在せず、両者の間には大きなギャップが横たわっているのが現状である。

そのギャップを埋めるべく、我々は太陽型の強密度成層モデルで対流ダイナモのシミュレーション研究を進めている。天文学会 2015 年秋季年会では、対流ダイナモの励起が乱流パンピング効果を考慮したダイナモ数で特徴づけられることを明らかにした (M05a)。本講演では、強密度成層モデルのダイナモに付随して見られる対流層表面の大規模垂直磁場構造が、ダイナモ生成磁束の磁気浮力による浮上で説明できることを示す。対流ダイナモは対流層中部に強度の極大を持つ準定常な磁場構造を生み出す。強密度成層下では密度スケール長が外向きに急激に減少するため、このような磁場構造は対流層上部で自然にパーカー不安定になる。本研究は、対流層浅部に根元を持つ磁気活動領域が強密度成層下での対流ダイナモの自然の帰結である可能性を示唆するものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 磁気要素の自動追跡モジュールを用いた太陽黒点の崩壊過程の解析

加藤翔大、今田晋亮、町田忍 (名古屋大学)

太陽大気中の磁場のダイナミクスは太陽物理学の中で最も重要なテーマの一つである。磁場のダイナミクスを理解することは、短い時間スケールの磁氣的活動（たとえば太陽フレアやジェットなど）及び太陽活動周期のような長い時間スケールの現象の理解にも重要である。そこで、本研究では、光球における磁気要素を自動的に検出・追跡し、太陽大気中の磁気要素の輸送の精密な解析を可能とするモジュールを開発した。検出モジュールは活動領域における微小な磁気要素を検出するためにフーリエ変換を用いて小さい空間スケールの磁気要素と大きい空間スケールの磁気要素を別々に検出する方法を用いており、一般的な検出方法に比べて数倍程度の検出性能を持つ。本研究では開発したモジュールと、ひので/SOTのNa I D線(5896 Å)によって観測された磁場データを用いて、磁気要素の主な起源といえる太陽黒点の崩壊過程の解析を行った。約100例(先行黒点87、後行黒点22)の黒点データの崩壊過程の解析から、先行/後行黒点で崩壊速度の違いや、先行/後行黒点の崩壊過程における磁場輸送の非等方性などが明らかになった。具体的には、先行黒点の崩壊における磁束輸送量については、低緯度赤道側に積極的に輸送する例が高緯度極側に輸送する例の3倍程多いことが分かった。また東西方向の磁束輸送に関しては、西側後行黒点側に積極的輸送するサンプル数が東側に積極的輸送する例の2倍以上となった。また後行黒点においては高緯度極側に輸送する例が多い傾向が見られた。本発表では、黒点崩壊過程の異方性と先行・後行黒点間の傾き及び黒点の年齢との関係に関して議論し、黒点崩壊過程の特徴の一般性について統計的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](#)

M31a 大規模画像データを用いた太陽コロナホールの生成・消滅過程の研究

加納 大空, 今田 晋亮, 町田 忍 (名古屋大学)

太陽風の吹き出ている領域はプラズマ密度が低く、太陽コロナの中でも比較的暗い領域で、この領域を太陽コロナホールと呼んでいる。また、太陽風は人工衛星や宇宙飛行士への被爆などの問題を引き起こすことも知られている。コロナホールは太陽風の吹き出し口であり、太陽風と密接に関わっているため、コロナホールの生成・消滅のメカニズムを理解することは太陽風を解明する上で極めて重要である。コロナホールを解析するために、SDO(Solar Dynamics Observatory) 衛星の観測データと、2機のSTEREO(Solar TERrestrial RELations Observatory) 探査機の観測データを用いて、太陽コロナホールの時間変化を追う自動検出モジュールを作成した。このモジュールは太陽360度全球を常に観測することで、同一の太陽コロナホールを連続的に追跡することを可能としている。この開発したモジュールを用いて、2012年1月1日から12月31日までの期間について、コロナホールの検出・追跡を行った。その結果、フレアに伴ったディミング(突発的な生成過程)25例と、生成から消滅までのタイムスケールが長いコロナホールの生成過程(徐々に生成する過程)6例の2種類の生成過程を確認した。フレアに伴う突発的なコロナホールの場合、典型的な生成時間は約1時間40分で消滅時間は約5時間であり、コロナホールの寿命としても約7時間と短いことがわかった。一方、フレアとは関係無く比較的長い時間をかけて生成するコロナホールの場合、典型的な生成時間は約13時間で消滅時間は約17日であり、コロナホールの寿命として約18日と長いことがわかった。本研究ではこの二つの生成過程で作られたコロナホールが共にどのくらいの割合で存在し、通常の太陽風にどの程度貢献しているかを議論する。またコロナホール生成プロセスとして、両者はなんらかの関係を持つのか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M32a **St. Patrick's event の数値シミュレーション：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）、小川智也（北里大学）、久保勇樹、巨慎一（情報通信研究機構）

太陽面現象の予測やそれらが伝搬する太陽風の状況を把握することにより、宇宙天気予報のリードタイムを延ばすことを目的に、情報通信研究機構では太陽表面から地球軌道を含む領域の数値シミュレーションモデルの開発を行っている。2015年春の年会では、運用していたモデルを改良し、シミュレーション領域を1太陽半径から400太陽半径まで拡張したモデルを開発したこと、および太陽風構造の更新が1日1回可能になったことについて報告した。

今回は2015年3月に起こったSt. Patrick's eventの期間のモデリングを行ったので、その報告を行う。このイベントは日本でも11年ぶりにオーロラが観測されるほどの大きな地磁気擾乱を引き起こした。我々のモデルでは太陽の表面からシミュレーションしているため、太陽面（原因）と地球軌道（結果）を直接結び付けることが出来る。原因となった太陽面の現象は、3月15日に発生したコロナ質量放出（CME）だが、関連したフレアはCクラスで、さほど大規模な現象ではなく、また発生場所も太陽面正面でなく西側で、パーシャルハロータイプであった。このようなCMEの到来が予想を上回る大きな地磁気擾乱を起こした要因として、CMEのみではなく、高緯度に位置するコロナホールからの高速風が考えられる。ここではシミュレーションの結果を紹介し、この高速太陽風の影響について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a EIS 観測における迷光寄与の評価と太陽活動長期変動に伴う極域構造の変化

藤下祐人, 今田晋亮, 草野完也 (名古屋大学 ISEE), 原弘久 (NAOJ), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

ひので衛星搭載の EIS により、極域コロナホールの波動加熱モデルを支持するとされる観測的証拠が示されている。しかし、一方で極域コロナホール上空は非常に暗く、FeXII の輝線において静穏領域に対し、高さ $1.2R_{\text{sun}}$ で 20%、高さ $1.4R_{\text{sun}}$ で 10% 程度である。ゆえに、周辺領域からの迷光・散乱光の影響により解析の結果が大きく変わる可能性がある。そこで本研究では、日食時の EIS 極域観測を用いて迷光の影響を定量的に評価し、その影響を除いた高度依存性を示す。さらにこの影響を踏まえ長期解析を行い、波動加熱モデルに対し、太陽周期 (11 年) における極域構造の違いを明らかにすることも目標とする。具体的なデータ解析として 2 つの日食データ (2014 年 10 月 23 日) と金星の太陽面通過データ (2012 年 6 月 6 日) を解析し、迷光強度と距離の関係を導出した。日食時の輝線強度と、観測点 - 最近接である on-disk 点間の距離の関係を求め、結果、指数関数的な強度の減衰を仮定として迷光寄与関数を得た。これを先行研究に適用したところ、 $R_{\text{c}}1.15R_{\text{sun}}$ で迷光の寄与が有意となることがわかった。続いて 7 年分の極域観測データ解析を行った (HOP81)。主に輝線強度・輝線幅・FeXIII/FeXII 強度比の 3 つに関して高度依存性を解析した。結果、FeXII・FeXIII は極大期に輝線強度の明確な増加があるが、FeX では大きな変化が見られなかった。また、強度比に関しては、高度の上昇に伴い値は大きくなり、全体として極小から極大期にかけて緩やかに減少する傾向がみられた。これは、波動加熱の観点から、極大期にはより遠くまで波が伝播するが、一方極小期には低高度で波が減衰し加熱が生じている可能性を示唆する。本講演では、輝線幅と温度における高度依存性の比較から、Alfven 波による極域におけるコロナ加熱についても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M34a ひので/XRT で検出された高エネルギー粒子の長期的な振る舞い

山田正矩 (茨城大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 野澤恵 (茨城大学), 坂尾太郎 (ISAS/JAXA)

地球周辺での高エネルギー粒子は、低軌道衛星の場合、極域とブラジル異常帯上空で観測される。これらの粒子は電子機器の損傷や、検出器の放射線バックグラウンドとなる。宇宙機や有人宇宙活動の安全な活動のために、高エネルギー粒子の空間・時間変動の観測を行う必要がある。

本研究は CCD イメージセンサに発生したバックグラウンド (以下 Speckle と呼ぶ) に着目し、高エネルギー粒子を調査した。使用データは「ひので」搭載の X 線望遠鏡 (XRT) で撮像されたイメージである。フレアパトロールモードで撮像されたものを使用した。これは、Ti-poly フィルタで太陽全面を 30 - 60 秒間隔で観測しているが、画像が縦横 4 ピクセルでサミングされている。「ひので」は高度約 680km の太陽同期極軌道であるため、ほぼ全ての緯度経度を周回している。解析期間は 2010 年 1 月から 2013 年 11 月である。

前回の年会で、speckle 数が増加する衛星軌道上の領域として、1) 大規模フレア (SEP イベント) 発生に伴い speckle 数の増加を示す磁気緯度 60 度以上、と 2) 定常的に speckle が観測される磁気緯度 60-75 度領域、があることを発表した。また、GOES 衛星のプロトンフラックス観測との比較から、XRT CCD が検出する speckle は主に 60MeV 以上のプロトンが起源である。今回は領域 2) の speckle の長期変動について報告する。領域 2) では単位時間単位面積あたり 10 個程度のカウントを持つが、時折数倍に増える。これは多くが磁気嵐の発生時に起きており、内部磁気圏の高エネルギー粒子が増加していることに起因していると考えられる。また、2) の高緯度側は 1~2 年程度で時間変動しており、太陽風 proton 密度に相関関係を持っていたが、2012 年頃からこの関係は崩れる。他の太陽活動や磁気圏環境を踏まえ、高エネルギー粒子の分布と時間変動について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a 歴史的文献にみる17～20世紀の中国のオーロラの記録

河村聡人 (京都大学), 早川尚志 (京都大学), 玉澤春史 (京都大学), 磯部洋明 (京都大学)

近年の他の太陽型星の観測や樹木の年輪などの放射性同位体調査の結果から、我々の太陽でも爆発的現象（フレア）が未だ科学的に観測したことの無い規模で、所謂スーパーフレアが起こるのではとの議論がある。しかしながら、この際に注目される時間スケールは、数百年に一度程度の頻度であり、往々にして人類の黒点観測史を超えうるものである。その様な時間スケールを議論する場合、数少ない手掛かりとなるのが歴史的資料である。特にフレアなどに起因するオーロラは天変として記録に残りやすく、またその観測地点より太陽活動の規模を推定する際にも一助となる。かつてはこの様な歴史的資料の研究は手作業による資料検索によって行われていたが、近年の技術の発展により歴史的資料のデジタル化、データベース化が進み、精度と研究速度の両面において特筆すべき進展を得た。

我々は既に宋史（中国の宋の歴史書）についてオーロラ記録の発掘・報告を行ったが、この度は清史稿（中国の清の歴史書）について行った同様の研究の成果を発表する。清代（1616～1911年）はマウンダー極小期を含み、また西洋の近代的な観測と東洋の伝統的な観測が並行して行われた唯一の時代である。故に清史稿からのオーロラ観測記録は極小期の太陽活動の理解を深める上でも、またそれ以前の東洋の伝統的な観測記録の理解を深める上でも多大な重要性を秘めていると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M36a 低緯度で白色オーロラは見えたのか

早川尚志 , 玉澤春史, 河村聡人, 磯部洋明 (京都大学)

近年, 太陽型星の観測や年輪中の放射性同位体比の分析から, 他ならぬこの太陽でもスーパーフレアが起こり得る可能性が指摘されている。そこで, 過去の太陽活動を知るべく, そのプロキシとして, 紀元前3世紀から20世紀初頭までをカバーする中国の正史におけるオーロラの観測記録を調査したところ [1], 通常低緯度オーロラで観測される赤色オーロラを示唆する「赤氣」という用語の他に, 白色オーロラを示唆すると思しき「白氣」という用語による記述が数多く発見された。通常白色オーロラは高緯度で観測されるのみで低緯度では観測され得ず, 「白氣」の指すところは夜光雲や他の夜間の発光現象である可能性も想定される。そこで, 当該用語がオーロラを示し得たかどうかについて, オーロラがオーバル沿いに同時発生する特性に注目し, 中国の「白氣」と西欧や日本などのオーロラ記録の同時観測記録を探ることで, その当否を考察した。この結果は我々が知り得る太陽活動の常識を超えた規模のオーロラが前近代に発生し得たことを示唆するものであり, 東洋の歴史書の読解のみならず, 過去の太陽活動の規模の再検討にも資するものであろう。

[1] H. Hayakawa et al. Earth Planet and Space, 67, 82 (2015)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M37a 非線形フォースフリー磁場外挿による4重極フレアの3次元磁場構造解析

川畑佑典 (東京大学), 井上諭 (Max Planck Institute), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽フレアは、磁気リコネクションによりコロナ磁場に蓄積された磁気エネルギーが運動エネルギーや熱エネルギーに突発的に変換される現象として知られる。太陽フレアには「標準モデル」と呼ばれるCSHKPモデルが存在し、フィラメント放出を伴うeruptiveなツリーボンフレアを良く説明する。今回はfilament放出が確認されず、4つの磁極上でフレアリボンが観測された非標準的なフレアの3次元的な磁場構造を解析した。解析対象として2014年2月2日に3回のMクラスのフレアを引き起こした活動領域を選んだ。今回の研究ではPriest et al.(1995)が3次元リコネクションが起きる場所として提案したQuasi Separatrix Layers (QSLs)が位置する領域を調べ、4重極のフレアにおいてもQSLsが存在し、その場所でエネルギー解放が起きているかどうかを確認することを目的とした。Ca II Hの吸収線で観測されるフレアリボンと偏光観測で得られる光球磁場マップを重ね合わせ、フレアリボンが位置する4つの正負の磁極から伸びる磁力線においてエネルギー解放が起きた事を確認した。その後太陽観測衛星「ひので」で観測された磁場の3次元構造の解析を、磁場の力が支配的であるという仮定の下でのフォースフリー磁場モデリングにより行った。フォースフリー磁場計算の境界条件にはHinodeの光球磁場データの視野不足を「SDO/HMI」のデータにより補間して用いた。構造の解析にはQSLsの指標となるSquashing factorを用いた。フレアリボンが位置する領域ではSquashing factorは高い値を示し、エネルギー解放が起きた領域はQSLsと呼ばれる構造内にあることが示された。またQSLs上における磁場強度や電流分布を比較し、3次元における磁気リコネクションについて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M38a X クラスフレア前後でのコロナ磁場のねじれ変化とエネルギー解放

清水敏文 (ISAS/JAXA), 井上諭 (Max Planck Institute for Solar System Research)

太陽フレアはコロナ磁場に蓄えられたエネルギーを突然解放させる現象である。この物理的な過程を理解するには、コロナ磁場の3次元構造を観測される光球面ベクトル磁場をもとに推定し、その3次元構造のどこでエネルギー解放が起きるかを把握することが観測的な第一ステップになる。「ひので」可視光磁場望遠鏡が取得した精密な光球面ベクトル磁場マップを境界条件として、非線形フォースフリー磁場モデリング (Inoue et al. 2014) によって、2012年3月7日に発生した大規模フレア X5.4/X1.3 の前後それぞれで3次元コロナ磁場構造を推定し、それを用いてコロナ磁場のねじれがフレア前後でどのように変化したかを観測的に調べた。この例では、 δ 型黒点の中にできた磁気中性線まわりの低空コロナ磁場は大きくシア構造を持つ。さらに、ひのでの Ca II H 線画像と SDO/AIA の 1600Å 画像の動画を用いると、彩層フレアリボン位置とその移動から、エネルギー解放で粒子加速が効率良く行われた磁力線の光球面での位置が時間の関数として追跡できる。彩層フレアリボンの中で特に増光が激しいフレアカーネルの位置を見ると、磁気中性線の近傍付近では、推定された磁力線でカーネルどうしをおおまかに接続でき、3次元コロナ磁場構造が比較的良く再現できているようである。ただし、フレアリボンの端に行くほど、推定された磁力線ではカーネル同士が接続されず、注意が必要である。推定された3次元コロナ磁場からねじれ具合 (magnetic twist) の空間分布を求め、それをフレアリボン位置の時間変化と比較した。フレアのインパルス相は、フレア前後でねじれの大きな減少が観測された磁場と良く対応した。これは、ねじれに蓄えられた自由エネルギーが解放されたことを観測的に示している。また、より広い領域で、ねじれの変化が見られ、特にねじれが磁気中性線からさらに外側に広がる傾向が見られた。これらの観測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](#)

M39a **Analysis for a flare trigger with IRIS, SDO, and Hinode**

Yumi Bamba (ISEE/Nagoya Univ., ISAS/JAXA), Kyoung-Sun Lee (ISAS/JAXA), Shinsuke Imada, Kanya Kusano (ISEE/Nagoya Univ.)

IRIS successfully scanned over pre-flare brightening and a flare trigger region for the X1.6 flare occurred on 2014 October 22 in AR 12192, and SDO and Hinode also observed the region. We aim to examine the occurrence of internal magnetic reconnection, which occurs between large-scale magnetic field of AR and small-scale flare trigger field, because we so far used pre-flare brightening as a marker of a flare trigger region (Bamba et al. 2013, 2014). We analyzed SDO/HMI filter and vector magnetograms, AIA 1600 Å data, IRIS slit jaw images in C II and Mg II k lines and raster scan data in C II, Mg II k, Si IV lines, and Hinode/EIS He II, Fe XII, Fe XV lines. We first distinguished a candidate of flare trigger region using co-alignment images of AIA 1600 Å images and HMI magnetograms. Then we measured the shear angle of transverse magnetic field with respect to the potential magnetic field over the AR, and we determined that the flare was triggered by the Reversed Shear (RS) type magnetic field. We focused also on the last pre-flare brightening over the local polarity inversion line, which satisfies the condition of RS-type configuration, and calculated the Doppler velocities around the region using IRIS and Hinode/EIS data. As a result, strong blue shift (~ 40 km/s) was observed just beside the pre-flare brightening at almost the same timing in all the IRIS and EIS lines, i.e. from lower chromosphere to corona. We interpreted that the last pre-flare brightening was caused by internal magnetic reconnection, and it supports the theoretical prediction of Kusano model (Kusano et al. 2012).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a

Statistical Analysis on Flaring Active Regions of the Sun

Shin Toriumi (NAOJ), Carolus J. Schrijver (LMSAL), Louise K. Harra (UCL-MSSL), Hugh Hudson (University of Glasgow), Kaori Nagashima (MPS)

It is widely accepted that solar flares are produced via magnetic reconnection in sheared magnetic structures in active regions (ARs). In this work we study the statistical properties of large flares. We analyzed all flares with GOES SXR magnitudes greater than M5.0 with heliocentric angles of $< 45^\circ$ in the period from May 2010 to September 2015. These constraints led to a total of 51 flares from 29 ARs. Utilizing the SDO/HMI and AIA data sets, we found that (1) about 10% of all the analyzed ARs violated Hale's polarity rule, as opposed to only a few % for all ARs (Wang & Sheeley 1989), (2) the flare durations (FWHM time and e -folding decay time of the GOES SXR light curves) were linearly proportional to the separation between the two flare ribbons in positive and negative polarities, and (3) the ribbon area became larger with the duration. Moreover, (4) for the flares of the same magnitudes and durations, the CME-poor events were generally produced from larger regions compared to the CME-productive ones. If we assume that the ribbon separation reflects the length of the reconnected loops, Result (2) may indicate that the time scale of the flares is determined by the Alfvén transit time over the loop. Result (3) may simply show that as more magnetic flux is involved, the reconnection processes continue longer, while Result (4) may indicate that larger ARs have stronger overlying fields that inhibit the successful filament eruption (Sun et al. 2015). In our data sets, most of the flares ($\sim 80\%$) were from δ -shaped ARs. The formation of such complex ARs will be investigated in our future theoretical studies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M41a 2014年12月20日 X1.8 フレアの解析結果について

吉田正樹 (総合研究大学院大学), 末松芳法, 原弘久 (国立天文台)

2014年12月20日に発生した X1.8 クラスフレアは3時間以上に及ぶイベントである。SoHO (Solar and Heliospheric Observatory) 衛星によってフレアに伴うコロナ質量放出 (CME) が観測された。Hinode 衛星はこのフレアが発生した活動領域を観測しており、SDO (Solar Dynamics Observatory) 衛星は太陽全面を観測していた。SDO/HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) により太陽全面の光球磁場データが得られた。この活動領域が太陽の東側リムから出現した時点では、磁場の配置は先行 (西側) 黒点が負極、後行 (東側) 黒点が正極である。磁場の時間発展を見ると、正極は一度負極を追い抜いて、活動領域の西側へ到達している。正極が負極を追い抜いた際に、シア運動が発生し磁場のエネルギーが蓄積されフレアが発生する原因となったと考えられる。この追い抜く過程で、負極は広がって分布するようになった。SDO/AIA (Atmospheric Imaging Assembly) による複数波長フィルターを通した観測データに着目すると、各フィルターを通して複数の現象が確認できた。このフレアによるフレアリボンは $210 \times 140 \text{ Mm}^2$ の領域に広がって分布していた。フレア発生直後のリボンの広がる速さは 27 km/s 、後半では 4 km/s となっていた。フレア発生後には 100 km/s 近い速さで南西の方向に伝わっていく輝点が見られ、それに伴って 170 km/s 近い速さで上昇する噴出現象が見られた。フレアリボンの領域では 100 km/s の速さで上昇していくループ構造があり、その上部が横方向に速さ 50 km/s で収縮しているような様子も見られた。上昇していくループ構造は AIA のフィルターのなかでも高温成分 (94, 131 Å) においてのみ確認された。SoHO 衛星による CME の噴出時刻の観測データと、SDO/AIA で観測された上昇するループの速度を比べることで、このループが CME と関係していると考えられる。本講演ではこのフレア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](#)

M42a Mクラスフレアに伴う噴出現象と dimming

大山 真満 (滋賀大学), 坂尾 太郎 (宇宙航空研究開発機構), 下条 圭美 (国立天文台)

2013年3月15日に活動領域 NOAA 11692 (N07E07) で M1.1 クラスのフレアが発生した。SDO 衛星に搭載されている AIA の 171\AA の観測によって、フレア前から存在していたコロナループが縮む現象や、膨張し飛び出す現象がフレア領域の南側で起きていることが見つかった (2015 年度秋季年会で報告)。これらのループは、高温成分に感度のある観測では見つかっていない。また、この南側の領域では dimming も発生していることが、同じく 171\AA の観測で見つかった。Dimming の発生時間は、前述のコロナループが縮み始める頃と同じ、フレア発生約 15 分後である。

一方、北側の領域では、その時に dimming は起きていない。しかしながら、高温に感度のある 131\AA の観測やひので衛星の X 線望遠鏡 (XRT) の観測では、北側の領域では噴出現象が起きていることが分かった。最初の噴出物が現れ始めるのがフレア開始約 15 分後である。2 つ目の噴出物はさらに 15 ~ 20 分後に起きており、この時には西側の黒点近傍でもほぼ同時に噴出が起きている。

このフレア領域にはフィラメントが存在しており、京都大学附属飛騨天文台の SMART 望遠鏡の観測からフィラメントは活動的には動くものの、ほとんどのフィラメントのガスは飛ばずに残っていることが分かる。しかしながら、SOHO 衛星の観測から、このフレアに伴って Halo CME が観測されている。本講演では、これら噴出現象に着目して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](#)

M43a **京都大学飛騨天文台 SMART/FISCH による 2015 年 5 月 6 日 (日本時間) の白色光フレアの観測 II**

石井 貴子, 一本 潔, 仲谷 善一 (京大・理・天文台), 浅井 歩 (京大・宇宙ユニット), 川手 朋子 (Queen's University Belfast), 増田 智 (名大・STE 研)

京都大学飛騨天文台では、2015 年 5 月 6 日 (日本時間) に活動領域 NOAA 12339 で発生した巨大フレア (X2.7) の SMART 望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope) による観測に成功した。このフレアは、連続光での複数のポイントでの増光が観測中に確認できるほど顕著であった。

SMART/FISCH (Flare Imaging System in Continuum and H-alpha) では、フレアリボン・フレアカーネルの連続光 (647nm) と H-alpha 線での増光の様子を極めて高い時間分解能 (25frames/sec) で取得し、スペックルマスキング法による画像回復処理を行うことにより、1 秒の時間分解能での安定したライトカーブを得ることができた。連続光での増光箇所は、H-alpha 線でのフレアカーネルと時間的・空間的に対応していた。連続光の増光の 20 秒程度前から H-alpha 線での緩やかな増光が始まり、H-alpha 線での爆発的な増光にあわせて、連続光でも増光がみられた。RHESSI 衛星による硬 X 線ライトカーブと比較した結果、連続光の増光は硬 X 線での増光の一つ目のピークに一致していた。

SDO 衛星の極端紫外線画像を用いて、H-alpha 線でのフレアリボン・フレアカーネルの対応関係 (どのカーネルがどのループの足元か) を特定した結果、このフレアは、主に三つのループから構成されており、それぞれの足元で連続光での増光があったことが分かった。

本講演では、これら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](#)

M44a 太陽磁場観測による機械学習を用いた太陽フレア予報モデル開発

西塚直人, 久保勇樹, 田光江, 巨慎一, 石井守 (情報通信研究機構 電磁波計測研究所), 杉浦孔明 (情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所)

太陽爆発現象フレアの予測は、宇宙天気予報の最重要課題の1つである。しかしながら太陽フレアの発生機構はよく理解されておらず、まだ正確な予測は難しい。近年、非常に高精度な太陽衛星観測データが世界中で共有されるようになり、宇宙太陽科学と情報・コンピュータ科学が融合した新しい予測手法が開発されつつある。我々は、准リアルタイムで取得される太陽光球磁場データを用いた太陽フレア予測システムの開発を行ってきた(西塚ら日本天文学会2015年秋季年会)。リアルタイム観測磁場画像をもとに、1日以内にどのクラスの太陽フレアが発生するかを各領域毎に確率的に予測することが目的である。

我々は2010-2015年のSDO衛星観測磁場データベースを構築し、次に着目領域(活動領域)を検出して各領域から特徴量を抽出した。特徴量としては、黒点面積や最大磁場強度、磁場勾配、総磁束量、それらの時間変化量や磁気中性線の本数、長さなどを選んだ。さらに抽出特徴量をもとに、全データの7割を訓練用、3割をテスト用として、機械学習によるフレア予測の精度評価を行った。統計的にバランスの悪い太陽フレアの予測評価には、しばしばTSS(True Skill Statistics)が用いられ、既存論文では0.5-0.8である(1.0が理想)。本研究では、視線方向磁場特徴量をもとに0.7以上のスコアを出すことに成功し、さらに新たな観測量を加えることで精度向上を図っている。本発表では、現在開発中の太陽フレア予測システムの概要を紹介し、フレア発生前の磁場構造の統計的特徴とフレア予測に有効な特徴量について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【N. 恒星】

3月14日（月）午後（13:00-15:） [E会場]

N01a	13:00	巨大質量星の痕跡を示す可能性のある金属欠乏星の化学組成 II 青木和光（国立天文台）
N02a	13:12	SDSS/SEGUE で見つかった超金属欠乏星の詳細組成解析 松野允郁（総合研究大学院大学/国立天文台）
N03a	13:24	SAGA データベースを用いた銀河の化学進化の検証 須田拓馬（東京大学）
N04a	13:36	角運動量輸送を考慮した恒星合体による SN1987A の親星モデル 漆畑貴樹（東京大学）
N05a	13:48	連星中性子星合体による r プロセス元素の化学進化 小宮悠（東京大学）
N06a	14:00	高速自転 B 型星の酸素組成決定 竹田洋一（国立天文台）
N07a	14:12	太陽型星における巨大黒点の発生頻度とスーパーフレアとの関係 前原裕之（国立天文台）
N08a	14:24	高い磁気活動を示す近傍の太陽型星の高分散分光観測 野津湧太（京都大学）
N09a	14:36	スーパーフレア天体の X 線調査 矢吹健（中央大学）
N10a	14:48	フレア星 EV Lac の H α 線連続分光観測 本田敏志（兵庫県立大学）

3月15日（火）午前（09:30-10:） [E会場]

N11a	09:30	星震学と分光観測で明らかになった太陽型星の内部自転 高田将郎（東京大学）
N12a	09:42	振動を考慮に入れたアルゴル系における主極小時の光度曲線形状変化 鳴沢真也（兵庫県立大学）
N13a	09:54	AGB 星周縁部でのダストのドリフト運動と形成量との関係性 保田悠紀（北海道大学）
N14b	10:06	晩期型星の近赤外線長期間モニター観測で発見した変光周期 1000 日を超える天体の観測的特性 山下智志（鹿児島大学）
N15b	10:06	VERA による長周期変光星の VLBI 位置天文観測 中川亜紀治（鹿児島大学）
N16b	10:06	星周エンベロープにおける速度変動の検出法：ガウス基底関数フィッティングに基づくスペクトル解析 須藤広志（岐阜大学）
N17a	10:18	近赤外線高分散分光による銀河系中心セフィイドの金属量の導出 福江慧（東京大学）
N18b	10:30	近赤外線高分散分光器 WINERED: 大気吸収線の補正 鯨島寛明（京都産業大学）

N01a 巨大質量星の痕跡を示す可能性のある金属欠乏星の化学組成 II

青木和光 (国立天文台)

宇宙の初代星のなかには太陽質量の100倍を超える巨大質量星が存在した可能性が、初代星形成モデルから示されている。我々はすばる望遠鏡を用いた高分散分光観測により、特異な化学組成を示す金属欠乏星 ($[Fe/H] = -2.5$) SDSS J0018-0039 を発見し、その組成が鉄を大量に放出すると予想されている、140 太陽質量以上の星が起こす電子対生成型超新星、あるいは300 太陽質量以上の星が起こすかもしれない重力崩壊型超新星で生成される化学組成比に似た特徴をもつことを見出した (2015 年春季年会にて報告)。この天体のより高精度なスペクトルをすばる望遠鏡で取得し、組成解析を行ったところ、鉄組成に対して 元素、コバルト、中性子捕獲元素が低いというこの星の組成の特徴が確認された。そのなかで、元になった超新星爆発を特定するのに重要なケイ素組成が、以前の測定では飽和の影響を受ける強い吸収線 (3906 Å) だけによっており、大きな不定性を伴っていた点が問題であったが、今回、組成を測定しやすい中性ケイ素 4103 Å 線の位置に吸収線を検出することができた。ただし、詳細な解析の結果、この波長域には SiH 分子の吸収線が多数存在していることも明らかになった。この分子は、金属欠乏の小質量主系列星に特有な、低温・高密度の大気でのみ顕著になるもので、これまでに測定例がほとんどない。この分子吸収の影響を考慮すると、中性ケイ素線から求めたケイ素組成は前回の測定結果と同程度となり、この星の低いケイ素組成を確認することになった。この結果からは、この星の組成の起源が巨大質量星だとすると約 300 太陽質量あるいはそれ以上でないと説明が困難であることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N02a SDSS/SEGUE で見つかった超金属欠乏星の詳細組成解析

松野允郁 (総合研究大学院大学), 青木和光 (国立天文台)

金属欠乏星には銀河系形成期の化学組成の情報が残されているとして盛んに研究がなされている。特に著しく金属が欠乏している天体 (超金属欠乏星, $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.0$) は初代星による元素合成の影響を強く受けていると考えられており、その詳細な化学組成は初代星の形成やその超新星爆発過程等の解明に重要な手がかりとなっている。

Aoki et al. (2013) では SEGUE/SDSS で見つかった 137 の金属欠乏星候補天体に対して高分散分光観測を行った。我々はこれらの中でも特に金属量が少なく興味深いと考えられる天体に対して追観測を行い、高い S/N 比 ($S/N \sim 100$) の高分散スペクトルを得た。今回のサンプルには 7 つの超金属欠乏星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -3.0$) が含まれ、そのうち 3 つは $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$ であり、いずれもこれまでに観測例が少ない主系列星・準巨星であった。有効温度と表面重力は SDSS の解析パイプラインや恒星の色、鉄の吸収線の平衡状態などから求めることもできるが、今回はバルマー線の輪郭をフィットすることで統一的に求めた。表面重力の決定精度は ± 0.4 dex 程度で、恒星が主系列であるか巨星であるかの判別に有用であった。高い S/N 比の高分散スペクトルからは複数の元素の組成を決定することが可能であり、それによって銀河の化学進化について議論できる。

$[\text{Fe}/\text{H}] < -1/5$ の金属欠乏星中では Li 含有量は恒星によらず一定となり、Spite plateau を形成することが知られているが、近年の金属欠乏星の観測により $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ では Li 含有量はばらつきを持つことが明らかになってきた。今回のサンプルでは C や Sr の含有量にはばらつきは見られるものの、Li 含有量はほぼすべての恒星でほぼ一定であった。したがって、一部の恒星で見られる Li depletion は C や Sr の供給過程とは関係なく引き起こされている可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N03a

SAGA データベースを用いた銀河の化学進化の検証

須田拓馬, 小宮悠, 大谷友香理, 増山美優, 野田和弘 (東京大学), 日高潤 (明星大学), 勝田豊, 山田志真子 (北海道大学), 青木和光 (国立天文台), 藤本正行 (北海学園大学)

SAGA データベース (<http://sagadatabase.jp>) は銀河系および近傍矮小銀河に属する恒星の元素組成データベースである。これらの星は宇宙初期から現在に至るまでの化学進化の痕跡を留めているはずであり、銀河系形成過程を理解するうえで重要な天体である。高分散および中分散分光による組成解析が行われた恒星の数は銀河系・矮小銀河を合わせてすでに1万を超えており、登録されている元素組成のデータも10万件以上に上る。元素組成データだけでなく、恒星の大気パラメータや測光データなども公開されており、オンラインで検索・作図、データのダウンロードができる。

これまでの講演では、SAGA データベースを用いて、星の進化や化学進化の理論モデルを観測データと比較することによって、最も鉄組成の少ない金属欠乏星の起源や炭素過剰星の起源、宇宙初期に誕生した恒星の初期質量関数について提案を行ってきた。特に、超金属欠乏星における炭素過剰星の比率と元素組成分布に着目し、連星シナリオに基づく議論を展開してきた。

本講演では、これまでに蓄積された観測データを再検証し、銀河系と矮小銀河の化学進化の違いについて概観する。本研究では、観測データで使われている太陽組成の違いを補正し、金属欠乏星や炭素過剰星の分類をより厳密にした。また、データベースの検索アルゴリズムを見直し、同一の天体、同一の元素組成が複数の論文で測定された場合の取り扱いについて、複数の処理方法を選択できるようにし、統計を取る際の利便性と信頼性を向上した。講演では、最新の炭素過剰星のデータを用いて化学進化にどのような制限が与えられるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04a 角運動量輸送を考慮した恒星合体による SN1987A の親星モデル

漆畑貴樹, 梅田秀之, 高橋亘 (東京大学)

SN1987A は超新星の研究のみならず、多くの分野に重要な知見をもたらした重力崩壊型超新星である。その理由として、近傍である大マゼラン雲に位置している為、観測がリアルタイムで可能だった事が挙げられる。観測結果の1つに、超新星を起こした親星の色が青色であるという驚くべきものがあった。元来、恒星進化論において超新星を起こす親星の色は赤色であると予測されていたからである。その後の星周物質に対する詳細な観測から、一旦赤色になってから青色に戻った事がわかっている。つまり、元来の恒星進化論が述べるように、水素殻燃焼によって星は膨らむが、何らかの作用により星は縮んだ事が判明したのだ。

この観測事実を説明する為に、これまでに多くのモデルが提案されている。その中でも、有力とされているのが Podsiadlowski et al 1991 による恒星合体モデルである (Spiral-in model)。共通外層段階の時に、質量の軽い星が重たい星に取り込まれ、摩擦により中心付近へと螺旋運動しながら落ちていくというモデルである。この螺旋運動の際に、質量の軽い星は共通外層に溶け、最終的に合体して1つの星になるのである。

彼らの結果は赤色から青色になる経路が存在する事を示したが、螺旋運動をする際に軌道角運動量が外層に輸送されるというプロセスを定量的に考えていなかった。そこで我々は彼らのモデルを基にし、角運動輸送を考慮した恒星合体計算を行った。回転星の進化コード (Takahashi and Yoshida code) を用い、外層へ輸送される角運動量、軌道エネルギー、質量をパラメータとして進化計算を行った。本講演ではその結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05a 連星中性子星合体による r プロセス元素の化学進化

小宮 悠、茂山俊和 (東京大学)、藤本正行 (北海学園大学)

連星中性子星の合体は、重力波やガンマ線バーストの発生源と考えられ、様々な研究がなされている。元素合成の観点からは、中性子星合体は r プロセス元素の主要な起源天体である可能性が指摘されている。r プロセスは、鉄族より重い元素を合成する主要な過程であるが、r プロセス元素の主な起源天体は何なのかは未だに決着がつかっていない。本研究では、中性子星連星合体が r プロセス化学進化に与える影響を調べた。

過去の化学進化研究では、中性子星合体が r プロセスの主要な起源だとすると金属欠乏星の観測と矛盾することが指摘されていた。連星中性子星は合体までに時間がかかり、また発生頻度が極めて低いため、組成のばらつきが極めて大きくなり、特に金属量の低い星の多くは r プロセス元素を持たないことが予想されるが、実際はそうになっていないのである。しかし、これまでの化学進化研究では、中性子星合体放出物も超新星放出物と同様に取り扱われているという問題があった。実際には、中性子星合体からの放出物は、通常の超新星からの放出物よりはるかに高速で飛び出すため、極めて広い領域にまで拡散すると考えられる。

そこで我々は、階層的銀河形成をとりいれた化学進化モデルを用いて、中性子星合体放出物の拡散を適切に考慮した化学進化計算を行った。連星中性子星合体がおきると、合成された r プロセス元素は原始銀河内で広く混ざり、一部は原始銀河の外にまで放出される。放出された r プロセス元素は、他の原始銀河の化学進化にも影響をおよぼす。その結果、r プロセス元素分布は過去の研究の予想よりも平均化され、極めて金属量の小さい星でも r プロセス元素を含む場合が出てくることが分かった。本講演では、様々な銀河における r プロセス元素の化学進化計算の結果を、銀河系および矮小銀河の観測と比較し、r プロセス元素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](#)

N06a 高速自転 B 型星の酸素組成決定

竹田洋一 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学西はりま天文台)

恒星表面における He, C, N, O などの軽元素の化学組成を分光学的に決定して調べることで恒星内部の混合による核反応生成物汲み上げの物理過程を探ることができることはよく知られている。子午還流を引き起こす高速自転の星の多い早期型星では酸素組成は重要であって、ON サイクル生成物混合による組成異常 (O の欠乏) は見られるか、また自転速度への依存性はあるか、を調べることで内部混合の到達する深さの情報が得られる。

しかし高速自転星の場合スペクトル線が幅広く浅くなって組成決定が著しく困難になることもあり、本格的な組成解析はこれまでほとんど行われていない。今回我々は O I 7771-5 Å 三重線を用いてこの問題に取り組んだ。この線は B 型星の酸素組成決定 (青領域の O II 線が使われることが多い) にはあまり用いられていないが、強度も十分に高温星では近傍に他のラインがほとんど無いので解析にはうってつけである。

観測は西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡 + MALLS 分光器を用いて 2015 年 9 月に行ない、幅広い有効温度 ($10000 \text{ K} < T_{\text{eff}} < 28000 \text{ K}$) と射影自転速度 ($0 < v_e \sin i < 250 \text{ km s}^{-1}$) の範囲にわたる B 型星 34 個 (超巨星と Be 星は含めていない) のスペクトル (分解能 $R \sim 12000$) が得られた。大気パラメータを *wbyβ* 測光データから決定し、non-LTE スペクトル線輪郭フィッティング解析から酸素組成を決定したところ、以下の結論が導かれた。

- O I 7771-5 Å 線の強度は T_{eff} が増加するにつれて減少するが、non-LTE 効果は早期 B 型でも晚期 B 型でもかなり大きく (組成への補正で ~ -1 dex 前後)、これを考慮することは必須である。
- 結果として得られた我々の B 型星サンプルの酸素組成は T_{eff} にも $v_e \sin i$ にもあまり依存せずにほぼ太陽組成に近い値を示し、顕著な組成異常の傾向は見られない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N07a 太陽型星における巨大黒点の発生頻度とスーパーフレアとの関係

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

我々はケプラー宇宙望遠鏡の測光データの解析から、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) の $10\text{-}10^4$ 倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」を起こす太陽型星 (G 型主系列星) を多数発見した (Maehara et al. 2012, Nature, 485, 478 など)。スーパーフレアを起こす星の多くは振幅 1-10%、周期 1-30 日程度の準周期的な変光を示し、変光の振幅の大きい星ほど分光的に高い彩層活動を示す (Notsu et al. 2015a & b PASJ, 67, 32 & 33) ことから、スーパーフレア星は星表面 1-10% 程度の面積に達する巨大な黒点を持つと考えられる。

本研究では、巨大黒点とスーパーフレアの関係性を明らかにするために、黒点の大きさや自転周期など星の性質と、スーパーフレアの発生頻度との間の相関をケプラーの測光データから調べた。その結果、巨大黒点を持つ星では、星の自転周期に関係なくフレアの発生頻度やフレア星の割合はほぼ一定の値となることが分かった。一方、巨大黒点を持つ星の割合は星の自転周期と相関があり、自転周期が長くなると巨大黒点を持つ星の割合が下がることが分かった。このことは、巨大黒点の有無がスーパーフレアが発生するかどうかを決定づけており、スーパーフレアの発生頻度は巨大黒点の発生頻度で決まることを示唆する。さらに、黒点面積ごとの星の数がその面積の黒点の発生頻度に比例すると仮定して、太陽型星における巨大黒点と太陽黒点の面積ごとの発生頻度分布を比較したところ、太陽型星の巨大黒点の頻度分布は太陽黒点の頻度分布の延長線上にのることが分かった。講演では巨大黒点とスーパーフレアの頻度などの関係や、巨大黒点の発生頻度等の統計的性質について紹介し、我々の太陽のような自転の遅い星でスーパーフレアが発生する可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08a 高い磁気活動を示す近傍の太陽型星の高分散分光観測

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

私達は、ケプラー宇宙望遠鏡の測光データから、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) の $10\text{-}10^4$ 倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」を起こす太陽型星 (G 型主系列星) を多数発見した (Maehara et al. 2012 Nature 他)。特に、太陽のように自転の遅い星でも、多くのスーパーフレアが検出された。そして、ケプラーの測光データに加え、すばる望遠鏡での分光観測 (Notsu et al. 2015a&b PASJ) により、スーパーフレアを起こす星には必ず巨大黒点が存在することが分かった。今後は、このような巨大黒点の性質を明らかにする必要があり、巨大黒点の時間変化 (生成・発展・消滅の過程) に迫る長期モニター観測が重要である。私達は、現在建設中の京大 3.8m 望遠鏡に設置予定の高分散分光器とその豊富な観測時間を用いて、この長期モニターを実施していく計画だが、それにはより明るい観測星を全天の様々な領域で発見しておくことが欠かせない。

そこで私達は、岡山 188cm 望遠鏡 HIDES を用いた高分散分光観測を行っている。現在までに、X 線観測衛星 ROSAT による全天サーベイで受かった太陽型星 49 星と、ケプラーのデータから巨大黒点の徴候が見られている太陽型星 20 星を観測した。観測の結果、彩層活動性の指標である Ca II 8542 線や H α 線の強度からも、高い磁気活動性 (\approx 巨大黒点の存在) が示唆された。また、自転速度 $v \sin i$ や星の年齢を反映する Li 組成の観点から、太陽のように年をとって自転が遅い星も含まれ、自転の遅い太陽のような星でもスーパーフレア星と同様の高い磁気活動を示す星があることが確認された。本発表では、3.8m 望遠鏡での長期観測計画の全体像を紹介した上で、以上の観測結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N09a スーパーフレア天体のX線調査

矢吹健、坪井陽子、菅原泰晴（中央大学）、前原裕之（国立天文台）

恒星で起こるフレアは磁力線がつながり変わる際の磁気エネルギーの解放で起こると考えられており、中には太陽と同じG型星でありながら、太陽における最大フレア（ 10^{32} erg 程度）の10倍以上ものエネルギーを解放するフレアも存在する。これらをスーパーフレアという。前原、柴山らは、ケプラー衛星による可視光データを用いてG型主系列星の光度曲線をサーチし、279天体においてスーパーフレアを確認した。これらの中には、自転周期が太陽のように遅い天体（20日ほど）も含まれていた。また、フレアの最大エネルギーと自転速度の間に相関はなかった（Maehara et al.2012）。上記の結果は、星の磁気的活動をトレースするX線帯域の結果とは矛盾する可能性がある。従来、小質量星では自転周期が短いほどX線光度が大きいという関係が得られている（Pallavicini et al 1981）。スーパーフレア星のX線帯域での活動性を調べるため、我々はX線帯域のアーカイブデータを解析した。我々の目的は、まず可視光帯域で巨大なフレアを起こすG型矮星がX線帯域においても高い光度を持つのか、またこれらスーパーフレア天体のX線光度 (L_x) と全波長での光度の比 (L_{bol}) が実際にはどのようなものかを調べることであった。その結果、ROSATで3天体、XMM-Newtonでは更に5天体のデータが存在した。これらを解析したところ可視光フレアの最大エネルギーと定常的なX線光度との間に正の相関を見出した。また、自転周期の短い天体は Pizzolato et al.2003 の (L_x/L_{bol}) 飽和線上に乗り、自転周期10日以上天体は従来の関係より約一桁大きいことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N10a フレア星 EV Lac の $H\alpha$ 線連続分光観測

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

フレアは太陽表面で起きる爆発現象であるが、恒星でもフレアは起こる。とりわけ M 型主系列星や近接連星系の星、T Tau 型星などで多く見られ、これらの現象は太陽フレアと同じモデルで説明可能と考えられている。しかしながら、これらの恒星では太陽のフレアよりも何桁も大きなスーパーフレアを起こすことが知られている。また、近年の我々の研究でスーパーフレアは自転の遅い太陽によく似た星でも見られることが明らかとなり、恒星フレア研究の重要性が再認識され、改めて注目されている。

しかしながら、太陽類似星でのフレアの分光観測はまだ行われておらず、恒星フレア中の分光観測例も極めて少ない。我々はこのような恒星の巨大フレアの性質を明らかにするために、巨大フレアを頻発している M 型矮星 EV Lac の連続分光観測を行い、太陽フレアと比較するために、フレア時の $H\alpha$ 線の変化の検出を目指した。観測は 2015 年 8 月から 11 月の期間に 5 回、西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡と MALLS 分光器を使い、波長分解能 (R) は約 10,000 で、1 回の露出は 3 分もしくは 5 分で 3 時間から 8 時間連続して行った。得られた $H\alpha$ の等価幅は、8 月 15 日の観測では非常に強くなっており、また、それ以前やそれ以降には見られなかった He I (6678Å) の輝線が見られた。この日の観測の中でフレアによると思われる急激な $H\alpha$ 線の増光も見られた。このフレア時の $H\alpha$ 線のプロファイルは、非対称になっており、全体の増光と共に波長の短い方に広がった成分が見られた。その後全体が弱くなりつつも、この日の観測では青い成分はフレアが起こる前の状態まで戻ることは無かった。これは太陽フレアで見られる下向きのガスによる赤い成分の増光とは逆である。この現象について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11a 星震学と分光観測で明らかになった太陽型星の内部自転

O. Benomar(ニューヨーク大学アブダビ校), 高田将郎, 柴橋博資(東大理), T. Ceiller, R. A. García (CEA Saclay)

質量が1から1.6太陽質量の範囲の22個の主系列星について、内部と表面の自転角速度を、星震学の手法と分光観測を組み合わせることで決定した。星震学のデータはケプラー (Kepler) およびコロー (CoRoT) という宇宙探査機による観測によって得られた。わかったことは、これらの星の表面の自転角速度と星内部の(中心対流核を除く)広範囲にわたる平均自転角速度の差は非常に小さく、主系列ないしその前段階において角運動量が中心から外層に向けて効率的に輸送されたことを示唆するということである。もし表面の対流外層と内部の輻射層がそれぞれ一様に自転しているというモデルを採用すれば、ほとんどの星について、両層の自転角速度の差は、年齢によらず2倍以下であるということになる。

(Benomar, Takata, Shibahashi et al. 2015, MNRAS 452, 2654–2674)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a 振動を考慮に入れたアルゴル系における主極小時の光度曲線形状変化

鳴沢真也（兵庫県立大学），中村泰久（元福島大学）

短周期アルゴル型半分離連星系の中には，主極小時の光度曲線の形状が頻繁に変化する現象（以下，TPD と記す）を起こすものがあることが知られている。5つの系には特に激しいTPDが認められ，Active Algols（以下 AAs）と名付けられている。短周期アルゴル系においては，縮退星連星の場合に見られるような降着円盤は形成されないものの，伴星からの質量移動に伴い，主星側にガス流，高温帯，降着環帯などの存在が示唆されている。Olson(1982)は，これらの星周物質による影響がAAsにおけるTPDの原因であると論じた。

ところが，AAsの一つとされたRZ Casの場合は，その後，主星の δ Sct型振動による光度変化が食の光度変化と重なることにより，TPD様の現象が起きることが解明された（Ohshima et al. 2001）。最近では，食連星の成分星に振動が次々と発見されている。ならば，他のAAs及びその候補系においても，実は振動が原因でTPDとして観測される可能性があるのではないだろうか？TPDの原因を星周物質と振動とに区分することは，質量比逆転後における進化位相にあると考えられているアルゴル系における質量移動の様相・機構および振動星を含む割合などの研究に手がかりを与えてくれるであろう。

このような観点から，短周期アルゴル系におけるTPDの調査を行った。使用したデータは堂平観測所で得たもの（94年春季年会 T28P 参照）と vsnet-ecl によるもので，現在のところ13系について主極小時光度曲線の形状を調べた。その結果，候補的なものも含めると11系でなんらかのTPDが認められた。このうち，4系に振動による（あるいはその候補的な）TPDが見られる。年会ではTPDの原因をさらに議論し，また公転周期変化との関連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](#)

N13a AGB星周縁部でのダストのドリフト運動と形成量との関係性

保田悠紀、小笹隆司 (北海道大学)、田染翔平 (東京大学)、Christer Sandin (AIP)

AGB星周縁部でのダストの形成過程及びその形成量について今迄多くの研究がなされてきた (e.g., Gail and Sedlmayr 1988)。その大半の理論モデルではガスとダストと一緒に移動する (Position Coupling (PC)) と仮定されているが、ダスト形成領域は低密度であるためその仮定の正当性が問題視され、ダストのドリフト運動を考慮したモデルと比較する研究もなされている (e.g., Krüger and Sedlmayr 1997; Sandin and Höfner 2004)。しかしながらその比較は限られた恒星パラメータ範囲に対してのみであり、ドリフト運動がダストの形成量やサイズ、さらには質量放出率や星周縁密度構造に及ぼす影響の恒星パラメータ依存性は明らかにされていない。

我々はガスとダストの2流体動力学モデルを構築し、恒星進化計算で得られた恒星パラメータを用いて炭素過多 ($C/O > 1$) AGB星の周縁部でのドリフト運動のダストの形成量とサイズへの恒星パラメータ依存性を解明するために系統的な研究をおこなっている。前回の講演では、ダストの形成量はPCモデルと比べて同じかもしくは減少する場合が多いことが示された (保田他 2015年秋季年会)。その後我々はダストの形成量が増大する場合を探索してきた。その結果、その場合、PCモデルで持続的で質量放出率の大きい ($\dot{M}_{PC} > 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) 星風が発生し、ショック領域とその間の領域での質量放出率の比 $\dot{M}_{PC,shock}/\dot{M}_{PC,intershock}$ が10以下に収まるガスシェルが頻繁に形成されるという特徴があることを見出した。これらの特徴は銀河系内の炭素過多 AGB星用の星風モデルではよく見られる (e.g., Sandin 2008)。

本講演では、様々な初期質量、初期金属量に対して、ドリフトモデルの方がダストの形成量が増大する時期の有無を示し、ドリフト運動のダストの形成量やサイズへの影響を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N14b 晩期型星の近赤外線長期間モニター観測で発見した変光周期 1000 日を超える天体の観測的特性

山下智志, 永山貴宏, 面高俊宏 (鹿児島大学), ほか鹿児島大学光赤外線グループ

我々は、ミラ型変光星の周期光度関係を利用した晩期型星の銀河系内分布の解明を目的とした IRAS 天体の近赤外線モニター観測を行なっている。対象天体は、IRAS の 2 色図上の II, IIIa, IIIb 領域 (Van der veen et al.1988) から選出し、2003 年より鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡と近赤外線カメラ (J,H,K) でモニター観測を開始した。現在は 350 天体のモニター観測を継続中である。

この観測の中から変光周期 1000 日を超える長周期変光星を 19 天体発見し、周期、K バンド平均等級、変光の振幅を求めた。19 天体の内、17 天体は周期 1000 日台であり、残りの 2 天体 (P=2787 日、P=2389 日) は周期 2000 日を超す超長周期変光星である。これら 19 天体は全て IRAS の 2 色図上の IIIb 領域に位置している。

Jimenez-Esteban et al(2006) 等によって周期 1000 日以下の天体では、周期が長くなると共に振幅が増加する周期-振幅関係があると示唆されている。しかし、周期 1000 日以上天体はサンプルが少なく、よく分かっていなかった。私達が発見した天体は、周期 1000 日以下の天体が示す関係の延長にあり、周期-振幅関係が周期 1000 日以上まで延びていることを示唆する。また、周期が長くなると共に色 (H-K) が赤くなる周期-色関係も、LMC の O-rich 星 (Whitelock et al.2005) が持つ関係の外挿とよく一致しており、周期-色関係も周期 1000 日以上まで延びていることを示唆する。しかし、周期 2000 日を超す 2 天体は、振幅 ($\Delta K=0.3$) が小さく、また色 (H-K<1.0) は青く、他の 17 天体とは異なる傾向を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15b

VERA による長周期変光星の VLBI 位置天文観測

中川亜紀治 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 鹿児島大学 VERA グループ、国立天文台 VERA グループ

天の川銀河の長周期変光星、中でも Mira 型変光星に対する K バンド絶対等級を用いた周期光度関係を精度よく確立すべく、我々鹿児島大学と国立天文台 VERA グループは長年にわたり観測を進めてきた。これまでの観測から多くの長周期変光星の年周視差が決定され、精度の良い距離が得られている。最近のデータ解析から新たにミラ型変光星 R UMa の年周視差 1.92 ± 0.05 mas (距離 521 ± 14 pc) が得られ、半規則型と赤色超巨星を含む長周期変光星に対して、VERA 及び VLBA による VLBI 観測から距離が計測された天体の数はいま 20 に届こうとしている。これらの結果から K バンド絶対等級を求めて既知の周期光度関係との比較を行った。

VLBI 位置天文から得られる運動情報はまた星周メーザー運動の解明にもつながる。HIPPARCOS 衛星で得られた固有運動と VERA による個々のメーザーの固有運動の差分はメーザーの星周運動を与えると期待されるが、この考えに基づいた解析から R UMa の星周メーザー運動が検出された。これは近い将来活躍が期待される Nano-JASMINE による固有運動計測と VERA の観測データの特色を生かし、両データを結合させて議論を進めるための準備的研究でもある。このほか、進行中の長周期変光星の VLBI 観測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](#)

N16b 星周エンベロープにおける速度変動の検出法：ガウス基底関数フィッティングに基づくスペクトル解析

植田和貴、志賀元紀、須藤広志、恒川隼人、高羽浩（岐阜大学）、面高俊宏（鹿児島大学）

中小質量星はその進化末期に長周期の脈動変光星となり、きわめて激しい質量放出を伴う。星周エンベロープには水メーザー源が存在し、22 GHz 帯で強い輝線を放射する。一般に水メーザー源は、星から 100 AU 程度にあり、星の速度に対して ± 10 km/s 程度のドップラーシフトを示す。水メーザーのスペクトルをモニタリング観測し、ドップラーシフトの時間変化を計測することで、星周エンベロープの運動における加速度や脈動との関連性の情報が得られる。我々は、従来の観測に比べより短いスパン（1 週間）かつ高分散デジタル分光計（速度分解能 0.05 km/s）を用い、単一鏡による高頻度モニタリング観測を実施してきた。本研究において、多数の速度成分を有するスペクトルに含まれる全てのピーク成分を網羅的に同定するために、複数のガウス基底関数の線形フィッティングに基づく自動ピーク検出法を開発した。この手法では、成分パラメータ（振幅）に基づき、速度成分と雑音成分との違いを定量的に評価できるメリットがある。本講演では、実観測データを用いて新たに同定された速度場のパターンと脈動変光との関連性も報告する。また、統計的手法によるピーク数の自動決定法、時系列の情報を取り入れる手法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](#)

N17a 近赤外線高分散分光による銀河系中心セファイドの金属量の導出

福江慧, 松永典之, 山本遼, 小林尚人, 安井千香子 (東京大学), 近藤莊平, 池田優二, 濱野哲史, 新崎貴之 (京都産業大学), 辻本拓司 (国立天文台), G.Bono (ローマ大学トルベルガータ校), L.Inno (マックスプランク天文学研究所)

銀河系の化学進化を考える上で、恒星の金属量分布の情報は重要である。セファイドは明るく、距離の決定精度も高いため、若い星 (10~300 Myr) の金属量トレーサーとして適している。近年までは可視光サーベイで太陽系から数 kpc 以内のセファイドしか見つかっていなかったが (特に銀河系中心から 4 kpc 以内は皆無)、最近の近赤外線観測装置の発達により減光の強い銀河系中心領域を見通す事が可能となり、新たに銀河系中心から 200 pc 程度の範囲に広がる Nuclear Stellar Disk と呼ばれる系の中に 4 つのセファイドが見つかった (Matsunaga et al., 2011, 2015)。2012 年に *Subaru*/IRCS で観測された *H*-band の高分散分光スペクトルから、この 4 つのセファイドについて金属量を導出し、銀河系中心の金属量勾配について新たな知見を得ることが本研究の目的である。

近赤外線分光データの金属量導出に関連して、これまでに、(1) *H*-band での金属量解析方法 (2013 年秋季年会 N07a)、(2) ライン強度比を用いた恒星の有効温度の決定方法 (2015 年春季年会 N12a) について報告をしてきた。セファイドには位相による温度の変動が見られるが、この 2 つの方法は標準的なセファイド (δ Cep, X Cyg) で位相に応じた温度、文献値と合致する金属量を導出し、セファイドにも応用が可能であることを確認した。

4 つのセファイドのスペクトルは S/N=30-70 であるものの、3 天体で 0.1-0.2 dex、1 天体で 0.5 dex という金属量 ([Fe/H]) を得ることができた。この値は銀河系中心の他の天体と同程度の値である。本発表では温度や金属量の導出方法の詳細について述べ、セファイドの金属量勾配や銀河系中心の星形成についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N18b 近赤外線高分散分光器 WINERED: 大気吸収線の補正

鮫島寛明, 池田優二, 近藤荘平, 濱野哲史, 河北秀世 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之, 福江慧 (東京大学)

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、同天文台 1.3 m 望遠鏡と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 $R \sim 28,000$) 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ユニークなスペクトルデータが日々集積されている。しかしこの波長域には大気吸収線が豊富に見られるため、スペクトルの持つ情報を最大限利用するには大気吸収線の補正方法を確立することが決定的に重要である。

本講演では、WINERED で撮られた近赤外線高分散スペクトルの大気吸収線補正の実施状況について報告する。我々はヨーロッパ南天天文台が近年作成・公開している大気吸収シミュレーションコード MOLECFIT (Smette et al. 2015, Kausch et al. 2015) を用いて、(i) 標準星を用いず、MOLECFIT で作成した大気吸収モデルスペクトルのみで割り算する方法、(ii) 標準星に MOLECFIT を適用して大気吸収スペクトルを作成し、ターゲット天体から割り算する方法、(iii) MOLECFIT で作成した大気吸収モデルスペクトルを元に標準星スペクトルから固有吸収線を除去することで大気吸収スペクトルを作成し、ターゲット天体から割り算する方法、の3通りについて調査した。その結果、WINERED スペクトルでは (iii) の方法で最も高い精度が得られることが判明した。講演では大気吸収線補正に伴うスペクトルの信号雑音比変化に関する定量的な評価の他、大気吸収線補正の実例として WINERED で撮られた OB 型星の 0.9–1.35 μm にわたるスペクトルを複数紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成】

3月14日(月) 午後(13:00-15:15) [B会場]

P101a	13:00	Centrifugal Barrier of Infalling-Rotating Envelope around the Class I Protostar IRAS 04365+2535 坂井南美(理化学研究所)
P102a	13:12	IRAS 16293-2422 におけるエンベロープの速度構造解析(2) 大屋瑤子(東京大学)
P103c		Searching for the centrifugal barrier of the infalling-rotating envelope in two hot corinos with ALMA López Sepulcre, Ana (The Univ. of Tokyo)
P104a	13:24	星形成領域 L1527 における CCH および CCD の高分解能観測 吉田健人(東京大学)
P105a	13:36	原始星 L1527 IRS 周囲のダストとガスの構造 麻生有佑(東京大学)
P106a	13:48	ALMA Cycle 1 による原始星 L1448-mm の観測 黒瀬一平(東京大学)
P107a	14:00	OH 18 cm 線の吸収線で探る HCL2 領域における構造形成 海老澤勇治(東京大学)
P108a	14:12	連星降着モデルで探る周連星円盤の構造 II 松本倫明(法政大学)
P109a	14:24	おうし座分子雲に属する原始惑星系円盤の散逸過程 高木悠平(兵庫県立大学)
P110a	14:36	原始惑星系円盤における圧縮性乱流場中の粒子運動 古谷眸(筑波大学)
P111a	14:48	Long-Term Monitoring Observations of Active Pre-main Sequence Stars: Where Do Jets Launch? Takami, Michihiro (Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica)
P112b	15:00	Stable and Unstable Regimes of Mass Accretion onto RW Aur A Takami, Michihiro (Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica)
P113b	15:00	IC1848 における激変する若い変光天体の調査 蓮岡克哉(岡山理科大学)
P114b	15:00	HD 141569 A に付随する内円盤状成分の発見 小西美穂子(大阪大学)
P115c		円盤状構造の一部に塊が含まれる場合の直線偏光計算 福江翼(神戸市外国語大学)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [B会場]

P116a	09:30	磁場で支えられた分子雲コアの発見 中村文隆(国立天文台)
P117a	09:42	TMC-1 における CCS 分子輝線のゼーマン効果計測検証 亀野誠二(Joint ALMA Observatory)
P118b	09:54	ゼーマン効果検出を念頭においた TMC-1 周辺の CCS/HC ₃ N の OTF 観測 土橋一仁(東京学芸大学)
P119b	09:54	星形成レガシープロジェクト: Aquila Rift, Orion A, M17 領域の CO 分子雲カタログの作成 中村文隆(国立天文台)
P120b	09:54	トラペジウムクラスターの赤外線長期撮像観測 伊藤綾香(法政大学)
P121c		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 工藤哲洋(長崎大学)
P122a	10:06	フィラメント状ガス雲分裂により形成されたコアの形状進化 杉村和幸(東北大学)
P123a	10:18	オリオン座 A 巨大分子雲中のコアの角運動量 立松健一(国立天文台)
P124a	10:30	Universality of relation between SFR and mass of dense gas Shimajiri Yoshito (CEA/Saclay)
P125a	10:42	大質量星からのアウトフロー 松下祐子(九州大学)
P126a	10:54	超大質量原始星の降着進化に伴い発生するアウトフローについて 仲内大翼(東北大学)
P127a	11:06	一様回転する超大質量星の重力崩壊 打田晴輝(京都大学)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P128b	11:18	宇宙初期の星形成と磁場の効果 樋口公紀 (九州大学)
P129b	11:18	大質量原始星候補天体周囲の階層的降着構造に対する N_2H^+ 輝線観測 元木業人 (国立天文台)
P130b	11:18	Probing the mass accretion by the surrounding material in Taurus B211 filament Shimajiri Yoshito (CEA/Saclay)
3月15日(火) 午後(13:30-15:18) [B会場]		
P131a	13:30	星団を形成するクランプの力学的進化 下井倉ともみ (東京学芸大学)
P132a	13:42	クラスターを形成するクランプの回転+インフォール運動のモデル化 土橋一仁 (東京学芸大学)
P133a	13:54	ALMA cycle 1 におけるオリオン KL 電波源 I の高励起水分子輝線観測 廣田朋也 (国立天文台)
P134a	14:06	High mass star formation in M16's region explained by cloud-cloud collision Costes Jean (Nagoya Univ.)
P135a	14:18	ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 1: N159E にある 3つのフィラメント分子雲の衝突が誘発した大質量星形成現場 西合一矢 (大阪府立大学)
P136a	14:30	ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 2: 銀河系内天体との比較 徳田一起 (大阪府立大学)
P137a	14:42	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 (2) 原田遼平 (大阪府立大学)
P138b	14:54	ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 3: GMC の進化 I 森岡祐貴 (大阪府立大学)
P139b	14:54	銀河中心付近 G0.02- 0.07 に付随する分子雲のホットコア 宮脇亮介 (桜美林大学)
P140c		Spectral-line survey toward an outflow-shocked region, OMC2-FIR 4 Shimajiri Yoshito (CEA/Saclay)
P141b	14:54	日立 32-m 電波望遠鏡を用いた大規模な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニターサーベイ: 短周期天体探査 杉山孝一郎 (茨城大学)
P142a	15:06	G014.23-00.50 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター 永瀬桂 (茨城大学)
P143c		G33.641-0.228 のメタノールメーザーが示す 1 日以下の時間変動 藤沢健太 (山口大学)

P101a **Centrifugal Barrier of Infalling-Rotating Envelope around the Class I Protostar IRAS 04365+2535**

坂井南美 (理研), 大屋瑠子, Ana Lopez-Sepulcre, 渡邊祥正, 山本智 (東大), 酒井剛 (UEC), 廣田朋也 (NAOJ), 相川祐理 (筑波大), Cecilia Ceccarelli, Bertrand Leouch, Claudine Kahane (CNRS, IPAG), Emmanuel Caux, Charlotte Vastel (CNRS, IRAP)

Sub-arcsecond images of the rotational line emission of CCH, CS, and SO have been obtained toward the Class I protostar IRAS 04365+2535 in TMC-1A with ALMA. A compact component around the protostar is clearly detected in the CS and SO emission, while an extended envelope is seen in the CCH and CS emission. The velocity structure of the compact component of CS reveals infalling-rotating motion conserving the angular momentum. A centrifugal barrier of the infalling-rotating envelope is identified at the radius of 50 ± 10 AU. The observed velocity structure is well explained by a ballistic model of an infalling-rotating envelope, although the distribution of the infalling gas is not totally symmetric around the protostar. With the aid of the model, the mass of the protostar and the inclination angle of the disk (0° for edge-on) are evaluated to be $0.25 M_\odot$ and -20° , respectively. The distribution of SO is mostly concentrated at the radius of the centrifugal barrier, although it also shows asymmetry around the protostar. This result clearly demonstrates that the centrifugal barrier of the infalling-rotating envelope exists even in the Class I source and that it causes drastic change in chemical composition of the gas infalling onto the protostar.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102a **IRAS 16293-2422 におけるエンベロープの速度構造解析 (2)**

大屋瑤子, 坂井南美, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学), Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch, Cécile Favre (IPAG, Grenoble)

原始星円盤は惑星系の母体と考えられ、その物理的・化学的性質の理解は、惑星系の起源を探究する上で重要な情報源となる。しかし、低質量原始星の形成過程において、円盤がどの段階でどのように形成されるのかについては、未だ解明されていない。我々はこの問題に取り組むため、おうし座にある Class 0 原始星 L1527 を ALMA の初期運用 (Cycle 0) で観測した。その結果、原始星近傍のエンベロープの速度構造は、回転しながら落下するガス円盤のモデルによってよく再現され、遠心力バリアの位置が決定された。遠心力バリアは、L1527 とは化学的特徴の異なる天体でも同様に存在すると考えられる。そこで、我々はへびつかい座にある Class 0 原始星 IRAS 16293-2422 ($d=120$ pc) の ALMA Cycle 1 のアーカイブデータの解析を行った。

IRAS 16293-2422 は、飽和有機分子を豊富に含む Hot Corino であり、原始星付近の暖かい領域に炭素鎖分子を豊富に含む L1527 とは化学的に大きく異なる特徴を示す。解析の結果、OCS ($J=19-18$) の速度構造は上記のモデルでよく再現でき、原始星質量が $0.75 M_{\odot}$ 、傾き角が 30° 、遠心力バリアの半径が 50 AU と求められた。一方、 H_2CS ($7_{0,7}-6_{0,6}$) の速度構造には、このエンベロープ成分に加え、原始星方向に集中した高速度成分が見られた。これは原始星周りに形成された Kepler 円盤をトレースしていると考えられる。また、 CH_3OH ($11_{0,11}-10_{1,10}; A^{++}$) 及び $HCOOCH_3$ ($19_{9,10}-19_{8,11}; E$) は、OCS に比べて遠心力バリアの位置に集中して分布し、その速度構造は上記の質量等を使ったモデルで説明された。この結果は、Hot Corino を特徴付ける飽和有機分子が遠心力バリアの位置で生じる可能性を示唆し、Hot Corino の起源を理解する重要な糸口を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103c **Searching for the centrifugal barrier of the infalling-rotating envelope
in two hot corinos with ALMA**

Ana López Sepulcre, Nami Sakai, Yoko Oya, Muneaki Imai, Yoshimasa Watanabe, Satoshi Yamamoto

The formation of rotationally supported disks around young protostars constitutes one of the most important issues in star formation studies. Recent findings with ALMA have revealed a drastic chemical change in the transition zone between the infalling-rotating envelope and the inner disk of the Class 0 protostar L1527, where the accretion shock just before the centrifugal barrier results in enhanced SO emission around it. More recently, a similar result has been found in the more evolved, Class I protostar TMC-1A, where SO is mostly concentrated at the radius of the centrifugal barrier. In order to evaluate whether this is a common feature among protostars, we have observed SO and other molecular tracers in a number of selected protostars with ALMA. I will present our results on two of such protostars, the hot corino sources NGC 1333 IRAS 4A (Class 0) and Elias 29 (Class I), and I will compare them with those reported for other protostellar sources so far.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104a 星形成領域 L1527 における CCH および CCD の高分解能観測

吉田 健人 (東大)、坂井 南美 (理研)、渡邊 祥正、Ana López-Sepulcre、山本 智 (東大)

低温の分子雲では分子に重水素が濃縮する現象が知られている (重水素濃縮)。重水素濃縮は低温の星なしコア時代において効率よく進行し、星形成直前の段階で最も高くなる。星形成が起こって温度が上昇すると、重水素濃縮度はその温度での平衡値に向けて減少すると考えられるが、その時間スケールは 10^4 – 10^5 yr と長い。そのため、星なしコア時代の重水素濃縮度はある程度保存されたまま惑星系形成領域にもたらされると考えられるが、その程度については観測的に未解明である。

我々はこの問題に取り組むため、おうし座にある Class 0 原始星 L1527 に対し、CCH の重水素化物 CCD を ALMA Cycle 2 で観測した。観測天体は、原始星近傍の暖かい領域に炭素鎖分子が豊富に存在していることが知られている。ノーマル種 (CCH) については、ALMA Cycle 0 の観測 (ビームサイズ: $0.9'' \times 0.4''$) により、中心星から南北 500 AU 程度に伸びる edge-on のエンベロープに存在していることがわかっている。今回の観測では 12 m アレイに加え ACA の 7 m アンテナを用い、合成ビームサイズは $1.7'' \times 1.2''$ であった。観測の結果、CCD はノーマル種が存在している原始星近傍には存在せず、かわりにその外側 1000 AU 程度の領域にエンベロープ状に細長く存在していることがわかった。この結果は、温度の高い原始星近傍で CCH の重水素濃縮がある程度解消していることを示唆している。本講演では、CCH および CCD の高分解能観測結果をもとに、この重水素濃縮解消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](#)

P105a 原始星 L1527 IRS 周囲のダストとガスの構造

麻生有佑 (東大理・天文), 大橋永芳 (国立天文台), 相川祐理 (神戸大学), 西合一矢 (大阪府立大学), 斎藤正雄, 富阪幸治 (国立天文台), 高桑繁久, Hsi-Wei Yen (台湾中央研究院), 富田賢吾 (プリンストン大学), 町田正博 (九州大学)

星形成初期に当たる原始星段階では、動的降着 (インフォール) を示すエンベロープがケプラー回転を示す円盤へと遷移することが予想される。このケプラー回転する円盤は原始惑星系円盤と呼ばれ、惑星形成の現場として注目されている。インフォールからケプラー回転円盤が形成される過程を明らかにするために、我々は ALMA Cycle 0 において牡牛座分子雲 ($d = 140$ pc) にある原始星 3 天体 (L1527 IRS, TMC1A, L1489 IRS) を観測し、3 天体ともにケプラー回転則 ($V_{\text{rot}} \propto r^{-0.5}$) を示す事を明らかにした。加えて、L1527 IRS と TMC1A ではケプラー円盤の外に自由落下よりも遅いインフォールを検出した。我々の一連の研究の最新結果として、L1527 IRS (Class 0/I, $T_{\text{bol}} = 44$ K, $L_{\text{bol}} = 1.9 L_{\odot}$) を ALMA Cycle 1 にて C^{18}O ($J = 2 - 1$)、1.3 mm 連続波で観測したので報告する。Cycle 1 では Cycle 0 に比べて空間分解能 ($0''.46 \times 0''.37$) は ~ 2 倍、感度は ~ 4 倍向上した。

連続波はコンパクトで、デコンボリューションサイズは $0''.511 \times 0''.096$ (P.A. = 1.5°) である。過去の観測から L1527 IRS はエッジオンに近い円盤状構造を持つとわかっている ($i \sim 85^\circ$; Tobin et al. 2008) ので、連続波の長軸と短軸の比はダスト円盤のスケールハイトと半径の比が $H/R \lesssim 0.2$ ($\rho \propto \exp[-(z/H)^2]$) であることを示唆する。 C^{18}O では位置速度図からケプラー円盤 ($|V - V_{\text{sys}}| > 2.3 \text{ km s}^{-1}$, $R < 70 \text{ AU}$) を Cycle 0 より明瞭に確認できた。 C^{18}O でも鉛直方向の幅を測定、およびモデルと比較し、スケールハイトと半径の関係を調べると $H/R \sim 0.3$ とダストよりも大きい比が得られた。本講演ではこのようなダストとガスの間の構造の差を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106a ALMA Cycle 1 による原始星 L1448-mm の観測

黒瀬一平 (東大理・天文), 大橋永芳 (国立天文台), 麻生有佑 (東大理・天文), 西合一矢 (国立天文台), Hsi-Wei Yen, 高桑繁久 (台湾中央研究院), 相川祐理 (神戸大学), 富阪幸治, 斉藤正雄, 林正彦, 深川美里 (国立天文台), 町田正博 (九州大学), 富田賢吾 (プリンストン大学)

星形成過程で、若い星の周囲に原始惑星系円盤と呼ばれる星周円盤が形成されることが知られているが、その役割は、惑星系の形成に加えて、円盤を通じた角運動量輸送や中心星への質量降着など、星形成自体にとっても極めて重要である。この観点から円盤の力学的進化の過程を明らかにすることは、星形成から惑星形成、ひいては我々の太陽系の形成過程を理解する上で重要である。今回は原始星初期段階の L1448-mm (Class 0, $T_{\text{bol}}=69\text{K}$) を ALMA Cycle 1 にて 1.3mm 連続波, $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$, $\text{D}_2\text{CO}(J=4_{0,4}-3_{0,3})$, $\text{N}_2\text{D}^+(J=3-2)$ で観測した結果を報告する。空間分解能は $0.36'' \times 0.24''$ を達成した。1.3mm 連続波で中心星から半径 20AU の分子流の軸にほぼ直行する東西に伸びた構造を検出することができた。この伸びた構造は、主に星周円盤の構造を示すものと思われる。又この天体は連星系であることが知られているが、本観測でも主星から南東方向に $7''$ 離れた伴星を連続波で確認することができた。一方、円盤周囲のガスを捉えているとされる C^{18}O では円盤長軸方向に速度勾配が認められ、この速度勾配は中心に近づくほど大きくなり、このことから円盤とその周囲のガスの差動回転運動をトレースしていると考えられる。 D_2CO においても、 C^{18}O と同じ方向に速度勾配が検出されたが、そのプロファイルは C^{18}O とは大きく異なり、中心から離れるほど速度が大きくなることが分かった。講演では、 C^{18}O より得られた回転曲線の詳しい解析結果、 D_2CO の起源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](#)

P107a OH 18 cm 線の吸収線で探る HCL2 領域における構造形成

海老澤勇治、猪熊宏士（東京大学）、前澤裕之（大阪府立大学）、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、超微細構造に強度異常を示すことが知られている。特に、2012 年秋季年会 (Q45c) で猪熊が報告した例では、1612MHz 線が宇宙背景放射に対して吸収線で観測されていた。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)。

しかし、これとは逆に、最近我々が行った Effelsberg 100 m 電波望遠鏡を用いた観測結果では、おうし座の星なしコア TMC-1 の北西にある直線構造 (TMC-1FN) において、1720 MHz 線が吸収線として検出された。同時に、1612 MHz の吸収線がより赤方偏移した成分で検出された。この OH のスペクトルを ^{13}CO 、 C^{18}O の強度マップと比較した結果、直線構造は空間的に広がった温かいガスの圧縮によって形成されたばかりの状態、即ち分子雲形成の初期の段階を見ている可能性があることが示された (2015 年春季年会 P114a)。以上の結果は、OH 18 cm 線の吸収線が分子雲形成を探る有力な手段となり得ることを示している。

今回我々は、Effelsberg 100m 電波望遠鏡を用いて TMC-1FN の直線構造に垂直なストリップに対して、OH 18 cm 線の観測を行った。その結果、いくつかの点で 1720 MHz の吸収線が確認された。また、南西から北東に向かって赤側成分の中心速度が小さくなり、強度ピークをこえると中心速度は一定となる傾向が見られた。これは、南西の広がったガスが、TMC-1FN の直線構造と衝突している可能性を示している。この速度構造と OH 18 cm 線から求めた温度の関係についても総合的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108a 連星降着モデルで探る周連星円盤の構造 II

松本倫明 (法政大学), 西合一矢 (大阪府立大学), 高桑繁久 (ASIAA)

星の過半数は連星や三重星などの多重星として誕生する。連星系形成の標準的なシナリオによると、ガスは降着エンベロープから周連星円盤に落下し、周連星円盤からそれぞれの星を取り巻く星周円盤に落下する。周連星円盤は連星の質量降着の一翼を担うだけでなく、連星系の惑星形成の現場とも考えられており、連星系形成において重要な役割を担う。また、最近の高解像度で高感度の望遠鏡は若い連星の周囲に円盤構造 (周連星円盤) を捉えており (たとえば Takakuwa et al. 2014)、現在は連星系の質量降着の研究を推進する好機である。

そこで我々は円軌道を仮定した連星へのガス降着を数値シミュレーションによって調べた。前回の学会 (日本天文学会 2015 年秋季年会 P115a) では、(1) 周連星円盤の渦状腕に伴うガスの落下運動と膨張運動の存在、そして (2) 周連星円盤には非軸対称な振動があることを報告した。

本公演ではさらに解析を進め、周連星円盤の非軸対称構造の角速度は、連星の質量比と落下するガスの角運動量には依存せず、ガスの温度に依存することを発見した。これは、連星の質量が等しい場合 (すなわち質量比 $q = 1$ の場合) にも周連星円盤に非軸対称構造が存在することを意味し、数値シミュレーションでも確認された。非軸対称構造はガスの温度が高温なほどゆっくり回転し、非軸対称パターンの角速度は $\Omega_p/\Omega_* = 0.4 - 1.5c_s/v_*$ で近似される。ここで Ω_* と v_* は星の軌道運動の角速度と回転速度である。質量比が 1 に近い場合、ガスの流れの 3 次元構造が重要になる。星からの重力トルクによって角運動量を得たガスは星の軌道面上を外に広がるが、ガスは軌道面の上下から落下する。これは無限に薄い円盤ではなく 2 次元解析ではなく、円盤の厚みも考慮した 3 次元解析の重要性を意味する。また、講演では周連星円盤の振動が惑星形成に与えるインパクトについても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P109a おうし座分子雲に属する原始惑星系円盤の散逸過程

高木悠平、伊藤洋一 (兵庫県立大学), 大朝由美子 (埼玉大学)

前主系列星の年齢を正確に決定することは、星および惑星の形成過程を理解する上で非常に重要である。前主系列星の年齢は、その光度から求められることが一般的であるが、距離、減光、円盤起因のベーリングによる不定性が大きい。そのため、我々はこれまでの研究で、可視および近赤外高分散分光観測で得られる大気スペクトルから前主系列星の表面重力を求めることで年齢を決定する手法を開発し、前主系列星の年齢決定を行ってきた。その結果、おうし座およびへびつかい座分子雲に属する前主系列星において、原始惑星系円盤からの赤外超過が時間と共に散逸することが明らかになった (Takagi et al. 2014,2015)。しかし観測天体数に限りがあったため、分子雲全体での円盤散逸過程については議論の余地が残されていた。

そこで我々はおうし座分子雲に属する1太陽質量程度の前主系列星に対し、すばる望遠鏡 HDS で観測可能な天体をあらたに観測し、計18天体を用いて原始惑星系円盤の進化時間について議論した。その結果、ほとんどの前主系列星で原始惑星系円盤がおおよそ200万年で散逸することがわかった一方で、100万年程度で原始惑星系円盤が散逸する星が複数あることが判明した。これらの天体はすべておうし座分子雲の南方に位置しているため、同一の分子雲内でも円盤の散逸過程と時間が異なる可能性が示唆された。本公演ではこれらに関して議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110a 原始惑星系円盤における圧縮性乱流場中の粒子運動

古谷眸 (筑波大学), 江野畑圭, 石原卓, 白石賢二, 芳松克則, 岡本直也 (名古屋大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系円盤中には星間ガス、星間ダストと呼ばれる微粒子が存在している。円盤内で微粒子が衝突・合体を繰り返して微惑星、そして惑星が形成されると考えられているが、その形成メカニズムは未解明である。ダストは一つ一つ異なる慣性をもつ粒子で、ガスの流れへの追従性は慣性に応じて異なっている。ダストは慣性によって乱流渦から弾き飛ばされ、渦度の小さい領域に集中し、強い空間相関が誘起されると示唆されている (Pan et al., *Astrophys. J.* 2011)。先行研究を含め、微粒子が衝突・合体を起こすのに、重要な役割を果たすのが乱流であると考えられている。しかし、原始惑星系円盤にみられるような圧縮性乱流中の慣性のある微粒子の運動については、実験・観測データを得ることが困難であり、十分な理解は得られていない。一方、近年のスーパーコンピュータの著しい発達により、乱流の大規模な直接数値シミュレーション (DNS) が実施され、圧縮性乱流についての理解が進んでいる。本研究の目的は、圧縮性乱流 DNS を用いて慣性粒子の運動のシミュレーションを行い、慣性粒子の運動を調べることにより、微惑星形成過程における乱流の役割を理解することにある。これまでに、マッハ数 (Ma) が 0.2 の圧縮性乱流 DNS 中の粒子追跡を行い、動径分布関数を調べたところ、非圧縮性乱流に対する結果と同等の結果が得られた。しかし、圧縮性乱流は Ma の増加とともに、密度分布の Skewness が負値から正値に変化することが知られている。今後はデータの可視化と統計解析により、圧縮性乱流中の慣性粒子の運動の Ma 依存性を明らかにし、微惑星の形成メカニズムを明らかにする予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111a **Long-Term Monitoring Observations of Active Pre-main Sequence Stars:
Where Do Jets Launch?**

Michihiro Takami, Y.J. Wei, M.Y. Chou, J.L. Karr (ASIAA, Taiwan), T.L. Beck (STScI), N. Manset (CFHT), M. White (Australian National Univ.), K. Grankin (Crimean Astrophysical Observatory), M. Fukagawa (NAOJ), H.M. Gunther (MIT), C. Schneider (ESTEC), R. Kurosawa (MPIfR) et al.

Understanding the mechanisms of mass accretion and ejection is one of the key issues of star formation theories. In particular, jets seem to play a fundamental role in removing excess angular momentum from the disk, allowing mass accretion to occur. However, observational studies are hampered mainly by the limited angular resolutions of current telescopes, which are not sufficient for resolving structure and kinematics in the jet launching region. We are therefore using an alternative approach to tackle this issue: long-term monitoring of mass accretion and the extended jets of four active T Tauri stars. The observations include optical high-resolution spectroscopy with CFHT-ESPADOnS; optical and near-IR photometry at Crimean Astrophysical Observatory and JAXA-ISAS; and integral field spectroscopy using Gemini-NIFS. Five-year observations of optical spectra at CFHT show remarkably different time variation in their emission line profiles between DG Tau, RW Aur A and RY Tau. The variations observed in RW Aur A and RY Tau may be related to time variable ejection in the jet. Continuing the observations and combining the different dataset will eventually inform us about the presence of jets launched from the magnetosphere/inner disk edge.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P112b **Stable and Unstable Regimes of Mass Accretion onto RW Aur A**

Michihiro Takami, Y.J. Wei, M.Y. Chou, J.L. Karr (ASIAA, Taiwan), T.L. Beck (STScI), N. Manset (CFHT), M. White (Australian National University), M. Fukagawa, T.-S. Pyo (NAOJ), R. Kurosawa (MPIfR), W.P. Chen (National Central University, Taiwan), R. Galvan-Madrid (UNAM, Mexico), H.Y. Liu (ESO), J.F. Donati (UPS-Toulouse/CNRS-INSU)

We present monitoring observations of the active T Tauri star RW Aur, from 2010 October to 2015 January, using optical high-resolution spectroscopy with CFHT-ESPaDOnS (see the other talk for the overall project). Optical photometry in the literature shows bright, stable fluxes over most of this period, with lower fluxes (by 2-3 mag.) in 2010 and 2014. In the bright period our spectra show clear photospheric absorption, complicated variation in the Ca II 8542 Å profile shapes, and a large variation in redshifted absorption in the O I 7772 and 8446 Å and He I 5876 Å lines, suggesting unstable mass accretion during this period. In contrast, these line profiles are relatively uniform during the faint periods, suggesting stable mass accretion. The changes in optical continuum fluxes and line profiles qualitatively agree with the theory of magnetospheric mass accretion with enhanced and suppressed magnetic Rayleigh-Taylor instabilities at high and low mass accretion rates, respectively. However, the large decreases in photometric flux and the weakness or absence of photospheric absorption during the faint periods challenge the existing theories.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113b IC1848 における激変する若い変光天体の調査

蓮岡克哉, 福田尚也 (岡山理科大学)

IC1848 (W5) は大質量星形成領域の一つで、Spitzer 宇宙望遠鏡や Herschel 宇宙望遠鏡によって早期のターゲット天体として観測されている。銀経+137°51′、銀緯0°55′であり、ほぼ銀河面に位置するカシオペア座の星形成領域である。IC1848 に連なる W3 の距離は Matsumoto et al. (2011) により 1.67 (+0.21/-0.17) kpc と見積もられている。若い変光天体には、質量降着が原因として考えられる激変を示す天体がある。Audard et al. (2014) により、これまでに公表された激変する若い変光天体がまとめられているが、FU Ori 型星 10 個、FU Ori 型星候補 16 個、EX Lup 型星 8 個、EX Lup 型星候補 7 個と発見例が少ない。研究室では発見例の少ない激変する若い変光天体の探査を行っている。

本研究では IC1848 を対象に 2 つの時期が異なる画像 (POSS1 と POSS2 の R バンド) を用いた R-GB 法により、変光天体と移動天体のサーベイを行った。解析データは The STScI Digitized Sky Survey (DSS) から取得した。1 領域を 5 × 5 として、260 領域調べ、変光天体 16 個、移動天体 210 個を検出した。発見した変光天体のうち 9 天体は SIMBAD に対応天体があるが、既知の変光天体は LW Cas (FU Ori 型星と推定) のみであった。本研究で発見した変光天体 2 天体と移動天体 1 天体は、2015 年 10 月 18 日から 19 日の 1 夜に、岡山県井原市美星町にある美星天文台 101cm 反射望遠鏡で観測を行った。観測波長は V、R、I の 3 波長である。今回は、発見した変光天体の 1 つである、BRC11 にある若い変光天体について報告する。発見した天体は POSS1 (1954 年) から POSS2 (1989 年) の間に増光が見られたが、本研究の観測時には POSS2 から減光していた。短期間での変光より、若い変光天体で激変を示す EX Lup 型星と推定できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P114b HD 141569 A に付随する内円盤状成分の発見

小西美穂子 (大阪大), Carol A. Grady (Eureka Scientific, NASA/GSFC), Glenn Schneider (U Arizona), 芝井 広 (大阪大), Michael W. McElwain (NASA/GSFC), Erika R. Nesvold (Carnegie Institution), Marc J. Kuchner (NASA/GSFC), 他 HST GO 13786 メンバー

HD 141569 A は残骸円盤をもつ若い恒星 (年齢 500 万年、スペクトル型 B9.5) であり、2 つの M 型伴星を持つ。可視光や赤外線の先行観測 (e.g. Augereau+1999, Weinberger+1999, Mouillet+2001, Clampin+2003, Janson+2013, Biller+2015) によって、175AU より遠方に複雑な構造 (2 つのリングと北側から東側に伸びるスパイラル) が検出された。しかし、中間赤外線や CO ガスの観測からは、より恒星に近い場所にガスや数 $10\mu\text{m}$ サイズのダストの存在が示唆された (e.g. Fisher+2000, March+2002, Goto+2006)。そこで恒星近くの円盤構造を明らかにするために、ハッブル宇宙望遠鏡の STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph) による観測を行い、恒星から 30AU (0.25 秒) まで迫ることができた。その結果、既知の構造に加えて、175 AU より内側にある円盤状成分からの散乱光を初めて検出した。この散乱光成分の特徴を列挙する。1. 円盤状成分が 1.0 秒 ($\sim 120\text{AU}$) まで広がっており、内側は 0.25 秒まで溝や空洞が無いこと。2. 外側にある既知の 2 つのリングと同じ散乱の性質を示すこと。3. 表面輝度の距離依存性の傾きが途中で明らかに変わること。4. 円盤の中心が恒星の位置に対して、約 6 AU 北にずれている可能性があること。5. 外側のスパイラルと同じようなスパイラル構造 (1.1 秒, $\sim 130\text{AU}$) が存在すること。6. 既知の CO ガスの円盤分布と重なること。また、内側の円盤状成分と既知のリングの間には、 9 ± 3 木星質量以上の点源は見つからなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115c 円盤状構造の一部に塊が含まれる場合の直線偏光計算

福江翼（神戸市外大）

偏光とは電磁波の振動の方向が規則的な状態を指す。光の偏光の状態は、直線偏光成分と円偏光成分から成っている。

星・惑星形成領域においては、その形成や進化において重要な役割を担うものとして、その領域に浮遊する塵粒子が挙げられる。中心の若い星からの光は周囲を照らし、塵粒子により散乱され、多かれ少なかれ偏光を生じると考えられる。3次元空間における光の散乱過程であるため、数値計算により偏光の変化を調べることが期待される。

そこで、モンテカルロ法による輻射輸送数値計算プログラムの開発を進めている。光の偏光状態をストークスパラメータにより表現し、散乱過程におけるストークスパラメータの変化を追う。

本発表では、中心の星からの光がレーリー散乱されて直線偏光度、つまり直線偏光の割合がどのように変化するのかなどについて計算する。散乱体の空間分布としては、星の周囲に円盤状の構造を考える。加えて、円盤中の非一様な構造の影響を調べるために、今回は円盤の一部に、周囲と比べて減光の大きい領域を導入して計算を試した。光学的にあまり濃くない環境下において、その影響がわかりやすい場合とわかりにくい場合があるのかどうか、計算結果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](#)

P116a 磁場で支えられた分子雲コアの発見

中村文隆 (国立天文台), 亀野誠二 (JAO), 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高密度コア (密度 10^4 cm^{-3} 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 鏡用の新 45GHz 帯受信機 Z45 を開発した。この受信機を用いると 45.379GHz の CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$) 輝線のゼーマン観測ができる。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、高密度コアの磁場測定に最適な分子輝線の一つであると考えられてきた。しかし、今までに CCS のゼーマン分裂をクリアに検出した例はない。

我々は、CCS ゼーマン分裂の初検出を目指し、2014 年 4 月に近傍のコア TMC-1 に向けたゼーマン観測を行った。総積分時間約 30 時間 (Smoothed Bandpass Calibration 法により 1/3 に短縮) で 134.6Hz のゼーマン分裂を 9 シグマで検出することに成功した。これは、磁場強度 $211 \mu\text{G}$ の強度に相当する。また、検出の検証のため、ゼーマン分裂を起こさない HC_3N 輝線も同時受信し、ゼーマン分裂のパターンが見えないことも確認した。TMC-1 の柱密度は、ダストの減光マップや C^{18}O の観測から、 $1.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 程度と見積もられる。この値から、磁束と質量比を求めると 2.3 となり、視線方向の傾きを 45° と仮定すると、 $B/\Sigma = 4.6(B/\Sigma)_{\text{cr}}$ となった。つまり、TMC-1 は強い磁場で支えられたコア (magnetically-subcritical core) であることが分かった。これまでに磁場で支えられたコアの検出報告はなく、TMC-1 が初の例である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117a TMC-1におけるCCS分子輝線のゼーマン効果計測検証

亀野誠二 (JAO)、中村文隆 (国立天文台)、土橋一仁、下井倉ともみ (東京学芸大)、谷口琴美 (総研大)、水野いづみ (ハワイ州ヒロ) ほか Z45 チーム

野辺山 45m 電波望遠鏡+Z45 受信機+偏波分光計 PolariS による、TMC-1 における CCS 分子輝線のゼーマン効果の計測結果 (中村他、本年会) を検証する。このシステムは直線偏波の相互相関 $\langle XY \rangle$ によって円偏波成分 (Stokes $V \sim \frac{dI}{d\nu} \Delta\nu$) を測り、ゼーマン分裂 $\Delta\nu$ を求める。観測方程式は Stokes $V = \text{Im} \left(\frac{\langle XY^* \rangle}{G_X G_Y^*} \right) + \text{Im} (D_X) \frac{\langle YY^* \rangle}{G_Y G_Y^*} - \text{Im} (D_Y) \frac{\langle XX^* \rangle}{G_X G_X^*}$ で表され (D は交差偏波係数)、ゲイン G の偏波間差や D による系統誤差を抑制できる特長がある。また、予想されるゼーマン分裂 $\Delta\nu \sim 64$ Hz に対し、61 Hz と十分な周波数分解能を持つ。Stokes V への系統誤差要因は、(a) XY 位相差, (b) D の較正誤差, (c) 円偏波間のビームスクイントがある。(a) は 1 時間毎に wire grid で直線偏波信号を挿入して較正し, (b) は無偏波天体によって較正した。(a) と (b) は Stokes I に比例した系統誤差を生じるものの、TMC-1 では $\frac{dI}{d\nu}$ とほぼ直交するため、ゼーマン分裂への影響は小さかった。(c) は TMC-1 に速度勾配があるため $\frac{dI}{d\nu}$ に比例する系統誤差を生じる。点源と見做せる CH_3OH メーザー源 (44.1 GHz) のポインティング観測によって A_z 方向に $-2''.1 \pm 0''.3$ のスクイントを見出し、OTF 観測のマップ (土橋他、本年会) から $(3.63, 2.74) \text{ km s}^{-1} \text{ deg}^{-1}$ の速度勾配を得て、parallactic angle に応じて速度差を補正しながら積分した。この結果、CCS 分子輝線についてゼーマン分裂 $135 \pm 15 \text{ Hz}$ ($t = 9.0$) と有意な検出を得た一方で、対照群として同時に観測した HC_3N 分子輝線については $-10 \pm 14 \text{ Hz}$ と不検出であった。本システムおよびリダクション手法は GitHub (<https://github.com/kamenoseiji>) に公開しており、第三者による独立検証を歓迎する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118b ゼーマン効果検出を念頭においた TMC-1 周辺の CCS/HC₃N の OTF 観測

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

ここ数年, 我々 Z45 チーム (代表: 中村文隆) は 40GHz 帯の CCS 分子輝線 ($J_N = 4_3 - 3_2$) によるゼーマン効果の検出を目指し, 受信機 (Z45) の開発, 野辺山 45m 鏡への搭載, 性能評価, および試験観測に取り組んできた。2014 年 4 月からいよいよゼーマン効果検出のための本観測 (長時間積分) を開始し, 2015 年になってようやく TMC-1 のシアノポリンピークで同分子輝線のゼーマン分裂の検出に成功した (中村文隆他, 本年会)。

TMC-1 からの CCS 分子輝線 (Hirahara et al. 1992; Suzuki et al. 1992) は高輝度 ($T_{a*} \simeq 2.4$ K @ NRO45m 鏡) でシャープな立ち上がり (線幅が細い) をもち, ゼーマン分裂の検出に適しているが, その検出には精度の高い速度勾配のデータが不可欠である (亀野他, 本年会)。また, TMC-1 のシアノポリンピークの座標の文献値 (1950 年分点で $4^h 38^m 38.6^s, 25^\circ 34' 45''$) は 20 年以上前にポジションスイッチで得られたものであり, 位置決定精度に多少の不定性が残っていた。そこで我々は, 本観測に先立ち, TMC-1 を含むフィラメント全体について CCS 及び HC₃N 分子輝線による On-The-Fly (OTF) 観測を遂行し, ゼーマン効果検出のための (1) CCS 分子輝線の積分強度のピーク座標の決定 (長時間積分に使用) と, (2) ピーク座標周辺での CCS 及び HC₃N 分子輝線の速度勾配の測定 (ゼーマン分裂の解析に使用) を行った。その結果, (1) のピーク座標は 2000 年分点で $4^h 41^m 43.87^s, 25^\circ 41' 17.7''$ であり, (2) の速度勾配は CCS 及び HC₃N でそれぞれ $(\frac{dv}{d\alpha}, \frac{dv}{d\delta}) = (3.63, 2.74)$ 及び $(3.68, 3.43)$ km/s/deg であることが分かった。また, TMC-1 は速度的に分離できる最低 3 本のサブフィラメント (角分解能的には未分解) から構成されていることも分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119b 星形成レガシープロジェクト：Aquila Rift, Orion A, M17 領域の CO 分子雲カタログの作成

中村文隆（国立天文台），下井倉ともみ，土橋一仁，（東京学芸大），Quang Nguyen Luong, Patricio Sanhueza（国立天文台），原千穂美（東京大），島尻芳人（CEA/Saclay）ほか星形成レガシーチーム

我々は野辺山 45m 鏡に搭載された 4 ビーム受信機 FOREST を用いて近傍星形成領域 Aquila Rift(距離約 400 pc), Orion A(距離約 400 pc), M17(距離約 2 kpc) の ^{12}CO ($J = 1 - 0$), ^{13}CO ($J = 1 - 0$), C^{18}O ($J = 1 - 0$), N_2H^+ ($J = 1 - 0$) 輝線による広域マッピング観測を遂行している。本プロジェクトでは、取得データを用いて様々なサイエンスを展開する予定である。本講演では、その中の一つのサイエンスである、分子雲カタログ作成について報告する。

昨シーズン取得した ^{12}CO ($J = 1-0$) データ(実効分解能 $\sim 20''$, 速度分解能 0.1 km^{-1}) に Dendrogram+SCIMES 解析を適用し、分子雲、分子雲クランプの同定を行った。Dendrogram は分子雲の階層構造の同定を行うソフトウェアで、SCIMES はそれを用いて、ISM 内の分子雲・分子雲クランプ等の構造を同定する手法である。オリオン領域では、空間・速度分解能にも依存するが、数十個程度の構造の同定に成功した。同定した構造をもとに、線幅・サイズ関係や質量・半径関係などを求めた。それぞれ Larson 則に矛盾しない結果を得た。本講演では、解析の最新成果を示し、カタログ作成に向けた進捗の報告を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P120b トラペジウムクラスターの赤外線長期撮像観測

伊藤綾香（法政大学）、田村元秀（東京大学/自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター/国立天文台）、日下部展彦（自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター/国立天文台）、中島康（一橋大学）、岡村定矩（法政大学）

我々は南アフリカ天文台に設置された IRSF 望遠鏡で2000年、2005年、2014年に取得された赤外線画像（ JHK_s バンド）を用いて、地球に最も近い大質量星形成領域にあるトラペジウムクラスター中の若い低質量天体（低質量恒星、褐色矮星、浮遊惑星）を検出し、その性質を調べている。観測装置は、2000年は SIRIUS、2005年と2014年は SIRPOL を使用した。約15年の長いタイムスパンによる取得画像の比較は、これらの装置を使用した観測において初めての試みである。そのため、まず2000年と2014年のデータを解析した。

各バンドでの測光誤差が0.05等以下、かつ3バンド全てで検出された星（2000年は398星、2014年は406星）を解析の対象とした。等級は2MASSシステムに準拠した。測光誤差0.05等に対応する概略の限界等級は2000/2014年で、 $J=15.1/15.3$ 等、 $H=14.1/14.6$ 等、 $K_s=13.8/14.2$ 等であった。

二色図上で、塵によって赤化を受けた背景の星と、塵の円盤からの熱放射によって赤い色をしている星団の若い星を区別することができる。各年において二色図から百数十個の塵円盤を持つ可能性のある星が同定できた。さらに、2000年と2014年で位置の差が1.3以内の315星を同じ星として同定し、明るさの変化を調べた。この中で2000年と2014年の等級差が0.3等以上（測光誤差の4.2相当）の変光星は47個検出できた。47星の天球上の分布に際立った特徴は無かった。47星の内、 K_s バンドで明るく/暗くなった星は22星/25星であった。明るくなった星は色が青くなり、暗くなった星は赤くなる傾向があった。Hだけが明るくなったものが5星あった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P121c 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

工藤哲洋（長崎大学教育学部）

分子雲は星が誕生する分子雲コアのような小さなスケールにおいても細長いフィラメント形状をしていることがわかってきた（André et al. 2010 etc）．また，磁場の観測から，そのような細長いフィラメントには，フィラメントの軸に垂直に磁場が貫いていることもわかってきた．フィラメント状分子雲における重力不安定性の理論は古くからよく調べられている．しかし，観測されているような，フィラメントの軸に垂直に磁場が貫いている場合の重力不安定性の理論はこれまで知られていない．それは，フィラメントの軸に垂直に磁場がある場合，空間の対称性がフィラメントの軸方向だけになり，その対称性の悪さから解析的な方法で解を得る事が難しくなるからである．

そこで，本研究では，時間発展の磁気流体力学数値シミュレーションを用いて実験的にその安定性を調べることを試みた．初期条件として，簡単のため，磁場がない場合にほぼ力学平衡になるようなフィラメント状分子雲を設定し，そこにフィラメントの軸に垂直になるような一様磁場を加えた状態とした．その系にランダムな揺らぎを与えて系の重力不安定性を調べた．その結果，線形段階では，磁場の強さに依らずにフィラメント状分子雲にソーセージ型の重力不安定が成長し分子雲コアが生成した．その後，非線形段階になると，磁場がある程度弱い場合には，コアの中心で星の誕生へとつながる暴走的収縮が発生した．一方，磁場がある程度強い場合には，暴走的収縮がおこらずに星なしコアが生成し，他の星なしコアと重力で引き合い合体する様子が見られた．

なお，本発表は2013年度と2014年度の国立天文台サマー学生チューデントであった横村尚子さんと丸石崇史さんの協力の下で実行された研究を基にしている．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122a フィラメント状ガス雲分裂により形成されたコアの形状進化

杉村和幸, 水野友理那 (東北大学), 松本倫明 (法政大学), 大向一行 (東北大学)

星は分子雲コアの中心で誕生すると考えられているため、星形成過程を理解する上でまず分子雲コアの形成過程を理解することが必要不可欠である。広く受け入れられている分子雲コア形成シナリオでは、フィラメント状の分子雲から分裂してできたコア(分裂片)が重力収縮して分子雲コアが形成する考えられている。しかし、フィラメント分裂時のコアの進化は完全に理解されているとは言い難い。特に、コアが再分裂を起こしてより細かな分裂片に別れてしまう可能性がある。そのような場合には、初めにフィラメントから分裂した際のコアの質量と最終的に形成する分子雲コアの質量は大きく変わってしまう。

フィラメントの臨界比熱比は $\gamma = 1$ であるので、 $\gamma > 1$ のときフィラメントは重力収縮を続けることができず、やがて分裂に至ると考えられている。一方、線形解析によると球対称自己相似重力収縮解は $\gamma < 1.1$ のときフィラメント状に歪む摂動に対して不安定である。これらを組み合わせると、 $1 < \gamma < 1.1$ の場合にはフィラメント分裂により形成されたコアが再びフィラメント状に歪むとも考えられるが、非線形効果まで含めた実際の進化を明らかにするためには数値シミュレーションをおこなう必要がある。そこで、本研究では AMR 流体計算コード「SFUMATO」を用いてフィラメント分裂により形成されたコアの形状進化を調べた。

本講演では、分裂後のコアの形状進化、特にコアの軸比進化が γ によってどう異なるかを調べた結果について発表する。また、金属度の違いや外部輻射などの効果によってさまざまな γ に対応する熱・化学進化が実現することを念頭におき、今回得られた結果が現実的な状況でどのような意味を持つかについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a オリオン座 A 巨大分子雲中のコアの角運動量

立松健一（国立天文台），大橋聡史（東京大学），Patricio Sanhueza，Quang Nguyen Luong，梅本智文，水野範和（国立天文台）

角運動量は、星形成の諸過程において重要な役割を果たす。我々は、オリオン座 A 巨大分子雲中のコアの角運動量を解析した。観測データは、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて観測された N_2H^+ $J = 1 \rightarrow 0$ 輝線のものである。立松ほか (1993) はオリオン座分子雲コアのライン幅サイズ ($v-R$) 関係が、暗黒星雲コアのそれと系統的に異なっていることを示した：オリオン座のコアはより大きなライン幅を持つ。「ライン幅-サイズ関係」と「比角運動量-半径 ($J/M-R$) 関係」は、密接に関連した「べき指数相似則」をもつことから、角運動量の起源が、(ライン幅で観測される) 乱流と関係しているのではということが指摘されている。そこで、オリオン座コアと暗黒星雲コアの $J/M-R$ 関係を比較した。分子雲コア中心を通る位置速度図上で速度勾配をもとめた。オリオン座分子雲は比較的混雑しているが、34 個の分子雲コアのうち 27 個において速度勾配を測定できた。測定された速度勾配は 0.5 ないし 7.8 km/s/pc である。暗黒星雲コアに対して測定された $J/M-R$ 関係 (Goodman et al.1993) と比較したところ、オリオン座のコアは系統的に比角運動量が高いらしいことが、マージナルではあるが、見出された。回転エネルギー/重力エネルギーの比 (β) は $10^{-2.3 \pm 0.7}$ であり、暗黒星雲コアのそれと同程度である。オリオン座分子雲のフィラメント分子雲は大局的な速度勾配を持つことが知られているが、分子雲コアの速度勾配の方向には、大局的なフィラメント構造や大局的な速度勾配との間に、特別な相関は見られなかった。これは、角運動量の方向が、トップダウンのプロセスで決定されているのではないことを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124a **Universality of relation between SFR and mass of dense gas**

Yoshito Shimajiri, Ph. André, V. Konyves, B. Ladjelate, A. Roy, A. Maury (CEA/Saclay), S. Bontemps, J. Braine (Bordeaux Univ.), N. Schneider (Cologne Univ.)

Essentially the same relation between star formation rate (SFR) and mass of dense gas above the threshold (M_{dense}) is found in nearby Galactic clouds [SFR= $4.6 \times 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1} \times (M_{\text{dense}}/M_{\odot})$] – Lada et al. 2010] and external galaxies [SFR= $1.8 \times 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1} \times (M_{\text{dense}}/M_{\odot})$] – Gao & Solomon 2004]. A very similar relation can be derived from the Herschel results in nearby clouds (Andre et al. 2014), suggesting that the star formation scenario sketched above may well apply to the ISM of other galaxies. In other words, there may be a quasi-universal “star formation law” converting the dense molecular gas of supercritical filaments into stars above the threshold at $A_V > 8$. They, however, used the different dense gas tracers. To investigate the universal star formation law converting the dense molecular gas into stars, wide-field mapping observations in the same dense gas tracers are crucial. We have carried out wide-field mapping observations with a spatial resolution of ~ 0.04 pc in HCN(1–0) toward Ophiuchus, Aquila, and Orion B using the MOPRA 22m, IRAM 30m, and Nobeyama 45m telescope. The SFRs in each region are estimated to be $\sim 1\text{--}30 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ from the number of the Class II objects. The mass of dense gas M_{dense} is estimated to be $\sim 400\text{--}3000 M_{\odot}$. We found that the relationship between SFR and the mass of dense gas can be expressed as SFR= $3.0 \times 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1} \times (M_{\text{dense}}/M_{\odot})$. The same relationship is found in the external galaxies. These results suggest the universality of the star formation law converting the dense gas into stars.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125a 大質量星からのアウトフロー

松下祐子, 町田正博 (九州大学), 櫻井祐也, 細川隆史 (東京大学)

理論と観測の両方から、ガスの放出現象であるアウトフローは、星形成過程において出現すると考えられている。また、アウトフローは、低質量原始星から大質量原始星まで現れており、低質量原始星からは低質量アウトフローが大質量原始星からは大質量アウトフローが現れているという観測結果も存在する。したがって、アウトフローは星形成過程を普遍的に理解するために重要な現象であると考えられる。特に、大質量の形成過程は、過去の研究からもあまり調べられていない。

本研究では、小質量星から大質量星までのアウトフローを理解することで、一般的な星形成過程を明らかにできるのではないかと目的のもと、数値シミュレーションを用いて計算を行った。この計算では、磁場を考慮し、質量降着率 (分子雲コアの安定性) をパラメータとした。その結果、初期に不安定なガス雲からは、大質量で強力なアウトフローが駆動することが示された。また、質量放出率と質量降着率の比は、質量降着率に依存せず、ある一定の割合 (10-50%) であることが分かった。つまり、分子雲コアの磁場が十分に強い場合には、効率良く降着エネルギーがアウトフローの運動エネルギーに変換されていることが示唆される。計算から得られたアウトフローの物理量は、観測とよく一致した。したがって、小質量星の場合も、大質量星の場合も、アウトフローの駆動原因としては磁場が支配的であり、根底にある星形成メカニズムは同じあると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a 超大質量原始星の降着進化に伴い発生するアウトフローについて

仲内大翼 (東北大学), 大向一行 (東北大学), 細川隆史 (東京大学)

初代銀河における特別な環境下では, 0.1-1 太陽質量/年という非常に高い質量降着率のもと原始星が進化し, 最終的に 10^5 太陽質量をもつような超大質量星が形成される可能性がある. このような超大質量星は高赤方偏移で発見された超巨大ブラックホールの起源天体として重要である. 近年, 超大質量星の形成過程を調べる一環として, 非常に高い質量降着率下における原始星の進化計算が行われた. その結果, 降着進化の後期段階において原始星はエディントン光度に近い光度で輝き, なおかつ外層が非常に膨張した超巨星のような構造をもつことが明らかになった. また星の表層部においては密度反転現象も見受けられた. このような外層構造の重力束縛は弱く, 進化の途中でアウトフローが発生する可能性がある. しかし, 先行研究では静水圧平衡を仮定した進化計算を行っているためアウトフローを扱うことができない. そこで本発表では定常・球対称な仮定のもと, 静水圧平衡の近似が十分良い星内部の構造と滑らかにつながるアウトフロー解について議論する. また, アウトフローが原始星の進化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](#)

P127a 一様回転する超大質量星の重力崩壊

打田晴輝, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所), 関口雄一郎 (東邦大学)

$z \gtrsim 6$ の初期宇宙には $M \sim 10^9 M_{\odot}$ 程度の超巨大ブラックホール (SMBH) が存在することがわかっている。(e.g., Mortlock et al. 2011) しかしこの SMBH の形成過程については未解明である。有力な説として $M \sim 10^5 M_{\odot}$ 程度の超大質量星 (SMS) が形成され、重力崩壊により同程度の質量のブラックホールとなり、成長して SMBH となった、という Direct Collapse シナリオがある。このシナリオでは SMBH の種となる BH の性質は重力崩壊する際の SMS に依存する。SMS は輻射圧が優勢な天体であり、内部で対流が発生していると考えられている。対流により内部のエントロピーが一様になりほぼ $\Gamma = 4/3$ のポリトロープで書ける。実際にはガス圧の補正が加わり Γ は $4/3$ より少し大きくなっている。また SMS は一般に回転していることが期待され、対流により一様回転になっていると考えられる。SMS の重力崩壊は一般相対論的不安定性によって起きるが、この際に回転は安定化として寄与することがわかっている (Fowler 1966)。我々は一様回転する SMS について $\Gamma \gtrsim 4/3$ のポリトロープとして Turning Point 法 (Friedman et al. 1988) を用いて安定性解析を行い、重力崩壊開始の閾値を定量的に与えた。結果として、回転は安定化に強く寄与し、特に $M \sim 10^5 M_{\odot}$ の場合は無回転に比べ最大で 5 倍近い質量に耐えられる事がわかった。この結果を用いると SMS 形成時の質量降着率が $0.1 M_{\odot}/\text{yrs}$ では SMS は水素燃焼時には崩壊できない可能性が考えられる。また、SMS が崩壊した際の BH について、SMS が適度に回転していればその質量の全てが BH とならず数%がディスクとして周りに残ることがわかった。本発表では、SMS の不安定性に回転がどのように寄与するのかを簡単に説明し、数値計算の結果を元に現実的な SMS が崩壊するための条件について議論する。また、崩壊後の BH とディスクの性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P128b 宇宙初期の星形成と磁場の効果

樋口公紀, 町田正博 (九州大学)

初期宇宙では磁場が非常に弱いと考えられていたため、初代星形成過程を調べた先行研究では磁場とその散逸・拡散等の効果を見逃してシミュレーションが行われてきた。しかし近年の研究によって、初代星の形成環境に対する認識が変化してきており、宇宙論的シミュレーションによると宇宙初期でさえ、宇宙の構造形成に伴い磁場が局所的に μG 程度まで増幅されることや、初代星が誕生する環境下では磁場は small-scale turbulent dynamo と呼ばれる機構によって、星や他の天体形成に影響を与える程度まで増幅することが議論され始めてきている。以上から初期宇宙の星形成を考える場合でも磁場とその散逸・拡散の効果を考慮することが必要である。

本研究では初期宇宙の環境に相当する低金属量のガス中での重力収縮と星形成過程における磁場の効果を調べるためにオーム散逸・両極性拡散の効果を考慮した磁気流体シミュレーションを行った。最初に解析解を用いてオーム散逸・両極性拡散が正しく計算できていることを確認した。その後、ガス雲の収縮の計算にそれらの効果を組み込み計算を行った。計算の結果、低金属量の環境下でも磁場は星形成に重大な影響を与えることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P129b 大質量原始星候補天体周囲の階層的降着構造に対する N_2H^+ 輝線観測

元木業人 (国立天文台)、Andrew, J. Walsh (Curtin Univ)、本間希樹、廣田朋也 (国立天文台)、新沼浩太郎、蜂須賀一也 (山口大学)、徂徠和夫 (北海道大学)、杉山孝一郎、米倉覚則 (茨城大学)

大質量原始星候補天体 G353.273+0.641(以下 G353) は特異な青方偏移卓越を示す原始星ジェット天体であり、ほぼ "face-on" の質量放出/降着系が付随している。これまでの VLBI および各種電波干渉計を用いた観測から、パーセクスケールの星団形成フィラメントに沿った降着流が中心星のごく近傍 (100 - 15 AU) まで空間スケール 3 桁に渡って続いている可能性が示唆されている (2014 年秋季年会 P133a, 2015 年秋季年会 P134a)。

今回我々は J-VLA による NH_3 観測で発見されたフィラメントから星周エンベロープへと接続する降着流に対して、ATCA を用いた N_2H^+ 輝線のフォローアップ観測を行った。その結果 N_2H^+ 輝線においても NH_3 と同様フィラメントに沿った降着流の兆候がみられた。一方 NH_3 が中心星付近まで接続しているのに対し、低温ガスのトレーサである N_2H^+ は中心星位置では検出されなかった。両者輝線は空間だけでなく位置速度図上でも明らかに接続しており、フィラメントに沿って中心星の北側 3000 AU 程度の地点で N_2H^+ から NH_3 へとトレーサが切り替わっていることが判明した。また降着流の速度場が同地点を境に加速から減速へと転じていることも明らかになった。

以上のことからフィラメントから流れ込むガスが星周エンベロープへ接続する際の衝撃波通過にともなって N_2H^+ 分子の破壊が促進されている可能性が示唆される。今後は ALMA 等を用いてより高分解能な観測を行い、切り替わり地点付近の温度変化や分子組成を詳細に調べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130b **Probing the mass accretion by the surrounding material in Taurus B211 filament**

Yoshito Shimajiri, Ph. André, P. Palmeirim, V. Konyves, B. Ladjelate, A. Roy, and A. Maury (CEA/Saclay).

The observations of the Herschel Gould Belt survey project revealed an omnipresence of parsec-scale filaments in molecular clouds. Detailed analysis of the radial column density profiles shows the filaments are characterized by a quasi-uniform distribution with a typical Full width at half maximum value of 0.1 pc. This characteristic width of 0.1 pc suggests that the filaments may form as a result of the dissipation of large-scale turbulence. Furthermore, a lot of sub-filaments are distributed around the main filament. These morphologies suggest that accretion flows are feeding a main filament with the surrounding materials. To examine whether the surrounding materials are inflowing into the B211 filaments by the gravity from the viewpoint of the kinematics, we produced the simple model that the surrounding materials are inflowing by the gravity. We compared the velocity structures of the filament and surrounding materials traced in ^{12}CO and ^{13}CO with the simple model. The position-velocity (PV) diagrams of ^{12}CO and ^{13}CO with cut lines along the perpendicular to the filament show that the peak velocities are approaching to the systemic velocity of the B211 filaments with the approaching to the B211 filaments. The ^{12}CO and ^{13}CO distributions on the PV diagrams have good agreements with that of the simple model of the inflowing gas, suggesting that the surrounding materials are inflowing into the filaments by the gravity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131a 星団を形成するクランプの力学的進化

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

我々は、銀河系内の星団が形成されつつある分子雲コア及び星団が付随する分子雲コア 15 個に対して野辺山 45m 鏡を用いて 100GHz 帯の分子輝線 ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$, $\text{CS}(J=2-1)$ 等) による観測を遂行した。この研究の目的は、星団形成に至る分子雲コアの進化段階を明らかにすることである。本研究では、45m 鏡の C^{18}O の観測結果を基に各コア内に 24 個のクランプを同定した。また、2MASS の点源カタログを用いて観測領域内の星数密度分布図を作成し、各クランプの赤外線星団の有無及び星団に属する星の数等を調べた。次に、 C^{18}O から推定したクランプの $N(\text{H}_2)$ と星団の星数密度との相関を調べることにより、観測領域内のクランプと星団を、(1) 星団が付随しないクランプ、(2) $N(\text{H}_2)$ と星数密度分布の相関係数が 0.4 以上のクランプ、(3) $N(\text{H}_2)$ と星数密度分布の相関係数が 0.4 より小さいクランプ、(4) 星団のみ (C^{18}O が付随しない) に分類した。(2) に分類したクランプは、星団との空間構造が類似し、それぞれのピークの位置も良く一致する。(3) のクランプは、星団との空間分布は一致せず、星団に付随するガスの散逸が一部で見られる。(4) は星団のみであることから、既にガスが散逸している状態である。これらのことから、進化は (1) から (4) の順に進むことが予想される。星団が付随する (2) と (3) のタイプのクランプについて、クランプの線幅と星団の星の数には正の相関が見られた。また、(2) のタイプのクランプは、各クランプ内でクランプのピーク (=星団のピーク) 付近ほど線幅が大きくなり、位置-速度図で特徴的な 2 つの速度成分が見られる。簡単な力学的なモデルを構築してデータを比べた結果、この特徴は、回転を伴うクランプのインフォール運動で説明できることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P132a クラスタを形成するクランプの回転 + インフォール運動のモデル化

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

クラスタ形成のメカニズムを探ることは、銀河系内の星形成を理解する上で極めて重要な課題である。本講演では、下井倉他 (本年会講演) で報告したクラスタを形成するクランプの「回転を伴うインフォール運動」のモデルについて説明する。星形成に伴うガスの回転 + インフォール運動は、Ohashi et al.(1997) や Momose et al. (1998) により、形成途上の小質量星のエンベロープで初めて発見された。彼等によると、このような回転 + インフォール運動の特徴は、回転軸と直交するエンベロープの赤道方向に沿った PV 図上での 2 つの「目玉」(Ohashi et al. 1997) や、中心星を隔てて対称的に現れる平均速度の「山と谷」(Momose et al. 1998) として認識される。エンベロープの運動は中心星の重力のみに支配されているので、彼等はエンベロープの回転速度 V_{rot} とインフォール速度 V_{inf} がそれぞれ半径 r の -1 乗と -0.5 乗に比例する簡単なモデルを構築し、観測データの速度的な特徴がこの単純明快なモデルできれいに説明できることを示した。

我々が観測したクラスタ形成を伴うクランプでも、小質量星のエンベロープで見られる回転 + インフォール運動とよく似た速度分布を見ることができる。小質量星の場合と異なり、系の質量の大部分は空間的に広がっているクランプのガスの質量によるものであり、また重力以外の効果 (磁気圧・乱流・星風等) の影響もあるため、 V_{rot} や V_{inf} の推定は小質量星の場合ほど単純ではない。しかし、試行錯誤の結果、遠方で小質量星のエンベロープの速度場と一致し、クランプの中心付近でゼロになる適当な速度場を仮定すれば、観測されるクランプの速度分布の特徴を再現できることが分かった。本講演では、クラスタ形成を伴うクランプの回転 + インフォール運動のモデル化について説明し、典型的な例である S235A (Felli et al. 2006) 等との比較について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P133a ALMA cycle 1におけるオリオン KL 電波源 I の高励起水分子輝線観測

廣田朋也 (国立天文台)、金美京 (韓国天文研究院)、元木業人、本間希樹 (国立天文台)

我々は、ALMA Science Verification (SV) データとして公開されているオリオン KL における band 6 のスペクトル線データで、振動励起状態 ($E_l=3451$ K) の水分子輝線 ($\nu_2=1, 5_{5,0}-6_{4,3}$, 232.686556 GHz) を星形成領域では初めて検出した (Hirota et al. 2012, ApJL, 757, L1)。232 GHz 水分子輝線は、オリオン KL 領域中の大質量原始星候補天体である電波源 I 付近から放射されていることが明らかになったものの、SV データのビームサイズ ($1.7'' \times 1.4''$) ではその構造は分解されていない。

そこで、我々は ALMA cycle 1 において、オリオン KL 電波源 I に付随する 232 GHz 水分子輝線の高空間分解能観測を提案した。観測は cycle 2 に移行されて 2015 年 8 月に最大基線長 1.6 km の配列で行われ、ビームサイズは $0.29'' \times 0.23''$ と SV データに比べて 6 倍高い空間分解能を達成した。その結果、232 GHz 水分子輝線の放射領域は $0.5''$ (200 AU) 程度のコンパクトな構造で、北西-南東方向に速度勾配を持つことが明らかになった。速度勾配は、SiO 分子輝線でトレースされる北東-南西方向の双極分子流とは直交する方向であり、ALMA cycle 0 データで検出されている 321 GHz、336 GHz、658 GHz の水分子輝線とも同様の構造となっている (Hirota et al. 2014, ApJL, 782, L28; Hirota et al. 2015, submitted to ApJ)。これらの特徴は、232 GHz 水分子輝線が電波源 I 周囲を回転する高温ガス円盤から放射されていることを示唆している。

さらに、我々は同時に観測したより高励起 ($E_l=4133$ K) な水分子輝線 ($\nu_2=0, 14_{4,10}-15_{3,13}$, 247.440147 GHz) についても検出の兆候を確認し、232 GHz 輝線と似た北西-南東方向の速度勾配を検出した。発表では、これらの水分子輝線の励起機構と星周ガス円盤の空間構造・速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](#)

P134a **High mass star formation in M16's region explained by cloud-cloud collision**

COSTES Jean, TORII Kazufumi, HASEGAWA Keisuke, HATTORI Yusuke, OHAMA Akio, SANO Hidetoshi, YAMAMOTO Hiroaki, TACHIHARA Kengo, FUKUI Yasuo, and FUGIN members

M16 is a famous region for high mass stars formation, but the comprehension of its formation mechanism is still poorly understood. Indeed, observation of high mass star formation is technically difficult due to a short time scale and a really fast evolution. Moreover, clouds with high density usually result in fragmentation, which prevents the formation of a dense core. Using observations of $^{12}\text{CO } J=2-1$ and $J=1-0$ from NANTEN2 telescope, which have a low resolution but cover a large area, and combining it with $^{12}\text{CO } J=1-0$ from Nobeyama 45m telescope, which has a high resolution, two molecular clouds with a velocity separation of 10 km s^{-1} are revealed to be associated with M16, which is around 2100 pc from us. The clouds have a crossing time of 2×10^5 years and contains about 11 O stars. The blue shift cloud, which fits clearly the Spitzer bubble N19, has a velocity from 16 to 20 km s^{-1} , has a size of 15 pc and a mass of $3 \times 10^4 M_{\odot}$, seems to have a hole in it which is filled in by the red shift cloud, at a velocity from 21 to 27 km s^{-1} , a size of 40 pc and a mass of $1 \times 10^5 M_{\odot}$. Using channel velocity maps and $J=2-1$ over $J=1-0$ ratios, and using the numerous articles and pieces of evidence for cloud-cloud collision, we suggest that cloud-cloud collision is a trigger for the O star formation in M16's region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P135a **ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 1 : N159E にある3つのフィラメント分子雲の衝突が誘発した大質量星形成現場**

西合一矢、大西利和 (大阪府立大学)、福井康雄 (名古屋大学)、徳田一起、原田遼平、森岡祐貴 (大阪府立大学)、河村晶子 (NAOJ)、Omnarayani Nayak、Margaret Meixner (Johns Hopkins)、Remy Indebetouw (NRAO)、鳥居和史、大浜 晶生、立原研悟、山本宏昭 (名古屋大学)、水野 範和、南谷哲宏、井上 剛志 (国立天文台)、他

大マゼラン雲の分子雲サーベイ観測の一部として、大質量星の形成現場である N159East 分子雲 (以下 N159E) に対し ALMA による高分解能観測を実施したので報告する。大マゼラン雲は活発に大質量星を形成している距離 50kpc の face-on 銀河であり、大質量星形成を網羅的に研究する最適のターゲットと言える。NANTEN による大マゼラン雲分子雲サーベイ観測では 300 個近い巨大分子雲が検出されており、最も強い強度を持つものが HII 領域 N159 に付随している。この N159 の分子ガスは3つの巨大分子雲から成り、そのうち巨大な HII バブルの東西の淵 (Shell) に付随する N159E と N159W 巨大分子雲では大質量星が形成されている。我々の ALMA 観測では、N159E を \sim pc 幅のさまざまな速度を持つフィラメント状分子雲に空間分解することができた。そして、約 40 太陽質量の大質量原始星 (通称 Papillon nebula) は、数 km/s の相対速度を持つ3つのフィラメント状分子雲がちょうど重なりあった場所に位置していることがわかった。これはフィラメント状分子雲の衝突が大質量星形成を誘発したことを示唆している。この大質量原始星は分子雲に半径 \sim 0.5pc の穴を形成しつつあり、母体のフィラメント状分子雲の散逸が始まった直後であることもわかった。同様なフィラメント状分子雲衝突による大質量星形成の誘発を示唆する構造は N159W にもみられ (Fukui et al. 2015)、大質量星形成の有力なメカニズムと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136a **ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 2：銀河系内天体との比較**

徳田一起, 原田遼平, 森岡祐貴, 切通僚介, 高田勝太, 本間愛彩, 西合一矢, 大西利和 (大阪府立大学), 西村淳, 河村晶子 (NAOJ), Omnarayani Nayak, Margaret Meixner (Jons Hopkins), Remy Indebetouw (NRAO), 福井康雄 (名古屋大学), 他

大マゼラン雲 (LMC) は現在においても散開星団より大規模な Populous Cluster が形成されており、我々の銀河と比較してその星形成の描像にいくつか違いが見られる。従って、銀河系/LMC 双方において、母体となる分子雲の物理状態を比較し、共通点/相違点を見いだす事は星形成の条件等を探る上で重要となる。我々は ALMA を用いて LMC の巨大分子雲に対する観測を推進しており (西合他, 森岡他 本年会)、銀河系分子雲の広域観測と比較できるデータが揃いつつある。我々はまずケーススタディとして、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O (2-1) 等のデータを用いて、LMC において最も活発な星形成領域の 1 つである N159W (Fukui et al. 2015) を OrionA (Nisimura et al. 2015) と Mini-starburst 領域とも呼ばれる W43 (Carlhoff et al. 2013) と比較した。N159W で見られる 10 pc 規模の特徴的な filament は、OrionA に見られる Integral-shaped filament と ^{12}CO , ^{13}CO で輝線強度や構造が酷似しており、両者において filament 状分子雲が星形成に重要な役割を果たしているという共通点が確認できた。その一方で、N159W クランプの virial mass 等との比較より求めた C^{18}O の H_2 分子に対する abundance は $\sim 10^{-9}$ となり、銀河系分子雲よりも 20 倍程度低いことが分かった。この abundance を用いて各領域の C^{18}O より求めた H_2 柱密度の大きさを比較すると、N159W-North > W43 > N159W-South > OrionA の順になっており、その高密度ガスの量から N159W-North は W43 領域を凌駕するような大規模な星団領域に成長することが予想される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137a 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 (2)

原田遼平, 大西利和, 徳田一起, 森岡祐貴, 本間愛彩, 西合一矢 (大阪府立大学), 河村晶子, Erik Muller (NAOJ), 藤井浩介 (東京大学), 福井康雄 (名古屋大学), Annie Hughes(MPIA), Margaret Mexiner (STScI), Omnarayani Nayak, Marta Sewilo (Johns Hopkins Univ.), Remy Indebetouw(University of Virginia, NRAO), Tony Wong (Univ. of Illinois), Jean-Philippe Bernard (CESR)

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、一部の大質量星原始星は巨大分子雲から遠く離れた場所に見られ、その形成メカニズムについては未解明な点が多い。最近、大小マゼラン銀河において、*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おり、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、1. 「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、大質量原始星方向を Mopra 望遠鏡で CO(1-0) 観測し、2. 分子ガスが検出された天体に関しては、ALMA による高分解能観測 ($^{13}\text{CO}(1-0, 2-1)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ 等) を行い、すべての天体から原始星付近でピークを持つコンパクトな分子雲を検出し空間分解した (2015 年秋季年会)。また、Mopra 観測の結果から *Herschel* 望遠鏡による $250 \mu\text{m}$, $350 \mu\text{m}$ 強度と分子ガスの検出との相関が非常に良いことが明らかとなった。そこで、 $350 \mu\text{m}$ の flux が 200 mJy を超えるすべての孤立大質量原始星方向 (37 天体) を新たに Mopra で観測を行った。8 割にあたる 30 天体で分子ガスを検出し、その多くが原始星に付随していると思われるコンパクトな分子雲であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P138b ALMA を用いた大マゼラン雲における分子雲高分解能観測 3 : GMC の進化 I

森岡祐貴 (大阪府立大学), 河村晶子 (NAOJ), 大西利和, 徳田一起, 西合一矢, 原田遼平 (大阪府立大学), Margaret Mexiner (STScI), Omnarayani Nayak, Marta Sewilo (Johns Hopkins Univ.), Remy Indebetouw (University of Virginia, NRAO), 福井康雄 (名古屋大学)

巨大分子雲は、銀河における最大質量のガス雲であり、星形成の主要な場所である。大マゼラン雲 (LMC) は、我々に最も近い銀河の1つであり (50 kpc)、銀河全体にわたり一様な空間分解能で分子雲のサンプルを得ることができる観測的な利点とも合わせ、分子雲の性質や進化、星形成過程の観測的研究に最も適したターゲットである。

「なんてん」による観測と、若い星団 (e.g., Bica et al. 1996)、H II 領域のカatalog (e.g., Davies et al. 1976) との比較から、LMC の巨大分子雲はその進化段階に応じて3つのタイプに分けられている (Kawamura et al. 2009)。本研究では、Type I の GMC225、Type II の N166, N171, N206D、Type III の N206、計5つの GMC を ALMA により、 ^{13}CO ($J = 1-0$)、 C^{18}O ($J = 1-0$)、 CS ($J = 2-1$)、ダスト連続波を用いた観測を 7m array と 12m array の両方で行った (Kawamura et al.)。この観測により、巨大分子雲の sub-pc スケールの分解が可能となった。また、進化段階が進むにつれて 12m array の missing flux が少なくなる傾向があり、よりコンパクトな構造になることが示唆される。特に、Type III である N206 では他の天体に比べてフィラメント構造が卓越しており、H II 領域を取り囲むように分布している 10pc 程度のフィラメントは、LMC の活発な星形成領域である N159W-S のフィラメント状分子雲 (Fukui et al. 2015) に匹敵する水素柱密度 ($\sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) 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](#)

P139b 銀河中心付近 G0.02- 0.07 に付随する分子雲のホットコア

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

ALMAcy1 によって銀河中心付近 G0.02- 0.07 に付随する分子雲 (GC50MC) を観測して, 高分解能 (約 1.5 秒角) による SO 及び CH₃OH の結果を得たので報告する。SO 分子は高温 (>100 K), 高密度領域のホットコア領域を示し, CH₃OH はショックトレーサーである。

G0.02- 0.07 は, 連続波源 A-D の比較的進化した HII 領域からコンパクト HII 領域が北から南に分布し, 分子雲 GC50MC の中心付近に位置する。SO 分子によるホットコアは, G0.02- 0.07 を "馬蹄形"あるいは"疑問符"状に HII 領域のクラスターを囲うように分布している。一方, CH₃OH は G0.02- 0.07 を蜘蛛の胴体とたとえると, 放射状に蜘蛛の足のようなクランプで, ピークが複数存在する。SO 分子のホットコアのラインプロファイルは場所によりアウトフローを示す兆候があり, 他方 CH₃OH のピークでは収縮の兆候がある。また, これまで発見されたコンパクト HII 領域以外に, 特にホットコアに付随するようなウルトラあるいはハイパーコンパクト HII 領域の存在を示す結果は得られなかった。

講演では, それぞれの分子の分布とプロファイルを比較し, GC50MC における星形成について考察し, 分子雲コアからホットコア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](#)

P140c Spectral-line survey toward an outflow-shocked region, OMC2-FIR 4

Yoshito Shimajiri (CEA), T. Sakai (The Univ. of Electro-Communications), Y. Kitamura (JAXA), M. Saito, F. Nakamura, R. Kawabe (NAOJ), T. Tsukagoshi, M. Momose (Ibaraki Univ.), S. Takakuwa (ASIAA), T. Yamaguchi, N. Sakai, and S. Yamamoto (Univ. of Tokyo)

We performed the first spectral-line survey at 82-106 GHz and 335-355 GHz toward the outflow-shocked region, OMC2-FIR 4, the outflow driving source, FIR 3, and the northern outflow lobe, FIR 3N. We detected 120 lines. The line profiles are found to be classifiable into two types: one is a single Gaussian component with a narrow (<3 km/s) width and another is two Gaussian components with narrow and wide (>3 km/s) widths. The narrow components for the most of the lines are detected at all positions, suggesting that they trace the ambient dense gas. For CO, CS, HCN, and HCO^+ , the wide components are detected at all positions, suggesting the outflow origin. The wide components of C^{34}S , SO, SiO, H^{13}CN , HC^{15}N , H_2^{13}CO , H_2CS , HC_3N , and CH_3OH are detected only at FIR 4, suggesting the outflow-shocked gas origin. The rotation diagram analysis revealed that the narrow components of C_2H and H^{13}CO^+ show low temperatures of ~ 12.5 K, while the wide components show high temperatures of 20-70 K. This supports our interpretation that the wide components trace the outflow and/or outflow-shocked gas. We compared observed molecular abundances relative to H^{13}CO^+ with those of the outflow-shocked region, L1157 B1, and the hot corino, IRAS 16293-2422. Although we cannot exclude a possibility that the chemical enrichment in FIR 4 is caused by the hot core chemistry, the chemical compositions in FIR 4 are more similar to those in L1157 B1 than those in IRAS 16293-2422.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P141b **日立 32-m 電波望遠鏡を用いた大規模な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニターサーベイ: 短周期天体探査**

杉山孝一郎, 米倉覚則, 齋藤悠, 永瀬桂, 安井靖堯, 佐藤宏樹, 宮本祐輔, 百瀬宗武 (茨城大学), 元木業人, 本間希樹, 内山瑞穂 (国立天文台), 藤沢健太, 蜂須賀一也 (山口大学), 稲吉恒平 (コロロンビア大学), 田中圭 (フロリダ大学), 細川隆史 (東京大学)

我々は、茨城大学の日立 32-m 電波望遠鏡を用いて、2012 年 12 月 30 日から、6.7 GHz メタノール・メーザー 441 天体 (赤緯 -30 度以北) を対象としたモニターサーベイ観測を開始した。本モニター研究では、特に周期的な強度変動を示す天体に注目しており、最終目的の 1 つとして、大質量原始星時代に生じ得ると理論予言されている脈動不安定現象 (Inayoshi et al. 2013)、及びそれに伴う周期-光度関係を観測的に検証するため、周期変動天体のサンプル増加と統計的な議論を目指している。2014 年 1 月 10 日までの第 1 期, 2014 年 5 月 7 日から 2015 年 8 月 24 日までの第 2 期には、各天体あたり 9-10 日に 1 度の頻度でデータを取得し、結果として 14 天体から新たな周期変動 (周期: 24-220 日) の検出と、既知の 1 天体に対する周期改訂を達成した (2015 年秋季年会 P135a)。

今回は、1ヶ月程度もしくはそれより短い周期を示す天体の検出を目指し、2015 年 9 月 18 日 (一部は 8 月 9 日) から開始した第 3 期モニターの経過報告を行う。第 3 期では、これまでの日立モニター天体から、強度変動の大きな 161 天体 ($[\text{標準偏差}]/[\text{平均値}] \geq 0.30$) を選出し、各天体あたり 5 日に 1 度以上の頻度でデータを取得している。2015 年 11 月 29 日時点で、すでに約 50 日の周期を示す 1 天体を新検出している。本講演では、上記新検出天体を加えた周期天体の、母数に対する検出率、及び出現期間に関する議論も併せて行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P142a **G014.23-00.50 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター**

永瀬桂, 安井靖亮, 杉山孝一郎, 米倉覚則, 百瀬宗武 (茨城大学)

本発表では、2014年5月以降に行った日立 32 m 電波望遠鏡による 6.7 GHz メタノールメーザー天体 G014.23-00.50 に対する高頻度モニター観測の結果について報告する。

6.7 GHz メタノールメーザーは、大質量星形成領域のみで検出され、その多くが原始星段階で出現している。そのため、可視光では直接観測が非常に困難な大質量原始星を選択的に研究する上での良い探針である。6.7 GHz メタノールメーザーの中には周期変動を示すものが 17 天体確認されており、中でも周期的かつ突発的な強度変動 (=バースト) を示す天体は 1 例のみである。本研究では、このような特徴的な変動を示す G014.23-00.50 に着目した。この天体は、過去に Green et al.(2010) によって行われた 5 回の観測のうち 2 回のみで検出され、強度変動が確認されていた。また 2013 年に 9-10 日に 1 回の頻度で行われた日立 32 m 電波望遠鏡でのモニター観測により、その強度変動には周期性がある事が判明した。この周期やバースト時の時間スケールを正確に決定すること、またエネルギー量の推定等から対象天体の変動機構の解明を目的として、より高頻度なモニター観測を行った。

観測は茨城大学が運用する日立 32 m 電波望遠鏡を使用し、2014年5月から現在まで 1 日 1 回の頻度でモニターした。この観測から G014.23 の変動周期は、これまで 6.7 GHz メタノールメーザーで確認されている周期の中でも最も短い 24 日であると導出した。更に、2015年8月以降のバースト発生予想日の前後において、バーストの立ち上がりを捉えるために 1 日に複数回の観測を行ったところ、強度上昇時の時間スケールが 1 日以下 (~ 21 時間) である事が判明した。6.7 GHz メタノールメーザーの典型的な磁場強度 (10-100 mG) を仮定すると、この時間幅から予想されるバースト時のエネルギー増加量は磁気リコネクションによるエネルギー解放で説明できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P143c **G33.641-0.228** のメタノールメーザが示す 1 日以下の時間変動

藤沢健太, 杉浦結, 福井紀子, 武田知亜紀 (山口大学)

大質量星形成領域 G33.641-0.228 が放射する 6.7 GHz メタノール・メーザは、極めて短時間に強度が増大するバースト現象を示すことが知られている。スペクトルには通常 6 個のピークが見られ、そのうちの一つ (成分 2、 $V_{lsr}=59.6$ km/s) だけがバーストを起こす。バーストの発生頻度は平均すると約 60 日に 1 回であるが、周期性は見いだされていない。バーストの時には 1 日間でフラックス密度が数倍に増大する。

これまでの研究により、バーストは形成中の大質量星周囲の円盤中で局所的にエネルギーの解放が生じてガスを加熱し、メーザの増強が生じるというモデルが提案されている。このモデルの根拠の一つは、フラックス密度の上昇は 1 日、下降は 5 日という時間スケールに非対称性があることであった。しかしフラックス密度下降時の強度変動は上昇・下降を何度も繰り返す傾向があることが観測から示唆されていた。

バーストの強度変動の時間スケールは短く、従来の 1 日に 1 回の観測では変動の様子を十分にサンプリングできていない。我々は 2014 年から 2015 年にかけて、バーストを検知したら 1 日に複数回の観測を行う観測体制をとり、1 日以下の時間スケールの強度変動の観測を行った。その結果、2014 年通算日 241 日にバーストを検知し、その後 22 日間に及ぶ短時間強度変動の観測に成功した。この間に十分な観測精度で測定できた上昇と下降はそれぞれ 7 回あった。測定された合計 14 回の時間変動のうち、時間スケールが最も短いものは 0.24 ± 0.01 日、もっとも長いものが 1.24 ± 0.22 日であった。上昇の時間スケールと下降の時間スケールの分布には、系統的な差が見られなかった。この結果は単純なエネルギーの解放で加熱、放射で冷却というモデルでは説明が困難である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

3月15日(火) 午後(13:30-15:18) [C会場]

P201a	13:30	目視によるケプラーデータ中の超長周期トランジット惑星の発見 上原翔(首都大学東京)
P202a	13:42	重力減光を用いた高温星まわりのウォームジュピターのスピン軌道角測定 増田賢人(東京大学)
P203a	13:54	ケプラー測光データを用いた長周期惑星のリング探査 逢澤正嵩(東京大学)
P204a	14:06	FM Exoplanets: 反射光光度曲線の周期解析 河原創(東京大学)
P205a	14:18	High Contrast and High Dispersion Spectroscopy Capability of IRCS (R~20,000, K-band)+AO188 in Subaru Telescope for Characterizing Nearby Directly Imaged Exoplanets Nugroho, Stevanus Kristianto (Tohoku Univ.)
P206a	14:30	視線速度変動の見られる巨星に対する吸収線輪郭解析の適用 宝田拓也(東京工業大学)
P207a	14:42	ハビタブルゾーンの評価に際する温室効果を考慮した実効的輻射流束 釜谷秀幸(防衛大学校)
P208a	14:54	主系列期における永続的な生命発生の可能性を考慮したハビタブルゾーンへのUVと金属量の効果 大石碧(防衛大学校)
P209b	15:06	3重食連星系 KIC 6543674 の測光データによる構造決定 増田賢人(東京大学)
P210b	15:06	SPART 電波望遠鏡による太陽系地球型惑星大気の一酸化炭素の監視 原口大輝(大阪府立大学)
P211c		Spitzer Studies of K2 Exoplanet Candidates Livingston, John (Univ. of Tokyo)
P212c		ハレアカラ T60 望遠鏡の DIPOL-2 を用いた系外惑星の観測と解析 前田東暁(東北大学)
P213c		様々な主星の輻射環境における光合成の吸収効率 小松勇(筑波大学)

3月16日(水) 午前(09:30-11:30) [C会場]

P214a	09:30	MOA-II による系外惑星探査: 2015 年の結果 平尾優樹(大阪大学)
P215a	09:42	ザララップ効果が見える重力マイクロレンズイベントへの新たな制限 越本直季(大阪大学)
P216a	09:54	海王星に似た惑星: MOA-2013-BLG-605Lb の公転軌道 住貴宏(大阪大学)
P217a	10:06	低質量 M 型矮星周りを回るスーパーアース: MOA-2012-BLG-505Lb 永金昌幸(大阪大学)
P218a	10:18	系外惑星系探索用多重レンズ解析法 阿部文雄(名古屋大学)
P219a	10:30	ALMA による低質量原始星天体 B335 の化学組成の研究 今井宗明(東京大学)
P220a	10:42	TW Hya まわりの原始惑星系円盤の ALMA 観測 野村英子(東京工業大学)
P221a	10:54	原始惑星系円盤の化学反応計算と、赤外線分光観測によるスノーライン・C/O 比分布の検出可能性 野津翔太(京都大学)
P222b	11:06	HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の多波長輻射平衡モデル II 持田一貴(千葉大学)
P223b	11:06	JVLA 7mm 高分解能観測による V1247 Ori の非対称な原始惑星系円盤 日下部展彦(自然科学研究機構)
P224b	11:06	ロスビー波不安定性の物理メカニズム 小野智弘(京都大学)
P225b	11:18	ダスト層の重力不安定によって形成される微惑星のサイズと円盤モデル 長谷川幸彦(国立天文台)
P226b	11:18	原始惑星系円盤の消失: 円盤風と光蒸発の競合 國友正信(名古屋大学)

(次頁に続く)

【P2. 星・惑星形成】

3月16日(水) 午後(13:30-15:40) [C会場]

P227a	13:30	おうし座 HL 星における惑星系形成 秋山永治 (国立天文台)
P228a	13:42	永年重力不安定性による HL Tau の多重リング構造形成 高橋実道 (東北大学)
P229a	13:54	原始惑星系円盤でのダスト焼結と多重リング形成: HL Tau 円盤への応用 奥住聡 (東京工業大学)
P230a	14:06	Viscous Instability Triggered by Layered Accretion in Protoplanetary Disks Hasegawa, Yasuhiro (JPL/Caltech)
P231a	14:18	原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性の数値シミュレーション 大西勇武 (九州大学)
P232a	14:30	原始惑星系円盤における電子加熱による磁気乱流の抑制: 磁気流体数値計算による検証 森昇志 (東京工業大学/名古屋大学)
P233a	14:42	原始惑星系円盤における高空隙率ダストの観測予測 田崎亮 (京都大学)
P234a	14:54	乱流円盤中での微惑星から惑星への成長-暴走成長を開始する天体サイズ- 小林浩 (名古屋大学)
P235a	15:06	弾性体ゴドノフ SPH 法と岩石のモデルを用いた微惑星衝突の数値計算 杉浦圭祐 (名古屋大学)
P236a	15:18	巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造 小久保英一郎 (国立天文台)
P237a	15:30	系外惑星系の軌道構造の統計的性質 磯江麻里 (東京大学/国立天文台)

3月17日(木) 午前(09:30-11:30) [C会場]

P238a	09:30	SPICA で探るデブリ円盤の進化と太陽系の起源 石原大助 (名古屋大学)
P239a	09:42	赤外線天文衛星「あかり」を用いた遠赤外線全天観測によるデブリ円盤と中心星の年齢との関係の研究 小島拓也 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
P240a	09:54	惑星間塵における小惑星・彗星起源ダストの存在比 植田高啓 (東京工業大学)
P241a	10:06	原始太陽系星雲での同位体均質化イベントの可能性 竹石陽 (東京工業大学)
P242a	10:18	高温の周惑星円盤における衛星移動と平均運動共鳴への捕獲について 藤井悠里 (ニールスボーア研究所)
P243a	10:30	集積期の原始巨大ガス惑星からの水素輝線放射 LkCa 15b への示唆 青山雄彦 (東京大学)
P244a	10:42	巨大ガス惑星内部の二重拡散対流が熱進化に及ぼす影響の再評価 黒川宏之 (東京工業大学)
P245a	10:54	大気中の氷成分凝縮がもたらす巨大水惑星の熱進化時間の短縮効果 黒崎健二 (東京大学)
P246a	11:06	ホットネプチューン GJ 436b における大気散逸現象 田中佑希 (名古屋大学)
P247a	11:18	系外惑星の雲モデル開発: 地球と木星の雲観測との比較 大野和正 (東京工業大学)
P248a	11:30	地球型惑星の溶融時間と放射スペクトルの時間進化 濱野景子 (東京大学)

P201a 目視によるケプラーデータ中の超長周期トランジット惑星の発見

上原翔 (首都大), 河原創, 増田賢人 (東大), 山田真也 (首都大), 逢澤正嵩 (東大)

ケプラー衛星により太陽系外惑星候補は 4000 個以上発見されているが、数 AU 以遠の惑星はトランジットを起こす確率が小さく、惑星の形成過程を考察する上で重要であるにもかかわらず発見は僅かである。このうち、遠方の惑星によるトランジットが 1 回だけ観測されている事例 (single transit events, STEs) があるが、これらは軌道周期の畳み込みによる検出はできず、報告はあっても系統的な探索は行われてこなかった。

我々は、7557 個の KOI 天体を目視により系統的に探索し、28 個の STE を発見した。False Positive 認定されていない 17 個について既知惑星との同時フィット、もしくは主星の密度情報を用いたフィットを行い、公転周期を推定した。その結果、8 個については周期数年から 20 年の海王星から木星サイズの惑星候補であることが判った。またサーベイの結果から、コンパクトな複数惑星系の少なくとも数十パーセントは長周期木星を持つことを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a 重力減光を用いた高温星まわりのウォームジュピターのスピン軌道角測定

増田賢人 (東京大学)

有効温度 $T_{\text{eff}} \gtrsim 6200 \text{ K}$ の高温星まわりのホットジュピターの多くは、主星の自転と大きく異なる方向に公転している (すなわち、主星の自転軸と惑星の公転軸のなす角 ψ が大きい)。この事実は、(1) 短周期のホットジュピターが、惑星散乱や古在機構のような軌道面を傾ける過程を通じて軌道移動したのち、(2) 低温星まわりのものについては、主星の対流層における潮汐散逸により ψ が再び小さくなる結果として解釈されてきた。ところが、最近のケプラー光度曲線における黒点由来の周期変動の解析からは、上記 (2) の仮説に反する結果が得られている。

ψ の温度依存性のもうひとつの解釈は、“主星自転軸と惑星公転軸のずれが、軌道移動とは無関係な、高温星まわりの惑星の一般的な特徴である” というものである。もしこの説が正しいとすると、高温星まわりの惑星であれば、ホットジュピターでなくとも ψ が大きいはずである。一方で、それらの惑星に対しては従来のロスター・マクローリン効果による ψ の制限が困難であるため、この説の観測的な検証は十分に行われていない。

上記のような検証の一貫として、我々は KOI-12b (Kepler-448b) という比較的明るい高温星 ($V = 11.4$, $T_{\text{eff}} = 6800 \text{ K}$) まわりのウォームジュピター (公転周期 17.86 日、半径 $1.4 R_{\text{Jup}}$) に着目した。この系では、トランジット中の主星のスペクトル線の歪みの時間変動の測定により、主星自転軸と惑星公転軸の天球面内における小さなずれ ($\lambda = 12.6^\circ \pm_{-2.9}^{+3.0}$) が報告されていた。我々はケプラー宇宙望遠鏡によって得られたこの惑星のトランジット光度曲線において、高速自転に起因する主星の輝度分布の非一様性 (重力減光) による非対称性を発見し、これをモデル化することにより、主星自転軸と惑星公転軸のずれが 3 次的にみても同程度 ($\psi = 10^\circ \pm 3^\circ$) であることを示した。この結果は、両軸の大きなずれが、やはりホットジュピターに特有のものであることを支持する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P203a ケプラー測光データを用いた長周期惑星のリング探査

逢澤正嵩(東大)、上原翔(首都大)、増田賢人、河原創、須藤靖(東大)

天体 J1407b が 1 天文単位程度のリング構造の周惑星円盤を持つという報告があるが、それを除いては未だに太陽系外において惑星のリング、特に土星が持つほど大きいリングは見つかっていない。しかし、土星のリングほど大きければ、ケプラー望遠鏡のノイズレベルで十分に観測できるという見積もりがあり、現在のケプラーのデータの中にリングを示唆する蝕が埋まっている可能性はある。そうした太陽系と同じ構造を太陽系外に探す試みは、我々が住む太陽系が宇宙において普遍であるかという問いに答える手がかりになるだろう。

最近の研究では、ケプラー望遠鏡で発見された数十個の短周期惑星をターゲットに、測光データからリング探査が行われたが、リングの兆候はみつからなかった。この結果は、惑星が恒星に近いとリング粒子が恒星に落ち込みやすいこと、温度が高い短周期の惑星では土星のような氷のリングを持つ可能性が低いことと矛盾しない。

そこで、我々はケプラーのデータから、長周期惑星に絞ってリングの系統的な探査を行った。まず、リングを持つ惑星による蝕の光度曲線を数値的に計算するルーチンを作成した。その後、ケプラーの惑星候補の中で、凍結線よりも外側にあり、ガス型惑星程度の半径を持つとされる惑星候補のグループから、リング候補として幾つかの系を抜き出した。それとは別に、目視で系統的に探索して得られた長周期惑星候補のグループの中からもリング候補として幾つかの系を抽出した。そして、以上二つのグループから選んだリング候補の光度曲線を数値計算と比較して、得られた解の物理的妥当性を考察した。さらに、星の活動によるノイズや、周りの天体からの影響によりリングを誤検出している可能性について議論し、各リング候補についての統計的有意性を検討した。本講演では、以上の内容に沿って系外リング検出の具体的な方法論について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a **FM Exoplanets : 反射光光度曲線の周期解析**

河原 創 (東京大学)

直接撮像による反射光変動の解析は、表層マッピングや自転・表層組成・大気・気象の推定に用いることのできる、地球型系外惑星探査における有力な手段と考えられている。今回、我々は変動周期についてより詳細な考察を行った。反射光変動は基本的には惑星の自転運動に起因するが、公転運動による modulation も受けることに注目し、この modulation が自転スピベクトル（軌道傾斜角、春分点角）による依存性が現われるか計算した。自転スピベクトルの関数として Frequency Modulation (FM) の近似解析解を構成し、幾つかのシミュレーションを行い、すくなくとも幾つかのアルベドマップでは近似解が季節毎の周波数ピークとだいたい一致することがわかった。

昔、Spin-Orbit Tomography (SOT) により惑星表面二次元分布の再構成と同時に自転スピベクトルの推定も可能であることを示していたが、今回の方法では、アルベド分布情報は考える必要が（あまり）なく、SOT より簡便かつ直接的な推定方法となっている。また、FM 効果を及ぼしうる他のプロセスについても考えたい。講演時には、雲の移動による気象由来の変動や光の伝達時間差による modulation である Light Travel Time Effect (LTTE) などの他の FM 効果についても考察を行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205a **High Contrast and High Dispersion Spectroscopy Capability of IRCS (R~20,000, K-band)+AO188 in Subaru Telescope for Characterizing Nearby Directly Imaged Exoplanets**

Stevanus Kristianto Nugroho (Tohoku University), Toru Yamada (Tohoku University)

High contrast and high dispersion spectroscopy has been proven to be a powerful method to characterize directly imaged exoplanets. The telluric and stellar lines are spectroscopically separated from the planetary signal due to Doppler shift. We simulate high contrast and high dispersion spectroscopy of directly imaged exoplanet using IRCS (R~20,000)+AO188 in 8.2 meter Subaru telescope. We took archived data from SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso-Archive) in K-band (1.97-2.47 μm) as the stellar spectrum template. The exoplanet spectrum was created to mimic the thermal emission of β Pictoris b then Doppler shifted 15 km/s. The planet to star contrast (F_p/F_s) and separation were varied to find the limit of this instrument. The stellar and telluric lines were removed using the help of SVD (Singular Value Decomposition) technique. The exoplanet spectrum was recovered by cross correlating the residual with the injected spectrum by varying radial velocity. With equivalent 9.4 hours of exposure time, we succeed to recover the planet signal at $5\sigma_{noise}$ for F_p/F_s as low as 2.5×10^{-5} at $\sim 0.35''$ from the host star. While at $\sim 0.15''$, $5\sigma_{noise}$ detection of F_p/F_s is only at 2.5×10^{-4} . This technique can still be improved by using coronagraph, better instruments (e.g. IRD+SCEXAO), and more sophisticated telluric+starlight removal algorithm so that it will be a great companion to characterize the directly imaged exoplanets that will be found by TMT, E-ELT, TESS, WFIRST and JWST.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P206a 視線速度変動の見られる巨星に対する吸収線輪郭解析の適用

宝田拓也, 佐藤文衛 (東京工業大学)

視線速度 (RV) 法による中質量星周りの惑星探索は、一般的な惑星形成・進化プロセスを理解する上で重要である。主系列段階にある中質量星は吸収線が少なく RV 観測には適していないが、巨星へと進化が進むと表面温度が下がり自転速度が小さくなるため無数の吸収線を観測することができる。このような観点から、我々は 2001 年から岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES を使って 300 個の G, K 型中質量巨星を観測している。

巨星は表面活動が活発であり、脈動や自転に伴う黒点の位置の変化は吸収線輪郭を変化させる。これによって引き起こされる見かけの RV 変動は惑星由来のシグナルと注意深く見分ける必要がある。その手段として広く利用されているのが RV 変動と同時に吸収線輪郭の指標となるバイセクターの変化を追うものであるが (Queloz et al. 2001)、HIDES で取得されるスペクトルにおいてどの程度までバイセクターの変化が捉えられるかは明らかではない。

我々は HIDES で取得されるスペクトルを想定した模擬スペクトルを作成しバイセクターの解析を行うことで、どの程度の自転速度・波長分解能・S/N であれば吸収線輪郭の変動を有意にとらえることができるかについて調べた。また実際に HIDES を使って観測された活動性が大きな巨星に対して同様の解析を行ったところ、RV 変動とバイセクターの変動との間に強い相関が見られた。本講演では、今回の結果をふまえて巨星周りの惑星探索における活動性の指標の有用性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P207a **ハビタブルゾーンの評価に際する温室効果を考慮した実効的輻射流束**

釜谷秀幸、大石碧（防衛大学校）

近年、宇宙における生命体に関する研究が精力的に推し進められている。その中でも、生命の存在が可能な領域（HZ：ハビタブルゾーン）の概念をきちんと把握することは、研究の基盤となるという意味で常に重要である。その定義の仕方には流儀があるものの、物理学的そして化学的に根拠を明確にしたモデルが、今後の研究との比較検討にも都合が良いと考えられる。そこで、本研究では、シンプルモデルにおけるHZ評価処方再吟味する。

さて現状では、HZの内側境界と外側境界を評価するときに、Underwood等(2003)の簡便なモデルが広く利用されている。これは、M0,G2,そしてF0の3つの分光型に対する恒星進化と地球型惑星大気における輻射輸送を考慮した温室効果を踏まえ、そこでの生命存在可能性を論じた大規模数値計算結果(Kasting et al. 1993)を、中心星の有効温度の2次関数で近似したものである。その有用性を否定するつもりはないが、数値モデルの物理的背景が見えにくく、その利用に不安を感じさせる。

そこで、本研究では次のように、Kasting et al.の結果をフィットし直してみた。まず、惑星への入射エネルギーは中心星の有効温度の4乗（黒体放射）とする項を採用した。そして、ウィーンの変位則を踏まえた有効温度の1乗の項を導入した。これらの仮定だけで、物理的背景が明確でUnderwood等のモデルと同等に利便性が高いモデルがつくられる。講演ではハビタブルゾーンへの応答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](#)

P208a 主系列期における永続的な生命発生の可能性を考慮したハビタブルゾーンへのUVと金属量の効果

大石碧、釜谷秀幸（防衛大学校）

ハビタブルゾーン（HZ）とは宇宙において生命が存在するのに適した領域のことであり、そこでは生命が生き延びられる液体の水が維持できる。これに加え、生命に対する中心星からのUVの影響を考慮したUV-HZという領域がある。UVは強すぎても弱すぎても、生命に悪影響を与え、永続的に生命が存在するためには、適度な強さのUVが必要である。Guo et al. (2010)は、恒星のZero-Age Main Sequence（ZAMS）とTerminal-Age Main Sequence（TMS）において、質量 $0.08 \sim 4.00M_{\odot}$ である恒星の進化を考慮したHZとUV-HZモデルを構築し、それらを比較している。彼らの結論によると、中心星の表面温度が4600K以下の場合にはUV-HZがHZよりも中心星に近くなり、7137K以上の場合にはHZよりも遠くなることが分かっている。しかし、彼らの研究においては金属量が太陽程度（ $Z=0.02$ ）である場合のみを考えていた。そこで、本研究ではZAMSとTMSにおいて $Z=0.02$ 以下である金属量の効果を踏まえたHZとUV-HZをモデル化した。我々の解析によると、ZAMSではUV-HZ軌道範囲に対する金属量の影響はあまりなく、TMSではその影響は多少見られるものの、HZ軌道範囲に対する影響よりは弱いことが分かった。ところで、HZとUV-HZ両者を比較して永続的な生命の発生と維持が可能な領域を考えると、その可能性は非常に低いことが分かった。本講演では、各金属量におけるHZとUV-HZの共通領域の差による生命の発生と維持の永続性に重点を置き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](#)

P209b 3重食連星系 KIC 6543674 の測光データによる構造決定

増田賢人（東京大学）、上原翔（首都大学東京）、河原創（東京大学）

ケプラー宇宙望遠鏡の測光データからは、トランジット惑星のみならず、2000個以上の（主に短周期の）食連星も発見されている。さらにそのうち200個以上について、食のタイミングの一定周期からのずれの解析により、食連星の周囲を公転する3つめの星 (tertiary star) の存在が示唆されている。もし tertiary star がさらに内側の連星と食を起こしている場合、通常は決定が困難な3重星系の質量・半径について、詳細な推定が可能となる。

我々は、ケプラーによって発見された短周期（2.4日）の食連星系 KIC 6543674 の光度曲線において、食連星のものより小さな減光が約2日の間に3回生じているのを発見した。我々はこれらの減光が、tertiary star が内側の短周期食連星の前面を通過することによる食 (tertiary eclipse) として説明できることを示した。さらに、tertiary eclipse の光度曲線を、内側の連星の食の光度曲線およびそのタイミング変化と組み合わせて解析することで、系を構成する3つの恒星の質量・半径および軌道を測光データからすべて決定した。この解析から、tertiary star の軌道は公転周期1100日、離心率0.6で、かつ内側の連星の軌道面と非常によく揃っている（相互傾斜角 $3.3^\circ \pm 0.6^\circ$ ）ことが明らかとなった。また、得られた恒星の質量・半径と恒星進化の等時曲線との比較から、KIC 6543674 は年齢7–8 Gyr のF型準巨星（内側の食連星）およびM型矮星 (tertiary star) から成ると推定した。

標準的なシナリオでは、KIC 6543674 に含まれるような短周期連星は tertiary star による古在機構とその後の潮汐散逸によって形成され、最終的な連星軌道と tertiary star の軌道は典型的に約 40° ほど傾くとされている。従って、KIC 6543674 のフラットな構造は標準シナリオとは相容れない。この特徴は、KIC 6543674 の形成において、標準シナリオで考慮されていない過程（たとえば、永年摂動の高次項）が寄与したことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210b **SPART 電波望遠鏡による太陽系地球型惑星大気の一酸化炭素の監視**

原口大輝, 森前和宣, 種倉平晃, 齋藤滉介, 西田侑治, 前澤裕之 (大阪府立大学), 西村淳, 齋藤正雄 (国立天文台), 佐川英夫 (京都産業大学), 他 SPART グループ

中心星が惑星大気の物理・化学的環境に与える影響を理解するためには、G型星である太陽の活動(電磁放射、太陽風、フレア、コロナ質量放出(CME)に伴う高エネルギー粒子など)が太陽系の地球型惑星の中層大気に与える影響の詳細理解が鍵を握る。そこで我々は国立天文台野辺山宇宙電波観測所にある口径10mのミリ波干渉計のうち1台を独立させ惑星大気の観測に特化させ、太陽系惑星大気監視プロジェクト(SPART: Solar Planetary Atmosphere Research Telescope)を推進している。

これまでに我々はSPART望遠鏡を用いて、磁場で守られていない金星や火星の中層大気における一酸化炭素(CO)量の変動のモニタリングを実施している。具体的には $^{12}\text{CO}(J=2-1, 1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ の回転遷移による吸収スペクトルを観測している。2011-2015の期間はcycle24において太陽活動のピークが続き、金星の日照面側の高度80km付近のCOの変動(光解離等により CO_2 からCOが形成される)は 50 ± 20 ppmvであった。太陽はこれから小康期を迎えるため、これに伴ってCOがどのように変動していくか観測を継続していく予定である。我々の数値モデル計算では、フレアやCMEに伴う高エネルギー粒子が金星・火星の中層大気のCOの変動に与える影響は小さいという結果を得つつあり、現在、紫外線・X線の影響について詳しく比較を進めている。これには紫外線との相関が示唆されている野辺山宇宙電波観測所の太陽電波偏波計1GHz帯の電波強度やGOES衛星のX線・粒子測定データを利用している。本講演では、これら一連の解析の現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211c **Spitzer Studies of K2 Exoplanet Candidates**

John Livingston (University of Tokyo), Michael Werner, Varoujan Gorjian (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology), Charles Beichman (NASA Exoplanet Institute, California Institute of Technology), Ian Crossfield (University of Arizona), Erik Petigura (California Institute of Technology), Joshua Schlieder (NASA Ames Research Center), Katherine Deck (California Institute of Technology)

K2 is in the midst of identifying transiting exoplanet candidates around stars in the ecliptic plane. We are conducting Spitzer follow up observations for the purpose of confirming and characterizing these candidates. Spitzer's high cadence, high precision photometric capability in the near infrared make it uniquely suited to this task. The higher cadence allows for better measurement of transit timing and orbital parameters. The addition of even a single additional transit measurement can drastically reduce uncertainty in the period. This is crucial for the future study of exoplanet atmospheres by observatories such as JWST, and Spitzer's high precision photometry enables this for transits that cannot be measured from the ground. For multi-planet systems with near-resonant periods, the deviation from Keplerian orbits can be large, and Spitzer can measure transit timing variations (TTVs) which cannot be detected in the K2 data alone. The achromaticity of measured transit depth between the Kepler and Spitzer bandpasses helps to confirm the planetary nature of the transit signals in the K2 data. This study is expected to increase the total number of known exoplanets orbiting M dwarf host stars by as much as 50%, as well as constrain their orbital and physical characteristics.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212c ハレアカラ T60 望遠鏡の DIPOL-2 を用いた系外惑星の観測と解析

前田東暁, 坂野井健, 鍵谷将人 (東北大)

我々は、ハワイ・ハレアカラの口径 60cm 望遠鏡の偏光観測装置 S IPOL-2 (a double image high precision polarimeter, Pirola et al., 2014) を使い、系外惑星の偏光観測を 2015 年 1 月より開始した。この観測の原理は、主星を光源とし、惑星大気により散乱されて観測者に届く光は、公転に伴い周期的な偏光の変化を生じることによる。ストークスパラメータ Q および U の 10^{-4} 以下の精度での測定を系外惑星の様々な公転位相角について実施することで、トランジット天体に限定することなく、惑星の軌道要素や、惑星の大気情報を引き出すことも可能と考えられる。しかし、これまで観測に成功したのは 1 天体にとどまる (Berdyugina et al., 2008, 2011)。本研究では、系外惑星の偏光観測のメリットを踏まえ、観測と解析方法の確立を目指している。

系外惑星の偏光観測のしやすさは、主星と惑星の距離、ならびに惑星の半径の 2 つの条件にのみ依存すると考えられる。加えて、S/N 向上のためには、主星が明るいことが重要となる。ここで、一般的に系外惑星の半径は主星に比べて小さく、反射光は主星の 10^{-5} 程度とわずかである。従って系外惑星の観測をおこなうためには、 10^{-5} 以下を目安とする非常に高精度な偏光測定が必要となり、このためには観測機器の校正と、時間安定性が不可欠である。2015 年は 1 月、5 月、8 月、10 月にそれぞれ 19 個、12 個、18 個、10 個、合計 59 個の無偏光標準星の観測をおこない機器偏光の特性を詳細に調べた。また、これらと並行して 3 天体 (τ Boo b, HD189733 b, 55 Cnc e) の系外惑星の観測もおこなった。これらは、短期間に異なる公転位相角でのデータが収集できる、公転周期が既知 (数日) のホットジュピター型系外惑星である。発表では、機器偏光の校正結果、系外惑星の偏光度推定手法、および、観測した 3 つの系外惑星大気偏光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](#)

P213c 様々な主星の輻射環境における光合成の吸収効率

小松勇, 梅村雅之 (筑波大)

地球サイズの太陽系外惑星がハビタブルゾーン（液体の水が惑星表面に存在する可能性がある領域）に発見されるようになり、生命を育む惑星の発見には益々興味を持たれている。このような惑星のスペクトルから大気などの特徴付けがなされることが生命由来の痕跡、バイオマーカーを検出する上で必須になる。バイオマーカーとしては地球環境、生命に与えた影響の大きさから、光合成に由来するスペクトル変化に注目することができ、酸素などの大気分子、レッドエッジと呼ばれる植生の反射スペクトルなどが考えられている。植生の反射スペクトルの概形はクロロフィルなどの光合成色素の光吸収によって形成され、例えば光合成細菌などの吸収スペクトルはそれらが生息する水中での透過スペクトルと関係していることが示唆されている (Stomp et al. 2007)。つまり、光合成生物は、生息環境において利用できる光エネルギーを使うことに特化した結果、現在の吸収スペクトルを得たと考えられる。一方、今後の観測はその abundance から M 型星周りの惑星に焦点が当たり、このように地球と異なる輻射環境においてどのようなスペクトル特性を示すのかは非常に興味深い。

そこで我々は、分子の電子構造を計算する手法である量子化学計算を用いて、系外惑星表層において光合成生物の光吸収がどのように効率がかわるかを評価した。まず輻射輸送計算などによって FGKM 型の主星周りの地球型惑星表面の輻射環境を明らかにした。水中などの実際に生物が生息する環境に焦点を当てて輻射スペクトルを算出した。また、量子化学計算によって、色素などの電子励起状態を見積もった。色素の構造、周囲の溶媒環境などによってどのように吸収スペクトルがシフトし、効率に影響を与えるかを吸収帯毎に評価した。本講演ではその最新結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214a **MOA-II による系外惑星探査：2015 年の結果**

平尾優樹 (大阪大学), MOA コラボレーション

我々 Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループではニュージーランドにある Mt. John 天文台において重力マイクロレンズ現象を利用した系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ現象とは観測天体 (ソース天体) の光がその前を通過する天体 (レンズ天体) の重力によって曲げられることにより、増光して観測される現象である。レンズ天体が伴星を持つ場合、光度曲線にレンズ天体が伴星を持たない場合とのズレ (アノマリー) が生じる。この光度曲線を解析することにより主星と伴星の質量比がわかり、惑星を検出できる。マイクロレンズイベントの増光期間はレンズ天体の質量の平方根に比例し、普通の星で 20 日程度だが、木星質量程度の天体では 1 日程度、地球質量程度の惑星では数時間と非常に短いため、高頻度な観測が要求される。そこで我々は口径 1.8m、視野 2.2 平方度の広視野望遠鏡 MOA-II を用いて銀河中心領域の星約 5000 万個を 15-90 分に 1 回という高頻度の観測を毎晩行っている。1 つの望遠鏡では 24 時間カバーできないが、MOA と同程度の高頻度観測をチリで行っている OGLE-IV と連携することによって高頻度サーベイネットワークを実現し、惑星シグナルをカバーできるようになってきている。さらにデータをリアルタイム解析し、アノマリーが見つかり次第、世界中のフォローアップグループにアラートを出し高頻度追観測を行っている。2015 年シーズンの観測も順調に終わり、MOA では 576 個のマイクロレンズアラートを発信し、他グループと共同で 13 個の惑星候補イベント (惑星シグナルの低い 5 つのイベントを含む) を検出した。本講演ではこれらの惑星イベントの詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P215a ザララップ効果が見える重力マイクロレンズイベントへの新たな制限

越本直季 (大阪大学), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法で惑星系の質量を決定することは難しいが、光度曲線に有限ソース効果とパララックス効果の2つの高次の効果が両方見えている、もしくは、どちらか片方の特殊効果が見えていて、主星の明るさが検出できている場合にのみ決定できる。主星は星の混んだバルジ方向にあるため、他の星と分離するには宇宙から観測するか、地上から補償光学装置を用いて観測する必要がある。

2012年のマイクロレンズイベント MOA-2012-BLG-527 は、地球の公転による長期的なシグナルであるパララックス効果が見えており、さらに KECK II 望遠鏡による補償光学を用いた撮像観測もなされていて、惑星系の質量を求めることができた (2015 年秋季年会)。しかし、この長期的なシグナルは、ソース天体が連星であった場合、その公転の効果であるザララップ効果によっても説明することができる。ザララップモデルの場合、ソース天体の連星系の軌道要素もフィッティングパラメーターとなって自由に決められるため、一般にパララックスモデルよりも χ^2 の値はよくなる。しかし、パラメーターの不定性は一般に大きく、レンズ天体の質量を決めることは難しい。そこで、観測的にわかっている制限を加えることで、レンズ天体の質量を決定、またはザララップモデルを否定できないか試みた。秋の年会では、KECK で撮ったターゲットの明るさからソース天体の伴星の明るさの上限値を決めて制限を加えたが、否定できなかったと報告した。今回は新たに、ソース天体の伴星の増光シグナルが光度曲線から検出されていないことから、連星系の周期に制限を付けた。その結果、本イベントではレンズ天体の質量に大きな制限を付けられず、また、ザララップモデルを否定することもできなかった。しかし、今後、この新たな手法が有効となることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216a 海王星に似た惑星:MOA-2013-BLG-605Lbの公転軌道

住 貴宏 (大阪大学), MOA コラボレーション

我々Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは、ニュージーランド南島、マウントジョン天文台で重力マイクロレンズ効果を利用して系外惑星の探査を行っている。2013年に発見したイベント MOA-2013-BLG-605の惑星によるシグナルは、主星による増光の38日も前に起こり、主星から離れた非常に冷たい惑星である。このイベントでは、地球の公転による視差の影響 "パララックス効果" が観測され、レンズ天体である惑星系の質量、射影距離等を決定できた。しかし、惑星の公転運動とパララックス効果が縮退して不定性が非常に大きくなり、従来で2次元で近似された公転軌道モデルでは、十分に軌道要素を制限できない事がわかった。そこで、3次元の厳密なケプラー運動を考慮して惑星の軌道要素を計算し、物理的に適切な事前確率を導入する事で、軌道要素とともに惑星系のパラメータを求めた。その結果、この惑星は、初の海王星に似た系外惑星であることが分かった。本講演では、この軌道計算の詳細を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P217a 低質量 M 型矮星周りを回るスーパーアース：MOA-2012-BLG-505Lb

永金昌幸 (大阪大学), MOA コラボレーション

本公演では、重力マイクロレンズ法によって低質量 M 型星周りのスーパーアース を発見したことを報告する。我々、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループでは、口径 1.8m の MOA-II 望遠鏡を用いて、重力マイクロレンズ現象を利用した広視野高頻度の系外惑星探索を行っている。重力マイクロレンズ現象とは、ソース天体の前をレンズ天体が通過したときに、レンズ天体の重力場によってソース天体からの光が曲げられて一時的に増光する現象である。レンズ天体が伴星を持つときは、それらによっても増光され特徴的な増光曲線を示すため、それを解析することによって主星と伴星の質量比と主星からの距離を求めることができる。本研究では、2012年に起こった重力マイクロレンズイベントである MOA-2012-BLG-505 の解析を行った。本イベントの場合、惑星シグナルは検出されていたが、イベント近くの明るい星によるシステムティックが光度曲線にあったため、モデルパラメータを正しく見積もるために光度曲線を再解析しモデルパラメータを決定した。それにより、確かに惑星の存在を確認できた。解析の結果、主星に対する質量比が $\sim 2 \times 10^{-4}$ の惑星が存在することがわかった。ソース天体の色を求めなおして、銀河モデルを仮定したベイズ推定をしたところ、レンズ天体は地球から $6.7_{-1.5}^{+1.3}$ kpc の位置にある、主星の質量が $0.14_{-0.08}^{+0.23} M_{\odot}$ 、軌道長半径が $1.3_{-0.5}^{+0.9}$ AU、惑星の質量が $9.5_{-5.5}^{+15.6} M_{\oplus}$ の惑星系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](#)

P218a 系外惑星系探索用多重レンズ解析法

阿部文雄（名古屋大学）

マイクロレンズ法による太陽系外惑星探索は、他の手法では困難な氷境界の外側を周る地球質量程度の惑星まで検出可能な唯一の方法である。しかし、多重レンズの解析は複雑で、連星を回る惑星や複数の惑星からなる惑星系の解析は困難を極めている。従来、3重レンズ（主星 + 2 伴星）までは、代数方程式を解く方法が主として使われてきた。しかし、それ以上の複雑なレンズ系については、この問題の代数方程式は知られていない。多数の光線を逆射影する Inverse Ray Shooting 法は、より複雑なレンズ系でも増光パターンのを求めること可能だが、膨大な計算時間を必要とし、フィッティングなどの解析には使えない。このため、4 個以上の複雑なレンズ系まで可能な解析手法の開発が課題となっていた。

我々は、現在逐次近似法を利用した多重レンズの数値的な解法を開発を行っている。この手法は、試行・逐次近似を繰り返して像の位置を計算するもので、急速に収束する。通常、数回の逐次近似で浮動小数点の桁落ち誤差程度まで収束することが確認されている。また、各レンズのレンジングゾーンに対する 20 回程度の試行でほぼすべての像を捉えられることがわかった。最近の進展により、4 重以上の複雑な重力レンズについても、像の位置や増光率などが計算できるようになってきた。これにより、惑星系や連星の周りの惑星の他、衛星などの発見も期待される。本講演ではこの手法の概要と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](#)

P219a **ALMA による低質量原始星天体 B335 の化学組成の研究**

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

これまでの研究で、低質量原始星天体のエンベロープには、化学組成の多様性が見られ (Sakai and Yamamoto 2013)、原始星周辺での分布も分子種によって異なることがわかってきた (Sakai et al. 2014)。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、その関連の理解は星形成分野の重要な研究テーマである。

本研究では、このような動機から Class 0 低質量原始星 B335 に対し、ALMA (Cycle 2) を用いて波長 1.2 mm 帯での高分解能観測を行った。NH₂CHO(12_{0,12}-11_{0,11}) や HCOOCH₃(20_{5,1,6}-19_{5,1,5}) などの複雑な有機分子を含む、数多くの分子のスペクトル線が観測された。B335 は今まで化学組成の特徴が知られていなかったが、(CH₃)₂O や HCOOCH₃ などの飽和有機分子に富むことから、Hot Corino 天体であると考えられる。ほぼ全てのラインで明瞭な回転構造は見られなかったが、分子種によってその分布や速度構造は異なることがわかった。例えば、NH₂CHO などの有機分子は、中心付近の狭い領域で、広い速度幅を示す。赤方偏移している成分が弱められていることから、原始星に向かって自由落下しているガスに存在していることが示唆される。また、CCH などの炭素鎖分子や CS は、エンベロープの広い範囲にまで分布しているのに対し、SO などの分子は比較的中心に近い領域で分布していることがわかった。これらの結果は、原始星近傍の化学組成が原始星に向けて系統的に変化していることを意味し、その解析は物質進化の観点のみならず、原始星エンベロープの力学構造の理解においても重要と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a **TW Hya まわりの原始惑星系円盤の ALMA 観測**

野村英子 (東工大), 塚越崇 (茨城大), 川辺良平 (国立天文台), 石本大貴 (京大/東工大), 奥住聡 (東工大), 武藤恭之 (工学院大), 金川和弘 (北大低温研/Szczecin Univ.), 井田茂 (東工大 ELSI), C. Walsh (Leiden Univ.), T.J. Millar (Queen's Univ. Belfast), X.-N. Bai (Harvard-Smithsonian)

近年の赤外線・電波観測技術の向上により、原始惑星系円盤の観測的研究が急激に進展している。すばる望遠鏡などにより高空間分解能近赤外線撮像観測により、円盤内のギャップや渦状腕構造など、惑星形成を示唆する結果が得られてきた。また、大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマによる高空間分解能・高感度観測は、円盤内の惑星形成領域の物理・化学構造を明らかにすると期待される。

本講演では、TW Hya まわりの原始惑星系円盤の ALMA による観測結果を報告する。TW Hya 円盤は我々の太陽系から最も近傍に位置する原始惑星系円盤で、これまで詳細な観測的研究がなされてきた。我々が ALMA で 336GHz ダスト連続放射の観測を行った結果、ギャップとリング構造を発見した。これらの位置は、すばる望遠鏡の近赤外線撮像観測で見つかったギャップの位置と同程度であった。惑星によるギャップ形成の理論によると、観測されたギャップが惑星起源の場合、海王星よりやや重たい質量の惑星でギャップが形成された可能性がある。一方、ダスト表面の氷の焼結が起源とすると、CO と CH₄ の焼結領域の狭間にギャップが形成された可能性がある。

さらに CO 輝線の観測を行った結果、CO スノーライン (半径 30AU 程度) より内側の領域でも気相中の CO の量が減少していることがわかった。これは、スノーラインよりも内側で CO がダスト表面反応により有機分子等、より大きく蒸発しにくい分子になり、ダスト表面に留まっている可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P221a 原始惑星系円盤の化学反応計算と、赤外線分光観測によるスノーライン・C/O 比分布の検出可能性

野津翔太, 石本大貴 (京都大学), 野村英子 (東京工業大学), 本田充彦 (久留米大学)

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、 H_2O 輝線プロファイルの観測から円盤内の H_2O 分布、特に H_2O スノーラインを同定する可能性を調べてきた。しかし円盤内では凝結温度の違いにより、分子種ごとにスノーラインの位置は異なると考えられる。その為、円盤ガス・ダスト中の C/O 比は、中心星からの距離に応じて変化すると考えられる。例えば H_2O スノーラインの外側では、多くの酸素が H_2O の形でダスト表面に凍結する一方、炭素の多くは CO などの形で円盤ガス中に留まるので、ガス中で C/O 比が大きくなる。また、近年系外惑星大気の C/O 比が測定され始めているが、円盤と惑星大気の C/O 比を比較する事で、惑星形成理論に制限を加えられる事が示唆されている (e.g., Öberg et al. 2011)。

そこで我々は、これまでの化学反応計算を発展させ、円盤ガス・ダスト中の C/O 比や、比較的単純かつ主要な分子種 (e.g., H_2O , CO , CO_2 , HCN) の組成分布を調べている。同時に放射輸送計算も進め、C/O 比などを同定するのに適した輝線の調査を進めている。その結果、同じ分子種のアインシュタイン A 係数や励起温度が異なる輝線を使う事で、円盤内の異なる領域の C/O 比に制限を加えられる事が分かってきた。例えば HCN の場合、 $3\mu\text{m}$ 帯の輝線では円盤外側、 $14\mu\text{m}$ 帯の輝線では円盤内側の構造に迫る事が可能である。これは $14\mu\text{m}$ 帯の輝線の方が $3\mu\text{m}$ 帯の輝線と比べ、ダストの吸収係数が小さく励起温度が低いため、円盤内側の HCN ガスが豊富な領域を追う事が出来るからである。本発表では典型的な T-Tauri 円盤の場合の解析結果を中心に報告し、将来の近-中間赤外線の分光観測 (e.g., TMT/MICHI, SPICA) との関係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](#)

P222b HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の多波長輻射平衡モデル II

持田一貴, 花輪知幸 (千葉大学)

2015年秋季年会 (P214a) につづき、原始惑星系円盤 HL Tau の多波長輻射平衡モデルについて報告する。これまでと同様、HL Tau 本体は半径が太陽の 6.9 倍で有効温度が 4,000K の黒体と近似し、星からの照射と円盤での吸収・散乱・放射が釣り合っていると仮定した。また輻射輸送は波長 $0.1 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 3.16 \text{ mm}$ の範囲を $\Delta\lambda = 0.02$ の波長解像度で、M1 モデル (González et al. 2007) に基づいて計算した。またダストが沈殿している効果を考え、密度が高く幾何学的に薄い成分と密度は低いが広がった成分の 2 種類を考えた。後者は星からの可視・近赤外線を捉え、幾何学的に薄い円盤部を中間赤外線により温める役割をしている。前者は ALMA で観測された暗い溝を再現するため、単純な静水圧平衡から期待されるより厚みを薄くしている。

モデルで扱う円盤の内縁を前回の 20 AU から 10 AU に小さくしたことで、最大半径を $a_{\text{max}} = 100 \mu\text{m}$ としたオパシティーとしたモデルについても検討したことは、特に新しい点である。前回は発表したように、 $a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$ とした従来のオパシティーモデルを採用すると、散乱が強すぎて ALMA の Band 7 ($\lambda = 0.9 \text{ mm}$) での強度が観測で得られた値よりかなり低くなる。ダストの最大半径を $a_{\text{max}} = 100 \mu\text{m}$ とすると、散乱断面積が下がり観測を再現できるという指摘を受けたので、野村英子さん (東工大) にオパシティーモデルを作り直してもらい、この可能性を調べた。しかしこのモデルでもダスト温度は低く、観測されたプランク温度に届かない。

一方で $a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$ として、散乱だけ従来のモデルの 1/10 としたモデルは、半径 10 AU の近くでも観測を再現する。オパシティーモデルではダストが完全な球形であることを仮定しているが、実際のダストはいびつなので、断面積が従来より桁違いに小さくても不思議はない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P223b

JVLA 7mm 高分解能観測による V1247 Ori の非対称な原始惑星系円盤

日下部展彦、橋本淳 (アストロバイオロジーセンター (ABC)/国立天文台)、H. B. Liu (ASIA)、武藤貴之 (東京工学院大学)、深川美里、秋山永治 (国立天文台)、塚越崇、百瀬宗武 (茨城大学)、長谷川靖紘 (JPL/Caltech)、片岡章雅、瀧哲朗 (東京工業大学)、高見道弘 (ASIAA)、J. Wisniewski (オクラホマ大学)、大橋永芳、T. Pyo (国立天文台)、田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台)

このポスターでは、Herbig Ae 型星である V1247 Ori (385pc, 7Myr) における高分解能ミリ波観測による原始惑星系円盤について紹介する。これまで、高分解能な近赤外線観測により、いくつかの若い天体の周囲に非対称な円盤や、スパイラル構造をもつ円盤が検出されている。V1247 Ori においても、すばる望遠鏡/HiCIAO の $1.6\mu\text{m}$ の近赤外高分解能偏光撮像観測により、サブミクロンサイズのダストによる原始惑星系円盤の非対称性を検出した。

近赤外線では円盤表面の非対称性は検出することができるが、円盤内部の構造まで見ることはできない。この非対称性が円盤の内部でも存在するのかを確かめるため、円盤内部の大きなダストによる熱放射に感度のある JVLA の 7mm の連続波による観測を行った。この観測により、分解能は $0.2''$ に達する高分解能の電波観測を行った。その結果、円盤の非対称性は検出できたが、HiCIAO と JVLA の非対称なピークの位置にずれを検出した ($\sim 0.3'' @ 1.6\mu\text{m}$, $\sim 0.2'' @ 7\text{mm}$)。このポスターでは、このピークの位置のずれと円盤の非対称性について議論する。また、近赤外とミリ波のデータおよび過去の SMA によるサブミリ波のデータから、円盤の質量などのパラメータについても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P224b ロスビー波不安定性の物理メカニズム

小野智弘 (京都大学), 武藤恭之 (工学院大学), 野村英子 (東京工業大学)

近年、原始惑星系円盤の詳細な構造が観測によって明らかになってきており、一部の原始惑星系円盤は非軸対称なダスト分布を持つことが知られている。その非軸対称構造の成因は未解明であるが、有力な成因候補の一つとしてロスビー波不安定性が挙げられている。ロスビー波不安定性は差動回転円盤中で起こる流体不安定性である。円盤の構造が動径方向に急激な変化を持つ時に不安定となり、ガス分布に非軸対称な渦構造を形成する。ロスビー波不安定性に関して、数値シミュレーション等を用いた研究は活発に行われているものの、発生の物理的メカニズムについては十分な理解がなされていない。

本研究では、様々な背景流に対するロスビー波不安定性の線形安定性解析を行い、ロスビー波不安定性のメカニズムについて調べた。解析の結果、ロスビー波不安定性は、原始惑星系円盤の渦位極小周りにおける渦位摂動の位置関係によって引き起こされることが明らかとなった。さらに、非圧縮シアリング・シート近似のもとでは、線形安定性解析を完全に解析的に扱うことのできるモデルが存在することを見出し、グローバルな線形解析の結果と定性的に類似した結果を得ることに成功した。本講演ではこれらの結果を報告し、原始惑星系円盤における乱流粘性がロスビー波不安定性を安定化させる影響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](#)

P225b **ダスト層の重力不安定によって形成される微惑星のサイズと円盤モデル**

長谷川幸彦, 小久保英一郎 (国立天文台)

乱流の存在する原始惑星系円盤でダスト層の重力不安定が起こるためには、円盤のダストの量が標準モデルよりも桁で大きい値となる必要があると考えられている。円盤内でダストを集めるプロセスとして注目されているプレッシャーバンプが存在するためには、円盤のガスや温度の分布が標準モデルとは大きく異なる必要がある。円盤のガスや温度の分布はダスト層の重力不安定やそれによってできる微惑星の成長にも影響するが、標準モデルとは異なる円盤モデルでのダスト層の重力不安定の発生条件やそれによる微惑星の大きさに注目した研究はこれまであまり行われていなかった。本研究では、ダストが沈殿と巻き上げの平衡状態にあるダスト層での重力不安定の発生条件およびそれによってできる微惑星の質量について、ガス面密度と温度について任意の半径方向の分布を持つ原始惑星系円盤に適用できる式を解析的に導出した。本発表では、その式をいくつかの円盤モデルに応用した場合の結果について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226b 原始惑星系円盤の消失：円盤風と光蒸発の競合

國友正信，犬塚修一郎，鈴木建（名古屋大学）

原始惑星系円盤は惑星が形成される場所であり，原始惑星系円盤の進化を理解することは惑星形成の理解に必須である．これまで，原始惑星系円盤は主に粘性降着と光蒸発により進化・消失すると考えられてきた．粘性降着は角運動量輸送によりガスが中心星へ降着する効果であり，光蒸発は X 線や紫外線により加熱されたガスが円盤から散逸する過程である．これらを考慮した研究から，円盤は以下のように進化すると考えられてきた．まず粘性降着により面密度が減少し，質量降着率が光蒸発率と同程度になると 1AU 付近でギャップが空き，その後円盤は速やかに消失する，というものである (Clarke et al. 2001)．一方で近年，磁気回転不安定性による乱流によって駆動されるガスの流出過程（以下，円盤風）も存在することが明らかになった (Suzuki et al. 2009)．円盤風は特に円盤の中心星付近で強いため，円盤内側の面密度進化に重要な影響を及ぼすことが知られている．

そこで本講演では，粘性降着，光蒸発，円盤風の 3 つの効果を考慮した場合の円盤進化について報告する．流体力学計算により得られた X 線光蒸発 (Owen et al. 2012) および円盤風 (Suzuki et al. 2010) の質量損失率を用いてガス面密度の時間進化を計算した．その結果，円盤風を考慮した場合，円盤内側での質量降着率が小さくなり，ギャップが空く時刻が早くなることがわかった．従って，これまで粘性降着と光蒸発を考慮した場合の円盤寿命に比べて円盤寿命は百万年程度短くなりえることがわかった．得られた結果を用いて，観測されている遷移円盤の頻度との整合性や，X 線光蒸発が効果的でない中質量星周りの円盤進化 (國友他，2013 年春季年会) における円盤風の重要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](#)

P227a おうし座 HL 星における惑星系形成

秋山永治 (国立天文台)、長谷川靖紘 (国立天文台、Caltech)、林正彦 (国立天文台)、井口聖 (国立天文台、総合研究大学院大学)

ALMA の長基線試験観測でおうし座 HL 星の革命的な画像が得られ詳細な描像が明らかとなった現在、観測されている原始惑星系円盤の構造についてどこまで物理的に制限を与えられるかを議論することは極めて重要である。様々な理論研究によって惑星は円盤との重力相互作用で周囲の物質を飛ばし、惑星軌道に沿ってリング状に密度が減少したギャップ構造を形成することが示されている。従って、惑星は観測されているギャップ構造の起源を説明する有力な候補である。本研究では、すでに公開されているおうし座 HL 星の画像を再度解析し、多重リングギャップの位置、サイズ、面輝度分布などをより高い精度で求めた。そして、ギャップの起源が惑星であるとした仮定の下、角運動量輸送とギャップの深さからギャップに内在する惑星の質量を見積もる手法 (Kanagawa et al. 2015b) を適用し、内側から 4 つの顕著なギャップに対してそれぞれに対応する惑星の質量を見積もった。その結果、4 つ全てのギャップで木星質量程度の惑星が存在する可能性が示され、付随するガスの円盤に対してもギャップを形成するのに十分なサイズであることが分かり、Type-II 惑星移動を支持する結果が得られた。さらに、Toomre の Q 値と冷却効果を調査し円盤の重力不安定性を調べたところ、中心星から 50AU 以遠では重力不安定の条件が満たされていることが分かった。これらの結果と天体の年齢などを考慮すると、惑星は円盤の外側で形成され Type-II 惑星移動によって現在の位置に移動してきたものと思われる。ALMA はこれまでになく原始惑星系円盤の描像を明らかにしたが、ダスト成長や永年重力不安定性でもギャップ構造の説明が可能であるため、形成の起源を明らかにするためには、円盤赤道面を反映するガス観測を含めたさらなる観測的研究が求められる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P228a 永年重力不安定性による HL Tau の多重リング構造形成

高橋実道 (東北大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤は惑星形成の現場であり、惑星形成過程の解明のためには円盤の形成および進化についての理解が不可欠である。近年の原始惑星系円盤の高解像度の観測により、円盤の構造を詳細に観測することが可能となった。その結果、リング構造やギャップ構造、非軸対称構造など、それまでの円盤進化学理論では予想されていなかった円盤構造が数多く観測されてきた。このような円盤構造は惑星形成過程を解明する上で大きな手がかりになると考えられている。円盤のリング構造の起源として、Takahashi and Inutsuka 2014 では円盤中でのダストとガスの摩擦によって引き起こされる永年重力不安定性 (Secular GI) によって、ダスト/ガス比が大きく乱流が弱い円盤では、半径 ~ 100 AU で約 10AU の幅の多数のリングが形成されることを示した。このような構造が実際に HL Tau の円盤に形成されていることが、その後の ALMA による高解像度観測により明らかになった (ALMA partnership et al. 2015)。HL Tau の ALMA のデータの詳細な解析により、HL Tau の円盤中では乱流が弱く、 $\alpha \sim 3 \times 10^{-4}$ 程度であることが示唆されている (Pinte et al. 2015; 乱流を抑制する理論モデルについては Okuzumi and Inutsuka 2015, Mori and Okuzumi 2015)。また、ダスト面密度も非常に大きく (Kwon et al. 2015)、ダスト/ガス比は標準的な値である 0.01 より大きいと考えられる。これらの HL Tau の特徴的な性質は Takahashi and Inutsuka 2014 の主張と一致しており、リング構造形成のメカニズムとして Secular GI は有力な候補であると言える。本研究では、観測から得られた HL Tau の面密度、温度構造を用いて、HL Tau において Secular GI が不安定になることを示し、各半径での最大成長波長と不安定の成長のタイムスケールから、Secular GI によって HL Tau のすべてのリング構造を説明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](#)

P229a 原始惑星系円盤でのダスト焼結と多重リング形成: HL Tau 円盤への応用

奥住聡 (東京工業大学), 百瀬宗武 (茨城大学), 城野信一, 小林浩 (名古屋大学), 田中秀和 (北海道大学)

2014年に行われたALMA望遠鏡の長基線試験観測キャンペーンにより、おうし座HL星(HL Tau)まわりのダスト円盤が複数の同心円状のリングからなることが明らかになった。我々は、この多重リングが、ダストの衝突合体成長物(アグリゲイト)の焼結を通じて形成されたというシナリオを提案する。焼結とは、ダスト粒子の接触面が溶融して固着する現象であり、粒子の構成物質の融点よりもわずかに低い温度で起こる。焼結が起こるとアグリゲイトは硬化し、それらの付着合体の効率が著しく低下する(Sirono 1999; Sirono & Ueno 2014)。原始惑星系円盤中の氷アグリゲイトが複数の揮発性物質(水, アンモニア, 一酸化炭素など)から構成される場合、このような付着力低下が各揮発性物質の昇華線(スノーライン)の付近で起こると予想される(Sirono 1999, 2011)。我々は、この効果を考慮した円盤ダストの進化計算を行い、各揮発性物質の昇華線の近傍では氷ダストの面密度が1桁程度上昇することを明らかにした。これは、焼結によってアグリゲイトの成長が抑制されると、アグリゲイトの中心星方向への移動(Adachi et al. 1976; Weidenschilling 1977)の速度が低下し、アグリゲイトがその場に滞留するためである。ダスト滞留の結果、それぞれの昇華線はミリ波において明るいリングとして観測される。この多重リングは、HL Tau 円盤の多重リングの重要な特徴のいくつかを良く再現す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 **Viscous Instability Triggered by Layered Accretion in Protoplanetary Disks**

Yasuhiro Hasegawa (JPL/Caltech), Taku Takeuchi (Titech)

Layered accretion is one of the inevitable ingredients in protoplanetary disks when disk turbulence is excited by magnetorotational instabilities (MRIs). In the accretion, disk surfaces where MRIs fully operate have a high value of disk accretion rate (\dot{M}), while the disk midplane where MRIs are generally quenched ends up with a low value of \dot{M} . Making use of the traditional viscous α -parameter that was derived intuitively, layered accretion has been investigated extensively in 1D disk models. Significant progress on understanding MRIs has recently been made by a number of dedicated MHD simulations, which requires improvement of the classical treatment of α in 1D disk models. To this end, we obtain a new expression of α by utilizing an empirical formula that is derived from recent MHD simulations of stratified disks with Ohmic diffusion. It is interesting that this new formulation can be regarded as a general extension of the classical α . Armed with the new α , we perform a linear stability analysis of protoplanetary disks that undergo layered accretion, and find that a viscous instability can occur around the outer edge of dead zones. Disks become stable in using the classical α . We identify that the difference arises from Σ -dependence of \dot{M} ; whereas Σ is uniquely determined for a given value of \dot{M} in the classical approach, the new approach leads to \dot{M} that is a multi-valued function of Σ . We confirm our finding both by exploring a parameter space and by performing the 1D, viscous evolution of disks. We finally discuss other non-ideal MHD effects that are not included in our present analysis.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P231a 原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性の数値シミュレーション

大西勇武, 関谷実 (九大・理・地球惑星科学)

原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性には、Streaming instability (SI) や Kelvin-Helmholtz instability (KHI) などが知られている。SI は Youdin & Goodman (2005) により提唱された不安定性であり、動径方向のガス圧力勾配によるダストとガスの速度差に起因してダストが濃集する不安定性であり、Youdin & Johansen (2007) による線形解析や Johansen & Youdin (2007) による数値シミュレーションによって、詳細に調べられている。一方、初期のダスト分布が円盤の垂直方向に一様でない場合に KHI が生じることは、Weidenschilling (1980) により提唱された。Ishitsu et al. (2009) は、十分に沈殿したダスト層では SI より KHI が優位に起こることを示した。鉛直方向の重力を入れた場合の数値シミュレーションは、Bai & Stone (2010b,c) により行なわれている。

本研究では、原始惑星系円盤のガス・ダスト系における SI と KHI を含む不安定性の総合的な理解をさらに発展させることを目指して、Bai & Stone (2010a) により開発された Athena コードを使用して数値計算を行った。2次元軸対称で円盤垂直方向の重力を入れた場合に、Bai & Stone (2010c) で確かめられていない幅広いパラメータ空間において数値シミュレーションを行った結果を報告し、円盤内のガスとダストの相互作用による不安定性に関する総合的な考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P232a 原始惑星系円盤における電子加熱による磁気乱流の抑制：磁気流体数値計算による検証

森昇志 (東京工業大学/名古屋大学), 村主崇行 (理研), 奥住聡 (東京工業大学/JPL), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤の乱流粘性は、円盤内の角運動量輸送を担い、円盤進化に大きな影響を与える。現在、円盤乱流の起源として有力な候補は磁気回転不安定性 (MRI) である (Balbus & Hawley 1991)。中心星から遠くでは MRI は十分成長すると考えられているが、そこでは MRI 乱流に付随する強電場が電子を加熱する (電子加熱; Inutsuka & Sano 2005)。我々はこれまで電子加熱が円盤内の広い領域で起こることを示してきた (Mori & Okuzumi 2016)。電子加熱が起こると、加熱電子がダストに衝突し吸着され、電離度が減少し、オーム散逸が増幅する (Okuzumi & Inutsuka 2015)。そのため、この効果により円盤内の磁気乱流が抑えられるかもしれない。

我々はこの可能性を検証するために、電子加熱によってオーム散逸が増幅する効果を単純な解析的なモデルで模擬し、MHD シミュレーションを行った。その結果、電子加熱によって電流密度が低い値に抑制されればされるほど、降着応力が減少することを確認した。また、電子加熱の効果がよく効く時、磁気乱流は全く起きず、定常的な層流状態になることを発見した。そのときの降着応力は整列した磁場によるマクスウェル応力が支配的である。そして最終的に、このシミュレーション結果と、マクスウェル応力と電流密度間のスケール則の両方から、電子加熱時の降着応力の予言公式を得た。つまり、電子加熱領域において、飽和状態の電流密度が分かれば、降着応力を与えることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P233a 原始惑星系円盤における高空隙率ダストの観測予測

田崎亮 (京都大学/東京工業大学), 田中秀和 (北海道大学), 武藤恭之 (工学院大学), 片岡章雅 (ハイデルベルグ大学/NAOJ), 奥住聡 (東京工業大学), 野村英子 (東京工業大学)

近年、原始惑星系円盤におけるダストの合体成長過程は、高い空隙率を持って進行することが示唆されている。しかし、未だそのような高空隙率ダストの存在についての観測的な検証は行われていない。高空隙率ダストは円盤表層に存在していると考えられるため、そのようなダストは中心星からの光の散乱に寄与すると考えられる。従って、原始惑星系円盤を可視光線や近赤外線といった円盤からの散乱光を観測可能な波長で観測することで、高空隙率ダストの存在を観測的に検証できる可能性がある。

そこで、我々は空隙を持つダストと、持たないダストで円盤の散乱光にどのような違いが現れるかについて検討した。高空隙率ダストの散乱係数・位相関数の計算は、我々が Rayleigh-Gans-Debye (RGD) 理論に基づいて構築した近似的なモデルを採用した (2015 年春季年会; Tazaki et al., submitted)。高空隙率ダストによる散乱は、Rayleigh 散乱のような高い偏光度を示し、また、大きく成長した高空隙率ダストは強い前方散乱を生む。従って、高空隙率ダストの存在は、傾いた円盤を観測した際に、円盤の手前側と奥側で散乱光強度の非対称を生み出し、同時に、高い偏光度を持った散乱光が観測されると考えられる。一方で、空隙を持たない、かつ、粒径が波長よりも大きな粒子は、主に Rayleigh 散乱に比べて低い偏光度を示す。また空隙を持たない、かつ、粒径が波長よりも小さい粒子は、Rayleigh 散乱と同様の偏光度を示すが、散乱の角度依存性は等方散乱となる。以上より、円盤の偏光度と散乱光強度の非対称性の観測から円盤における高空隙率ダストの存在が検証できる可能性がある。また本講演では、原始惑星系円盤の輻射輸送計算に基づいて、本モデル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](#)

P234a 乱流円盤中での微惑星から惑星への成長—暴走成長を開始する天体サイズ—

小林浩 (名大), 田中秀和 (北大), 奥住聡 (東工大)

惑星系が生まれる場所である原始惑星系円盤において、まず微惑星と呼ばれる彗星や小惑星のような大きさの天体が形成される。この微惑星が合体成長をくりかえし惑星が形成される。原始惑星系円盤中では乱流により生じる密度ゆらぎによる摂動で微惑星の軌道は乱されるため、微惑星間の相対速度が大きくなり、微惑星の衝突成長は乱流により影響を受ける。本研究では、乱流円盤中での微惑星の衝突合体による成長を、天体の質量進化とランダム速度進化を追う数値計算により調べた。乱流が強いほど微惑星間の相対速度が大きくなり、暴走成長の開始するサイズが大きくなる。暴走成長が始まる前は微惑星の質量分布は狭いので単一サイズ近似による解析も行い、乱流中での微惑星の相対速度を求め、この速度を用いて暴走成長を開始する天体サイズを乱流の強さの関数として導出した。この解はシミュレーションで得られた結果を非常によく再現できる。暴走成長を起こした後は、少数の原始惑星が作られる。この原始惑星は暴走成長を開始した天体と同程度のサイズの天体を集積して大きくなるため、暴走成長を開始する天体サイズが原始惑星の最終的な大きさや形成の時間スケールを決める。そのため、太陽系の形成時にどのような乱流分布が必要だったのか制約を与えた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P235a 弾性体ゴドノフ SPH 法と岩石のモデルを用いた微惑星衝突の数値計算

杉浦圭祐, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

固体惑星や月などの衛星は微惑星衝突を経て形成されたと考えられている。従って惑星の起源を詳しく理解するにあたって、小天体同士の衝突による破壊および合体の効果を詳細に理解することは極めて重要である。しかし小天体は km 以上のサイズを持つため、室内実験で衝突を再現することは不可能である。よって数値計算を用いて小天体の衝突破壊・合体の効果を評価する必要がある。

近年小天体の衝突計算が、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法という流体力学の数値計算方法を弾性体力学に応用することで行われている (e.g., Benz and Asphaug 1999)。先行研究では衝突計算を簡略な標準 SPH 法を用いて行っていた。しかしながらこの標準 SPH 法には、固体が引き伸ばされている領域で起きる tensile instability という非物理的な不安定性 (Swegle et al. 1995) や、計算精度が低く一般の粒子配置では空間 1 次精度以下であるという問題点が存在する。加えて、多くの衝突計算では応力や「ひび割れ」のモデルなどの岩石が持つ効果を考慮せず流体の方程式を用いているため (e.g., Genda et al. 2012)、その効果の影響も明らかになっていない。一方でゴドノフ SPH 法 (Inutsuka 2002) では流体の方程式に対してではあるが、離散化を精度よく行ったため空間 2 次精度を達成しており、また圧力の符号に応じて運動方程式に用いられている補間方法を適切に選ぶことで tensile instability を防ぐことができる (Sugiura and Inutsuka submitted to JCP, arXiv:1505.05230)。

そこで本研究では、まずゴドノフ SPH 法を弾性体力学に拡張して空間 2 次精度を達成し、弾性体力学の計算でも tensile instability を防ぐことができる方法を開発した。また岩石を記述する様々なモデルを導入し (e.g., Benz and Asphaug 1995, Jutzi 2014)、そのモデルの衝突計算への影響を調べる。今回は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](#)

P236a 巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造

小久保英一郎 (国立天文台)

惑星系形成の標準シナリオでは、地球型惑星形成の最終段階は原始惑星どうしの衝突 (巨大衝突) と考えられている。この段階では、系が力学的に安定になるまで、原始惑星は重力散乱で軌道を乱し合い、衝突合体して成長する。また、近年、視線速度法やトランジット法によって中心星近傍に多数の大型地球型惑星 (スーパーアース) が発見されているが、このような近接大型地球型惑星の形成の最終段階としても、原始惑星どうしの巨大衝突が提案されている。

巨大衝突によって形成される惑星系の最終的な軌道構造がどのように決まるかを明かにするために、巨大衝突段階の素過程を多体シミュレーションによって調べている。この過程で重要なのは、惑星の物理半径/ヒル半径の比である。ヒル半径は軌道長半径に比例するので、この比は軌道長半径に反比例する。すなわち、中心星近傍領域ほど、相対的に衝突が重力散乱よりも支配的になってくる (衝突断面積/重力散乱断面積の比が大きくなっている)。このため重力散乱による原始惑星の軌道離心率と軌道長半径の変化は小さく、巨大衝突による集積は局所的に進行する。結果、力学的に冷たくコンパクトで等質的な複数惑星系が形成される。このとき形成される惑星系の角運動量欠損 (同一平面円軌道の惑星系の角運動量との差で、系の乱れ具合の指標) には最小値が存在し、その値は物理半径/ヒル半径が小さいほど大きくなる。また、ヒル半径で規格化した隣接惑星軌道間隔は、角運動量欠損が大きいほど大きくなる。つまり、巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造 (軌道間隔と角運動量欠損) は物理半径/ヒル半径で決められる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P237a 系外惑星系の軌道構造の統計的性質

磯江麻里 (東京大学/国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台/東京大学), Edwin L. Turner (プリンストン大学/東京大学/国立天文台)

視線速度法で観測でされた 375 系 500 個の惑星と、ケプラー望遠鏡によって発見された複数惑星系の 365 系 899 惑星 (惑星候補天体含む) を用い、惑星系の軌道構造の惑星数や惑星系質量への依存性を統計的に明らかにすることで、惑星系形成・進化モデルへの新たな制限の可能性を探る。惑星系は、系の惑星数、中心星の質量で規格化した最大惑星質量、中心星の進化段階の 3 個のパラメータで分類し、それぞれの惑星系の構造を統計的に調べた。本研究では特に軌道離心率、隣接軌道間隔、惑星の質量分布に注目した。

その結果、系の角運動量欠損は惑星数の増加に伴い減少することがわかった。これは系内の惑星が多くなるほど、系が安定であるためにはそれぞれの惑星の軌道が円軌道に近くなければならぬことを意味する。また、KS 検定により、大質量惑星系と小質量惑星系の軌道離心率の分布は異なることがわかった。特に 0.5 より大きい軌道離心率は 1 惑星系または 2 惑星系かつ、大質量惑星系にのみ存在する。更に、主系列星周りの小質量惑星系では、惑星のヒル半径で規格化した軌道間隔が 15-30 の範囲で、惑星数に対して $\approx -1/2$ 乗の反相関性があることが確認された。また、軌道間隔には中心星の進化段階の依存性が見られ、主系列星周りの惑星系に比べ、巨星周りの惑星系で軌道間隔が狭くなる傾向がある。惑星系の質量分布を見ると、大質量惑星系に比べ、小質量惑星系はその惑星の質量が等分配される傾向がある。

講演では複数惑星系の軌道構造の統計的性質についてまとめ、その形成論的な意味について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P238a **SPICA で探るデブリ円盤の進化と太陽系の起源**

石原大助, 金田英宏, 小林浩, 犬塚修一郎, 近藤徹, 渡邊華 (名古屋大学), 尾中敬, 大坪貴文 (東京大学), 藤原英明 (国立天文台), 永山貴宏 (鹿児島大学)

デブリ円盤は、主系列星が持つダスト円盤である。円盤のダストは、主に、惑星の始原天体が衝突・合体を繰り返す過程で軌道に撒き散らされた物と考えられており、惑星系の成り立ちと惑星系を構成する物質に対して、重要な手掛かりを持つ。今日までに、IRAS や Spitzer 等の赤外線天文衛星により、数百のサンプルが得られ、最近の「あかり」全天サーベイに基づく探査と、すばる望遠鏡による追観測によって、存在する鉱物の多様性や惑星系形成後期の過程が明らかになってきた。一方、我々の太陽系にも、黄道光雲と呼ばれる淡いダスト円盤が存在し、「あかり」観測から、ダストの組成や空間分布の理解が進んでいる。ただし、既存のデブリ円盤のサンプルよりも 100 倍以上暗く、太陽系をデブリ円盤進化の枠組みで議論するには、このギャップを埋める淡い円盤のサンプルが必要である。

SPICA の中間赤外線観測装置 (SMI) は、波長 17–36 μm 帯の分光機能を有し、星にダスト円盤がある場合は赤外スペクトルの形状が光球からずれることを利用し、太陽系レベル相当の淡いダスト円盤までを探査する。また、炭酸塩・水氷・含水珪酸塩等、この波長域にフィーチャーを持つ、バイオマーカーとなる鉱物の研究も期待される。高いサーベイ効率によって、例えば系外銀河のサーベイの副産物として、~20,000 天体の主系列星サンプルが得られ、環境の異なる星団のサーベイも行うことで、惑星系の進化過程・構成する物質の、環境依存性の議論も可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P239a 赤外線天文衛星「あかり」を用いた遠赤外線全天観測によるデブリ円盤と中心星の年齢との関係の研究

小島拓也 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA)

デブリ円盤の進化過程の標準モデルである steady state model によれば、デブリ円盤のダスト量は中心星の年齢に反比例して減衰する。また、より中心星からの距離が遠いデブリ円盤ほど、ダストの消失するタイムスケールが長いと予測されている。そのため、中間・遠赤外線領域での様々な波長帯の観測を用いて、異なる位置に分布するデブリ円盤の時間依存性を調査することは、デブリ円盤の進化過程を知る上で重要である。これまで、A型星、24, 70 μm について、デブリ円盤と中心星の年齢との関係が調べられてきたが、他の星のスペクトル型、他の波長では調べられていない。

そこで、遠赤外線領域の 65, 90, 140, 160 μm の4バンドで全天サーベイを行なっている赤外線天文衛星「あかり」を用いて、デブリ円盤と中心星の年齢との関係について調査した。まず、Hipparcos 星カタログの星の位置に基づいて「あかり」天体との cross identification を取ったところ、Hipparcos 星カタログに収録されている主系列星の数約6万7千個に対して66個が「あかり」天体と同定され、そのうち36個がデブリ円盤と判断された。しかし、デブリ円盤の時間依存性を見るためには天体の数が足りない。そこで、個別には解析できないデブリ円盤に対して「あかり」全天画像のスタッキング解析を行ない、デブリ円盤と中心星の年齢との関係を調査する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P240a 惑星間塵における小惑星・彗星起源ダストの存在比

植田高啓 (東京工業大学), 小林浩 (名古屋大学), 竹内拓 (東京工業大学)

惑星間塵は小惑星同士の衝突や彗星の昇華などによって生成される。これらの塵 (ダスト) は、太陽光の吸収・再放射により徐々に角運動量を失い、太陽方向に落下していく (ポインティング・ロバートソン効果)。その結果、ダストは地球軌道付近に到達し、熱放射や太陽光散乱光により観測され、黄道光と呼ばれる。この軌道進化の様子は、ダストのサイズや密度といった物理的性質によって特徴付けられる。このようなダストの性質を調べることは、それらの母天体の性質を明らかにすると同時に、衝突破壊や彗星の昇華といったダスト生成素過程の解明に繋がると考えられる。

本研究では、小惑星および彗星起源のダストに着目し、ダストサイズをパラメータとして、太陽・地球・ダストの制限三体問題の三次元軌道計算を行い、ダストが作る空間密度非対称性とサイズの関係性を調べた。小惑星および彗星起源ダストの初期条件についてはそれぞれ、メインベルト小惑星と木星族彗星を母天体と仮定して乱数的に生成した。軌道計算の結果と観測から得られた空間非対称性を比較したところ、小惑星起源であれば $\sim 3\mu\text{m}$ 以下、彗星起源であれば少なくとも $\sim 30\mu\text{m}$ 以下のダストが観測結果を再現できうことがわかった。先行研究によると、黄道光の熱放射には $30 - 90\mu\text{m}$ 程度のダストが最も寄与していると推測されているため、今回の結果から黄道光ダストの主成分は彗星起源であると推測される。本発表では、これらの軌道計算の結果について述べ、観測結果を再現するための小惑星・彗星起源ダストの存在比について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P241a 原始太陽系星雲での同位体均質化イベントの可能性

竹石陽, 中本泰史 (東京工業大学)

これまでの分析から、地球・火星・月・隕石などの固体物質を構成する元素の同位体比は、互いにほぼ均質であることが分かっている。一方、分子雲コア内のダストは複数の起源を持つので、それらの同位体比は互いに異なると推定される。よって、分子雲コアから太陽系惑星が形成されるの過程のどこかで、全てのダストの同位体比が均質になるために蒸発・再凝縮を経験したことが考えられる。

本研究の目的は、そのような高温プロセスが太陽系形成の過程で起こり得るかを明らかにすることである。そのために、分子雲コアの崩壊から原始太陽系星雲の形成・進化を数値計算し、温度を調べた。分子雲コアの崩壊は、各流体粒子が持つ角運動量が保存しながら進むとしてモデル化する。この過程は、分子雲コアの初期回転角速度 (ω_0) で特徴付けられる。原始太陽系星雲内のダストの動きは、ガスと共に動く移流と、ガス乱流により駆動される乱流拡散がある。この過程は、乱流粘性の強さを表す無次元パラメータ (α) で特徴付けられる。以上のようなモデルと使い、さまざまなパラメータに対し、分子雲コア崩壊後 3Myr までを計算した。

原始太陽系星雲の温度は一般に、中心星に近いほど高い。その結果、分子雲コアの初期回転角速度 (ω_0) が小さく、形成される原始太陽系星雲の半径が小さい場合は、全てのダストが蒸発・再凝縮という同位体比均質化プロセスを経験することがわかった。すなわち、太陽系形成の過程で全てのダストの同位体比が均質となることがあり得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](#)

P242a 高温の周惑星円盤における衛星移動と平均運動共鳴への捕獲について

藤井悠里 (ニールスボーア研究所), 小林浩 (名古屋大学), 高橋実道 (東北大学)

巨大ガス惑星が形成される際には、その惑星の周りに周惑星円盤と呼ばれるガス円盤が形成されることか知られている。ガリレオ衛星に代表される規則衛星は中心惑星の赤道面上を公転していることから周惑星円盤内で形成されたと考えられており、周惑星円盤の構造や進化は衛星系の起源を知る鍵となる。また、ガリレオ衛星の内側の3つは1:2:4の平均運動共鳴軌道に入っていることが知られている。

中心惑星の形成期には、原始惑星系円盤からの質量流入により周惑星円盤にガスが供給され続ける。従来のモデルでは、ガスの粘性降着が十分であり周惑星円盤の面密度が小さく保たれると想定されてきた。しかし、これまでの研究により周惑星円盤では磁気回転不安定性による角運動量輸送が期待できないことが示唆されたため、その面密度は比較的大きくなることか予想される。面密度の大きな円盤は粘性係数が小さい場合でも簡単に高温になってしまうため、タストが溶けることによりガスのオハシティが変化し、円盤の構造が変化する。

本研究では、周惑星円盤の粘性係数をパラメータにとり、質量流入がある場合の円盤の面密度と温度構造をモデル化した。そして、 $T \gtrsim 2000\text{K}$ におけるガスのオハシティの変化によって作られる構造によって Type I 移動で内側に移動してきた衛星が中心惑星に落下せずに留まることかできることを発見した。また、新たに外側から移動してきた衛星をこの衛星の平均運動共鳴に捕獲することも可能であることが分かった。これらの衛星が最終的に衛星として生き残れるかどうかは周惑星円盤の進化に強く依存するが、粘性時間スケールの見積もりからは、ガスが散逸しても衛星は中心惑星には落下せずに留ま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](#)

P243a 集積期の原始巨大ガス惑星からの水素輝線放射 LkCa 15b への示唆

青山雄彦, 生駒大洋 (東京大学), 谷川享行 (産業医科大学)

若い恒星は周囲にガス円盤（原始惑星系円盤）を伴うことが知られており、そこが惑星形成の現場であると考えられている。実際に、若い恒星 LkCa 15 周りには原始惑星系円盤が存在し、赤外放射観測から複数の原始惑星の存在が確認されている。最近、その一つである原始巨大ガス惑星 LkCa 15b から強力な $H\alpha$ 線放射が検出された (Sallum et al. 2015)。これは、現在も LkCa 15b に原始惑星系円盤からガス流入が続いていることを示唆している。しかし、集積中の原始ガス惑星からの水素輝線の発生機構および発生量については理解されていない。本研究は、原始巨大ガス惑星に流入する高温ガスからの放射量を定量化することを目的とする。原始巨大ガス惑星に流入するガスに対する流体計算によれば、原始巨大ガス惑星の周囲には小円盤が形成されることが知られている。さらに、最近の流体計算によれば、その小円盤から原始惑星系円盤へのガス流入は鉛直方向に起こり、小円盤上面では強力な衝撃波が発生することが分かっている (Tanigawa et al. 2012)。そこで我々は、化学反応と電子準位遷移を考慮した 1 次元放射流体計算を行い、衝撃波後方のガスの冷却過程を数値シミュレーションし、水素輝線放射の強度を計算した。結果として、原始惑星まわりの円盤の上面から、 $Ly\alpha$ 線や $H\alpha$ 線が強く放射される場合があり、その強度は原始惑星系円盤のガス密度に比例し、また原始惑星の質量の 2 乗に比例することが分かった。この結果を LkCa 15b に適用し観測結果と比較し、観測された $H\alpha$ 量と整合的な惑星質量および原始惑星系円盤のガス密度に制約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](#)

P244a 巨大ガス惑星内部の二重拡散対流が熱進化に及ぼす影響の再評価

黒川宏之 (東京工業大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

従来、巨大ガス惑星の内部は温度勾配によって対流不安定が生じ、大スケールの オーバーターン型対流が発達していると考えられてきた。しかしながら、温度勾配と同時に、不安定を抑制するような組成勾配が存在する場合、熱と組成の拡散による不安定性の結果、小スケールの対流層と拡散層が連なる層状二重拡散対流が発達する可能性がある。巨大ガス惑星の内部で層対流が発達していた場合、熱輸送が非効率となり惑星の熱進化は遅くなることが期待される。先行研究では、重元素存在度勾配に起因する層対流を仮定した熱進化計算により、異常膨張したホット・ジュピターのサイズの問題と、明るすぎる土星の光度の問題という、巨大ガス惑星の熱進化に関する二大問題が解決可能であることが示された [1,2]。そこで本研究では、層対流をあらかじめ仮定することなく、線形安定性解析に基づいた対流様式の判定を組み込んだ巨大ガス惑星の熱進化計算を行い、層対流の実現可能性とその影響についての再評価を行った。その結果、惑星形成から約1億年間は、層対流ではなくオーバーターン型対流が発達することがわかった。結果として、重元素存在度の不均質がホット・ジュピターを膨張させる効果は限定的であることがわかった [3]。一方で、惑星形成から約1億年以降では惑星の冷却に伴い、層対流が発達しうる。講演では、この惑星の熱進化後期における層対流が土星の光度の問題を解決しうるかを議論する。

- [1] Chabrier, G. & Baraffe, I. 2007. ApJL. 661. L81. [2] Leconte, J. & Chabrier, G. 2012. A&A. 540. A20.
[3] Kurokawa, H. & Inutsuka, S. in press. ApJ. arXiv: 1511.03063.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P245a 大気中の氷成分凝縮がもたらす巨大氷惑星の熱進化時間の短縮効果

黒崎健二（東京大学），生駒大洋（東京大学）

天王星と海王星は同程度の質量・半径を持つが，それらの熱放射強度は互いに大幅に異なっている．天王星の熱放射強度は，海王星に比べて一桁以上小さいことが知られている (Hubbard et al.1995)．惑星形成論によると，形成直後の惑星内部は現在に比べて非常に高温である．そうした高温状態から巨大氷惑星の熱進化を追った先行研究 (Fortney et al. 2011; Nettelmann et al. 2013) の結果は，海王星の現在の熱放射強度と整合的であるが，天王星の弱い熱放射強度と整合的でない．

これまでの巨大氷惑星の熱進化計算では，大気中に凝縮成分の存在を考慮せず，常に乾燥した大気を仮定してきた．そこで本講演では，大気中での氷成分凝縮を考慮した巨大氷惑星の熱進化モデルを構築した．惑星大気中において氷成分が凝縮すると，潜熱の解放により上層大気が高温に維持され，惑星放射が大きくなる．その結果，凝縮の効果を無視した場合と比較して，惑星の熱進化が早くなることがわかった．結果として，現在の天王星の熱放射強度が低いという問題を解決できる可能性が確認できた．このことは，天王星と海王星の熱進化および形成過程の違い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](#)

P246a **ホットネプチューン GJ 436b における大気散逸現象**

田中佑希 (名古屋大学), V. Bourrier, D. Ehrenreich (ジュネーブ大学), A. Lecavelier des Etangs (パリ天文台), A. A. Vidotto (ジュネーブ大学)

系外惑星の中には中心星に非常に近接した軌道を持つものが多数存在しており、このような高温の惑星からは、大量の大気散逸が発生することが示されている。特に高温の巨大ガス惑星であるホットジュピターの紫外線領域でのトランジット観測からは、質量放出率や散逸する大気の色や組成などの性質が明らかになりつつあり、また理論的な研究も活発に行われている。

最近では、海王星程度の質量と半径を持つ中心星近傍の惑星、いわゆるホットネプチューン GJ 436b からの大気散逸現象も明らかになった (Kulow et al. 2014, Ehrenreich et al. 2015)。GJ 436b は紫外線領域で可視光での観測と比べて遥かに深いトランジットを起こし、またトランジット継続時間も非常に長い。これらの特徴から、この惑星は散逸する大気による巨大な彗星の尾状の外気圏を持つ事が示唆されている (Ehrenreich et al. 2015)。

ガス惑星からの大気散逸を駆動する機構としては、中心星からの X 線や極端紫外線による加熱 (XUV 加熱) が提案されている。一方で GJ 436b の観測的特徴を説明するためには、散逸する大気は惑星のヒル半径で ~ 30 km/s に達している必要があるが、既存の XUV 加熱等の機構ではこの速度を説明することが困難であることも示されている (Bourrier et al. 2015)。そこで、我々は GJ 436b における磁気流体波駆動による質量放出と散逸する大気の加速 (Tanaka et al. 2014) の可能性について、磁気流体力学シミュレーションを用いて検討した。その結果、GJ 436b からの質量放出率とヒル半径での速度の両方を説明することが出来るパラメータが存在することが判明した。本講演では、その結果の詳細についての報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P247a 系外惑星の雲モデル開発：地球と木星の雲観測との比較

大野和正, 奥住聡 (東京工業大学)

近年、大気分子の吸収線が読みとれない平坦なスペクトルをもつ系外惑星が発見されており (e.g., Kreidberg et al. 2014)。この原因として惑星大気に存在する光学的に厚い雲がトランジット光を遮っている可能性が挙げられている。近年では大気モデルと雲モデルを組み合わせたフィッティングも行われているが、従来の雲モデルは粒子同士の衝突併合や落下の物理過程を未考慮、もしくはパラメーターで与えている。そのため、モデルのような雲が現実的に形成されるか判断することは難しい。

我々は、粒子の凝縮・衝突・落下の物理過程を素過程に基づいて考慮することで、大気物理量 (ガス混合率、大気上昇速度、凝結核数密度) から雲の鉛直構造を推定する雲モデルを開発してきた (天文学会 2015 年秋季年会)。今回は、本モデルの妥当性を検証するため、地球の水雲と木星のアンモニア雲へのモデル適用結果と観測の比較を行った。地球の水雲へのテスト計算では、衛星観測によって得られた平均的な光学的厚み $1 \sim 10$ という値を、地球の典型的な大気物理量から再現することに成功した。また、木星のアンモニア雲では大気上昇速度 3.0 m/s 、凝結核数密度 $10^4 \sim 10^5 \text{ m}^{-3}$ を仮定した場合に、観測されたアンモニア雲の平均粒径、光学的厚み、幾何学的厚みを同時に再現することが分かった。上昇速度 3.0 m/s はより詳細な木星雲対流計算の結果と整合的であり、また凝結核数密度 $10^4 \sim 10^5 \text{ m}^{-3}$ はガリレオプローブによる観測値から説明可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P248a 地球型惑星の溶融時間と放射スペクトルの時間進化

濱野景子，河原創，阿部豊（東京大学），大西将徳（神戸大学），はしもとじょーじ（岡山大学）

惑星形成論によれば，地球型惑星は巨大衝突を経て形成し，形成直後は全球的にマグマに覆われていたと推測される．岩石の融点を超える高温の地表からは，赤外だけでなく，近赤外可視領域からも強い熱放射が射出される．これが惑星の大気によって完全に吸収・散乱されずに十分残る場合，系外惑星系の直接撮像によって将来的に観測されうる．

惑星が固化する間には，地表温度だけでなく，大気量も内部からの脱ガスと宇宙空間への散逸によって大きく変化する．大気による温室効果は，惑星外への熱放射スペクトルを弱める効果と溶融期間を長くする効果をもつ．本発表では，水蒸気大気-マグマオーシャンの進化に伴う放射スペクトルモデルにライン-バイ-ラインの放射計算を組み込んだ．そして，水蒸気大気をもつ地球サイズの地球型惑星について，固化に伴う熱放射スペクトルの時間変化と溶融状態の継続時間とを，主星からの軌道距離ごとに調べた．

放射スペクトルの時間進化と継続時間は，主星からの軌道距離に強く依存することがわかった．特にハビタブルゾーンよりも主星に近い軌道では，近赤外の窓領域からの強い放射が固化の期間中維持される．また，惑星が溶融していらる期間は，軌道距離と初期の惑星の水量に依存する．これは軌道ごとの溶融した惑星の観測頻度から，地球型惑星が形成時に獲得する水量を制約できる可能性を示唆する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Q. 星間現象】

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [I会場]

Q01a	09:30	銀河リッジ X 線放射の中性鉄輝線における宇宙線の寄与 信川久実子(京都大学)
Q02a	09:42	銀河中心拡散 X 線放射における局所的な Ni 組成量の過剰 信川正順(奈良教育大学)
Q03c		MAXI/SSC による銀河中心周辺の拡散 X 線放射の観測 中平聡志(宇宙航空研究開発機構)
Q04a	09:54	Investigation of the effect of magnetic diffusion on the Fermi Bubbles by 3D MHD simulation Coudry,Sabrina (Astronomical Institute, Tohoku Univ.)
Q05a	10:06	ジェットによる非一様な星間空間へのフィードバックの磁気流体シミュレーション 朝比奈雄太(国立天文台)
Q06a	10:18	シンクロトロン放射による輻射反作用を考慮した相対論的衝撃波中での粒子加速シミュレーション 野上雅弘(青山学院大学)
Q07a	10:30	非等方な密度揺らぎを持つプラズマ中でのワイベル不安定性の Particle In Cell シミュレーション 富田沙羅(青山学院大学)
Q08a	10:42	部分電離プラズマ中の無衝突垂直衝撃波での粒子加速機構 大平豊(青山学院大学)
Q09a	10:54	特異な構造を持つ Mixed-Morphology 型超新星残骸 G166.0+4.3 のすざく衛星による観測 松村英晃(京都大学)
Q10a	11:06	Cygnus Loop 衝撃波プリカーサーの H α 高分散分光・空間分離観測 勝田哲(宇宙航空研究開発機構)
Q11a	11:18	CO, HCO ⁺ 回転遷移輝線による SNR W44 超高速成分の観測的研究 山田真也(慶應義塾大学)

3月15日(火) 午後(13:30-15:45) [I会場]

Q12a	13:30	分子雲衝突によるコア形成と HII 領域の進化 島和宏(北海道大学)
Q13a	13:42	FUGIN: W51 領域における CO multi-line 解析 藤田真司(筑波大学)
Q14a	13:54	巨大星団 RCW 38 における O 型星のフィードバックと分子雲との相互作用 鳥居和史(名古屋大学)
Q15a	14:06	NANTEN2 望遠鏡による CO 2-1 の観測成果 大浜晶生(名古屋大学)
Q16b	14:18	NANTEN2 望遠鏡によるコンパクト HII 領域の CO 輝線観測 河野樹人(名古屋大学)
Q17b	14:18	フィラメント状分子雲 Lupus I における分子ガスの性質と磁場構造 望月沙也可(名古屋大学)
Q18b	14:18	銀河系中心領域分子雲の物理状態推定 田中邦彦(慶應義塾大学)
Q19a	14:30	銀河系中心 50km/s 分子雲のフィラメント状構造 上原顕太(東京大学)
Q20a	14:42	銀河系中心領域の磁気活動による高速度分散領域形成メカニズムの解明 柿内健佑(名古屋大学)
Q21a	14:54	ミラ型変光星を用いた銀河系中心の磁場構造の解析 善光哲哉(京都大学)
Q22a	15:06	全天にわたる中間速度 HI 雲の解析 I 古賀真沙子(名古屋大学)
Q23a	15:18	Helically moving HI cloud found in the outer Galactic disk 中西裕之(鹿児島大学)
Q24b	15:30	中性水素ガス構造と星間磁場の強い相関の物理的理由 井上剛志(国立天文台)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

3月16日(水) 午前(09:30-11:18) [I会場]

Q25a	09:30	RadioAstron 観測で検出された宇宙で最も輝度温度の高い水メーザー 今井裕 (鹿児島大学)
Q26a	09:42	AKARI による遠赤外高詳細全天ダストマップ 土井靖生 (東京大学)
Q27a	09:54	AKARI FIS 全天地図による SDSS 銀河のスタック解析 岡部泰三 (東京大学)
Q28a	10:06	The origin of the 22 μm broad feature and its association with the molecular clouds of the Great Nebula in Carina. Wu, Ronin (Department of Astronomy, the Univ. of Tokyo)
Q29a	10:18	An Investigation of Possible Electric Dipole Emission from Interstellar PAHs and/or Dust Grains, using AKARI Bell, Aaron (Univ. of Tokyo)
Q30c		イオン化したフラレーン (C60+) を起源に持つ DIB のモニター分光観測 三澤透 (信州大学)
Q31a	10:30	チャープ・フーリエ変換型マイクロ波分光計の開発 小林かおり (富山大学)
Q32a	10:42	マイクロ波分光によるギ酸メチル同位体 ($\text{HCOO}^{13}\text{CH}_3$) のねじれ振動第二励起状態のマイクロ波分光 桑原拓郎 (富山大学)
Q33a	10:54	低質量星形成領域 L1527 における炭素鎖分子 HC_3N の同位体比測定 荒木光典 (東京理科大学)
Q34b	11:06	^{13}C Isotopic Fractionation of HC_3N toward L1527 Taniguchi, Kotomi (総合研究大学院大学/国立天文台)
Q35b	11:06	遠赤外線観測で探る星間ガスの加熱効率 中川貴雄 (宇宙航空研究開発機構)
Q36c		韓国 STSAT-3 衛星搭載の赤外線カメラ MIRIS を用いた銀河拡散光の観測 大西陽介 (東京工業大学)

Q01a 銀河リッジ X 線放射の中性鉄輝線における宇宙線の寄与

信川久実子 (京都大学), 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川正順 (奈良教育大学), 鶴剛, 小山勝二 (京都大学), 鳥居和史, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河系には、個々の天体に分解できない X 線放射が存在している (銀河リッジ X 線放射)。その最大の特徴は、それぞれ中性鉄 (6.4 keV)、He 状鉄 (6.7 keV)、H 状鉄 (7.0 keV) からの鉄輝線である。チャンドラによる $(l, b) = (0^\circ.0, -1^\circ.4)$ の観測により、鉄輝線放射の約 80% が点源に分解され、主成分はフレア星 (AB) や白色矮星連星系 (CV) の暗い点源であることが示唆された (Revnivtsev et al. 2009, Nature, 458, 1142)。しかし、これまでの銀河リッジ X 線放射の議論の多くは、6.4 keV と 6.7 keV の鉄輝線を分離しないまま行われてきた。

我々はすざくによる観測で、6.4 keV と 6.7 keV を分離して銀緯方向の強度分布を求めた。その結果、銀河面における 6.4 keV のスケールハイトは、6.7 keV よりも小さいことを発見した。これは 6.4 keV の起源が、6.7 keV とは異なることを示している。6.4 keV のスケールハイトは CV や他の点源よりも小さく、むしろ分子雲の分布とよく似ていた。また、輝線等価幅を求めると、CV や AB 等点源の重ね合わせで 6.7 keV は説明できても、6.4 keV は説明できない (点源だけでは足りない)。これらの観測的事実は、6.4 keV 輝線放射は分子雲に起因することを示唆する。

銀経方向の強度分布を調べると、銀経+3 度および-20 度付近には特に 6.4 keV 輝線が強い領域があり、濃い分子雲が対応している。我々はこれまでの解析で、これら領域の 6.4 keV 輝線が、分子雲に低エネルギー宇宙線 (MeV 陽子) が衝突して放射された可能性が高いという結果を得た (2014 年秋季年会、2015 年春季年会)。本講演では、銀河面全体で 6.4 keV 放射における宇宙線の寄与を議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a 銀河中心拡散 X 線放射における局所的な Ni 組成量の過剰

信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (京都大学), 小山勝二 (大阪大学, 京都大学)

銀河中心領域には点源に分解できない X 線放射が広がっている。これを Galactic center X-ray Emission (GCXE) と呼ぶ。GCXE は $E \sim 6.7$ keV の鉄輝線を持ち、これにより主成分は高温プラズマであると考えられている。すざく衛星の観測により、He-like ($E = 6.68$ keV)、H-like ($E = 6.97$ keV) の鉄輝線の強度から、プラズマ温度 $kT = 7$ keV と測定した (Koyama et al. 2007, PASJ, 59, S245; Nobukawa et al. 2010, PASJ, 62, 423; Uchiyama et al. 2013, PASJ, 65, 19)。鉄の組成量は銀河中心の観測領域によらず、 $Z_{\text{Fe}} = 1.1\text{--}1.3$ solar であった。一方、ニッケルの組成量は、上記観測の測定値はそれぞれ $Z_{\text{Ni}} = 2.1_{-0.5}^{+0.7}$ 、 1.6 ± 0.4 、 2.4 ± 0.3 solar であり、鉄に比べて 1.5–2 倍程度大きい。誤差は大きいですが、わずかに場所毎の違いが見られる。

そこで、本研究では GDXE におけるニッケル輝線 (He-like: $E = 7.8$ keV、H-like: $E = 8.2$ keV) に着目し、調査を行った。その結果、 $(l, b) = (-1.^{\circ}0, -0.^{\circ}2)$ の領域において、ニッケル輝線のエネルギーバンド (7.6–8.0 keV) で放射が強い弧状領域を発見した。さらに、この領域と反相関するするように鉄輝線が強い領域が接していることも分かった。これらの領域からスペクトルを抽出したところ、 $E = 7.82 \pm 0.01$ keV と $E = 8.16 \pm 0.03$ keV に有意度 5.6、2.9 σ 輝線を検出した。このエネルギーはそれぞれ He-like、H-like のニッケル輝線に一致する。この放射が GDXE だとすると、ニッケル/鉄の組成比は 5.2 ± 2.2 倍であった。一方、この領域には電波で超新星残骸 Sgr D SNR が存在する。超新星残骸の熱的プラズマだと考え、周囲からのバックグラウンドを評価した場合は、ニッケル/鉄の組成比が 66 ± 30 倍にもなる。本講演では解析の詳細と、ニッケル輝線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](#)

Q03c MAXI/SSCによる銀河中心周辺の拡散 X 線放射の観測

中平聡志 (JAXA), 常深博, 今谷律子, 正村陸 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA)

ROSAT 衛星によって取得された軟 X 線全天マップでは様々な拡散 X 線源が見られ、特に銀河中心の周辺には見かけ上半径 ~ 60 度の広い領域に渡って 1.5 keV 以下で輝く巨大構造が見つかった。これに相当するような構造は様々な波長で見つかっており、電波 (North Polar Spur, Loop I, II...), マイクロ波 (WMAP Haze), ガンマ線 (Fermi Bubble) が知られている。それらの空間的な分布は正確には一致しておらず、各波長で見られる構造に関連性があるのか、そもそもその起源 (銀河中心ブラックホールの活動, 地球に近い超新星残骸等諸説ある) は何かについて今のところ明らかになっていない。

全天 X 線監視装置 (MAXI) に搭載された CCD を用いた観測装置 SSC (Solid-State slit Camera) は、ROSAT よりも高いエネルギー分解能を持ち、「すざく」衛星をはじめとする X 線望遠鏡と比較すると大きな $S\Omega$ を持つため、ROSAT と「すざく」の観測の合間を埋める役割を果たす事が期待できる。本研究では 2013 年春季年会における木村らの報告 (Q13a) 以降に、データ選択条件や応答関数を改善しバックグラウンドのモデル化を詳細化することで、より正確な非 X 線バックグラウンドの見積もりを実現した。得られた 0.6-1.0 keV マップでは ROSAT の 3/4 keV マップで見られた構造を再現することができた。銀河中心南北の巨大拡散構造のエネルギースペクトルは片岡ら (ApJ, 807, 77) によって既に示された様に広い領域においてプラズマ温度 ~ 0.3 keV の衝突電離平衡モデルで再現でき、今回北側の領域だけで Ne と Mg の中性輝線が検出された。本講演では SSC の観測で得られた較正済み全天画像、各構造の積算スペクトル、銀河中心方向の拡散 X 線のエミッションメジャー分布を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04a **Investigation of the effect of magnetic diffusion on the Fermi Bubbles by 3D MHD simulation**

Sabrina Coudry, Makoto Hattori (Astronomical Institute, Tohoku University)

The Fermi Bubbles (FB) are two giant gamma-ray structures extending to $\sim 50^\circ$ in the Galactic latitude, above and below the Galactic center (GC), with a width of $\sim 40^\circ$ in the Galactic longitude. They are spatially correlated with the 23 GHz microwave emission measured by WMAP & Planck satellite, share edges with X-rays emission at 1.5 keV measured by the ROSAT telescope, and are also associated with two giant radio polarized lobes 2.3 GHz discovered by S-PASS survey. To investigate the FB, we developed a 3D MHD simulation code, implementing CRs dynamically coupled with the Dark Matter (DM) halo gas and the Galactic magnetic field. The MHD equations are solved using a 2nd order in space based on MUSCL reconstruction & HLL Riemann solvers scheme, and a 2nd order Runge-Kutta time integration. The divergence free condition is ensured with the divergence cleaning method. The magnetic field has been defined with a large scale component and a small scale component (random tangled field). The CR advection source term is updated explicitly and the CRs anisotropic diffusion source term is updated using the centered asymmetric difference scheme. As initial condition, the gaseous halo is in hydrostatic equilibrium in a fixed Galactic potential, and we add some CRs event (jet or wind) at the GC. Radiative source term will be implemented soon in our MHD equations. We will then investigate the effect of the magnetic diffusion on the multi-wavelengths features of the FB.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q05a ジェットによる非一様な星間空間へのフィードバックの磁気流体シミュレーション

朝比奈雄太, 大須賀健 (国立天文台)

活動銀河核等から噴出するジェットは中心天体近傍で開放された重力エネルギーを周囲の星間ガスと相互作用しながら遠方まで伝える。このようなフィードバックの結果の1つとして、中心ブラックホールの質量と銀河バルジの速度分散の相関関係 (マゴリアン関係) が生じた可能性が指摘されている。我々はジェットによる星間空間へのフィードバックへの磁場の影響の詳細を調べるために、非一様に分布する星間ガスとジェット相互作用の3次元磁気流体シミュレーションを実施した。初期に 10^7 K の高温な星間ガスと 10^4 K 程度の温かい星間ガスが圧力平衡で接することを仮定した。磁場はジェット軸方向に一様であるとし、そこに境界から高温な超音速ジェットを注入した。本発表ではジェットの星間空間へのフィードバックの磁場への依存性を調べるために、初期磁場強度を変化させた結果について報告する。

ジェットは非一様な星間空間中を枝分かれしながら伝播し、周囲の星間ガスを加速させる。加速された星間ガスの動径方向の速度が銀河バルジの速度分散に対応していると考えられる。磁場が存在する場合にはジェットの動圧だけでなく、磁場を通してジェットから星間ガスへエネルギーが伝達されるため、磁場が強いほど温かいガスの動径速度は大きくなった。このように強い磁場が存在する場合には、磁場はジェットから星間ガスへのエネルギー伝達の効率を上げる要因の1つになっ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](#)

Q06a シンクロトロン放射による輻射反作用を考慮した相対論的衝撃波中での
粒子加速シミュレーション

野上雅弘, 大平豊

衝撃波加速によって加速された電子から放射されるシンクロトロン光子の最高エネルギーは、加速時間 T_{acc} とシンクロトロン放射による冷却時間 T_{cool} の釣り合いから 160MeV 程度になると期待されている。しかし衝撃波による粒子加速を考える場合、加速領域と冷却領域が異なる可能性があるため、160MeV という値が本当に実現されるのか？それより大きな、または小さなシンクロトロン光子の最高エネルギーになるのかわかっていない。相対論的衝撃波では衝撃波面のごく近傍で荷電粒子がジャイロ運動をすることにより加速を行う。シンクロトロン放射による冷却が効く最高エネルギー付近の電子の場合、輻射反作用が粒子の運動に大きく寄与する。

本講演では、相対論的衝撃波による粒子加速を加速機構としたときのシンクロトロン光子の最高エネルギーを正確に調べるために、シンクロトロン放射の反作用を考慮した電子の運動方程式を数値的に解いた結果を報告する。数値計算で得られた相対論的衝撃波中で加速する電子の最高エネルギーやシンクロトロン放射の最高エネルギー、加速時間が磁場の揺らぎの強度や衝撃波速度を変えた場合にどうなるのかを発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 非等方な密度揺らぎを持つプラズマ中でのワイベル不安定性の Particle In Cell シミュレーション

富田沙羅 (青山学院大学)

ガンマ線バーストの残光の観測によると、相対論的衝撃波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ことが示唆されている。ワイベル不安定性は、磁化されていない相対論的無衝突衝撃波での磁場生成において重要であると考えられている。一様プラズマまたは一様プラズマ中を伝播する衝撃波の Particle In Cell シミュレーションによると、ワイベル不安定性による磁場は大きく成長するがすぐに減衰してしまう。つまりワイベル不安定性では、観測から期待されるような広い放射領域での磁場の増幅を説明できないことになる。

現実の星間物質や星周物質では、密度揺らぎが存在するはずである。衝撃波下流では、それが圧縮されるため非等方な密度揺らぎが期待できる。そこで本研究は、非等方な密度揺らぎを持つ背景プラズマ中での、ワイベル不安定性の非線形発展を調べるために、2次元 Particle In Cell シミュレーションを行った。

その結果、ワイベル不安定性による磁場は先行研究の結果よりも、長時間維持できることがわかった。これは、空間的に非等方な密度構造が、非等方な速度分布を作り出すことで、2度にわたり磁場の揺らぎがワイベル不安定性によって励起されたためである。また、密度揺らぎの空間スケールをより大きくすると、より長時間磁場を維持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](#)

Q08a 部分電離プラズマ中の無衝突垂直衝撃波での粒子加速機構

大平豊 (青山学院大学)

銀河宇宙線は超新星残骸の無衝突衝撃波で加速されていると期待されている。実際に、超新星残骸の衝撃波近傍から加速された相対論的電子や陽子からの X 線やガンマ線が観測されている。しかし、どのように宇宙線が加速されるのか、無衝突衝撃波の構造がどうなっているのかは未解明である。

これまでのほとんどの先行研究は、星間ガスを完全電離プラズマと仮定していた。しかし、星間ガスは一般に部分電離状態である。実際にいくつかの超新星残骸からは、水素原子が放射する H γ 輝線も観測されたり、分子雲と衝突している証拠が観測されたりしている。

本講演では、部分電離プラズマ中の無衝突垂直衝撃波とそこでの宇宙線加速を調べるために行った、電離過程を考慮した3次元ハイブリッド粒子シミュレーションの結果について報告する。水素原子の電離過程と、陽子と水素原子の運動方程式、低振動数極限をとったマクスウェル方程式を同時に計算する。完全電離プラズマ中の無衝突垂直衝撃波は、粒子加速の時間スケールが短くなると期待される反面、粒子加速への注入は困難と考えられている。これが部分電離プラズマ中だとどう変わるか報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09a **特異な構造を持つ Mixed-Morphology 型超新星残骸 G166.0+4.3 のすざく衛星による観測**

松村英晃, 鶴剛, 内田裕之, 田中孝明, 信川久実子, 鷲野遼作 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学)

G166.0+4.3 は1973年に可視光観測によって発見された超新星残骸であり、可視光の他にも、電波・X線・ガンマ線と多波長で観測されている。Burrows & Guo (1994, ApJ, 421, L19) の ROSAT 衛星での観測結果から、電波でシェル状、X線では中心集中した構造を持つ Mixed-Morphology (MM) 型であることが知られている。また、このシェルは北東は典型的な球状、北西から南西にかけては大きく広がったウィング状であり、極めて特異な構造を持つ。この構造の違いは G166.0+4.3 を取り巻く星周物質環境の違いが原因であると考えられ、場所ごとに異なったプラズマモデルが期待できる。

ASCA、XMM-Newton による観測から、X線は電子温度 0.6–0.8 keV の熱的プラズマからの放射であることが分かった (e.g., Bocchino et al., 2009, A&A, 498, 139)。しかし、それぞれの有効観測時間は、わずか 20 ks および 5 ks であったため、プラズマ電離状態と元素組成量の空間分布について有意な制限は得られていなかった。

そこで、我々はすざく衛星を用いて G166.0+4.3 の計 230 ks におよぶ観測を行った。近傍の観測データを用いてバックグラウンドを詳細に評価し、より高い精度でプラズマの電離状態や元素組成量を評価した。その結果、各場所でプラズマ電離状態が有意に異なることを発見し、特に北東の領域では電子温度に比べて電離が進んでいる過電離状態にある兆候を得た。本講演では解析の詳細を報告し、G166.0+4.3 の特異な構造の起源を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10a **Cygnus Loop 衝撃波プリカーサーの $H\alpha$ 高分散分光・空間分離観測**

勝田 哲 (宇宙研), 前田啓一 (京都大), 谷津陽一 (東工大), 森 浩二 (宮崎大), 青木和光, 田中雅臣 (国立天文台), 森鼻久美子 (兵庫県立大)

一部の超新星残骸では、衝撃波をトレースするフィラメント構造 “nonradiative filament” が見られる。そこからの輝線は、異なる幅の2成分(以上)から成る。幅の狭い成分は、衝撃波を素通りした中性粒子に起因し、幅の広い成分は、衝撃波加熱された陽子が中性粒子と電荷交換反応する際に放射されると考えられている。興味深いことに、狭輝線の幅(温度)は $\text{FWHM} \sim 30\text{--}50 \text{ km s}^{-1}$ (20,000–50,000 K) と、星間空間で期待される中性粒子の速度幅 $\sim 10 \text{ km s}^{-1}$ より太い。これは、中性粒子が、衝撃波前面で加熱されたことを示唆している。その加熱源として、衝撃波下流から上流にしみ出した宇宙線・高温水素(加熱された陽子が電荷交換反応した結果)や、下流からの光照射・熱伝導など、様々な説が検討されてきたが、未だ結論は得られていない。

Cygnus Loop は、nonradiative filament を伴う最近傍(距離 $\sim 500 \text{ pc}$)の超新星残骸であり、衝撃波の詳細構造を研究する絶好のターゲットである。我々は、ハッブル宇宙望遠鏡のアーカイブデータから、nonradiative filament 前方に、非常に淡い拡散放射(プリカーサー)が存在することに気づいた。そこで、その素性を探るため、「すばる」望遠鏡 HDS による $H\alpha$ long-slit 分光観測を実施した。スリット長軸を衝撃波面に垂直にとることで、プリカーサー中の物理量の空間変化を衝撃波面からの距離の関数として導出した。その結果、プリカーサーの拡がりは約 $30''$ で、表面輝度は衝撃波面に向かって徐々に高くなっていった。また、プリカーサー内の $H\alpha$ 輝線の幅は 30 km s^{-1} で一定であり、上流ガスはプリカーサーに入る前に加熱されている(プリカーサーが加熱源ではない)ことが判った。これらの観測結果を踏まえ、検出したプリカーサーの形成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](#)

Q11a **CO, HCO⁺ 回転遷移輝線による SNR W44 超高速度成分の観測的研究**

山田真也、岡 朋治、田中邦彦、竹川俊也 (慶應義塾大学)

超新星残骸 W44 は、太陽系から 3 kpc の距離にある II 型超新星爆発の残骸であり、約 3×10^5 太陽質量の巨大分子雲が付随する。超新星爆発が引き起こす衝撃波は、星間ガスを加熱・圧縮すると共に、星間ガスに膨大な運動エネルギーを供給すると考えられている。我々のグループでは、超新星残骸と分子雲の相互作用系として W44 の重要性に着目し、ミリ波サブミリ波帯において同天体の分子スペクトル線観測を行ってきた。それらの結果から、W44 分子雲中に拡散した微弱な高速度 wing 成分を検出し、その膨張速度を精密に測定する事により超新星残骸が星間雲に与えた運動エネルギーを直接算出する事に成功した (指田他、2012 秋季年会 Q20a)。加えて我々は、高速度 wing 成分を精査する過程で、空間的に局在した極めて速度幅の広い wing 成分を発見した。この超高速度成分は、0.5 pc \times 0.8 pc 程度の空間的広がりを持ち、電波連続波および H₂ 振動遷移輝線で同位置に対応天体が見られる。

今回我々は、この超高速度成分の起源を探る目的で、ASTE 10 m 望遠鏡及び野辺山 45 m 望遠鏡を使用した CO, HCO⁺ 回転遷移輝線による高感度 OTF マッピング観測を行った。観測した領域は、超高速度成分全体をカバーする 3' \times 3' の領域で、超高速度 wing 成分の詳細な空間-速度構造を描き出す事に成功した。新たなデータを用いた LVG 近似計算の結果から、我々は超高速度成分の温度や密度、柱密度などを評価した。また、超高速度成分は銀緯-速度平面上で S 字型の軌跡を描く。一方で銀経-速度方向では S 字型の軌跡は見られず、低速度側の放射分布に 0.5 pc 程度の空洞が見られる。この空間構造の起源については現在解析を進めている途中である。講演では、一連の観測および本講演までの解析結果から示唆された超高速度成分の起源、物理状態について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12a 分子雲衝突によるコア形成と HII 領域の進化

島和宏, Eliabeth J. Tasker, 羽部朝男 (北海道大学)

HII 領域に速度差をもった 2 個の分子雲が付随しているという観測結果から、大質量星やクラスターの形成を誘発する外的要因として分子雲衝突が注目されている。北大のグループでは分子雲衝突によって高密度コアが形成されるシミュレーション結果も得られている (Takahira+14)。本研究ではさらに星形成モデルと星からの UV 輻射を取り入れたシミュレーションを行い、HII 領域形成とそのフィードバックを受けた分子雲の進化を調べた。講演では HII 領域の形成に着目して結果を報告する。速い衝突速度 (30km/s) で分子雲を衝突させた場合、HII 領域の形成を 2 つの段階に分類することができた。まず HII 領域は密度の薄くなった衝撃波の後方に向かって膨張する。これは衝撃波の速度より HII 領域 (約 10000K) の音速 (約 7km/s) が小さいためである。その後、衝撃波を突き抜けるような速い速度を持ったコアで星形成が起こると衝撃波の前方にも HII 領域が形成される。遅い衝突速度 (10km/s) ではこのような 2 つの段階に分類することはできず、前方と後方でほぼ同時に HII 領域が形成された。分子雲とそれに付随する HII 領域は衝突速度に依存した進化をする。観測でもリングの内部に HII 領域が存在する Spitzer バブル RCW120 (Torii+15) やリングの外側に HII 領域が存在する複合バブル領域 S116, S117, S118 (Churchwell+2006) など様々な報告がある。観測との比較から分子雲の衝突速度などが適当であるかどうか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q13a **FUGIN: W51 領域における CO multi-line 解析**

藤田真司, 久野成夫 (筑波大学), 梅本智文, 西村淳, 南谷哲宏 (NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大学), 松尾光洋 (鹿児島大学), 津田裕也 (明星大学), 山岸光義, 河野樹人 (名古屋大学), 他 FUGIN チーム

W51 は銀河面において Sagittarius-Carina spiral arm の tangential point に位置する距離 ~ 5.4 kpc の Giant Molecular Cloud (GMC) である。様々な速度の cloud ($\sim 45\text{--}70$ km/s) が視線上に重なっていることや、High Velocity Stream (HVS、視線速度 ~ 68 km/s) と呼ばれる銀河面に沿って細長くのびた cloud (~ 10 pc \times 100 pc) などが特徴的である。領域全体に渡って HII region や SNR が分布しており、また、cloud 同士の衝突とそれによる星形成の活発化や cloud の分裂などが示唆されているなど非常に複雑な星形成領域である。我々は、NRO レガシープロジェクトの一つである FOREST Ultra-wide Galactic plane survey In Nobeyama (FUGIN; 風神) の一部としてこの領域に対し、 ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ の3輝線同時観測を行った。藤田他 2015 年春季年会にて、JCMT による $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ のデータとの比較から、周辺の HII region に面した cloud の縁で $^{12}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 比が特に高くなっている傾向などを述べた。今回我々は cloud 内部の物理状態の影響をより詳しく調べるため、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の強度が 6.0 K 以上の条件で Dendrograms を用い GMC 内で cloud を同定した。その結果、5 個の cloud が同定され、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)/^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 積分強度比が 0.3–0.9 程度、 $^{13}\text{CO}(J=3-2)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 積分強度比が 0.7–1.2 程度と、cloud ごとで有意に異なることがわかった。本講演ではこれらの物理状態の違いと周辺環境や星形成との関連などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14a 巨大星団 RCW 38 における O 型星のフィードバックと分子雲との相互作用

鳥居和史, 福井康雄, 長谷川敬介, 服部有祐, 大浜晶生, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟 (名大理), 大橋聡史, 桑原翔, 藤井浩介 (東大), 水野範和 (国立天文台), 大西利和 (大阪府立大), Thomas J. Haworth (ケンブリッジ大)

近年、大質量星・巨大星団の形成機構として、分子雲衝突が重要な役割を果たしていることが明らかになりつつある (Torii et al. 2011, 2015; Fukui et al. 2014, 2015a, b 等)。大小の分子雲同士の衝突にともなう圧縮効果によって、大きい分子雲の内部に空洞構造が形成されることは、理論計算・観測の両面から明らかとなったが (Habe & Ohta 1992; Torii et al. 2015)、分子雲衝突の一連のプロセスにはまだ多くの謎が残されている。そのひとつが形成された大質量星のフィードバックが周囲に及ぼす影響である。強烈な紫外線・星風は母体分子雲 (特に衝突圧縮層) に対し劇的な破壊・変質をもたらし、各波長で観測される構造にも多大な影響を与えるため、これを理解することは、分子雲衝突による大質量星形成の全容を解明する上で重要である。本研究では、Fukui et al. (2015b) において、分子雲衝突による形成が示された、銀河系内でも最も若い (~ 0.1 Myr) 巨大星団である RCW 38 に着目、ASTE および Mopra で得られた CO $J=3-2$, $1-0$ 輝線データを用いた詳細解析を実施した。結果、2つの衝突分子雲のうちブルーシフト雲において、星団近傍 1 pc 以内に、多くの高速度クランプが付随していることを明らかにした。クランプはサイズ $0.2-0.3$ pc、速度幅 ~ 10 km s $^{-1}$ で、主にブルーシフト側に偏って分布している。CO プロファイルは典型的にウィング構造を持つが、速度に偏りがあることと星の年齢から、原始星からのアウトフローは棄却される。本講演では、以上の構造は、Haworth et al. (2015b) による星団形成の数値計算から明らかにされた「HII 領域により局所的に加速されたクランプ構造」として解釈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](#)

Q15a **NANTEN2 望遠鏡による CO 2-1 の観測成果**

大浜 晶生, 鳥居 和史, 佐野 栄俊, 山本 宏昭, 立原 研悟, 福井 康雄 (名大理), 中島 拓, 水野 亮 (名大 STE), 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府大), NANTEN2 チーム

我々は、南天の本格的なサブミリ波サーベイ観測を実現するため、標高 4,800 m のアタカマ高地に NANTEN2 望遠鏡を 2004 年に設置した。この計画では、炭素原子・一酸化炭素分子スペクトを用いて、我々の銀河系内、大小マゼラン銀河、および近傍の銀河内の星間ガス諸相の分子、運動、物理状態をサーベイデータをもとに明らかにし、星間ガスの進化と星形成メカニズムの解明を目指している。

今シーズンより、230GHz 帯において $^{12}\text{CO } J=2-1$, $^{13}\text{CO } J=2-1$ による本格的な観測を開始した。対象は、系内の小質量星形成領域 (Lupus)(望月 本年会)、大質量星形成領域 (Orion B, Vela, Carina, IC2948, M16, RCW106, NGC6334, NGC6357)、コンパクト HII 領域 (RCW166, W33, AGAL338.926+00.634)(河野 本年会)、超新星残骸領域 (RXJ1713.7-3946, N132D, N49) 等である。その結果、大質量星方向では速度 10 km/s–20 km/s にまたがる 2 個の分子雲が大質量星およびコンパクト HII 領域に付随することを見いだした。衝突により圧縮された境界面は 10 km/s 程度の乱流状態になり (Inoue & Fukui, 2013)、質量降着は実効音速の 3 乗に比例するため、ほぼ 3 桁大きい $10^{-3}M_{\odot}/\text{yr}$ 程度となり、 10^5 年以内に 100 M_{\odot} の降着が可能となる。そのため、2 個の分子雲が衝突して大質量星を形成したと解釈される。本講演では、NANTEN2 望遠鏡と受信機のステータス、2015 年の $^{12}\text{CO } J=2-1$, $^{13}\text{CO } J=2-1$ の観測の成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16b NANTEN2 望遠鏡によるコンパクト HII 領域の CO 輝線観測

河野樹人, 大浜晶生, 鳥居和史, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大) ほか, NANTEN2 チーム

大質量星は、HII 領域の形成や超新星爆発によって、周囲の星間物質や銀河進化に大きな影響を与える。しかし、大質量星の形成過程は未だ不明であり、現代天文学における最も重要な課題の 1 つである。近年、我々は NANTEN2 望遠鏡による観測から分子雲同士の衝突による大質量星形成シナリオを提案している (e.g., Furukawa et al. 2009; Torii et al. 2015)。分子雲同士の衝突によって大質量星が形成された場合、形成の初期段階にはサイズが 0.1-0.5 pc のコンパクト HII 領域を伴っていると考えられる。コンパクト HII 領域は分子ガスに深く埋もれているため衝突直後の初期状態が残されており、分子雲衝突による大質量星形成を解明する上で重要な天体であると考えられる。本研究では、分子雲衝突による大質量星形成の初期段階を理解することを目的としてコンパクト HII 領域に付随する分子雲の観測を行った。我々は、南米チリに設置した NANTEN2 望遠鏡を用いて、2015 年 10 月から 11 月にかけてコンパクト HII 領域が存在する大質量星形成領域 RCW166, W33, AGAL338.926+00.634 の 3 天体に対して $^{12}\text{CO}(2-1)$, $^{13}\text{CO}(2-1)$ の観測を行った。観測の結果、3 天体すべてで、10-20 km s^{-1} の速度差を持つ複数の速度成分を検出した。また、位置速度図から分子雲衝突の際の特徴的な速度構造である 2 つの速度をつなぐブリッジ状の成分を検出した。本講演では、観測を行った 3 天体におけるコンパクト HII 領域と分子雲衝突の関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17b フィラメント状分子雲 Lupus I における分子ガスの性質と磁場構造

望月沙也可、立原研悟、佐野栄俊、大濱晶生、服部有祐、漆原宏亮、加藤千晴、河野樹人、丸山将平、稲葉哲大、山本宏昭、福井康雄（名古屋大学）、清兼和紘（東京大学）

多くの分子雲においてフィラメント状の構造が見られ、その構造が分裂することでコア形成、星形成が起こると考えられている (Inutsuka & Miyama 1992)。フィラメント状分子雲であるおおかみ座分子雲 Lupus I においては、フィラメント軸に垂直な磁場が観測されており、その磁場に沿って筋状の構造があることが明らかになっている (Matthews et al. 2013)。この分子雲は HI シェルによる衝撃波圧力および磁場の影響下にあると考えられている。HI シェルおよび磁場がフィラメント状構造の形成にどのように寄与しているかを調べるため、我々は NANTEN2(^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}:J=2-1$) および Mopra(^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}:J=1-0$) を用いて Lupus I の観測を行った。NANTEN2 および Mopra の観測結果より、メインフィラメント軸に沿った方向および筋状構造に沿った方向の両方に複雑な速度勾配があることが明らかになった。また head-tail 状の構造も見えており、これらは衝撃波により物質が加速されていることを示唆している。また、本領域では磁力線が曲がっていることが明らかになっている (Franco & Alves 2015) ため、磁場との比較も行った。さらに、 ^{13}CO における輝線強度比 $J=2-1/J=1-0$ を算出したところ、メインフィラメントの軸に沿った領域に比べ、フィラメントに垂直な筋状構造においては比の値が大きいことが分かった。これらの解析結果は、筋状構造が周囲の HI シェルや磁場による相互作用によって作られることを示唆していると考えられる。本研究では Lupus I 分子雲における速度構造と磁場構造に着目し、フィラメント状分子雲形成に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18b 銀河系中心領域分子雲の物理状態推定

田中邦彦 (慶應義塾大学)

ASTE10m 望遠鏡、野辺山 45m 望遠鏡を用いた銀河系中心領域のミリ波-サブミリ波帯分子雲広域観測の結果を報告する。特に複数分子輝線の励起計算に基づいて推定された分子ガス温度/体積密度/面密度の分布と、HCN、HC₃N、HNC らの fractional abundance の分布を示す。

銀河系中心部の分子ガスは物理状態/化学組成ともに銀河円盤部とは全く異なった特徴をもつことが知られている。そのため高温/高密度の特異環境下での星形成活動、中心核活動の化学組成への影響を調べる上では良いターゲットであり、分子雲の物理状態に関わる諸パラメータの推定はその基本となる解析である。我々は、上記の観測で得られた HCN $J=4-3$ 、H¹³CN $J=1-0$ 、[CI] $^3P_1-^3P_0$ 輝線強度と、Mopra と APEX 望遠鏡の公開データを用いて Large Velocity Gradient (LVG) 法による物理状態推定を行った。計算にあたっては物理状態・化学組成を記述するパラメータに加え、beam filling factor、望遠鏡間の強度 calibration の不一致、単一温度/密度の仮定の破れを考慮し、階層ベイズ推定を用いた。これにより最尤値推定でしばしば現れる温度-密度間の不自然な反相関を抑制し、信頼性のより高い物理状態/化学組成の推定を得ることに成功した。主な結果は (1) 典型的な温度/密度はそれぞれ 10^5 cm^{-3} 、50–150 K であり、100 pc スケールでの大域的な変動は存在しない、(2) 高温領域が既知の星形成領域と比較的良く対応する一方、高密度領域は Sgr B2, Circumnuclear Disk と二つの High Velocity Compact Cloud の近辺に集中的に現れる、(3) HCN、HNC の fractional abundance は温度と正の相関を示す、等である。HCN/HCO⁺ 存在量比、[C⁰]/[CO] 比の空間変動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 銀河系中心 50km/s 分子雲のフィラメント状構造

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)

銀河系中心領域には, 円盤部に比べ速度幅が広く, 高密度で高い温度を持った分子雲が存在しており, 性質が大きく異なる. Sagittarius A 領域の 50km/s 分子雲は銀河系中心領域で最も目立つ分子雲の一つで, 銀河系中心に最も近い分子雲の一つである. そして, 内部に HII 領域を含んでおり, 星形成活動が起きていることを示している. また, 過去の観測から, 分子雲同士の衝突による第質量星形成領域の候補として考えられている.

今回, 我々は ALMA cycle1 で 50km/s 分子雲の観測を行なった (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi). 観測領域は 50km/s 分子雲やその周辺をカバーする $330'' \times 330''$ ($\sim 0.1^\circ \times 0.1^\circ$) で, 角度分解能は $1.5'' \times 1.5''$ ($\sim 0.06 \times 0.06$ pc) で, これまでより 10 倍程度向上している. 作成した CS ($J = 2 - 1$) 輝線のマップから, 50km/s 分子雲の詳細な構造を明らかにすることが出来, 主要な構造がフィラメント状になっていることが分かった. このようなフィラメント状の構造は, 円盤部の分子雲では普遍的に存在していることが知られており, フィラメントの幅は今回の結果と同程度である. 銀河系中心領域の分子雲複合体でも同様の構造が観測されているが, 今回の 50km/s 分子雲の観測によって銀河系中心領域でも分子雲はフィラメント状の構造をしていると考えることが出来る. さらに, SiO ($J = 2 - 1$) や H^{13}CO^+ ($J = 1 - 0$) 輝線の結果から衝撃波領域や高密度領域もフィラメント状になっており, 特に衝撃波の強い領域は塊として存在していることが分かった.

本講演では, 柱密度や質量などのフィラメント構造の性質を円盤部の分子雲と 50km/s 分子雲で比較し, そ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](#)

Q20a 銀河中心領域の磁気活動による高速度分散領域形成メカニズムの解明

柿内健佑、鈴木建、福井康雄、鳥居和史 (名古屋大学)、町田真美 (九州大)、松元亮治 (千葉大)

銀河系中心領域における星間物質のダイナミクスを解明することは、銀河の進化や運動学を理解する上で非常に重要である。中心領域内の星間物質の分布が幾つかの特徴的な構造を内包していることは観測から明らかにされているが、それぞれの構造形成のメカニズムや形成過程については未だ多くの謎が残されている。また、星間空間の平均的な磁場の強さが μG 程度であるのに対し、銀河系中心付近の磁場は mG 程度であるという複数の観測的示唆がある。近年では、観測された銀河系中心方向のガスのループ構造 (Fukui et al. 2006) が、磁気浮力に起因するパーカー不安定性によって説明が可能であるとの報告もなされている。これらの結果は、磁気活動が銀河系中心の動力学に大きな影響を与えていることを示している。

我々は、銀河系バルジの磁気流体シミュレーションを行い、磁気活動がガスの運動に与える影響を調べた。磁気乱流が動径方向の運動を励起し、位置-速度図に特徴的な平行四辺形構造が表われることが分かり、2015年春季年会においてその結果を報告した (Suzuki et al. 2015)。本講演では、まだ解析されていなかった鉛直方向の運動、特に磁場の鉛直構造に起因するガスの下降流についての結果を報告する。この下降流は上空から銀河面に向かって従い加速するが、その領域を位置速度図に対応させたところ、観測されている CO 輝線の位置速度図に見られる高速度分散領域をよく説明することが分かった。見つかった下降流は複数存在しており、見込む角度により、位置-速度図に異なる分布を示すことが期待され、観測されている多様な構造を説明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](#)

Q21a ミラ型変光星を用いた銀河系中心の磁場構造の解析

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

偏光観測から星間磁場の方向、強さを求めることはこれまでずっと行われてきた。しかし、視線方向にある磁場が1kpc以下のスケールでどのような構造を示すかといった、細かなところまでは分かっていない。その第一の理由は、光源の距離を正確に求めることが難しいからである。また、銀河面はダストによる減光が強く、可視観測が困難であったことも理由として挙げられる。私たちは銀河中心の $20' \times 30'$ の領域で同定されたミラ型変光星549個 (Matsunaga et al. 2009) に対し、IRSFを用いた近赤外偏光観測の結果 (Hatano et al. 2013) を組み合わせることで、視線方向の磁場を調べる新たな手法を議論する。データはいずれも南アフリカ天文台の1.4m望遠鏡IRSFを用いて取得されたものである。

ミラ型変光星は周期光度関係 (Ita et al. 2004) が求められており、さらに赤化則 (Nishiyama et al. 2006) を仮定さえすれば距離を求めることができる。求めた距離のデータに偏光観測のデータを組み合わせることで、同じ視線方向にあって距離が異なるミラ型変光星からの星間偏光の差を求められ、細かな磁場の構造が分かると考えられる。まず偏光角の測定精度が3度以内であるミラ型変光星162個を調べてみたところ、6kpcよりも短い距離にある天体が4個あり、偏光角が30度付近を示していた (赤経赤緯で北から東へ測った角; 銀河面は27度)。対して銀河系中心8.2kpc付近 (Matsunaga et al. 2009) で得られた偏光角の平均は15度、分散は10度であり、6kpcの手前と奥では偏光角が異なるらしい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22a 全天にわたる中間速度 HI 雲の解析 I

古賀真沙子, 丸山将平, 岡本竜治, 鳥居和史, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河円盤から離れたハロー部には、高速度雲 HVC より速度が小さく、銀河回転にのらない中間速度 ($|V_{\text{LSR}}| = 20\text{--}100\text{ km/s}$) の HI 雲 (Intermediate-velocity cloud; IVC) が広く分布している (Kuntz & Danly 1996, “HIGH-VELOCITY CLOUDS” 2004, H. van Woerden 他)。IVC は大半が負の速度を持つことが知られているが、距離決定が難しくその起源は未だ明らかになっていない。我々の中性水素 21 cm スペクトルの研究により、 $(\ell, b) = (85^\circ, -38^\circ)$ にピークを持つ直線状 IVC が銀河面と衝突しつつあり、その重元素量が太陽系近傍より少ないことから、銀河系ハローまたは銀河系外に起源を持つ可能性があることが明らかになった (丸山 2015 年秋季年会)。この IVC は -40 km/s の視線速度を持ち、 -15 km/s の太陽系近傍成分との空間的な反相関、および両者の速度を連続的につなく成分の存在から、近傍成分との衝突が示唆された。この研究を受けて、我々は対象とする IVC を全天に広げ、太陽系近傍成分との関係を調べることで IVC の起源を追究する研究を進めている。まず、GALFA および LAB の HI 21 cm 線サーベイデータを用いて全天の IVC から 10 領域を抽出し、各々について空間/速度分布を調べた。その結果、3 領域で先行研究の IVC に類似する中間速度成分を検出し、異なる速度の雲の空間的反相関が確認された。このうち $(\ell, b) = (185^\circ, +65^\circ)$ にピークを持つ速度 -80 km/s 付近の雲についてさらに詳細に解析を行った。この高銀緯 HI 雲を銀河北極を中心にして見たところ、銀経で 80° にわたる直線的な構造を持つことがわかった。またこの IVC は、 -40 km/s 付近の雲と空間的な反相関がみられることから、先行研究の IVC と同様の衝突状態にある可能性がある。本講演ではこの解析結果の詳細を報告し、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](#)

Q23a **Helically moving HI cloud found in the outer Galactic disk**

Hiroyuki Nakanishi¹, Naomi McClure-Griffiths², Mami Machida³, Chey Saita¹ (¹Kagoshima University, ²Australian National University, ³Kyushu University)

We report that a helically moving HI cloud is found in the outer Galactic disk using Galactic All Sky Survey (GASS) data obtained with Parkes 64m telescope and Southern Galactic Plane Survey (SGPS) data obtained with Australia Telescope Compact Array (ATCA). The HI cloud is located in the direction of $(l, b) = (278 - 282^\circ, 1^\circ)$ and in the velocity range of 88–108 km s⁻¹. If the foot points of the loop are assumed to rotate following the global Galactic rotation curve around the Galactic center, distance of the HI cloud is estimated to be 12.1–13.9 kpc from the Sun and the Galactocentric distance is 13.0–15.0 kpc. The total length and width are estimated to be 2kpc and 60 pc, respectively. The mass of the cloud is calculated to be $2 \times 10^3 M_\odot$.

A channel map of the cloud shows that the cloud feature repeats proceeding and stopping channel by channel as if a inchworm moves. We show that this kinematic feature can be easily explained with a toy model assuming that the cloud is a magnetically floated strand and moves along the surface of a tube. A value of gas pressure is found to be comparable with magnetic pressure, which supports the magnetic floatation model. The existence of the helically moving HI cloud can be an evidence of magnetic floatation caused by Parker instability which is believed to occur if the Galactic dynamo works.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q24b 中性水素ガス構造と星間磁場の強い相関の物理的理由

井上剛志 (国立天文台)

アレジボ望遠鏡を用いて得られた中性水素ガス構造の詳細な形状解析から、柱密度で 10^{19} 乗/平方 cm 程度のフィラメント状の中性水素雲の向きと、星間磁場の方向に極めて強い相関があることが報告されている (Clark et al. 2014)。星間磁場の方向の推定は偏光観測を通した始原重力波の検証にとって極めて重要であり、特に Planck 衛星のデータがノイズに支配されている高銀緯で、この中性水素構造は新たな磁場推定のツールとなることが期待される。しかしながら、なぜ磁場方向と中性水素雲の構造に強い相関があるのかについての物理的理由は謎として残されている。

本研究では3次元の磁気流体シミュレーションによって、熱的不安定性で形成される小さな中性水素雲の構造は、非等方な乱流場による伸長効果によって局所磁場の方向と平行に引き伸ばされることを示す。さらに、実際の観測と同様な構造解析の結果、中性水素フィラメントの方向と磁力線方向に極めて強い相関があることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25a **RadioAstron 観測で検出された宇宙で最も輝度温度の高い水メーザー**

今井 裕 (鹿児島大学), Alexey Alakoz (ロシア天文宇宙センター), Andrey Sobolev (ウラル連邦大学), James M. Moran(ハーバード大学), Willem A. Baan(ASTRON), ほか

RadioAstron は、ロシアが 2011 年 7 月に打ち上げた口径 10m 電波望遠鏡衛星 “Spectr-R” と、地上電波望遠鏡群で構成される宇宙空間 VLBI 事業である。我々はこれにより、地球半径の数倍にも達する基線長で、非常にコンパクトで輝度温度が高い 22GHz 水メーザースポットのフリンジ検出に成功したので、本講演で報告する。これら水メーザースポットは、星形成領域では W3 IRS5, Orion KL, W49N, W51M, Cepheus A (HW2, HW3d)、近傍銀河中心核では NGC 3079 と NGC 4258 で発見された。前者の水メーザー源においては、ゼロ基線長 (= 単一鏡) 観測でのフラックス密度が VLBI 基線で著しく低下する。しかし両者において、宇宙空間基線ではその長さに関わらず相関フラックス密度がほぼ一定だった。前者メーザースポットは、星形成領域を取り囲むプラズマガスによって作られた広がったハロー構造と、その中であってサイズが 0.1AU 未満で極めて輝度の高い ($T_b > 10^{14}$ K) コアから成ることが示唆される。VERA を使った追加観測によって、これら水メーザースポット群は、大質量星からのアウトフローの根元付近 (100 AU 以内) の極めて速度傾斜が高い場所 (数 AU 程度の範囲で 10 km s^{-1} 以上) で励起されている。このような場所で、アウトフロー中のコンパクトな渦状の流れの中で乱流が散逸し、そのエネルギーの一部から強力で極めて輝度の高いメーザー放射が作り出されていることが示唆される。一方後者の水メーザー源のうち NGC 4258 においては、 20 km s^{-1} の視線速度幅にわたってフリンジ位相がほぼ一定であることから、厚さ 1 mpc 未満の非常に薄い円盤にこれら水メーザースポット群が付随すると示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a AKARIによる遠赤外高詳細全天ダストマップ

土井 靖生, 大坪 貴文 (東大総文), 瀧田 怜, 中川 貴雄, 川田 光伸 (ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大), 服部 誠 (東北大理), 田中 昌宏 (筑波大計算科学研究センター)

我々は遠赤外線による遠赤外全天マップを作成し、2014年12月にデータ公開を行った。このデータは波長65~160 μm 、空間分解能1'~2'で全天をカバーしており、IRASのデータを4半世紀振りに刷新する高詳細遠赤外線画像データである。観測画像中には太陽系内ダスト成分からの輻射もこれまでにない細かい構造が観測されており、我々は新たなモデルの構築によりこの輻射と銀河系ダスト由来の輻射との切り分けを行った。(Ootsubo et al., PASJ submitted, 本年会講演 参照)。

大坪らのモデルにより得られた銀河系ダスト由来の輻射成分を取り出した絶対値マップを用い、我々は全天の銀河ダストマップを作成した。IRASやPlanckのデータに比べて格段に高い空間分解能を活かした高詳細ダストマップである。

作成したダストマップは、従来のIRASやPlanckのデータを用いたダストマップと非常に良い相関を示す一方、これらのデータに比べて高い空間分解能により、ダスト分布の詳細な構造を明らかにしており、近傍分子雲中の星形成過程の理解に対する寄与が期待される。またdiffuse cloud中と分子雲中でダストの輻射能率が異なる兆候も得られており、分子雲中のダスト成長過程に対する情報を与えられると考えられる。

本講演ではこの新たな全天ダストマップについて、複数の導出方法による結果や従来のデータとの比較からその信頼性を示すと共に、高詳細化により新たに得られる情報について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27a AKARI FIS 全天地図による SDSS 銀河のスタック解析

岡部泰三、柏木俊哉、須藤靖（東京大学）、松浦周二（宇宙航空研究開発機構）、土井靖生（東京大学）、瀧田怜（宇宙航空研究開発機構）、大坪貴文（東京大学）

ダストは銀河形成及び銀河の化学進化を調べる上で重要な情報を持つ。ダストは星生成活動と関連する紫外光及び可視光を吸収散乱し、星からの光のおよそ半分を赤外線でも再放射するためである。しかしながら明るい銀河を除いて、個々の銀河からの赤外線放射を直接検出するのは非常に難しい。バイアスの少ない形で銀河からの赤外線放射を特徴付けるために、統計的な検出をおこなうスタック解析が有用となる。

我々は過去の年会で、IRAS 全天地図上における SDSS 銀河のスタック結果を発表したが、その角度分解能は約6分と悪く定量的な解析は困難であった。そこで今回は、角度分解能が約1分まで向上した AKARI 全天地図を用いて同様のスタック解析を行った。

スタックによって得られるダスト赤外放射には、中心銀河からの寄与だけでなくその銀河と空間的に相関している他の銀河の寄与も含まれる。銀河の角度相関関数と AKARI の点拡がり関数をもとにした理論モデルにより、各成分からの寄与を可視光等級の関数として見積もった。中心銀河と空間的に相関している銀河からの寄与は SDSS 銀河の角度相関関数から予測可能であり、今回の観測値はその予測値と整合的であった。

さらに AKARI の 65,90,140 μm の各波長で解析を行い、ダストの赤外線放射効率をかけた修正黒体放射でフィットすることで 40K という平均ダスト温度を得た。これは個々に測定されている典型的な SDSS 銀河のダスト温度と同程度であり、銀河のダスト温度が赤外線の放射量に依らないことを示唆している。

我々は今後この手法を銀河団やクエーサーに応用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](#)

Q28a **The origin of the $22\ \mu\text{m}$ broad feature and its association with the molecular clouds of the Great Nebula in Carina.**

Ronin Wu, Takashi Onaka, Tomohiko Nakamura, Fumihiko Usui, Tamami I. Mori, Itsuki Sakon (Department of Astronomy, the University of Tokyo); Daisuke Ishihara (Nagoya University); Yoko Okada (University of Cologne); Frédéric Galliano, Vianney Lebouteiller (Laboratoire l'AIM, CEA Saclay)

With the ISO/SWS observations, Chan and Onaka (2000) have identified a broad (width $\sim 10\ \mu\text{m}$) emission feature with unknown carrier(s) at $22\ \mu\text{m}$ in the Great Nebula of Carina. This feature resembles what has been observed in Cas A and may relate to the dust grains formed in supernova ejecta. In order to investigate the physical conditions of the region, where the $22\ \mu\text{m}$ has been detected, we observe the CO and ^{13}CO gas in a wide range of excitation states (from $J = 4 - 3$ to $J = 13 - 12$), spatially-resolved down to $\sim 0.5\ \text{pc}$, in the Great Nebula of Carina. The observation was performed in an area of $2' \times 7'$ ($2\ \text{pc} \times 7\ \text{pc}$) near the young ($< 1\ \text{Myr}$) open star cluster, Trumpler 14, by the *Herschel* Space Observatory.

We compare the spatial variation of this feature with the physical properties of molecular gas, indicated by the CO and ^{13}CO , and of the photo-dissociation region, indicated by [OI] 63 and $145\ \mu\text{m}$, [OIII] $88\ \mu\text{m}$, and [CII] $158\ \mu\text{m}$. We also investigate the spectral energy distribution (SED) of dust and compare its variation within the observed region. Based on the comparison, we discuss the possible origin(s) of the $22\ \mu\text{m}$ feature and its association with the interstellar environments.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q29a

An Investigation of Possible Electric Dipole Emission from Interstellar PAHs and/or Dust Grains, using AKARI

Aaron Bell, Takashi Onaka, Itsuki Sakon, Frederic Galliano (IAS), Yasuo Doi, Ronin Wu, Ryou Ohsawa (University of Tokyo), Daisuke Ishihara, Hidehiro Kaneda (Nagoya University)

Rapidly spinning dust particles having a permanent electric dipole moment have been shown to be a likely carrier of the anomalous microwave emission (AME), a continuous excess of microwave flux in the 10 to 90 GHz range. Tiny dust grains, possibly polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), are one suspect for the AME carrier, due to their size and abundance. We present an analysis of the most recent AKARI/Infrared Camera (IRC) all-sky surveys (having Zodiacal light removed) due to the effective PAH band coverage of its 9 μm survey to investigate 98 AME candidate regions identified by the Planck Collaboration et al. (2014). We supplement AKARI data with Infrared Astronomical Satellite (IRAS) data, and Planck High Frequency Instrument (HFI) data at 857 and 545 GHz and carry out a modified blackbody fitting. We find a positive trend between the optical depth and AME. We find that estimates of PAH abundance based on 1) 9 μm intensity scaled by G0, and 2) Full dust SED modeling, both fail to show any evidence of an AME-PAH correlation. We cannot offer strong support of a "spinning PAH" model, however we cannot rule out AME via non-PAH, small spinning dust (i.e. silicate-based). The results highlight a need for better understanding of PAH band emission and magnetic dipole emission from dust, and the strong need for higher resolution comparisons of the IR dust emission with AME.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30c イオン化したフラレーン (C_{60}^+) を起源に持つ DIB のモニター分光観測

高橋一馬、三澤透 (信州大学)、Poshak Gandhi (University of Southampton)

星間・星周物質に起源をもつ未同定吸収線である Diffuse Interstellar Band (DIB) は、可視・近赤外領域において現在までに 600 本程度発見されているが、その最初の報告 (Heger et al. 1922) から今日に至るまで、対応する吸収物質 (キャリア) の正体は謎に包まれたままである。しかし昨年 (2015 年)、近赤外領域にある 2 本の DIB (9577\AA , 9632\AA) に対するキャリアの正体がついに確定した。これらは以前からイオン化した C_{60} フラレーン (C_{60}^+) によってもたらされている可能性がマトリックス法を用いた実験室測定との比較によって指摘されていたが、宇宙空間と同じガス相における実験室測定が成功すると、その吸収波長と吸収強度比がこれら 2 つの DIB と非常によい一致を見せることから、この同定は確実なものとなった (Campbell et al. 2015)。我々は、これらの DIB を視線にもつオリオン大星雲内にある O 型星 HD37022 に対し、Subaru/HDS を用いて 2008 年から 2014 年にかけて 3 回、高分散分光観測 ($R\sim 100,000$) を行った。その結果、DIB9632 についてはその吸収強度がわずかに (2σ 程度) 変動することを確認した (2015 年春季年会で報告済)。DIB の変動については、過去に超新星爆発 (SN) を背景光源として検出されたもので見つかっている。その原因として、SN からの強烈な電離光子による DIB キャリアの解離、電離が提案されている (Milisavljevic et al. 2014)。我々の結果が事実であれば、数年スケールの DIB 変動には必ずしも SN による効果は必要ではなく、SN を起こす前の星周領域においても、その変動を可能にするメカニズムが存在することになる。昨年、この DIB が C_{60}^+ による吸収であることが確定したため、変動の大きさを吸収線の等価幅ではなく、物理的な指標である柱密度をもとに評価することが可能になった。その結果をもとに、DIB キャリア (ここでは C_{60}^+) の供給、運動状態、電離状態の変動を考察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](#)

Q31a チャープ・フーリエ変換型マイクロ波分光計の開発

小林かおり, 常川省三 (富山大学)

アルマ望遠鏡の登場で、生体関連分子などより大きな分子の検出へと期待が高まっている。このような分子の同定にはマイクロ波分光によるスペクトル線のデータが不可欠である。分子が重くなると、回転定数が小さくなる。さらに星形成領域の温度環境を考慮すると低い周波数帯、特にセンチ波帯が重要となる。センチ波帯での過去の測定データの精度は不十分なものも多い。近年、新しくチャープ・フーリエ変換型マイクロ波分光計が開発された。[1] 高速オシロスコープや、高出力のマイクロ波固体増幅器を用いて、広い周波数域を迅速かつ高感度・高精度で測定することが可能になったものである。ジェットや共振器など複雑な装置を必ずしも必要とせず、室温で導波管セルを用いた測定が可能で [2]、スペクトルの相対強度の信頼性が比較的高いといった特徴もある。1度に測定できる帯域を狭めてコストを下げたものも制作された。[3, 4]

本研究では、今後の星間分子候補となる分子の低い帯域での高感度かつ室温での測定を目指して導波管型のマイクロ波分光計を制作している。8-18 GHz 帯の中で1回の測定範囲として240 MHz をカバーするものである。これまでにアンモニアやメタノールの測定に成功した。今後、星間分子やその候補となる分子の高感度・高分解能測定を目指して感度の向上、領域の拡大に努める。

参考文献 [1] G.G. Brown, B.C. Dian, K.O. Douglass, S.M. Geyer, S.T. Shipman, B.H. Pate, *Rev. Sci. Instrum.* 79 (2008) 053103. [2] B. Reinhold, I.A. Finneran, S.T. Shipman, *J. Mol. Spectrosc.* 270, (2011) 89. [3] D. A. Obenchain et al., *J. Mol. Spectrosc.* 261, (2010) 35. [4] A. McJunkins, and G. Brown, *J. Undergrad. Chem. Res.* 10, (2011) 166.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a マイクロ波分光によるギ酸メチル同位体 ($\text{HCOO}^{13}\text{CH}_3$) のねじれ振動第二励起状態のマイクロ波分光

桑原拓郎, 小林かおり

ギ酸メチル (HCOOCH_3) は 1975 年 Sgr B2 で初めて星間空間での存在が確認された分子である。¹当初は Sgr B2 や Orion KL といった大質量星形成領域でのみ観測されていたが、近年中小質量星形成領域の初期の段階にも存在することが分かり星間空間の物理状態を知る手掛かりになるのではと期待されている。またギ酸メチルは星間空間での観測スペクトルが 1000 本以上と星間分子の中では最も多い。理由は分子構造にありメチル基 (CH_3) の内部回転が分子全体の回転と相互作用する為スペクトルが多くなる。またねじれ振動は他の振動モードよりエネルギーが低く (約 200 K) ノーマル種 (HCOOCH_3) に関しては星間空間でねじれ振動第二励起状態のスペクトルが同定されている。² 同位体種 ($\text{HCOO}^{13}\text{CH}_3$) はノーマル種との星間空間での存在比が約 1/50 であり、ねじれ振動第一励起状態まで星間空間で同定されている。^{3,4}

ギ酸メチル (同位体) の回転スペクトルはミリ波、サブミリ波帯に多く、ALMA での高感度、高分解能な測定により同位体種のねじれ振動第二励起状態のスペクトルが観測される可能性は十分にある。

今回、今まで報告のなかった実験室分光でのギ酸メチル同位体 ($\text{HCOO}^{13}\text{CH}_3$) のねじれ振動第二励起状態のスペクトルの帰属を行った。講演では帰属結果、第二励起状態の分子定数について報告する。

1. R. D. Brown, J. G. Crofts, P. D. Godfrey, F. F. Gardner, B. J. Robinson, and J. B. Whiteoak, ApJ, 197, L29 (1975) 2. S. Takano, Y. Sakai, S. Kakimoto, M. Sasaki, K. Kobayashi, PASJ, 64, 89 (2012) 3. M. Carvajal et al., A&A, 500, 3 (2009) 4. I. Haykal et al., A&A, 568, A58 (2014)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a 低質量星形成領域 L1527 における炭素鎖分子 HC₃N の同位体比測定

荒木光典, 高野秀路, 坂井南美, 山本智, 小山貴裕, 久世信彦, 築山光一

不飽和炭素鎖分子は、黒鉛、ダイヤモンドに次ぐ炭素の第3の形態であるといわれ、その歴史はフラーレンより古い。これらは、これまで暗黒星雲や星周雲で多く発見されてきた。そして近年、暗黒星雲や星周雲だけでなく星形成領域でも検出されている。その代表例が低質量星形成領域 L1527 である。暗黒星雲では、不飽和炭素鎖分子の代表種であるシアノポリインの生成モデルとして、2炭素成長モデルが受け入れられている。しかし、星形成領域でも同じモデルが適用できることを確認するためには、¹³C 同位体種の精度の高い観測データが必要であるが、これまで十分な観測は行なわれてこなかった。そこで、我々は、最も短いシアノポリインである HC₃N に対し、GBT 100m 望遠鏡を用いて、42-44 GHz 帯にてその観測を行った。今年度2回の観測時間が確保でき、計43時間の観測を行ない、同位体比を [H13CCCN]:[HC13CCN]:[HCC13CN]:[HCCCN] = 1.0:1.0:1.4:90 と決定できた。H13CCCN と HC13CCN の存在量が等しいことから、星形成領域でも2炭素成長モデルが普遍的に成り立つことが明らかになった。ここで、一般的に、各同位体種の親分子 HCCCN に対する同位体比は、親分子のラインが光学的に厚いため、通常は正確に決定することはできない。しかし今回は、親分子の強度が弱く光学的に薄い輝線（超微細構造）まで観測できた。それによって、親分子に対する同位体比も求めることができた。従って、各炭素原子についての前駆体の推定まで可能となった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q34b

 ^{13}C Isotopic Fractionation of HC_3N toward L1527

Kotomi Taniguchi, Masao Saito (Nobeyama Radio Observatory), Hiroyuki Ozeki (Toho University)

We carried out observations of three ^{13}C isotopologues of HC_3N using the $J = 10 - 9$ rotational transition at the 90 GHz toward the low-mass star forming core L1527 in Taurus with the Nobeyama 45-m telescope. The main purpose is to determine the main formation mechanisms of HC_3N . The preliminary results in L1527 are $[\text{H}^{13}\text{CCCN}]:[\text{HC}^{13}\text{CCN}]:[\text{HCC}^{13}\text{CN}] = 1.0 : 3.0 : 3.0 (\pm 0.7)$ using their integrated intensities. These results are different from those in the low-mass starless core TMC-1 in Taurus ($[\text{H}^{13}\text{CCCN}]:[\text{HC}^{13}\text{CCN}]:[\text{HCC}^{13}\text{CN}] = 1.0 : 1.0 : 1.4 (\pm 0.2)$). While the neutral-neutral reaction between C_2H_2 and CN is thought to be the dominant formation pathway of HC_3N in TMC-1, we consider that molecules or ions which have two equivalent carbon atoms and different one carbon atom such as *cyclic*- C_3H_2 may contribute to formation of HC_3N in L1527. These results allow us to confirm that carbon-chain molecules in L1527 are not remaining survivors from starless cores, but are newly formed in the warm region (Warm Carbon-Chain Chemistry), because the characteristics of abundance ratios are conclusively different between two sources. In addition, we compare the results with IRC+10216 and massive-star forming region G28.28-0.36, and discuss differences of chemistry in each source based on the main formation mechanisms of HC_3N .

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q35b 遠赤外線観測で探る星間ガスの加熱効率

中川貴雄、奥田治之、巻内慎一郎、瀧田怜 (ISAS/JAXA)、土井靖生、大坪貴文 (東大総文)

赤外線天文衛星「あかり」が観測した遠赤外線連続波強度と、気球搭載望遠鏡で観測された遠赤外線 [C II] スペクトル線 ($^2P_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, 波長 158 μm) 強度との比較により得られた「星間ガスの加熱効率」について報告する。

遠赤外 [C II] スペクトル線は、一般的なガスの主要な coolant であるとされており、その強度 (I_{CII}) はガスが放出している総エネルギー (したがって、ガス加熱の総エネルギー) のよい指標となっている。一方、遠赤外線連続波強度 (I_{FIR}) は、星間輻射場の総エネルギーを表している。したがって、[C II] スペクトル線強度の連続波強度との比 ($I_{\text{CII}}/I_{\text{FIR}}$) は、星間輻射場のエネルギーのうち、どれだけの割合がガスの加熱に使われているか、すなわち「ガスの加熱効率」を示していることになる。しかし従来、遠赤外線連続波データとして広く用いられてきた IRAS の観測は、波長 100 μm 以下であり、遠赤外線連続波のピークをカバーしておらず、その温度と総強度を求めるには不定性が大きかった。そこで、その欠点を補うべく、我々は、遠赤外線連続波のピークを十分にカバーしている「あかり」の全天サーベイデータを用いることとした。[C II] スペクトル線データとしては、我々が過去に行った気球観測データを用いた。

その結果、[C II] スペクトル線強度と遠赤外線連続波強度との比 ($I_{\text{CII}}/I_{\text{FIR}}$) が、連続波の源であるダストの温度 (T_{dust}) に対して、負の相関を持つことがわかった。ダストの温度が高い場所とは、星間輻射場のエネルギー密度が高い場所に相当する。したがって、我々の結果は、「星間輻射場のエネルギー密度が高いところでは、ガスの加熱効率が低下する」ということを示している。

一般的な星間空間でのガスの加熱機構としては、ダストからの光電子の電離放出が提案されている。ただし、星間輻射場の強度があがり、ダストの電荷が増加すると、光電子の電離ポテンシャルが増加するため、この効率はむしろ下がってしまうと理論的には予測されていた。我々の観測結果は、星間輻射場の強いところで、「ガスの加熱効率」が減少していることを示しており、上記の理論の予測を裏付けるものとなった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q36c 韓国 STSAT-3 衛星搭載の赤外線カメラ MIRIS を用いた銀河拡散光の観測

大西陽介 (東京工業大学), 松原英雄 (ISAS), 松浦周二 (関西学院大学), 津村耕司, 新井俊明 (東北大学), 白旗麻衣 (国立天文台), 佐野圭 (東京大学), Woong-Seob Jeon, Jeonghyun Pyo (KASI)

銀河拡散光とは、星間ダストによって星々からの光が散乱された成分である。可視光から近赤外線にかけた銀河拡散光のスペクトルを精度よく観測することで、その散乱体である星間ダストの性質、特にそのサイズ分布についての詳しい情報を得ることができる。銀河拡散光のように淡く広がった放射を精度よく捉えるためには、広視野での長時間におけるスペース観測が必要である。一方で、星々からの光はダストに吸収されるため、遠赤外線としても観測される。したがって、観測データと $100\ \mu\text{m}$ マップの相関から、銀河拡散光を分離することが可能である。これまでの銀河拡散光の観測値は、ダストが光学的に薄い領域に限定した $100\ \mu\text{m}$ 輝度との線形相関から得られており、特に近赤外線波長域における観測は未だに数例である。

そこで私たちは、高銀緯の比較的コンパクトで濃いダスト雲周辺における、様々なダスト柱密度をもつ領域 ($100\ \mu\text{m}$ 輝度 $\leq 15\ \text{MJy sr}^{-1}$) を、韓国の小型衛星 STSAT-3 に搭載された広視野 (3.7 度角) 赤外線カメラ MIRIS を用いて、波長 $1.1\ \mu\text{m}$ と $1.6\ \mu\text{m}$ で観測した。そして、観測データと $100\ \mu\text{m}$ 輝度の相関の波長依存性をいくつかの光学的厚みについて調べた。その結果、 $100\ \mu\text{m}$ 輝度が $12\ \text{MJy sr}^{-1}$ より高い領域において、線形近似した相関は、 $100\ \mu\text{m}$ 輝度が低い領域から得られる相関の傾きに対して、20% 近くの違いが確認されたものの、観測された銀河拡散光の $1.1\ \mu\text{m}$ と $1.6\ \mu\text{m}$ の強度比には有意な違いが見られなかった。したがって、ダストのサイズ分布はダストの柱密度に依存せず一様であることが考えられる。本講演は、観測された銀河拡散光の結果を示すとともに、ダストのサイズ分布についてもモデルと比較を行い、考察するものとする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

3月14日(月) 午後(13:00-15:00) [A会場]

R01a	13:00	銀河系位置天文観測に準拠した密度波理論の検証	坂井伸行(国立天文台)
R02a	13:12	Evaluation of RM CLEAN with reduced chi-square in analysis of cosmic magnetic field	宮下恭光(熊本大学)
R03a	13:24	近傍宇宙における銀河の光度関数とハッブル定数	上村健斗(東京学芸大学)
R04b	13:36	SPLASH で検出された天の川銀河内 OH メーザー天体の統計的特徴	品野晃介(鹿児島大学)
R05b	13:36	銀河ガス円盤数値実験による観測的可視化 II 天の川銀河	町田真美(九州大学)
R06b	13:36	重力マイクロレンズ法による MOA-II 望遠鏡を用いた低質量 MACHOs の探索	及川仁士(名古屋大学)
R07c		SCF 法による 2 つの球状銀河の合体シミュレーション	穂積俊輔(滋賀大学)
R08a	13:48	分子雲衝突を伴う巨大分子雲質量関数の進化	小林将人(名古屋大学)
R09a	14:00	NRO レガシープロジェクト COMING(6): 近傍矮小銀河 NGC2976 における分子ガス分布と星形成	畠山拓也(筑波大学)
R10a	14:12	棒渦巻銀河 M83 における GMC スケールの CS と CH ₃ OH 分布	渡邊祥正(東京大学)
R11a	14:24	低重元素量の矮小銀河における CO 輝線の観測	西村優里(東京大学)
R12b	14:36	近傍銀河における、空間分解した CO(3-2) 輝線光度-赤外線光度の関係	村岡和幸(大阪府立大学)
R13b	14:36	近傍銀河 NGC1808 の ALMA による ¹² CO(3-2)、連続波観測	富安悠人(筑波大学)
R14b	14:36	矮小銀河 NGC1569 におけるアウトフロー領域からの赤外線放射: ダスト特性の空間分布	鈴木仁研(宇宙航空研究開発機構)
R15b	14:48	NGC4388 と M86 周辺領域の広がった X 線放射の分布と起源	菱右京(金沢大学)
R16b	14:48	水素電離輝線を用いた近傍 LIRG におけるダスト減光の観測的研究	小早川大(東京大学)
R17c		「すぎく」による渦巻銀河 M31 中心部のアバundance比と星/ガスの分布	長谷川俊介(東京理科大学)
R18c		銀河の性質と分子ガスの中心集中度の関係; 統計的研究	隈井泰樹(熊本学園大学)
R19c		棒渦巻銀河 M100 の ALMA データの解析 I	松田有一(国立天文台)
R20c		棒渦巻銀河 M100 の ALMA データの解析 II	松田有一(国立天文台)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [A会場]

R21a	09:30	Interstellar chemistry in extreme starburst environment	原田ななせ(台湾中央研究院)
R22a	09:42	ALMA でみた 10 pc スケールでの 1 型低光度活動銀河核 NGC1097	河野孝太郎(東京大学)
R23a	09:54	Tidally-Disrupted Molecular Cloud Falling to the Galactic Center	Tsuboi, Masato(宇宙航空研究開発機構)
R24a	10:06	最近傍スターバースト銀河 NGC5253 における超星団の形成 II: 高速度幅コンパクト分子雲の発見	三浦理絵(国立天文台)
R25a	10:18	Feeding and feedback of star formation in NGC 1808 revealed with ALMA	Salak, Dragan(Kwansei Gakuin Univ.)
R26a	10:30	H ₂ O ice の吸収から探る ULIRG 内部における星形成領域の構造	道井亮介(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
R27a	10:42	HCG92 (Stephan's Quintet) の「あかり」衛星近-中間赤外線観測	池内綾人(東京大学)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

R28a	10:54	ALMA observations of the dense/shocked gas in the nuclear regions of the Antennae galaxies (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)	植田準子
R29a	11:06	ASTE を用いた衝突の初期段階の銀河ペアのサーベイ観測	道山知成 (総合研究大学院大学/国立天文台)
R30a	11:18	星形成衝突銀河 NGC 1614 における CO 分子ガスの状態	安藤未彩希 (総合研究大学院大学/国立天文台)
R31c		銀河中心における連 SMBH まわりの星の速度構造 II	船渡陽子 (東京大学)
R32c		ALMA による NGC1566 の銀河中心の観測とガスの運動	井口聖 (国立天文台)

R01a 銀河系位置天文観測に準拠した密度波理論の検証

坂井 伸行 (国立天文台)

銀河系のペルセウス座腕は可視光 (星) でも電波 (ガス) でも観測されるメインアームとして知られている (e.g. Churchwell et al. 2009)。近年、VLBI 位置天文観測により (非熱的) 天体の 3 次元運動の測定が可能になり、ペルセウス座腕に付随する星形成領域では、系統的に約 20 km s^{-1} の非円運動が見られる事が明らかになった (e.g. Sakai et al. 2012)。

我々は、不定性が大きい渦状腕の理論を観測的に検証する為に、ペルセウス座腕で観測された非円運動と、密度波理論に準拠した解析的力学モデル (Piñol-Ferrer et al. 2012) との直接比較 (χ^2 検定) を行った。

その結果、主に二つの事が明らかになった。一つ目は、星形成領域 (ガス) でトレースされる腕と渦状腕ポテンシャル (星でトレースされると考えられる) との間で、ピッチアングルが有意に異なった。これは、系外銀河で見られる、波長毎に渦状腕の形状が変わると言う観測結果と一致する (e.g. Griv et al. 2015)。二つ目は、ガスでトレースされる腕と星でトレースされる腕との間に、キロパーセックスケールのオフセットが見られた。この“オフセット”は、過去の流体シミュレーションの結果からも指摘されている (e.g. Baba et al. 2015a)。

今回得られた 2 つの知見は、Gaia により星の位置天文観測の結果が加えられる事で、より直接的に確認でき、渦状腕の理論を確立させる為の重要な“鍵”となる事が期待される。

Reference : Sakai et al. (2015)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a **Evaluation of RM CLEAN with reduced chi-square in analysis of cosmic magnetic field**

宮下恭光 (熊本大学)、 出口真輔 (UNIST)、 高橋慶太郎 (熊本大学)

近年、宇宙磁場を解析する新しい手法として Faraday Tomography が注目されてきている。Faraday Tomography は視線上の磁場や偏波源の情報を断層的に解析する非常に画期的な手法である。具体的には、観測される複素偏波強度を放射の分布を特徴付ける FDF(=Faraday Dispersion Function) の関数として表し、複素偏波強度をフーリエ逆変換することによって視線上の磁場と偏波源の分布の情報を持っている FDF を得る。しかし、望遠鏡による観測帯域の制限等の理由で、得られる FDF は不完全なものになってしまう。その不完全さを緩和し、ノイズを取り除くのが RM CLEAN である。今回は、RM CLEAN が本当に有効な手法かを評価することを目的として、簡単な FDF のモデルを仮定し、どのような状況で RM CLEAN が有効なのか、reduced chi-square を用いて定量的に調べた。また同時に、reduced chi-square が source 数を見誤ってしまう RM ambiguity の問題や FDF のモデルパラメータ推定について評価できるかということについても調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a 近傍宇宙における銀河の光度関数とハッブル定数

上村健斗（東京学芸大学）、八木雅文（国立天文台、法政大学）、岡村定矩（法政大学）

光度関数は銀河の集団の基本的特性を表す分布関数である。銀河の進化効果が無視できると考えられる近傍宇宙では、宇宙原理によって、大きなスケールで見れば銀河の光度関数は一様であることが期待される。我々はこの銀河の光度関数の普遍性からハッブル定数 H_0 にどれくらいの制限がつけられるかを調べた。

基準とするデータは、さまざまな距離決定法で H_0 とは独立に距離 r が決定された銀河のデータベースである The Extragalactic Distance Database (EDD) の Cosmicflows-2 (Tully et al. 2013, AJ, 146, 86) から抽出した。抽出したサンプルは、Bバンドにおける絶対等級 $M_B = -19.5$ mag と距離 $r = 80$ Mpc を満たす 1420 個の銀河から構成され、これを EDD sample とした。EDD sample の光度関数と、SDSS DR7 から抽出した $0.02 < z < 0.05$ を満たす銀河の光度関数を B バンドに色変換を行った上で比較する。分光された SDSS の銀河（分光サンプル）はハッブル定数 H_0 をある値に仮定すれば赤方偏移 z から距離を推定して絶対等級を求めることができる。SDSS の分光サンプルは完全サンプルではないため、本研究では、分光サンプルの限界等級 $r = 17.77$ mag まで、分光された銀河と測光された銀河の比率は赤方偏移（距離）によらず、見かけの等級だけで決まる関数で表されると仮定して補正を行った。この、 $z < 0.05$ において $M_B = -19.5$ mag の完全サンプルとなるように補正した分光サンプルを SDSS sample とした。Kolmogorov-Smirnov 検定で、SDSS sample と EDD sample の光度関数が有意水準 0.01 で統計的に差がないと見なせるハッブル定数の範囲は $44.9 < H_0 < 48.8$ km s⁻¹ Mpc⁻¹ と求められた。この値は 2015 年現在の最良推定値と考えられる $H_0 \sim 67 \pm \sim 1.2$ km s⁻¹ Mpc⁻¹ とは大きく異なっている。

講演では、この差について考えられる要因を吟味した結果と、本手法の応用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](#)

R04b **SPLASHで検出された天の川銀河内 OH メーザー天体の統計的特徴**

品野 晃介, 今井 裕 (鹿児島大学), Joanne Dawson (CSIRO), Andrew Walsh (ICRAR), ほか
SPLASH チーム

SPLASH (The Southern Parkes Large-Area Survey in Hydroxyl) では、パークス口径 64メートル電波望遠鏡を用いて、約 13' の角分解能で銀経 334 °から 368 °、銀緯 2.25 °から +2.25 °の範囲について OH の輝線 (1612, 1665, 1667, 1720 MHz) の掃天観測が行われた。今回の観測で合計 561 個の 1612MHz OH メーザー源を見つけることができた。本発表では、このメーザー輝線から得られた 2 つの結果を報告する。

まず、天の川銀河円盤内の OH メーザー源の銀緯方向における個数分布の厚さを推定した。そのために、SPLASH データから得られるメーザー源の個数分布と、自作した天の川銀河の簡易モデルから得られる OH メーザー源の個数分布を比較した。その結果、円盤の厚さは 160pc から 260pc の範囲であると求まった。

次に、OH メーザーが付随する天体のガス雲膨張速度の個数分布の特徴について調べた。スペクトルの形状がシングルピークとダブルピークであるメーザー源は、それぞれ星形成領域と赤色巨星星周ガス縁に OH メーザーが付随すると考えられ、それぞれの 334 個と 226 個であった。また、天の川銀河面にそった分布の厚みにおいて、この両者の違いが見られなかった。

以上のことから、OH メーザー源を伴う星形成領域と赤色巨星の分布にほとんど違いが見られないため、OH メーザー源が付随する赤色巨星は寿命が短く、比較的大質量であると推察される。これは、星周 OH メーザー源が酸素過多な星周ガス縁を形成する大・中質量星に付随するという事実と矛盾しない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05b 銀河ガス円盤数値実験による観測的可視化 II 天の川銀河

町田真美¹, 赤堀卓也², 中村賢仁³, 中西裕之² (¹九州大学、²鹿児島大学、³九州産業大学)

渦状銀河は平均で数 μG の磁場を持つ事が知られており、視線に平行な磁場構造はファラデー回転量度 (RM)、視線に垂直な磁場はシンクロトロン放射 (ストークスパラメータ) の観測から得る事ができる。我々は銀河磁場の増幅・維持機構と大局磁場構造の成因を探る目的で銀河ガス円盤の大局的 3次元磁気流体数値実験を行っている。その結果、磁気回転不安定性による磁束の増幅とパーカー不安定性による鉛直方向への磁束の抜け出しによるダイナモ機構によって、弱い種磁場は数 μG まで増幅し、数十億年維持できる事を示した (町田ら 2013)。また、数値計算結果を系外銀河と仮定し、センチ波、メートル波でどのように観測されるか調べたところ、メートル波では偏波解消によって磁気渦状腕ではむしろ放射強度が低下し、ハロー磁場構造をトレースできる事を示した (町田ら 2015 年秋季年会、守田ら 2016)。

本発表では、町田ら (2013) の結果を天の川銀河と仮定して観測した結果について報告する。中心から 8kpc、赤道面上に観測点を置き、RM、シンクロトロン放射強度を調べた。本研究では 1 万-100 万 K の温かいガスから高温プラズマを扱い、円盤部の平均ガス密度は 10^{-2} cm^{-3} 、ハロー部は 10^{-4} cm^{-3} と仮定している。また、平均磁場強度は円盤部で $5\mu\text{G}$ 、ハロー部で $\sim \mu\text{G}$ 程度である。これらの仮定の下、観測量を求めた所、系外銀河の場合同様、センチ波帯では、系内全体を見通している事、 $\pm 90 \text{ deg}$ の領域にシンクロトロン放射強度が相対的に弱まる領域が存在すること、銀河中心方向には筋状の強度濃淡が示される事がわかった。放射強度の濃淡はダイナモ機構の痕跡であると考えている。一方、メートル波帯になると、偏波解消により銀河面近傍の放射強度が弱まり、銀河中心領域から鉛直方向に噴出しているウィンドに付随した放射が卓越する事が示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06b 重力マイクロレンズ法による MOA-II 望遠鏡を用いた低質量 MACHOs の探索

及川仁士 (名古屋大学), MOA コラボレーション

我々MOA(Microlensing Observations in Astrophysics) グループではニュージーランドにある Mt. John 天文台において重力マイクロレンズ現象を利用した暗天体の観測を行っている。重力マイクロレンズ現象とは観測天体(ソース天体)と観測者との間を質量を持つ天体(レンズ天体)が通過すると、その重力によってソース天体の光が曲げられ、増光して観測される現象である。レンズ天体は光を発しなくても検出可能である。イベントのタイムスケール(t_E)は、レンズ天体の質量の平方根にほぼ比例する。MOA グループは、MACHOs(MAssive Compact Halo Objects)探索のために大/小マゼラン雲(LMC/SMC)を口径1.8m、視野2.2平方度の広視野望遠鏡MOA-IIを用いて毎晩観測している。暗黒物質の候補とされるMACHOsは、重力マイクロレンズ法を用いて複数のグループによって探索が行われてきたが、恒星質量のMACHOsは、暗黒物質の存在量の20%以下であることがわかっている。我々MOAグループの先行研究においても、LMC方向14領域のデータ(2006-2010年)を解析した結果、5例の重力マイクロレンズ候補イベントが検出されたが、MACHOsは銀河ハローを構成する質量の主要な要素ではないと結論づけられた(林文也,2011 修士論文、大森健吾,2012 修士論文)。しかしこのうち1例は t_E が9日というショートタイムイベントであり、これはレンズ天体が褐色矮星程度の低質量と推定される。こうした低質量MACHOsの探索は、過去にEROSグループによって行われている。しかし、口径わずか40cmの望遠鏡による浅い探索だった。より t_E が短いイベントを探すために2011年以降はイベントが検出された3領域に絞り、15分に1回という高頻度な観測を行ってきた。本講演では、現在進行中のデータ解析の概要と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](#)

R07c SCF 法による 2 つの球状銀河の合体シミュレーション

穂積俊輔 (滋賀大学), 岩澤全規 (理化学研究所)

Barnes & Hibbard (2009, AJ, 137, 3071) は、球状ダークマターに囲まれた円盤銀河どうしの相互作用による円盤の潮汐変形を求めるには、円盤粒子間の重力を無視してダークマターポテンシャル中に円盤状に置かれたテスト粒子の軌道を計算すれば十分であることを示して、Identikit という計算コードを開発した。彼らは、2 つの球状銀河を自己重力系として扱って合体シミュレーションを行う際に、各銀河のポテンシャル中に円運動するテスト粒子を円盤状に分布させて、その軌道を合体シミュレーションを行いながら追跡している。この方法を使えば、現実の潮汐変形銀河の形態を再現するような球状銀河中の円盤配置を探すことによって、各銀河の軌道パラメータを推定できる。ただし、円盤配置を変更するたびに新たに合体シミュレーションを行う必要がある。

そこで、系の密度とポテンシャルを直交基底関数系で展開してポアソン方程式を解く Self-Consistent Field (SCF) 法で合体シミュレーションを行えば、各時間ステップにおける重力場を与えることができるので、シミュレーション後に初期の球状ハロー中に円盤状に分布させた円運動するテスト粒子の軌道を、シミュレーションで求めた重力場中で追跡することができる。この方法では、1 回の合体シミュレーションに対して多くの円盤配置を調べることができる。さらに、円盤の潮汐変形はテスト粒子によって完全に並列で高速に計算できる。

今回、Identikit のような計算コードを実現する第一段階として、SCF 法で銀河の合体シミュレーションを行う計算コードを開発し、その評価を行った。テスト計算として、同じ銀河モデルどうしの合体シミュレーションを SCF 法と TREE 法で実行し、合体後の密度分布と速度分散分布を比較したところ、2 つの方法の結果は非常によく一致した。年会では、質量比の異なる合体シミュレーションの結果も示す予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08a 分子雲衝突を伴う巨大分子雲質量関数の進化

小林将人，犬塚修一郎，小林浩，長谷川賢二（名古屋大学）

Colombo et al. 2014 に代表される近傍銀河の観測から，巨大分子雲の質量関数の傾きが渦状腕間において大きく，それ以外の領域では緩やかであることが報告されている．これは渦状腕間領域では大質量巨大分子雲が形成されにくいことを示唆している．一方で多相磁気流体シュミレーションから，巨大分子雲の形成には中性水素原子雲を衝撃波によって多数回圧縮する必要があることが示唆されている (e.g., Inoue & Inutsuka 2008, 2012)．これらの結果を踏まえ Inutsuka et al. 2015 では，膨張する HII 領域ないしは超新星残骸の表面において多数回の衝撃波圧縮やそれに続く分子雲形成を再現するモデル構築が行われた．彼らはこのモデルを基にして，質量空間における巨大分子雲数の連続の式と大質量星による分子雲破壊を定式化し，その定常解が観測されている分子雲質量関数のべきを再現することを示した．しかしこの定式化には，大質量星形成や星団形成の起源として近年注目されている分子雲同士の衝突が考慮されていない．そこで本研究では，分子雲同士の衝突を表す項を Inutsuka et al. 2015 の定式化に導入し，巨大分子雲質量関数の時間発展を解いた．

その結果，大質量星形成や星団形成として重要である分子雲衝突は，10Myr 程度のタイムスケールで粗視化した場合巨大分子雲質量関数を大きく変動させることはない，ということが分かった．また我々の計算結果から，銀河を空間分解する今後の大規模な電波サーベイによって，銀河の様々な環境に応じた巨大分子雲生成タイムスケールの変動や，星形成に伴い形成される CO-dark gas が巨大分子雲形成にどの程度寄与するかを明らかにできる可能性が示唆されたので，本発表ではこれらの点にも触れる．

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R09a NRO レガシープロジェクト COMING(6): 近傍矮小銀河 NGC2976 における分子ガス分布と星形成

畠山拓也, 久野成夫, 田中隆広, 富安悠人, 川原裕佑, 中井直正 (筑波大学), 岸田望美, 徂徠和夫 (北海道大学), 武田美保, 柳谷和希, 村岡和幸 (大阪府立大学), 齊田智恵, 上野紗英子, 中西裕之 (鹿児島大学), 金子紘之, 宮本祐介, 諸隈佳菜 (国立天文台), 松本尚子 (山口大学 / 国立天文台), Dragan SALAK (関西学院大学), 他 COMING メンバー

我々は、野辺山 45m 鏡および新型マルチビーム受信機 FOREST を用いて、近傍銀河の一酸化炭素の 3 輝線 ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$) 同時観測のサーベイプロジェクト COMING を推進している。

NGC2976 は、距離がおよそ 3.6Mpc とごく近傍にある矮小銀河である。この銀河は棒状構造を持ち、その両端で活発な星形成を起こしており、銀河中心にも星形成領域が存在する (Dale et al. 2009)。我々は $R_{31}(=^{12}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=1-0))$ と分子ガス面密度 Σ_{H_2} および星形成率の関係を調べた。 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ は、低温で希薄なガスをトレースするのに対し、 $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ は、より高温高密度なガスをトレースすることから、 Σ_{H_2} が低くなると R_{31} が下降すると予想されたが、逆に、 Σ_{H_2} が低くなると R_{31} の上限値が上昇するという結果が得られた。この傾向は、星形成率が低い領域 (星からの放射によるガスの温度上昇が小さいと予想される領域, $SFR < 0.02 M_{\odot} \text{yr}^{-1} \text{kpc}^{-2}$) で顕著に現れた。また、同じ Σ_{H_2} で比較すると、星形成率が高いほど R_{31} が高くなる傾向が見られた。次に、ガスの面密度 $\Sigma_{\text{gas}}(= \Sigma_{\text{H}_2} + \Sigma_{\text{HI}})$ と分子である割合 $f_{\text{mol}}(= \Sigma_{\text{H}_2} / \Sigma_{\text{gas}})$ を比較したところ、 Σ_{gas} が高くなると、 f_{mol} が上昇し、 $\Sigma_{\text{gas}} \sim 8 M_{\odot} \text{pc}^{-2} (8.8 \times 10^4 M_{\odot})$ で分子ガスが形成され始める様子が確認できた。また、 Σ_{gas} が同じ領域で比較した場合、星形成率が高いほど分子である割合が減少する傾向が見られる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R10a 棒渦巻銀河 M83 における GMC スケールの CS と CH₃OH 分布

渡邊祥正, 西村優里 (東京大学), 坂井南美 (理研), 徂徠和夫 (北海道大学), 原田ななせ (ASIAA), 山本智 (東京大学)

巨大分子雲 (GMC) スケールの化学組成のもつ物理的意味の理解は、銀河円盤における GMC の形成や進化について化学分析という新しい視点からの探求につながる。さらに、GMC スケールの化学組成は、活動銀河核や爆発的星形成領域などの極限環境下における化学組成の研究においても基礎となる。そのため、我々は複数の近傍銀河や銀河系内の GMC に対して、分子輝線サーベイ観測を行い 1 kpc スケールから 10 pc スケールに至る様々なスケールでの化学組成を調べてきた (日本天文学会 2015 年秋季年会)。その結果、星形成の影響が GMC スケールの化学組成に与える影響は小さく、空間的に広がった分子ガスの化学組成が主に寄与している様子が明らかになってきた。一方で、近傍銀河を 100 pc スケールで空間的に分解すると、領域ごとの化学組成の違いが見えてきた。この違いは、主に kpc スケールのガスダイナミクスの影響であると推測される。

そこで我々は近傍の棒渦巻銀河 M83 のバー領域に対して、ALMA (Cycle 2) による高空間分解能観測を行った。観測は 90 GHz 帯 (Band 3) で行い、空間分解能は 1.5 秒 (~ 30 pc) であった。バー内部では、非軸対称なバーポテンシャルの影響で分子ガスに衝撃波が発生することが数値計算などにより明らかにされており、GMC スケールの化学組成に対する衝撃波の影響を調べる上で理想的な観測対象である。観測の結果、バーにある複数の GMC において CS と CH₃OH を検出し、GMC のよって CH₃OH/CS 強度比が異なることを見出した。この輝線強度比の違いは、場所ごとの衝撃波の強さの違いなどバー構造に伴うガスダイナミクスを反映している可能性が考えられ、バー構造における GMC 形成と星形成の理解において重要な糸口を与えるものと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R11a 低重元素量の矮小銀河における CO 輝線の観測

西村優里 (東大), 下西隆 (東北大), 渡邊祥正 (東大), 坂井南美 (理研), 山本智 (東大)

近傍にある矮小銀河は、重元素量が少ないという点で初期宇宙の銀河の環境と似ており、様々な分野で重要な研究対象となっている。低重元素量環境にある分子雲では、太陽系近傍のものとは比べ、重元素を含む分子の存在量が減るのみならず、星間塵の少なさに伴い光解離・光イオン化の効果が強く現れ、質的に異なった化学組成が見られると考えられる。これまでに我々は、重元素量が $\sim 1/2Z_{\odot}$ の大マゼラン雲 (LMC) にある 7 つの分子雲で 3 mm 帯のラインサーベイを行った。その結果、銀河系内の分子雲と比べると LMC では CCH が多く、逆に CH_3OH は少ないという特徴が見られた (Nishimura et al. 2016)。これに続いて、重元素量が $\sim 1/5Z_{\odot}$ の IC 10 でも同様に 3 mm 帯の観測を行ったところ、LMC と極めてよく似たスペクトルパターンが見られ、上述の LMC の特徴が低重元素量環境で一般に見られる可能性が示唆された (西村ほか、2015 年秋季年会)。

このような近傍の銀河の観測により、低重元素量環境に特徴的な化学組成が明らかになりつつある。一方、CO 輝線が観測されており、分子雲の詳細な観測が可能な銀河として知られているものは現時点では数個に限られる。そこで新たな観測対象を開拓するために、我々は 2015 年 10 月、ASTE 望遠鏡を用いて、重元素量が $1/20 - 1/5Z_{\odot}$ 程度の近傍の銀河 8 つを対象に $\text{CO}(J = 3 - 2)$ 輝線の観測を行った。その結果、NGC 6822, NGC 3109, NGC 55, IC 5152(初検出), WLM, Sextans A で CO 輝線を検出するとともに、IC 1613, Phoenix で上限値を決めることができた。CO が検出されたこれらの銀河は、高感度の観測で化学組成を調べるための良い対象として期待でき、今後、LMC や IC 10 のような化学組成の特徴が見られるかどうか、重元素量依存性を含めたより詳細な調査を進めたいと考えている。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R12b 近傍銀河における、空間分解した CO(3-2) 輝線光度 - 赤外線光度の関係

村岡和幸, 武田美保, 柳谷和希 (大阪府立大), 金子紘之, 中西康一郎 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大), 徂徠和夫 (北海道大), 濤崎智佳 (上越教育大), 河野孝太郎 (東大天文センター)

銀河中の星形成則は、Kennicutt-Schmidt 則に代表されるようなガス質量の面密度 - 星形成率の関係だけではなく、ある分子輝線光度 - (遠) 赤外線光度という形で記述されることも多い。こうした研究は、CO 輝線のさまざまな遷移について行われており、たとえば準位 J の違いによってベキ乗則の指数 N がどう変化するのかを調べた例も多い。しかし、それら先行研究のほとんどは遠方の高光度赤外線銀河やサブミリ銀河などに限られており、近傍銀河の 1 kpc 以下のスケールにおいても遠方銀河と同じ関係式が適用できるのかどうかは定かでない。

そこで我々は、サブミリ波望遠鏡 ASTE で観測した近傍の渦巻銀河 M 83、NGC 628、NGC 7793 の高感度な CO($J = 3 - 2$) 輝線マップを使うことで、CO($J = 3 - 2$) 輝線光度 ($L'_{\text{CO}(3-2)}$) と赤外線光度 (L_{IR}) の関係を 1 kpc 以下の空間分解能で調べた。さらに、その $L'_{\text{CO}(3-2)} - L_{\text{IR}}$ 関係を、JCMT Nearby Galaxy Legacy Survey の各サンプル銀河の全体光度を使った $L'_{\text{CO}(3-2)} - L_{\text{IR}}$ 関係と比較すると、両者はひとつの線形な $L'_{\text{CO}(3-2)} - L_{\text{IR}}$ 関係として記述でき、そのダイナミックレンジは 4 桁にも及ぶことを明らかにした。また、このようにして得られた近傍銀河における $L'_{\text{CO}(3-2)} - L_{\text{IR}}$ 関係は、Greve et al.(2014, ApJ, 794, 142) が高光度赤外線銀河やサブミリ銀河について得た関係式： $\log L_{\text{IR}} = (1.00 \pm 0.05) \log L'_{\text{CO}(3-2)} + (2.2 \pm 0.5)$ とよく合致することもわかった。このことは、高密度ガスをトレースする CO($J = 3 - 2$) 輝線と赤外線光度に関する線形な星形成則が、近傍の渦巻銀河円盤内の小規模な星形成領域から銀河中心スターバースト、そして遠方の赤外線やサブミリ波で明るい銀河まで、さまざまな星形成環境で普遍的に成立することを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13b 近傍銀河 NGC1808 の ALMA による $^{12}\text{CO}(3-2)$ 、連続波観測

富安悠人 (筑波大学)、Dragan SALAK(関西学院大学)、中井直正 (筑波大学)、宮本祐介 (国立天文台)、久野成夫 (筑波大学)、金子紘之 (国立天文台)、畠山拓也 (筑波大学)

スターバースト銀河では、ガスが銀河中心部へ落ち爆発的星形成を引き起こしていると考えられているが、銀河中心部の構造解明には高角分解能の観測が必要である。

NGC1808 は近傍のスターバースト銀河であり、中心 550pc において爆発的星形成が確認されている。これまでのダストの観測でガスのアウトフローが確認されており、また、分子ガスは中心付近 2kpc 領域に集中していることがわかっているが、中心付近の詳細な構造はこれまで観測されていなかった。高角分解能での観測によって、NGC1808 中心部の詳細な銀河構造をみることは、スターバースト銀河について議論をする上で重要である。

そこで我々は ALMA(Cycle2) にて NGC1808 の $^{12}\text{CO}(3-2)$ 輝線、連続波のモザイク観測を行い、これまでになく詳細な構造を明らかにすることに成功した。半径 ~ 500pc にリングがみられ、中心とリングの間に渦巻きらしい構造が確認できた。分子ガスが渦巻き構造をもつものに対して、連続波は中心付近にのみ強く受かっていた。特に銀河中心 (100pc 以内) では非常に多くの分子ガスが集中しており、連続波も強いことがわかった。また速度図において大きい non-circular 運動がみえている。本講演では、上記を含む、より詳しい結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14b 矮小銀河 NGC1569 におけるアウトフロー領域からの赤外線放射：ダスト特性の空間分布

鈴木仁研 (ISAS/JAXA)

星形成活動と物質進化は、互いに密接に関係する。銀河内の星の誕生・終焉によってガス中の金属量が増加し、ダストが形成される。ダストは、星の誕生に欠かせない水素分子を効率良く生成する。こうしたサイクルを経て、銀河進化と共に、多様な物質に富む現在の宇宙に至ったと考えられている。多様な星形成活動、物質進化と、その相互作用の総合的理解が銀河進化の理解には欠かせない。

矮小銀河 NGC1569 は、IC342 銀河群に属するメンバー銀河である。他のメンバー銀河との重力相互作用によって、NGC1569 は幾度もスターバースト期を経験している。中でも、最も活発な星形成が最後のスターバースト期に行われた。結果、強い恒星風や超新星爆発が星間物質の銀河ハローへの流出を促進させた (アウトフロー)。アウトフロー領域では、主に4つのスーパーバブルが存在する。X線と $H\alpha$ による観測によって、バブル内には高温プラズマ (10^{6-7} K) が満たされており、バブルの縁でショックが立っていることが分かっている。

赤外線天文衛星 Herschel によって、NGC1569 の遠赤外・サブミリ波撮像観測が行われた。従来よりも高い空間分解能 ($11''$ @ $160 \mu\text{m}$) によって、銀河円盤からアウトフロー領域までの詳細な赤外線放射分布を得ることができた。その空間分布は、4つのバブル構造と良い一致を示す。このことは、高温プラズマ領域にダストが存在していることを示唆する。また、局所領域毎にダストの特徴付けを行った結果、銀河円盤領域とアウトフロー領域でダストの特性が異なっている可能性が高い。特に、スターバーストを起こした領域に近いアウトフロー領域で、ダストの特性が変化している様子から、それは星形成活動に起因しているかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15b NGC4388 と M86 周辺領域の広がった X 線放射の分布と起源

菱右京, 小竹美里, 藤本龍一 (金沢大学)

NGC4388 はおとめ座銀河団の中心付近に位置する渦巻銀河である。この銀河の後退速度は 2540 km/s と銀河団の平均後退速度 1100 km/s に比べてはるかに大きい。すばるの観測によって、北東方向に 35 kpc に及び $H\alpha$ 輝線が見つかっており、これは銀河団ガス (ICM) による星間ガス (ISM) の動圧はぎ取り (ram-pressure stripping) によるものと考えられている (Yoshida et al. 2002; 2004)。すざくによる X 線観測では、これまでに $H\alpha$ 輝線放射と一致する位置から広がった X 線放射が検出され、温度 ~ 0.6 keV の衝突電離プラズマからの放射と矛盾しない結果が得られている (小澤他 2007 年春季年会, 横田他 2008 年春季年会)。XMM-Newton の観測でもやはり銀河の北東方向に広がった X 線放射が検出され、プラズマ温度は ~ 0.2 keV と ~ 0.8 keV の 2 温度と報告されている (Weźgowiec et al. 2011)。 ~ 0.8 keV の高温成分については、ICM とはぎ取られた ISM の mixing が示唆されている。

我々は、すざく衛星による観測データの解析を行い、北東だけでなく西側にも広がった X 線放射領域を見つけた (菱他 2014 年秋季年会)。今回、さらに詳細なスペクトル解析を行った結果、NGC4388 の周辺領域ではおとめ座銀河団の ICM だけではなく、 ~ 1.2 keV の M86 グループガスも存在していることが示唆された。そこで、M86 領域だけについてもスペクトル解析を行い、M86 グループの高温ガスの分布について調べた。本講演では、これらの結果より高温ガスの質量分布とその総量を見積もることで、NGC4388 と M86 周辺領域の X 線放射の分布とそ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](#)

R16b 水素電離輝線を用いた近傍 LIRG におけるダスト減光の観測的研究

小早川大, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 北川祐太郎, 寺尾恭範, 加藤夏子, 土居守, 酒向重行, 諸隈智貴, 橋場康人, 小久保充, 満田和真, 吉井讓 (東京大学), 小麥真也 (工学院大学), 金子紘之 (国立天文台野辺山)

我々は、バルジ形成メカニズムを解明するため、活発な星形成をしている近傍の高光度赤外線銀河 (LIRG) の観測的研究を行っており、特に星形成活動とバルジの速度構造の関係を解明しようとしている。LIRG は濃いダストに覆われているため (e.g. $A_V=2-6\text{mag}$; Alonso-Herrero et al. 2006), 東大アタカマ 1m 望遠鏡/近赤外カメラ (miniTAO/ANIR) を用い、ダスト減光の影響が小さい近赤外 $\text{Pa}\alpha$ 輝線の狭帯域撮像観測により星形成領域の空間分布を探ってきた (Tateuchi et al. 2015).

これまでの研究では、LIRG の濃いダストでは $\text{Pa}\alpha$ 輝線でも 1mag 程度の減光を受ける可能性を考慮しておらず、輝線表面輝度から見積もられる星形成領域の空間分布に不定性を残していた。減光量は 2 種類の水素電離輝線の強度比により測定可能であり、本研究では既に $\text{Pa}\alpha$ 輝線画像を取得済の近傍 LIRG について、miniTAO/ANIR による $\text{Pa}\beta$ 輝線および UH88/WFGS2, なゆた/LISS による $\text{H}\alpha$ 輝線の狭帯域撮像を行い、減光量を求めた。

その結果、 $\text{H}\alpha/\text{Pa}\alpha$ 輝線比から求めた減光量は、 $\text{H}\alpha/\text{H}\beta$ 輝線比 (Veilleux et al. 1995) から求めたものより大きい値をとる傾向があることがわかった。このことは、ダストに埋もれた星形成領域では輝線放射とダスト減光が視線上で混在しているため、長波長の $\text{Pa}\alpha$ 輝線に比べて減光が大きい $\text{H}\alpha, \text{H}\beta$ 輝線だけでは星形成領域の浅い部分で減光を受けた放射しか観測されず、測定される減光量は過小評価されていることを示していると考えられる。

本講演では、近傍 LIRG の観測で得られた各種輝線フラックスと減光量、それら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](#)

R17c 「すざく」による渦巻銀河 M31 中心部のアバundance比と星/ガスの分布

長谷川俊介, 松下恭子, 佐藤浩介 (東理大理), 小波さおり (首都大理工), 高橋弘充 (広島大理)

渦巻銀河には広がった高温ガスの存在が示唆されており、これまでに X 線観測によって含まれる元素量やその分布が調べられてきた。高温ガス中の元素は、超新星爆発や星からの質量放出によって供給されたと考えられている。X 線天文衛星「すざく」の観測により、スターバーストを起こしている M82 の銀河風領域に広がる高温ガスは、重力崩壊型超新星爆発によって合成された元素組成と一致する結果が得られた (Konami et al. 2011)。一方で星形成が活発ではない渦巻銀河 NGC4258 に広がる高温ガスは、太陽組成とほぼ一致する結果となった (Konami et al. 2009)。以上から、高温ガスの元素組成は 2 種類の超新星爆発の寄与を反映していると考えられ、その解明は銀河の化学進化過程や現在の超新星活動を紐解く手がかりとなる。

ASCA、XMM 衛星により渦巻銀河 M31 中心領域に広がる高温ガスの兆候が確認され、0.6/0.3/0.1 keV の熱的放射で良く表された (Takahashi et al. 2001,2004)。「すざく」衛星でも M31 中心部に付随する高温ガスの輝線を詳細に検出し、アバundance比を求めることができた (長谷川他、14 年秋季年会 R35a)。今回は M31 銀河の南方向にある観測を用いてフォアグラウンドの影響を詳細に考慮した結果、我々の銀河系と M31 銀河からの放射を正確に分離することに成功し、より正確なアバundance比を求めることが可能となった。本ポスターではバルジと円盤部それぞれのアバundance比について系統誤差の評価を含めて比較を行い、X 線光度、ガス質量-バルジ光度比を楕円銀河と比較した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18c 銀河の性質と分子ガスの中心集中度の関係；統計的研究

隈井泰樹（熊本学園大学）

渦状銀河における分子ガスの分布は、銀河円盤自身の構造や kinematics、あるいはバーや渦状腕によるガスの角運動量輸送、さらには銀河のまわりの環境からの外的作用などさまざまな要因によって影響を受けることが理論的に予測されているが、分子ガス分布が実際にはどのようにして決まっているかの観測的検証の試みは未だ数が多くない。今回、我々は様々な文献から観測データを収集して、近傍銀河の分子ガスの中心集中度に注目して、それとバー構造や渦状腕の”強さ”や親銀河の構造・内部運動、および銀河の周りの環境との関係について統計的調査を行った。その主な結果は以下のようなものである。

(1) バルジの有効半径内の輝度が明るい銀河は概して分子ガスの中心集中度が高い。また、銀河円盤の回転速度が大きな銀河ほど分子ガスの中心集中度が低い傾向があり、銀河円盤の回転速度と銀河中心の星の速度分散の比が小さい銀河の大部分は分子ガスの中心集中度が高い。

(2) Bar strength の大きさと分子ガスの中心集中度の間には正の相関が見られる。一方、spiral arm strength と分子ガスの中心集中度の相関は明瞭ではない。Bar strength と spiral arm strength の和の大きな銀河は例外なく中心集中度が高い、という強い傾向がある。

(3) 分子ガスの中心集中度には、field/group/cluster という銀河周りの環境分類や局所銀河密度に応じた系統的な変化は見いだせないが、最も密な環境にある銀河の分子ガスの中心集中度は高い傾向にある。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、分子ガスの中心集中度と銀河中心部での星形成や銀河中心核星団との関係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](#)

R19c 棒渦巻き銀河 M100 の ALMA データの解析 I

片野未優, 小野寺幸子 (明星大学), 坂野弘和, 石丸友里 (国際基督教大学), 道山知成, 安藤未彩希, 伊王野大介, 松田有一 (国立天文台)

棒渦巻き銀河 M100 の ALMA 科学評価データの解析を行い、銀河全体における分子ガスの空間分布と運動が星形成活動とどのように関係しているのかを調べた。2015年に公開されたバンド3の CO(1-0) データに対して CLEAN を行い、積分強度図と速度場図を作成した。CO(1-0) の積分強度図と紫外線画像を比較したところ、銀河の腕部分に分布の不一致(ずれ)が認められた。そのため、星形成が活発なところは、その材料である分子ガスの分布からずれていることがわかった。また、速度場図ではきれいな回転運動が見られたが、P-V 図を作って調べたところ、典型的な銀河円盤の回転曲線とは異なる運動を示す領域があることがわかった。その領域は銀河の棒構造の位置と一致しており、数値シミュレーションを用いた理論研究で予想されている棒構造内でのインフローが関係している可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20c 棒渦巻き銀河 M100 の ALMA データの解析 II

坂野弘和, 石丸友里 (国際基督教大学), 片野未優, 小野寺幸子 (明星大学), 道山知成, 安藤未彩希, 伊王野大介, 松田有一 (国立天文台)

棒渦巻き銀河 M100 の ALMA 科学評価データの解析を行い、星形成の材料となる分子ガス雲の物理的性質が銀河の構造とどのように関係しているのか調べた。2015年に公開されたバンド3の CO(1-0) データを用いて、分子ガス雲のクランプを同定し、その大きさ、速度分散、光度を測定した。各クランプに対して、その大きさと輝線速度幅から力学質量を求め、CO 輝線光度から分子ガス質量を求めた。クランプの性質と銀河の構造を比較した結果、サイズが大きなクランプ ($r > 500\text{pc}$) は銀河の中心部と腕構造に沿って分布していること、速度分散が大きなクランプ ($\sigma > 12\text{km/s}$) は銀河の中心部に分布していることがわかった。さらに、各クランプについて力学質量と分子ガス質量の比をとってみると、中心部と腕構造に分布するクランプは重力により束縛されているが (力学質量 $<$ 分子ガス質量)、中心部と腕構造をつなぐ棒構造に分布するクランプは重力に束縛されていない (力学質量 $>$ 分子ガス質量) ことがわかった。本講演では、分子ガス雲のクランプが分布する領域 (構造) によって、なぜこのような異なる性質を持つのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R21a **Interstellar chemistry in extreme starburst environment**

原田ななせ (台湾中央研究院)

Studies of galactic sources have shown chemical compositions differ in various stages of star formation. Regions influenced by shocks or external radiation such as UV-photons and cosmic rays also have unique chemical compositions. In environment of extreme starburst galaxies such as (ultra-) luminous infrared galaxies, these compositions are likely to change due to high cosmic-ray and UV-flux, as well as increased temperatures of dust. While chemical complexity of (U)LIRGs such as Arp 220 and NGC 4418 are being observed by Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA), theoretical understanding of these chemical features are needed. Here we focus on the dependence of chemical composition on dust temperatures in cold molecular cloud and hot core situation using a chemical model including gas-phase and dust-related reaction such as adsorption, desorption, and surface reactions. Our results show that the hot core chemistry in (U)LIRG-like environment is different from the Galaxy because elevated dust temperatures make dust-surface reactions more inefficient. These results are compared with the observations of (U)LIRGs, Arp 220 and NGC 4418 by ALMA and/or submillimeter array (SMA). Other driving forces of chemistry such as high fluxes of UV-photons and cosmic rays, and shocks are also briefly mentioned.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a ALMA でみた 10 pc スケールでの 1 型低光度活動銀河核 NGC1097

河野孝太郎, 泉拓磨 (東京大学), 松下聡樹, 原田ななせ (ASIAA), 中井直正 (筑波大学), S. Martín (ESO/JAO), K. Fathi (Stockholm Univ.), K. Sheth (NASA) 他 ALMA NGC1097 チーム

NGC1097 は、比較的距離が近く ($1''$ が約 70pc に相当)、AGN 周辺の星間物質の構造、力学および物理化学状態を調べる格好のターゲットである。我々は、ALMA cycle0 で band3(90GHz 帯) および band7(350GHz 帯) の $1''.5$ 分解能のデータを取得し、中心核付近の高密度分子ガスは化学的多様性に富み (Martín et al. 2015, A&A, 573, A116)、特に $\text{HCO}^+(4-3)$ や $\text{CS}(7-6)$ 輝線に対して $\text{HCN}(4-3)$ 輝線が顕著に卓越すること、その原因が高温での化学ネットワークによる HCN 分子の存在量の上昇であることを指摘した (Izumi et al. 2013, PASJ, 65, 100; Izumi et al. 2015, PASJ, submitted)。また、中心 100pc スケールでの力学から mass inflow rate (Fathi et al. 2013, ApJ, 770, L27) や SMBH 質量 (Onishi et al. 2015, ApJ, 806, 39) の推定も進められた。こうした研究をさらに進展させるべく、 $0''.13 - 0''.2$ すなわち解像度 ~ 10 pc の ALMA band7 観測を行った。 $\text{HCN}(4-3)$ 、 $\text{HCO}^+(4-3)$ 、 $\text{CO}(3-2)$ 各輝線共に中心核から $0''.5$ ほど離れた箇所にピークを持ち、そこで $\text{HCN}(4-3)/\text{HCO}^+(4-3)$ 比が ~ 2 程度の高い値を示す一方、中心核付近半径 ~ 10 pc 以内ではガス分布および $\text{HCN}(4-3)/\text{HCO}^+(4-3)$ 比ともに顕著なピークは見られないことから、AGN 周辺で観測される HCN 分子の卓越は X 線照射とは異なる物理要因であることが示唆される。 $\text{CO}(3-2)$ 輝線の速度場は円運動が卓越しており、SMBH の影響が現れる半径 (sphere of influence; NGC 1097 では ~ 12 pc 程度) での速度場から得られた力学質量は $\sim 2 \times 10^8 M_\odot$ であり、星の速度分散から推定された SMBH 質量と概ね整合する。中心核の $860\mu\text{m}$ 連続波は 2011 年から 2015 年の観測期間において顕著な (最大 1 桁程度の) 時間変動を示し、ダスト放射以外の成分が卓越してい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](#)

R23a Tidally-Disrupted Molecular Cloud Falling to the Galactic Center

M. Tsuboi, Y. Kitamura (ISAS/JAXA), K. Uehara (Univ. Tokyo), R. Miyawaki (J F Oberlin Univ.) and A. Miyazaki (NAOJ/JSF)

We found a molecular cloud connecting to the “Galactic Center Mini-spiral”, which is an ionized gas stream adjacent to Sgr A*, with ALMA Cy.1 observations (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi). The molecular cloud is prominent in the CS $J = 2 - 1$ and $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J = 1 - 0$ emission lines, which are high-density molecular gas tracers. The molecular cloud has a filamentary structure extending to the eastern arm of the “Mini-spiral”. The LSR velocity of the molecular cloud is around 100 km s^{-1} . The velocity is also smoothly connecting to that of the ionized gas in the eastern arm observed in the $\text{H}42\alpha$ recombination line. The morphological and kinematic properties suggest that the cloud is falling to the Sgr A* region and being disrupted with the tidal shear of Sgr A*. We also found the SiO $v = 0 J = 2 - 1$ emission in the boundary area between the filamentary molecular cloud and the eastern arm. Because the SiO emission line is a shock tracer, shocked gas seems to exist in the boundary area. This spot is presumably the shock front between the ionized gas of the “Mini-spiral” and the falling molecular cloud. We conclude that the filamentary cloud is the missing link between the Sgr A molecular cloud complex and the Sgr A* region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R24a **最近傍スターバースト銀河 NGC5253 における超星団の形成 II: 高速度幅コンパクト分子雲の発見**

三浦理絵, Daniel Esapada(国立天文台), 菅井肇 (IPMU), 中西康一郎, 廣田晶彦 (国立天文台)

スターバーストは、短期間に大量の大質量星を生み出していると考えられ、宇宙において最も大規模な星形成イベントである。スターバースト領域では、しばしば、大質量且つコンパクトな星団 ($> 10^6 M_{\odot}$ 、a few pc)、いわゆる超星団 (super stellar cluster: SSC) が確認される。

今回我々は、最近傍の最も若いスターバースト銀河 NGC5253 に対して、ALMA 望遠鏡による分子ガス高分解能のデータを取得した。NGC5253 は、その中心に2つの超星団が存在する事が知られているように、矮小銀河ながら活発な星形成を示すことから、スターバーストのメカニズムについて詳細な情報を得られる格好のターゲットである。Calzetti et al.(2015) によると、これらの2つの超星団は、非常に若く (1Myr)、さらに、一つの超星団はダストに深く埋もれている。ALMA による高分解能観測 (4pc) によって、2つのうち的一方、ダストに埋もれた超星団に、分子雲が付随していることが分かった。さらに、典型的な分子雲のサイズ-速度幅関係と比較すると、付随する分子雲はコンパクト (5-6 pc) の割に大きな速度幅 (22 km s^{-1} 、ゼロ強度での速度幅は 70 km s^{-1} となる) を持つことも分かった。この特徴は、天の川銀河中心で見つかった、高速度幅コンパクト分子雲 (High Velocity Compact Clouds: HVCC) に類似する。同程度の年齢とされる2つの超星団のうち、もう一方には、ガスはほとんど付随していなかった。この超星団は、星形成後まもなくして、ガスが吹き飛ばされてしまったと考えられる。講演では、このHVCCの広い速度幅の起源として、分子雲流、回転、ガス流入、および超新星爆発による膨張運動の、4つ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](#)

R25a Feeding and feedback of star formation in NGC 1808 revealed with ALMA

Dragan Salak (Kwansei Gakuin University), Naomasa Nakai (University of Tsukuba), and Yusuke Miyamoto (Nobeyama Radio Observatory)

We present CO(1-0) and 2.8-mm continuum observations of the galaxy NGC 1808 carried out with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) as part of our cycle 1 project. NGC 1808 is a nearby (11 Mpc), barred starburst galaxy with polar dust lanes from the nuclear 500-pc region associated with a gas outflow. Our observations, that include the extended 12-m array and Atacama Compact Array (ACA) data, reveal five distinct components of molecular gas are revealed at $2''$ (100 pc) resolution: (1) compact (< 200 pc), warped circumnuclear disk (CND) with high gas surface density ($10^3 M_\odot \text{pc}^{-2}$) and mass $M(R < 250 \text{ pc}) > 1.4 \times 10^8 M_\odot$, (2) nuclear spiral arms within 100 and 400 pc from the CND, (3) 500-pc ring, (4) gas-rich galactic bar (radius $a_b \simeq 3$ kpc), and (5) global spiral structure. There is also evidence for extraplanar gas ejected from the CND region. The bar pattern speed is derived to be $56 \pm 11 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ with corotation at $r_{\text{CR}} \simeq 3.2$ kpc and $r_{\text{CR}}/a_b \simeq 1.1$. The central rotation curve is derived using tilted-ring modeling and decomposed into a bulge and a core. There are two distinct systemic velocities: 998 km s^{-1} in the CND (< 200) pc and 964 km s^{-1} on the global scale. Between the CND and the 500-pc ring, a spiral arm is discovered associated with streaming motions. Radio continuum at 2.8 mm was detected at the galactic core and a number of discrete circumnuclear sources. The core is dominated by non-thermal emission with spectral index $\alpha = -1$ at 2.8 mm.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R26a H₂O iceの吸収から探る ULIRG 内部における星形成領域の構造

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)

Ultraluminous Infrared Galaxy (ULIRG; $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\odot}$) は銀河・星形成史において重要な役割を果たす。しかし、大量のダストに覆われているためその内部構造を把握することが難しい。本研究では、ULIRG 内部における星形成領域の構造を把握するために吸収観測の利用を提案する。吸収は強い光源を背景にした際に最も顕著に現れ、内部での吸収体の幾何的分布に制限をつけることが出来るためである。しかし従来行われていたシリケートの吸収を用いた観測は、その昇華温度が高い ($\sim 10^3$ K) ため星形成の母体となる低温ガス・ダストを選択的に研究するには不向きである。そこで我々は $3.0 \mu\text{m}$ に存在する H₂O ice の吸収に着目した。 $3.0 \mu\text{m}$ H₂O ice 吸収の観測は以下の点で有利である。まず H₂O ice の昇華温度はシリケートに比べ低く ($\sim 10^2$ K)、低温環境を良く反映するという大きな利点がある。さらに H₂O ice の $3.0 \mu\text{m}$ の吸収は H₂O ice の持つ吸収の中で最も強く、従って遠方でも観測に有利である。観測には、この吸収全体を感度良く観測できる現時点で唯一の手段である赤外線天文衛星「あかり」の近・中間赤外線カメラ (IRC) を用いた。 $3.0 \mu\text{m}$ H₂O ice 吸収の近傍には、星形成の指標となる PAH 放射や水素輝線が混在している。従って我々は、IRC の近赤外線分光データ ($2.5 \mu\text{m} - 5.0 \mu\text{m}$) のうち、 $3.0 \mu\text{m}$ H₂O ice 吸収だけでなく、これらのフィーチャーも含めて $2.5 \mu\text{m} - 3.9 \mu\text{m}$ の範囲でスペクトルのフィッティングを行い、H₂O ice の光学的厚みを正確に求めた。本講演では、得られた結果を用いて、ULIRG 内部における星形成活動の構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R27a HCG92 (Stephan's Quintet) の「あかり」衛星近-中間赤外線観測

池内綾人, 左近樹, 臼井文彦, 尾中敬 (東京大学), Frederic Galliano (CEA/Saclay)

ヒクソン・コンパクト銀河群 (HCGs) は、各コンパクト銀河群を構成する銀河の約 43% で重力相互作用の痕跡が確認されることから、衝突合体の銀河進化への影響を探る上で重要な研究対象である。中でも、HCG92 (Stephan's Quintet) はこれまで多波長での観測が実施されてきた最も有名なコンパクト銀河群の 1 つで、5 つの銀河 a-e で構成される。中間-遠赤外線にかけての波長域は星間ダストの放射から銀河の熱源を探る上で重要であるが、赤外線分光観測に基づく HCG92 の各構成銀河の星間ダスト放射の研究は不十分である。我々は HCG92 の「あかり」衛星近・中間赤外線カメラ (IRC) のスリット/スリットレス分光および撮像観測を実施し、構成銀河 a (HCG92a) および銀河 c (HCG92c) の近-中間赤外線スペクトルを取得した。HCG92a のスペクトルには、3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 μm に顕著な未同定赤外線 (UIR) バンドが検出され、先行研究の結果と併せて、HCG92a が顕著な星形成活動を伴う前景銀河であると考えられる。一方、HCG92c の中心核領域のスペクトル中には顕著な UIR バンドは見られず、9.7 μm のシリケートによる吸収バンドと 8 μm 付近に broad な放射バンド構造を示す赤い連続光スペクトルが得られた。S7 (7 μm) 及び S11 (11 μm) の撮像データからは、HCG92c の中心核近傍において S7/S11 \sim 0.4 という小さい値が得られ、さらに分光観測の結果を考慮すると、HCG92c が AGN を有する銀河に特徴的な赤い連続光放射スペクトルを示す銀河である事が示唆された。一方、HCG92c の中心核周辺の淡く広がった構造では、S7/S11 \sim 0.6-0.8 とやや高い値を示した。この値は、顕著な UIR バンドを示す銀河 HCG92a で見られる値 (S7/S11 \sim 1.0) と比べてやや小さいものの、弱い UIR バンドの存在、即ち銀河外周部での星形成活動の存在を示唆する。本講演では、HCG92 の赤外線観測に基づき、銀河間相互作用が銀河進化にもたらす影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R28a ALMA observations of the dense/shocked gas in the nuclear regions of the Antennae galaxies

Junko Ueda (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and the Research Team

Dynamical interactions and mergers of two gas-rich galaxies can result in galaxies bright in IR luminosity. Numerical simulations have predicted the ubiquitous presence of large scale central gas inflow that leads to central gas accumulation and subsequent starburst activity. In order to investigate the relation between dense molecular gas and its relation to the central starbursts and to test the theoretical predications of gas rich merger simulations, we have conducted 3 mm ALMA observations of the Antennae Galaxies (NGC 4038/9) at 100 pc scale. Five molecules (HNCO, HCN, HCO⁺, CH₃OH, and CN) were detected in the central 1 kpc region of NGC 4038. In contrast to previous studies using lower resolution data, we find high HCN/HCO⁺ line ratios (~ 2) around the nucleus. We investigate whether the HCN enhancement is related to star formation activities and X-ray luminosity, but there is no robust correlation between them. The peak of the CN/HCN line ratio is clearly consistent with the 8 μ m emission peak, and thus the CN/HCN ratio is a good tracer to probe active dusty star forming regions, which is consistent with previous studies on other galaxies. In addition, the HNCO and CH₃OH emission, which has been considered to trace large-scale shocks, is detected between two molecular gas components which are identified by applying automatic clump identification algorithm to the ALMA CO (3-2) data. Since one component appears to inflow into the other component, these lines possibly trace the collision between the gas components.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R29a **ASTE を用いた衝突の初期段階の銀河ペアのサーベイ観測**

道山知成 (総研大/国立天文台)、伊王野大介 (総研大/国立天文台)、斉藤俊貴 (東大)、中西康一郎 (総研大/国立天文台)、安藤未彩希 (総研大/国立天文台)、金子紘之 (国立天文台)、山下拓時 (宇宙研)、植田準子 (CfA)

銀河と銀河の衝突は宇宙で頻繁に起こっている。また、様々なシミュレーションから銀河衝突によって星形成活動が誘発されていることが示されている。宇宙における星形成を理解する上で、銀河衝突の研究は重要であるといえる。赤外線光度 L_{FIR} と CO 光度 L_{CO} は相関することが知られている。これらの量はそれぞれ銀河の星形成率 (SFR) と分子ガス質量の指標であり、この相関は銀河スケールでの星形成則を示している。近年の研究で、銀河スケールの星形成則は孤立した渦巻き銀河と爆発的星形成銀河の間で異なるという主張がある (bimodality)。そこで、本公演では渦巻き銀河と爆発的星形成銀河の中間的な存在である衝突銀河はどのような星形成則を示すのかについて発表する。CO (3-2) 輝線は暖かく高密度な分子ガスの指標となり、直接星形成に関連する分子ガスの量を知ることができる。そこで、衝突の初期段階の銀河 18 天体、後期段階の銀河 9 天体を ASTE を用いて CO (3-2) 観測を実施した。また、赤外線光度は AKARI の点源カタログから導出した。これまでに観測されている銀河を含め、28 個の孤立した渦巻き銀河、28 個の衝突の初期段階銀河、38 個の衝突の後期段階の銀河で相関を調べた。その結果、星形成則の bimodality は確認できなかった。しかし、孤立した渦巻き銀河と衝突銀河では、 $L_{\text{FIR}}-L_{\text{CO}}$ 平面上での傾きが異なることがわかった。また、衝突銀河では星形成効率 ($SFE = L_{\text{FIR}}/L_{\text{CO}}$) が L_{FIR} との間に正の相関があることもわかった。孤立した渦巻き銀河ではその相関は見られなかった。これらの振る舞いの違いは衝突銀河における星形成と孤立銀河における星形成モードの違いを表していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R30a 星形成衝突銀河 NGC 1614 における CO 分子ガスの状態

安藤未彩希 (総研大/国立天文台), 伊王野大介 (総研大/国立天文台), 斉藤俊貴 (東大), 植田準子 (CfA), 道山知成 (総研大/国立天文台)

ガスを豊富に持つ銀河が衝突することで星形成活動が活性化されるということが理論的にも観測的にも示されている。星形成が活発な銀河の中心付近はダストに覆われていることが多く、その領域における物理状態を明らかにするためには分子ガス輝線による観測が有用である。gas-rich な銀河に多く含まれる ^{12}CO 分子ガスとその放射性同位体である ^{13}CO ガスの観測から、明るい衝突銀河における低励起の $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線比が通常の銀河よりも高くなることが知られている。しかし、空間的に分解した観測が少ないため、比が高くなる原因については諸説あるものの定まっていない。

本研究では、ALMA を使って星形成活動が活発な衝突銀河 NGC1614 の空間的に分解した $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(2-1)$ 輝線比を求めた。全体の平均的な比は 40 程度となり、このような衝突銀河に典型的な値となった。しかし比の空間分布を見ると、星形成が活発な中心付近ほど比が低いという、従来考えられていたものとは異なる傾向が見られた。このことから、NGC1614 に関しては比が高くなる原因は衝突の影響でインフローや乱流による大きな速度勾配がガスに生じて ^{12}CO の opacity が小さくなることだと示唆される。さらに、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ のデータも用いて輻射輸送を解くことなどでより詳しい物理状態についても考察する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R31c 銀河中心における連SMBHまわりの星の速度構造 II

船渡陽子 (東京大学)

近年、観測技術が進み、銀河中心付近にあるブラックホール周辺の星などの密度や運動の構造の詳細がわかるようになってきた。その結果、2011年2月には、それまでの最大質量(2011年2月当時)の巨大ブラックホールの発見が報告された(McConnell, et al., 2011)。McConnell等は補償光学と面分光を組み合わせることにより、銀河中心付近の星の運動をそれまでになく精確に観測した。その結果、NGC4889の中心には巨大ブラックホール(SMBH)があり、その質量は $2 \times 10^{10} M_{\odot}$ とそれまで知られたどのSMBHよりも大きな質量を持つと推定される、と結論した。

筆者達は以前に中心に1個のSMBHを含む銀河どうしの合体の様子を N 体シミュレーションし、上の観測で得られたような星の運動のプロファイルが得られるかどうかを調べ、観測されたNGC4889の速度プロファイルは、1個のSMBHがあるとするよりも、2個のまだ合体していないSMBHが存在するとしたほうがよく合うと示した(2013年日本天文学会春の年会)。

ただし前に行ったシミュレーションには、使われた粒子数が小さく、空間分解能や、ブラックホールと星、またブラックホールと銀河全体の質量比などが実際のそれと比べて小さいという問題があった。

今回は粒子数を100倍増やしたシミュレーションを行い、定性的には以前と同様の結果が得られたので、そのことについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R32c ALMA による NGC1566 の銀河中心の観測とガスの運動

津久井崇史(東北大学), 井口聖(国立天文台/総合研究大学院大学), 大西響子(総合研究大学院大学)

巨大銀河の中心には太陽質量の 100 万倍から 1000 億倍程度の巨大ブラックホールが存在することが知られている。また、これまでの観測研究から銀河中心のブラックホール質量と銀河バルジの中心の速度分散には強い相関があることが分かり、このことから銀河とブラックホールの成長には深く関係があると考えられる。ブラックホールが成長していくためには多くの周りの物質を取り込む必要があり、銀河の成長にはガスが活動銀河核に向かう流入と、そこからの放出過程が深く関わっていると考えられる。したがって、銀河中心周辺のガスの運動を調べることは銀河とブラックホールの共進化を解く大きな手掛かりになると考えた。今回比較的近い銀河高感度、高分解能の ALMA データを使用して銀河中心を詳しく見た。NGC1566 の ALMA の観測アーカイブデータ(空間分解能 1.61 秒角)で CO(1-0) の分子輝線を用いて銀河中心付近における CO ガスの分布と運動を調べ、速度分布図を得た。この速度分布図には銀河の固有の回転による速度成分と回転成分とは別のガスの動きの速度成分が混ざっていると考え、銀河の回転速度成分を速度分布図から引けば銀河の回転に埋もれていて見えなかったガスの運動成分が得られると考えた。得られた PV 図から銀河の固有の回転速度成分のモデルを作成した。作成した銀河の固有の速度成分のモデルを速度分布図から引いた結果、中心部分にガスの動きに見える速度分布があった。本発表では NGC1566 の興味深い速度分布図と銀河固有の速度成分に埋もれていたガスの運動を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【S. 活動銀河核】

3月14日(月) 午後(13:48-15:00) [F会場]

S01b	13:48	銀河系核周円盤と M-0.13-0.08 との物理的接触の発見 竹川俊也 (慶應義塾大学)
S02b	13:48	活動銀河核 3C84 の近傍 10pc のガスの状態の推定 藤田裕 (大阪大学)
S03b	13:48	Extremely high-velocity inflow of SiO onto the radio galaxy NGC 1052 亀野誠二 (Joint ALMA Observatory)
S04a	14:00	活動銀河核の活動性と銀河核ガス円盤の幾何学構造の関係 川勝望 (呉工業高等専門学校)
S05a	14:12	ブラックホール降着円盤周辺での層雲の安定性 仲井琢哉 (大阪教育大学)
S06c		Wind-ADAF モデルにおけるシンクロトロン放射スペクトルの特徴 早川賢 (大阪教育大学)
S07a	14:24	NuSTAR による広帯域 X 線スペクトルで探る 1H0707-495 のアウトフローの幾何学構造 都丸亮太 (宇宙航空研究開発機構)
S08a	14:36	AGN Outflow の多視線観測による Kinetic Luminosity の不定性評価 三澤透 (信州大学)
S09a	14:48	Ultra Fast Outflow のラインフォース駆動型円盤風モデル: 質量・エネルギー放出率と AGN 光度依存性 野村真理子 (筑波大学)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [F会場]

S10a	09:30	フェルミガンマ線宇宙望遠鏡が捉えたブレーザー 3C 279 からの数分スケールで変動する 100 MeV ガンマ線放射 林田将明 (東京大学)
S11a	09:42	日韓合同 VLBI 観測網 KaVA による M87 ジェット加速領域の高頻度・高解像度モニター 秦和弘 (国立天文台)
S12a	09:54	多周波 VLBI 観測による AGN NGC 4261 ジェット形状探査 中原聡美 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
S13a	10:06	電波銀河 M87 におけるジェットと星間物質との相互作用 II 大曾根聡子 (元産業技術総合研究所)
S14a	10:18	Rayleigh-Taylor 不安定性が相対論的ジェットで成長する条件 松本仁 (理化学研究所)
S15a	10:30	「すぎく」による深く隠された活動銀河核の広帯域 X 線観測 谷本敦 (京都大学)
S16a	10:42	狭輝線 1 型セイファート銀河 MCG-6-30-15 の 0.2-78 keV における広帯域 X 線スペクトル変動の解釈 楠絵莉子 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S17a	10:54	コンプトンショルダーにおける X 線散乱体のパラメータ依存性 米田浩基 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S18a	11:06	Witnessing the final stage of AGN in Arp 187 市川幸平 (国立天文台)
S19a	11:18	「あかり」遠赤外線全天点源カタログ改訂版の公開 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)
S20a	11:30	「あかり」遠赤外線全天サーベイから探るクェーサーの星形成史 高橋百合野 (名古屋大学)
S21c		HSC すばる戦略観測サーベイにおける SED fitting を用いた高赤方偏移クェーサー選択法の開発 尾上匡房 (総合研究大学院大学)

S01b 銀河系核周円盤と M-0.13-0.08 との物理的接触の発見

竹川俊也, 岡 朋治, 田中邦彦 (慶應義塾大学)

銀河系中心核 Sgr A* は $4 \times 10^6 M_{\odot}$ の超巨大ブラックホールを有する低光度活動銀河核である。現在、Sgr A* は極端に非活動的であるが、過去には激しく活動していた可能性がいくつかの観測結果から示唆されている。そして Sgr A* は、核周円盤 (circumnuclear disk; CND) と呼ばれる濃密な分子ガスリングに取り囲まれている。CND の内半径は約 2 pc であり、差し渡し 10 pc に渡り Sgr A* に対して非対称的に広がっている。さらにその外側には、2つの巨大分子雲 (M-0.02-0.07 および M-0.13-0.08) が隣接し、これらは CND と相互作用している可能性が示唆されている。銀河系の CND は系外の活動銀河核におけるダストオーラスに相当し、中心核活動の燃料貯蔵庫と考えられている。よって、中心核活動を理解する上で CND の起源および実体を把握することは極めて重要である。

私達は、これまで野辺山 45 m 電波望遠鏡および ASTE 10 m 電波望遠鏡を用いて、CND およびその周辺の分子輝線観測を行ってきた。その結果の一つとして、M-0.13-0.08 と CND とを連続的に繋ぐ構造を発見した (2014 年秋季年会 Q20a, 2015 年春季年会 S29a)。今回私達はさらに解析を進め、CND とその手前の M-0.13-0.08 が衝突していると考えれば観測結果をうまく説明できることを見出した。このような衝突によりガスの角運動量が失われ、CND への質量供給が起きる事が考えられる。本講演では、CND 観測の現状を整理し、CND の物理・化学的性質とその周辺環境について議論する。また、銀河系 CND と活動銀河核ダストオーラスとの比較を行い、銀河系中心核と系外活動銀河核の類似点・相違点をまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02b

活動銀河核 3C84 の近傍 10pc のガスの状態の推定

藤田 裕 (大阪大学), 川勝 望 (呉高専), Isaac Shlosman (Kentucky), 伊藤裕貴 (理化学研究所)

銀河中心の巨大ブラックホール近傍 ($\lesssim 10$ pc) のガスの状態についての情報は、ブラックホールへの降着やその活動の手がかりになる。しかし、そのような近傍の情報を観測的に得るためには、極めて高い角度分解能が必要なため、これまでは電波の VLBI 観測でしか有効な情報は得られていない。その電波観測に関しても、観測されるのはシンクロトロン放射であるため、得られるのは非熱的粒子の情報であり、ブラックホールへ降着するガスの大部分を占めるとされる熱的なガスの情報ではない。そこで我々は VLBI 観測で得られた若い電波ローブの観測と、簡単な理論モデルを組み合わせることで、巨大ブラックホール近傍の熱的ガスの状態について推定を行った。

ターゲットとして選んだのは活動銀河核 3C84 である。この天体の中心 $\lesssim 10$ pc にある電波ローブはごく最近のブラックホールの活動でできたと考えられ、周囲の熱的なガスと相互作用しながら膨張している。ローブと周囲のガスとの運動量のつり合いを考えると、ローブに注入されたエネルギーが大きいくほど、ローブの膨張速度は大きくなる。また周囲のガスの密度が高いほどローブの膨張速度は小さくなる。この関係と VLBI 観測で得られた膨張速度を比較すると、ローブに注入されたエネルギーと周囲のガス密度との間に一定の関係が得られる。その結果、ローブの周囲のガスの密度が十分低く ($\lesssim 1\text{cm}^{-3}$) ないと、現在の 3C84 の比較的弱い活動を説明できないことがわかった。一方、他の観測から高密度なガス ($\gtrsim 1000\text{cm}^{-3}$) の存在も指摘されているので、ガスの分布は著しく非一様であり、おそらく一部は冷たいガスの円盤を形成していると考えられる。またいわゆる Bondi 降着は、観測で得られたローブの膨張速度から推定される注入エネルギーと矛盾するので、少なくともこの天体では起きていないことがわかった。(Fujita et al. 2016, MNRAS, 455, 2289)

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S03b

Extremely high-velocity inflow of SiO onto the radio galaxy NGC 1052

亀野誠二, Violette Impellizzeri, Daniel Espada (JAO)、澤田-佐藤聡子 (茨城大)、中井直正 (筑波大)、菅井肇 (Kavli IPMU)、寺島雄一 (愛媛大)、河野孝太郎, Lee Minju (東京大)

To investigate physical condition of accretion matter onto AGN, we conducted ALMA observations of a nearby radio galaxy, NGC 1052. This source emanates a twin sub-luminal jet (Kadler+2004) and harbors a dense plasma torus discovered via free-free absorption (Kameno+2001) and dense molecular gas that exhibits H₂O maser (Claussen+1998; Sawada-Satoh+2008) and absorption lines (Liszt+2004; Impellizzeri+2008). With a 0''.2 (20-pc) resolution, continuum emission was detected as a point-like source. We detected clear CO ($J = 1 - 2$), SiO ($J = 4 - 5$, $v = 0$ and 1) absorption lines toward the continuum component. The CO absorption profile is fit with $V_{\text{CO}} = 1497 \pm 79 \text{ km s}^{-1}$ (center \pm FWHM/2), which covers the systemic velocity of $V_{\text{sys}} = 1471 \text{ km s}^{-1}$. The CO absorption is considered to represent diffuse molecular gas in the host galaxy. On the other hand, SiO did not reveal any systemic-velocity features. SiO $v = 0$ showed a single redshifted absorption feature of $V_{\text{SiO},v=0} = 2073^{+115}_{-70} \text{ km s}^{-1}$. Furthermore, SiO $v = 1$ exhibits three absorption components of $V_{\text{SiO},v=1} = 2008 \pm 71$, 2754 ± 74 , and $3182 \pm 112 \text{ km s}^{-1}$. These absorption features indicate high-velocity ($500 - 1800 \text{ km s}^{-1}$) mass inflow with respect to the systemic velocity. The SiO gas could be evaporated from a dust torus irradiated by the central engine. The higher velocity of SiO than those of H₂O maser and OH absorption implies inflow stream from the torus to the central engine.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S04a 活動銀河核の活動性と銀河核ガス円盤の幾何学構造の関係

川勝望 (呉高専)、和田桂一 (鹿児島大)

近年の高精度観測装置によって、銀河の中心には太陽質量の100万倍から100億倍もの超巨大ブラックホールが普遍的に存在することが明らかになってきた。また、最近の近傍銀河の観測から、銀河中心核の活動性が、銀河中心50pc領域のガス円盤(銀河核ガス円盤:CND)での星形成率、ガス密度や幾何学構造と関係していることが報告されている。しかし、CNDの物理状態が、ブラックホールへのガス降着率とどのように関連しているのかは未だに良く分かっていない。

そこで、我々はこれまで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(Kawakatu & Wada 2008, 2009)を構築し、銀河中心核の活動性とCNDの関係を調べてきた。本講演では、活動銀河核(AGN)からの非等方放射(輻射圧)とCNDでの超新星爆発によるフィードバックを考慮して、特にブラックホールへのガス降着率とCNDの幾何学構造の関係を調べた。その結果、次のことが分かった。(i) エディントン光度比が高くなるにつれて、CNDは幾何学的に厚くなる。(ii) エディントン光度比がある閾値を超えると、輻射圧が重力を卓越し、CNDのガスが吹き飛ばされるために、CNDは幾何学的に薄くなる。(iii) エディントン光度比が低くなりすぎると、CNDが重力的に安定となり、幾何学的に薄いCNDが形成される。以上の結果は、CNDの幾何学構造がエディントン光度比と密接に関係することを予言するものである。最後に、AGNからの輻射圧によるフィードバックは、CNDの構造に大きな影響を与えるが、その一方でスーパーエディントン降着と共存できることについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a ブラックホール降着円盤周辺での層雲の安定性

仲井琢哉、福江 純（大阪教育大学）

活動銀河中心核のブラックホール降着円盤周辺などには、無数のガス雲が存在すると考えられており、これらのガス雲によって観測はさまざまな影響を受ける。粒子的な取り扱いで降着円盤の輻射を受けたガス雲の安定性は過去に調べられているが（Fukue 1996；Kitabatake and Fukue 2003）、今回は、ブラックホール降着円盤周辺にある層雲の安定性を、輻射輸送効果を考慮して計算した。

ブラックホール周辺にある層雲は、ブラックホールからの重力、層雲の回転運動による遠心力、そして降着円盤からの放射による輻射力の3つの力を受ける。ガス雲の光学的厚みや降着円盤の光度にも依存するが、ブラックホール近傍の内部領域では、輻射力が大きくこの3つの力のつり合う点は存在せず、層雲はwindとして外へ吹き出すことになる。ブラックホールからある程度離れると、この3つの力がつり合う点が存在し、層雲はその場所で安定に存在することになる。計算の結果、たとえば、光学的に薄い層雲（ $\tau = 0.1$ ）の場合では、ブラックホール中心から約 $50r_g$ までにはつり合う点はなく、層雲はwindとして吹き出し、それより遠くでは、層雲は降着円盤からの高度約 $20r_g$ で安定に存在することが分かった。

これら結果は、粒子で計算された場合（Fukue 1996）と大きく異なることが分かった。この原因は、層雲による輻射の吸収、散乱などの輻射輸送効果にある。輻射輸送効果により、層雲は粒子の場合より最大で2倍の輻射力を受けることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06c

Wind-ADAF モデルにおけるシンクロトロン放射スペクトルの特徴

早川賢、福江純（大阪教育大学）

Hayakawa & Fukue (2015) では熱的および非熱的電子シンクロトロン放射モデルを仮定し、中心の大質量ブラックホールから定常的に吹いている光学的に薄い球対称風 (Black Hole Wind) のスペクトルを輻射輸送の観点から計算した。また、相対論的效果についても考慮しており、速度が変化することによるスペクトルへの影響についても研究している。結果として得られるスペクトルの形は ADAF モデルを採用した Özel et al. (2000) と類似しており、光学的に薄い状態 ($\tau_\nu = 0$) で計算した total emissivity spectrum についても ADAF モデルを考慮した Kato et al. (2009) に類似していた。これは、スペクトルの形がフローの向きには寄らず、中心の密度分布や温度分布に強く依存していることを示唆している。

本研究では、より現実的なモデルとしてインフローとアウトフローの両方を考慮した Wind-ADAF モデルを採用し、Hayakawa & Fukue (2015) と同様の方法でスペクトルを輻射輸送の観点から計算した。インフローには ADAF の自己相似解を採用している (Akizuki & Fukue 2006, Narayan & Yi 1994)。結果として、今回のモデルでは Hayakawa & Fukue (2015) と比較してより大きな光度を生成することができた。この結果は、Wind と ADAF の密度分布の違いによるものだと解釈することができる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S07a **NuSTARによる広帯域X線スペクトルで探る1H0707-495のアウトフローの幾何学構造**

都丸亮太(東大理、ISAS/JAXA)、萩野浩一、渡辺伸、高橋忠幸 (ISAS/JAXA)、小高裕和 (SLAC)

近年のX線観測により、活動銀河核 (AGN) で Ultra-Fast Outflow (UFO) と呼ばれる光速の10-30%にもなるアウトフローが起きていることが示唆されている。このUFOは大きなエネルギーを輸送できるので銀河とその中心ブラックホールの共進化に大きな影響を与えていると考えられている。

1型セイファート1H 0707-495にもUFOが存在しているのではないかとわれわれは考えた。このAGNは7 keV付近で顕著に落ちるスペクトルをしており、従来はブラックホールのごく近傍のからの反射により説明されていた。われわれはUFOによる吸収を考慮したスペクトルモデルを構築することで、XMM-NewtonとSuzakuの2-10 keVの範囲においてすべての観測結果を再現することに成功した (Hagino et al. 2015)。しかしながら1H0707-495で存在しているUFOが周囲へ与える影響や、その幾何学構造は依然謎のままである。

今回、われわれはNuSTARによる1H 0707-495の観測データを解析した。NuSTARにより得られる10 keV以上の硬X線観測のデータを用いることで、広帯域の連続成分を初めて正確に評価できるようになった。したがって以前よりも正確にFe-Kバンドの輝線放射や吸収が調べられ、この輝線放射成分から、周囲の環境に与えるエネルギーの大きさを考える上で不可欠な、UFOが占める立体角を調べることができる。われわれはNuSTARによる吸収が最も強い観測データをUFOのスペクトルモデルでフィットすることで、2-30 keVの範囲でNuSTARのデータも矛盾なく説明できた。さらにほかの2つのNuSTARとSwiftの同時観測のデータも解析した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a

AGN Outflow の多視線観測による Kinetic Luminosity の不定性評価

三澤透 (信州大学), Cristian Saez (KASI), Jane C. Charlton (Penn State Univ.), George Chartas (College of Charleston), 稲田直久 (奈良高専)

2010年に着手した「大離角レンズクェーサー SDSS J1029+2623 ($z_{em} \sim 2.197$, $\theta \sim 22''.5$) を用いた多視線分光観測」によって、放出速度が 1000 km s^{-1} 以下の吸収線については、レンズ像 A,B による多視線観測が実現出来ている可能性が高いことを既に確認している (Misawa et al. 2013, 2014; 過去の天文学会で発表)。一方で、放出速度が $\geq 10000 \text{ km s}^{-1}$ と大きく、線幅が小さい吸収線 (Narrow Absorption Lines; NALs) については、アウトフローのみならず別の起源 (IGM や foreground galaxies) を持つものも考えられる。両者の区別には高分散高 S/N 比のスペクトルが要求されるが、我々が有する Subaru/HDS のデータ ($S/N \sim 10 \text{ pixel}^{-1}$) ではやや困難であった。そこで本講演では、VLT/UVES を用いた同天体に対する高分散分光観測を行なった結果を報告する。レンズ像 A と B に対して S/N 比が $\sim 20 \text{ pixel}^{-1}$ 程度のスペクトルを得た結果、計 30 本以上の NAL を検出することに成功した。単位赤方偏移あたりの検出数を過去の文献と比較すると、実に 2.5 倍以上の超過となる。更に部分掩蔽解析、line-locking 解析を適用した結果、およそ 2 割の NAL がアウトフローに起源を持ち、また我々の視線がアウトフローとほぼ平行な位置関係にある可能性が高いことが分かった。加えて各視線で検出された NAL の形状を比較したところ、共通の吸収構造を持つものは皆無であることが分かった。この結果は、アウトフローが複雑な内部構造をもち、その内部揺らぎの典型的なスケールが視線間距離程度以下であることを意味する。また NAL アウトフローの視線間速度差が最大で 4% 程度にも及ぶことから、過去に評価された kinetic luminosity ($L_k \propto v^3$) が最大で 10% 程度の不定性を有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](#)

S09a **Ultra Fast Outflow のラインフォース駆動型円盤風モデル: 質量・エネルギー放出率と AGN 光度依存性**

野村真理子 (筑波大学), 大須賀健 (国立天文台/総研大), 高橋博之 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) の輻射スペクトルに観測される青方偏移した吸収線は、ジェットとは異なるアウトフローの存在を示している。特に Ultra Fast Outflow (UFO) と呼ばれる、X 線スペクトルに現れる鉄吸収線によって示唆されるアウトフローは、噴出速度が光速の 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ため母銀河の星形成に甚大な影響を及ぼしている可能性が指摘されている。しかしながら、UFO の加速メカニズムや構造はわかっていない。我々は、有力モデルの一つであるラインフォース駆動型円盤風 (Proga et al. 2000, 2004, Risaliti & Elvis 2010) に着目している。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り、我々はラインフォースを含む輻射流体シミュレーションによって、この円盤風が UFO の速度、電離状態、柱密度の観測的特徴をよく説明することを示した (Nomura et al. accepted [arXiv:1511.08815])。

最近の観測から、UFO の質量・運動量・エネルギー放出率は AGN 光度に依存することがわかってきた (Gofford et al. 2015)。今回、我々はブラックホール質量、エディントン比を変化させ、様々な光度の AGN に対してラインフォース駆動型円盤風のシミュレーションを実行し、質量・運動量・エネルギー放出率を見積った。その結果、観測結果から得られた AGN 光度依存性が、ラインフォース駆動型円盤風モデルによって再現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](#)

S10a **フェルミガンマ線宇宙望遠鏡が捉えたブレーザー 3C 279 からの数分スケールで変動する 100 MeV ガンマ線放射**

林田将明 (東大宇宙線研), G. M. Madejski (SLAC/KIPAC), 浅野勝晃 (東大宇宙線研), D. J. Thompson (NASA/GSFC) on behalf of *Fermi*-LAT collaboration, K. Nalewajko and M. Sikora (CAMK)

3C 279 は活動銀河核中心から相対論的ジェットが我々の視線方向に噴き出している「ブレーザー」天体であり、相対論的ビーミングの効果でジェットからの非熱的放射が卓越している。一方で、可視光帯では降着円盤由来の輝線も確認され「クエーサー」型として知られている。ジェットからの非熱的放射は激しい変動性を示し、100 MeV 帯の高エネルギーガンマ線にて一日で一桁以上も光度変化することは珍しくない。このことからガンマ線はジェット根元のコンパクトな領域から放射されていると考えられている。

2015年6月15日フェルミ衛星は3C 279からのガンマ線の増光を検出し、「ToO観測」として、3時間で全天を観測する通常のサーベイモードを切り替え、3C 279の方向をより集中的に観測していた。そして16日、3C 279から100 MeV以上で約 $4 \times 10^{-5} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ に達する過去最大の明るさとなるガンマ線 outburst を捉えた。これは、同エネルギー帯のカニ星雲の通常フラックスの15倍以上に匹敵する。この観測データから、軌道周期 (~ 96分) 毎にスペクトルを精度良く導出。また、3分のスケールにまで分解した光度曲線を描くことで、周期内でもフラックスの有意な変動性を確認し、5分程度で強度が約2倍変化していることを突き止めた。これは、フェルミ衛星観測史上、ブレーザーの放射から捉えた最速の変動である。

本講演では、2015年6月に起きたこの3C 279におけるガンマ線 outburst の解析結果を報告し、高エネルギーガンマ線放射領域に関するジェットの物理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](#)

S11a 日韓合同 VLBI 観測網 KaVA による M87 ジェット加速領域の高頻度・高解像度モニター

秦和弘 (NAOJ), 紀基樹 (KASI), Park Jongho (ソウル大学), 新沼浩太郎 (山口大学), Sohn Bong Won (KASI), KaVA-AGN サイエンスワーキンググループ

巨大ブラックホール (BH) から駆動される相対論的ジェットの加速機構の解明は長年の難問である。この問題を解決するためには、VLBI 観測によってジェットの根元 BH 近傍約 10^{3-4} シュバルツシルト半径 (R_s) 以内の運動を直接モニターすることが重要である。最近傍の巨大 BH ジェット天体である M87 はセンチ波 VLBI を用いて $100R_s$ を切る空間スケールで根元構造が詳細に空間分解・撮像されており、この課題に取り組む上で鍵を握るターゲットである。それにもかかわらず、M87 ジェットの速度場計測は未だ混沌としている。キロパーセクスケール ($> 10^5 R_s$) では多くの場合 (4-6)c に至る超光速運動が確認されるのとは対照的に、根元 ($< 1000R_s$) 領域の VLBI モニターでは超光速、亜光速、準定常という様々が示唆がなされている。

そこで我々は近年、日本と韓国の VLBI 観測網を結合した日韓合同 VLBI アレイ KaVA (The KVN and VERA Array) を形成し、M87 ジェット根元のかつて無いほど高頻度 (約 2 週間に 1 回) なモニター観測を開始した。KaVA は KVN または VERA 単体と比較して圧倒的に優れた撮像能力を実現し、ジェット運動の高精度な測定が可能となる。その結果、我々は BH から数百 R_s の領域において超光速運動するジェット成分を高い精度で検出することに成功した。本講演ではこの KaVA M87 モニターの初期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](#)

S12a 多周波 VLBI 観測による AGN NGC 4261 ジェット形状探査

中原聡美 (総研大/JAXA), 土居明広, 村田泰宏 (JAXA), 秦和弘 (NAOJ), 浅田圭一, 中村雅徳 (ASIAA)

活動銀河核 (AGN) から噴出するジェットの生成収束機構は長らく未解決の問題である。この問題を解明するにあたって、ジェットの上流から下流までの形状は重要な手がかりであり、近年 VLBI 観測による調査が始まっている。それによると、最近傍の AGN M87 のジェットは、M87 の中心エンジンから $10^5 R_S$ (M87 の Bondi 半径に相当) 以上下流側に離れた領域では円錐形状をとり、 $10^2 - 10^5 R_S$ では放物形状に収束する (Asada & Nakamura 2012)。そして、 $100 R_S$ をきる領域ではジェットは再び、円錐形状をとることが明らかになっている (Hada et al. 2013)。一方で、3C 84 のジェットは円錐形状を維持し、M87 のようなジェット形状の変化が見られないことが報告されている (Nagai et al. 2014)。ジェットの形状の変化が、AGN ジェットの普遍的な特性であるのかは不明であり、さらなる天体についての調査が必要とされている。もしジェットの形状の変化が普遍的な特性であれば、ジェットの形状を特徴付ける物理パラメータをより詳しく知る重要な情報となる。

そこで、我々は比較的近傍 (~ 30 Mpc) に位置する AGN NGC 4261 について、多周波 (1/2/5/8/15/22/43 GHz) VLBI 観測によるジェットの形状探査をおこなった。NGC 4261 は多周波相対 VLBI 法により中心エンジンの位置が明らかになっている (Haga et al. 2015) ため、M87 ジェットと同様の手法でジェットの幅 W を測定し、収束の空間プロファイルを調査可能な天体である。NGC 4261 の中心エンジンから下流側 $\sim 1000 - 10^9 R_S$ の領域で調査をおこなった結果、NGC 4261 ジェットの形状は、 $W \propto r^1$ (r : 中心エンジンからの距離) の円錐形状であることがわかった。本講演では、これらの結果に基づいて NGC 4261 ジェットの生成収束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](#)

S13a

電波銀河 M87 におけるジェットと星間物質との相互作用 II

大曾根聡子 (元産業技術総合研究所)

ジェットを持つ電波銀河やブレイザーのエネルギースペクトルは電波から X 線では加速された電子のシンクロトロン放射と、ガンマ線では電子が低エネルギーの光子をたたきあげた逆コンプトン散乱と解釈されている。ここ近年、ガンマ線衛星 Fermi により、加速された陽子と星間物質の相互作用によるパイオン崩壊からのガンマ線も観測されている。さらに、X 線でジェットと星間物質との相互作用である熱制動放射が観測され始めた。2014 年学会では、X 線衛星 Chandra でジェットが分解できている電波銀河 M87 においてジェットから熱制動放射の検出を報告した。しかし、得られた電子密度は電波での RM の観測値に比べて 5 桁も大きい。そこで、M87 の Chandra の全アーカイブ、約 400 ks を用いて、前回の 40 倍の統計で熱制動放射の検証について報告する。X 線でシンクロトロン放射の観測値から、電子と星間物質との相互作用としてジェットの非熱的な制動放射を計算したところ、GeV ガンマ線の起源である可能性を示唆する。これは熱制動放射の有無によらず、依然、示唆している。コアとジェットはガンマ線の検出器では分解できていない。コアの磁場が 1 G と強いため、これまで、制動放射はガンマ線の起源として考えられてこなかった。しかし、ジェットはコアと同じ程度のフラックスを持ちながら、磁場が 1 mG と弱いことがキーである。制動放射のエネルギー損失のタイムスケールは長く、このシナリオは 2 日の時間変動が観測されている TeV ガンマ線とは異なり、GeV ガンマ線では 1 年以内の変動が観測されていないこととうまく合っている。パイオン崩壊によるガンマ線は陽子のフラックスが未知なので、70 MeV にピークを持つエネルギースペクトルの形状から検出される。Fermi で M87 は GeV 以下が公表されておらず、パイオン崩壊によるガンマ線の起源の可能性は否定できない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S14a Rayleigh-Taylor 不安定性が相対論的ジェットで成長する条件

松本仁 (理化学研究所)

相対論的ジェットの本ルホロジ一は相対論的ジェットを特徴付ける基本的な性質の1つである。活動銀河核ジェットは電波観測で得られる本ルホロジ一によって FRI と FRII に分類されるが (Fanaroff & Riley 1974)、その本ルホロジ一に違いを生む物理メカニズムは未解明である。ジェットが伝搬する際の銀河間媒質との相互作用による流体不安定性の成長は、ジェットの本ルホロジ一に多大な影響を与える要因の1つだと考えられている。

しかし、これまでのシェットの安定性の解析的・数値的研究の多くは簡単のため、または計算資源の制約からシェットの伝播軸に対して軸対称性が仮定されており、相対論的シェット構造の安定性の真の理解には至っていないのか現状である。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 不安定性についての研究を進めている (Matsumoto & Masada 2013)。

本研究では、ジェット方向の構造を無視したシンプルな相対論的ジェット境界を設定し、線形解析と数値シミュレーションを用いてジェット境界で成長する Rayleigh-Taylor 不安定性の条件およびその成長率を求めた。また、三次元相対論的流体シミュレーションを用いて実際にジェットが伝搬する際に Rayleigh-Taylor 不安定性がジェット境界で成長するかの評価を行った。本講演では、Rayleigh-Taylor 不安定性が相対論的ジェットで成長する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](#)

S15a 「すざく」による深く隠された活動銀河核の広帯域 X 線観測

谷本 敦、上田 佳宏、川室 太希 (京都大学)、Claudio Ricci (Pontificia universidad catolica de chile)

深く隠された活動銀河核 (Active Galactic Nuclei, AGN) は宇宙 X 線背景放射の起源や超巨大ブラックホール (SMBH: SuperMassive Black Hole) と銀河の共進化を理解する上で重要である。SMBH を囲んでいる「トーラス」と呼ばれる構造は、AGN の遮蔽や SMBH への質量供給の機構の理解において鍵となる。しかし、その起源や形状は未だに明らかにされていない。

深く隠された AGN のうち、特に $\log N_{\text{H}} \geq 24 \text{ cm}^{-2}$ を満たすものを Compton Thick AGN (CTAGN) と呼ぶ。CTAGN の X 線スペクトルはトーラスに強く影響されるため、その構造を調べるのに最適である。しかし、精度の良い広帯域 X 線スペクトルの取得されている CTAGN の数は限られている。そこで我々は、Swift/Burst Alert Telescope の 70 か月カタログから、軟 X 線光度 (2–10 keV) に対して硬 X 線光度 (14–100 keV) の卓越する、3 つの CTAGN 候補 (NGC 1106, NGC 2788A, UGC 03752) を選択し、「すざく」による追及観測を行った。

我々は、観測された広帯域スペクトル (0.5–100 keV) に対し、池田ら (2009) によるモンテカルロシミュレーションに基づいた部分球対称トーラスを適応した。その結果、NGC 1106 と NGC 2788A が CTAGN であることを初めて明らかにした。また UGC 03752 のスペクトルには、他の AGN でもしばしば観測されているように、吸収を受けていない反射成分が多く存在し、この事実はトーラスがクランプ状になっていることを示唆している。さらに講演では、MONACO (Monte Carlo Simulation for Astrophysics and Cosmology, 小高ら 2011) を用いた、クランプ状トーラスからの X 線スペクトルの計算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](#)

S16a 狭輝線1型セイファート銀河 MCG-6-30-15 の 0.2-78 keV における広帯域 X 線スペクトル変動の解釈

楠絵莉子, 海老沢研, 水本岬希, 山崎廣樹 (東京大学, ISAS/JAXA), 鮫島寛明 (京都産業大学)

活動銀河核からの X 線放射は、中心ブラックホールごく近傍の物理を反映すると考えられており、スペクトルに特徴的な構造をもっている。その解釈の一つに、視線を横切る二層の電離吸収体が存在し、それらに起因した吸収構造によって X 線スペクトルを説明する Variable Double Partial Covering (VDPC) モデルがある。これは、吸収体が視線上で X 線源を覆い隠す割合 (カバリングファクター) の変化のみで、10 keV 以下のスペクトルおよび強度の時間変動をほとんど説明することができる (山崎 2014 年秋季年会 S31a ほか)。ただし、硬 X 線帯域であるほどその強度変動をカバリングファクターの変化だけでは追い切れていないことが明らかになっていた (Mizumoto et al. 2014)。

そこで今回、我々は X 線強度が激しい時間変動を示すことで知られる狭輝線 1 型セイファート銀河 MCG-6-30-15 の、XMM-Newton 衛星と NuSTAR 衛星による同時観測のアーカイブデータについて VDPC モデルを適用した。NuSTAR は、硬 X 線帯域で非常に高い感度をもっている。解析の結果、X 線源の周囲にある吸収体のカバリングファクター変動に加え、連続成分の独立な強度変化を考えることによって、0.2-78 keV という非常に広帯域な X 線放射のスペクトル変動を統一的に説明することができた。本講演では、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](#)

S17a コンプトンショルダーにおける X 線散乱体のパラメータ依存性

米田浩基 (東大、ISAS/JAXA), 小高裕和 (スタンフォード大学/KIPAC), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA)

光学的に厚い物質中を X 線が通過もしくは反射すると、生じた鉄の $K\alpha$ 輝線などのライン輝線がコンプトン散乱され、ライン輝線の低エネルギー側に連続成分が現れる。これをコンプトンショルダーと呼ぶ。2015 年度打ち上げ予定の X 線衛星 ASTRO-H に搭載される軟 X 線検出器 SXS は、エネルギー分解能と検出効率が高く、これまでほとんど観測することの出来なかったコンプトンショルダーの詳細な観測が可能になると考えられており、コンプトンショルダーの形状から水素柱密度やメタリシティーのような物理量を推定する研究の重要性が増している。

本研究では、モンテカルロシミュレーションにより X 線の放射輸送を計算するフレームワーク「MONACO」を用いて、球状雲中心に置かれた X 線源の透過光と、円板上空に置かれた X 線源の円板での反射光における鉄 $K\alpha$ 輝線のコンプトンショルダーを計算した。その結果、球状雲や円板の物理パラメータ (水素柱密度、メタリシティー、温度)、電子の状態 (電子が原子核に束縛されている、もしくは、自由電子状態にある) や観測方向によって、コンプトンショルダーの形状が多彩な変化をすることを明らかにした。また、コンプトンショルダーから得られる定量値のパラメータ依存性を包括的にまとめ、コンプトンショルダーが独立に物理量を推定できるプローブになりうることを示した。講演では、以上の内容を報告するとともに、この結果を通じて今後の天体解析においてコンプトンショルダーが果たす役割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](#)

S18a **Witnessing the final stage of AGN in Arp 187**

市川幸平 (NAOJ), 植田準子 (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics), 志達めぐみ (理研), 川室太希, 松岡健太 (京大)

We investigate optical, infrared, and radio active galactic nucleus (AGN) signs in the merger remnant Arp 187, which hosts luminous jets launched in the order of 10^5 yr ago but whose present-day AGN activity is still unknown. Our study indicates that there are clear AGN signs based on a larger physical scale with $\sim 1\text{--}10$ kpc. In addition to the existence of radio-jets, the location of the optical BPT diagram and the marginal detection of infrared [O IV] $\lambda 25.89\ \mu\text{m}$ line show the existence of the narrow line regions. The estimated 2–10 keV luminosity inferred from the optical [OIII] $\lambda 5007$ emission is $L_{2-10} \simeq 1.1 \times 10^{43}$ erg s^{-1} , which is a typical value of Seyfert galaxies. On the other hand, Spitzer/IRS shows host galaxy dominated spectra, suggesting that the thermal emission from the AGN torus is considerably small, and the upper limit of the AGN $12\ \mu\text{m}$ luminosity is estimated to be $L_{12\mu\text{m}} \leq 1.5 \times 10^{42}$ erg s^{-1} , which is equivalent to $L_{2-10} \leq 2.8 \times 10^{42}$ erg s^{-1} . Finally, no radio core was found at 4.9 and 8.5 GHz band. Combining the black hole mass, the upper limit of radio luminosity of the core, and the fundamental plane of the black hole enables us to estimate an X-ray luminosity, which gives $L_{2-10} < 10^{40}$ erg s^{-1} . Those results suggest that the AGN activity of Arp 187 has already been quenched, while the jet lobes and the narrow line regions still remain bright due to the light-travel time from the central engine. See Ichikawa et al. (2015), PASJ, in press (arXiv:1510.06037) for more details of this study.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19a 「あかり」遠赤外線全天点源カタログ改訂版の公開

山村一誠、巻内慎一郎、小山舜平、古賀達也 (ISAS/JAXA)、「あかり」チーム

赤外線天文衛星「あかり」は、2006～2007年にかけて遠赤外線・中間赤外線合わせて6波長で全天サーベイを行った。これに基づくデータプロダクトとして、全天点源天体カタログが2010年3月に一般公開され、天文学研究に広く用いられている。また、2014年12月には、遠赤外線全天イメージマップが公開された。

遠赤外線点源カタログ (AKARI-FIS Bright Source Catalogue; BSC) については、初版の公開後も改訂版作成の作業を継続して行っており、このたび第2版を公開することになった。初版と同じく、65, 90, 140, 160 μm の4波長での天体の明るさを記録したこのカタログは、初版と比べて登録天体数が約10万増えたことに加え、検出の信頼度、位置、測光精度の向上が見込まれている。また、BSCがスキャン1回に相当する感度で全天に対して均一なデータを提供するのに対し、スキャンを重ねたところでより暗い天体を検出する Faint Source Catalogue (FSC) の作成も行われ、合わせて公開される予定である。講演では、これらカタログの作成方法、データの内容、評価の結果等について説明する。

「あかり」の衛星運用は2011年に終了したが、「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、「あかりデータ処理・解析チーム」が、全天サーベイに加えて指向観測についても、“Science Ready” データとして公開するべくデータ処理・解析・アーカイブ活動を行っている。これらのデータについても簡単に紹介する。是非「あかり」データを研究に活用いただきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20a 「あかり」遠赤外線全天サーベイから探るクェーサーの星形成史

高橋百合野, 大藪進喜, 金田英宏, 村田勝寛, 山岸光義 (名古屋大学)

銀河中心の超大質量ブラックホール (SMBH) 質量と、母銀河のバルジ星質量の間には強い相関があることが知られている。この相関の起源は未だ明らかにされていないが、SMBH と母銀河が共進化してきた結果であると考えられる。これを確かめるために、SMBH への質量降着が激しい段階にあるクェーサーに対して、その母銀河の星形成率を幅広い赤方偏移で調べるのが重要である。

そこで我々は、赤外線天文衛星「あかり」遠赤外線全天サーベイ 4 バンド (波長 65, 90, 140, 160 μm) を用いることで、クェーサー母銀河の星形成率を調べた。遠赤外線は、大質量星からの紫外線で暖められたダストから熱放射されるもので、星形成率の指標となる。高赤方偏移の天体からの遠赤外線放射は暗いため、個々の画像からは検出が困難であるが、多数のサンプル画像をスタックすることで浮かび上がらせることが出来る。Sloan Digital Sky Survey のクェーサーカタログを基に、赤方偏移 $0.04 \leq z \leq 5.0$ 、クェーサー光度が 4 桁に渡る 353,315 個の「あかり」遠赤外線の画像データを用いる。これらを、 z は 0.5、光度は 1 桁ごとに区切り、44 のサブサンプルに分けた。そして、そのサブサンプルごとの遠赤外線画像をスタックし、平均の遠赤外線フラックスを求めた。次に、クェーサー SED を近傍の超高光度赤外線銀河 (ULIRG) の SED を仮定することで、遠赤外線フラックスから赤外線光度 $L_{8-1000\mu\text{m}}$ を算出し、星形成率を求めた。星形成率と赤方偏移の関係を調べた結果、同じクェーサー光度では、赤方偏移が大きいくらい、星形成率も大きくなることがわかった。また、同じ赤方偏移においては、星形成率とクェーサー光度の間に強い相関はないということがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S21c **HSC すばる戦略枠観測サーベイにおける SED fitting を用いた高赤方偏
移クェーサー選択法の開発**

尾上匡房 (総合研究大学院大学), 柏川伸成, 松岡良樹, 田中賢幸, 新納悠, 利川潤 (国立天文台),
長尾透 (愛媛大学), 石川将吾, 内山久和 (総合研究大学院大学)

初期宇宙に存在するクェーサーは超巨大ブラックホールの形成史や銀河と AGN の共進化、宇宙再電離期を探る上で非常に重要な観測対象である。現在までに赤方偏移が 6 を超えるクェーサーは SDSS に代表されるサーベイ観測によって約 100 個発見されているが、初期宇宙における一般的な超巨大ブラックホールや母銀河の性質を探るためには、既存のサンプルよりも暗いクェーサーを大量発見することが望まれる。そこで我々は HSC すばる戦略枠観測サーベイにおいて赤方偏移 6,7 クェーサーの大規模サンプルを構築することを目指しており、サーベイ初年度データを基に追観測を行った結果、既に数個の新たなクェーサーを発見した (松岡良樹氏講演)。

本講演では我々のクェーサー探査に適用する二種の多色選択法のうち高赤方偏移クェーサー選択に特化した SED fitting 法について、その実効的な有効性を検証した結果を報告する。本手法では約 200 種のクェーサー SED テンプレートを用いており、これらを多色データに適用することで選択の完全性を高め、系内の褐色矮星等の混入率を減らすことができる。本手法が既知クェーサーに対して非常に高いフィッティング精度を達成することは 2015 年春季年会 (S38a) で既に報告したが、さらに今回、人工天体と HSC, VIKING 画像データを使った天体選択のシミュレーションを行った結果、本手法が $z = 3 - 7$ の幅広い赤方偏移にわたって高い完全性を保ち、特に赤方偏移 6 では 23 等以下で 80% 以上という高い完全性を確認した。本講演では本 SED fitting 法によって選択された HSC クェーサー候補天体とその追観測結果についても合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

3月14日（月）午後（13:00-15:15）[I会場]

T01a	13:00	銀河団ガスにおける乱流による粒子加速と加熱	清水崇文（電気通信大学/首都大学東京）
T02a	13:12	銀河団の電波レリックの起源としての乱流加速	藤田裕（大阪大学）
T03a	13:24	すざく衛星による RXC J1053.7+5453 の電波レリック周辺領域の解析	板花まどか（山形大学）
T04a	13:36	近傍衝突銀河群システム NGC 7618 & UGC 12491 の観測的研究	三石郁之（名古屋大学）
T05a	13:48	「すざく」で観測した銀河団・銀河群のガス質量と鉄質量-銀河光度比	佐々木亨（東京理科大学）
T06a	14:00	Abell 3391 と Abell 3395 を含む大規模構造フィラメントの X 線観測	菅原悠宇紀（山形大学）
T07a	14:12	SKA 時代の FRB を用いた銀河間物質の探査	赤堀卓也（鹿児島大学）
T08a	14:24	すざく衛星による Abell 2744 銀河団周辺のミッシングバリオン探査	服部詩穂（奈良女子大学）
T09a	14:36	「ASTRO-H」SXS による観測シミュレーションを用いた銀河団中心部における共鳴散乱の影響の評価	古川愛生（東京理科大学）
T10b	14:48	XMM-Newton 衛星 RGS の観測データを用いた銀河団高温ガス低温成分の温度、組成、運動の調査	正村陸（大阪大学）
T11b	14:48	XMM-Newton RGS の観測によるペルセウス銀河団コアおよび M87 の低温成分の再検証	五十嵐宣孝（大阪大学）
T12b	14:48	銀河団 RXC J0751.3+1730 の物理量空間分布、及び周囲の銀河団との相互作用 (2)	小林洋明（名古屋大学）
T13b	15:00	電波銀河 NGC6166 の偏波観測による冷却コア銀河団 A2199 の磁場推定	高橋律裕（山形大学）
T14c		銀河団方向の X 線源の数と銀河団観測への影響	栗山翼（東京理科大学）

T01a 銀河団ガスにおける乱流による粒子加速と加熱

清水崇文 (電気通信大学/首都大学東京), 木村聖人, 立石琢磨, 政井邦昭 (首都大学東京)

銀河団-銀河団衝突 (major merger) 過程にあると思われる比較的X線光度の大きい多くの銀河団に電波ハローが見られる。電波ハローはMpcスケールに広がっていることから、銀河団衝突で生じた乱流によって加速された非熱的 GeV 電子がシンクロトロン電波を放射していると考えられる。実際、2次 Fermi 加速された電子の分布関数を計算して、観測されているX線光度と整合的に電波強度を説明することができる。一方で、電波強度と銀河団ガスの温度に正の相関があることも報告されているので、乱流は非熱的粒子の生成だけでなくガスの加熱にも効いている可能性がある。

理論的研究では、Fokker-Planck 方程式を用いた2次 Fermi 加速の計算は複数のグループで行われているが結果は一致していない。非熱的分布でなくむしろ高温の熱的分布が形成されるという研究結果もあり、乱流による散乱が粒子加速に行くのか加熱に行くのか結論は出ていない。が、今のところ、加熱されるという結果を得た研究では、拡散係数に基づいた加速効率をそのまま使わず、パラメータ化したり (Petrosian & East 2008)、低エネルギー粒子に対して修正を加えたり (Chernyshov et al. 2012) して不自然な扱いは否めない。

われわれのこれまでの研究では、乱流によって電子は非熱的分布に加速され電波ハローを説明できるという結果であったが、並行して、加速された電子の一部が乱流の減衰後に熱的分布に移行することで冷却コアの加熱に働く可能性を調べてきた。講演では、Fokker-Planck 方程式による分布関数の時間発展の計算をもとに、電子が加速より加熱される条件、加速されて非熱的分布を形成しながら加熱される条件などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a 銀河団の電波レリックの起源としての乱流加速

藤田 裕 (大阪大学), 滝沢元和 (山形大学), 山崎 了 (青山学院大学), 赤松弘規 (SRON), 大野 寛 (東北文教大学)

銀河団の周辺部で観測される電波レリックは、その形状から、衝撃波での diffusive shock acceleration (DSA) で加速された電子からのシンクロトロン放射と考えられることが多い。実際多くのレリック付近では、X線観測により衝撃波が観測されている。しかしレリックの中には、標準的な DSA で加速されたとは思えないものも存在する。歯ブラシ銀河団のレリックは、そのようなレリックの一例である。このレリックでは、電波スペクトルが DSA の予想よりハードであり、さらに電波放射の位置は、X線観測で見つかった衝撃波構造と一致せず、衝撃波の後方にある。本研究で我々は、このレリックの宇宙線加速の主要メカニズムは DSA ではなく、乱流加速であることを示す。

我々のモデルでは DSA は単に乱流加速の種宇宙線を供給しているにすぎない。この種粒子は衝撃波後方に発生する乱流で2次フェルミ加速をする。そのためスペクトルは DSA の予想よりハードになることができ、また宇宙線から放射されるシンクロトロン放射は、加速が行われている衝撃波後方で観測されることになる。必要とされる乱流加速は比較的効率が高いものである必要があり、粒子の平均自由行程はクーロン散乱の平均自由行程よりかなり短い必要がある。さらに我々はほかの銀河団の電波放射の多様性も、衝撃波での DSA 加速と衝撃波後方の乱流加速の組み合わせで説明できることを示す。例えば、弾丸銀河団の電波ハローは衝撃波後方の乱流加速が衝撃波での DSA 加速より卓越する場合であり、ソーセージ銀河団の電波レリックはその逆の場合である。(Fujita et al. 2015, ApJ in press, arXiv:1511.01897)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T03a **すざく衛星による RXC J1053.7+5453 の電波レリック周辺領域の解析**

板花まどか, 滝沢元和 (山形大), 赤松弘規 (SRON), R. van Weeren (CfA), 河原創 (東京大), 深沢泰司 (広島大), J. Kaastra (SRON), 河原田円 (ISAS/JAXA), 中澤知洋 (東京大), 大橋隆哉 (首都大), 太田直美 (奈良女子大), H. Röttgering (Leiden Univ.), J. Vink, F. Zandanel (Amsterdam Univ.)

電波レリックとは銀河団外縁部に広がる非熱的な電波放射領域である。典型的な電波レリックは円弧状の形状を示しており、銀河団衝突時に発生した衝撃波を反映していると考えられている。近年、電波、X線の両観測から衝撃波のマッハ数が見積もられており、得られたマッハ数が必ずしも一致しないという問題点が挙げられている。これは、電波観測からマッハ数を算出する際に仮定した粒子加速過程が成り立たないことを示唆するものであり、マッハ数の他に新たなパラメータが必要であることを示唆する。そこで、電波、X線の観測例を増やし統計的なアプローチから電波レリックでの粒子加速過程に迫るため、すざく AO9 の key project で新たに5つの電波レリック周辺の観測が行われた。銀河団 RXC J1053.7+5453 ($z = 0.0704$) は、外縁部に 600 kpc の電波レリックを持つ銀河団であり、先行研究では中心領域を含め温度は測定されていない。X線のピークから電波レリック方向に円環の領域を配置し、各領域に関してスペクトル解析を行い温度分布を作成した。その結果、ピーク付近の温度は $kT = 1.85^{+0.06+0.03+0.01}_{-0.06-0.19-0.02}$ keV を得た。これは、 $L_X - kT$ relation から得られる温度 (~ 3 keV) に比べ 1 keV 程度低い値である。また、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。電波レリック外縁に衝撃波が存在すると仮定し、衝撃波前後の温度差にランキン-ユゴニオの関係式を適用しマッハ数を算出したところ、 $M_X = 1.58^{+0.68+0.18+0.01}_{-0.45-1.46-0.01}$ が得られた。誤差は統計誤差、CXB による系統誤差、NXB による系統誤差を 90%信頼度で示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a 近傍衝突銀河群システム NGC 7618 & UGC 12491 の観測的研究

三石郁之, 前島将人, 馬場崎康敬, 小林洋明, 松本浩典, 田原譲 (名古屋大学), 佐藤真柚, 佐々木伸, 大橋隆哉 (首都大学東京), 林隆之 (国立天文台), 林克洋, 土居明広 (ISAS/JAXA), Anna Scaife (The University of Manchester)

宇宙の力学進化史をひも解く上で衝突合体は重要なキーワードの一つであり、これまでもさまざまな空間スケールにおいて、理論的・観測的研究が進められてきた (e.g., Okabe et al. 2008, Hirschmann et al. 2012)。その中で我々は銀河群スケールの衝突システムに着目し、主に X 線を用いてその詳細理解を目指してきた (三石他 2014 年秋季年会、2015 年春季年会、2015 年秋季年会)。銀河群や銀河団中のバリオンの多くは高温ガス状態にあり、X 線を放射する。そのため、X 線観測はその詳細理解に非常に有用な観測手法となる (e.g., Mitsuishi et al. 2014)。

NGC 7618 & UGC 12491 は近傍 ($z = 0.017$) に存在する同規模の銀河群 ($kT_X \sim 0.8-0.9$ keV, $L_X \sim 6-7 \times 10^{42}$ erg s⁻¹) であり、中心付近 ($r \sim 50$ kpc) では両者の X 線 morphology が渦巻き構造になっていること、X 線輝度および重元素分布において不連続面が検出されていることから、衝突合体システムであると考えられている (Kraft et al. 2006, Roediger et al. 2012)。そこで我々はこの衝突合体现象の詳細を調べるため、X 線天文衛星すざくを用いて、より外側の領域 ($r \sim 200-300$ kpc) を含む温度、輝度および重元素の動径分布を調べた。結果として大規模な gas mixture は検出されず、衝突初期フェーズであろうことが示唆された。本講演では詳細な X 線解析結果、および電波の観測結果を加えることで、粒子加速の見地からも議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05a 「すざく」で観測した銀河団・銀河群のガス質量と鉄質量-銀河光度比

佐々木亨, 松下恭子, 佐藤浩介, 栗山翼, 菅野祐 (東京理科大学)

X線天文衛星「すざく」の低く安定したバックグラウンドを生かし、我々は銀河団をビリアル半径まで観測してきた。銀河団の高温ガス質量と銀河団を構成する銀河光度の比、高温ガス中の鉄質量と銀河光度の比は銀河団の重元素合成史を示す重要なパラメータであり、我々はこれまでに複数の銀河団のガス質量-銀河光度比、鉄質量-銀河光度比を報告してきた (e.g., Matsushita et al. 2013)。

今回、我々は統計的に銀河団・銀河群の鉄質量-銀河光度比を調べるために、ビリアル半径付近まで「すざく」で観測されたおとめ座銀河団、Abell 133 銀河団、Abell 2199 銀河団、ペルセウス座銀河団、かみのけ銀河団を含む近傍 ($z < 0.06$) の 1-8 keV の銀河団・銀河群を 13 個解析した。かみのけ座銀河団やおとめ座銀河団のような方向依存性の強い銀河団については、温度と密度の方向依存性を考慮した。銀河団外縁部の観測では我々の銀河系からの放射を正しく見積もることが重要であるが、Sekiya et al. (2015) などでは報告されている 1 keV 程度の我々の銀河系からの放射と銀河団外縁部の放射は区別できないため、系統誤差として評価した。ビリアル半径までの高温ガス中に含まれる鉄質量は、銀河団を構成する銀河の星内に含まれる鉄の総質量より数倍大きかった。ガス質量-銀河光度比と鉄の質量-銀河光度比は半径とともに上昇することから、鉄を含む高温ガスが銀河の分布に比べて外側に広がっている。現在の Ia 方超新星爆発の発生率では宇宙年齢をかけても高温ガス中の鉄の総質量に足りないため、鉄の大部分が銀河団形成初期に合成されたと考えられる。また、鉄質量-銀河光度比が銀河団に比べて小さい銀河群は、ガス質量-銀河光度比も銀河団に比べて小さかった。本講演ではこの理由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](#)

T06a Abell 3391 と Abell 3395 を含む大規模構造フィラメントの X 線観測

菅原悠宇紀, 滝沢元和, 板花まどか (山形大学), 赤松弘規 (SRON), 藤田裕 (大阪大学), 大橋隆哉, 石崎欣尚 (首都大学)

銀河団同士の衝突現象は、その成長の歴史において最も劇的な過程であり、衝突初期のどの段階で銀河団外縁部で相互作用が始まり、どの様に加熱が発生するのかということはよく分かっていない。また、ICM の重元素はもとは銀河の星々によって生み出されるが、いつどのようにして ICM に運ばれるかは、はっきりとわかっておらず、外縁部の ICM の重元素量の決定は重元素輸送のメカニズムを知るうえで重要なものである。

今回我々は、Abell 3391 と Abell 3395 を含む大規模構造フィラメントを「すざく」衛星を用いて観測した。この二天体の連結領域は Planck 衛星の観測により、SZ 効果が確認された 2 つの銀河団ペアのうちの 1 つである。鉄の K 輝線周辺を用いて両銀河団のビリアル半径が交わっているフィラメント領域のスペクトル解析を行った結果、アバンダンスを、 $Z = 0.100^{+0.069+0.008+0.026}_{-0.063-0.019-0.037} Z_{\odot}$ (誤差はすべて 90 % 信頼度で、それぞれ統計誤差、CXB による系統誤差、NXB による系統誤差) と得られた。この結果は、ビリアル半径付近のアバンダンスを調べた他の研究 (Fujita et al. 2008, Werner et al. 2013) の値 $Z \sim 0.3 Z_{\odot}$ に比べ低い結果となり、銀河団外縁部での重元素量進化の多様性を示す結果である。また、X 線観測から求めた y パラメータを Planck の結果と比較したところ、矛盾のない結果となった。Abell 3395 の中心部から連結領域に向かっての温度分布を調べたところ、Okabe et al. (2014) により求められた力学的に緩和した銀河団の温度分布と誤差の範囲内で矛盾のない結果となり、衝突による温度上昇の兆候は見る事ができなかった。現在、連結領域の反対側の解析を進めており、違いがあるかを比較する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T07a SKA 時代の FRB を用いた銀河間物質の探査

赤堀卓也 (鹿児島大学), Dongsu Ryu (UNIST), B. M. Gaensler (U. Toronto)

銀河団や宇宙大規模構造に付随する銀河間物質の豊かな性質を包括的に理解するため、近年は波長の枠を越えた多波長の研究が注目されている。Fast Radio Burst (FRB) はその多波長研究に加わる新しいメッセンジャーと期待される。FRB とは 10 ミリ秒程の間に Jy レベルの強いセンチ波電波パルスが観測される現象である。FRB ではいわゆるパルス分散測度 (DM、熱的電子の柱密度) を観測することができ、その値が数 100 pc/cm^3 以上と天の川銀河の寄与だけでは説明が難しく、赤方偏移 $\sim 0.1-1$ の系外起源の可能性が高い。もしそうならば、系外の電子柱密度を計測できる貴重なプローブである。Parkes 電波望遠鏡では潜在的に 10 日に 1 イベントという推定があり、将来の国際大型干渉計 Square Kilometre Array (SKA) では膨大なイベントを検出するだろう。

本研究では FRB 観測から銀河間物質を探る一例として、宇宙大規模構造フィラメントの磁場を対象とする。FRB が系外起源でかつ偏波を伴うと仮定し、大規模構造の数値実験データを宇宙論的に経路積分することで、FRB の DM とファラデー回転測度 (RM) を計算した。そのデータから大規模構造磁場を推定できるか議論した。銀河団の寄与を除去するため X 線データの存在を仮定した。計算の結果、特に高赤方偏移で発生した FRB では、単純に観測値から平均磁場強度を推定すると一桁近く過小評価することが分かった。しかしもし赤方偏移が既知で理論的な補正ができるならば、因子 2 程度まで推定を改善できる。以上は大規模構造からの寄与だけを抽出できた場合に限るため、今後は FRB の発生源、介在銀河、そして天の川銀河の寄与の区別が課題となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T08a **すざく衛星による Abell 2744 銀河団周辺のミッシングバリオン探査**

服部詩穂, 太田直美 (奈良女子大学), 赤松弘規 (SRON), Y.-Y. Zhang (Bonn 大学), A. Finoguenov (Helsinki 大学)

近傍宇宙では遠方宇宙で観測されたバリオン量の半分以上が未検出のままである。これらのミッシングバリオンは温度が $10^5 - 10^7$ K 程度の中高温銀河間物質 (WHIM) として大規模構造のフィラメントに沿って薄く広がって分布していると予想されている。特に銀河団周辺は物質密度が高いため WHIM が検出できる可能性が高い。そこで北東方向に銀河のフィラメント構造を持つ Abell 2744 銀河団 ($z = 0.308$) をターゲットとし、低く安定したバックグラウンドを特長とする「すざく」衛星で観測した。

今回は軟 X 線領域で高い感度を持つ XIS1 検出器の観測データを用いて WHIM からの酸素輝線の有無を探った。銀河系 X 線放射と宇宙 X 線背景放射の成分に WHIM 成分として赤方偏移した酸素輝線を表す Gaussian モデルを追加して X 線スペクトルのフィットを行った。その結果、OVIII 輝線の赤方偏移は $z = 0.3$ と矛盾ないことがわかり、フラックスは $(3.5 \pm 1.1) \times 10^{-7}$ photons/cm²/s/arcmin² と求まった。このとき、WHIM 成分を追加したことによるフィットの改善の有意性は、F 検定により 99.9% であった。ただし、バックグラウンドモデルの不定性による系統誤差を考慮すると酸素輝線検出の有意性は 2.6σ にとどまる。さらに WHIM 成分の overdensity (宇宙の水素平均密度に対する比) を見積もると $\delta < 400$ を得た。これは数値シミュレーションによる予想とも矛盾しない。加えて、今回の観測からピリアル半径付近で銀河団ガス温度が不連続な分布を持つことも確認した。これはフィラメントを通じた質量降着とガス加熱が起きている現場を捉えたものと解釈できる。より精度の高い WHIM 検出を行うには将来の ASTRO-H や DIOS による観測が望まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T09a 「ASTRO-H」SXSによる観測シミュレーションを用いた銀河団中心部における共鳴散乱の影響の評価

古川愛生, 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大学), 深澤泰司, 枝廣育実 (広島大学)

銀河団中心部では共鳴散乱の光学的厚さは1を超えるため、共鳴散乱の影響による重元素のアバンドランスの過小評価の可能性や、共鳴散乱と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)。共鳴散乱は各重元素からの輝線の観測から直接測定が可能であるが、従来の X 線 CCD 検出器ではエネルギー分光能力が不十分であり測定が困難であった。「ASTRO-H」衛星に搭載されるマイクロカロリメータ検出器 SXS は CCD 検出器に比べてエネルギー分光能力が飛躍的に向上し、これまで分離できなかった輝線の微細構造から共鳴線を分離することが可能となり、輝線幅からガスの乱流運動をも調べることができる。共鳴散乱のシミュレーションはペルセウス座銀河団の Fe や Ni 輝線について報告されており (Churazov et al. 2004, Zhuravleva et al. 2014, 枝廣 2014 年秋季年会)、乱流が大きくなると共鳴散乱の効果が小さくなること、銀河団中心部ほど共鳴散乱の効果が大きいことなどが議論されている。

今回我々は「ASTRO-H」衛星で観測が予定されている M 87 銀河とケンタウルス座銀河団の中心領域について、XMM 衛星の観測をもとに「Geant4」及び「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。両天体の中心部における He 及び H-like Fe $K\alpha$ 輝線群に着目し、共鳴散乱の有無による各輝線強度比の変化を調査した。加えて、ガスの乱流がある場合における共鳴散乱の影響についても評価した。本講演では、M 87 銀河とケンタウルス座銀河団中心部において、共鳴散乱の有無によって「ASTRO-H」SXS でのどのようなスペクトルが観測されるかを報告し、乱流やアバンドランス測定への共鳴散乱の効果の影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T10b XMM-Newton 衛星 RGS の観測データを用いた銀河団高温ガス低温成分の温度、組成、運動の調査

正村 陸, 五十嵐宣孝, 林田 清, 井上翔太, 雑野 綾 (大阪大学)

ASTRO-H 衛星打ち上げ直前の現在、同衛星搭載のマイクロカロリメータによる銀河団高温ガスの精密観測 (高エネルギー分解能 5eV) に対して多くが期待されている。

一方、これまでもっともエネルギー分解能の高い観測は、XMM-Newton 衛星搭載の RGS(Reflection Grating Spectrometer) により実現されてきた。RGS はスリットなしのグレーティングであるため、分散方向になまされたスペクトルしか得られない欠点があるが、銀河団中心のコア部分に関しては十分な分解能が得られる。1keV 以下のバンドでは、(点源に対する) エネルギー分解能は XMM-Newton RGS のほうが ASTRO-H SXS より高く、ASTRO-H 打ち上げ後も SXS による観測と相補的な役割が期待される。

XMM-Newton 衛星 RGS を使用した系統的な研究としては、最近、CHEERS プロジェクトの結果が発表されはじめている (Pinto et al., A&A, 575, A38, 2015) が、赤方偏移 0.1 を超えるものは一つも含まれていない。また、中心 0.8' 幅と 3.4' 幅に固定した解析になっている。本講演では、赤方偏移 0.1 を超えるサンプルも含め、また、分散と直角方向の領域もより細かく分割した解析の結果を報告する。個々の銀河団の中で、1) スペクトルが二温度成分で表されるか否か、2) 低温成分の組成や温度は一定として矛盾がないかを検証し、3) 輝線のエネルギーや幅から速度の上限値を求める。

この結果を M87 とペルセウス銀河団の結果 (別講演) と比較するとともに、ASTRO-H 衛星の観測へのフィードバックを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T11b XMM-Newton RGS の観測によるペルセウス銀河団コアおよびM87の低温成分の再検証

五十嵐宣孝, 正村 陸, 井上翔太, 薙野 綾, 林田 清 (大阪大学)

ASTRO-H 衛星の打ち上げを控えた現在、同衛星搭載のマイクロカロリメータによる銀河団高温ガスの高エネルギー分解能 (5eV) の観測に対する期待が高まっている。輝線の中心エネルギーと幅により銀河団の高温ガスのバルク運動、乱流が 100km/s オーダーで測定される。また、精密な元素組成や電離状態の測定も期待される。

特に、おとめ座銀河団コアにある M87 と、ペルセウス座銀河団のコアは、表面輝度が高く、高精度のスペクトルが取得できることが期待される。いずれの銀河団も、いわゆる低温成分が存在し、これが高い表面輝度に結びついている。これまでの観測で特に重要なのが、XMM-Newton 衛星の RGS による観測である。それまでひろく信じられてきた (古典的な) Cooling Flow Model で予言する、連続的な温度成分に”下げ止まり”が存在すること、むしろ、銀河団全体をおおう高温成分と低温成分の二成分で表せること (これはあすか衛星の観測でも示唆されていたが) が示された。さらに、共鳴散乱の効果がみられないことから乱流の下限値も示されている。

本講演では、これまでに XMM-Newton 衛星 RGS で複数回観測されている両銀河団の観測データをすべて使用し、両銀河団のコアを RGS の分散と垂直な方向に区切り場所ごとのスペクトル解析をした結果を紹介する。1) X 線スペクトルモデルの妥当性 (二温度モデルが妥当か、温度、組成は場所によらないか) の検討 2) 輝線のエネルギーの場所による違いと幅から低温成分のガスの運動の上限値を、共鳴散乱の効果から乱流の下限値を得ることを目標にした結果を示し、ASTRO-H の観測へのフィードバックを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T12b 銀河団 RXC J0751.3+1730 の物理量空間分布、及び周囲の銀河団との相互作用 (2)

小林洋明, 三石郁之, 松本浩典, 田原謙 (名古屋大学), Norbert Werner (Stanford), Aurora Simionescu (ISAS/JAXA)

銀河団は重力的に束縛された宇宙で最も大きな系であり、宇宙の大規模構造形成史の重要な役割を担っている。また、銀河団の進化過程の一つである衝突・合体では銀河団ガスが互いに相互作用することで、衝撃波加熱により力学的に安定した銀河団の典型的な温度プロファイルに比べ逸脱する点が見られる。また、逸脱した点では圧力や重元素アバundance等の物理量に関しても変化が見られることが期待される。

そこで、我々は銀河団カタログを用いて、銀河団が近接した領域を選び、その領域の X 線天文衛星 XMM-Newton による観測データを解析した。その結果、視野中に RXC J0751.3+1730 や SDSS +117.7+17.7+0.19 を含む計 3 つの銀河群・銀河団からの X 線を検出した。(小林他 2015 年春季年会) その際、それぞれの銀河団の中心付近では他の銀河団による影響は見られなかった。

そこで今回は、前回検出したソースの内 RXC J0751.3+1730 に着目し、他の銀河団との間の領域での相互作用を調べると共に、銀河団自身の表面輝度や温度等の物理量の空間分布を調べた。その結果、温度は中心から $0.05 \sim 0.1 R_{\text{vir}}$ で 4.6 keV と最も高くなり、 $> 0.5 R_{\text{vir}}$ では 2.9 keV と中心付近に比べ、70% 程度まで低下していることを明らかにした。また、周囲の銀河団との間の領域に関して RXC J0751.3+1730 の中心からそれぞれの銀河団の方位角方向へ表面輝度分布を作成し、RXC J0751.3+1730 の中心を対称点とした反対の方位角方向への表面輝度分布と比較したが有意な差は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T13b 電波銀河 NGC6166 の偏波観測による冷却コア銀河団 A2199 の磁場推定

高橋律裕, 滝沢元和 (山形大学), 赤堀卓也, 小澤武揚, 中西裕之, 安楽健太 (鹿児島大学), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大学), 祖父江義明 (東京大学)

銀河団は X 線輝度分布によって冷却コア、規則、不規則銀河団と形態分類されている。銀河団 Abell 2199 は中心の電波銀河 NGC 6166 の電波ローブと銀河団ガスとの相互作用が観測されており、典型的な冷却コア銀河団としてよく知られている。冷却コア銀河団は形成・進化の際、磁場の増幅が示唆されている。そこで JVLA を使用して偏波観測をし、ファラデー回転を用いて磁場の推定をすることが本研究の目的である。

今回我々は NGC 6166 の電波観測データを解析し、電波ローブ領域でファラデー回転測度 (Rotation Measure: RM) を得たので結果を報告する。観測は 2013 年 8 月に C アレイ編成で C 帯 (4-6GHz) 及び X 帯 (8-10GHz) で行われ、両偏波観測によりストークス I、Q、U のイメージを取得した。電波ローブ領域で得られたファラデー回転測度の平均値は $-25.32[\text{rad} \cdot \text{m}^{-2}]$ であり、標準偏差は $467.61[\text{rad} \cdot \text{m}^{-2}]$ となった。(RM が得られた領域は $2' \times 0.5'$ 、 $50\text{kpc} \times 20\text{kpc}$ 程度である。)

Vacca et al.(2012) の先行研究では観測周波数が 6 周波数に対し、今回は 27 周波数使用しており、ファラデー回転測度が得られた領域も増加した。その結果、偏波角が波長の 2 乗との比例関係で説明できない場合もあることが分かった。本講演ではその原因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](#)

T14c 銀河団方向の X 線源の数と銀河団観測への影響

栗山翼, 松下恭子, 佐藤浩介, 佐々木亨 (東京理科大学)

銀河団は宇宙最大の自己重力天体であり、重力によって加熱された高温ガスが X 線を放射している。冷たい暗黒物質モデルによると、銀河団は小さな構造から衝突合体を繰り返し大きな構造へと進化し、現在も成長中であると考えられている。宇宙論的シミュレーションでは、質量降着時の衝撃波によってエントロピーは半径の 1.1 乗に比例して上昇すると考えられていた。しかし、「すざく」衛星による銀河団外縁部までの観測から、エントロピーは r_{500} までしか上昇せず、以降はほぼ一定の値となることが確認された (e.g., Sato et al. 2012)。この原因の一つとして降着してきたガス塊が高温ガスと十分混ざっていないために高温ガスの密度を過大評価することが考えられている (Simionescu et al. 2011)。ガス塊が十分大きく明るい場合、X 線源として観測できる可能性がある。これまで我々は、近傍の中規模銀河団 Abell 2199 のマッピング観測から X 線源を探索し、外縁部のガス塊が高温ガスの密度の測定に与える影響は 1 割以下となることを発表した (栗山他、2014 年秋季年会 T06a)。

今回、我々は複数の銀河団に対して「すざく」衛星と「XMM-Newton」衛星両方の観測データを用いて X 線源の探索を行い、銀河団毎の X 線源数の比較を行った。外縁部での X 線源数 ($\log N$ - $\log S$ 関係) はどの銀河団においても Lockman hole, COSMOS 領域など、明るい天体のいない領域と良く一致した。同時に、検出された X 線源についてスペクトル解析を行い、熱的プラズマからの放射の可能性を探索した。本ポスターでは、ガス塊が高温ガスの密度、そしてエントロピーにどれだけ影響し得るかについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

3月16日(水) 午前(09:30-11:42) [B会場]

U01a	09:30	宇宙膨張論の検証XX VI 今一度基本に立ち帰ろう 阿武靖彦
U02a	09:42	宇宙もスピンしている 新村公剛(新村公剛公認会計士事務所)
U03a	09:54	マイナスの宇宙で電子と陽子はどのようにできたか。 小堀しづ
U04a	10:06	非線形領域でニュートリノを流体として取り扱うことについての考察 大石直矢(京都大学)
U05a	10:18	Cosmic string による初期磁場生成 堀口晃一郎(名古屋大学)
U06a	10:30	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR による B-mode 偏光観測の最新結果 茅根裕司(カリフォルニア大学バークレー校)
U07a	10:42	宇宙初期の超新星残骸がつくる宇宙マイクロ波背景放射の円偏光 田代寛之(名古屋大学)
U08a	10:54	Constraining light gravitino mass with 21 cm line observation 大山祥彦(東京大学)
U09a	11:06	高次の統計量を用いた宇宙再電離期におけるパラメータ推定 久保田賢志(熊本大学)
U10a	11:18	バリオン-ダークマター間の相対速度を含む宇宙論的構造形成 浅羽信介(名古屋大学)
U11a	11:30	赤方偏移空間におけるバイスペクトル 橋本一彦(京都大学)
U12c		宇宙定数 Λ による光の曲がりに関する諸問題の検討 荒木田英禎(日本大学)
U13b	11:42	宇宙マイクロ波背景放射の量子状態 新田大輔(名古屋大学)
U14b	11:42	超巨大ブラックホール(SMBH)と銀河の関係 中道晶香(京都産業大学)
U15b	11:42	マイナスの宇宙のエネルギー。ビッグバンから始まった宇宙を「プラスの宇宙」とし、ビッグバンに至る宇宙を「マイナスの宇宙」とする。進む方向が逆であるからです。 小堀しづ
U16c		マイナスの宇宙からプラスの宇宙に成る折り返し点はどこか。ビッグバンを起こしたものは何か。 小堀しづ

3月16日(水) 午後(13:30-15:40) [B会場]

U17a	13:30	Post-collapse perturbation theory in 1D cosmology 樽家篤史(京都大学)
U18a	13:42	ダークエネルギーの揺らぎがボイド形成に与える影響 遠藤隆夫(名古屋大学)
U19a	13:54	有限体積銀河サーベイの宇宙論統計量に対する大スケールゆらぎの影響 - Super Sample Effect 高田昌広(東京大学)
U20a	14:06	全天重力レンズマップの作成 高橋龍一(弘前大学)
U21a	14:18	大規模シミュレーション群に基づく銀河-銀河レンズ効果のエミュレータ 西道啓博(東京大学)
U22a	14:30	擬似スペクトル法による銀河・銀河レンズスペクトル解析 日影千秋(東京大学)
U23a	14:42	ハローパワースペクトルの新たな展開法 杉山尚徳(Kavli IPMU)
U24a	14:54	銀河団におけるハロー・アセンブリ・バイアスの初検出 宮武広直(NASA JPL/Caltech/Kavli IPMU)
U25a	15:06	SDSS 銀河団カタログの弱重力レンズ効果と数値宇宙論の比較による銀河団質量の検証 村田龍馬(Kavli IPMU)
U26a	15:18	高速電波バーストで探るバリオンおよび暗黒物質の小スケール密度揺らぎ 井上進(理化学研究所)
U27a	15:30	M87 からの重力波 米丸直之(熊本大学)

○阿武靖彦(-)

【宇宙膨張論の決定的な反証明】

「無から有は生じない」これで十分である。

もしも自然現象として、宇宙誕生に近似した現象が幾つか有っても、極めて初期に重力崩壊した筈。

【ハッブルさんが「宇宙は膨張している」と言った事はない】

1929年ハッブル博士は「赤方偏移率は光源までの距離に比例している」と発表した。赤方偏移はドップラー効果によるものと決めつけて、宇宙膨張論をでっち上げたのは世間である。今だに証明が無い。発見者はいない。

【現在の宇宙モデルの他の問題点(1)：膨張する静止系と慣性の法則】

空間上の全ての静止点において、静止点相互の間隔が膨張している。これは静止系ではない。

この擬似静止系において、慣性の法則が成立する筈はない。

【現在の宇宙モデルの他の問題点(2)：宇宙表面の状況と、宇宙中心からの離隔速度】

宇宙表面が宇宙中心から離隔する速度は光速と言うが、測定した人はいない。宇宙表面を見た人もいない。

離隔速度が光速で、超光速が存在しないものならば、宇宙表面は、行き場を失った天体・光が集積する筈。

【今後の課題】

現在信じられている宇宙モデル・宇宙生成過程は余りにも非理論的である。早急に破棄すべきである。

新たな宇宙論構築の為、情報・理論を交流する場を設けて戴きたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

○新村公剛（新村公剛公認会計士事務所）

この論文では、光速 c として、慣性系 S の空間座標と時間座標 (x, ct) とこの系に対して一定の速度 v で運動する慣性系 S' のそれら (x', ct') についてのアインシュタインの特殊相対性理論のローレンツ変換がスピン行列といわれるパウリ行列で表示されることを指摘する。まず、パウリ行列 σ は、単位行列 σ_0 、上向きスピン行列 σ_+ 及び下向きスピン行列 σ_- として

$$\sigma_+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma_- = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma_1 = \sigma_+ + \sigma_-$$

である。行列で結果を示すと、パウリ行列で表示されるローレンツ変換は

$$\begin{bmatrix} x' \\ ct' \end{bmatrix} = \gamma \{ \sigma_0 - \beta (\sigma_+ + \sigma_-) \} \begin{bmatrix} x \\ ct \end{bmatrix}$$

で、なお $\beta = v/c$ 、 $\gamma = \sqrt{1 - \beta^2}$ である。上記の式の成り立つのは、宇宙がスピンしているから、スピン行列で表示され、慣性系 S でも慣性系 S' でも法則の形が保たれる。宇宙がスピンしていないと、宇宙崩壊する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

陽子は 1836 個の電子が集まってできたものではない。なぜなら陽子を解体しても 1836 個の電子はできないからです。また電子と陽子の回転方向は逆であるからです。それではどのように陽子と電子はできたか。マイナスの宇宙に於いて、原子のように、外側を電子に成る電磁気が回転し、その内側を陽子に成る電磁気が回転していた。その軌道差は 1836 倍です。陽子ができる電磁気の回転方向を+とすると、電子ができる電磁気の回転方向は-です。電子のエネルギーが 1 J に成り電子はできた。電子のエネルギーが 8.665J に成りビッグバンは起きた。宇宙の方程式は軌道×エネルギー=8.665×10⁻²⁴Jm であるからです(特願 2007-112389)。その電磁気数は、地表なら 7.028×10¹⁷ 個ですが、マイナスの宇宙のエネルギーは地表の 3×10⁸ 倍ですから、7.028×10¹⁷ 個÷(3×10⁸)=2.343×10⁹ 個でできる。それで、電磁気 1 個のエネルギー×(2.343×10⁹)²=1 J。電磁気 1 個のエネルギー=1 J÷(2.343×10⁹)²=1.821×10⁻¹⁹J。マイナスの宇宙の原初の電磁気 1 個のエネルギーは 1.821×10⁻¹⁹J です。それは石を溶かす電磁気のエネルギーです(特願 2006-35755)。回転が逆の電磁気は放出する方向を逆に放出する。陽子に成る電磁気 1 個のエネルギーは 1836×1.821×10⁻¹⁹J=3.343×10⁻¹⁶J、です。マイナスの宇宙に存在する原子数は 1.0765×10⁷⁹×a⁶ です。a は電子のラブのエネルギーです(特願 2009-218192)。マイナスの宇宙に存在する電子に成る電磁気は 1.0765×10⁷⁹ 個×2.343×10⁹ 個です。ビッグバンが起きるとき、電子のエネルギーは 8.665J です。1.821×10⁻¹⁹J×電磁気数²=8.665J。電磁気数=(4.758×10¹⁹)^{1/2}=6.898×10⁹ 個。この場合の原子数は、1.0765×10⁷⁹×8.665⁶×6.898×10⁹ 個、です。1 J は地表のエネルギーの、1 J÷(8.187×10⁻¹⁴J)=1.221×10¹³ 倍です。これは「質量を作るための定数」1.421×10¹³ です(特願 2015-093867)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a 非線形領域でニュートリノを流体として取り扱うことについての考察

大石直矢, 樽家篤史, 平松尚志, 橋本一彦 (京都大学)

ニュートリノ振動の観測によって、我々の宇宙には小さいながらも質量をもつニュートリノが存在することが分かっている。そして質量をもつニュートリノは宇宙の大規模構造形成に少なからず影響を与える。そこで、近年の観測精度の向上により精密な宇宙論を展開することが非常に重要となってきたことも踏まえ、ニュートリノを考慮にいれた宇宙論を考える。

現在ニュートリノを入れた大規模構造計算は Vlasov 方程式またはその近似的なアプローチである N 体計算や流体近似を用いて行われている。しかしコールドダークマターと違ってニュートリノは大きな熱的速度分散をもつので、流体近似を適用して良いのかどうかは自明なことではない。しかしニュートリノを流体として扱う妥当性について、線形領域においてはすでに議論されており、ある波数のニュートリノの密度揺らぎがホライズンに入った時、ニュートリノがすでに非相対論的になっていれば流体近似は十分良い近似であることが分かっている。

そこで本講演では非線形領域でのニュートリノの流体としての取り扱いについて議論する。具体的にはダークマターハロー周りに集まるニュートリノの個数密度を2つの方法で計算し比較することで行う。1つ目の方法は近似なしの Boltzmann 方程式を解くことに対応する N-one-body シミュレーションを行う方法、2つ目の方法は Vlasov 方程式を近似した流体方程式を解く方法である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a Cosmic string による初期磁場生成

堀口晃一郎、市來淨與、杉山直 (名古屋大)

現在宇宙にある殆どの構造には磁場が付随しており、磁場とともに発展してきている。近年、宇宙論的スケールで物質が存在している銀河団や宇宙の大規模構造、さらには物質が殆ど存在しないボイドと呼ばれる領域にも磁場が存在することが分かってきた。これらの磁場の起源は大きく分けて天体起源・宇宙論起源の二種類あり、これにより生成された磁場がダイナモ機構などにより増幅され、現在それぞれの構造で観測される磁場になったと考えられている。このような、現在観測されている磁場の元となった磁場は初期磁場と呼ばれている。本研究では宇宙論起源の初期磁場生成で初期宇宙の相転移などによって生じうる cosmic string と呼ばれるひも状の高エネルギー領域が生成する初期磁場を見積もった。

本研究では、cosmic string の運動が初期宇宙で光子やバリオンの分布に影響を与えうることに着目した。初期宇宙では光子と電子、バリオンがクーロン力とトムソン散乱により強く結びついて運動しているが、cosmic string が運動することでこれらの運動に渦が生成され、バリオンと、光子とのトムソン散乱によって押された電子が引き離される。これにより、渦状の電場が誘起され、宇宙論的スケールで磁場が生成される。本研究では、光子とバリオンについて三次までの強結合近似を用いて数値シミュレーションを行い、この過程で cosmic string によって生成される初期磁場を求めた。これにより、cosmic string のエネルギー線密度が $1(10^{16}\text{GeV})^2$ 程度であるとき、cosmic string から生成され磁場は現在 Mpc スケールで 10^{-23} ガウス程度であることが分かった。発表では生成された磁場の特性について時間発展や cut off スケール等を含めて詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U06a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR による B-mode 偏光観測の最新結果

茅根裕司, 高倉理 (阪大理学部), 田島治 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 西野玄記 (KEK 素核研), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験はインフレーション仮説の検証及びニュートリノ総質量の測定を目指し、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の 150 GHz 帯偏光観測を、チリのアタカマ砂漠、標高 5,200m で行っている。POLARBEAR 実験は、超高感度な 1274 個の TES (transition-edge sensor) bolometer と 3.5 m の専用望遠鏡を用いることで、インフレーション仮説の検証に繋がる原始重力波起源 B-mode 偏光 (大角度スケール)、およびニュートリノ総質量測定に繋がる重力レンズ起源 B-mode 偏光 (小角度スケール) の両方を測定することが可能なユニークな実験である。2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B-mode 偏光に特化した deep survey 観測、2014 年からは原始重力波起源 B-mode 偏光に特化した wide survey 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-mode 偏光の自己相関スペクトルを報告し、また 2015 年秋年会に於いては新たに宇宙論的複屈折効果 (Cosmic Birefringence) の探索結果を報告してきた。本発表では引き続き最新の解析結果を報告し、また将来計画についてもまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a 宇宙初期の超新星残骸がつくる宇宙マイクロ波背景放射の円偏光

田代寛之 (名古屋大学)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光の観測は、現在最も注目を集めている宇宙論的観測の一つである。標準宇宙論における CMB 偏光生成機構は、温度異方性のある CMB のトムソン散乱であるが、トムソン散乱は線形偏光のみしか生成しない。そのため、CMB 偏光のほとんどの議論が線形偏光のみに関してである。しかしながら、線形偏光された電磁場は、磁場を伴う相対論的プラズマ中を通過する時、その一部が円偏光へと変換されることが知られている。この変換は Faraday conversion と呼ばれ、CMB においても有力な円偏光生成機構となる可能性がある。そこで我々は、相対論的プラズマとして初代星の超新星残骸に注目し、超新星残骸による Faraday conversion の CMB への影響を調べた。その際、超新星残骸モデルとしてシンプルな解析的モデルを採用したが、超新星残骸の進化の影響なども考慮した。これにより、CMB が超新星残骸を通過することにより線形偏光が円偏光に変換されることを定量的に評価し、さらに円偏光の角度パワースペクトルを見積もった。その結果、円偏光のスペクトルの振幅は最大で 0.1 マイクロケルビン (at 1GHz) に達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](#)

U08a **Constraining light gravitino mass with 21 cm line observation**

大山祥彦 (東大宇宙線研), 川崎 雅裕 (東大宇宙線研), 関口豊和 (IBS/CTPU)

局所的な超対称性を持つ素粒子モデルである超重力理論においては、重力子に対する超対称パートナーであるスピン $3/2$ を持ったフェルミオンとして、グラビティーノの存在が预言される。このグラビティーノの質量は、超対称性が破れるスケールによって eV から TeV まで取る可能性があり、この内 $O(10)$ eV 以下の質量を持った軽いグラビティーノは、グラビティーノが宇宙初期に生成されすぎるというグラビティーノ問題を生じず、また様々なバリオン生成のシナリオとも整合的であるという点から、理論的に非常に魅力的である。

その様な軽いグラビティーノが暗黒物質として存在する場合、通常の冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter) とは異なり Warm Dark Matter (WDM) としての振る舞いをする。そのため、主に次に説明する様な効果を通して、宇宙の物質の密度ゆらぎの成長に影響を与える。一つ目は matter-radiation equality の時期に対する影響であり、これはその様な軽いグラビティーノが宇宙の初期の時期において、余分な放射成分として振る舞うために生じるものである。二つ目は、その自身の軽い質量によって、少スケールの密度ゆらぎの成長が抑制されるという効果 (フリーストリーミング効果) である。

我々は、宇宙再電離時に生じる 21cm 線と CMB の観測による密度ゆらぎの測定から、その様な軽いグラビティーノの質量に対し、将来どの程度まで制限できるかについて解析を行った。本講演では、我々が行った最新の解析結果の発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09a 高次の統計量を用いた宇宙再電離期におけるパラメータ推定

久保田賢志, 吉浦伸太郎, 高橋慶太郎 (熊本大学), 島袋隼士 (名古屋大学)

宇宙は晴れ上がりの後、中性水素で満たされた暗黒時代を迎える。その後、天体や銀河が形成されるとそれらの放射により周りの中性水素がイオン化され、宇宙は再びイオン化する。これが宇宙の再電離 (再イオン化) である。再電離期の観測は未だ十分に行われおらず、再電離が実際どのように起こり、いつ始まったのかなどはよく分かっていない。暗黒時代から再電離期にかけて水素が宇宙の主要成分であることから、再電離期の観測手段として中性水素の超微細構造由来の 21cm 線が用いられる。そして、その 21cm 線の観測量は輝度温度という量で与えられ、輝度温度には再電離期の天体物理的な情報が含まれており、これを観測し解析することでそれらの情報を引き出すことができる。しかし、現在稼働中の LOFAR や MWA などではその低い SN 比のために輝度温度の画像化は難しく、統計的な手法による解析が用いられる。そこでよく用いられるのは power spectrum である。power spectrum は定義により揺らぎの二点相関であり、power spectrum を用いた再電離期のパラメータ推定などの研究はしばしば行われている。また、power spectrum の波数に関しての積分である variance によるパラメータ推定も行われている。しかしながら、power spectrum は同じ大きさのスケール間の揺らぎの相関のみを考えている。そこで我々は large scale と small scale 間の揺らぎの相関を考えることのできる bispectrum と呼ばれる三点相関を考える。三点の揺らぎの相関を考えることで bispectrum はより高次の統計量となり、共著者の研究ではパラメータ推定において power spectrum よりも強力な方法であることが報告されている。また、power spectrum と variance の関係と同様に bispectrum を波数に関して積分した量もあり、それは skewness と呼ばれる。そこで今回我々は LOFAR や MWA の観測を想定して skewness による再電離期のパラメータ推定を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U10a バリオン-ダークマター間の相対速度を含む宇宙論的構造形成

浅羽信介, 市来浄與, 田代寛之 (名古屋大学)

宇宙の再電離史を精度よく計算する為には、宇宙論的シミュレーションにおいてダークマターとバリオンを適切な初期条件から始める必要がある。特に、Tsaliakhovich & Hirata (2010) によって指摘されたバリオン-ダークマター間の超音速相対速度が小スケールの構造形成に与える影響を考慮する必要がある。しかし、バリオン-ダークマター間の相対速度が構造形成に与える影響の定量的な議論はまだ不完全である。

本研究では、球対称崩壊モデルを拡張することで超音速相対速度がハローの形成時刻に与える影響のモデル化を行った。準解析的にハローの形成時刻の変化はハロー内のバリオンの質量割合の変化によって見積もることができることがわかった。また、このモデルを用いて Press-Schechter 理論によりハローの数密度の変化を計算した場合、 $10^5 M_{\odot}$ のハローの数密度が $z=10$ で半分程度になるという結果が得られた。しかし、この結果は宇宙論的シミュレーションから得られた質量関数の変化に比べて数密度の減少がより顕著である。その原因として、球対称崩壊モデルでは相対速度によってハローの形成時刻が最も効率的に遅れる結果になっている為であると考えられる。そのため、本講演ではより現実的な状況におけるバリオン-ダークマター間の相対速度が構造形成に与える影響について議論した結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U11a 赤方偏移空間におけるバイスペクトル

橋本一彦, 樽家篤史 (基礎物理学研究所), Yann Rasera (Paris Observatory)

Ia型超新星などによって観測される現在の宇宙の加速膨張が、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となっている。この謎に迫る観測手段の一つは銀河の赤方偏移サーベイであり、赤方偏移空間での銀河分布の非等方性から宇宙論的スケールでの重力理論を検証することで加速膨張の起源がダ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ことができる。

これまで、赤方偏移サーベイの観測データの解析には、銀河の個数密度ゆらぎの2点相関、あるいはそのフーリエ変換であるパワースペクトルが用いられてきた。この2点統計と3点相関(バイスペクトル)を組み合わせると、2点統計のみの場合と比べ重力理論の制限を2倍程度強めることができると示されている (Song et al. 2015)。一方で現在提案されている赤方偏移空間でのバイスペクトルの理論モデル (Scoccimarro 1998) は数%程度の系統誤差を生み出す可能性があり (Taruya et al. 2010)、将来観測による詳細な加速膨張の検証を実現するためにはより精密な理論モデルを構築する必要がある。

本公演では赤方偏移空間のバイスペクトルを摂動論に基づいて精密に計算し、N体シミュレーションと比較した結果を報告する。特に、バイスペクトルの計算では、赤方偏移空間での密度ゆらぎの重力による非線形成長の効果を、先行研究よりも高次のオーダーまで取り入れた。この理論計算とシミュレーションとの比較から、摂動論が適応できるスケールや赤方偏移を確かめた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U12c 宇宙定数 Λ による光の曲がりに関する諸問題の検討

荒木田英禎 (日本大学)

日本天文学会 2012 年春季年会における発表「 Λ で光は曲がるのか? : 光の湾曲とレンズ方程式に対する宇宙定数の影響 (U08b: 荒木田, 葛西)」において, 光の湾曲への宇宙定数 Λ の寄与について『(a) 宇宙定数 Λ は光の測地線方程式と光子軌道の双方に現れる, (b) しかし, Λ の寄与は impact parameter の定義に完全に吸収されてしまうため, 光の曲がり角の表式は変更されない, さらに (c) Λ の影響は angular diameter distance D_A に完全に取り込まれるために, Λ による宇宙論的なレンズ方程式の表式の変更も生じない』と報告した (Ref: H. Arakida, M. Kasai (2012), Phys. Rev. D, Vol. 85, id 023006) .

しかし, 先の発表では, 本来区別されるべき Schwarzschild–de Sitter/Kottler 時空での運動の積分 $1/b^2 \equiv E^2/(c^2 L^2)$ を Schwarzschild 時空による運動の積分で書き表すなど, いくつか修正すべき点が散見されたので, まずそれらについて報告と議論を行う .

また, 宇宙定数 Λ による光の湾曲を論ずる各論文において, 光の経路を表す測地線方程式が平坦な時空に投影されたものと見なされている場合と, 漸近的に平坦にならない Schwarzschild–de Sitter/Kottler 時空で表されている場合があるなどまだ混乱が見られる . 本発表では, これらも含め, 漸近的に平坦にならない時空における光の湾曲を議論する際に未解決となっている諸問題について議論・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](#)

U13b 宇宙マイクロ波背景放射の量子状態

新田大輔 (名古屋大学)

宇宙の様々な構造は、インフレーションによって量子揺らぎから作られたと考えられている。量子的な状態には、干渉や量子もつれなど、古典力学には見られない相関が現れる。場が一つでドジッター時空の場合、ホライズンを出た揺らぎはほぼ古典的な揺らぎとして振る舞うことが、先行研究でわかっている。しかしそれ以外の場合では、インフレーション終了までにホライズンサイズを超えた距離で量子もつれが作られることが、幾つかのモデルで示されている。

本研究では、原始量子状態が光子の量子状態に引き継がれるとして、光子が一般に量子もつれの状態にある場合のボルツマン方程式を第1原理から導出し、その発展を見た。そこから宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎのスペクトルを計算し、量子もつれが実際のスペクトルにどの程度影響するかを調べた。

今回の発表では、その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14b 超巨大ブラックホール (SMBH) と銀河の関係

中道晶香 (京産大神山天文台), 森川雅博 (お茶大理)

超巨大ブラックホール (SMBH) が銀河を形成していくシナリオを検証する。まず、SMBH がボゾン場の不安定性から臨界生成を経てどのような質量 (頻度) 関数を作るかを求める。SMBH が銀河の星を生成していくならば、その関数は、ダークハローの頻度分布と合わせて、スケールに依存した L/M 比を決定していく。これを確定して観測と比較する。

SMBH は、銀河の質量、速度分散、球状星団の数などを決める。通常は、初代の星が BH を生成し、それが合体成長して SMBH となり、星生成を調整する、という共進化説が考えられている。しかしこれでは、以下の大きな疑問が残る。(1) なぜ $z=7$ で SMBH が急成長するのか? (2) 銀河中心で SMBH バイナリが少ないのはなぜか? (3) 銀河中心からはずれた SMBH がなぜ無いのか? (4) 銀河からはじき出されて孤立した SMBH がなぜ見つからないのか? など。そこで我々は、SMBH が先に生成され、そのジェットやアウトフローが星生成を制御するというシナリオを提案する。

ブラックホールの臨界現象を応用して、ダークハロー質量から生成されるブラックホール質量を推測する。ダークハローに対する Press-Schechter 質量関数近似を用いて SMBH 質量関数を導く。SMBH 質量は星となるバリオン質量に比例するため、ここから L/M 比を、スケールの関数として導く。

結果は、 L/M 比の関数として、中ほどでピークを持つ特徴的な形をしている。大スケール側の減少は、一般に大きなサイズのダークハローほど球対称からずれるため、SMBH 形成が有効に行われないうちに起因すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

マイナスの宇宙のエネルギー。ビッグバンから始まった宇宙を「プラスの宇宙」とし、ビッグバンに至る宇宙を「マイナスの宇宙」とする。進む方向が逆であるからです。

小堀 しづ

・マイナスの宇宙の電磁気の式。放出した電磁気1個のエネルギー(=aJ)によってできる場のAは、 $A=2.653 \times 10^{20} \times a$ 、です。(特願 2010-210141) ・1束の電磁気数=場のA÷(放出した電磁気1個のエネルギーによってできる場のA)=場のA÷($2.653 \times 10^{20} \times a$)=場のA× $3.769 \times 10^{-21} \text{J} \div a$ 。

・1束の電磁気のエネルギー=1束の電磁気数×1個の電磁気のエネルギー=場のA× $3.769 \times 10^{-21} \text{J} \div a \times 1$ 個の電磁気のエネルギー=場のA× $3.769 \times 10^{-21} \text{J} \div a \times a$ =場のA× $3.769 \times 10^{-21} \text{J}$ 。

・陽子の中の3.1MeVのクオークと見做されている電磁気の束(=輪)の式。A= 3×10^8 の場合、1束(=輪)の電磁気数は 6.250×10^8 個で、1束(=輪)の電磁気のエネルギーは $4.967 \times 10^{-13} \text{J}$ です。(特願 2015-117134) 1束の電磁気数=場のA÷x。x= $3 \times 10^8 \div (6.250 \times 10^8 \text{個})=0.480$ 。1束の電磁気数=場のA÷0.480。 ・1束の電磁気のエネルギー=場のA×y。y= $4.967 \times 10^{-13} \text{J} \div (3 \times 10^8)=1.656 \times 10^{-21} \text{J}$ 。よって、1束の電磁気のエネルギー=場のA× $1.656 \times 10^{-21} \text{J}$ 。

・電子の中の5.7MeVのクオークと見做されている電磁気の束(=輪)の式。A= 3×10^8 の場合、1束(=輪)の電磁気数は 3.619×10^9 個で、1束(=輪)の電磁気のエネルギーは $9.132 \times 10^{-13} \text{J}$ です。1束の電磁気数=場のA×x。x= $3.619 \times 10^9 \text{個} \div (3 \times 10^8)=1.206 \times 10$ 。1束の電磁気数=場のA× 1.206×10 。 ・1束の電磁気のエネルギー=場のA×y。y= $9.132 \times 10^{-13} \text{J} \div (3 \times 10^8)=3.044 \times 10^{-21} \text{J}$ 。よって、1束の電磁気のエネルギー=場のA× $3.044 \times 10^{-21} \text{J}$ 。

マイナスの宇宙の1束の電磁気のエネルギーと陽子の中の3.1MeVのクオークと見做されている1束(=輪)の電磁気のエネルギーと電子の中の5.7MeVのクオークと見做されている1束(=輪)の電磁気のエネルギーはほぼ等しい。それで、マイナスの宇宙のエネルギーは地表のエネルギーの 3×10^8 倍です。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

1Jの電子のラブができ、電子のラブのエネルギーが8.665Jに成ったときビッグバンは起きた。1836Jの陽子のラブができ、陽子のラブのエネルギーが $1.591 \times 10^4 \text{J}$ に成ったときビッグバンは起きた。それで、マイナスの宇宙とプラスの宇宙の折り返し点となったのはビッグバンです。マイナスの宇宙の $A=6.898 \times 10^9 \times 48.32$ の場であり、プラスの宇宙の $A=10^{20}$ の場です。この場の宇宙のエネルギーは等しい。

ビッグバンを起こしたエネルギーは、出来上がった陽子のエネルギーの集合体です。そこに存在する陽子ラブの数は、この場の電子のラブのエネルギーは8.665Jですから、 $1.0765 \times 10^{79} \times a^6 = 1.0765 \times 10^{79} \times 8.665^6 = 1.077 \times 10^{79} \times 4.233 \times 10^5 = 4.559 \times 10^{84}$ 個です。(特願 2009-218192)。

・ビッグバンを起こす力に成ったものは、陽子のラブの全体のエネルギーであり、陽子のラブの個数×陽子のラブのエネルギー= 4.559×10^{84} 個× $1.591 \times 10^4 \text{J} = 7.253 \times 10^{88} \text{J}$ 、です。・ビッグバンを起こす力に成ったものは、陽子のラブが作る電気の光子のエネルギーであり、磁気的光子のエネルギーである引力です。陽子のラブが1秒間に作る電気の光子のエネルギーと磁気的光子のエネルギーは等しいです。陽子のラブが1秒間に作る電気の光子のエネルギーと磁気的光子のエネルギーは、 $2.323 \times 10^{-32} \text{Jm} \div \text{公転軌道} = 2.323 \times 10^{-32} \text{Jm} \div (5.446 \times 10^{-28} \text{m}) = 4.266 \times 10^{-5} \text{J}$ 、です。・ 4.559×10^{84} 個の陽子のラブが1秒間に作る電気の光子のエネルギーと磁気的光子のエネルギーは、 4.559×10^{84} 個× $4.266 \times 10^{-5} \text{J} = 1.945 \times 10^{80} \text{J}$ 、です。・ビッグバンを起こす力に成ったものは、陽子のラブの比重です。陽子のラブの自転軌道の比重は $5.225 \times 10^{64} \text{g/cm}^3$ です。この比重の物が 4.559×10^{84} 個存在します。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U17a Post-collapse perturbation theory in 1D cosmology

樽家篤史 (京都大学), Stéphane Colombi (パリ天体物理学研究所)

近年、銀河サーベイなどに代表される宇宙大規模構造の観測が大型化し、重力非線形性が弱い大スケールにまで観測領域が広がった。これにより、パワースペクトルなどの観測量が摂動論にもとづく解析計算と直接比較できるようになってきた。特に最近、再和法・くりこみ展開などのテクニックが発展し、より高次の計算が行われることで、摂動計算の適用範囲も広がっている。

宇宙大規模構造の摂動計算では、冷たい暗黒物質とバリオンからなる質量分布を圧力ゼロの流体とみなし、流体方程式にもとづいて密度ゆらぎの進化を摂動的に解く。これは、本来、無衝突ボルツマン方程式で記述されるべき質量分布のダイナミクスを、単一流近似 (single-stream approximation) と呼ばれる近似で流体系に帰着させた上で、さらに摂動的に解くことに対応している。ただし単一流近似は、ハローなどの構造が形成される小スケールでは成り立たず、流体的な取り扱いは一般に破綻する。そのため、従来の計算方法で摂動次数をどんどん上げても、小スケールの非線形性を適切に記述できないばかりか、むしろ、理論計算自体の破綻が起こりうる。

この摂動論の破綻がごく最近、高次摂動の UV 発散という形で注目を浴びようになり、有効理論と呼ばれるアプローチでそうした問題を回避しようとする動きが出てきた。しかるに、有効理論ではパラメーターを含む摂動計算をシミュレーションで常にキャリブレーションする必要があり、解析計算としての利点が失われてしまう。本講演では、無衝突ボルツマン方程式にもとづき単一流近似を超える摂動論的取り扱い、“post-collapse perturbation theory” について解説する。この方法では有効理論のようなパラメーターは一切含まない。状況を単純化した 1 次元宇宙における解析から、従来の摂動論の適用範囲を大きく凌駕する結果が得られることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U18a

ダークエネルギーの揺らぎがボイド形成に与える影響

遠藤隆夫 (名古屋大学 M1), 西澤淳 (名古屋大学), 市来淨與 (名古屋大学)

宇宙の加速膨張の原因としてダークエネルギーの存在が提唱され、ダークエネルギーの正体の解明は現在の宇宙論において重要な課題の一つとなっている。現在標準モデルとされている、ダークエネルギーを宇宙項とする Λ CDMモデルでは、空間的に一様なダークエネルギーを仮定しており、宇宙マイクロ波背景放射やバリオン音響振動といった宇宙論的な観測結果をよく再現している。宇宙項の正体として真空のエネルギーが有力な候補とされているが、理論的に予言される値と実際の観測から得られる値には100桁を超える隔たりがあり、この不一致は未だ解消されていない。本研究ではダークエネルギーのモデルを一般化し、宇宙大規模構造において天体の少ない領域であるボイドの形成過程を調べることで、ダークエネルギーの性質に迫ることを目的とした。ボイドは宇宙全体の体積のうち大部分を占めているため統計量が得やすく、形成過程には重力が大きな寄与をしているためモデル化がしやすい。従ってシミュレーションや観測との比較が容易となる。また、Goldberg&Vogeley (2004) はボイド内部の構造の成長はダークエネルギーに大きく左右されることをシミュレーションによって示している。

先行研究において Besse et al. (2010) はダークエネルギーのモデルを一般化し、ダークエネルギーの密度・圧力が空間的に揺らいでいるときに、球対称崩壊モデルを用いてダークエネルギーの揺らぎがハローと呼ばれる銀河団スケールの高密度領域の形成に与える影響を報告している。本講演ではこの方法を応用し、ダークエネルギーの揺らぎが球対称なボイドの形成に与える影響を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U19a **有限体積銀河サーベイの宇宙論統計量に対する大スケールゆらぎの影響
– Super Sample Effect**

高田昌広 (カブリ IPMU), Yin Li (Berkeley/IPMU), Wayne Hu (Chicago)

すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) および Prime Focus Spectrograph (PFS) をはじめとし、世界中で精密宇宙論を目指した広天域銀河サーベイが進行中、計画中である。これら銀河サーベイの共通の目標は、宇宙の大規模構造のゆらぎの宇宙論統計量（重力レンズ効果、銀河クラスタリング、銀河団質量関数など）を高精度で測定し、理論モデルとの比較から、ダークエネルギー、インフレーションモデル、またニュートリノ質量などの宇宙論パラメータを制限するというものである。

いかなる銀河サーベイにおいても、その観測領域が有限体積であるために、観測体積を超える大スケールのゆらぎ (super-survey mode) を測定することはできない。しかし、宇宙の構造形成において、重力の遠距離力・非線形性の性質のために、この大スケールゆらぎは観測領域内の小スケールゆらぎの時間進化に影響を及ぼす (Super Sample Effect = SSE)。この大スケールゆらぎが観測不可能であるという事実が、一般に大規模構造の宇宙論統計量の解釈に不定性を引き起こすことが分かってきた。Takada & Hu (2013)、Li, Hu & Takada (2014a,b) の一連の論文において、この大スケールゆらぎの宇宙論統計量への影響を統一的に形式化することに成功した。その結果を本講演で報告し、この SSE 効果のすばる HSC・PFS などの銀河サーベイにおける重要性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U20a 全天重力レンズマップの作成

高橋龍一, 浜名崇 (国立天文台), 白崎正人 (国立天文台)

遠方銀河の像の歪みを用いた弱い重力レンズ (cosmic shear) は、宇宙の未知の構成要素であるダークマターやダークエネルギーの性質を探る強力な手法として使われている。遠方銀河の像は手前のダークマターの揺らぎを通過すると、重力レンズ効果により形が歪む。そのため、遠方銀河の形の歪みを統計的に調べることで、宇宙の全物質や密度揺らぎの振幅を測ることができる。これまでで最大規模の弱い重力レンズサーベイは CFHTLS 計画で、観測領域は約 150 平方度である (全天は約 40000 平方度)。しかし、近年ふたつの大規模サーベイが始まっており、どちらも視野はこれまで (CFHTLS) より 1 ケタ以上広い。ひとつはすばる望遠鏡を用いた HSC 計画で、5 年間で約 1500 平方度の面積を観測する計画である。もう一つは DES 計画で、チリの望遠鏡で 5 年間で約 6000 平方度を観測する計画である。また、2020 年代には LSST が観測を開始する予定で、ほぼ全南天 (20000 平方度) を観測する計画である。このように、全天に匹敵するような広視野銀河サーベイが始まるにあたり、全天重力レンズシミュレーションの重要性は高まっている。

本研究ではまず数値シミュレーションを用いて、ダークマターによる宇宙の大規模構造を作成した。次に非一様宇宙を伝播する光の重力レンズシミュレーションを行い、角度分解能が約 0.2 分角の全天マップを百枚用意した。重力レンズの計算は公開されているコード GRaytrix (Shirasaki+ 2015) を用いた。この 100 枚の全天マップから HSC 用の観測領域を 2000 個用意し、弱い重力レンズ効果による銀河の歪み (shear) の相関関数を求めた。相関関数の平均と共分散を求め、そこから HSC 計画での宇宙パラメーター (密度パラメーターと揺らぎの振幅) に対する決定精度を調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U21a 大規模シミュレーション群に基づく銀河-銀河レンズ効果のエミュレータ

西道啓博, 高田昌広, 吉田直紀, 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)

赤方偏移既知の銀河が重力レンズ天体として引き起こす背景銀河の像の変形は、レンズ周りの密度場の推定を可能にする (銀河-銀河レンズ効果)。多数のレンズ天体の周りでスタックしてこの効果を精密に測定することで、ハロー内部から約 100Mpc/h にまで及ぶ広いダイナミックレンジに渡り銀河と物質分布の相関を明らかにできる。これを銀河の 3 次元相関解析と組み合わせることで、銀河バイアスの不定性に強い宇宙論解析が可能となる。

本講演では、大規模なシミュレーションデータベースから構築された銀河-銀河レンズ効果のエミュレータについて紹介する。このデータベースは多数の 100 億粒子の宇宙論的計算から構成され、現時点でおよそ 100 個の独立な計算から約 2000 回分の出力を有している。エミュレータはハローの質量、赤方偏移、レンズ中心からの距離、そして宇宙論パラメタを入力することで、重力レンズのシグナルを出力する。超ラテン格子デザインで多次元宇宙論パラメタ空間を効率良く掃き、機械学習の一種 Gaussian process を利用することで、高々 20 模型における計算結果を学習したエミュレータは、これとは独立な 20 模型の結果を概ね誤差 5% 以内で予言した。

我々のシミュレーションは銀河サイズのハローとその内部構造までを明らかにするため、類似のプロジェクトと比べて高い解像度に設定されている。講演では高解像度の計算が可能にするエミュレータの様々な拡張、例えばハローの合体史の違いがレンズ効果に及ぼす影響などについても簡潔に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U22a 擬似スペクトル法による銀河・銀河レンズスペクトル解析

日影千秋 (Kavli IPMU), 大栗真宗 (東京大学)

スローン・デジタル・スカイ・サーベイに代表される銀河サーベイは、宇宙大構造や宇宙論解析の主要な観測量の一つである。しかし、銀河分布とその背後にあるダークマター分布との間には、複雑な銀河形成過程に由来する「銀河バイアス」の不定性があり、精密な宇宙論解析は困難である。遠方銀河の重力レンズ歪みと前景銀河の相互相関「銀河・銀河レンズ」を測ることで、銀河周りの質量分布の情報が得られ、銀河バイアスの不定性を取り除くことができる。現在、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた大規模銀河撮像サーベイが進行しており、銀河・銀河レンズ情報を用いた精密な宇宙論解析が展開される予定である。

一般に宇宙の密度ゆらぎの性質を調べる上で、各スケールでのゆらぎの振幅情報を表すパワースペクトルやクロススペクトルは基本的な統計量であり、宇宙背景放射 (CMB) や銀河分布の観測から直接測定されている。しかし重力レンズ解析においては、伝統的に実空間での統計量が用いられており、フーリエスペクトルの解析はあまり行われていなかった。その理由の一つは、銀河撮像観測で得られるマップが、多くの明るい星によってマスクされた複雑なサーベイ形状をもつため、フーリエスペクトルの解析が困難であることが挙げられる。

そこで今回、CMB 解析で広く用いられている擬似スペクトル法を重力レンズ解析に応用し、重力レンズパワースペクトル、および銀河・銀河レンズスペクトルの精密測定を行う手法を紹介する。重力レンズのシミュレーションデータを用い、複雑な星のマスクを含むマップからでも本来のスペクトルの形を再現できることを確認した。CFHTLenS の重力レンズデータと SDSS LRG や BOSS の銀河サンプルによる実際の観測データに応用し、銀河・銀河レンズスペクトル解析を行った結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U23a ハローパワースペクトルの新たな展開法

杉山 尚徳 (Kavli IPMU)

近年、様々な大規模銀河サーベイが行われており、銀河パワースペクトルの理論予言の研究はますます重要になってきている。その際に問題となるのは、ダークマターパワースペクトルは銀河パワースペクトルをそのまま再現することはないということである。最も単純な仮定として、観測される銀河の主な寄与を占めるセントラル銀河はハロー中心に存在すると考えると、銀河パワースペクトルの理論予言のためには、ハローパワースペクトルの理論予言が必要となる。

本研究では、銀河パワースペクトルに対する新たな展開法を提案し、 N 体シミュレーションを用いてその展開における各々の項の性質を詳細に調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U24a 銀河団におけるハロー・アセンブリ・バイアスの初検出

宮武広直 (NASA JPL/Caltech/Kavli IPMU), 高田昌広, Surhud More (Kavli IPMU), David N. Spergel (Princeton University), Rachel Mandelbaum (Carnegie Mellon University), Eli S. Rykoff (KIPAC/SLAC), Eduardo Rozo (University of Arizona)

銀河団は宇宙最大の自己重力束縛系であり、その個数密度や相関関数は暗黒物質や暗黒エネルギーの性質を始めとする宇宙論パラメータに敏感である (Oguri & Takada, 2011)。銀河団の2点相関関数を正確に予言するには銀河団ハローの空間分布と暗黒物質の空間分布の関係 (ハロー・バイアス) の理解が不可欠である。ハロー・バイアスは銀河団の質量のみの関数として考えられてきたが、近年の理論的研究から、銀河団の形成史にも依存することが指摘されてきた (Wechsler et al., 2006, Dalal et al., 2008)。これをハロー・アセンブリ・バイアスという。

本講演では、ハロー・アセンブリ・バイアスを観測的に初めて検出したので、その結果を報告する。本研究では、スローン・デジタル・スカイ・サーベイにおける約9000個の銀河団をメンバー銀河の中心集中度によって2つのサンプルに分け、それぞれのサンプルの質量が同じであることを、小スケールの弱重力レンズ信号によって確かめた。その上で大スケールの弱重力レンズ信号と銀河団の相関関数からハロー・アセンブリ・バイアスを 4σ の有意度で検出した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U25a **SDSS 銀河団カタログの弱重力レンズ効果と数値宇宙論の比較による銀河団質量の検証**

村田龍馬 (Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 西道啓博 (Kavli IPMU), 宮武広直 (JPL/Caltech/ Kavli IPMU), Surhud More (Kavli IPMU)

銀河団の重力場による背景銀河像への弱重力レンズ効果は、ダークマターを含む銀河団の質量プロファイルを推定する強力な手段である。多数の銀河団領域の背景銀河像をスタッキング解析する、銀河団-銀河 (cluster-galaxy) レンズ解析によって、高いシグナルノイズ比で弱重力レンズ効果の信号を得ることができる。現在進行中のすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) により、赤方偏移 $z \simeq 1.4$ までに渡り、銀河団周辺の質量分布の赤方偏移進化を探ることが可能になる。

銀河団-銀河レンズ解析と銀河団の可視光観測を組み合わせることで、宇宙論パラメータを制限することができる (Oguri & Takada 2011)。ただし、可視光の観測による銀河団質量推定 (optical richness-mass relation) には不定性があり、その妥当性の検証が宇宙論の制限に極めて重要になる。

本研究では、現在公開されている中で最も広域 (全天の約 25%) のサーベイであるスローン・デジタル・スカイサーベイ (Sloan Digital Sky Survey, SDSS) から構築された、均一 (volume limited) かつ optical richness-mass relation が推定されている銀河団カタログ (Rykoff et al. 2014) の銀河団-銀河レンズ効果の測定結果と大規模な N 体シミュレーションを比較した。可視光観測からの銀河団質量の推定法の妥当性と系統誤差の検証結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U26a 高速電波バーストで探るバリオンおよび暗黒物質の小スケール密度揺らぎ

井上進 (理化学研究所), 市來淨與, 島袋隼人 (名古屋大学)

近年発見された継続時間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、電離銀河間物質を通過して来た際に生じたと思われる電波分散効果が顕著なことから、赤方偏移 $z \sim 1$ 程度の銀河系外天体であると考えられている。将来的には、SKA などの観測装置によって、FRB 検出数の大幅な増加が見込まれるとともに、母銀河の同定もしくは 21cm 吸収の分光などを通じ、確実な赤方偏移の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る。

我々はこれを利用して、宇宙論にとって未解明である、銀河スケール以下のバリオンおよび暗黒物質の密度揺らぎを探る可能性に着目した。暗黒物質が cold dark matter (CDM) ではなく warm dark matter (WDM) である場合は、WDM 粒子の質量に応じて銀河スケール以下のダークハローの数密度が大きく異なり、予想される FRB 電波分散の分布も変わるので、将来の観測から、WDM 粒子質量に対する新たな制限が得られるはずである。一方、CDM 宇宙論の範囲内でも、矮小銀河における超新星や紫外線背景放射などに起因するフィードバックの効果で、ダークハロー周囲のバリオンの広がり強く影響を受ける。これは FRB 電波分散の分布にも反映されるので、今後の観測から、フィードバック効果に対する貴重な制限が得られ、銀河形成論にとって未解決の missing satellite 問題を解く鍵となるかもしれない。本講演では、このような課題に対し、主に解析的手法を用いて、定量的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U27a M87からの重力波

米丸直之(熊本大学), 高橋慶太郎(熊本大学), 黒柳幸子(名古屋大学), 隈本宗輝(熊本大学), Joseph Silk(パリ天体物理学研究所)

観測により M87 の photo-center(銀河の重心だと考えられる) と AGN に 6.8 pc のずれが存在していることが知られている。一般に銀河重心と AGN の位置は一致しているが、この観測はそうでないことを示唆している。ずれを引き起こす要因は様々考えられるが、本研究では銀河内にもう一つ SMBH (Super Massive Black Hole) があり、このずれが二つの SMBH が連星を形成していることに起因していると仮定し、連星からの重力波の今後の SKA(Square Kilometer Array) を用いた PTA(Pulsar Timing Array) での検出可能性を考察した。本研究で仮定している連星の軌道周期は非常に長いので、現存の解析方法とは異なるが SKA の重力波振幅の感度が 3.17×10^{-9} Hz で 10^{-16} であると仮定すると、二つ目の SMBH の質量が $2.1 \times 10^{10} M_{\odot}$ 以上であれば検出可能であるという結果が得られた。

PTA とは、重力波の観測手法の一つである。この手法は、パルスの周期が非常に安定なミリ秒パルサーを用いて、予測されるパルスの到来時刻と実際の到来時刻の差 (the timing residual) を観測し、重力波を検出するというものである。PTA の観測周波数帯は観測の期間と間隔により決まり、 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ Hz の低周波域に感度を持つ。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

3月16日(水) 午前(09:30-11:42) [D会場]

V101a	09:30	ALMA の運用 (8) と拡張計画 (2) 井口聖 (国立天文台)
V102a	09:42	ASTE の運用報告 (2) 奥田武志 (国立天文台)
V103a	09:54	ASTE 新 3 カートリッジデュアの開発 藤井泰範 (国立天文台)
V104c		ASTE 10 m 電波望遠鏡 THz 受信機の開発と搭載 相馬達也 (東京大学)
V105b	10:06	ASTE 望遠鏡用 230GHz 帯受信機の開発 坂根大雪 (電気通信大学)
V106b	10:06	New ALMA WebQL: a modern interactive client-server architecture for fast previewing of large ALMA datasets Shirasaki, Yuji (国立天文台)
V107b	10:06	野辺山宇宙電波観測所の運用: 3 将来計画 齋藤正雄 (国立天文台)
V108a	10:18	「FOREST」搭載 IF 広帯域化 100 GHz 帯 SIS ミクサの開発 4 上月雄人 (大阪府立大学)
V109a	10:30	200GHz 帯直列接合型素子の開発: 電磁界解析による MSL の設計と特性 加藤智隼 (名古屋大学)
V110a	10:42	GLT 搭載用 230GHz 帯両円偏波・両サイドバンド分離受信機の開発 (3) 長谷川豊 (大阪府立大学)
V111a	10:54	野辺山 45m 電波望遠鏡搭載に向けた広帯域超伝導カメラ冷却光学系の開発 山田淑乃 (筑波大学)
V112a	11:06	ミリ波広帯域マイクロストリップ交差構造の開発 増田聖 (埼玉大学)
V113a	11:18	ミリ波帯用コプレーナ導波路へのエアブリッジ構造の開発 伊藤和雅 (埼玉大学)
V114a	11:30	野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの観測システムの構築 永井誠 (筑波大学)

3月16日(水) 午後(13:30-15:40) [D会場]

V115a	13:30	インフレーション宇宙を検証する LiteBIRD 計画の現状 羽澄昌史 (高エネルギー加速器研究機構 /カブリ IPMU)
V116a	13:42	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VII 永田竜 (高エネルギー加速器研究機構)
V117a	13:54	LiteBIRD MKID 焦点面検出器の設計 関本裕太郎 (国立天文台)
V118a	14:06	CMB 観測衛星 LiteBIRD の光学系の開発と 1/3 スケールモデル実験報告 井上将徳 (大阪府立大学)
V119a	14:18	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 計画の概要と現状 西野玄記 (高エネルギー加速器研究機構)
V120a	14:30	宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 における受信システムのビームマップ測定 濱田崇穂 (東北大学/高エネルギー加速器研究機構)
V121a	14:42	ミリ波帯における検出器の偏光特性評価システムの開発と冷却試験 瀬川優子 (総合研究大学院大学)
V122b	14:54	LiteBIRD クロスドラゴン光学系設計: 非球面次数と性能 鹿島伸悟 (国立天文台)
V123b	14:54	300-500 GHz 広帯域直交偏波分離器 (OMT) の開発 (2) 高橋諒 (大阪府立大学)
V124b	14:54	NbTiN 超伝導細線による 1.9 THz 帯導波管型 HEB ミクサ検出素子の開発 齊藤滉介 (大阪府立大学)
V125c		人工原子量子ドット素子によるヘテロダイン/フォトン検出素子の開発 齊藤滉介 (大阪府立大学)
V126b	15:06	広帯域フィードの開発 (X) 氏原秀樹 (情報通信研究機構)
V127b	15:06	電波点回折干渉計 (I) 奥村大志 (筑波大学)
V128b	15:06	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (13) 米倉覚則 (茨城大学)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V129b	15:18	白田 64m 等の衛星・探査機用アンテナを利用した電波天文観測のシステムと今後の方向性について 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構)
V130b	15:18	JAXA 白田 64 m アンテナ用 C バンド低雑音受信機の開発 石川聡一 (東京大学)
V131b	15:18	那須の空間・時間的な干渉計と V404 Cyg 大師堂経明 (早稲田大学)
V132b	15:30	SMILES-2 の 1.9 THz 帯ヘテロダイナミックリモートセンシングによる太陽系地球型惑星の大気放射輸送モデル 西田侑治 (大阪府立大学)
V133c		白田 64m アンテナ搭載を目的とした L、C バンド高感度受信機系の開発 (1) 春日隆 (法政大学)
V134c		VLBI 用ソフトウェア相関処理システムの開発と定常運用化 小山友明 (国立天文台)
V135c		気球 VLBI ミッションの検討 VI 土居明広 (宇宙航空研究開発機構)
V136c		AXIe 12 ビット高速デジタイザによるデジタル分光計の性能評価 永井誠 (筑波大学)
V137c		国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 1 増田智 (名古屋大学)
3月17日 (木) 午前 (09:30-10:42) [D 会場]		
V138a	09:30	きゃらばん・サブミリと一般論としての VLBI データ校正の確認法 三好真 (国立天文台)
V139a	09:42	疎性モデリングを用いたサブミリ波 VLBI による Sgr A* の撮像シミュレーション 倉持一輝 (東京大学/国立天文台)
V140a	09:54	PRECL 法によるクロージャー位相からビジビリティ位相の復元 池田思朗 (統計数理研究所)
V141a	10:06	太陽系地球型惑星大気環境監視プロジェクト SPART の進捗報告 前澤裕之 (大阪府立大学)
V142a	10:18	雲発生予測システムの開発 - 60 GHz 帯試作受信機開発と大気観測試験 長崎岳人 (高エネルギー加速器研究機構)
V143a	10:30	8 素子空間 FFT 型干渉計による電波観測 遊馬邦之 (早稲田大学)

V101a ALMA の運用 (8) と拡張計画 (2)

○井口聖，長谷川哲夫，立松健一，伊王野大介，阪本成一，小杉城治，浅山信一郎，菊池健一，平松正顕 (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 3 の観測を実施中である。Cycle 0, Cycle 1 および Cycle 2 の観測成果が続々とでてきており，アーカイブデータを使った研究成果も多数でてきた。また，Cycle 4 に向けて新しい科学観測機能を追加する予定であり，これら機能追加のため，この間，VLBIのための位相合成 (Phase up)，太陽観測，最長基線観測等の科学評価試験を精力的に進めてきた。特に，VLBI 機能等の追加は，大きな注目機能である。一方，単一鏡観測，Band 10 干渉計観測，偏波観測等，いくつか解決しなければならない課題が残っており，追加機能試験も含め，合同アルマ観測所 (チリ) が中心となってシステム評価試験および科学評価試験を継続実施中である。

拡張：ALMA の科学機能の向上を目指し，欠けていた観測帯域を埋めるため，Band 5，Band 1 および Band 2 の新受信機の開発を行っている。また，日米欧で協力してまとめた報告書「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，幾つかの基礎技術開発を開始した。

さらに，2015 年 12 月 15 日にアルマ運用に関する三者協定を締結することに伴い，一部アルマの組織改変が行われることから，本公演では，この運用期における新アルマ組織体制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](#)

V102a **ASTE の運用報告 (2)**

奥田武志, 長谷川哲夫, 梅本智文, 鎌崎剛, 木挽俊彦, 伊藤哲也, 山田真澄, 斉藤基, 芦田川京子, 松居隆之 (国立天文台), 他 ASTE 運用チーム

本講演では、ASTE 望遠鏡 (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) の運用状況について報告する。

ASTE 望遠鏡は、サブミリ波帯の優れた観測条件をもつチリ北部、標高 4,800 m のアタカマ砂漠において運用している口径 10 m のサブミリ波望遠鏡である。国立天文台チリ観測所は、ASTE 望遠鏡の観測成果が同じサイトにある ALMA (Atacama Large Millimeter/ submillimeter Array) の観測成果に繋げるため、ASTE 望遠鏡を有効に活用していくことを運用目標としている。

2013 年度度から東アジア (日本、台湾、韓国) に向けた本格的な ASTE 望遠鏡の共同利用観測を開始し、2014 年度及び 2015 年度には 6ヶ月間の共同利用観測期間を実施し、安定した科学運用を実現した。

ASTE 望遠鏡の観測装置には分光観測装置と連続波観測装置がある。分光観測装置の受信機としては、新型 345GHz 帯受信機 (DASH345)、更新した 500GHz 帯受信機 (ASTE BAND8) を 2015 年度から共同利用観測に公開した。分光計は 128MHz 幅及び 512MHz 幅のデジタル分光計 (MAC)、2014 年 10 月から公開した広帯域デジタル分光計 (WHSF) の 2 種類が利用可能である。一方、連続波観測装置であるサブミリ波帯多色ボロメータカメラ (ASTE CAM) の開発を行っている。ASTE 望遠鏡上での科学評価試験に向けて、270GHz/350GHz 帯ボロメータカメラの評価実験を進めている。

また、2014 年度に公募した ASTE 将来装置も含めた中期運用計画を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a **ASTE 新3カートリッジデュアの開発**

藤井泰範, 佐藤直久, 稲田素子, 浅山信一郎, 伊王野大介, 奥田武志 (国立天文台)

ASTE 望遠鏡 (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、サブミリ波帯の優れた観測条件をもつチリ北部、標高 4,800m のアタカマ砂漠において運用している口径 10 m のサブミリ波望遠鏡である。ASTE 望遠鏡の分光観測装置の受信機としては、デュアに直接組み込まれた 345GHz 帯受信機 DASH345 と、デュアから着脱可能なカートリッジ型受信機 1 台 (ASTE Band8 or THz 受信機) を載せ、同時に 2 周波数帯の受信機を運用している。

国立天文台では、3 つの異なるカートリッジ型受信機を同時に冷却し運用することでアタカマ砂漠の大気のを広くカバーし、天候条件に合わせて効率的な分光観測を行うために新 3 カートリッジデュアの開発に取り組んでいる。

3 カートリッジデュアは ASTE 開発初期の 2000 年に 140 カートリッジ型受信機 1 台、170 カートリッジ型受信機 2 台を冷却する 3 カートリッジデュアを開発した。新たに開発するデュアでは冷却能力を向上すべく熱設計を見直し、また 170 カートリッジを 3 台を対称に搭載すべく配置の検討を行った。新 3 カートリッジデュアはすでに製作が完了し、初期性能試験ではカートリッジ型受信機 3 台が搭載された場合でも無負荷時にカートリッジの 4K ステージにおいて 3K を達成し、十分な冷却特性を確認することができた。

本講演では、新 3 カートリッジデュアの熱・配置設計、および冷却負荷特性などの性能について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V104c **ASTE 10 m 電波望遠鏡 THz 受信機の開発と搭載**

相馬 達也, 渡邊 祥正, 吉田 健人, 海老澤 勇治, 西村 優里, Ana Lopez-Sepulcre, 大口 脩 (東京大学), 酒井 剛 (電気通信大学), 小嶋 崇文, Alvaro Gonzalez (国立天文台), 坂井 南美 (理化学研究所), 山本 智 (東京大学)

THz 帯には基本的な水素化分子の基本スペクトルが多数存在する。この周波数帯の学術観測は Herschel 宇宙望遠鏡の HIFI 受信機によって大きく拓かれた。THz 帯で観測される水素化分子はいずれも星間空間における化学反応のハブとなるもので、その定量は星間化学の基礎を捉える意味で注目されている。我々のグループでは地上の大口径望遠鏡を用いた THz 帯の高空間分解能スペクトル線観測を目指して、受信機を開発を進めている。

開発した受信機は ASTE 望遠鏡に搭載するための ALMA カートリッジタイプ受信機である。直交偏波をワイヤグリッドで分離し、0.9 THz と 1.3-1.5 THz の 2 つの周波数帯を観測する。初段のミキサには、東京大学の研究室で開発している導波管型超伝導 Hot Electron Bolometer Mixer を用いた。ともに DSB ミキサであり、ホーンにはミキサブロックと一体切削したダイアゴナルホーンを用いている。

本研究では、局部発振器の最終逡倍器をデュワー内部に設置し、冷凍機の機械振動の影響を軽減できるよう改良した。受信機の安定性の向上を図るとともに、搭載作業の負担を軽減するようにした。開発したカートリッジ型受信機を 2015 年秋に ASTE 10 m 望遠鏡に試験搭載し、試験観測を行った。0.9 THz 帯では、幾つかの低質量原始星天体について ^{13}CO ($J = 8 - 7$) 輝線を検出できた。一方、1.3/1.5 THz 帯では天気が悪く、観測にまでは至らなかった。これらの詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105b **ASTE 望遠鏡用 230GHz 帯受信機の開発**

坂根大雪, 池谷瑞基, 酒井剛 (電気通信大学), 野口卓 (国立天文台), 小川英夫 (大阪府立大), 山本智 (東京大学)

我々は ASTE 電波望遠鏡に搭載する 230GHz 帯カートリッジ型受信機を開発を行っている。200GHz 帯には、複数の重水素化分子の J=32 輝線が存在し、それらのサーベイ観測を行うことが本受信機の開発の目的である。本受信機は、SIS ミキサを用いた 2SB 受信機であり、直線偏波分離器 (OMT) によって両偏波を同時に観測することができる。中間周波数は 4.8GHz である。光学系は、副鏡とホーンアンテナの間に楕円鏡を挟むことで周波数に依存しない光学系とした。TICRA 社の GRASP10 を用いた解析を行った結果、200GHz から 300GHz で約 80% の開口率であった。また、コルゲートホーンを新たに設計し、TICRA 社の CHAMP を用いた解析を行った。その結果、200GHz から 300GHz でリターンロスは -20 dB、交差偏波はメインローブに対して -30 dB 以下であった。本受信機で使用する SIS 素子の接合部には、従来の Nb/Al/AlO_x/Nb 接合ではなく、Nb/Al/AlO_x/Al/Nb 接合を用いることでリーク電流の低減を図った。

受信機をカートリッジ上に組み上げ、実験室にて実験を行った。その結果、冷却系に問題ないことが確認できたが、受信機雑音温度 (2SB) が 210-280 GHz の範囲で 100 K 以上と比較的高いことがわかった。現在、受信機雑音が高い要因の追究を行っており、今後、さらに性能を向上させる予定である。ポスターでは、カートリッジ型受信機の概要と性能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](#)

V106b **New ALMA WebQL: a modern interactive client-server architecture for fast previewing of large ALMA datasets**

Y. Shirasaki, C. Zapart, M. Ohishi, Y. Mizumoto, W. Kawasaki, T. Kobayashi, G. Kosugi (NAOJ), S. Eguchi (Fukuoka Univ.)

We demonstrate a completely re-designed ALMA WebQL web service — available through the JVO ALMA science portal — which allows users to preview ALMA FITS files of any size without having to download large amounts of data to user PCs. Large FITS datasets (i.e. > 6GB) can be previewed smoothly in a web browser running on a relatively low-spec client PC. Users can interactively zoom-in to selected areas of interest with the corresponding frequency spectrum being re-calculated on the server in near real-time (after a deliberate 100 ms delay since the last movement of the mouse). At a glance users gain access to large easy-to-see images as well as the corresponding frequency spectra that are visible both at the same time.

The ALMA WebQL service adheres to a modern client-server architecture. A fast FITS processing web application server runs a custom C/C++ HTTP daemon developed in-house on top of the open-source GNU libmicrohttpd C library. The client (a web browser) is a rich interactive internet application built on AJAX, HTML5 and SVG standards. In order to facilitate fast on-demand viewing of large ALMA datasets, FITS files are cached locally using NVMe PCI Express Solid State Drives housed in the ALMA WebQL server. Large FITS files can therefore be loaded by the ALMA WebQL application at speeds over several gigabytes per second.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107b 野辺山宇宙電波観測所の運用：3 将来計画

齋藤正雄、梅本智文、南谷哲宏、高橋茂（国立天文台野辺山）

国立天文台野辺山宇宙電波観測所は開所以来野辺山 45m 望遠鏡（45m 鏡）、ミリ波干渉計によって数多くの成果をあげてきた。そして、野辺山 45m 鏡は運用開始から 30 年以上が経過しつつも、なお、その競争力を維持すべく開発は続けられてきた。われわれはそのまとめとして、2015 年の学会で科学要求（2015 春期年会）、科学運用（2015 秋季年会）という形で発表してきた。本講演ではシリーズの講演の 3 番目のものとして、45m 鏡の 3 年後の将来開発運用案を紹介する。その目的は科学要求や科学運用要求にもとづいた運用を実現するためのハードウェアやソフトウェア開発・整備項目を整理し、具体的な計画にすることである。開発項目、整備項目については優先順位をつけて集中投資を行い、タイムリーに実現することを目指している。将来計画を考えるにあたっては現在の 45m 鏡の世界における立ち位置を改めて分析し、今後どのような discovery space で世界一線級の観測性能を狙い維持するのかを定めた。その結果、3 mm 帯の広域マッピング観測においては世界トップクラスの性能が実現されているため、その強みを様々な制約があるなかで維持し、科学成果に結びつけるという原則が確認された。ハードウェアについては 1) 既存装置の整理、簡略化、2) 経年劣化した駆動部の交換、3) 塗装、4) 観測時間増加に向けた実時間指向誤差補正装置の開発、5) 校正精度向上のための方法確立などがあげられている。また、ソフトウェアについては 1) 国内外の遠隔観測、2) 制御装置のコンパクト化、3) 半自動観測化などがあがり、実現へ向けた検討をはじめた。本公演で報告する将来計画案は野辺山宇宙電波観測所の今後 3 年の方向を決める重要なものと位置付けられている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108a 「FOREST」搭載 IF 広帯域化 100 GHz 帯 SIS ミクサの開発 4

上月雄人, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 浅山信一郎, 南谷哲宏, 小嶋崇文, 藤井泰範, 高橋敏一, 飯塚吉三, 江崎翔平, 野口卓 (国立天文台), 中島拓, 加藤智隼 (名大)

野辺山 45m 電波望遠鏡搭載の 新 100 GHz 帯マルチビーム両偏波 2SB 受信機「FOREST」は、2015 年度シーズンから公募観測を開始している。しかし現行の SIS ミクサには、1) 平均的に雑音温度が T_{rx-SSB} 80K と高い、2) IF 周波数帯域 4–12GHz の高周波側 (10GHz 以上) で雑音温度が急上昇する、3) サイドバンド分離比 (IRR) が 10dB 程度と不十分、などの問題も発覚している。これらの問題はそれぞれ、1) と 2) は超伝導デバイスであるミクサチップなどが起因、3) は導波管回路である 2SB ユニットなどが起因であることが強く示唆されている。本講演ではこれらの問題解決に取り組んだ広帯域 SIS ミクサ開発の進捗について報告する。

これまでに 100GHz 帯 (RF:80–116GHz)IF 広帯域化 (IF:4–12GHz)SIS ミクサデバイスの設計・製作・測定を行ってきた。その結果 T_{rx-DSB} 30K (T_{rx-SSB} 50-60K 相当) の実現と IF 周波数 4-12GHz で平坦な雑音特性を実現することができ、そのことは既に同講演題名 (2015 年秋季年会) にて報告してきた。現在は目標雑音温度 T_{rx-DSB} 20K へのさらなる低雑音化にむけたデバイス製作パラメータの最適化と、IRR 改善に向けて導波管回路間の干渉を避けた新 2SB ユニットの設計を行っている。これらの新しいミクサは FOREST 受信機の 2016 年度シーズンの搭載を目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109a **200GHz 帯直列接合型素子の開発：電磁界解析による MSL の設計と特性**

加藤 智隼, 山口 倫史, 古賀 真沙子, 伊藤 万記生, 大浜 晶生, 山本 宏昭, 中島 拓, 水野 亮 (名古屋大学), 小嶋 崇文, 藤井 泰範, 浅山 信一郎, 野口 卓 (国立天文台), 上月 雄人, 長谷川 豊, 小川 英夫 (大阪府立大学)

我々は現在、国立天文台 ATC との共同開発研究として、200 GHz 帯の直列接合型超伝導 SIS 素子を開発している。現状では我々の観測目標を十分に満たす性能の素子は開発されていない。そこで我々は、RF 帯域を 190–260 GHz(比帯域 30 %程度)、IF 帯域を 4–12 GHz、受信機雑音温度 (DSB) を ~ 30 K、Gain Compression を $\lesssim 1$ % という仕様を目標にして、新たな素子の開発を進めている。

本研究ではこれまでに、マイクロストリップライン (MSL) とコプレーナウェーブガイド (CPW) を伝送線路として組み合わせることによってインピーダンス整合をとる直列接合素子の設計 (加藤他 2014 年秋季年会参照) と製作、および性能評価を行ってきたが、整合回路のさらなる単純化のために MSL のみで構成される素子も試作した。この試作素子の目的は、MSL の特性を実際に製作した素子の性能評価結果から確認し、より最適な MSL の設計にフィードバックすることである。実験室にて試作素子の雑音温度の周波数特性を評価し、設計時のシミュレーション結果と比較したところ、素子の共振点が高周波側に大幅にシフトしている可能性が見られた。この原因として、Feed Point 付近の MSL が等価回路設計の通りに機能していないことが考えられる。従来は Feed Point 付近の MSL は等価回路を用いての解析でしか設計を行っていなかったため、本研究において実際の物理構造を詳細に再現したモデルで 3 次元電磁界解析を行うことで、周波数シフトの原因を明らかにした。

本講演では、この詳細解析の結果、および次回の素子設計へのフィードバックについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110a **GLT 搭載用 230GHz 帯両円偏波・両サイドバンド分離受信機の開発 (3)**

長谷川 豊, 木村 公洋, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府立大学), Johnson Han, 井上 允, Ming-Tang Chen (ASIAA), 落合 啓, 笠松 章史 (NICT)

台湾中央研究院 (ASIAA) では、グリーンランドに口径 12m の mm/submm 波帯 VLBI 用望遠鏡 GLT を建設する計画を進めている。本計画では ALMA, SMA など相手基地局とした地上最長級の VLBI 観測により、M87 銀河中心のブラックホールシャドウの直接検出の実現を目標としている。我々は、この GLT に搭載する 230GHz 帯カートリッジ受信機の開発を担当している (長谷川他 2013,14,15 年秋季年会)。本受信機の仕様は、簡単には次のとおりである。

1. RF 周波数 : 215 - 245 GHz ,
2. 左右両円偏波分離 ,
3. 両サイドバンド分離 ,
4. IF 周波数 : 4 - 12 GHz ,
5. $T_{RX-SSB} \leq 100K$,
6. ALMA Band6 WCA を直結可能。

これまでの発表では、本受信機の各コンポーネント単体の設計・評価結果や CAD を用いたアセンブリイメージなどについて報告を行ってきたが、2015/12 までで既にすべてのコンポーネントの納品/評価/再製作と組み立てテストが完了しており、府立大実験室においては仕様を満たすことが確認できている。現在は 2016/01 末ごろに予定されている ASIAA への輸送に向けて、ALMA WCA の接続及び制御試験を主とする最終調整・冷却評価作業を進行中である。本講演では、本受信機の最終特性評価結果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](#)

V111a 野辺山45m電波望遠鏡搭載に向けた広帯域超伝導カメラ冷却光学系の開発

山田淑乃, 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫, 永井誠, 今田大皓, 久松俊輔 (筑波大学), 関本裕太郎, 三ツ井健司, 岡田則夫, 福嶋美津広, 都築俊宏, 野口卓, 松尾宏, Dominjon Agnes (国立天文台), 関根正和, 関口繁之, Shibo Shu (東京大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

我々は野辺山45m電波望遠鏡搭載に向けたミリ波帯超伝導カメラの開発を進めている。超伝導カメラは80–180 GHz帯をカバーする広帯域ホーン (関口他, 2014年秋季年会) と Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) と呼ばれる超伝導検出器から構成され、野辺山45m電波望遠鏡のM4直後の焦点から、低温かつ大口径のシリコンレンズ2枚 (直径300mm@4 K、直径200mm@1 K) を通して超伝導カメラへ集光する冷却光学系を開発した。MKIDカメラは148素子 (37ピクセル、90/150 GHzの2バンド、直交2偏波観測) で視野の大きさは約3分角となる予定だが、今年度は試験的に16素子のMKIDカメラを用いる。

MKIDカメラを高感度で動作させるには極低温環境 (0.3 K以下) が必要になるためGM冷凍機と希釈冷凍機を使用して冷却を行っている。冷却光学系の真空窓は高密度ポリエチレンで直径195mmである。冷却の妨げになる観測帯域外の赤外線を透過させないよう、テフロンにZITEXを接着したフィルターを製作し取り付け。また、迷光がMKIDカメラの感度低下の原因になることから、迷光を反射するバツフルを取り付け、外へ反射できない迷光を終端するための吸収体を配置した。この結果、焦点面温度は65 mKを達成し300 Kと77 Kの黒体放射に対するMKIDの応答を確認した。本講演では野辺山45m電波望遠鏡搭載用のミリ波帯超伝導カメラ冷却光学系の設計開発について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112a ミリ波広帯域マイクロストリップ交差構造の開発

増田聖, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広昭 (埼玉大学), 関本裕太郎 (国立天文台), 新田冬夢 (筑波大学)

広視野ミリ波テラヘルツ波サーベイ観測を目的として、多素子超伝導カメラの開発を行っている。カメラは直交2偏波分離アンテナと高感度かつアレイ化に適した超伝導検出器(マイクロ波力学インダクタンス検出器)で構成されているが、この構造ではアンテナと検出器を結ぶ信号伝送線路が立体交差し、交差点での信号漏話(クロストーク)によって偏波分離度が低下してしまう。そこで、線路間での信号漏話の少ない超広帯域なミリ波帯マイクロストリップ交差構造の開発を研究目的とする。これは筑波大学・国立天文台が推進する野辺山45m電波鏡用カメラ(90 GHz帯, 150 GHz帯)に必要な要素技術であり、将来的にはテラヘルツ波帯へと拡張可能である。交差部分の性能は信号漏話 -30 dB以下、反射損失 -20 dB以下を目標とした。

交差構造において上下線路間のキャパシタンス成分が信号漏話の原因であり、交差部分の線路幅を細くすることで減少させることができるが、元の伝送線路と交差部分の間でインピーダンスの不整合が生じてしまう。そのため交差構造の前後に補償回路が必要となる。マイクロストリップ線路の信号層にはNb、誘電層にはアルミナを用いて交差構造を設計し、ANSYS社のPlanarEMを用いて電磁界解析を行ったところ、作製誤差 $1\ \mu\text{m}$ を含まない場合と含めた場合のどちらにおいても信号漏話、反射損失共に目標値を満たした。設計した交差構造の特性評価を行うにあたり、測定が容易な30–70 GHz帯にスケールリングを行い、この寸法において素子の作製を行った。今後ネットワークアナライザを用いて作製した交差構造のSパラメータ測定を行い、その結果を含めて報告予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V113a ミリ波帯用コプレナー導波路へのエアブリッジ構造の開発

伊藤和雅, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広昭 (埼玉大学), 関本裕太郎 (国立天文台), 新田冬夢 (筑波大学)

広視野ミリ波テラヘルツ波サーベイ観測を目的として、多素子超伝導カメラの開発を行っている。現在は筑波大学・国立天文台が推進する野辺山 45m 電波望遠鏡用カメラ向けにミリ波帯 (90GHz、150GHz) での開発を行っているが、将来はこの技術を拡張し南極テラヘルツ波望遠鏡への搭載を目指している。

開発するミリ波カメラは直交2偏波分離アンテナ、超伝導検出器(マイクロ波力学インダクタンス検出器)で構成される。2偏波分離アンテナの実現にはアンテナと検出器を結ぶミリ波伝送路に生じる交差部分の作製方法が課題であった。そこで本研究では伝送線路にコプレナー線路を用い交差部分にエアブリッジ構造を作製することを提案する。

このエアブリッジ構造は、交差する部分で一方のコプレナー線路をアーチ状の橋のように宙に浮かせ、コプレナー線路同士をつなぐ構造となっており、一度のプロセスで作製可能である。またミリ波帯の信号を伝送できるよう超伝導材料にNbを使用しており、設計値は横幅 $3\mu\text{m}$ 、高さ $2\mu\text{m}$ となっている。交差構造にエアブリッジを使用することにより、アンテナ・伝送線路・検出器を一度のプロセスで作製することが可能となるため、カメラの歩留まり向上が期待される。今回、フォトリソグラフィ技術によってエアブリッジを作製したので、その過程について報告する。また、測定用の素子を作製し透過特性を測定する予定であり、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](#)

V114a 野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 MKID カメラの観測システムの構築

永井誠, 久松俊輔, 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫, 今田大皓, 山田淑乃 (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), 関根正和, 関口 繁之, Shibo Shu (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 90/150 GHz 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) と呼ばれる周波数多重化読み出しに優れた超伝導共振器を用いており、読み出し回路および観測システムの開発を進めている。

MKID の共振スペクトルの読み出しには、国立天文台で開発した高速読み出し回路 (Kiuchi, et al., IEEE TST) を使用する。FFTS (Fast Fourier Transform Spectrometer) により 1 GHz の帯域内に周波数 comb 信号を発生し変調・復調することにより、高周波数分解能での測定が広帯域にわたって実現され、多素子の同時測定が可能である。今回は、4 ビーム、直交 2 偏波、90/150 GHz 帯 2 バンドの合計 16 素子の MKID カメラを作成した (山田ほか、本年会)。MKID16 素子の共振周波数は 500 MHz の帯域内に配置されている。

今年度はこの 16 素子 MKID カメラを野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載し、試験観測を行う予定である。望遠鏡制御システム (COSMOS) と連携した観測を可能にするため、制御用計算機から MKID 読み出し回路を遠隔制御するシステムを構築した。また、ビームスイッチを用いたチョッパーホイール法による強度較正や、NOSTAR (Nobeyama OTF Software Tools for Analysis and Reduction) による OTF リダクションに対応するための、解析ソフトウェアの開発を進めている。本講演では、高速読み出し回路を用いた MKID の評価および MKID カメラの観測システムについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115a インフレーション宇宙を検証する LiteBIRD 計画の現状

羽澄昌史 (KEK/Kavli IPMU), ほか LiteBIRD ワーキンググループ同

LiteBIRD は代表的インフレーションモデルを完全に検証するための科学衛星計画で 2020 年代前半の打ち上げを目指している。1 度程度の角度分解能を持つ小型反射型望遠鏡と 100mK に冷却された多色超伝導検出器アレイを用いて、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background、CMB) の偏光度を全天にわたり精密観測する。太陽・地球のラグランジュ点 L2 における 3 年間の観測により、マップの精度としておよそ 2.5 マイクロケルビン・分角を達成する。こうして得られた CMB 偏光全天マップから、インフレーションモデルが预言する原始重力波の痕跡 (B モード偏光) を検出する。銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射を分離するため、少なくとも 40-400GHz の周波数帯域をカバーし、6 バンド以上の多周波観測を行う。本計画は JAXA 宇宙科学研究所の第一段階の審査を通り、次のステージに向けた検討が進んでいる。また、米国 LiteBIRD チームが NASA に対しておこなった LiteBIRD への参加提案も最初の審査を通り、フェーズ A の検討をおこなっている。本講演では、LiteBIRD 計画のミッションとシステム検討について、2015 年度後半の進展を中心に現状を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V116a **CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VII**

永田竜 (KEK), 関本裕太郎 (国立天文台), ほか LiteBIRD working group

数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起こったか」の指標である。マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目的とし、2020年代前半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、観測装置のビーム特性、とりわけサイドローブに由来する擾乱の影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a LiteBIRD MKID 焦点面検出器の設計

関本裕太郎, 野口卓, Wenlei Shan, Dominjon Agnes (国立天文台), 関根正和, 関口繁之, Shibo Shu (東京大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 新田冬夢 (筑波大学), 川崎繁男, 三田信, 宮地晃平 (ISAS/JAXA), 他 LiteBIRD WG

宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD の焦点面検出器を Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) を用いて開発している。LiteBIRD は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光を精密に測定することにより、宇宙ビッグバン以前のインフレーションの物理を探る科学衛星計画である。2020 年代前半に打ち上げること为目标としており、温度 100mK に冷却された超伝導センサー (TES or MKID) によって、50 GHz - 300 GHz の周波数を観測し、 $5 \mu\text{K} \cdot \text{arcmin}$ の全天の偏光マップを作成する。

我々は偏光を高感度に観測するために、広帯域コルゲートホーンアレイ・平面 OMT(偏波分離器)・周波数分離フィルター・MKID を組み合わせた設計を進めている。MKID 単体では、Al を用いて $\text{NEP } 2 \times 10^{-18} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ を達成している。オクターブを超える広帯域コルゲートホーン (120 - 270 GHz, 80 - 160 GHz) を切削加工で試作し、電磁界シミュレーションと測定が -40 dB レベルで一致した。平面 OMT 及びマイクロストリップ周波数分離フィルター及び Al MKID を SOI ウエハー上に製作し、共振の $Q \sim 10^5$ を確認している。試作品の試験結果やシステムデザイン、課題を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118a **CMB 観測衛星 LiteBIRD の光学系の開発と1/3 スケールモデル実験報告**

井上 将徳, 木村 公洋, 伊藤 誠, 真鍋 武嗣, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府立大学), 松村 知岳, 西堀 俊幸 (JAXA), 関本 裕太郎, 稲谷 順司, 鹿島 伸悟 (NAOJ), 羽澄 昌史 (KEK), 大田 泉 (甲南大学), 菅井 肇, 片山 伸彦 (東京大学), 石野 宏和 (岡山大学), 他 LiteBIRD メンバー

我々は、インフレーションモデルの検証を行うため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。この衛星に搭載する光学系の一つとして、クロスドラゴン型を検討している。クロスドラゴン型は光学系全体 (主鏡、副鏡、焦点面) がコンパクトにまとまっていることから衛星搭載に適しており、更に広視野を確保できるという特徴を持つ為、CMB 観測にも適している。しかし、光学系全体が近接しているため迷光や多重反射によって、指向方向以外にも高い検出感度を持ってしまうという欠点がある為、物理光学手法を用いて、高い検出感度を持つ角度方向を明らかにした。更に、その計算結果を参照し光学系周辺とアンテナ開口付近に吸収体を設置したモデルでの計算を行った所、吸収体が迷光や多重反射の影響を抑制出来ていることが分かった。

今回の結果は検出器を光軸上に設置したモデルでの計算成果である。(井上、2015 秋季年会) 実際には検出器焦点面を設置する為、検出器が光軸からずれた場所にある場合の検討も進めている。一方、計算結果だけでは吸収体による反射等を考慮することが出来ないため、実際に 1/3 スケールモデルを使用して近傍界測定も進めている。(フェイズリトリバル法) 本講演では、検出器が光軸上にない場合の計算結果と 1/3 スケールモデルでの近傍界測定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](#)

V119a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 計画の概要と現状

西野玄記 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (総研大), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 高田卓 (核融合研), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (Kavli IPMU), 濱田崇穂 (東北大), 堀泰斗 (UC Berkeley), 松村知岳 (JAXA/ISAS), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 は宇宙マイクロ波背景放射における偏光成分の精密測定を目的とした、南米チリ・アタカマ砂漠における地上実験 POLARBEAR のアップグレード計画である。2012 年より観測を開始している現行実験では超伝導 TES ボロメータを 1,274 個を用いて 150GHz 帯を観測しているのに対し、POLARBEAR-2 ではその約 6 倍の 7,588 個の TES ボロメータを搭載するレシーバーを開発し、95 GHz と 150 GHz の二つの周波数帯を同時に観測する予定である。さらに、その POLARBEAR-2 と同じ型のレシーバーを載せた望遠鏡 3 台の同時運用による更なる統計感度の向上、観測周波数帯の追加を目指したアップグレード計画 (Simons Array) も進行中である。それらのアップグレードにより、宇宙の大規模構造による重力レンズ効果や宇宙初期の原始重力波などによって作られたとされる渦巻状の偏光パターン (B モード偏光) をこれまでと比べて飛躍的に高い精度で測定する。この計画を実現するために、現在、望遠鏡の建設、新型レシーバー、検出器、検出器読み出し系の開発などが進行している。本発表では、POLARBEAR-2/Simons Array 計画の概要を紹介し、特に日本の共同研究者を中心に進められている新型レシーバーの開発等を中心とした現在のプロジェクト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](#)

V120a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 における受信システムのビームマップ測定

濱田崇穂 (東北大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (総研大), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (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 (Kavli IPMU), 堀泰斗 (UC Berkeley), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 実験は、チリのアタカマ高地で 2017 年からの観測を予定している、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) B-mode 偏光観測実験である。CMB B-mode の観測によるインフレーション理論の検証を主な目的としている。大きな特徴として、受信システムに 7588 個もの超伝導転移端 (Transition Edge Sensor, TES) ボロメータを用いており、高い統計感度を得ることができる。また、95GHz と 150GHz の 2 帯域同時観測により、前景放射の抑制を行う。

上記のような高精度の観測を実現するには、受信システムのビーム形状の歪みを実験室レベルで測定し、要求値を満たすことを確かめる必要がある。発表者は、そのための実験装置 - Beam mapper - を開発している。

POLARBEAR-2 実験用の校正装置として、Beam mapper には 95GHz、150GHz の 2 帯域をカバーする安定光源を備えること、また、偏光方向毎の楕円率の測定ができることが要求される。本講演では、これまでに行った Beam mapper の開発と、これを用いた POLARBEAR-2 受信システムの評価について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V121a ミリ波帯における検出器の偏光特性評価システムの開発と冷却試験

瀬川優子, 秋葉祥希, 井上優貴, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理, 高田卓 (核融合研), 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 (Kavli IPMU), 濱田崇穂 (東北大), 堀泰斗 (UC Berkeley), 松村知岳 (JAXA/ISAS), ほか POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 は、インフレーション重力波から発生する B モードと呼ばれる偏光パターンを見つけようとする地上実験である。同時に重力レンズ由来の B モード偏光も観測可能な特徴を備えている。チリのアタカマ高原にて 2017 年からの観測開始を目指して準備を進めている。POLARBEAR-2 では、7588 個の超伝導転移端 (Transition Edge Sensor, TES) ボロメーターを用いて POLARBEAR-1 の 6 倍の統計感度を実現し、偏光に感度のあるシニアスアンテナと組み合わせて、2 周波数帯での同時観測を行う。

多数の TES ボロメーターの偏光に対する応答特性を実験室で評価するために、チリの輻射環境を再現した偏光源を作成し、これを用いた評価システムを開発中である。偏光を生む原理は、極低温に冷却された黒体からの放射を鏡で反射させることである。この原理を用いると、生成する偏光波の偏光強度と方向が正確に計算できるため、TES ボロメーターの特性評価に用いることができる。この偏光源は他の CMB 実験で開発されたものを拡張した設計であるが、システムの大型化に伴い鏡の過剰冷却の問題が浮上した。偏光強度は鏡と黒体の温度差に比例するため、より信号ノイズ比の高い測定を実現し、かつ短時間で評価を行うために、鏡の温度をできるだけ高く保つことが重要である。本講演では、鏡の温度を改良する試みと評価システム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](#)

V122b LiteBIRD クロスドラゴン光学系設計：非球面次数と性能

鹿島伸悟、関本裕太郎 (NAOJ)、松村知岳 (JAXA)、菅井肇 (東京大学)、木村公洋 (大阪府立大学)、羽澄昌史 (KEK)、他 LiteBIRD WG 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。この衛星に搭載する光学系のひとつとして、クロスドラゴン型を検討している。クロスドラゴン型は光学系全体 (主鏡・副鏡・焦点面) がコンパクトにまとまっていることから衛星搭載に適しており、更に広視野を確保できるという特徴を持つ為、CMB 観測にも適している。

LiteBIRD 光学系に求められる仕様として重要なのが、キャリブレーション精度を決める「開口径」、PSF 径に直結し検出器設計に影響する「 F_{no} 」、そして全天掃引の効率に影響を及ぼす「視野 (FOV)」である。開口径が大きく且つ F_{no} が小さくなればなるほど、また FOV を大きくしようとすればするほど光学系の収差補正は難しくなる。従来のクロスドラゴン光学系では軸外し非球面が主に使われていたが、主鏡・副鏡の 2 面しかないため設計パラメタ数が少なく、これら三つを実現するには自ずと限界があった。

そこで、LiteBIRD のクロスドラゴン光学系では、主鏡・副鏡共に高次の係数を持つアナモルフィック非球面を採用した。アナモルフィック非球面は、 x 方向と y 方向で独立な非球面形状を持つため、形状パラメタが倍増して設計自由度が増えるため、小さな F_{no} と大きな開口径・FOV を達成することが可能となる。当然、打ち上げロケットのフェアリングサイズという全体の大きさへの絶対的な制限条件は満たしつつである。

本発表では、高次のアナモルフィック非球面を採用することにより始めて実現された、開口径 $\phi 400\text{-}600\text{mm}$ 、 $F_{no}\sim 2.5$ 、 $\text{FOV}\sim 10\times 20\text{deg}$ というクロスドラゴン光学系の性能と非球面次数との関係等に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123b 300-500 GHz 広帯域直交偏波分離器 (OMT) の開発 (2)

高橋諒, 長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 浅山信一郎 (国立天文台)

我々は、ALMA の将来開発の一つである受信機の広帯域化に注目し、ALMA Band 8 (385 – 500 GHz) の低周波側を 300 GHz 程度まで拡張した広帯域受信機の開発を進めている。本受信機では、CO($J = 3 - 2$) 輝線のある 345 GHz 帯、CO($J = 4 - 3$) の 460 GHz 帯、CI 輝線の 490 GHz 帯など、対応帯域付近での主要観測対象をほぼ網羅することが可能である。特に私はこの受信機に用いるための 300 – 500 GHz 帯の直交偏波分離器 (OMT) の設計を行っている。

本設計では垂直・水平偏波ともに反射損失が -20 dB 以下を設計目標とし、double-ridge boifot junction 型を採用した。2015 年秋までは 300 – 310 GHz で設計目標を達成していなかったが (高橋他、2015 年秋季年会)、入力部分の導波管サイズや水平偏波出力部につながる導波管のサイズを数%大きくすることで、302 – 500 GHz でこれを満たす設計に成功した。現在全帯域で設計目標を達成するために、更なる最適化を進めている。

また今後、設計したものを試作し、VNA を用いた性能評価を予定している。ただし今回設計した OMT は 300 – 500 GHz という高周波数に対応する導波管コンポーネントであるため、double-ridge 部のセプタムの段差の高さなどが約 20 μm と小さい。そのため試作する前に、加工方法についての検討や加工精度の影響の考察を十分に行う必要がある。本講演では再設計した OMT の詳細や試作準備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](#)

V124b NbTiN 超伝導細線による 1.9 THz 帯導波管型 HEB ミクサ検出素子の開発

齊藤滉介、西田侑治、井上将徳、木村公洋、前澤裕之(大阪府立大学)、相馬達也、海老澤勇治、大口脩、山本智(東京大学)

テラヘルツ帯は未開拓な波長領域となっているが、炭素イオン (1.8 THz) や酸素原子 (2.0 THz) 等の原子/分子/イオン/それらの高励起線など、星間ガスの進化形成過程を探る上で重要な物質のスペクトル線が数多く存在している。また、国際宇宙ステーションにおける JEM/SMILES の後継となる SMILES-2 などの検討も始まり、地球・惑星大気の酸化反応の中核を担う OH ラジカル (1.8 THz) のリモートセンシングの期待も高まりつつある。

こうした科学的背景を受け、我々は超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2.0 THz 帯導波管/ホーン型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサの開発を進めており、1.9 THz 帯用にスケーリングした HEB ミクサ素子 (厚み: $18.42\mu\text{m}$ 、幅: $36.84\mu\text{m}$) の設計をもとに (2015 年秋季年会)、現在ミクサマウントの加工製作を進めている。国立天文台 (三鷹) の先端技術センターにおいて、レーザー顕微鏡を用いてチップスロット加工部を評価したところ、スロット部の幅が設計よりも $8\mu\text{m}$ 程度広がり、また底面には深さ $8\mu\text{m}$ 裂溝などが確認された。この結果を有限要素法による高周波電磁界シミュレータ (HFSS) の計算に反映したところ、素子のフィードポイント部の bowtie アンテナのパターンを最適化することで、充分、加工のずれの影響を修正できることが分かった。このミクサマウントを実装する専用の冷却光学系の設計も完了し、現在製作を進めている。この超伝導 HEB ミクサを搭載した THz ヘテロダイン分光システムは、Tholin などの生成に伴う化学反応素過程を明らかにするため、プラズマガスの分光診断にも利用する計画であり、放物面鏡 1 枚で 2.5 m ほどの伝送路を確保できるようにした。

本講演では、これら一連の開発について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125c 人工原子量子ドット素子によるヘテロダイン/フォトン検出素子の開発

齊藤滉介、西田侑治、前澤裕之 (大阪府立大学)、石橋幸治、山口智弘 (理化学研究所)

テラヘルツ帯は未開拓な波長領域であるが、星間ガスの進化過程や惑星の大気環境を探る上で重要な物質、例えば炭素イオン (1.9 THz) や酸素原子 (2.0 THz)、OH ラジカル (1.8 THz) 等の原子/分子/イオン/それらの高励起線など多くのスペクトル線が分布している。このため、我々は超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2.0 THz 帯導波管/ホーン型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミキサの開発を進めながら、より高感度な検出素子を目指し、カーボンナノチューブ (CNT) を用いた人工原子量子ドット素子の開発を推進している。通常、電子線リソグラフィなどで形成した半導体量子ドットはサブミクロンサイズになるため、1 電子帯電エネルギーによるトンネル障壁は、マイクロ波からミリ波に対応する。これに対し、CNT 量子ドット素子ではドットサイズが極端に小さくテラヘルツ波のフォトンのオーダーとなる。実際に、CNT 単電子トランジスタ素子において Ishibashi et al. (J.Phys., 20, 2008) らは、クーロン振動ピークから入射信号の周波数だけずれたサイドピークを伴う光アシストトンネル現象を観測している。これは、クーロンブロック状態の量子ドット中の電子が THz 波を吸収してドレーン電極へトンネルしたことを意味する。このときの非線形電流・電圧特性を利用することでヘテロダイン駆動への応用が期待される。またゲート電圧を sweep することで、周波数分解能をもつフォトン検出器も可能と期待される。本研究では、現在 CNT 素子の準光学アンテナへの実装を進めており、4K 冷凍機に搭載してヘテロダイン駆動・フォトン検出の動作検証を実施する計画である。本年は、nV・fA レベルの低ノイズかつ高性能に極微小電圧・電流を安定供給する CNT 素子の動作環境も構築した。本講演ではこれら一連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](#)

V126b 広帯域フィードの開発 (X)

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) 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」を開発中である。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。現在製作中の 34m 用広帯域フィード (イグアナフィード) は入れ子構造であり、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。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る。しかし母フィードの形状が複雑で制作に時間がかかるので、このうち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いる。試作 2 号機での 34m アンテナの開口能率は 6.5-15GHz で 30 - 50% であった。またメタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信、小型 VLBI 可搬局 MARBLE とのフリンジテスト、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。

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た。今年度は、これをカセグレン焦点用にアレンジした 3.2-14.4GHz の広帯域フィードを 34m アンテナに搭載し、使用を開始した。これら広帯域フィードに対応する直線 2 偏波用の出力端子も製作中である。MARBLE についても、現在の主鏡 (1.5m と 1.6m の各 1 台) を 2.4m に拡大するとともにカセグレン光学系に変更し、使用中の市販のクワッドリッジフィードを新フィードと交換して開口能率向上を図り、システム全体の SNR で 2 倍程度の向上を図る予定である。広帯域の伝送系とサンブラの整備も継続的に行っており国内では最も SKA に近いシステムと言える。そ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](#)

V127b 電波点回折干渉計 (I)

奥村大志, 今田大皓, 永井誠, 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫 (筑波大学)

点回折干渉計 (PDI) を用いた、電波望遠鏡の新しい波面測定法を提案する。PDIとは波面測定法の一つである。回折体によって、入射した電磁波を参照波とゆがんだ波面の試験波に分ける。参照波の位相を数通り変調し、それぞれと試験波を干渉させ、干渉像を得る。これらを演算することで、波面のゆがみの情報を引き出す。

2015年春季年会 V209a, V243a では、偏光を利用した PDI が提案されている。中心で偏光特性が異なる偏光ビームスプリッタ (PBS) を焦点面に置き、中心部を通過した偏波を参照波として利用し、周辺を通過した他方の偏波を試験波として利用する。 $\lambda/4$ 波長板などの偏光素子によって位相変調し、両者を光学系内で干渉させ、瞳面に干渉像をつくる。同時に複数の干渉像を得るために、PBS の透過波と反射波の両方を測定に用いている。

本発表では、すでに提案されている PBS を用い、検出器を工夫することで、位相変調のための光学素子を省いた簡素な系を提案する。参照波と試験波は偏波で分かれているので、それぞれを独立した信号として超伝導回路に導くことができる。参照波の信号に回路上で位相変調を行い、試験波との干渉像を作る。それぞれの干渉像同士の演算から、回折体のある面の電場の複素フーリエ成分を推定できることを示す。

応用として、回折体を瞳面に置く場合を考える。その場合、焦点面で干渉をとればよく、干渉像から得られる情報は瞳面の電場分布の複素フーリエ成分である。焦点面の検出器の載せ替えと瞳面に PBS を置くことだけで、光学系の波面のゆがみを推定することができる。検出器を除き、波面計測用と観測用の光学系が完全に一致するので、系統誤差が少ないと期待される。これは既存の望遠鏡や南極サブミリ・テラヘルツ望遠鏡への搭載も考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V128b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (13)

米倉 覚則, 齋藤 悠, 沖本 有, 加古 琳一, 永瀬 桂, 安井 靖亮, 足立 弘, 大橋 拓人, 佐藤 宏樹, 柴田 裕輝, 宮本 祐輔, 杉山 孝一郎, 澤田-佐藤 聡子, 百瀬 宗武, 吉田 龍生 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 徂徠 和夫 (北大), 中井 直正 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

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 年より改造作業を行い、2013 年より科学運用を開始した。

アンテナ建設後 20 年を経過した事による不具合が見られつつあり、高萩アンテナでは、EL モータートラブル (運用停止期間: 2013 年 11 月–2014 年 4 月)、AZ モータートラブル (2014 年 10 月–11 月) に引き続き、再度 EL モータートラブル (2015 年 4 月–12 月) が発生した。1 回目のトラブルの際には、予備モーターと交換して運用を再開するとともに、故障したモーターは製造業者により修理された。2 回目のトラブルの際には、予備モーターと交換して運用を再開するとともに、モーターを修理に出したが、製造業者より修理不可との回答が届いたため、予備機が無い状態での運用を続ける事となった。その後 3 回目のトラブルが発生し、長期の運用停止に陥った。当該モーターの修理を請け負える業者を探したところ、茨城県日立市にある株式会社 茨城製作所より、修理可能との回答があり、修理を依頼した。コイル製作、回転子ワニス処理、整流子交換、回転子バランス修正、固定子清掃、軸受交換、カーボンブラシ交換等を経て、最大回転数にて正・逆両方向へそれぞれ 1 時間ずつ連続運転試験を行い、動作に異常が無い事を確認した。2015 年 12 月に納品、高萩アンテナへ取付後、運用再開予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129b 臼田 64m 等の衛星・探査機用アンテナを利用した電波天文観測のシステムと今後の方向性について

村田泰宏、坪井昌人、竹内 央、望月奈々子*、中島潔、山本善一（JAXA）、上原顕太、石川聡一（東京大）、河野裕介、小山友明、金口政弘、鈴木駿策（国立天文台）、中西裕之、齊田智恵、藏原昂平（鹿児島大学）、土橋一仁、下井倉ともみ（東京学芸大学）、春日隆（法政大学）、藤沢健太（山口大）(* 前所属)

我々は、臼田宇宙空間観測所 64m アンテナを使って、電波天文観測を進めている。臼田 64m は、世界的にも有数の口径を持ち、野辺山 45m 観測では観測できない 10 GHz 帯以下観測では最も性能の良い望遠鏡として利用可能である。特に、低周波で観測できる、星間ガスの観測に重要な OH ラジカルや中性水素輝線の観測も可能である。また、連続波では、特にスペクトル指数の大きなシンクロトロン放射で強い、超新星残骸、パルサー、活動銀河のジェット、ローブ、銀河団からの放射などの観測に威力を発揮すると考えられる。我々は、このような装置が観測が可能な状態に立ち上げておくことは、重要と考え、観測性能の測定、観測システム構築を行っている。

64m アンテナは、衛星運用で利用される X 帯 (8.4 GHz)、S 帯 (2.2GHz) のほか、「はるか」で整備された、L 帯 (1.4-1.7 GHz)、C 帯 (4.7-5, 6.7 GHz) などの観測が可能である。しかし、受信系が作られたのが 20 年前であったために、全般的に世界のトップレベルに対して、受信システムの性能は良くなかった。X 帯については 2013 年度、受信機を整備し 2014 年度にその性能確認を行い、システム雑音としては、従来の運用系の受信系の約 1/3 になった。2015 年度には、L、C 帯の測定を行い、現状の性能を把握したうえで、受信系の改善に取り組んでいる。本講演では、これらの測定の結果、および、今後の受信システムの改良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](#)

V130b

JAXA 臼田 64 m アンテナ用 C バンド低雑音受信機の開発

石川聡一 (東京大学), 坪井昌人, 村田泰宏 (JAXA/ISAS), 朝木義晴 (NAOJ), 木村公洋 (大阪府立大)

JAXA 臼田 64m アンテナは深宇宙探査機を追跡、運用するための地上局であるが、これまでも L 帯から X 帯で様々な天文観測が行なわれている。現在「4.7 ~ 6.8GHz 帯低雑音受信機」も備えられているが、開発から 10 年以上時間が経ち、世界の電波望遠鏡と比較すると低雑音とは言い難い。この周波数帯は大質量星生成領域のトレーサーであるメタノールメーザー輝線 (6.7GHz) や OH 輝線 (4.8GHz) を含む。加えてロシアのスペース VLBI 衛星の観測帯域の 1 つもここにある。このように天文学的に重要な周波数帯であるため、我々は InP 半導体 LNA など現在の技術を取り入れて、「4.7 ~ 6.8GHz 帯低雑音受信機」の現代化を行うことにした。今までの受信機システムは、フィードホーンに常温のポーライザを接続し出力を矩形導波管で低雑音受信機に導くというものであったが、常温部分の損失による付加雑音が大きかった。今回はポーライザを LNA とともに受信機クライオスタット内部に装備し、GM 冷凍器で 10K 以下に冷却して受信機雑音温度を低減させる。新システムは 2016 年度でのアンテナへの受信機搭載を計画している。現在ポーライザと LNA の性能評価を進めるとともに、クライオスタット内部と断熱真空フランジの設計を行っているが、現在までの検討から受信機雑音温度として 10K 程度が実現できると予想される。本発表では受信機の構造と各種測定結果についての詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131b 那須の空間・時間的な干渉計と V404 Cyg

大師堂経明、遊馬邦之、坪野公夫、中島啓幾、青木貴弘、貴田寿美子（早稲田大学）、岳藤一宏（NICT）、新沼浩太郎（山口大学）

早稲田大学の那須電波干渉計は広視野と高感度を兼ね備えた世界的にもユニークな電波望遠鏡である。

本干渉計においては、1次元に並んだ 20 m 直径 8 素子アンテナアレイの出力を空間 FFT 処理することにより、1.4 GHz において 160 m 基線長に匹敵する角度分解能（東西方向 0.1° ）と高感度（ $20 \text{ mJy}(1\sigma)$ ）を実現している。我々は本装置を用い、一定の赤緯付近を 24 時間モニターする drift-scan モードで電波トランジェントパトロールを実施している。これまでに、マイクロクエーサー V404 Cyg の 26 年ぶりのアウトバースト検出をこの波長帯で世界で初めて成功している。

今後は、X 線、GRB、ニュートリノ等の突発現象に対応して、アラート・フォローアップ観測が可能な体制を築くことが重要である。また近年は重力波検出器の開発が進み、日本の KAGRA、アメリカの adLIGO、ヨーロッパの adVIRGO 等が観測間近になっている。これらに連携してブラックホールや連星中性子星の観測を展開することにより、これまでとは全く異なる新たな天文学が生まれると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132b SMILES-2 の 1.9 THz 帯ヘテロダインリモートセンシングによる太陽系地球型惑星の大気放射輸送モデル

西田侑治, 齊藤滉介, 原口大輝, 森前和宣, 前澤裕之 (大阪府立大), 佐川英夫 (京都産業大学), 鈴木睦 (ISAS/JAXA), 塩谷雅人 (京大生存圏研)

現在、国際宇宙ステーション JEM/SMILES の後継となる SMILES-2 のワーキンググループが立ち上がり、サブミリ・テラヘルツ波帯での中間圏・下部熱圏の観測提案が展開されつつある。このミッションでは、 O_3 層回復や温暖化などの予測や重力波/Planetary 波などの総括的理解を目指しており、 H_2O , N_2O , NO_2 , NO , CH_3Cl , CO , H_2CO , OH and O -atom などの分子種をターゲットとし、400 GHz から 2.5 THz 帯までをカバーする複数バンドの観測を見据えている (Suzuki et al. Proc. of SPIE, 2015)。この受信機には、SIS 接合や HEB 細線などを実装した、4 K の冷却による超伝導ヘテロダイン検出素子の搭載が検討されている。

こうした背景のなか THz 帯は未開拓な波長領域である為、我々は SMILES-2 に搭載可能な、超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2.0 THz 帯ホーン集光型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサの開発を進めており、太陽系の地球型惑星 (火星や金星) の大気観測も視野に入れている。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メタンが観測されており、惑星大気における酸化反応素過程の解明は急務の課題となっている。これには 1.8-2.0 THz 帯に分布する CO や、地上観測からは不可能であった OH や H_2O , O -atom などの衛星観測が鍵を握り、系内外の惑星大気科学へと理解を拡張する上でも重要な役割を担う。そこで、本研究では、火星や金星の中層大気の放射輸送モデル計算を実施し、SMILES-2 に HEB 検出素子を搭載した場合の観測スペクトルを検証した。本講演ではこれら一連の取り組みを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133c 臼田 64m アンテナ搭載を目的とした L、C バンド高感度受信機系の開発
(1)

春日隆 (法政大学), 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構), 坪井昌人 (宇宙航空研究開発機構)

JAXA 臼田 64m アンテナは、深宇宙探査機との交信を目的とした通信用アンテナであるが、電波天文の受信ポートを持ち、観測が始まっている (本学会、村田他参照)。より高周波の通信用の新アンテナの建設も決まり、64m アンテナでの電波天文観測の時間も増えることが期待できる。世界的にも口径は十分大きく、低周波で重要な OH(1.7GHz)、CH(3.2GHz) そして CH₃OH(6.7GHz) 輝線の観測には最適である。通信時以外を最大限活用し、アンテナ駆動を伴わなくてもサーベイ観測ができれば、その有効性は大きい。しかし、通信用であるための制約も多く、また受信機系は整備から年数も経ているため、高感度とはいえず、外国には対抗できないのが現状である。そのため、受信機系の高感度化は必須である。我々は上記の3輝線の高感度同時観測のため、受信機の開発と既存受信機系の改修を計画している。64m の光学系、ホーン、導波管系の改修は高価であり手を付けることができないし、密閉系 (送信電力の漏れ出し防止) など制約も大きい。L バンド (1.6GHz 系) の偏波器以降の冷却同軸系の導入、および C バンド (3 - 7GHz) での両偏波冷却受信機の新規製作による高感度化を予定している。本講演では、その高感度化計画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](#)

V134c VLBI用ソフトウェア相関処理システムの開発と定常運用化

小山友明、河野祐介、鈴木駿策、金口政弘、西川誉（国立天文台）

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、VSOP 用に開発されたハードウェア相関器を用いて VERA、JVN 等の様々なアレイの相関処理を行って来た。製作より 20 年が経過し、老朽化が進み保守も困難となって来た。また近年盛んになりつつあるメタノールレーザー等の高分散分光観測、高感度観測を目的とした広帯域観測などが広く行われつつあり、これらの観測の相関処理の必要性が増してきた。そこで水沢 VLBI 観測所では、ハードウェア相関器の代替器としてソフトウェア相関器の開発を行って来た。2013 年度から天文台三鷹キャンパスにて開始された試験運用を踏まえ、2015 年度に定常運用を可能とすべく水沢キャンパスに相関センターを移設し、本格運用を開始した。ソフト相関器システムは総コア数 250、node 数 30 からなるサーバー群で構成され、処理可能なファイルフォーマットとして OCTADISK、K5VSI、Mark5B、VDIF ファイル等の国際規格 VSI-H、VDIF に対応した記録装置で記録されたデータの再生、変換が可能である。本年会では水沢相関センターでの定常化、運用処理の状況、処理可能な観測モード、試験結果、また今後の GPU を用いた相関処理の高速化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](#)

V135c 気球 VLBI ミッションの検討 VI

土居明広（宇宙航空研究開発機構）、河野裕介（国立天文台）、木村公洋（大阪府立大学）、小山友明、本間希樹、鈴木駿策（国立天文台）、松本尚子（山口大学/国立天文台）、馬場満久、村田泰宏、坂東信尚、福家英之、石村康生（宇宙航空研究開発機構）、中原聡美（総合研究大学院大学）、莊司泰弘（大阪大学）、田中宏明（防衛大学校）、坂本啓（東京工業大学）、樋口健（室蘭工業大学）、小木曾望、児玉峻（大阪府立大学）、萱場綾子（首都大学東京）、ほか研究協力者

成層圏に滞在する気球搭載型の電波干渉計望遠鏡の検討をおこなっている。成層圏は、高周波電波帯での天文観測にとって、大気の影響をほぼ完全に避けることのできるサイトであり、地上の電波望遠鏡・スペースの人工衛星に次ぐ第三の観測プラットフォームとなりうる。2016年夏の放球を目指して、技術的なフェージビリティの検証をおこなうフライト実験機を準備している。実験機は北海道広尾郡大樹町のJAXA大樹航空宇宙実験場から放球、22 GHz帯で地上VLBI局とのフリンジを検出することを目指す。前回の報告に引き続き、観測システムの概要、開発状況、今後の開発計画について述べる。

今期は、広帯域VLBIサンプラー・データ記録PCを1気圧封入した気密容器のチャンバー試験をおこない、成層圏環境での動作温度を計測、熱設計の妥当性を確認した。周波数標準源振とセンサ、ゴンドラシステム制御系を搭載する気密容器の作り込みもおこなっている。また、ゴンドラシステムをクレーンで吊り下げ状態にした姿勢制御試験をおこない、ゆるる状態での望遠鏡仰角の制御の検証、および、姿勢粗決定・制御モード試験をおこなった。また、防水型のリチウムイオン電源システムの製作もおこなっている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136c AXIe 12 ビット高速デジタイザによるデジタル分光計の性能評価

永井 誠, 伊佐見 薫, 奥村 大志, 中井 直正 (筑波大学), 平田 承夫 (アキリスジャパン)

分光計は、電波望遠鏡の受信機バックエンドに設置され、中間周波数信号を分光・記録する装置である。中間周波数信号を電圧の時系列データとして取得し電気回路上での演算によりスペクトルを得るデジタル分光計が、A/D変換器や演算処理装置の発達により、主流となっている。最も重要な特性は、信号の周波数に対する周波数特性、信号の強度に対する線形性の2つである。加えて、広帯域であることが望まれる。

今回、Keysight製のAXIe 12ビット高速デジタイザM9703AにFPGAによるフーリエ変換機能を加えたFX型デジタル分光計について、基本的な特性評価を行ったので報告する。M9703Aのサンプリング速度は3.2 GS/s、周波数帯域は0-1600 MHz、周波数チャンネルは16384個、チャンネルの周波数幅は97.66 kHzとなっている。まずは、実験室において、信号発生器による単色波に対する応答を調べた。周波数と強度を変化させた測定の結果、全帯域にわたって、正しい周波数特性を持つこと、線形性が70 dB以上の範囲で良好なことが確認された。次に、つくば32 m電波望遠鏡に搭載し、天体信号を取得する試験を行った。システム雑音温度、受信機の周波数特性、水メーザー源W 49Nのスペクトルを取得し、これらが既存のデジタル分光計(AC240)で取得したものと整合的で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](#)

V137c 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 1

増田 智 (名古屋大学), International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph (ICCON)

2014年度に締結された名古屋大学太陽地球環境研究所(現・宇宙地球環境研究所)と国立天文台との協定及びコンソーシアム構成機関(NAOC, KASI, NICT)との協定に基づき、2015年4月1日より国際コンソーシアム(ICCON)による野辺山電波ヘリオグラフの科学運用が開始された(<http://hinode.stelab.nagoya-u.ac.jp/ICCON/>参照)。インターネットを介したリモートサイトからの運用当番システムも順調に動作しており、このシステムによりこれまで米国、英国、中国、韓国、ロシア、日本の6カ国の研究者(計29名)が運用に参加した。取得されたデータは、国立天文台三鷹の太陽データ解析システム(SDAS)、及び、名古屋大学宇宙地球環境研究所のひので科学センター@名古屋に自動転送され、保存・管理・公開が行われている。世界中のユーザーは、これらのシステムを使って、自由に全データにアクセスし、解析を行うことができる。

電波ヘリオグラフの観測データは、太陽活動長期変動や宇宙天気などさまざまな研究に有用であり、安定した運用が期待されている。例えば、長期変動に関しては、電波の極域増光度と磁場強度の相関が高いことが知られている。次の周期の太陽活動度を予測する際には、極小期の極域磁場強度が鍵となるので、これから極小期に向かう期間の継続した観測が重要である。また、宇宙天気研究に関しては、プロミネンス放出現象の観測とフレア時に生成される高エネルギー電子の研究にヘリオグラフの特徴が活かされる。電波ヘリオグラフによるプロミネンスの上昇運動の追跡は、H α 観測とコロナグラフ観測をつなぐ役割を果たす。また、フレア時には、硬X線に比べてより高いエネルギー(MeV程度)の加速電子の生成・伝播・消滅過程を研究す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](#)

V138a きゃらばん・サブミリと一般論としてのVLBIデータ較正の確認法

三好真 (国立天文台)、春日隆 (法政大)、坪井昌人 (宇宙研)、岡朋治 (慶應大)、高橋真聡 (愛教大)、ほかメンバ

サブミリ波のVLBIによって我々の銀河系中心ブラックホール SgrA*などのブラックホール・降着円盤やホライズンの撮像をめざす「きゃらばん・サブミリ計画」を進めている。南米アンデス高地に移動型電波望遠鏡を含むVLBI網を作り、正しい像合成に『必須』の1~2千kmの短基線VLBI(230GHz帯)を実現、ブラックホールの撮像を行う。装置(ハード)に関して、(1)へら絞り法による安価で高精度(15マイクロンrms達成)なアンテナ面作成の達成、(2)春日らによるミリ波帯低損失導波管の検討、(3)国内230GVLBI実験(MICE2015-藤沢らによる)からコヒーレンス実験検証、により技術的な実現可能性はほぼ検証したと考えている。また乾季・雨季両時期のペルー・ポリビアでのサイト調査からは、サブミリ波VLBIの観測シーズンに、アンデス高地においても季節的制限があることがわかってきた。

短ミリ波帯からサブミリ波帯のVLBIで、出来れば忘れていたいことに、visibilityデータの較正の難しさがある。実のところ、データの較正の妥当性を客観評価する指標が無い。2014年春季年会で較正妥当性確認法(VERICA)について紹介した。観測データには天体情報(信号成分)とエラーが含まれる。通常、天体構造は未知なのでそれらを分離できない。もし信号成分を除去できれば、その後の残差の統計的挙動を調べることで有害な『系統的エラー』の有無を検査できる(注:熱的ノイズはあまり悪さをしない)。この方法を拡張すれば、 T_{sys} など大気・機器特性値だけを制限条件として用い、データの較正ができる可能性もある。講演ではVLBIのみならず、電波干渉計データ一般への適応、応用性について指摘する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V139a 疎性モデリングを用いたサブミリ波 VLBI による Sgr A* の撮像シミュレーション

倉持一輝 (東京大学, 国立天文台), 秋山和徳 (MIT Haystack Observatory), Hung-Yi Pu, 浅田峻 (ASIAA), 池田思朗 (統計数理研究所), 田崎文得, 本間希樹 (国立天文台)

銀河系中心核 Sgr A* は、シュバルツシルド半径が全天で最大 ($1 R_s \sim 10 \mu\text{as}$) となる超大質量ブラックホールに付随しており、数年後にはサブミリ波 VLBI 観測網 Event Horizon Telescope (EHT) によるブラックホールシャドウの直接撮像が期待されている。この直接撮像を実現するには、(i) 従来のイメージング法では EHT の回折限界 ($\sim 25 \mu\text{as}$) より細かな構造を分解する事が困難である事による、新たな超解像イメージング法の必要性、(ii) 我々と Sgr A* の間に存在する星間プラズマが引き起こす星間散乱による電波の散乱、の二つを考慮しなければならない。特に、電波の散乱は EHT の観測波長帯である 1.3 mm 帯では約 $20 \mu\text{as}$ ($\sim 2 R_s$) であり、数十 R_s スケールの構造がぼかされてしまう。

我々は、Sgr A* の理論モデル画像を元に EHT の観測シミュレーションを行い、疑似観測データから『疎性モデリング』とよばれるイメージング法を用いて元の画像の復元を試みた。その際、(i) 事前にビジビリティ空間上で星間散乱の効果を取り除くこと、(ii) 交差検証と呼ばれる手法を用いて画像の疎性と実効解像度を調整することで、ブラックホールシャドウの復元に成功し、モデル画像に肉薄した超解像天体画像を得る事が出来た。

本講演では Sgr A* の星間散乱現象や疎性モデリングに関する簡単な紹介をしたのち、我々が行ったシミュレーションについて紹介をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140a **PRECL 法によるクロージャー位相からビジビリティ位相の復元**

池田思朗 (統数研), 田崎文得 (国立天文台), 秋山和徳 (国立天文台/東大/MIT), 秦和弘, 本間希樹 (国立天文台)

短波長帯における超長基線電波干渉計 (VLBI) の観測では, ビジビリティ位相を正確に求めることが難しい. クロージャー位相はビジビリティ位相よりも安定して測定できるが, ビジビリティ位相を復元するには情報が不十分である. 我々は, 位相に滑らかさを仮定し, ビジビリティ位相を推定する新たな方法 PRECL (Phase Retrieval from Closure Phase) を提案した. ここではその詳細を報告する.

PRECL によるビジビリティ位相の推定は, 二次計画法によって解を得ることができる. このため, 数値的に安定であり, 容易に推定が可能となる. PRECL によってビジビリティ位相を推定し, 観測されたビジビリティ振幅と組み合わせて複素ビジビリティを復元する. さらに Honma et al. (2014) において提案したスパースモデリングの方法によってイメージングを行う. こうした組み合わせによって, CLEAN やセルフキャリブレーションなしにイメージングが可能となる. 本報告では VLBI による 7 mm, 1.3 mm 波長帯での巨大電波銀河 M87 の観測をシミュレーションし, 提案手法によってイメージングを行った結果をしめす.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141a 太陽系地球型惑星大気環境監視プロジェクト SPART の進捗報告

前澤裕之, 原口大輝, 森前和宣, 齋藤滉介, 西田侑治, 種倉平晃, 大西利和 (大阪府立大学), 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 西村淳, 岩下浩幸, 半田一幸, 神澤富雄, 大矢正明, 前川淳, 齋藤正雄 (国立天文台), 佐川英夫 (京都産業大学), 他 SPART グループ

中心星の活動は周囲の地球型惑星の大気化学・物理状態にどのような影響を及ぼすのか。この問題を理解していく上で、まず G 型星である我々の太陽の活動 (電磁放射、太陽風、フレア、コロナ質量放出など) が、惑星の現在の大気に与えている影響について理解を深めておくことが重要である。我々は国立天文台野辺山の口径 10 m のミリ波望遠鏡をもちいて、100/200GHz 帯において太陽系惑星大気監視プロジェクト (SPART) を推進している。我々は、特に磁場で守られていない金星や火星の中層大気の一酸化炭素の変動のモニタリング ($\text{CO } J=2-1, 1-0$ 輝線) に着目している。2011-2015 の観測期間は cycle24 において太陽活動のピークが続き、例えば金星では、日照面側の高度 80 km 付近の CO 混合比は 50 ± 20 ppmv の水準にあることが分かってきた。これを、紫外線との相関が示唆されている NRO 太陽電波偏波計の電波強度や GOES 衛星の X 線・粒子測定データとも比較を進めている。太陽はこれから活動の小康期を迎えるため、今後 CO がどのように変動するか観測を継続し、惑星大気の物理・化学状態のバランスを紐解く計画である (原口他、本年会)。SPART は短・中・長期のモニタリングを目的としており、短期間にピンポイント観測を行う ALMA の観測と相補的である。

今季の望遠鏡の調査では、老朽化したアンテナカップモーター (DC) のカーボンブラシの摩耗が進行し、内部に大量のダストが蓄積していることが分かった。カーボンダストはショートによって整流子の焼きつきを起こし、モーターに再生不能の損傷を誘発する。同型の代替・後継器は流通していない為、延命を見据え、茨城製作所によるモーターメンテナンスを急遽実施した。また、SPART 望遠鏡の管制棟 IB は、現在改築中であり、博物資料館に生まれ変わる予定である。これに伴い、SPART 望遠鏡は、一般見学客に惑星観測の様子をデモ・公開できるようにし、運用を継続していく計画である。本講演では、これら一連の現状・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](#)

V142a 雲発生予測システムの開発 - 60 GHz 帯試作受信機開発と大気観測試験

長崎岳人, 田島治 (高エネルギー加速器研究機構), 荒木健太郎, 石元裕史 (気象庁気象研究所)

ゲリラ豪雨や竜巻等に対する突発的気象現象の新たな気象予報の手法として、大気中の水蒸気量の観測による発生予想が検討されている。この手法では、雲や雨粒が形成される前段階の大気水蒸気量の増加を捉え、雲が形成されることを予想する。雲を対象とするレーダー観測に対して、『雲発生予報』は先立つ早期予報として期待される。

我々は電波領域における広帯域・高感度マルチバンド観測システム、“KUMODES”を開発している。大気中の水蒸気分子からの放射輝線が存在する 18-32GHz 帯、ならびに酸素分子による放射輝線付近の 50-60GHz を同時に観測する。小型の機械式冷凍機を用いた冷却（物理温度 8K）により、高感度化を実現する。また、冷却基準信号黒体を搭載し、ワイヤーグリッドを用いた信号選択システムを採用することで、短時間で高頻度な信号較正を行う。全システムはコンパクトとし、既存の建物屋上や船の甲板等に設置可能とする。

これまでに試作機として 18-32 GHz 冷却受信機を開発し、大気水蒸気量の観測試験をつくば市にて実施した。また新たに常温 60 GHz 帯受信機を開発し、実験室系での評価ならびに試験観測を行った。本講演では、システムの概要ならびに上記の試験結果を合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V143a 8素子空間FFT型干渉計による電波観測

早稲田大学, 朝霞高校

早稲田大学那須電波干渉計は、栃木県那須塩原市にあり、東西配置の20m固定球面鏡21m間隔8基で構成され、天頂より ± 5 度の範囲、赤経32度から42度を、周波数1.4GHz \pm 10MHzで、トランジェント電波源のサーベイ観測を行っている。8素子とも20MHzで複素A/D後、FPGAにより信号処理を行ない、約0.630秒まで積算し、3種類の8組、計24種類のデータを出力している。A出力は4列2段のRadix-4空間FFTモジュールを通し、8素子での空間FFT型干渉計の出力である。B出力は8組の2素子干渉計としてのフリンジが得られ、各アンテナ間の位相のズレが測定できる。C出力は、各アンテナの単一鏡出力とし、受信機系の安定度も確認できる。まず、各アンテナ間の受信機・ケーブル等の位相のズレを、天体通過によりB出力で得られたフリンジから求め、その位相補正値を複素A/D変換出力信号に乗することにより、A出力に位相誤差のないFFT像が合成できる。これにより、本装置で、広視野(0.8度 \times 0.8度)で、この中の赤経方向を160m級望遠鏡に匹敵する角度分解能0.1度で同時に8方向をモニターでき、高分解能(0.1 $^{\circ}$ \times 0.8 $^{\circ}$)と高感度(20-30 mJy(1 $''$))を兼ね備えた、突発(トランジェント)天体の広視野探査に適した、世界的にも例のない特徴をもった電波干渉計が実現した。これにより、今年度6月には地球に最も近いブラックホールを含むと思われるX線連星V404Cygから、26年ぶりのアウトバーストを検出した。また、現在、観測範囲のMapを作成中である。これらについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

3月14日(月) 午後(13:00-15:00) [D会場]

V201a	13:00	「あかり」中間赤外線全天マップの一般公開に向けた現状報告 中道恵一郎(名古屋大学)
V202a	13:12	スペース赤外望遠鏡における波面補正のための極低温用可変形鏡の開発 高橋葵(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
V203a	13:24	SOLAR-C 用軽量化可視光イメージスライサーの開発 末松芳法(国立天文台)
V204a	13:36	SPICA(次世代赤外線天文衛星):再定義完了 芝井広(大阪大学)
V205b	13:48	SOLAR-C 偏光分光観測のための近赤外線カメラと面分光装置の開発 勝川行雄(国立天文台)
V206b	13:48	SPICA 中間赤外線観測装置 SMI の予想性能評価 左近樹(東京大学)
V207b	13:48	次世代宇宙観測に向けた超高精度太陽センサ(UFSS)の開発 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)
V208a	14:00	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の概要と全般的な状況 郷田直輝(国立天文台)
V209b	14:12	巨大ブラックホール進化解明のための小型 JASMINE の解析手法 矢野太平(国立天文台)
V210b	14:12	小型 JASMINE の軌道上での焦点調整方法 鹿島伸悟(国立天文台)
V211b	14:12	小型 JASMINE 衛星の検出器ボックスの検討状況について 上田暁俊(国立天文台)
V212c		Nano-JASMINE データ解析の準備状況 山田良透(京都大学)
V213b	14:24	宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2:望遠鏡システム 新井俊明(東北大学)
V214b	14:24	宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2:広視野撮像装置 白旗麻衣(国立天文台)
V215b	14:24	nuMOIRCS Project: Detector Upgrade and the First On-sky Test 田中壱(国立天文台)
V216a	14:36	地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 11 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総研大)
V217a	14:48	IR ドップラー観測用光周波数コムの特性評価 森貴宏(東京農工大学/国立天文台)
V218c		可視面分光装置 Kyoto3DII における新 CCD システムの性能評価と試験観測 満田和真(東京大学)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [D会場]

V219a	09:30	TMT 計画 – 進捗報告 白田知史(国立天文台)
V220a	09:42	TMT 計画 – 主鏡フルサイズセグメントの量産工程開発 2 山下卓也(国立天文台)
V221a	09:54	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告 大石奈緒子(国立天文台)
V222a	10:06	Development of the Vibration Isolation Systems for KAGRA Peña Arellano, Fabian(国立天文台)
V223a	10:18	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 木内等(国立天文台)
V224a	10:30	広帯域極限高コントラスト観測を目指した 3 層 8 分割位相マスクの開発 村上尚史(北海道大学)
V225a	10:42	すばる望遠鏡用極限補償光学装置「SCEXAO」の現状 工藤智幸(国立天文台)
V226c		瞳遮蔽対応バイナリ瞳マスクコロナグラフの開発 樫香奈恵(宇宙航空研究開発機構)
V227b	10:54	ひとみ望遠鏡の性能評価の進捗 溝口小扶里(仙台市天文台)
V228b	10:54	東京大学アタカマ天文台近赤外線観測装置 SWIMS 小西真広(東京大学)
V229b	10:54	東京大学アタカマ天文台中間赤外線観測装置 MIMIZUKU 上塚貴史(東京大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V230a 11:06 中間赤外線高精度モニタリングに向けた二視野同時観測手法の開発 内山允史 (東京大学)

V231a 11:18 TAO 6.5m 望遠鏡エンクロージャー設計における非定常数値風況解析 小西真広 (東京大学)

3月15日(火) 午後(13:30-15:30) [D会場]

V232a 13:30 明野 50cm 可視光望遠鏡の 2015 年度運用実績 藤原太智 (東京工業大学)

V233b 13:42 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

V234b 13:42 ショートガンマ線バーストの可視即時分光観測のための自動 ToO アラート発令システム 松林和也 (京都大学)

V235b 13:42 光赤外線大学間連携事業における共通自動即時測光パイプラインの開発 齊藤嘉彦 (東京工業大学)

V236a 13:54 モノモルフ DM(DMP40) の小型可視補償 AO への搭載 北尾栄司 (京都産業大学)

V237b 14:06 3 波長同時偏光撮像装置 (MuSaSHI) の開発 潮田和俊 (埼玉大学)

V238b 14:06 埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA の同時測光分光観測システム構築 柴田吉輝 (埼玉大学)

V239b 14:06 小型エッセル分光器の開発 大朝由美子 (埼玉大学)

V240a 14:18 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e プロトタイプ機の性能評価 菊池勇輝 (東京大学)

V241a 14:30 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の開発 — Tomo-e プロトタイプ機の開発および試験観測の報告 大澤亮 (東京大学)

V242b 14:42 法政大学二連望遠鏡 HOTATE の観測システムの構築 大橋龍太郎 (法政大学)

V243b 14:42 IRSF 望遠鏡で可視・近赤外線同時観測を行うための可視カメラの開発 永山貴宏 (鹿児島大学)

V244b 14:42 東広島天文台 HONIR における近赤外バックグラウンド放射の季節依存性 中岡竜也 (広島大学)

V245a 14:54 ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション II 中井悠人 (北海道大学)

V246a 15:06 3 点法による大型自由曲面光学素子の計測 栗田光樹夫 (京都大学)

V247a 15:18 京大岡山 3.8m 望遠鏡: 高コントラスト惑星撮像装置 SEICA の撮像性能 山本広大 (大阪大学)

V248c 木曾 105cm シュミット/KWFC による 501nm および 659nm 狭帯域撮像 西浦慎悟 (東京学芸大学)

V201a 「あかり」中間赤外線全天マップの一般公開に向けた現状報告

中道恵一郎、石原大助、金田英宏、鳥居和史、大藪進喜、近藤徹、高羽幸（名古屋大学）、尾中敬（東京大学）、山村一誠（ISAS/JAXA）

我々は「あかり」中間赤外線全天サーベイデータ（波長 $9\mu\text{m}$ 帯および $18\mu\text{m}$ 帯）から、全天マップの作成を行っている。「あかり」の $9\mu\text{m}$ 帯は、星間空間の多環芳香族炭化水素（PAH）の放射をカバーし、 $18\mu\text{m}$ 帯は暖かいダストからの熱放射を捉える。過去の IRAS 衛星を一桁上回る感度と解像度を持つ、第二世代の赤外線全天マップとなり、とくに波長 $9\mu\text{m}$ マップは、世界で唯一の全天 PAH 分布をトレースする、様々な星間現象の理解に重要なリソースとなる。

我々は、点源カタログ (Ishihara et al. 2010) の作成で用いた基本パイプラインをベースに、その後の詳細な解析によって明らかになった、様々な装置の特性を補正し、高精度の赤外線マップの作成を進めてきた。リニアリティ補正、リセットアノマリ補正など、基本パイプラインの処理を改善し、月の迷光の補正や、地球の迷光の差し引き、前景光である黄道光の差し引きを追加した結果、全天マップの精度を向上させることに成功した。マップは、2016年3月末の公開を目指しており、ピクセルスケール ~ 4 秒角、面輝度感度 $< 1 \text{ MJy/sr}$ 、面輝度精度 $< 10\%$ 、位置精度 < 3 秒角となる予定である。本発表では、この準備状況について報告する。

また、これに並行して、公開済の点源カタログよりも深い点源カタログを作成するため、複数回の観測画像を重ね合わせたマップからの点源の抜き出しを進めており、これ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](#)

V202a **スペース赤外望遠鏡における波面補正のための極低温用可変形鏡の開発**

高橋葵 (総合研究大学院大学), 塩谷圭吾, 櫛香奈恵 (ISAS/JAXA), Paul Bierden, Steven Cornelissen, Charlie Lam, Michael Feinberg (Boston Micromachines Corporation)

地上で組み立てられたスペース赤外望遠鏡を軌道の上に打ち上げると、原理的に、重力からの解放や望遠鏡冷却により鏡面変形が起こり得る。従来、この鏡面変形に対しては、入念な設計と地上試験により、変形が許容誤差範囲内に収まるようにするという方針が主であった。ここで、もし小型の可変形鏡（以下 DM）を導入して、打ち上げ後に軌道上で波面の乱れを補正できれば、望遠鏡の性能向上、またコスト削減、開発期間の短縮、およびリスクの低減などで大いに有効となる可能性がある。

そこで我々は、Micro Electrical Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いた静電方式の DM に着目し、極低温（5K）に対応した全体構造を持つ新しい DM を開発した。本講演では、その動作実証実験の結果として、開発した DM が極低温下で動作したことを示しその動作特性を評価する。

このような多素子化した極低温用 MEMS-DM の開発が成就すれば、多くのスペース赤外望遠鏡に対して有効であり、特に系外惑星探査のためのコロナグラフに対して大きな役割を果た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](#)

V203a SOLAR-C用軽量化可視光イメージスライサーの開発

末松芳法 (国立天文台), 斎藤洸輔, 小山祐嗣, 榎田弓貴也, 大倉幸伸, 中保友直, 助川隆 (CANON)

太陽面で起こる局所的、ダイナミックな磁気流体现象を的確に捉え、高精度分光偏光観測により現象の物理パラメータ (温度、速度、磁場など) を精度よく求めるために、偏光観測に対応できる2次元分光 (面分光) 装置が必要である。これまで面分光装置は主に3つの方式で開発され実用化されてきているが、宇宙用で可視光用に適用できるものはまだ実例がない。次期太陽観測衛星 SOLAR-C では、面分光装置として軽量・コンパクトな構成に加え、通常のスリット分光と共存両立させる要求があり、これを実現する光学設計、装置開発が要求されている。ミラースライサーで実現するため、1つのスライサー鏡の幅は、スリット幅として許容できる $30 \mu\text{m}$ (0.18秒角相当) と非常に狭く、面精度の良いガラス研磨では実現できないものである。同時にできるだけ広い視野を確保するため、スライサー鏡を45枚配置する必要があり、スライサー鏡間の異なる反射角設定を高精度で実現する必要もある。コンパクト化のため、1つの擬似瞳鏡 (軸外しコニック面) を45枚、面精度だけでなく、位置、角度要求を満たし、衛星搭載品として打上げ、宇宙環境に耐える設計・製作が必要である。キヤノンの一体切削加工技術により、可視光観測に使用できる面粗度 1.5 nm rms 以下の高性能金属鏡イメージスライサーと瞳鏡ユニット、用いる宇宙仕様銀コーティングの目処が立ったので報告する。また、分光器にはテレセントリックでの入射が必要であり、これを実現するフィールドレンズの設計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](#)

V204a **SPICA (次世代赤外線天文衛星): 再定義完了**

芝井 広 (大阪大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄 (JAXA), 尾中 敬, 河野孝太郎 (東京大), 金田英宏 (名古屋大), 山田 亨 (東北大), 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。中間赤外線から遠赤外線にかけてきわめて高い感度が期待でき、JWST と ALMA の間の波長帯で、銀河の成長・進化や惑星系形成過程その他の、豊かで多様な宇宙をもたらした重元素に関わる天体・現象を、高感度赤外線分光によって研究することを主目的とする。約2年間の検討により、日欧の研究者チームと JAXA、ESA の共同作業で、実現可能なミッション規模を、口径2.5m、望遠鏡温度8Kなどと定めることができた(2015年秋季年会 V252a)。これと並行して科学的意義のさらなる検討、観測装置の最適化を行い、波長12-230ミクロンの中間赤外線、遠赤線をカバーする高感度の分光機能を持つデザインを得た。この新しいSPICA計画について、国際科学評価委員会により、2020年代後半においてもきわめて高い科学的価値を有するとの評価を得た。さらに JAXA 宇宙理学委員会によるミッション定義審査に合格し、戦略的中型ミッションとしての SPICA の「再定義」が完了した。次には、間もなく募集が行われる ESA コスミックビジョンの M クラスに再提案する。2027-2028年の打ち上げを目指しており、3年間以上の軌道上運用で、TMT や ALMA 等との連携観測・研究も含め、太陽系まで含めた宇宙の天体形成・成長史においてかけがえのない研究成果が得られることが期待される。日本が担当する中間赤外線装置 (SMI) など各部については別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](#)

V205b SOLAR-C 偏光分光観測のための近赤外線カメラと面分光装置の開発

勝川行雄, 鎌田有紀子, 原弘久, 末松芳法, 坂東貴政 (国立天文台), 阿南徹, 一本潔 (京都大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

次期太陽観測衛星 SOLAR-C では、太陽彩層で発生する短時間で変動する現象に追従するため、高感度な近赤外線カメラと2次元同時に偏光分光情報を取得する面分光装置の開発を進めている。面分光装置として偏光維持性能のある矩形光学ファイバー束を用いる方式を開発しており、ファイバー保持に用いる樹脂がファイバーに与えるストレスを低減するのが課題であった。柔らかいシリコン樹脂によってストレスを低減化できる可能性があることが分かっていたため、シリコン樹脂の候補に対して、ファイバー間への充填のしやすさ、硬化時の柔らかさに加え、真空中で低アウトガスであることを実測評価し、DC-SE9187L が最適なものと選定した。DC-SE9187L を用いたL字型面分光装置試験品について偏光特性を評価した結果について報告する。また、彩層観測に適したスペクトル線のある波長 800 nm から 1.1 μm の帯域を高感度かつ高速で観測できる近赤外線カメラの性能検証を行ってきた。1.7 μm カットオフの HgCdTe 素子 H2RG (2k \times 2k) を第1候補とし、その評価用素子と読み出し ASIC (SIDE CAR) を入手し、使用予定温度である -140 から -70 の温度範囲で性能評価できるシステムを構築した。線形性、暗電流、ホットピクセルの割合、読出ノイズ、量子効率等について、低速読出 (100kHz, 16bit) と高速読出 (10MHz, 12bit) それぞれで比較評価を行った。その結果、-100 $^{\circ}\text{C}$ まで冷却しないとホットピクセルの割合が急激に大きくなってしまふことが分かった。高速読出時に読み出しノイズが 100 e^{-} 程度まで悪化することが分かっており、ギリギリ許容できる範囲ではあるが、バイアス電圧等の調整でノイズを小さくできるか調査している。これらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206b SPICA 中間赤外線観測装置 SMI の予想性能評価

左近 樹 (東京大学)、大藪進喜、石原大助 (名古屋大学)、和田武彦 (ISAS/JAXA)、藤代尚文 (京都産業大学)、金田英宏 (名古屋大学)、SMI コンソーシアム

SPICA ミッションでは、新しい枠組みのもとで装置の再検討が実施された。日本の担当する中間赤外線観測装置 SMI は低分散分光器 (LRS)、中分散分光器 (MRS)、および高分散分光器 (HRS) から構成される観測装置として定義されている。LRS は、プリズムを採用して、波長帯域 $17\mu\text{m}$ から $37\mu\text{m}$ を、波長分解能 $R \sim 50 - 100$ でカバーし、Si:Sb の $1\text{k} \times 1\text{k}$ の検出器アレイ上に、4 本のマルチ長スリット分光データ (各スリット長は 10 分角) を取得し、効率的な分光マッピング観測を実現する。MRS は、crossed echelle grating 分光器で、6 次から 11 回の回折光を用いて、波長帯域 $18\mu\text{m}$ から $36\mu\text{m}$ を、波長分解能 $R \sim 1000$ でカバーし、Si:Sb の $1\text{k} \times 1\text{k}$ の検出器アレイ上に、約 120 秒角の長スリット分光データを取得する。HRS は、CdZnTe 製のイメージョン回折格子を採用し、Si:As の $1\text{k} \times 1\text{k}$ の検出器アレイを用いて、84 次から 118 回の回折光を用いて波長帯域 $12.14\mu\text{m}$ から $17.08\mu\text{m}$ を連続的に、および、77 次から 84 回の回折光を用いて $17.08\mu\text{m}$ から $18.7\mu\text{m}$ の一部の波長を断続的に、波長分解能 $R \sim 27,000$ でカバーする。我々は、今後さまざまなサイエンス検討を行う際に必要となる装置性能を提示する目的で、得られた光学設計解を基に、現時点で入手可能な最新の検出器性能情報及び各分光素子の光学特性を考慮し、点源連続光、点源ライン放射、拡散光連続光、拡散光ライン放射の各々に対する波長感度特性、及び飽和限界波長特性の計算を行った。本講演では、その計算を行う上で採用した前提条件および仮定と共に、SPICA/SMI の予測性能の計算結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207b 次世代宇宙観測に向けた超高精度太陽センサ (UFSS) の開発

清水敏文 (宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所), 加納龍一 (東京大学/宇宙科学研究所), 吉原圭介 (宇宙航空研究開発機構), 津野克彦 (理化学研究所), 久保雅仁 (国立天文台), 村尾一, 吉田浩子, 横澤剛 (明星電気)

太陽を始めとして宇宙機による天体観測では、さらに高い空間分解能の観測が求められ、衛星の姿勢制御によって観測装置の指向方向を高精度に安定させることが求められている。姿勢安定化の手法として、太陽センサを用いて太陽の方向を検出し、その情報を姿勢決定に反映させることで太陽に対するずれを補正するものがある。超高精度太陽センサ (UFSS) は、「ようこう」「あかり」「ひので」で高精度化が行われた日本固有の高精度センサである。現在我々は、開発メーカーの撤退に伴い、新たな開発メーカーを開拓して、同様もしくはさらに性能向上させたコンパクトな太陽センサの開発を開始している。当面の目的は次世代太陽観測衛星 SOLAR-C での搭載であるが、コンパクトながらランダム誤差 1 秒角 (3σ) 以下, 2 秒角 (p-p) 以下と高精度に太陽方向を検出できる超高精度太陽センサ (UFSS) は、他の宇宙機観測にも水平展開できる。

センサは 16 本のスリットが入ったレチクルと 2048pixel の一次元 CCD で構成され、太陽光の入射によってレチクルがつくる開口パターン像と信号処理回路がつくる基準信号 (レプリカ波形) との間で位相を求めることで太陽角度を出力する。このセンサを直交させて 2 つ持つことで、太陽方向を高精度に検出する 2 次元センサとなる。現在まで試作に向けて机上検討を進めてきた。本講演では、UFSS の原理に基づいて動かしたときに実現される精度の評価、一次元 CCD の選定のために実施したプロトン照射試験で行った CCD 特性変化と、それによる検出性能への影響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](#)

V208a

Nano-JASMINE と小型 JASMINE の概要と全般的な状況

郷田直輝, 小林行泰, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 白旗麻衣, 山口正輝, 宇都宮 真, 鹿島伸悟, 亀谷 収, 浅利一善 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 原 拓自 (東大理), 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), 安田 進 (研究開発本部/JAXA), 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

Nano-JASMINE は、Gaia では星像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から、明るい星に対する科学的成果に対して、さらに Gaia データの validation のため、Gaia チームからの期待も大きい。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や Gaia チームとの共同でのデータ解析の準備が進んでいる。ウクライナとブラジル両国が設立した打ち上げ会社による打ち上げ可能性は無くなったが、ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) による 2017 年末頃の打ち上げに向けて、調整が続けられている。一方、小型 JASMINE は、巨大ブラックホールと銀河の共進化の解明のために、星の運動 (動力学) を用いて、天の川銀河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 99.7 % 以上の高信頼度で判定を行う。さらに、中心核バルジの重力場を高信頼度で制限し、銀河系中心での爆発現象などの活動性への知見を与えることを科学目的とする。そのため、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、中心核バルジ領域を測定する。さらに、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位置天文観測を行う。これらを目標に概念検討をほぼ終え、JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへの応募準備と重要な技術要素の実証実験を進めた。以上の概要と状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209b 巨大ブラックホール進化解明のための小型JASMINEの解析手法

矢野太平, 郷田直輝, 辻本拓司 (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

赤外線位置天文観測衛星小型 JASMINE は、銀河系中心領域の星の年周視差、固有運動を高精度に測定する計画であり、銀河中心の巨大ブラックホールの形成過程の解明や銀河中心への物質供給機構を決定づける銀河中心ポテンシャルの解析を主なサイエンスとしている。JAXA 宇宙科学研究所のイプシロン搭載宇宙科学ミッションへのミッション提案募集が、2016年初めに締め切られる予定である。現在我々は検討開発を精力的に進めている。

銀河中心の巨大ブラックホールの形成過程の解明において、銀河形成における標準理論である階層的銀河形成モデル、すなわちコールドダークマターモデルに従えば、小さいスケールの銀河が合体し大きいスケールの銀河が形成される。銀河やそのバルジが成長するとともに、銀河中心の巨大ブラックホールも合体形成し、成長してきた事が示唆される。こうした、ブラックホールの形成過程はブラックホールまわりのバルジ領域における星の位置や運動に影響を与える。したがってバルジ領域における星の位相分布関数を詳細に調べることによって形成過程を明らかにすることができる。さらに銀河中心部への物質供給が今後どのように進むかを詳細に調べるためには、銀河中心ポテンシャルを理解する事が重要となる。こうした銀河中心のポテンシャルの構造を明らかにするために銀河中心領域における星の軌道解析を行う。ここでは、こうしたブラックホールの形成過程および物質供給機構の理解のための解析手法と、解析結果の信頼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](#)

V210b 小型JASMINEの軌道上での焦点調整方法

鹿島 伸悟、郷田直輝、小林行泰、矢野太平、白旗麻衣、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 $10\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためには軌道上での焦点調整を $\pm 0.1\text{mm}$ の精度で行う必要がある。地上での組立調整なら、格子状ターゲットを撮像して MTF(MD カーブ) を作成し、そのピークを焦点位置として調整する方法も可能であるが、軌道上では「星」しかターゲットがないため MTF 法は使えず、焦点調整の手法が限定される。

当初は、星像 (PSF) の径を測定し、デフォーカスに対する PSF 径のグラフのピークを焦点位置として焦点調整することを考えたが、PSF 径はデフォーカスに対して非常に鈍感であり、また「径」そのものも計り方に依存するという不定性があるため、好ましくないことが分かった。そこで、デフォーカスに対して敏感なストレール強度を用いることを考えたが、小型 JASMINE では、瞳位置ではない場所にある傾いた平面鏡を動かして焦点調整することを考えているため、調整に伴い PSF が像面上をシフトするという問題があり、単純に中心ピクセルの光量をストレール強度とすることができない。また、星像 (PSF) は、その中心が必ずしもピクセル中心と一致するわけではなく、更に衛星の姿勢擾乱によっても調整中に PSF が像面上で揺動するため、それらの影響やポアソンノイズを考慮する必要がある。

本発表では、PSF 中心を含む 3×3 ピクセルからの光量のデフォーカス特性を用いることで、上記影響を考慮しても非常に良い精度で軌道上でも焦点調整が可能であることが分かったため、こ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](#)

V211b 小型JASMINE 衛星の検出器ボックスの検討状況について

上田暁俊、白旗麻衣、小林行泰、矢野太平、鹿島伸悟、郷田直輝 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、宇都宮真、安田進 (JAXA)、間瀬一郎 (次世代宇宙システム技術研究組合)、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。そのため、季節や観測対象によって、衛星の温度が変化する。

この衛星に搭載される検出器は、アストロメトリ用に $4\text{K} \times 4\text{K}$ 素子の HAWAII-4RG、測光用に $1\text{K} \times 1\text{K}$ の HAWAII-RG、計 3 個であり、その運用温度は 180K である。観測運用中、検出器は 180 K 以下にまで冷却し、年間を通じて 0.7 K 以下の温度安定性を達成させる。また、常温から運用温度間で、検出器が収納された検出器ボックスの熱変形により、検出器と望遠鏡間に生ずるミスアライメントを最小限に抑える必要がある。

このような条件を実現させるため、MLI で断熱された、アルミニウムとガラスエポキシを 4 層に折り返した構造を持つ検出器ボックスを設計し、熱構造解析を行った。この解析に基づき、検出器ボックスの熱環境性能試験モデルを製作し、宇宙環境模擬チャンパーで、衛星運用時の温度環境を模擬し、検出器ボックス性能実証実験を行っている。

本講演では、検出器ボックスの構造を紹介し、熱環境性能試験モデルの性能検証実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](#)

V212c Nano-JASMINE データ解析の準備状況

山田 良透 (京都大学)、Uwe Lammers(ESAC)、Daniel Michelik(Lund 天文台)、小林行泰、郷田 直輝、矢野 太平、原拓司 (国立天文台)、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)、荒井隆志 (京都大学)、池田思朗 (統計数理研)

Nano-JASMINE は、日本初の位置天文観測衛星である。データ解析は、衛星テレメトリからの工学値変換は衛星バス部開発の東京大学で、取得画像からの星像中心推定と工学値変換された軌道・姿勢データを後述の core 解析ソフトのモデルのパラメータに変換する部分を国内解析チームが、位置天文パラメータの導出は、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。

解析チームでは、これまで AGIS(Gaia のコアソフト) の Nano-JASMINE 適用、衛星姿勢のモデル化、星像中心推定手法の開発、検出器特性モデルの組み込みなどを行ってきた。星像中心推定に関しては、これまで Gaia の手法を応用した方法を試してきたが、統計学の観点から手法の見直しを進めている。また、姿勢推定が精度達成の上で非常に重要なポイントとなるという、複数の Hipparcos 経験者からの指摘もある。Hiappros は物理モデルが構築できる静かな環境での衛星であったが、Nano-JASMINE も小型 JASMINE も制御を行いながら観測を行う初めての位置天文衛星になるため、システム同定の問題としても非常に興味深い例となる。

こちらの検討状況・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](#)

V213b 宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2：望遠鏡システム

新井俊明、白旗麻衣、津村耕司、丸山貴大(東北大学)、松浦周二、児島智哉(関西学院大学)、武山芸英、江野口章人、金井美一(株式会社ジェネシア)、佐野圭(東京大学)、大西陽介(東京工業大学)、松本敏雄(ASIAA)、James Bock(Caltech/JPL)、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高精度観測に特化したロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background ExpeRiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-2の望遠鏡は、使用予定のロケットに搭載可能な最大サイズである口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式望遠鏡である。CIBER-1 より面積比 10 倍の大きな望遠鏡を搭載することにより、より暗い点源 (> 24 AB-mag) まで除去したうえで宇宙赤外線背景放射の観測を行う。液体窒素冷却に伴う熱収縮によるひずみを最小限に抑えるため、主鏡と副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全てをアルミニウムを用いて製作する。宇宙赤外線背景放射の観測に重要な波長 $0.5 - 2.0 \mu\text{m}$ における広視野撮像装置 (視野: $2.3 \text{ deg} \times 2.3 \text{ deg}$) を搭載し、ビームスプリッタを用いて3つの光学モジュールが視野を共有する (今年会、白旗ほか)。この光学系モジュールと測光フィルタ、LVF (Linear Variable Filter) とを組み合わせることで、宇宙赤外線背景放射の空間ゆらぎ観測と分光観測が可能となる。

我々は主鏡の試験モデルを製作し、干渉計を用いて表面形状を測定した。その結果、主鏡の形状や、望遠鏡ベースプレートに由来する非点収差が存在することが明らかとなった。現在、この非点収差を打ち消す形状をもつ主鏡のフライトモデルを製作中である。また、高い精度で波長感度校正とフラット補正を行うために、検出器面を一様に照明するキャリブレーションランプを副鏡裏に実装予定である。本講演では、望遠鏡やキャリブレーションランプの製作状況と性能評価実験の計画について発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V214b 宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2 : 広視野撮像装置

白旗 麻衣 (国立天文台)、新井 俊明、津村 耕司 (東北大学)、松浦 周二 (関西学院大学)、松本 敏雄、Shiang-Yu Wang (ASIAA)、武山 芸英、江野口 章人、金井 美一 (株式会社ジェネシア)、佐野 圭 (東京大学)、大西 陽介 (東京工業大学)、James Bock (Caltech/JPL)、CIBER-2 チーム

我々は現在、日米韓台の国際協力のもと、宇宙赤外線背景放射の高精度観測に特化したロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background ExpeRiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-2 の望遠鏡は、口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式のアルミニウム製望遠鏡である (本年会、新井ほか)。望遠鏡の後方部には、宇宙赤外線背景放射の観測に重要な波長 $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ をカバーする広視野撮像装置 ($2.3\times 2.3\ \text{deg}^2$) を搭載する。本装置には測光フィルタを組み込み、一挙に 6 バンドでの宇宙赤外線背景放射のゆらぎ観測を実現させるほか、視野の一部にリニアパリアブルフィルタを追加し、宇宙赤外線背景放射のスペクトル観測も同時に行うことを可能とした。

広視野撮像装置は、ビームスプリッタを用いて、各 2 バンドを担当する 3 つの光学系モジュール (Arm-S: $0.5\text{--}0.9\ \mu\text{m}$ 、Arm-M: $1.0\text{--}1.4\ \mu\text{m}$ 、Arm-L: $1.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$) が視野を共有する構成を採用している。本装置には、観測画像から点源を効率よく取り除くことのできる高い集光特性と、ロケットスキンの限られた空間内に各モジュールをコンパクトに実装するという、相反する特性の両立が求められる。そこで、非球面レンズを適所に採用してレンズ素子の最小化を図りつつ同時に集光特性の改善を図ることで、点源 PSF の 90% 以上の強度が 3×3 ピクセル内に集光する設計性能を得た。また、視野内で一様な分光透過特性が得られるようレンズの AR コーティングの最適化を行っている。本講演では、レンズや鏡筒などのコンポーネントの製作状況を示し、組み上げ後に期待される性能を提示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215b **nuMOIRCS Project: Detector Upgrade and the First On-sky Test**

Ichi Tanaka, Josh Walawender, Maximilian Fabricius, Ikuru Iwata, Tatsuo Nishimura, Koji Omata (Subaru Telescope), Yasuhito Hashiba (IoA, Tokyo Univ), Yen-Sang Hu, Shiang-Yu Wang (ASIAA), Naruhisa Takato, Nobuo Arimoto (Subaru Telescope), cooperated by Subaru Instrument Division

”nuMOIRCS Project”は、すばる望遠鏡の近赤外多天体撮像分光装置である「MOIRCS」のアップグレードプロジェクトである。この計画は検出器の更新とIFUの搭載を柱とした科研費プロジェクトであったが、現在は観測所内の”インハウス”プロジェクトとして、ハワイ観測所装置部門のリーダーシップの元で、東京大学・ASIAAの協力も得ながら、鋭意進行中である。

その第一弾として、我々は検出器を最新のHawaii2 RGアレイに寄せ換えるための実験を2014年以来行い、読み出しパラメータの最適化を進めて来た。2015年5月には、実際にMOIRCSに搭載する作業を開始した。同時に、装置周辺のハードウェアを最新のものにアップグレードし、かつコントロールシステムを装置ビルダーによるものから、完全なインハウスシステムに更新する作業を行った。

なお、8月にMOIRCS本体に新しいH2RGを搭載し実験を始めた所、多くの宇宙線様シグナルが検出された。調査の結果、その起源は主にレンズ最終面のARコートから来る放射線(粒子)と分かった。このブロック方法の検討等のため当初の予定より遅れが生じてしまったものの、12月下旬の最初のオンスカイ試験は予定通り実行されると期待している。本講演では、この最初のアップグレードによるMOIRCSの更新点、H2RGの初期試験結果、および12月末に実施予定の最初のオンスカイテストの結果を速報する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216a 地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 11

小谷隆行, (アストロバイオロジーセンター ABC/NAOJ/総研大), 周藤浩士 (ABC/NAOJ), 西川淳 (NAOJ/ABC/総研大), 成田憲保 (ABC/NAOJ/総研大), 大宮正士, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 鈴木竜二, 工藤智幸, 日下部展彦, 原川紘季, 林正彦, 福井暁彦, 権静美, Oliver Guyon(NAOJ), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行 (NAOJ/総研大), 堀安範, 橋本淳 (ABC), 馬場はるか, 呉大鉉 (総研大), 黒川隆志 (NAOJ/農工大), 森貴宏, 小久保宰, 柏木謙, 田中洋介 (農工大), 池田優二 (Photocoding), 佐藤文衛, 玄田英典, 平野照幸, 葛原昌幸, 藤井友香 (東工大), 生駒大洋, 河原創, 石塚将斗 (東大), 町田正博 (九大), 松尾太郎 (阪大), 長田哲也 (京大), 荻原正博 (ニース大), 比田井昌英 (東海大), 西山正吾 (宮城教育大学), Don Hall, Klaus Hodapp(ハワイ大), IRD チーム

我々は、太陽近傍 M 型星まわりの惑星存在頻度や形成過程を明らかにすることを目標とし、すばる望遠鏡用の赤外線高分散分光器 Infrared Doppler(IRD) を開発中である。IRD はレーザー周波数コムや安定性を追求した光学系により 1m/s の高精度視線速度を達成することを目指している。すばる望遠鏡を用いた大規模サーベイを行うことにより、ハビタブルゾーンにある 1 地球質量惑星の検出を含む、様々な惑星の発見が期待される。IRD は 2016 年のファーストライトを控え、装置組み上げ・性能評価の最終段階にある。本講演では装置開発の現状と達成可能な視線速度精度について述べる。また視線速度測定誤差の要因や、近赤外線では主要な視線速度誤差要因となるモーダルノイズを低減するためのスクランブラー、様々なサブシステムについても詳しく説明する。レーザー周波数コムの性能評価試験については、別講演を参照のこと。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217a IR ドップラー観測用光周波数コムの特性評価

森貴宏, 小久保宰, 奥山康志, 柏木謙, 田中洋介 (東京農工大), 黒川隆志 (国立天文台, 東京農工大), 小谷隆行 (ABC, 国立天文台, 総研大), 西川 淳 (国立天文台, 総研大, ABC), 田村元秀 (東大, 国立天文台, ABC)

太陽系外の地球型惑星を探索するために、近赤外ドップラー (IRD: InfraRed Doppler) 観測装置の開発を進めている。地球型惑星を発見するためには 1 MHz 以下のドップラーシフトを検出せねばならず、そのために光周波数上の「ものさし」となるコム光源の開発を進めてきた。コム光の発生原理は、周波数安定化された連続発振レーザー (発振波長:1549 nm) から繰り返し 12.5 GHz のピコ秒光パルスを作成し、パルス圧縮した後、高非線形ファイバに入射して広帯域コム光を生成する。この方法は従来のフェムト秒レーザーを用いる方法に比べて、山頂においても安定で簡便な操作が期待できる。これまでに、モード間隔 12.5 GHz で 1030 ~ 1750 nm の広帯域コムを生成し、周波数安定化アセチレンレーザー (発振波長:1542 nm, 周波数安定度:約 0.01 MHz) との光ヘテロダイン測定によりコム 1 本の SN が最大 40 dB, 周波数安定度 0.2 MHz 以下@140hrs であることが確認されている。コム光はレーザー光であるので、その非偏光化、スペックル除去、星光と同レベルまでの光パワー減衰、スペクトルの平坦化が必須である。また、コム光を多モードファイバで分光器へ伝送する際、モードのスクランブルが重要となる。これらのコム光の処理のために、光学素子をモジュール化して装置に組み込んだ。本コム発生系に AOM (音響光学素子) を組み込むことによって、コムスペクトル全体を 38 ~ 42 MHz シフトできることを確認した。これによって分光器を広い波長範囲に涉って MHz レベルで較正することが可能となる。これらの特性の詳細は当日発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218c 可視面分光装置 Kyoto3DII における新 CCD システムの性能評価と試験観測

満田和真, 橋場康人 (東京大学), 美濃和陽典, 早野裕 (国立天文台), 菅井肇, 下農淳司 (東京大学), 松林和也 (京都大学), 服部堯, 鎌田有紀子, 尾崎忍夫 (国立天文台), 土居守, 酒向重行 (東京大学)

我々は、可視面分光装置 Kyoto Tridimensional Spectrograph II (Kyoto3DII) の CCD システム (CCD・真空冷却デューワー・読み出し系) のアップグレードを完了し、このシステムを搭載して面分光観測を行った。Kyoto3DII は現在すばる望遠鏡ナスミス焦点において PI 装置として共同利用に供されており、AO188 を用いて可視域での補償光学 (AO) 付き面分光観測を行うことができる装置である。AO はより長い波長で効果が高いため長波長側での感度が重要である。ところが、これまで本装置に搭載されていた CCD は、以前のカセグレン焦点 (AO なし) での観測に最適化されていたものであり、長波長側での量子効率が低いため、効率の良い AO 観測ができなかった。そこで我々は、CCD を長波長側でも量子効率の高い浜松ホトニクス社 2k×4k 完全空乏型 CCD に入れ替えた。これにより、長波長側でのシステム効率は 2 倍程度になる。また、シリコン層が厚いためフリンジも大幅に改善した上、冷凍機と読み出しシステムの更新により読み出しノイズが $3.2\text{-}3.4e^-$ r.m.s. と以前の約 3 分の 1 程度に下がった。このような新 CCD システムを搭載し、我々は 2015 年の 9 月 23, 24 日に試験観測および科学観測を行った。V バンド 9.5 等の星を用いた Natural Guide Star mode での AO 付き面分光観測では、 ~ 0.11 秒角 FWHM の空間分解能で観測することができ、Laser Guide Star mode では 0.3 秒角以下の空間分解能で観測を行うことができた。本講演では、実際の観測から得られたデータを用いたシステム効率等の新 CCD の性能評価に加え、近傍銀河中心核の AO 付き面分光観測についての初期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](#)

V219a TMT 計画 – 進捗報告

臼田知史, 家正則, 青木和光, チャップマン純子, 神津昭仁, 山下卓也, 柏川伸成, 宮下隆明 他 (国立天文台 TMT 推進室), Henry Yang, Edward Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Ernie Seaquist 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 3 月よりハワイマウナケア山頂において道路建設作業を開始したが、建設反対派の抗議行動の活発化のため、4 月 6 日の週より建設作業を一時停止していた。ハワイ現地での事態改善に向けては、TIO 執行部と連絡を取りながら、ハワイ州やハワイ大学と緊密な協議を進め、11 月 18 日から山頂での工事再開準備作業に向けた建設車両の保守作業等を開始する予定であった。しかし 12 月 2 日、ハワイ州最高裁判所は、ハワイ州土地・天然資源委員会 (BLNR) がハワイ大学の申請に基づき行った、TMT を建設するためのマウナケア保護地区利用許可 (CDUP) について、その審査過程に瑕疵があり無効との判決を下した。これにより、TMT を建設するためにはあらためて CDUP の再申請と許可を得ることが必要となった。TIO の各パートナー機関とも再申請を目指す方向で協議を進めている (12 月 7 日現在)。

日本国内の TMT 計画の進捗状況としては、2015 年度は、望遠鏡本体構造および制御系の詳細設計、第一期観測装置 (IRIS, WFOS) の設計・検討作業を進めている。主鏡の量産 (鏡材製作、研削・研磨) では、主鏡材の製造が累計で 100 枚、裏面研磨は 50 枚を超えた。また、全国各地での一般講演会や、TMT の可動式模型や主鏡分割鏡の試作品を用いた展示、完成予想動画の作成と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](#)

V220a TMT 計画 - 主鏡フルサイズセグメントの量産工程開発²

山下卓也, 宮下隆明, 大屋 真, 家 正則, 臼田知史, 高見英樹, 青木和光, 柏川伸成, 寺田 宏, 鈴木竜二, 稲谷 順司, 橋本哲也, 尾崎 忍夫, 神津昭仁, 他 (国立天文台・TMT 推進室)

国立天文台が参加している TMT(Thirty Meter Telescope) は、単一鏡の主鏡を持つすばる望遠鏡とは異なり、対角長約 1.44m の 6 角鏡を 492 枚組み合わせて主鏡を構成する分割鏡望遠鏡である。日本はその貢献の一部としてこの分割鏡 (主鏡セグメント) の製作を担当している。

平成 25 年度予算において主鏡セグメントの量産が認められ量産を開始した。主鏡セグメントの加工工程は、球面研削・非球面研削・非球面研磨・外形加工・専用支持機構への搭載、と多くの工程から成るが、昨年度まで量産を行っていたのは非球面研削加工までである。次の工程である非球面研磨については、昨年度より曲げ研磨法を用いた試作を開始し、本年度 (平成 27 年度) より量産を始めている。また、形状の測定効率を上げるために、61 本の測定プローブを 2 次元に配置して高速に低次の形状測定ができる 2 次元プロファイロメーターを導入する。本講演では、非球面研磨量産の表面形状達成状況とその他の工程も含めた量産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](#)

V221a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

大石奈緒子 (国立天文台) KAGRA 共同研究者

重力波の直接検出を目指して、アメリカ (LIGO)、ヨーロッパ (VIRGO)、そして日本 (KAGRA) で基線長 34km のレーザー干渉計型重力波検出器が建設されている。LIGO, VIRGO は既に干渉計としての動作実績があり、ここ数年は検出器の感度向上のための装置の改修が行われていたが、2015 年 9 月 18 日から他の検出器に先駆け、LIGO が約 3ヶ月の予定で観測 (observing run: O1) を開始した。VIRGO は 2016 年からの観測を予定している。

レーザー干渉計型の重力波検出器では、微弱な信号を検出するために、高出力レーザーや、多段の防振系などが用いられるが、KAGRA にはさらに、干渉計の感度を制限する原理的な雑音源のひとつである地面振動を低減するために「地下」に建設され、同じく原理的な雑音のひとつである熱雑音を低減するために鏡を「低温」に冷却する、という 2 つの特徴がある。建設の開始は同規模の他計画よりも遅く、2012 年よりトンネルの掘削がはじまり、2014 年 3 月にトンネル掘削完了、翌 2015 年春には干渉計の両腕の真空ダクトの設置・接続が完了した。2015 年にはクリーンブースの建設のほか、光源レーザーの射出、クライオスタットの組み立て、モードクリーナほか防振系に吊られた主要な光学系の設置など、観測装置建設の重要な節目が、多くの学生や研究者を中心に達成された。現在は 2018 年の本格運用 (bKAGRA) の前に、2015 年度中の望遠鏡のファーストライトに相当するテスト観測 (iKAGRA) を目指して日々建設が進められている。

本講演では KAGRA の現状について、2015 年秋以降の神岡での建設状況を中心に紹介し、テスト観測の準備状況などについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a **Development of the Vibration Isolation Systems for KAGRA**

Fabian Peña Arellano, R. Takahashi, T. Sekiguchi, K. Okutomi, A. Shoda, Y. Fujii, Mark A. Barton, N. Hirata, H. Ishizaki, T. Akutsu, N. Ohishi, Y. Aso, R. Flaminio (NAOJ), K. Yamamoto, T. Uchiyama, O. Miyakawa, H. Kamiizumi (ICRR), E. Majorana (INFN), K. Agatsuma, J. van Heijningen (NIKHEF), R. DeSalvo (California State University Los Angeles)

KAGRA, a cryogenic laser-interferometric gravitational wave detector, currently in construction at Kamioka (Gifu Prefecture, Japan), is one of a number of planned advanced detectors throughout the world. To keep out seismic and other mechanical noise, the key optics of the interferometer will be suspended on multi-stage vibration isolation systems using pendulums and inverted pendulums for horizontal isolation and soft geometric-antispring filters for vertical, with the number of stages dependings on the sensitivity of the optic. The bottom stage of each system includes a marionette for pitch and yaw position control and a recoil mass with shadow sensors and voice coil actuators for damping. We report on the status of design, construction and installation of the vibration isolation systems.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223a 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
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。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ので報告する。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。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224a 広帯域極限高コントラスト観測を目指した3層8分割位相マスクの開発

村上尚史(北海道大), 西川淳(国立天文台/総研大/Astrobiology Center), Raphael Galicher, Pierre Baudoz (Observatoire de Paris), 小室佑介, 赤岩夏海(北海道大), 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検出するためには、明るい主星光を強力に除去する高コントラスト装置(コロナグラフ)が必要不可欠である。これまでに、極限高コントラスト観測を目指した、フォトニック結晶8分割位相マスクの開発が行われている(村上他, 2011年秋季年会 W23a、押山他, 2013年秋季年会 V239a など)。フォトニック結晶8分割位相マスクは、主軸方位が8領域で異なる半波長板から構成される。この素子を直交する2枚の偏光子で挟むことにより、理論上、広帯域で恒星光を完全に除去できる。しかしながら実際は、偏光子に起因する収差の影響により、恒星光を完全に除去することができず、恒星の残留スペックル光がコントラストの劣化を招いてしまう。さらに、偏光子の導入により惑星光のスループットが劣化してしまうことも問題である。

我々はこれらの問題を解決するため、偏光子を用いずに広帯域で動作可能な、3層8分割位相マスクの開発に着手した。本デバイスは、主軸方位の異なる3層の8分割半波長板を重ね合わせた構造をしている。これまでに、3層8分割位相マスクの第一試作を行い、北海道大のコロナグラフテストベッドにおいて基礎特性評価を行った。さらに、フランス・パリ天文台の高コントラスト観測シミュレータ THD テストベッドにおいて、 32×32 素子の可変形鏡によるスペックル低減技術(ダークホール法)と3層8分割位相マスクとを組み合わせ、極限高コントラスト実証試験を実施した。本講演では、3層8分割位相マスクの開発状況、北海道大およびパリ天文台での実証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](#)

V225a すばる望遠鏡用極限補償光学装置「SCExAO」の現状

工藤 智幸、Olivier Guyon、Nemanja Jovanovic、Julien Lozi、Christophe Clergeon (国立天文台ハワイ観測所)、Frantz Martinache (コート・ダ・ジュール観測所)、Barnaby Norris (シドニー大学)、Janis Hagelberg (ハワイ大学)、小谷 隆行、田村 元秀 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)

1995年に初めての太陽系外惑星が発見されてから、現在までにその数は2000個を超えた。主な成果は視線速度法やトランジット法などの「間接法」によるものが多いが、主星の彩層活動が激しい若い星や、公転周期の長い惑星探査には不向きだった。今後、こう言った若い惑星系や、ハビタブルゾーンの惑星、及び数AU以遠の遠方惑星も画像として捉え、その軌道、カラー、スペクトル情報から質量、温度、(大気)組成を導き出すために、やはり「直接撮像」は不可欠であり、間接法とお互い相補的なパラメーター空間を探索していくという意味でも重要性は揺るぎない。

現在、国立天文外ハワイ観測所では、すばる望遠鏡用の極限補償光学装置「SCExAO(スケックスエーオー)」の開発が進んでいる(PI: Olivier Guyon氏)。2000素子の可変形鏡に加え、PIAA(Phase Induced Amplitude Apodization) コロナグラフ、CLOWFS (Coronagraphic Low Order Wavefront Sensor), PyWFS (Pyramid Wavefront Sensor) と言った最新の技術を駆使し、主星から半径0.5秒角以内の領域において、 10^{-6} のコントラストを達成し、これまでより深く、より近傍の惑星を探索することを目的としている。

現在までに数度の試験観測と共同利用を経ながら、常に細かな修正とアップグレードを重ねてきた。本講演では、2016年3月現在までの最新状況とその結果、及び今後の展望を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226c 瞳遮蔽対応バイナリ瞳マスクコロナグラフの開発

樋香奈恵, 塩谷圭吾 (ISAS/JAXA), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 小谷隆行 (国立天文台), ABE Lyu(ニース大), 山室智康 (オプトクラフト)

惑星系の形成過程や多様性を系統的に理解するにあたって、系外惑星の直接観測は重要である。そこで障壁になるのは、主星光と惑星光の極めて大きなコントラストである。例えば太陽-地球間のコントラストは可視域では～10桁もあり、惑星からの熱放射が卓越する中間赤外域でも～6桁である。このような高コントラスト観測には、コロナグラフという、惑星位置における主星光を低減する光学系が有効である。我々は現在、バイナリ瞳マスク方式のコロナグラフを研究している。これまでに、バイナリ瞳マスク方式の1つである「チェッカーボード型のマスク」を採用し、マスクの材質や厚さに系統的なバリエーションを持たせた自立型マスク、および基板上マスクを開発した。可視光原理検証実験では、マスクの材質 (Cu, Ni, SiN, Al)、厚さによらず、～7桁の高コントラストを達成した。これまでの成果をふまえ、本研究では、コロナグラフの大敵である、副鏡やその支持機構による瞳遮蔽がある望遠鏡に適用可能な自立型瞳マスクの概念を実証する。主星-惑星間の様々な離角に対応した3種類の瞳マスク (Mask-A, B, C) を製作し、可視光原理検証により性能を評価した。「Mask-A」と「Mask-B」は設計コントラストに到達した。一方、「Mask-C」は広視野にわたって約5-6桁の高コントラストを達成したが、設計コントラストには到達しなかった。シミュレーションおよび新たに製作した基板上瞳マスクを用いて、マスクの平坦性がMask-Cのコントラストを制限した主要因の一つであることを明らかにした。また、瞳マスクを光軸に対して傾けた場合に～7桁のコントラスト性能において悪影響を及ぼさないことを示した。これらの結果は、汎用の地上およびスペース望遠鏡で高コントラスト観測を実現するために重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227b ひとみ望遠鏡の性能評価の進捗

溝口小扶里, 松下真人, 土佐誠 (仙台市天文台)

仙台市天文台には、口径 1.3m のひとみ望遠鏡がある。ひとみ望遠鏡には撮像用冷却 CCD カメラと中分散分光器、眼視用装置が設置されており、これまで、それぞれの装置について性能評価を行ってきた。

カセグレン焦点に設置されている撮像用冷却 CCD には U,B,V,Rc,Ic,C2 など 11 種類が備え付けられており、様々な観測に対応できるようになっている。現在、散開星団 M67 を観測し、B,V,Rc,Ic フィルターに関して色変換式の変換係数を求めている最中である。

また、ナスミス分光焦点に設置されている中分散分光器には、2 種類のスリット (2 秒と 1.35 秒) と 3 種類のグレーティング (低分散モード: 600 本/mm、中分散 5000 モード: 1,714 本/mm、中分散 6500 モード: 1,800 本/mm) がある。全 6 種のセッティングで、中心波長をグレーティングのブレイズ波長に設定し、昨年は未測定であったセッティングも含めて、それぞれの波長分解能を測定した。その結果、ブレイズ波長における波長分解能は、2 秒スリットの低分散モードで $R \sim 1300$ 、中分散 5000 モードで $R \sim 3900$ 、中分散 6500 モードで $R \sim 5300$ 、1.35 秒スリットでは各モードで $R \sim 2700$ 、 $R \sim 8700$ 、 $R \sim 9900$ となり、設計値よりも高い波長分解能を得られることを確認した。

本講演では、新たに行った性能評価の進捗と今後の観測の展望について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228b

東京大学アタカマ天文台近赤外線観測装置 SWIMS

小西真広, 本原顕太郎, 高橋英則, 加藤夏子, 北川祐太郎, 小早川大, 寺尾恭範, 吉井讓, 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 宮田隆志, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 酒向重行, 諸隈智貴, 田村陽一, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 上塚貴史, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清 (東京大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5m 赤外線望遠鏡が建設されるチリ・アタカマ高地のチャントール山山頂 (標高 5,640m) は、乾燥した気候と高い標高のため非常に優れた赤外線大気透過特性を実現する。この利点を活かした観測を実現するために、我々は TAO 6.5m 望遠鏡の第一期観測装置として近赤外線多天体分光カメラ SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発を進めている。

この装置は波長 0.9–2.5 μm において、(i) 2色同時広視野撮像と、(ii) 波長分解能 $R \sim 1000$ の多天体同時分光または広視野面分光により全波長域スペクトルを一度に取得する、という2つの特長を有する。6.5m 望遠鏡 (2018年ファーストライト予定) に搭載して速やかにかつ安定的に科学観測を遂行出来るようにするため、事前にすばる望遠鏡を用いた機能試験観測を行いハードウェア・ソフトウェア両面を整備することを計画している。現在はそれに向けて全ての検出器と光学系を搭載して結像性能の評価および光学調整と各種制御系の実装を進めている。本講演では、複数台検出器の同時駆動性能や装置内部の温度環境などから期待される観測性能と、すばるでの観測計画および TAO での運用計画についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229b

東京大学アタカマ天文台中間赤外線観測装置 MIMIZUKU

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清, 山口淳平, 尾中敬, 左近樹, 吉井讓, 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, 田村陽一, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 高橋英則, 小西真広, 北川祐太朗, 小早川大, 寺尾恭範 (東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), 半田利弘 (鹿児島大学), 越田進太郎 (国立天文台)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; P.I. 吉井 讓) は可降水量が非常に低く、高い赤外線大気透過率が達成される。これにより通常は地上観測が難しい波長帯にも大気の窓が出現し、赤外線観測に最適である。この環境を利用して最先端のサイエンスを展開すべく、TAO 6.5m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU を開発している。

MIMIZUKU は波長 $2 - 38 \mu\text{m}$ の撮像 (視野 31 秒角 - 2 分角) および分光 (分解能率 64 - 620) を可能とする。さらに、フィールドスタッカー機構の搭載により、中間赤外線地上観測では難しい観測天体と標準天体の同時観測を実現し、測光・分光の較正精度を向上する。これらの機能により、天体およびその周囲のダストからの赤外線放射を数%の精度でモニターできる。これにより物質の起源を知るうえで重要なダストの形成・破壊・変成現象、惑星の形成過程の理解につながるダストの成長などについて、時間変動現象を切り口に迫ることが可能となる。

装置の開発は終盤に入っている。前年会で完成を報告した光学系を搭載しての冷却試験を行い、光学系および検出器ステージが十分に冷却できることを確認した。また、冷却に伴う光学系の劣化等も確認されなかった。フィールドスタッカー機構は組立が完了し、一部に見られる駆動の不具合の解決を進めている。制御ソフトウェアの開発にも取り掛かっており、TAO 輸送前に搭載予定のすばる望遠鏡の観測システム Gen2 を通した制御のためのコマンドの整備等を進めている。これらの開発の現状と、最新スペックについて講演する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230a 中間赤外線高精度モニタリングに向けた二視野同時観測手法の開発

内山允史, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 毛利清, 山口淳平 (東京大学), 浅野健太郎 (ISAS), 内山瑞穂 (国立天文台), ほか TAO メンバー

地上中間赤外線観測は大気透過率の時間変動により測光精度の保証が難しく、顕著な時間変動しか議論できなかった。細かな時間変動を扱うには高い測光精度が必要であり、それには大気変動によらずに光度較正できる観測天体と参照星の同時観測が有効である。これを可能とするのが二視野合成機構 Field Stacker (以下 F/S) である。

F/S は 6.5 m TAO 望遠鏡用の中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の上部に搭載される。傾斜・直動・回転の3つの可動ステージを用いて2つのピックアップ鏡を移動、TAO 望遠鏡の ϕ 25 分角の視野の中から任意の2か所を取り出して視野合成鏡で合成し、1つの検出器で同時観測することを実現する。これにより観測天体と参照星の同時観測が可能となり、リアルタイムでの光度較正によって測光精度 1% の達成を目指す。

高精度測光観測の実現にはピックアップ鏡の指向精度が極めて重要である。我々はこれまでに各所で発生する角度エラーを測定し、測光精度 1% の達成に求められる指向精度を十分満たすことを確かめた。

また、高精度観測の実現には大気透過率の空間的な変動も考慮しなければならない。現在までに分角スケールでの大気の空間分布情報は存在しないため、大気透過率の変動をよくトレースする中間赤外域の背景光に着目し、その時間変動から細かな空間分布を見積もった。

さらに二視野同時観測が可能な領域を調べるため、AKARI, WISE 等のカタログを利用し参照星の分布を調査している。参照星の候補は中間赤外線に変光の影響が十分小さく、地上から観測可能な赤色超巨星を考えている。

本講演では、二視野同時観測によって達成される測光精度と参照星リストの作成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](#)

V231a TAO 6.5m 望遠鏡エンクロージャー設計における非定常数値風況解析

小西真広, 酒向重行, 吉井讓 (東京大学), 内田孝紀 (九州大学), 荒屋亮 (株式会社環境 GIS 研究所), 金高義 (福島工業高等専門学校)

地上光学望遠鏡の結像性能は、望遠鏡とエンクロージャー等の構造物とその周辺空気との間に発生する乱流 (屈折率の非一様な空間分布) により劣化する。そうした乱流の多くは構造物の温度を外気温と等しくしておくことで抑えられることが知られているが、そのためにはエンクロージャー内をどのように空気が流れていくのかを把握している必要がある。

現在我々は東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 赤外線望遠鏡のエンクロージャーの詳細設計を進めているが、観測性能を左右するそうした気流の予測とそこから設計へのフィードバックのために、非定常数値風況予測モデルを用いた大規模な流体解析 (CFD) を行った。本講演ではその手法と分析結果について報告する。

まず初めに急峻な地形を持つチャナントール山全域を覆う 5km 四方に対して解析を行い山頂での風の高度プロファイルを導出した。次にその風のプロファイルを用いて観測施設に対してより細かな分解能 (構造物周辺は 15cm 間隔の合計 9,000 万メッシュ) でスーパーコンピュータを用いて解析を行いエンクロージャー周辺とその内部の気流の時間変化を可視化した。その結果、エンクロージャー基本設計では換気窓を 3 段に渡って設けていたが、最上段を省略しても建物内部で停滞するような気流は見られなかった。また、風上の方角とその 90 度の方角に望遠鏡を指向させた 2 つのケースの比較からも、(ドームシャッターから吹き込む風を除くと) 風上側から風下側へ望遠鏡周辺を通過していく気流場が確認された。こうしたことから、最上段の一部を除いて 2 段に削減しシステムの簡略化とコストダウンを図る予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232a 明野 50cm 可視光望遠鏡の 2015 年度運用実績

藤原太智, 斉藤嘉彦, 吉井健敏, 栗田真, 矢野佑樹, 橘優太郎, 小野雄貴, 針田聖平, 村木雄太郎, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 黒田大介, 花山秀和, 柳沢顕史 (国立天文台)

明野 50cm 可視光望遠鏡はガンマ線バースト (GRB) の残光観測を行う MITSuME (Multicolor Imaging Telescopes for Survey and Monstrous Explosions) プロジェクトに参加している望遠鏡の 1 つであり、東京工業大学が運営している。この望遠鏡は継続時間の短い GRB の残光を観測するために、X 線天文衛星 Swift が検出した GRB の位置情報を自動で受け取り、最短 30 秒以内で追跡観測を開始する機能を備えており、これによって迅速な GRB の残光観測を可能にしている。また観測の監視は東京工業大学の大岡山キャンパスから遠隔で行われている。今年度から新たに行っている試みとして、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に搭載されている全天 X 線監視装置 (MAXI) が検出した GRB の自動追跡観測がある。GRB の残光観測に加えて、明野望遠鏡では活動銀河核やブラックホール連星などのモニター観測、他機関との連携観測も行っている。

本講演では今年度行った GRB の残光観測、活動銀河核やブラックホール連星などのモニター観測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](#)

V233b 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用

伊藤 洋一, ほか西はりま天文台スタッフ (兵庫県立大学)

西はりま天文台は、日本最大口径の光学望遠鏡「なゆた望遠鏡」を主力機器として、教育研究活動と生涯学習事業を積極的に推進している。「なゆた望遠鏡」には、可視光撮像装置・可視光分光装置・近赤外撮像装置・可視光ターゲット観測システム・可視同時偏光撮像分光装置などの装置がある。これらの装置は定常的に運用されており、晴れれば毎晩、天文台スタッフが研究観測を行っている。また、東京大学が開発した狭帯域撮像分光装置 LISS も PI 装置として活躍している。

我々は、「公募観測」制度を 2013 年秋に開始した。これはプロポーザルを年二回募集し、外部の研究者を含めた審査員のレフェリーをもとに観測時間を割り当てる制度である。兵庫県立大学からの補助により、旅費も一部が支給される。我々は一年間で 40 夜を公募観測に割り当て、研究観測の多様性を追求してきた。競争倍率は要求夜数ベースで約 2 倍であり、「なゆた望遠鏡」による観測の需要に適切に対処できていると考える。

講演では、公募観測を始めとする研究観測の現状を述べ、併せて将来の計画についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234b ショートガンマ線バーストの可視即時分光観測のための自動 ToO アラート発令システム

松林和也, 太田耕司 (京都大学)

我々は重力波源天体やその候補天体であるショートガンマ線バースト (short GRB) の、即時可視光スペクトルを取得する計画を進めている。観測装置は可視光面分光装置 KOOLS-IFU、望遠鏡は国立天文台 岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡を用いる。short GRB 残光は発生後数時間には KOOLS-IFU で検出できないほど暗くなってしまう。よって short GRB 残光スペクトルを取得するには、GRB 情報を高頻度に監視する必要がある。そこで我々はコンピュータを用いて、GRB 情報を 24 時間監視し、自動で ToO 観測アラートを発令するシステムを構築した。本講演ではこの自動 ToO アラートシステムを紹介する。

システムの概要は以下の通りである。GRB 情報は The Gamma-ray Coordinates Network (GCN) からソケット通信で受信する。受信した GRB データから天体座標など必要な情報を抽出し、short GRB の可能性が高いか (松林他、日本天文学会 2014 年秋季年会 J220b)、また GRB 発生後 3 時間に GRB が観測できる、つまり岡山で太陽高度が低くて GRB の天体高度が高い時間帯が十分にあるか判定する。ToO アラートが発令されると、その旨が書かれたウィンドウが 188 cm 望遠鏡の制御端末の画面に表示される。そのウィンドウ内のボタンをクリックすると、ウェブブラウザが立ち上がり、観測手順が書かれたウェブページが表示される。その日の観測者にマニュアルの通りに実行してもらうことで、short GRB 残光の可視光分光観測が実施される。この自動 ToO アラートシステムを使用した ToO 観測は 2016 年から開始される予定である。short GRB 以外の ToO 観測や、他の観測所でこのような ToO 観測を行う場合にも、このシステムが役立つと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235b 光赤外線大学間連携事業における共通自動即時測光パイプラインの開発

齊藤 嘉彦 (東京工業大学), 諸隈 智貴 (東京大学), 渡辺 誠 (北海道大学), 大朝 由美子 (埼玉大学), 村田 勝寛 (名古屋大学), 野上 大作 (京都大学), 高橋 隼 (兵庫県立大学), 秋田谷 洋, 植村 誠 (広島大学), 永山 貴宏 (鹿児島大学), 黒田 大介, 関口 和寛 (国立天文台), 光・赤外線天文学大学間連携観測チーム

光赤外線大学間連携事業の主研究対象であるガンマ線バースト (GRB) をはじめとした突発天体現象の観測的研究には、出来る限り早い結果を提出することが必要であり、データの即時解析を行うための一次解析および測光システムの構築が不可欠となる。一般的に、観測結果は望遠鏡・装置間の個性を取り除いたものでなければならず、本連携の特色である、異なる複数の望遠鏡および観測装置で取得されたデータを解析パイプラインでは統一的に扱う必要がある。

そこで我々は、共通自動即時測光パイプライン (CARP: Common-use Automated Real-time Photometry) の開発を進めてきた。本解析パイプラインは光赤外線大学間連携事業によって取得された、共通の fits ヘッダを持っている一次処理済・位置較正済の撮像データの測光解析に使用される。上記の撮像データに対して、自動化が可能なスクリプト群によって既存カタログを用いたフラックス較正を行い、観測対象天体、特に GRB の測光値 (上限値を含む) を算出することが可能である。本解析パイプラインの測光においては較正の方法や開口測光における開口半径の決定をスクリプト実行時のオプションで選択可能としており、GRB の即時測光だけでなく、光赤外線大学間連携事業のキャンペーン観測によって取得された撮像データにおける即時測光解析にも利用可能である。

本講演では、本解析パイプラインの概要と適用例について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a モノモルフ DM(DMP40) の小型可視補償 AO への搭載

北尾栄司 (京都産業大学), 清水智 (西村製作所), 藤代尚文, 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 大屋真 (国立天文台)

我々京都産業大学を中心としたグループでは、MOAO や GLAO などの次世代 AO の実現のために必要な要素技術開発の一環として、屈折光学系補償光学装置”CRAO”の開発を行っている (Fujishiro et al. 2014)。CRAO は京都産業大学神山天文台 (KAO) サイトにおいて可視域 (400-700nm) のシーイングを 0.6” (FWHM) 程度まで改善することを目標としているが、2014 年に実施したファーストライトでは補償後シーイング 2.0” という設計値を大きく下回る結果となった。この主たる原因と考えられる可変形鏡 (DM) のストローク不足を解消するため、我々は小型で安価ながら従来製品と比較してストロークの大きなモノモルフ DM (Thorlabs 社 DMP40) に換装した CRAO 改修機の開発を行ってきた (北尾他: 2015 年春季学会)。

2015 年度に DM の交換とループ制御システムの更新を実施した CRAO 改修機では、改修前と比較して補償性能に改善がみられ、補償後シーイング 1.4” を達成したものの、目標性能の達成には至らなかった。この原因の検証のため、DM に対する性能評価試験を実施した。具体的には、DM による位相再現誤差 (FE:FittingError) を測定し、この誤差の原因と考えられる DM 素子の配列や固有の変形特性などを検証して、これを改善する方法をハードとループ制御システムの両面から検討した。また同時に、現在利用している DM での理想的な補償性能の評価を行った。本発表では、DMP40 を組み込んだ CRAO の補償の結果と、この DM を AO 系に組み込んだ際の性能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](#)

V237b 3波長同時偏光撮像装置 (MuSaSHI) の開発

潮田和俊, 大朝由美子, 柴田吉輝, 窪田悠, 清野玄太 (埼玉大学), 石橋遥子 (埼玉大学/小倉クラッチ), 居倉聖 (埼玉大学/法務省), 木野勝 (京都大学)

埼玉大学 55cm 望遠鏡 "SaCRA" は、主焦点 (F2.7) とカセグレン焦点 (F6.5) の2つの焦点を有し、大学間連携事業 "OISTER" 観測に寄与している。現在我々は即時性と効率の良い観測及び、同一観測条件における可視多波長同時偏光撮像を目的として、3波長同時偏光撮像装置 (MuSaSHI) の開発を進めている。

本装置は3波長同時撮像ユニットと偏光ユニットの2つから構成され、2枚のウェッジ付きダイクロイックミラーにより光路を分岐し、SDSS 準拠の r, i, z フィルターを通して3台の CCD で検出を行う。2015年秋季年会までに3波長同時撮像のユニットが完成し試験観測結果について報告を行った。結果2つの課題が明らかとなった。(1)SaCRA に搭載した際、望遠鏡の姿勢に対して装置は安定しているが、3波長の視野ずれが設計値より大きくなった。(2)3波長の焦点位置が設計値とやや異なった。これらの検証・改良を目的として、F6.5を再現する実験光学系で調整を行っている。また、偏光ユニットは直線偏光観測を行うために半波長板とワイヤーグリッドからなる。これまでに偏光子の選定、半波長板回転機構の検討、回路設計、筐体の設計を行った。加えて3波長同時撮像機能を他の望遠鏡へ搭載して観測を行う予定である。本講演では装置の概要、性能評価及び試験観測の結果に基づく課題と偏光ユニット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](#)

V238b 埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA の同時測光分光観測システム構築

柴田吉輝, 大朝由美子, 潮田和俊, 窪田悠 (埼玉大学), 石橋遥子 (埼玉大学/小倉クラッチ), 居倉聖 (埼玉大学/法務省), 木野勝 (京都大学)

埼玉大学は、口径 55cm の赤道儀式光学望遠鏡“ SaCRA ”を有しており、光赤外線天文学大学間連携事業でのガンマ線バーストや超新星等の突発天体、星形成領域、系外惑星、太陽系小天体の観測を進めている。現在までに、可視三波長同時偏光撮像装置“ MuSaSHI ”のための CCD3 台同時制御システムの構築を行った。これは、1 台単独または 3 台同時制御用のプログラムを C 言語と CFITSIO、FLI ライブラリ (FLI-SDK) を用いて構築し、引数で露出時間を設定できるようにしている。また装置の各バンドに対応するフィルター情報を、データヘッダに書き込めるようにしている。可視中分散分光装置については、コマンドラインによるスリッターレット回転プログラムの構築が完了した。さらに、これまで観測ドームや準備室に散在していた制御用 PC の情報・操作を一元化するためのリモート観測室の整備や、気象センサーによる情報の取得、観測システムへの反映、Web ブラウザで確認できる全天監視モニターの開発によって、より効率的な観測が可能となった。一方で、観測ドームスリットの開閉や、小口径 (36cm) 望遠鏡のコマンド制御・フラット画像取得、分光器の制御系など、未解決な点もあり、自動観測化には課題が残されている。

今後は、“ MuSaSHI ”、中分散分光装置と、小口径望遠鏡、“ SaCRA ”望遠鏡を組み合わせ、四波長同時撮像や同時測光分光観測を行う予定である。そのためには、これら装置や望遠鏡の制御系の一元化が必要となる。

本稿では、埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA の自動観測システムの確立に向けた制御環境の構築の現状と課題について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239b 小型エシエル分光器の開発

大朝由美子, 窪田悠, 潮田和俊, 柴田吉輝, 宮川遼太 (埼玉大学), 高原祐典 (埼玉大学/多治見市立小泉中学校), 海老塚昇 (理化学研究所), 渡辺和明 (昭和機械製作所)

埼玉大学 55cm 望遠鏡“ SaCRA ”では、光赤外線天文学大学間連携事業 (OISTER) や Young Exoplanet Transit Initiative (YETI) プロジェクトなどの変光探査を中心に、可視測光観測を行っている。我々は新たに月の地球照や T タウリ型星の H γ 輝線などの観測を目的として、SaCRA 用のエシエル分光器の開発を進めている。本装置による分光観測と併せて、現在開発中の三波長同時偏光撮像装置“ MuSaSHI ”による偏光撮像観測など様々な観測が可能となる。

本研究で開発する分光器は中分散の波長分解能 ($R \sim 3000$) を目指し、分散素子に透過型エシエルグリズムを採用した。また様々な天体やシーイングの変化に対応すべく、8 種のスリットをもつスリットターレットを配備している。本装置の光学系はスリットターレット・コリメータレンズ・エシエルグリズム・クロスディスペルザ・カメラレンズで構成され、検出器として短波長と長波長で感度の高い 2 種の FLI 社製の CCD (ML4710) を使用する。観測波長域は 4000 ~ 9000 nm 程度であり、検出器前面部に設置した軸ステージを移動させることで長波長側と短波長側に分けて撮像することができる。コンパクト (60cm \times 10cm \times 10cm : 8kg) に設計したため可搬であり、他の望遠鏡への搭載も可能である。現在までに光学系の設計やレンズの透過率測定、実験室での組み立てや観測システムへの導入及び SaCRA 望遠鏡でのファーストライトを終えた。

本講演では装置の概要と試験観測や解析の結果から基づく課題、性能評価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](#)

V240a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e プロトタイプ機の性能評価

菊池勇輝, 酒向重行, 高橋英則, 大澤亮, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 猿楽祐樹, 中田好一, 松永典之, 臼井文彦, 谷川衝, 谷口由貴, 小久保充, 満田和真, 一木真, 山口淳平 (東京大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘 (国立天文台), 吉川真 (宇宙航空研究開発機構), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (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), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 春日敏測, (千葉工業大学), 河北秀世 (京都産業大学)

東京大学木曾観測所ではシュミット望遠鏡搭載用の超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を開発している。本装置は 84 枚の常温駆動 CMOS イメージセンサを搭載し、約 20 deg^2 の視野をフルフレームで最速 2 Hz で撮像することができる。我々は本装置の実証実験のため、CMOS センサ 8 枚を搭載したプロトタイプモデル (Tomo-e PM) を開発し、2015 年 11 月から一ヶ月間の試験観測を行った。本講演では試験観測で得られた Tomo-e PM の性能評価の結果を報告する。Tomo-e PM では CMOS センサの内部回路の設定を変えることで、ゲインの異なる 3 つの観測モードを実現した。本試験では各観測モードでのノイズ特性、限界等級、サチュレーション等級、リニアリティの評価を行った。Tomo-e PM の読み出しノイズは $2.0 \text{ e}^-/\text{pix}$ を達成した。また、観測時の常温駆動における暗電流は筐体温度 4 K で $0.13 \text{ e}^-/\text{pix}/\text{s}$ と、スカイバックグラウンドより十分に小さなものとなった。本講演では vignetting の影響や co-add による感度の変化、8 枚の detector における星像とアライメントなどについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a

木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の開発 — Tomo-e プロトタイプ機の開発および試験観測の報告

大澤亮, 酒向重行, 高橋英則, 菊池勇輝, 一木真, 山口淳平, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 中田好一, 谷口由貴, 小久保充, 満田和真, 猿楽祐樹, 松永典之, 臼井文彦, 谷川衝 (東京大学), 田中雅臣, 有松亘, 渡部潤一, 前原裕之 (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学)

東京大学木曾観測所では次世代の超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を開発している。Tomo-e Gozen は 84 枚の CMOS センサを用いて約 20 deg^2 の領域を最大 2 Hz でカバーし、動的な宇宙を記録する。視野およびデータレートは既存の観測装置を大きく上回るカメラとなる。Tomo-e Gozen は常温常圧下で駆動することで圧倒的な軽量化を実現する。また Schmidt 望遠鏡の曲率を持った焦点面に沿ってセンサを配置することで視野全域 (直径 9°) で高い結像性能を達成する。我々は技術実証試験機として Tomo-e プロトタイプモデル (PM) を作成した。Tomo-e PM は CMOS センサ 8 枚を一列に搭載し、筐体は本番機とほぼ同様のサイズとなる。2015 年 11 月 23 日から 12 月 22 日にかけて東京大学木曾観測所において試験観測を実施し、基本性能の評価と木曾観測所のキュー観測システムへの組み込みを行った。機能試験の詳細は同年会の菊池らの発表も参照。サイエンス観測としてはやぶさ 2 の動画撮影, 人工衛星の光度変化, ふたご座流星群の観測, 可視フラッシュ天体の探索を実施した。試験観測の結果をふまえて Tomo-e Gozen 実現に向けた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](#)

V242b 法政大学二連望遠鏡 HOTATE の観測システムの構築

大橋龍太郎, 伊藤綾香, 木原直樹, 福島広大, 山田龍之介, 吉田尚洋, 岡村定矩 (法政大学), 八木雅文 (国立天文台, 法政大学)

2015年3月、法政大学小金井キャンパス西館屋上に、口径30cmの反射望遠鏡 (Meade F8ACF) と口径13cmの屈折望遠鏡 (タカハシ TOA-130NS) を一つの赤道儀 (タカハシ EM500 Temma2M) に同架した二連望遠鏡 HOTATE (HOsei Twin Astronomical TElescope) を設置した (ドーム径2.6m、観測室併設)。Meade F8ACF のカセグレン焦点には冷却 CCD カメラ (Moravian 社 G2-1600、1536×1024 画素、画素サイズ $9\ \mu\text{m}$) を付け、フォーカルリデューサで F5.6 にした焦点面で $28' \times 19'$ の視野を撮像できる。この望遠鏡は教育と研究に利用するが、天体観望会などにも適宜用いる。今後一年間の目標は、移動に数分かかる別の建物にある実験室から遠隔操作で観測ができるシステムを完成させることである。2015年12月までに完成しているのは以下の項目である。

UPS につながれたドーム内 PC で、ドームスリット開閉、望遠鏡のポインティングと追尾、CCD カメラの制御、およびファインダー画像 (視野 $7.5^\circ \times 5.5^\circ$) の常時表示と各種機器の電源 ON/OFF ができる。これらの機能は VNC を通じて実験室に置いた別の PC から制御できる。気象モニタをドーム脇に設置し、気温や湿度など気象情報を計算機で自動的に記録できる。CCD カメラの画像を PC を経由して実験室のサーバーに FITS 形式で保存できる。ドーム内監視カメラがあるがそれとは別にドームと実験室は Web カメラを通じて会話ができる。

今後、CCD カメラへの $H\alpha$, B, V, R, I フィルタの組み込みとフォーカス駆動機構の制御、遠隔開閉可能な鏡筒蓋開発、雲モニターと雨滴センサーの導入による気象情報の追加、気象情報の FITS ヘッドへの追加などを計画している。講演とポスターで HOTATE 望遠鏡の遠隔観測システム構築の現状を詳しく報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243b **IRSF 望遠鏡で可視・近赤外線同時観測を行うための可視カメラの開発**

永山貴宏、永吉舞香（鹿児島大学）

IRSF1.4m 望遠鏡では、2000 年以來、近赤外線カメラ SIRIUS を用いて、J($1.2\mu\text{m}$)、H($1.6\mu\text{m}$)、Ks($2.1\mu\text{m}$) バンドでの同時撮像観測を行ってきている。私たちは、この近赤外線 3 波長同時観測にさらに可視光 2 波長を加えて、5 波長同時観測 (将来的には 3 波長加えて、6 波長同時観測) を目指している。

この開発では、現在使用している近赤外線カメラ SIRIUS と同時に IRSF 望遠鏡に取り付けるため、装置の小型化が求められる。具体的には、幅 360mm、奥行き 460mm、高さ 120mm のスペースに、近赤外光と可視光を切り分けるダイクロイックミラー以降の光学系と CCD カメラ部分を収める必要がある。このため、天体観測に向けた市販の CCD カメラは大きすぎ、使用することができない。

そこで、私たちは、このスペースに収まる多色 CCD カメラとその光学系の設計・製作を行っている。製作中のカメラは、ダイクロイックミラーによる可視・近赤外光の切り分けのあと、BK7 と SF6 を用いた 2 枚レンズにより F 比を 10 から 8.3 に変換する。また、同時に光学収差の補正も行い、SIRIUS と同程度の 7.2×7.2 分角の視野に対して、IRSF 望遠鏡の設置されているサザードランド観測所での典型的なシーイング 1 秒角に収まる光学像を実現する。さらに、ダイクロイックミラーで SDSS の g' と i' バンドに光を分割し、2 つの焦点面を作る。CCD 素子にはコダック (現オンセミコンダクタ) の 1024×1024 画素 CCD 素子 KAF-1001 を用い、画素スケールは 0.42 秒角となる。この CCD は $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 50\text{mm}$ の小型真空冷却容器で冷却され、新たに製作した専用読み出し回路で読み出しが行われる。本カメラは今年度内の完成を目指しており、本講演ではこのカメラの最新の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244b 東広島天文台 HONIR における近赤外バックグラウンド放射の季節依存性

中岡竜也, 川端弘治, 秋田谷洋, 植村誠, 伊藤亮介, 宇井崇紘, 川端美穂, 神田優花, 高木勝俊, 高田紘司, 吉田道利 (広島大), 森谷友由希 (東京大), 山下卓也 (国立天文台)

東広島天文台の 1.5 m かなた望遠鏡に搭載されている可視赤外線同時カメラ HONIR は、2014 年初めには偏光モードも搭載され、可視・近赤外線 2 バンドの同時観測を活かした運用が順調に進みつつある。観測計画には露出時間や限界等級の見積もりが必要であり、バックグラウンド放射の適切な把握が不可欠である。これまで、2011 年冬季の観測におけるバックグラウンド放射強度が見積もられていたが、外気温依存性が把握されておらず、また光学系等の改良が施されたことから、新たな調査が求められていた。そこで本研究では、HONIR が本格的に稼働し始めてからの 2 回のラン (2014 年 1 月-2014 年 9 月、2014 年 11 月-2015 年 6 月) のバックグラウンド放射の測定を行った。またこれらの値を用いて、季節ごとの近赤外バンドの限界等級も評価した。

2015 年期のバックグラウンド放射は、全赤外線バンドについて 2014 年期よりも減少した。これは、迷光防止対策や望遠鏡の第 3 鏡保持機構によるケラレ解消等の効果が表れた結果であると考えられる。また、2 回のランどちらについても冬季から夏季かけて、K_s バンドにおけるバックグラウンド放射のみ有意な増加 (冬季:12.9, 夏季:11.6 [mag/arcsec²]) を示した。K_s バンドでは高度や湿度に対する依存性は見られないため、大気や望遠鏡構造体からの熱放射が、気温の上昇によって増加したと考えられる。講演では今回求めたバックグラウンド放射強度から導出した東広島天文台+HONIR での限界等級についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V245a ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション II

中井悠人 (北海道大学), 馬場直志 (室蘭工業大学), 村上尚史 (北海道大学)

太陽系外惑星の表面構造を撮像するためには、非常に高い空間分解能が要求される。しかし、単一の望遠鏡の巨大化には限界がある。この限界を打ち破るために考案された技術がハイパー望遠鏡である。ハイパー望遠鏡は小中口径望遠鏡アレイで構成されており、個々の望遠鏡でとらえられた光を結像光学系で瞳の高密度化をしてワンショットの観測像を得る。分解能は望遠鏡間の最長距離に依存するため、望遠鏡を数 km ~ 数百 km 離して配置し、単一の望遠鏡では到底得られない高い分解能を獲得できる。

しかし、ハイパー望遠鏡で得られる観測像の質は劣化しており、ノイズも考慮するとこの問題はさらに深刻となる。そのため、得られた観測像をそのまま利用することは不可能であり、画像処理による像の回復が必須である。我々はこれまで、計算機シミュレーションによってハイパー望遠鏡における観測像を得て、これに対して画像処理を行うことによる効果を検討してきた (中井他, 2015 年春季年会 V228a)。ただし、これはあくまでノイズがない理想的な状況についてのものであり、実観測を想定した場合、ノイズの影響を必然的に考慮せねばならない。そこで我々は、ノイズにより劣化された観測像に対して画像処理を行った。さらに観測パラメータを見積もり、現実的な条件での観測が可能であるかの評価を行った。本講演ではハイパー望遠鏡におけるノイジーな観測像に対して画像処理を行った結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246a 3点法による大型自由曲面光学素子の計測

栗田光樹夫, 下田智文, 江見直人 (京都大学)

大型の光学素子の計測には専ら干渉計が用いられてきた。しかし干渉計は、1) 副鏡のような凸面形状の場合、反射光は拡散光となるため、大型の計測が困難、2) 干渉計自体が計測対象の形状に準ずる基準面を必要とする、3) 計測システムが素子の曲率半径程度の大きさとなる、4) 極めて安定な環境を要求する、などの素子の大型化と多様化に向けた課題がある。

本講演では、上記の問題を解決するための機械的な計測手法の開発状況を報告する。計測原理は曲率を計測するスフェロメータと類似する。直線状に並んだ3個の変位計を結束し、それを曲面に沿って走査する。変位計が出力するローカルな曲率を積分することで光学素子の断面形状を得る。この操作を素子全面にわたって繰り返し、面形状を算出する。

この手法の実用性を確認するために、直径800 mmの球面鏡を計測し、フィゾー干渉計の結果と比較した。はじめに、球面鏡を3点のみで支持し、故意に自重変形させた。この計測結果は有限要素法による変形の結果とよく一致した。3点法の計測結果から自重変形分を除き、真の鏡の形状誤差を抽出した。この結果と等圧支持で計測した干渉計との差はRMS=100 nm以下で一致した。またこの球面鏡には数十ミリメートル間隔で同心円状の形状誤差があるが、そのような空間スケールの細かな情報も抽出することに成功した。ただし、この手法は変位計の原点値が不定であるため、曲率については別の計測手段が必要となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V247a 京大岡山 3.8m 望遠鏡：高コントラスト惑星撮像装置 SEICA の撮像性能

山本広大, 松尾太郎 (大阪大学), 森本悠介, 木野勝 (京都大学), 今田大皓 (筑波大学), 入部正継, 中村祐一 (大阪電気通信大学)

現在建設中の京大岡山 3.8m 望遠鏡を用いた太陽系外惑星の直接撮像観測を行うために、我々は高コントラスト撮像装置 SEICA を開発している。木星のような系外惑星は、主星近傍 (0.1 秒角) にあり、主星と比べて 7-8 桁暗い。そのためこれらの天体を検出するには、コロナグラフなどの高コントラスト装置が必要である。高コントラスト装置の性能は、主に地球大気によって生じる光波面の歪みによって制限される。我々はこの波面歪みを高頻度 (5-10 kHz)、高空間周波数 (差し渡し 24 素子)、高精度 (1/20 波長) にリアルタイム波面計測・補償をする、SEICA 用極限補償光学系 (Extreme-Adaptive Optics: ExAO) を開発している。

ExAO は、波面の計測を行う波面センサと、計測波面から補償量を計算する計算システム、補償を行う可変形鏡で構成される。初期構成では、技術的に信頼性の高いシャックハルトマン波面センサを採用し、ストレール比 30% を実現する。この段階ではコロナグラフが十分な性能を発揮出来ないため、偏光差分撮像観測などを行うことでコントラストを上昇させ、原始惑星系円盤などの撮像観測を目指す。ここから波面センサを、直接位相計測波面センサへ置き換え、より高精度・高頻度・高効率化させた波面計測を行う事で、ストレール比を改善する。さらに計算システムを PC から FPGA (Field-Programmable Gate Array) に置き換えることで計算速度を高速化し、最終的にストレール比 90-95% を達成する。この段階でコロナグラフと組み合わせることで、木星型巨大ガス惑星の直接撮像を行う計画である。

本講演では、SEICA の各段階での構成と、撮像性能の見積について発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248c 木曾 105cm シュミット/KWFC による 501nm および 659nm 狭帯域撮像

西浦慎悟, 宮野彩, 根本明宗 (東京学芸大・教育), 長谷川優子 (川口市立科学館)

東京大学天文学教育研究センター木曾観測所の Kiso Wide Field Camera(以下, KWFC) は 8 つの CCD チップからなり, 同観測所の 105cm シュミット望遠鏡に搭載されることで, 約 2.2 度角四方 (0.95 秒角/pix) という超広視野撮像を可能にする可視光 CCD カメラである。この世界でも屈指の広視野観測装置は, 見かけサイズが巨大な銀河系内星雲の電離構造の調査や, 近傍銀河外縁部や近傍銀河群/団の銀河間空間に存在する輝線源の探索に威力を発揮する。そこで我々は, 木曾 105cm シュミット望遠鏡に搭載された KWFC 用に, [OIII] 4959,5007 輝線と H +[NII] 6548,6583 輝線に対応した 501nm と 659nm 波長帯の狭帯域フィルター (通称, N5013 および N6590) を作成した。これらは, 系外銀河中の HII 領域を想定した場合, その内部運動 ~ 30km/s, 銀河の回転速度 ~ 350km/s, 後退速度 - 300-2500km/s までの [OIII] 輝線と H +[NII] 輝線を, それぞれの帯域 (相対的な透過率が 50 %以上の波長帯) 内に捉えることが可能である。

N6590 の仕様と撮像データに基づく限界輝度は, 西浦 (2014, 日本天文学会 2014 年春季年会, V235c) にて報告した。N5013 は, 中心波長 501nm, 半値幅 16.8nm, 帯域 493-510nm, 最大透過率 91.6 % である。また, 2014 年 3 月に行った近傍渦巻銀河 M101 領域の N5013 撮像観測 (総積分時間 60 分) のデータから, KWFC を構成する 8 つのチップ毎に背景光揺らぎの 1 に相当する値を測定し, 限界輝度の参考とした。その結果, chip0-3(MIT 製) で 25.41-25.72 AB mag/ ”、chip4-7(SITe 製) で 24.99-25.05 AB mag/ ” が得られた。ポスターでは, さらに, 等級のゼロ点の決定方法とその精度, 複数の広帯域撮像データを用いた連続光画像の作成について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V3. 観測機器】

3月15日(火) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V301a	13:30	CALET ガンマ線バーストモニタ (CGBM) の初期科学運用 中平聡志 (宇宙航空研究開発機構)
V302b	13:42	CALET ガンマ線バーストモニター初期運用における性能評価と校正 瀬沼一真 (青山学院大学)
V303b	13:42	すざくソースカタログの開発 (III) 海老沢研 (宇宙航空研究開発機構)
V304b	13:42	すざく衛星に搭載されたX線 CCD カメラ XIS における noisy ピクセルの評価とその除去手法の確立 坂田美穂 (宮崎大学)
V305a	13:54	ISS 搭載を目指した GRB 偏光度検出器 LEAP の開発および性能評価について 上田達也 (山形大学)
V306a	14:06	X 線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗状況 玉川徹 (理化学研究所)
V307a	14:18	GRB 偏光観測用超小型衛星 Tsubame の総括 谷津陽一 (東京工業大学)
V308b	14:30	PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発: 新構造モデルの開発 Kim Juyong (大阪大学)
V309c		硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライトに向けての準備状況 高橋弘充 (広島大学)
V310b	14:30	HiZ-GUNDAM および金沢大学超小型衛星に向けた高利得アナログ集積回路の開発 吉田和輝 (金沢大学)
V311c		新型 MPPC を用いた低エネルギー GRB 偏光観測装置の可能性 河合謙太郎 (金沢大学)
V312c		多チャンネル MPPC アレイのゲイン微調整機構の開発とその応用 河合誠之 (東京工業大学)
V313b	14:30	湾曲結晶を用いた X 線偏光計の開発 飯塚亮 (宇宙航空研究開発機構)
V314a	14:42	炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発 島直究 (名古屋大学)
V315b	14:54	将来衛星搭載に向けた超軽量 X 線望遠鏡開発の現状 中村果澄 (首都大学東京)
V316b	14:54	汎用 4 回反射型 X 線望遠鏡の開発 馬場崎康敬 (名古屋大学)
V317b	14:54	マイクロマシン技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡の振動試験 寺田優 (首都大学東京)
V318b	15:06	微細加工技術を用いた 12 inch シリコン光学系の X 線反射実証 石川久美 (理化学研究所)
V319b	15:06	バイナリブラックホール探査衛星 ORBIS に向けた MEMS X 線光学系の設計検討 武内数馬 (首都大学東京)
V320b	15:06	TES 型 X 線マイクロカロリメータを用いた高精度 X 線分光システムの構築 (2) 星野晶夫 (立教大学)
V321b	15:18	積層配線 TES 型 X 線カロリメータの表面粗さと超伝導転移の研究 鈴木翔太 (首都大学東京)
V322b	15:18	ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラの応答関数の構築 (2) 井上翔太 (大阪大学)
V323b	15:18	ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI における CTI 異常領域とその校正手法 内田裕之 (京都大学)

3月16日(水) 午前(09:30-11:30) [F会場]

V324a	09:30	軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 NGHXT の現状 (3) 森浩二 (宮崎大学)
V325a	09:42	NGHXT に搭載する広帯域ハイブリッドX線撮像分光器 WHXI の開発 (3) 鶴剛 (京都大学)
V326a	09:54	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 13: 裏面照射型素子の軟 X 線性能評価 伊藤真音 (京都大学)
V327a	10:06	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 14: Double-SOI 構造素子の性能 大村峻一 (京都大学)
V328a	10:18	次世代 X 線衛星での応用を目指した 1-80 keV の広帯域におけるアクティブシールドの最適化 古田禄大 (東京大学)
V329b	10:30	NGHXT 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた、成膜による変形の調査 佐治重孝 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

V330b	10:30	次世代 X 線撮像分光器 (XRPIX) の開発と基本性能の温度依存性の評価 玉澤晃希 (東京理科大学)
V331c		広天域硬 X 線観測モニターの APD 専用低ノイズ LSI の性能評価 河合誠之 (東京工業大学)
V332a	10:42	広帯域 X 線イメージセンサ SDCCD(Scintillator Deposited CCD) の硬 X 線分光性能評価 今谷律子 (大阪大学)
V333a	10:54	X 線多重像干渉計の概念検討 林田清 (大阪大学)
V334c		補償光学を利用した X 線直入射望遠鏡; X-mas Project 北本俊二 (立教大学)
V335a	11:06	集束イオンビームを用いた Si ミラーにおける X 線反射実証 沼澤正樹 (首都大学東京)
V336a	11:18	太陽 X 線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究開発 坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構)

3月16日(水) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V337a	13:30	ダークバリオン探査ミッション DIOS 開発の進展状況 大橋隆哉 (首都大学東京)
V338a	13:42	小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射 X 線望遠鏡の製作とその評価 萬代絢子 (名古屋大学)
V339a	13:54	GHz 帯 LC 共振器を用いた極低温下での誘電体マイクロカロリメータによる X 線検出実験 星野全俊 (宇宙航空研究開発機構)
V340a	14:06	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XV 辻本匡弘 (宇宙航空研究開発機構)
V341a	14:18	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 (SXS) の初期運用熱解析 野田博文 (理化学研究所)
V342a	14:30	ASTRO-H 衛星搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の現状 田中孝明 (京都大学)
V343a	14:42	ASTRO-H SXT 用反射鏡の金の L 吸収端付近の反射率測定と応答関数構築用の原子散乱因子 菊地直道 (首都大学東京)
V344a	14:54	ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡の迷光の較正 倉嶋翔 (首都大学東京)
V345a	15:06	ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状打ち上げ 中澤知洋 (東京大学)
V346a	15:18	ASTRO-H 衛星搭載 軟ガンマ線検出器 (SGD) コンプトンカメラの偏光ビーム試験 枝廣育実 (広島大学)

3月17日(木) 午前(09:30-11:30) [F会場]

V347a	09:30	磁気回折の X 線偏光解析への応用について II 安達弘通 (信州大学)
V348a	09:42	iWF-MAXI : 国際宇宙ステーション搭載広天域軟 X 線監視ミッション 河合誠之 (東京工業大学)
V349a	09:54	超小型衛星を用いた重力波に同期した X 線突発天体探査 澤野達哉 (金沢大学)
V350a	10:06	超小型衛星搭載を目指した軟 X 線撮像検出器の開発 加川保昭 (金沢大学)
V351a	10:18	E T C C による高感度 MeV γ 線イメージング核分光の実現と新しい核宇宙物理学観測 谷森達 (京都大学)
V352a	10:30	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画 : 全体報告 (10) 手嶋政廣 (東京大学)
V353a	10:42	First results of the camera prototype for the Large Size Telescopes of the Cherenkov Telescope Array Hadasch, Daniela (ICRR, U. Tokyo)
V354a	10:54	CTA 大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの試験構造体を用いた運用試験 深見哲志 (東京大学)
V355a	11:06	CTA 大口径望遠鏡による 2FHL ソースの観測シミュレーション Dang Viet Tan (茨城大学)
V356a	11:18	Resolving the extragalactic background light with the MAGIC telescopes Mazin, Daniel (ICRR, U. Tokyo)

V301a CALET ガンマ線バーストモニタ (CGBM) の初期科学運用

中平聡志 (JAXA), 坂本貴紀, 吉田篤正 (青学大理工), 山岡和貴 (名大 ISEE 研), 浅岡陽一, 小澤俊介, 鳥居祥二 (早大理工研), 清水雄輝, 田村 忠久 (神奈川大学), 高橋一郎, 川久保雄太, 瀬沼一真, 森山光明, 山田祐輔 (青学大理工), Sergio B. Ricciarini (University of Florence), Michael L. Cherry (Louisiana State University), Pier S. Marrocchesi (University of Siena)

CALET ガンマ線バーストモニタ (CGBM) は、国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」日本実験モジュール・船外実験プラットフォームに搭載された CALET 実験における副検出器である。CGBM は 3 つの無機結晶シンチレータ、硬 X 線モニタ 2 台 ($\text{LaBr}_3(\text{Ce})$; 7-1000 keV) と軟ガンマ線モニタ (BGO; 100 keV-20 MeV) で構成されており、各検出器は 8ch/0.125s, 512ch/4s の定時ヒストグラムデータを取得する。機上 GRB 判定機能によるトリガ時には地上へ通報すると同時に、8192ch/時間分解能 $62.5\mu\text{s}$ のイベントデータを取得し、主検出器であるカロリメータ (CAL) や姿勢決定系のスターセンサと連携して数 GeV 以上のガンマ線や可視光による GRB プロンプト放射の観測を狙う。さらには、同プラットフォーム上で重複した視野を持つ MAXI との同時観測も期待できる。

CALET は 2015 年 8 月 19 日に HTV5 号機で打ち上げられ、10 月 5 日までに全機器の同時立ち上げを達成し、試験観測期間における科学データの取得を継続している。これまでの観測運用で CGBM は ISS 軌道上における運用パラメータの最適化や機上トリガー設定値の最適化を行っており、数例の GRB 候補の検出にも成功した。本講演では GRBM の初期観測運用の概要、地上較正試験と機上データから見積もられる観測性能、GCN へ報告済みの GRB151006A, GRB151107B を含むガンマ線バーストの観測例 (科学解析の詳細は高密度星・川久保の講演) 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](#)

V302b CALET ガンマ線バーストモニター初期運用における性能評価と較正

瀬沼一真, 吉田篤正, 坂本貴紀, 高橋一郎, 川久保雄太, 森山光明, 山田祐輔 (青学大理工), 山岡和貴 (名大 ISEE 研), 中平聡志 (JAXA), 浅岡陽一, 小澤俊介, 鳥居祥二 (早大理工研), 清水雄輝, 田村忠久 (神奈川大学), Sergio B. Ricciarini (University of Florence), Pier S. Marrocchesi (University of Siena), Michael L. Cherry (Louisiana State University)

高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET) は 2015 年 8 月に国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に設置され、現在試験運用中で、軌道上での検出器のキャリブレーション等を行っている。CALET には宇宙で最も明るい爆発現象の 1 つであるガンマ線バースト (GRB) 等の突発現象を、X 線、軟ガンマ線の領域で観測するシンチレーション検出器である CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) が搭載されている。CGBM には 2 種類の検出器が搭載される。7 keV から 1 MeV までの感度を持つ硬 X 線モニター (HXM) を 2 台、100 keV から 20 MeV までの感度を持つ軟ガンマ線モニター (SGM) 1 台で構成されている。

データの科学的な価値を高めるために、2 台の HXM のゲインを合わせる必要がある。HXM に使われている光電子増倍管には個体差があり、同じ高電圧値を印加してもゲインが異なる。そこで、機上で高電圧値によるゲイン補正を行った。地上でも温度変化によるゲイン変動の補正を可能とした。2 台の HXM のゲインを揃えることで、両者のデータを足し合わせることができ、2 倍の統計を得ることが可能となる。また、GRB の検出精度を高めるため、トリガーパラメータの最適化を行った。本発表では、ゲイン補正結果、トリガーパラメータの最適化及び軌道上での観測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](#)

V303b すざくソースカタログの開発 (III)

海老沢 研 (宇宙航空研究開発機構) 山崎 廣樹 (東京大学)

X線天文衛星「すざく」は2005年7月に打ち上げられ、2015年5月まで観測を継続した。「すざく」に搭載されているX線CCDカメラXISは、 $17' \times 17'$ の視野と約 $1'$ の点源応答関数を持ち、0.4–10 keVのX線で撮像観測を行った。「すざく」データは観測から約1年後に公開されるので、それを用いてXISの視野に含まれるソース情報を集約したカタログを作成することができる。「すざく」のX線感度は同様のエネルギー帯を持つChandraやXMMには及ばないが、ChandraやXMMが観測していない天域においては、新たなX線天体が発見される可能性がある。また、ほとんどのX線天体は大きな時間変動を示すので、ChandraやXMMが観測した天域においても、トランジェント天体を発見したり、既知のX線天体の時間変動を調べることができる。そのような科学的価値を鑑み、我々は「すざくソースカタログ」の開発を開始した。カタログ作成においては、まず天体検出が必要である。ウェーブレット変換を用いたChandraの標準ツールである“wavdetect”が「すざく」のソース検出にも利用できることを確認した(2015年春季年会)が、その後、XMM衛星の標準ツールである、“ewavelet”のほうがより有効であることがわかったので、そちらを採用することにした。次に、「すざく」の応答関数を考慮し、検出されたカウントレートから物理的なフラックスを計算するアルゴリズムを開発した(2015年秋季年会)。また、同じ天域の複数観測がある場合、天体検出位置の誤差を考慮し、同一天体を判定して強度変動を調べるアルゴリズムを確立した。2015年10月までに公開された全2519観測に対して、統一的なプロセッシングを行い、すざくソースカタログをまとめた。今回は、すざくソースカタログの中から、X線で初めて検出された天体や特に大きな時間変動が観測された天体など、天文学的に重要と思われる天体の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](#)

V304b **すざく衛星に搭載されたX線 CCD カメラ XIS における noisy ピクセルの評価とその除去手法の確立**

坂田美穂, 磯田依里, 森浩二 (宮崎大学), 佐藤浩介, 松下恭子, 横田佳奈, 佐々木亨 (東京理科大学), 辻本匡弘, 勝田哲, 中島真也 (ISAS/JAXA), 林田清 (大阪大学), 石崎欣尚 (首都大学東京), 他 XIS チーム

すざく衛星に搭載されているX線 CCD カメラ XIS では、近年、暗く拡がった天体の解析において検出器起源のバックグラウンド (Non X-rayBackground; NXB) の再現性の低下が指摘されていた。再現性の低下は特に 1 keV 以下で顕著であり、見積られた NXB のスペクトルが低すぎる傾向にあった。我々はこの件について NXB の再評価をおこない、原因を特定し、新しい解析方法を提示した。

XIS の標準的なデータ処理においては、flickering pixel の除去が含まれている。flickering pixel の除去は統計的な処理であり、統計量に依存する。この場合は、観測時間の長さに依存すると言い換えられる。NXB スペクトルは NXB database から作成されるが、この NXB-database は夜地球の M sec 単位のデータを集めて処理する。一方で、通常の観測は 0.1 M sec の単位である。この観測時間の差と、近年の XIS の経年劣化による flickering pixel の急激な増加が相俟って、上記の差が生じたことがわかった。対策として、その長時間の NXB database の処理時に除去する「cumulative flickering pixel」を「noisy pixel」と称し、この noisy pixel map をユーザーに公開すると共に、解析方法をすざく HP に示した。将来的には Calibration database に含める予定である。この手法は特に暗く拡がった天体の解析には有効な手法である。なお、これまでの解析方法と両立できるようにしており、ユーザーは二つの解析手法を自分で選ぶことが可能である。本講演では、これらの詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305a **ISS 搭載を目指した GRB 偏光度検出器 LEAP の開発および性能評価について**

上田達也, 郡司修一, 中森健之, 岸川達哉, 老川由馬, 高倉美華 (山形大理), J.Gaskin S.Daigle B.D.Ramsey C.Wilson-Hodge (NASA/MSFC), M.McConnell P.Bloser J.Legere (UNH), R.D.Preece (UAH), 米徳大輔 (金沢大理), 三原建弘 (理研), 林田清 (阪大理), 岸本祐二 (KEK), 高橋弘充 (広大理), 谷津陽一 (東工大理), 當真賢二 (東北大理)

ガンマ線バースト (GRB) とは宇宙最大の爆発現象である。この爆発現象は現在に至るまで数多く観測されてきたが、未だ GRB のエネルギー輻射メカニズムが解明されていない。この輻射メカニズムを解明するのに、GRB から放出される硬 X 線の偏光度を測定することが有効な手段とされている。現在 GRB の輻射メカニズムとして 2 つの有力候補がある。1 つは黒体輻射により偏光度が低くなる Photosphere モデル。もう 1 つがジェット中の磁場によってシンクロトロン放射が起こり、偏光度が高くなる Synchrotron モデルの 2 つである。我々は GRB の偏光度を観測し、GRB の輻射メカニズムを解明するために、NASA/MSFC と共同で LEAP (Large Effective Area Polarimeter fo Gamma-ray Burst) project を開始した。ISS 搭載を目標とし、有効面積は 303cm^2 、エネルギー領域 30-500keV の硬 X 線に感度を持つコンプトン散乱型偏光度検出器を開発している。しかし、この検出器がどの程度偏光度を測定できるのか不明確である。この検出器の性能を明確にするために、現在我々はこの検出器の 4 分の 1 サイズの試作機 (BBM) を製作している。この BBM に偏光ビームを照射し、偏光度をどの程度測定できるかを明確にする。本講演では BBM の開発および性能評価について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306a X線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗状況

玉川 徹, 早藤麻美, 岩切 渉 (理研), 北口貴雄, 水野恒史 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 武内陽子, 窪田 恵, 西田和樹 (理研/東理大), 田原 譲 (名古屋大), 幅 良統 (愛教大), 林田 清 (大阪大), Keith Jahoda, Joanne Hill (NASA/GSFC), ほか PRAXyS 衛星チーム

X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探る優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。Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources (PRAXyS) は、NASAゴダード宇宙飛行センターが主導し日本が国際協力に参加する、X線偏光観測に特化した小型衛星である。ブラックホール、中性子星、超新星残骸などを 2–10 keV 帯域で、約 1%の最小偏光検出感度で観測する。

我々は 2014 年 12 月に PRAXyS 衛星を NASA Small Explorer Program に提案し、2015 年 7 月末に Phase A (概念設計) に採択された。今回採択されたのは 3 プロジェクトで、そのうち 2 つ (PRAXyS と IXPE) が X 線偏光観測である。1 年間の概念設計のあと、2017 年初頭に 1 つが選定され、2020 年に打ち上げられる。PRAXyS の基本設計は、2012 年 6 月にコスト超過の懸念によりプロジェクト停止となった GEMS 衛星と同等であり、「すざく」衛星タイプの X 線ミラーと、その焦点面に光電子追跡型のガス X 線偏光計を置いた、X 線偏光望遠鏡を 2 台搭載する。日本からは理研と名古屋大が観測装置の一部を提供し、他にも偏光計製作、検出器シミュレーション、偏光計の較正試験で貢献を行う。ISAS/JAXA でも、NASA が採択することを条件に小規模プロジェクト化を進めており、日米の協力体制が整っている。本講演では、PRAXyS の性能評価結果ならびに、対抗馬となる IXPE との比較を交え、プロジェクトの進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V307a GRB 偏光観測用超小型衛星 TSUBAME の総括

谷津陽一, 栗田真, 大内遙河, 有元誠, 河合誠之 (東工大理), 松下将典, 河尻翔太, 鈴木聡太, 宮里和良, 太田佳, 古賀将哉, 渡邊輔祐太, 佐々木謙一, 近藤尚登, 松永三郎 (東工大工, ISAS/JAXA), 木村真一 (東京理科大工)

我々東工大チームは、先進的な超小型衛星バスの技術実証とガンマ線バーストの即時放射偏光観測を目的とした 50kg 級超小型衛星 TSUBAME を開発した。実機の開発は 2009 年末に始まり、ロケットの変更、東日本大震災、松永研の宇宙研移転、幾度もの打上げ延期を乗り越えて 2014 年 11 月に打ち上げられたが、通信機不具合により 3ヶ月後にはシグナルを喪失した。不具合解析の結果、通信系の不具合は「メインバスから通信機に 6V を供給する DC/DC コンバータが一次側で短絡故障したためである」という結論が得られた。真空環境下で不具合を再現できたことから、技術的には放熱バスの設計ミスだと推測している。さらに、どうして我々がこの不具合を見落としたのかをプロジェクト管理の観点で掘り下げると、相乗り衛星であるがゆえの打ち上げ予定の不透明さが不具合残留の一つの要因になっていたと考えられる。EM・FM 等の開発モデルで解決すべき課題を完了せずに次の段階に進んだがために、衛星全体としての進捗管理・リスク管理が早い段階で破綻し、さまざまな不具合が打上げ直前まで残留することになった。しかしながら、ピギーバック衛星において開発の遅延は打ち上げ機会喪失と同義であり、本プロジェクトは行くも地獄戻るも地獄という精神的重圧の中で進められたのもまた事実である。この様な中で、過去の設計を一部踏襲した通信系は、機能確認まで正常であったが故に信頼性評価に抜けがあり、さらに引き継ぎで試験経過情報が喪失してしまったことが管理上の問題といえる。本講演では失敗から得られたこれらの教訓を交えつつ TSUBAME プロジェクトを総括する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308b PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発：新構造モデルの開発

Kim Juyong, 林田清, 上司文善, 五十嵐宣孝, 池山優樹, 米山友景 (大阪大), 郡司修一 (山形大), 三原建広 (理研), 米徳大輔 (金沢大), 水野恒史, 高橋弘充 (広島大), 谷津陽一 (東工大), 窪秀利 (京大), 岸本祐二 (KEK)

PolariS(Polarimetry Sattelite) は、X線ガンマ線偏光観測に特化した小型衛星計画で、JAXA 小型衛星の候補としてデザイン検討をすすめてきた。PolariS は、天体からの硬 X 線放射の偏光度と偏光方向を測定することを主な目的に、焦点距離 6m の多層膜ミラー 3 台を伸展式光学台にのせ、焦点面に硬 X 線撮像偏光計を設置する。10mCrab 以上の数十個の天体に対して、10-80keV の硬 X 線領域での世界初の偏光測定をめざしている。硬 X 線撮像偏光計は、プラスチック、GSO、二種類のシンチレータ柱と位置検出型光電子増倍管 (MAPMT) をくみあわせたもので、コンプトン散乱の異方性を利用して偏光を計測する。2012 年に製作したプロトモデルを用いた 10-80keV の X 線性能評価に関して、前学会までに報告してきた。今回、MAPMT を他の宇宙ミッションでも採用されている型に変更するとともに、検出器構造の再デザイン、製作を行った。この新モデルでは、現在は周辺 MAPMT は 4 ユニットであるが、8 ユニットに拡張可能である。今回採用した MAPMT の単体特性を詳細に調べたあと、偏光撮像計としてくみ上げた動作試験を行い、さらに、2015 年 11 月に KEK-PFBL14A において 10-80keV の単色偏光 X 線を照射して性能評価を行った。特に、低エネルギー X 線入射に対する反跳電子検出効率に着目し、効率を決めている要因の分析とデータ処理の最適化を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309c 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライトに向けての準備状況

高橋弘充、河野貴文、大橋礼恵、水野恒史、深沢泰司(広島大)、M. Pearce、M. Chauvin、M. Kiss、V. Mikhalev、T. Stana(KTH)、PoGOLite チーム

偏光観測は、シンクロトロン放射を生じる磁場、光源の周囲で散乱を起こす物質のジオメトリなど、他の観測手法とは相補的な物理量を調べることができる重要な観測手法の1つである。しかし、X 線やガンマ線の帯域ではその観測手段が難しく、これまでガンマ線バーストや「かに星雲」、「はくちょう座 X-1」など数例の天体について限られたエネルギー帯域でしか有意な偏光検出の報告は行われていない。こうした中、日本とスウェーデンの国際プロジェクトである PoGOLite 気球実験では、25-80 keV というこれまで未開拓な硬 X 線帯域において世界に先駆けて天体からの偏光検出を目指している。

PoGOLite の最初のフライトは2013年7月にスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場を実施することができた。この際は世界で初めて北極圏を周回し、スウェーデンからカナダ、ベーリング海峡を越え、ロシア・ノリリスク近郊に着陸するまでの2週間にわたってフライトさせることに成功した。X 線天体として「かに星雲」の観測を実施することはできたが、偏光計の電源系トラブルにより、観測データは3日分しか取得することができなかった(観測結果は以下の論文にまとめられている: 2015arXiv151102735C)。

こうした状況を踏まえ、PoGOLite チームでは2016年夏に再度スウェーデンからの長期フライトを計画し、スウェーデン国内での認可を得ている。本講演では、2013年のフライトのまとめと、2016年の再フライトに向けて検出器の改良点や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](#)

V310b **HiZ-GUNDAM および金沢大学超小型衛星に向けた高利得アナログ集積回路の開発**

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達也, 加川保昭, 伊奈正雄 (金沢大学), 池田博一, 原山敦 (ISAS/JAXA), 有元誠 (東工大)

我々は小型衛星 HiZ-GUNDAM 計画と金沢大学超小型衛星に搭載する X 線撮像検出器を開発している。HiZ-GUNDAM 計画では高赤方偏移ガンマ線バースト、金沢大学衛星では重力波の発生源として最有力候補の短時間ガンマ線バーストの観測を目指している。前者は赤方偏移の効果を受けて数 keV の X 線帯域で輝き、後者は軟 X 線帯域で輝く Extended Emission が見られる。これらの観測を実現するためには、検出器の信号を低雑音かつ高利得で読み出す、アナログ集積回路が必要不可欠である。

そこで我々は、1-20keV の X 線読み出しを目標とした集積回路 ALEX シリーズの開発を行ってきた。過去の年会では、HiZ-GUNDAM 搭載用の X 線撮像検出器の読み出し集積回路として、ALEX の開発状況を報告してきた (2014 秋, 2015 春, 2015 秋)。ALEX には 64ch の信号処理回路が備わっており、チャンネルごとの性能やそのばらつきを理解しておくことは、これから検出器の規模を拡張していく上で重要である。本講演では、これまで口頭で発表してきた ALEX の基本性能に加え、ゲインやノイズレベルのばらつきや、各チャンネルの較正を行った後の性能一様性についての評価など多チャンネルの信号処理について現在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](#)

V311c 新型 MPPC を用いた低エネルギー GRB 偏光観測装置の可能性

河合謙太郎，米徳大輔，澤野達哉，遠藤友(金沢大学)，郡司修一，中森健之(山形大学)，三原建弘(理研)

ガンマ線バースト (GRB) は 100 億光年以上遠方で発生する宇宙最大の爆発現象であり、数秒～数 10 秒の間に総エネルギー 10^{52} erg もの大量のガンマ線を放出する。この GRB の放射メカニズム解明を目指し、金沢大学では偏光観測装置の開発を行っている。火の玉モデルと呼ばれる GRB の標準理論によれば、GRB からはシンクロトロン放射によりガンマ線が放射される。シンクロトロン放射による放射光は強く偏光しており、偏光が観測できれば GRB の放射メカニズムに制限を掛けることができる。2010 年に打ち上げられた IKAROS に搭載した偏光観測装置 GAP により、強い偏光が 3 例検出されている。今後より多数の GRB に対して統計的な測定を行うことができれば、放射メカニズムの解明だけでなく GRB 内部の磁場構造について言及できる。

金沢大学では MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) を用いたマトリクス型モデルの偏光観測装置の開発を行っている。GAP に比べ低エネルギー、低偏光度の偏光観測を可能にすることで、より多数の GRB から精度良い偏光検出を目指す。MPPC は複数のアバランシェフォトダイオードからなるフォトンカウンティングデバイスであり、小型軽量、低電圧動作、振動に強いといった特徴を持ち、衛星搭載に適している。浜松ホトニクス社の新型 MPPC (S13XXX シリーズ) はこれまでの MPPC と比べ、ノイズとなるクロストークやダークカウントが大幅に低減されており、プラスチックシンチレータを組み合わせ、5 keV 程度のエネルギーを下限値として X 線のスペクトル取得に成功している。これにより 50 keV 以上のエネルギーを持つ GRB の偏光検出が可能となるため、この新型 MPPC を用いた、50~100 keV の低エネルギー GRB の偏光観測を目指した装置の構想について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312c 多チャンネルMPPCアレイのゲイン微調整機構の開発とその応用

村木雄太郎, 谷津陽一, 有元誠, 河合誠之(東工大), 片岡淳(早大)

光電子増倍管(PMT)は長きに亘って微弱光検出器として広く使われており、このことは衛星や気球のような飛翔体に関しても例外ではない。しかしながら、PMTは壊れやすく磁場に弱く、さらに1000V前後の高圧電圧を必要とするなど、衛星を開発する上での障害となっていた。この様な背景から、ASTRO-HのHXIやSGDのアクティブシールドの読み出しにはSiのアバランシェフォトダイオード(APD)が採用されたが、PMTと比べた場合に安定して形成できる受光面が大きくないこと、光子あたりの増幅率が4桁も小さいことなどの限界があり、ミッション要求を達成することは容易ではなかった。我々はアクティブシールドのような大型結晶を読み出すためにPMT・APDに代わる光検出器としてSi光子増倍器(SiPMまたはMPPC)を利用したいと考えた。

実際に単チャンネルMPPCを用いて測定したところ、PMTと比較して抵光量下においてエネルギー分解能が低くなること、常温においてダークカウントが卓越し抵光量測定が困難である、という二つの問題が挙げられた。どちらの問題に対しても、各チャンネルごとに適切な電圧でオペレーションし、ゲインのばらつきを抑えることが重要となる。そこで我々は、同一の高圧電源から複数のMPPCに対して高圧を印加しながら、各MPPCチャンネルごとに10mV単位で印加電圧を微調整できる機構を開発した。

本発表では、今回開発した微調整機構を用いた多チャンネルMPPCアレイについて、基礎特性の測定結果と性能評価について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313b 湾曲結晶を用いた X 線偏光計の開発

飯塚亮 (ISAS/JAXA), 泉谷喬則, 坪井陽子 (中央大学)

宇宙 X 線の天体観測において、撮像、測光、分光観測は、近年における衛星技術の発展により精度の良い観測が行われるようになってきた。しかし、X 線偏光観測においては検出器開発の難しさから進んでいない。しかし、偏光 X 線の検出に成功すれば、高エネルギー現象に携わる極限天体周辺の構造や放射メカニズムを決定する鍵になることが期待される。そこで、我々は X 線天文学の新たな局面を切り開くために、偏光 X 線を観測するため光学系の開発を行っている。X 線を集める反射鏡に結晶を用い、鉄輝線付近に特化する偏光感度の極めて高い、集光する大面積のブラック反射型 X 線偏光計である。そのため、鉄輝線 (6 keV 付近) で偏光感度が極めて高い Si(100) 結晶の (400) 反射を採用し、その結晶面を曲げることでエネルギー幅を持たせ、かつ集光させることで S/N 比を飛躍的に増加させる。

今まで我々は、CVD 装置による DLC 成膜という技術を用いて結晶を湾曲させてきた (日本天文学会 2014 年秋季年会 W116b, 2013 年秋季年会 W151a など)。そこでは積分反射率増加が確認されるなど、結晶湾曲によって偏光素子としての性能が向上する事実が認められてきた。しかし、湾曲の形状は円筒のみであり、他の形状に成形することはできなかった。そこで断面が円状ばかりではなく、放物線状など、我々の意図する方向に湾曲できるようにするため、湾曲結晶の保持方法について工夫するスタディを行った。その結果、我々の意図通り、湾曲できることを確認し、偏光検出技術として応用可能なことを確認した。発表では、湾曲結晶の可視光評価などについて報告し、既存の観測装置と比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314a 炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発

島 直究, 前島 将人, 松本 浩典, 三石 郁之, 宮澤 拓也 (名古屋大学), 粟木 久光, 杉田 聡司, 吉岡 賢哉 (愛媛大学)

X 線望遠鏡の多くは、放物面と双曲面に共焦点配置された反射鏡に 2 回反射させることにより結像集光する Wolter I 型光学系を採用している。特に日本の X 線望遠鏡は多重薄板型と呼ばれ、アルミ製の薄い反射鏡を同心円状に多数配置することで軽量かつ高い集光力を得られる一方、角度分解能が数分程度に制限されてしまうという欠点を併せ持つ。これは Wolter I 型光学系の二次曲面を円錐近似して用いていることや、薄い反射鏡の形状誤差・位置合わせの誤差が大きいために原因として挙げられる。次世代 X 線望遠鏡には、この高い集光力を保持したまま結像性能の向上が要求される。そこで我々はアルミの 7 倍の比強度と 1/8 の熱膨張率を持ち、かつ成形の自由度の高い炭素繊維強化プラスチック (以下、CFRP) を基板材料として、完全な Wolter I 型光学系を再現した二段一体型反射鏡の開発を行っている。

CFRP 反射鏡の鏡面形成手法は、母型に反射膜を成膜し、それをエポキシ接着剤を用いて基板に転写させるレプリカ法を用いる。X 線反射鏡には入射 X 線の波長程度の表面粗さが要求されるため、ガラス製の母型を用いることで滑らかな鏡面を転写させる。現在は、従来のガラス製の円筒母型に加え、新たに Wolter I 型の二次曲面に薄板ガラスを貼付けた母型を用いて 1/4 周 CFRP 基板 ($\phi 200$ mm、各段 150 mm) に鏡面形成を行っている。今回、この 2 種類のレプリカ用母型で製作した CFRP 反射鏡を保持機構であるハウジングに組み込み、宇宙科学研究所の 27 m ビームラインにて性能評価を行った。本講演では CFRP 反射鏡製作の現状と宇宙科学研究所における測定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](#)

V315b 将来衛星搭載に向けた超軽量 X 線望遠鏡開発の現状

中村果澄、江副祐一郎、小川智弘、佐藤真柚、沼澤正樹、武内数馬、寺田優、大橋隆哉 (首都大学東京)、石川久美 (理研)、満田和久 (宇宙研)

我々は将来小型衛星搭載に向けて、シリコンドライエッチングを用いた独自の超軽量 X 線光学系の開発を行っている。反応性イオンによるエッチングと側壁保護を繰り返す Bosch Process を用いて 4 インチ Si 基板に穴幅 $20\ \mu\text{m}$ 、深さ $300\ \mu\text{m}$ の微細穴を製作し、この側壁を X 線反射鏡として利用する。そして平行光を 1 点に集光させるため、基板を球面状に高温塑性変形する。

我々はこの手法で世界で初めて 4 インチ Wolter I 型 (2 段) 望遠鏡を試作し、 $\text{Al-K}\alpha$ 1.49 keV の X 線結像を実証した。しかし、有効面積は $32.3\ \text{mm}^2$ 、角度分解能は FWHM で 4.1 分角、HPD で >30 分角と、目標の有効面積 $161\ \text{mm}^2$ 、角度分解能 <5 分角に比べると悪かった (小川 et al. submitted MST)。そこで、さらなる結像性能向上のため、我々は製作方法の見直しと平行して、1 段光学系の性能評価を行った。その結果、有効面積と角度分解能の悪化の原因について、鏡の表面形状精度と配置精度がどちらも 6-8 倍程度、改善が必要であることを突き止めた。そこで特に配置精度に着目し、エッチングと側壁保護のサイクルタイムや圧力などを変更してドライエッチング条件の最適化を図った。その結果、形状精度は 20-30 分角であるものの、配置精度は ~ 5 分角と改善し、要求値をほぼ満たすようになった。そこで、現在は形状精度の条件出しへと進んでいる。本講演では、光学系の改善現状について、形状・粗さ測定と X 線測定による結果を示しつつ紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316b 汎用 4 回反射型 X 線望遠鏡の開発

馬場崎康敬、田原讓、三石郁之 (名古屋大学)

4 回反射型 X 線望遠鏡はその最初の応用としてダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載の軟 X 線 (< 1 keV) 観測用高感度望遠鏡が開発されてきた。一方、鉄 K 輝線を含む ~ 10 keV までの X 線観測用に開発された従来の 2 回反射型望遠鏡は数 m の焦点距離を仮定するとその有効面積は数 100 cm^2 にとどまっている。しかし数 m の焦点距離の望遠鏡に 4 回反射光学系を導入するとさらなる大口径化が可能となり、単一望遠鏡でこれまでの数倍の有効面積が期待できる。

我々は 4 回反射 X 線光学系の応用として、従来の X 線望遠鏡の数 m の焦点距離を保ちつつ、鉄 K 輝線を含む ~ 10 keV までのエネルギーにおいて大有効面積 (例えば鉄輝線のエネルギーで 2760 cm^2) が期待される汎用 4 回反射型 X 線望遠鏡を提案してきた (2015 年秋季年会報告 田原他)。しかし一方で、4 回反射型は 2 回反射型に比べて反射回数が多いために、反射鏡形状誤差の望遠鏡性能への影響が顕著になるという実製作上の問題をはらんでいる。本研究ではその影響を見積もるために、これまでの反射鏡製作で得られている典型的な形状誤差を考慮して、光線追跡法により焦点距離 6 m、口径 1.1 m の 4 回反射型望遠鏡の性能を調べた。その結果、1-10 keV のエネルギーに対する有効面積の劣化は $\sim 30\%$ であった。本望遠鏡は形状誤差を考慮しても ASTRO-H 搭載用軟 X 線望遠鏡よりも ~ 4 倍の有効面積を得られ、実機においても十分な性能が見こめることが分かった。本講演では提案する光学系の設計の詳細、結像性能や視野などの光学特性について述べるとともに、現在進めている汎用 4 回反射型望遠鏡の性能実証に向けた準備を踏まえて開発の展望を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V317b マイクロマシン技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡の振動試験

寺田優, 江副祐一郎, 小川智弘, 佐藤真柚, 中村果澄, 沼澤正樹, 武内数馬, 堤大樹, 田村亜衣, 佐原宏典, 大橋隆哉 (首都大学東京), 石川久美 (理研), 満田和久 (ISAS/JAXA)

我々は Micro Electro Mechanical System (MEMS) 製作技術を用いた X 線光学系を開発している。数百 μm 厚みの薄いシリコン基板に数十 μm 幅の微細かつ垂直な曲面穴を形成し、側壁を X 線反射鏡として用いる (Ezoe et al. 2010 Microsys. Tech.)。これまで Wolter I 型望遠鏡による X 線結像実証などを本手法で世界で初めて行ってきた (Ogawa et al. submitted MST)。現在、我々は MEMS X 線光学系をいくつかの将来計画に向けて検討している。バイナリブラックホール探査衛星 ORBIS や地球磁気圏探査衛星 GEO-X などである。

本研究ではこうした将来計画を目指して 4 インチ Si MEMS X 線光学系の構造解析と単体振動試験を行った。光学系は 2 枚の球面変形した基板から成り、それぞれの基板厚みは 300 μm 、直径 100 mm である。2 枚の基板は Al 製の固定リングを通して接着で固定される。我々はイプシロンロケットでの打ち上げを想定した振動条件を想定して、解析と試験を行った。加振装置は東大 中須賀研究室所有のものを借用した。我々は供試体に、正弦波振動 (10–100 Hz, 2.5 G, 240 sec)、準静的加速度 (15 Hz, 13 G, 30 sec) を加え、振動前後におけるモーダルサーベイ (5 Hz, 0.5 G, 120 sec) および目視で、振動による破損がないことを確かめた。供試体の共振周波数は ~ 550 Hz であり、解析値 577 Hz と一致しており、一般的な衛星の要求値 (>100 Hz) を満たす。残るランダム振動試験についても、現在計画中である。本講演ではこれら構造解析および振動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](#)

V318b 微細加工技術を用いた 12 inch シリコン光学系の X 線反射実証

石川久美 (理研), 江副祐一郎, 沼澤正樹, 小川智弘, 佐藤真袖, 中村果澄, 大橋隆哉 (首都大), 満田和久 (ISAS/JAXA), 前田龍太郎, 廣島洋, 倉島優一 (産総研), 野田大二 (マイクロマシンセンター)

私たちは将来の小型衛星搭載を目指したコンパクトで軽量な X 線光学系の開発を行っている。微細加工技術を用いて厚さ 300 μm の 4 inch シリコン基板へ幅約 20 μm の垂直な微細穴を無数に形成し、その穴の側壁を X 線反射面として利用する光学系である。私たちは光学系の製作から評価まで行い、これまでに 4 inch X 線光学系の結像実証をしてきた。この光学系は微細穴の側壁を反射面として利用するため、使用する基板の厚さや直径を増やすことで X 線反射量の向上が期待できる。

そこで、私たちは有効面積の拡大を視野に、産総研所有の世界最高レベルの性能を有するドライエッチング装置を用いて、直径 12 inch のシリコン光学系の製作を行った。使用した基板は厚さ 775 μm 、直径 12 inch の Si(100) である。深さ約 500 μm までエッチングし、設計幅 20 μm の微細穴を形成する。次に、裏側から基板全体を化学機械研磨することで滑らかな裏面を形成しつつ、厚みを減らすことで微細穴を裏面に露出させる。以上の手順で厚さ約 400 μm の 12 inch シリコン光学系を製作した。側壁表面を X 線反射できるほど十分滑らかにするため、1300 度の高温アニールにより側壁の平滑化を行った。完成した光学系を用いて、1.49 keV の X 線を入射角 0.5–1.3 度で照射し、反射強度を比例計数管で測定した。その結果、12 inch 光学系で初めて X 線反射光を捉え、表面粗さ 2 nm rms で期待される X 線反射プロファイルと一致することがわかった。ただし、反射光の強度は設計予想の約 13%程度となっており、側壁のうねりや突起構造が原因で有効反射面積が減少していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319b バイナリブラックホール探査衛星 ORBIS に向けた MEMS X 線光学系の設計検討

武内数馬, 江副祐一郎, 小川智弘, 佐藤真柚, 中村果澄, 沼澤正樹, 寺田優, 大橋隆也, 佐原宏典, 堤大樹 (首都大学東京), 石川久美 (理研), 磯部直樹 (ISAS/JAXA)

我々は、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡、MEMS X 線光学系を開発している (Ezoe et al. 2010 Microsys. Tech.)。これまでに Wolter I 型望遠鏡による Al $K\alpha$ 1.49 keV の結像実証、Ir 膜付けした 1 回反射光学系による Ti $K\alpha$ 4.51 keV の反射実証に成功している (Ogawa et al. 2013 Appl. Opt.)。今回、バイナリブラックホール探査衛星 ORBIS に向け、光線追跡計算を用いた光学設計を行った。

ORBIS では活動銀河核 (AGN) からの X 線放射の時間変動を捉えるため 2–10 keV において、約 50 cm^2 程度の有効面積が必要となる。我々は独自に構築した MEMS X 線光学系用の光線追跡プログラムを用いて、Wolter I 型 (2 回反射) と 4 回反射光学系、さらには結像を行わない 1 回反射光学系の 3 種類のデザインにおけるシミュレーションを行って、最適な設計を調べた。この際には比較対象として、結像を行わない XOS 社製の集光型キャピラリ光学系 (直径 0.5 mm、1 本あたり面積 23 cm^2) との比較を行った。結果、2–10 keV の X 線に対して典型的な AGN のスペクトル形状を仮定し、受光できる光子フラックスをキャピラリ 2 本と比較した場合、Wolter I 段、4 回反射、1 段光学系ではそれぞれ 0.8 倍、2.3 倍、0.4 倍となることが分かった。ここで焦点距離は 300 mm、検出器面積は 17.5 mm^2 を仮定した。すなわち、反射回数を増やすと、1 回反射当たりの反射率の低減を押し返さえることができるため、段数は多い方が良い。一方で、反射回数が多いと、位置合わせの手間によるロスが考えられるため、この結果は Wolter I 型が最もよい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](#)

V320b TES 型 X 線マイクロカロリメータを用いた高精度 X 線分光システムの構築 (2)

星野晶夫, 今井健人, 上田翔太, 小仁所亜美, 持田葵, 北本俊二 (立教大学)

宇宙科学において電荷交換反応を観測することは、高温ガスの境界領域の構造、とりわけ相対速度や実際に起こっている攪拌作用を研究する上で新しい観測窓を提供することになる一方、太陽系外や銀河系外の天体からの放射を観測する場合には、前景放射となる電荷交換反応由来の放射光の精密な分離が不可欠である。これらの問題へのアプローチとして、私たちは超伝導遷移端を動作点とする非分散型極低温 X 線センサーである TES 型 X 線マイクロカロリメータの特徴を活かした地上での高精度 X 線分光システムの構築によって、電荷交換反応輝線の精密分光による地上較正のほか将来に向けた X 線干渉計計画の撮像センサーとしての応用を目指している。

2015 年 3 月の天文学会春季年会において、私たちは 2 段パルスチューブ冷凍機と断熱消磁冷凍機を組み合わせた無冷媒極低温システムの開発状況の紹介を行った。今年度、我々は (1)2 段パルスチューブ冷凍機を用いた 3K 熱浴において、TES 型 X 線マイクロカロリメータの読み出し回路である超伝導量子干渉計 (SQUID) の動作確認を行い、peak-to-peak で 4.98V の ϕV 特性を取得した。今期 SQUID の印加磁場に対する応答 ($-V$ 特性) を取得できたことで、我々は TES 素子の読み出し回路の準備ができた。また、(2) 断熱消磁冷凍機について CrK ミヨウバンを冷媒とする常磁性体カプセルを自作した。カプセル内部には 256 本のアニールを行った金線 1 mm 間隔で張り銀ろうで熱リンクと接合し外部との熱伝導をとっている。結晶析出のために、温度差を利用した循環式析出法を採用し析出速度を早めた。最終的に得た結晶量約 95 g は、 $3\mu\text{W}/\text{K}$ のガス式熱スイッチを通じた熱負荷によって 0.1 K を 10 時間程度保持することが期待できる。本講演では、極低温冷却試験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](#)

V321b 積層配線 TES 型 X 線カロリメータの表面粗さと超伝導転移の研究

鈴木翔太, 桑原啓介, 黒丸巖静, 小泉祥人, 細矢祥平, 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也 (首都大), 満田和久 (宇宙研), 日高睦夫, 佐藤哲朗 (産総研)

我々は小型科学衛星 DIOS への搭載に向けた TES (Transition Edge Sensor) 型 X 線マイクロカロリメータを開発している。TES 型 X 線マイクロカロリメータは、金属の常伝導-超伝導転移時の急激な抵抗変化を利用して X 線のエネルギーを高分解能で検出する。DIOS では有効面積 1 cm 角、0.6 keV におけるエネルギー分解能が 5 eV 以下の要求があり (Ohashi et al. 2014 SPIE)、これを満たすため、我々は TES 200 μm 角、吸収体 500 μm 角を 1 ピクセルとした 20 \times 20 TES アレイを製作している。課題となるのが配線であり、スペースの削減および、密集した配線間のクロストーク低減のため、積層配線と呼ぶ、hot と return の配線を絶縁膜を挟んで上下に配置する方式の開発に取り組んできた (Ezoe et al. 2015 IEEE TAS, Kuromaru et al. 2015 LTD)。

積層配線は上部配線 (Al もしくは Nb、厚み 200 nm) と、絶縁膜 SiO₂ (厚み 180 nm)、および下部配線 (Al もしくは Nb、厚み 100 nm) から成り、その上に TES の Ti/Au 二層薄膜 (Ti 約 40 nm / Au 約 100 nm) を成膜パターンニングする。我々は上部配線と TES とのコンタクト強化のために、イオンミリングによって配線に約 45 度の傾斜をつけた積層配線を試作し、400 pixel TES アレイを完成させた。しかし TES の超伝導転移がみられず、原因は TES に対して大きな、配線成膜後の基板の表面粗さ 5.8 nm rms と考えられる。そこで、配線を Al より滑らかな Nb に変え、イオンミリングの打ち込み角度を調整した。その結果、表面粗さは 2.5 nm rms 程度に改善したが、超伝導転移に必要と考えられる \sim 1.0 nm rms には達しておらず、さらなる改善が必要である。本講演では改善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](#)

V322b ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラの応答関数の構築 (2)

井上翔太, 林田清, 片多修平, 中嶋大, 薙野綾, 穴吹直久, 常深博 (大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 信川久実子, 鷲野 遼作 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学), 森浩二, 磯田依里, 坂田美穂 (宮崎大学), 幸村孝由, 丹野憧馬, 玉澤晃希, 吉野祐馬, 近野貴博 (東京理科大学), 上田周太郎 (ISAS/JAXA), ほか ASTRO-H/SXI チーム

我々は、2015 年度打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラ (Soft X-ray Imager: SXI) の開発を行ってきた。SXI は、4 つの CCD 素子をモザイク状に配置することにより、 $38' \times 38'$ の広視野で 0.4–12 keV のエネルギー帯域の撮像と分光を行う。CCD 素子は P チャンネル裏面照射型を使用している。

単色の X 線が入射した場合、CCD で取得される波高値のエネルギー分布は、CCD 固有の確率分布に従う。この確率分布を決める各パラメータは入射 X 線のエネルギーに依存し、これをモデル化したものが応答関数である。天体からの本来の X 線の情報を正確に知るためには、精度の良い応答関数の構築が要求される。

これまで、我々は SXI フライトモデルを用いた地上較正実験を行い、応答関数構築に向けた解析を行ってきた (井上他 2015 年秋季年会)。SXI の CCD 上には、いくつかの電荷転送の異常領域が存在する (内田他 2016 年春季年会)。今回、このような領域ではエネルギー分解能が悪化することを確認した。そこで、SXI の応答関数を CCD 素子の場所毎にパラメータ化し、打ち上げ前の最終版の較正データベースとして整備した。この較正データベースは打ち上げ後の観測で精度を評価し、全世界のユーザーへ公開する予定である。本講演では、以上のように構築した SXI の応答関数について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323b **ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI における CTI 異常領域とその較正手法**

内田裕之, 鷲野遼作, 信川久実子, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 森浩二, 磯田依里, 坂田美穂, 西岡祐介, 山内誠, 甘日出勇 (宮崎大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 薮野綾 (大阪大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 信川正順 (奈良教育大), 村上弘志 (東北学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 ASTRO-H/SXI チーム

我々は ASTRO-H 衛星搭載用の軟 X 線撮像検出器 (Soft X-ray Imager: SXI) の開発を進めてきた。打ち上げ後の SXI の運用で問題となるのが、素子の放射線損傷による格子欠陥 (電荷トラップ) と、それによって生じる電荷転送非効率 (Charge Transfer Inefficiency; CTI) である。CTI はゲインとエネルギー分解能の劣化を引き起こす。2014 年春季年会 (信川 (久) ほか) で我々は、素子に一定間隔で人工的な電荷を注入し、電荷トラップを埋めることで信号電荷の損失を防ぐ「電荷注入法」を導入して CTI を補正できることをエンジニアリングモデルで実証した。また、2015 年秋季年会 (森ほか) では、電荷の拡がりのパターンに応じて CTI 補正量を変化させる必要があることを報告した。

我々はフライト用素子による地上試験で、暗電流の高い箇所 (CTI 異常領域) を確認した。異常領域は不揃いな円形の拡がりを持ち、こうした場所でゲインとエネルギー分解能は著しく低下する。原因は確定的ではないが素子の製造プロセスにおける金属汚染が有力であり、増加・拡大などの経年変化は起こさない。本発表では、電荷注入法による補正に異常領域の CTI の場所依存性をモデル化して、ゲインとエネルギー分解能の劣化を補正する手法を確立したことを報告する。また、エネルギー依存性を考慮した較正の具体的な手順についても説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324a

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 NGHXT の現状 (3)

森浩二 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 久保田あや (芝浦工業), 中澤知洋 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 馬場彩 (青山学院), 幸村孝由 (東京理科), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸, 渡辺伸, 佐藤悟朗, 中島真也, 小高裕和, 萩野浩一 (ISAS/JAXA), 松本浩典, 古澤彰浩 (名古屋), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之, 武田彩希 (京都), 常深博, 中嶋大, 穴吹直久 (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, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 岡島崇, 山口弘悦, 森英之 (GSFC/NASA), 他 NGHXT 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 Next Generation Hard X-ray Telescope (NGHXT) 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。NGHXT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」を探査し、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, ASTRO-H 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、メーカーと進めている設計検討の結果を中心に、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](#)

V325a **NGHXT に搭載する広帯域ハイブリッド X 線撮像分光器 WHXI の開発 (3)**

鶴剛, 武田彩希, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 幸村孝由 (東京理科大), 渡辺伸, 中島真也, 佐藤悟朗, 高橋忠幸 (宇宙研), 常深博, 中嶋大, 穴吹直久 (大阪大学), 中澤知洋 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), 深沢泰司, 高橋弘充, 大野雅功 (広島大学), 他 NGHXT チーム

NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) は, 1-80keV の広帯域を 10 秒角に迫る空間分解能で撮像する小型衛星計画である。私達はこれに搭載する焦点面検出器 WHXI (Wideband Hybrid X-ray Imager) の開発を進めている。1-80keV のワイドバンドに渡って, 高い検出感度と撮像分光性能を得るために, 硬 X 線を受け持つ CdTe 素子の上に, 軟 X 線を受け持つ X 線 SOIPIX 素子を置くハイブリッド構造の検出器の検討を行っている。WHXI の設計は ASTRO-H 衛星 HXI をベースにしており, DSSD に代わって搭載する X 線 SOIPIX 関連が最大の新規開発項目となる。X 線 SOIPIX 素子自身の開発として, 本予稿の段階では, (1) $24.6 \times 15.3\text{mm}^2$ のサイズの素子の製造, 厚み $1\mu\text{m}$ 不感層の裏面の開発, さらに薄い不感層の裏面のプロセスを実施 (伊藤他の講演参照), イベント駆動読み出し時の電氣的干渉の削減 (大村他の講演参照) を行った。さらに X 線 SOIPIX 用の透過型トレイの検討をメーカーと進めており, モックアップを作成する予定である。講演ではそれぞれの開発の現状と今後の見通しを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a **SOI技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 13: 裏面照射型素子の軟 X 線性能評価**

伊藤真音, 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 大村峻一 (京都大学), 中島真也 (ISAS), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 西岡祐介, 竹中亮太, 武林伸明, 野田向輝 (宮崎大), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (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), Craig Tindall(LBNL)

我々は、次世代の X 線天文衛星搭載を目指して X 線 SOI ピクセル検出器を開発している。これは SOI(Silicon On Insulator) 技術を用いることで、厚いセンサー部と高速の CMOS 読み出し回路一体構造として実現するものである。各ピクセルにヒットタイミングを出力させるイベントトリガー機能を備えることで、高い時間分解能 ($10\mu\text{sec}$ 以下) を得る。また、厚い完全空乏層を持つ裏面照射型素子により $0.5\text{-}40\text{keV}$ のワイドバンドな観測を実現する。

本講演では軟 X 線側の感度向上を目指す裏面プロセスの性能評価結果を報告する。我々は、裏面の暗電流を増やさない観点から、これまでに 2 種類の裏面照射型素子を開発した。1 つは、LBNL で開発されたイオンインプラントで低温アニール処理を行うことで、アモルファス Si を裏面の電極として形成した素子 LTA(Low Temp. Anneal)、もう 1 つは、イオンインプラント+レーザーアニール処理をした電極を持つ素子 LA(Laser Anneal) である。過去の結果から、LTA は $1.2\mu\text{m}$ 、LA は $1.9\mu\text{m}$ の不感層厚をもつことがわかった。今回、Cl、Ti、Fe、Se の特性 X 線を用いた評価を行っている。その詳細な X 線評価結果と半導体分析結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327a SOI技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 14: Double-SOI 構造素子の性能

大村峻一, 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 伊藤真音 (京都大学), 中島真也, (JAXA), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK), 森浩二, 西岡祐介, 竹中亮太, 武林伸明, 野田向輝 (宮崎大学), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (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), 原和彦, 本多俊介 (筑波大学)

X 線天文衛星で現在主流の検出器である X 線 CCD の時間分解能は数秒であるため、ブラックホールやパルサーなどの X 線天体のミリ秒の激しい時間変動の観測が出来ないという問題がある。そこで、我々は Silicon On Insulator(SOI) 技術を用いて、検出部と読み出し回路が一体型となった X 線天文衛星用 SOI ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、「イベント駆動」という X 線の入ったピクセルのみを選択的に読み出す方法を用いることで、数マイクロ秒という時間分解能を達成できる。これまでにイベント駆動読み出しの基本的な原理実証やスペクトル取得は成功した。しかし、ピクセル回路に搭載しているコンパレータの論理反転時のデジタル信号がアナログ信号に影響を与えるという問題が明らかになった。これは回路層・センサノードが容量結合していることが原因である。この電気的な干渉を切ることを目的に、我々は検出部と読み出し回路の間に新たに silicon 層 (SOI2 層) をシールドとして挟んだ Double-SOI 構造の素子を開発した。Am-241 を用いた評価を行ったところ、SOI2 層がシールド層として働き、干渉を切ることに成功した。その一方で、シールドとして働かせるためには、SOI2 層などに印加する電圧に条件があることがわかった。本講演では、その詳細な結果を報告するとともに、今後のピクセル構造のレイアウト開発に対する指針を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328a 次世代 X 線衛星での応用を目指した 1–80 keV の広帯域におけるアクティブシールドの最適化

古田禄大, 村上浩章, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

X 線衛星「すざく」の硬 X 線検出器やその後継衛星 ASTRO-H の硬 X 線撮像検出器 (HXI) では, ~ 10 keV 以上でより高感度の観測を実現するため, 主検出器を BGO シンチレータ ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) で囲み, 反同時計数をとることで視野外からのバックグラウンドを除去している。ASTRO-H の次には, 1–80 keV の広帯域を一つの検出器でカバーし, < 15 秒角の角分解能で撮像検出を行う硬 X 線ミッション NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) 計画がある。HXI と同様に BGO がアクティブシールドとして用いられる予定だが, 1–10 keV の軟 X 線帯域でもシンチレータを用いた反同時計数でバックグラウンドを落とした例は, これまでほとんどなかった。X 線 CCD など従来の軟 X 線検出器では Al とその表面コーティングを用いたパッシブなシールドでバックグラウンドを低減してきたからである。

軟 X 線帯域でアクティブシールドがどれほど効率的にバックグラウンドを低減できるかは未知数であり, CXB, 宇宙線陽子・中性子・電子, CXB によるシンチレータからの二次蛍光輝線・放射化など様々な要素について, 実験とシミュレーションの双方からよく検証する必要がある。HXI では観測下限を 5 keV まで下げたことで, スペクトルの 10–13 keV に BGO 中の Bi や Ge の蛍光輝線が見えるようになった。そこで今回は, 軟 X 線帯域におけるアクティブシールドの最適化の第一歩として, この二次蛍光輝線に着目し, これを抑えるために, BGO シールドの内側に原子番号の違う数種類の金属箔をパッシブなシールドとして配置する方法を検証した。金属の種類や枚数, 箔の厚さを検討するとともに, モンテカルロシミュレーター Geant 4 を用いて実験結果の再現を試みた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V329b NGHXT 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた、成膜による変形の調査

佐治重孝, 松本浩典, 田村啓輔, 古澤彰浩, 宮澤拓也, 小林洋明 (名古屋大学), Will Zhang, 岡島崇 (NASA GSFC), 他 NGHXT グループ

NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) は 0.5–80 keV のエネルギーバンド、15 秒角 (HPD) 以下の空間分解能で撮像分光観測を行う小型衛星計画である。主な目的のひとつは、宇宙 X 線背景放射を空間分解し、巨大ブラックホールの進化を解明することである。本計画では、サブミクロンの表面形状精度をもつ薄板反射鏡 (厚さ 0.2 mm 程度) が求められる。これまでに、薄板ガラスを整形して作られた反射鏡基板では 10 秒角を切る結像性能が実現されている。一方で基板上に X 線反射膜を成膜すると、反射膜の内部応力が基板を歪めてしまう。

名古屋大学では、この変形の抑制法を調査してきた。これまでに Pt や Ir 単層膜では成膜面が凸、Ni+V 合金では凹に変形することや、変形量が経年変化すること等を明らかにした (2015 年秋季年会にて報告)。今回新たに、基板の両面に反射膜を成膜することで変形を打ち消す方法を試みた。30 mm×70 mm、0.21 mm 厚の薄板ガラスの表面に Ir 200 Å を成膜した結果 64 μm たわんだが、基板の背面へ同しく Ir200 Å をつけたところたわみ量は 12 μm まで減少した。一方、10 秒角望遠鏡の実現にはもう一桁高い精度での変形のコントロールが必要である。

薄板ガラス小片のみならず実際に望遠鏡で用いられる回転放物面/双曲面の反射鏡基板に成膜した際の変形も調査するため、新たに基板内面への均一な成膜を行えるステージを開発・製作した。また、大型の反射鏡基板は重力の影響で歪みやすいため、従来の形状測定方法では目標の 10 秒角に対し十分な精度が得られなかった。これに対し、重力の影響を抑えられるよう基板を縦置きにして形状を測定するシステムを製作した。

本講演では前回報告時から新たに明らかにした反射膜の性質と、望遠鏡基板の成膜による変形について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330b 次世代 X 線撮像分光器 (XRPIX) の開発と基本性能の温度依存性の評価

玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将, 近野貴博, 幸村孝由 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一 (京都大学), 森浩二, 西岡祐介, 竹中亮太 (宮崎大学)

我々は、次世代の X 線天文衛星に搭載する SOI 技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器 (X 線 SOIPIX) である XRPIX を開発している。XRPIX は、反同時計測を可能にするために各ピクセルにイベントトリガー出力機能を持ち、ノイズを低減するために CDS 機能を兼ね備え、高い時間分解能 (数 μs) や、広いエネルギー帯域観測 (0.5 ~ 40 keV) を実現する検出器である。しかし、XRPIX は、高い読み出しノイズ ($\sim 35 e^-$) が原因でエネルギー分解能が悪く、読み出しノイズを改善することが最も重要な開発項目の一つである。

本研究では、XRPIX シリーズの中の XRPIX1、XRPIX2b、XRPIX3b の 3 種類の素子について、エネルギー分解能、ゲイン、読み出しノイズ、リーク電流などの基本性能の温度依存性の評価実験を行った。これまでの結果から、動作温度-80 におけるエネルギー分解能、読み出しノイズ、リーク電流が、XRPIX1 では 1080eV FWHM@5.95 keV、110e⁻、6.76e⁻/ms/30.6 μm 角 pixel、XRPIX2b では 630eV FWHM@5.95 keV、52e⁻、41.6e⁻/ms/30.6 μm 角 pixel、XRPIX3b では 337eV FWHM@5.95keV、35e⁻、13.7e⁻/ms/30.6 μm 角 pixel、であることが分かり、エネルギー分解能、読み出しノイズ、リーク電流は、いずれも動作温度に依存していることが分かった。

さらに、動作温度-80 における XRPIX3b_CZ を完全空乏化させるため、バックバイアスを 5 ~ 200V まで変更して測定を行った。測定結果より、完全空乏した状態では、バックバイアスとして印加している電圧が大きいため、5V を印加した時に比べ、100V を印加した際には、リーク電流と読み出しノイズがともに高く (315e⁻/ms/30.6 μm 角 pixel、37e⁻) となり、エネルギー分解能は 412eV FWHM@5.95keV と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](#)

V331c 広天域硬 X 線観測モニターの APD 専用低ノイズ LSI の性能評価

有元誠, 針田聖平, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 池田博一 (ISAS), 富田洋, 上野史郎 (JAXA), 三原建弘, 芹野素子 (理化学研究所), 吉田篤正, 坂本貴紀 (青山学院大学), 常深博 (大阪大学)

広天域硬 X 線モニター (以下、硬 X 線モニター) は、重力波イベントに同期した X 線対応天体を検出する ISS 搭載ミッション Wide-Field MAXI に向け開発を進めていた検出器だったが、検出器構成をスケールダウンした iWF-MAXI では硬 X 線モニターの搭載は見送られた。しかしながら、我々は他のミッションへの参加や超小型衛星などの飛翔機会を目指し、継続して硬 X 線モニターの開発を進めている。

硬 X 線モニターの検出器構成は、APD (アバランシェフォトダイオード) と GAGG (Gadolinium Aluminum Gallium Garnet) 結晶を組み合わせたシンチレーターの 1 次元アレイであり、20 keV – 1 MeV で 120 cm² の有効面積を持つ。我々はこれまで APD に最適化された LSI の開発を重ねており、低消費電力、広ダイナミックレンジ、32 チャンネルの高速な AD 変換とその信号読みだしが主な特徴である。開発する上での最大の懸念事項は、LSI のアナログ増幅部に係るノイズであり、このノイズが 20 keV 付近のエネルギーしきい値を決定する。過去に開発したものはノイズ特性が想定以上に悪かったが、今回開発した LSI では内部の寄生容量を抑えたレイアウトを工夫することで、10 ~ 15 % のノイズ低減に成功した。本発表では、このノイズ特性評価の報告に加え、GAGG 結晶を用いて得られたスペクトルにより決定したエネルギー下限しきい値についても報告する。また衛星軌道上ではセンサー部は堅牢な放射線耐性が求められるため、今回の開発した LSI に対して、若狭湾エネルギー研究所にて数 10 MeV の陽子ビーム照射試験、および Co ガンマ線照射試験を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a 広帯域 X 線イメージセンサ SDCCD(Scintillator Deposited CCD) の硬 X 線分光性能評価

今谷律子, 中嶋大, 薙野綾, 穴吹直久, 井上翔太, 廣瀬真之介, 正村陸 (大阪大学), 岸本俊二 (KEK), 林田清, 常深博 (大阪大学)

SDCCD は軟 X 線から硬 X 線まで (1~100keV) を単一素子でカバーする広帯域 X 線イメージセンサである。これは完全空乏化した従来型 X 線用 CCD 素子の入射面の裏側に柱状結晶構造の CsI(Tl) シンチレータを光学セメントで直接接着した構造である。これにより今まで Si 半導体の CCD を透過して検出できなかった硬 X 線をシンチレータで吸収し可視光に変換、その可視光を CCD で間接的に検出し、CCD の優れた位置分解能を保ったまま硬 X 線領域まで高い検出効率を示す。しかし得られる硬 X 線イベントは一度シンチレータで可視光に変換されるため、従来の CCD イベントより複数ピクセルに広がって検出される。そのためシンチレータイベント判定にはフィッティング法を採用した。これはイベントの波高分布を 2 次元ガウシアンでフィットし、その関数の体積を積分してイベントの波高値を得る方法である。CCD イベントには従来通りグレード法を適用した。我々は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) Photon Factory で SDCCD 素子に 30-80keV の硬 X 線を照射した。CsI で検出されたイベントのパイルアップを防ぐために X 線強度を十分低減しつつ、撮像領域全体にわたり性能評価を行うために、90° 散乱された X 線を照射させた。素子温度は、CCD-CsI 間にある光学セメントの性能維持温度下限である約 -70℃ に冷却している。またエネルギー較正の目的で、¹⁰⁹Cd からの X 線スペクトルも得ている。これまでの解析の結果、CsI で検出した場合に予想される発光量と、矛盾のない信号波高値を得られている。本講演では、線形性やエネルギー分解能、検出効率などの分光性能評価結果をまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a X線多重像干渉計の概念検討

林田 清、久留飛寛之、中嶋 大(大阪大学)

X線天文学の分野で最高の角度分解能は、Chandra衛星搭載の望遠鏡の0.5秒角である。これをこえることは容易ではないとされており、実際、2020年代後半に打ち上げを計画されているヨーロッパ中心の大型天文台ATHENAでも望遠鏡の角度分解能は5秒角である。これに対して、より高い角度分解能の撮像(あるいはX線天体のサイズ測定)をめざしたX線干渉計画も提案されている。アメリカのMAXIM計画がそのひとつであるが、複数の衛星を用いる巨大計画で具体的な見通しは不明である。これに対して、立教大学のグループは半透膜ミラーと平面鏡を使用して1台の衛星で実現できる干渉計を提案している。

本講演では、これらと異なり光学系を用いない新しいタイプの干渉計を提案する。構造は、数ミクロンピッチの回折格子とX線位置&エネルギー検出器だけを組合わせた単純な形式である。この干渉計でかぎになるのが、平行光を格子に入射させたときに、格子と同じ間隔の像(自己像)が、格子からある周期的な距離にできる、タルボ効果という現象である。対象が無遠の点源の場合、それからわずかにひろがっている場合、この自己像のプロファイルに差が生じ、そこからX線天体のサイズが測定できるはずである。測定したい自己像のプロファイルは、同一のものが格子の数だけ多数存在する。したがって、X線検出器の位置分解能が不足する場合でもモアレ測定ができる。この干渉計は、タルボ効果を利用するものではあるが、生体の位相コントラスト撮像法として開発されているX線タルボ干渉計とは対象も測定方法も異なる。X線多重像干渉計と仮称したい。

現在入手可能な5 μ mピッチの回折格子を使い、0.1nm(12keV)のX線を対象とすると、第一周期の像ができる距離は25cm、自己像の幅は2秒角となる。より高い角度分解能を得る方策や偏光検出についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334c 補償光学を利用した X 線直入射望遠鏡; X-mas Project

北本俊二、今井健人、持田葵、星野昌夫、杉本樹梨、鈴木大朗、吉田裕貴、津村大樹、上田翔大、小仁所亜美 (立教大・理)

私たちの研究室では X-mas 望遠鏡と称する高角度分解能 X 線望遠鏡の開発を行っている。X-mas は X-ray milli-arc-sec の略で、ミリ秒角の分解能を持つ X 線望遠鏡を開発することを目標としている。X-mas 望遠鏡は、波面センサーと可変形鏡による補償光学を用いて、入射した光の波面の乱れを修正することでより精度の高い分解能を得ようと試みている。球面鏡の主鏡、および、平面の可変形鏡はともに Mo/Si の多層膜であり、13.5nm の X 線を反射することができる。今年度の X-mas 望遠鏡の実験では、昨年度まで使用していた波面センサーを新しいものに交換し、より高い精度を求めて実験を進めている。また、使用している CCD もこれまでの 24 μ m ピクセルから 12 μ m ピクセルのものに変更した。実験では、主鏡から約 4m のところに設置した直径 50 μ m のピンホールを撮像することで、望遠鏡の性能を測定している。現段階ではまだ X 線を用いて実験はできていないが、新しい波面センサーを用いて可視光の補償用レーザーを用いた閉ループ制御に成功した。閉ループ制御中の目標波面から測定波面の rms 誤差はおよそ 50nm で、まだ少し目標には届いていない。さらに、目標波面をゼルニケ多項式で展開し、その係数の一部を変化させることで目標とする像の分解能や形状を変化させることが出来る事も確かめた。主鏡の直径は 80mm、試験で利用している光の波長は 658nm なので、回折限界は 2.0 秒角である。これに対して、ピンホール像の分解能もおおよそ 2.1 秒角の性能が得られている。現在は、X 線での実験に向けて準備中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a 集束イオンビームを用いた Si ミラーにおける X 線反射実証

沼澤正樹, 江副祐一郎 (首都大学東京), 石川久美 (理研), 小川智弘, 佐藤真袖, 中村果澄, 武内数馬, 寺田優, 大橋隆哉 (首都大学東京), 満田和久 (ISAS/JAXA), Ron Kelly (FEI Company), 村田薫 (FEI Japan Nano Port)

我々はマイクロマシン技術を用いた超軽量 X 線光学系を開発している (Ezoe et al. 2010 MST)。製作プロセス単純化のため、今回新たに集束イオンビーム (FIB) 技術に着目した。FIB 技術は、集束させた Ga^+ などの加速イオンでサンプル表面の原子をはじき飛ばして滑らかに加工する技術で、サンプルステージの角度が可変なため、あらかじめ角度を持った微細穴を形成でき、従来は不可欠であった平滑化と球面変形のプロセスが不要になる。

本研究では開発の初期段階として FIB 技術を用いた Si 基板試作鏡を製作し、結果として本試作鏡において世界初となる X 線反射を実証した (Numazawa et al. submitted JJAP)。製作した試作鏡には、異なる 3 つの側壁角度 (0° , $\pm 1^\circ$) をもつ $\sim 25 \mu\text{m}$ (幅) $\times 300 \mu\text{m}$ (長さ) $\times 170 \mu\text{m}$ (厚さ) のスリットをそれぞれ 2 つずつ、合計 6 つ設計した。ISAS 5 m ビームラインにおいて行った X 線照射試験では、 Al K_α (1.49 keV) の X 線ビームを、スリット毎に入射角 $0.5\text{--}1.4^\circ$ の範囲で個別照射し、比例係数管を用いてそれぞれの反射プロファイルを取得した。反射プロファイルは 2 つのガウシアンでフィットでき、これは 1 つの反射面に 2 つの角度成分があることを示唆する。角度成分ごとに算出した反射率からは、すべての反射面の表面粗さが $\sim 1 \text{ nm rms}$ であり、また有効反射面が $\sim 10\text{--}25\%$ であることが分かった。また $\pm 1^\circ$ に設計されたスリットの実際の側壁角度はそれぞれ $+1.0^\circ$ 、 -0.6° とおおむね設計通りに製作できていることを確認した。本講演では本試験の詳細な結果と今後の課題について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V336a 太陽 X 線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究開発

坂尾太郎 (JAXA), 松山智至, 後藤拓実, 西原明彦, 中森紘基, 山内和人 (阪大), 木目歩美 (JAXA), 香村芳樹 (理研 SPring-8), 末松芳法, 成影典之 (国立天文台)

将来の太陽 X 線観測で、軟 X 線コロナをサブ秒角で撮像観測することをめざし、高精度の Wolter I 型斜入射 X 線ミラーを国内開発するための研究を進めている。一昨年度に続き、昨年度、2 つめのミラーを試作した。試作の研磨加工方針として、一昨年度に課題として抽出した、1 mm 程度の空間スケールでの形状残差リップルを低減することに注力した。回転放物面・回転双曲面をガラスセラミック基板に一体成形し、斜入射角は 0.45° 、焦点距離 4 m である。10 keV 程度の X 線にまで反射率を確保するために、ミラー面には Pt を蒸着している (有効面サイズは、放物面部・双曲面部とも、約 3 cm (光軸方向) \times 1 cm 幅)。

同ミラーに対し、SPring-8 BL29XUL ビームラインで 8 keV の X 線を用いた集光性能の評価計測を実施した。ほぼ平行な入射 X 線ペンシルビームに対して、ミラーの面内 (sagittal) 方向・面外 (meridional) 方向とも、FWHM 幅で約 0.2 秒角の集光を達成した。一方、集光スポットのすぐ外側に存在する散乱 X 線により、集光スポットの HPD (Half Power Diameter) は約 3 秒角にとどまっておらず、1 mm 前後の中間空間スケール帯で形状誤差振幅を 1/2 程度に低減する必要のあることを特定した。また、ミラーの面外方向の集光焦点距離は、設計値より 1 割ほど短く、これはミラー表面形状の sag が理想値から約 7 nm ずれている (曲率半径が小さい) ことに対応する。

昨年度の加工と X 線計測結果に基づき、目下、同ミラーに対する改善研磨加工に着手している。講演では、上述の試作および X 線計測の結果と、それを受けて現在進めている改善加工の概要を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337a ダークバリオン探査ミッション DIOS 開発の進展状況

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、竹井 洋 (ISAS/JAXA)、
田原 謙、三石郁之 (名古屋大)、太田直美 (奈良女子大)、DIOS ワーキンググループ

DIOS 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の衛星計画である。多くのバリオンの存在形態を確認することで、宇宙の熱史と構造形成の歴史を知ることができ、星や銀河の形成とは異なった角度から宇宙の進化を知る点でも、ダークバリオン観測の意義は大きい。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、30–50 分角の広視野と 5 eV を切るエネルギー分解能を実現する。ダークバリオン以外にも、地球近傍から銀河団までさまざまなスケールのガスのダイナミクスの観測が可能である。2022 年ごろの打ち上げを目指して、JAXA のイプシロン搭載ミッションへの提案へ向け準備を進めている。

衛星システムとしての実現可能性をより確実にするために各種開発や検討を進めている。X 線望遠鏡は、視野を広げるために 4 回反射型を開発しているが、焦点距離を 1 m ほどに伸ばすことで、ダークバリオンに対する感度を下げずに有効面積を 2 倍ほど向上できると考えられ、試作および測定を行っている。これと合わせて、高速姿勢制御を導入し、ガンマ線バーストを背景光源として遠方宇宙のガスによる吸収線を検出する可能性について検討を進めている。また、大構造形成の新しい N 体計算結果をもとに、ダークバリオン観測のシミュレーションを改良しようとしている。DIOS 衛星の熱設計についても、望遠鏡の改良を含めつつ衛星バスと一体化させる方向で新たに検討を進めており、それら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](#)

V338a 小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射 X 線望遠鏡の製作とその評価

萬代絢子, 馬場崎康敬, 中道蓮, 田原謙, 三石郁之 (名古屋大学)

宇宙の大規模構造に沿って分布しているとされている中高温銀河間物質の空間構造を解明するため、小型衛星 DIOS(Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) は大有効面積かつ広視野の X 線望遠鏡を必要とする。これを満たすため、従来の 2 回反射光学系にかわり、4 回反射光学系を持つ FXT (Four-stage X-ray Telescope) が開発されている。FXT は厚さ 0.22 mm の円錐近似した反射鏡を同心円状に多数配置した構造を持つ。要求されている結像性能は 5 分角である。

現在、3 keV 以上の X 線に対する感度を向上させるために、これまでの口径 600 mm、焦点距離 700 mm のベースラインの FXT を、口径 1020 mm、焦点距離 1200 mm に拡張したモデルが検討されている。本研究では拡張モデルの直径 240 mm 付近の反射鏡を製作し、宇宙研の 27 m ビームラインを用いて、高エネルギー側の性能評価を行った。Ti の $K\alpha$ 線 (4.5 keV) のペンシルビームを用いた局所的な性能評価の結果、結像性能は 4 段 1 組の最も良いもので ~ 5.0 分角であった。一方、4 段 3 組全体の性能としては ~ 5.6 分角であった。また、有効面積は $\sim 23\text{mm}^2$ となり、光線追跡シミュレータを用いて予測した結果に対する throughput は $\sim 90\%$ であった。

ベースラインについても、直径 480 mm 付近の反射鏡を製作し、性能を評価した。これまで、反射鏡両端の形状悪化が問題となっていたため、反射鏡を円周方向に長く作り、形状がよい部分を切り出して用いた。その結果、Al の $K\alpha$ 線 (1.5 keV) のペンシルビームを用いた局所的な結像性能は 4 段 1 組の最も良いもので ~ 6.0 分角であり、これまでの結果 (~ 6.5 分角、馬場崎他 2015 年春季年会など) より向上した。本講演ではこれらの結果の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339a **GHz 帯 LC 共振器を用いた極低温下での誘電体マイクロカロリメータによる X 線検出実験**

星野全俊、菊地貴大、中山貴博、山崎典子、満田和久（宇宙科学研究所）、佐藤浩介（東京理科大学）、前畑京介（九州大学）、小嶋崇文（国立天文台）

次世代の宇宙 X 線観測用検出器には $E/\Delta E \sim 1000$ の分光能力とメガピクセルの撮像能力を持った検出器が求められる。X 線マイクロカロリメータはこれらを同時に達成できる可能性をもつ検出器である。X 線マイクロカロリメータは素子に入射した X 線光子を温度上昇として読み出すことで高い分光能力を実現できる。熱容量を小さくし大きな温度上昇を得るために ~ 100 mK という極低温で動作させる。電気抵抗の変化を読み出す方法ではピクセル数が増えるにつれ配線からの熱流入が大きくなり極低温を保てず、数 1000 ピクセルが限界と言われている。そこで我々はメガピクセルの撮像能力を目指した誘電体 X 線マイクロカロリメータの開発を行っている。誘電体 X 線マイクロカロリメータは誘電率に温度依存性を持つ誘電体を使用し、LC 共振回路に組み込むことで温度変化を共振周波数の変化として読み出すものである。伝送路に対してピクセルを並列に接続し、GHz 帯に共振周波数を並べていくことで 1 本の伝送路に対して 1000 ピクセル程度の多重化が原理的に可能である。

これまで我々の研究では 2 K においてチタン酸ストロンチウム (STO) を用いた共振器でポロメータ的ではあるが LED 光 (\sim GeV) の検出に成功している。しかし、カロリメータとして X 線検出を行うためには極低温でも誘電率に温度依存性を持つものを使用した共振器が必要となる。誘電体の候補としては酸素同位体置換を行った STO やタンタル酸二オブ酸カリウムがある。本講演ではこれらを使用する共振器を含めた誘電体 X 線マイクロカロリメータの開発状況について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V340a

ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XV

辻本匡弘, 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤 (JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也, 瀬田裕美 (首都大), 田代信, 寺田幸功 (埼玉大), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), 玉川徹, 石川久美, 野田博文 (理研), 佐藤浩介 (東京理科大), 太田直美 (奈良女大), 澤田真理 (青山学院大), 三石郁之 (名古屋大), 村上正秀 (筑波大), 村上弘志 (東北学院大), 伊豫本直子 (九州大), 谷津陽一 (東工大) R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, K. R. Boyce, M. E. Eckart, M. P. Chiao, M. A. Leutenegger, (NASA/GSFC), G.V. Brown (LLNL), D. McCammon (Wisconsin 大), A. Szymkowiak (Yale 大), J.-W. den Herder, D. Haas, C. de Vries, E. Costantini, H. Akamatsu (SRON), S. Paltani (Geneva 大), 他 ASTRO-H SXS チーム

SXS (Soft X-ray Spectrometer) は、ASTRO-H 衛星搭載の X 線マイクロカロリメータアレイであり、軟 X 線望遠鏡の焦点において $\Delta E < 7 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$ の精密分光を行う。検出器と断熱消磁冷凍機、前置信号処理回路等を米国、室温から 4K までの冷却系 (デュワ、機械式冷凍機と駆動回路) とデジタル信号処理回路等を日本、フィルタホイール等を欧州が担当する。前年会では、衛星熱真空試験等の結果に基づき、SXS がシステムレベルで性能要求を満たすものに仕上がったことを報告した。本講演では、環境試験後の電気性能・機能試験について報告する。懸案であった、各種ノイズは再発しないか十分に低い程度で、要求性能は十分なマージンをもって満たすことを再確認した。また、自律コマンドなど、衛星システムとのインターフェイスを持つ機能試験もひと通り終了した。種子島輸送後の電気試験、打上げオペレーション、初期運用まで、最新の結果も可能な範囲でカバーする。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V341a ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 (SXS) の初期運用熱解析

野田博文 (理研)、満田和久、山崎典子、竹井洋、岡本篤 (JAXA)、藤本龍一 (金大理工)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎 (首都大理工)、石川久美、(理研)、三石郁之 (名大理)、M. DiPirro、P. Shirron (NASA/GSFC)、吉田誠至 (住友重機械工業)、他 ASTRO-H SXS チーム

精密軟 X 線分光装置 (SXS; 辻本他講演) は、ASTRO-H 衛星に搭載される X 線マイクロカロリメータであり、センサーを 50mK という極低温に保つことで、5.9 keV で半値幅 < 7 eV という高いエネルギー分解能を発揮する。SXS 内部は外側から、複数のシールド、He タンク、センサーの順で構成され、機械式冷凍機を用いたシールドの冷却によって He タンクへの熱流入を抑えるとともに、液体 He の蒸発冷却を用いて、He タンクおよびその内側のセンサーを極低温に保つ。液体 He の流出を防ぐため、Porous Plug (石川他 2015 年秋年会講演 V327a) によって無重力下で液相と気相を分離し、気化した He のみを排気するシステムを用いているが、このシステムを正常に働かせるためには、He を常に λ 点 ~ 2.17 K 未満の温度に抑え、超流動状態に保つ必要がある。

今年度末に予定される ASTRO-H 打ち上げ時の SXS 初期運用では、冷凍機によってシールドを冷却した後、打ち上げ直前に全ての冷凍機を止め、衛星が軌道投入された後で再び稼働する。その際、一時的にすべての冷凍機を止めるため、シールド温度が上昇し、He タンクへの熱流入が増大する。我々は、この時の He の温度上昇の度合いを調べるため、SXS 内部のシールド、冷凍機による冷却、液体 He の蒸発冷却を模擬した熱数学モデルを構築し、打ち上げ時の冷凍機停止を考慮して、He 温度が軌道上でどう変化するか時系列シミュレーションを行った。その結果、SXS 初期運用では、He 温度が常に λ 点 ~ 2.17 K 未満に保たれることを確認した。本講演では、これらシミュレーション結果をまとめるとともに、打ち上げ時の実測温度との比較も合わせて報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V342a ASTRO-H 衛星搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の現状

田中孝明, 鶴剛, 内田裕之 (京都大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 薙野綾 (大阪大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苅権, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 廿日出勇, 山内誠, 森浩二, 西岡祐介 (宮崎大学), 村上弘志 (東北学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 馬場彩 (青山学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 平賀純子 (関西学院大学), John Doty (Noqsi Aerospace), 他 ASTRO-H SXI チーム

我々は ASTRO-H 衛星搭載の軟 X 線撮像検出器 (SXI: Soft X-ray Imager) の開発を行ってきた。SXI では、センサとして空乏層厚 $200 \mu\text{m}$ を有する P チャンネル裏面照射型 CCD を採用することで $0.4\text{--}12 \text{ keV}$ の広い帯域で十分に高い量子効率を実現する。CCD の撮像領域面積は $31 \text{ mm} \times 31 \text{ mm}$ であり、4 素子を 2×2 のモザイク状に並べることで $38' \times 38'$ の広い視野を確保する。

2015 年 4 月までに SXI の全てのコンポーネントの衛星への組み付けを完了し、その後、熱真空試験や機械環境試験をはじめとする衛星総合試験に参加した。各試験において大きな問題は見つかっておらず、エネルギー分解能をはじめ、これまでの単体試験と同等の性能が得られていることを確認した。また、並行して、衛星搭載前に行った地上較正試験のデータ解析を行っており、打ち上げ後の観測に向けた準備を着々と進めているところである。

本講演では、上で述べた地上試験の結果を報告する。さらに、間に合えば、軌道上での立ち上げオペレーションや、ファーストライト観測の結果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](#)

V343a **ASTRO-H SXT用反射鏡の金のL吸収端付近の反射率測定と応答関数構築用の原子散乱因子**

菊地直道, 佐藤寿紀, 倉嶋翔(首都大学東京), 石田學, 前田良知, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 林多佳由, 岡島崇 (NASA/GSFC), 佐治重孝, 立花献, (名古屋大学), 宇留賀朋哉, 新田清文 (JASRI/SPring-8), ほか measurements collaborations

ASTRO-H 搭載の2台の軟X線望遠鏡(SXT)は、反射鏡表面に金を蒸着した Wolter-I 型の光学系を用いて、0.3-12 keV の天体からの X 線の集光を担う。SXT の内1台は、 $\Delta E < 7$ eV という分光能力を誇る X 線カロリメータ(SXS)と組み合わせられるため、観測データを有効活用するには高精細な応答関数が要求される。このSXSの検出帯域には、反射鏡由来の複雑な吸収端構造が存在し、特に本講演では Au-L edge(11-15 keV) 付近の反射率測定結果を取り扱う。このエネルギー帯は、SXS よりも高エネルギー側の観測を行う硬 X 線検出器の検出帯域とオーバーラップするため、相互の較正を行う上で重要な帯域である。しかし、今までの応答関数を導出する際、吸収端構造の情報を持つ原子散乱因子は Henke1993 などのデータを参照してきたが、これらの文献のエネルギーピッチではSXSの分光能力に対応できない。また、これらのデータはバルク状態であり、薄膜状態ではない。そのため、SXT 用の反射鏡の吸収端付近の反射率測定し、原子散乱因子を独自に導出する必要がある。

この必要性から、2014年10月にSPring-8 BL01B1にSXT用反射鏡を持ち込み、Au-L edge 付近で詳細な反射率測定を行った。反射率のエネルギー依存性を 0.3-0.7 eV のピッチで測定したことで XAFS を捉え、edge の深さが Henke 1993 に対し ~60 %程度小さくなることが分かった。さらに、このデータを用いてエネルギーごとの原子散乱因子の取得を行った。本講演では反射率測定の結果と、導出した原子散乱因子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](#)

V344a ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡の迷光の較正

倉嶋翔, 佐藤寿紀, 菊地直道, 中庭望 (首都大学東京), 飯塚亮, 前田良知, 石田學 (ISAS), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (GSFC), 他 the ASTRO-H SXT team

ASTRO-H には 10 keV 以下の X 線の集光を担う軟 X 線望遠鏡 (SXT) が 2 台搭載される。SXT は Wolter-I 型斜入射光学系を採用しており、動径方向に多数積層した薄いアルミニウム基板でできた反射鏡による 2 回反射で X 線を集光することで軽量かつ大有効面積を実現している。しかし集光された X 線の中には 1 回反射のみや反射鏡の背面反射などの通常とは違うパスを通ったものも混ざっている。これを迷光と呼ぶ。迷光は反射鏡の上部に設置されているプリコリメーターによってその大部分が遮断できているが、完全には遮断できていないことが地上較正試験の結果から判明している。そこで我々は SXT の地上較正試験の測定結果を再現するような応答関数の構築を行っている。応答関数に望遠鏡の情報を組み込む際、計算機内で仮想的な望遠鏡を構築しシミュレーションを行う Ray-tracing プログラムを用いる。我々はこれに必要なパラメーターである反射鏡表面、反射鏡背面、プリコリメーターブレードの反射率と反射光強度の角度分布の測定を宇宙科学研究所 X 線ビームラインで行った。測定では Al-K α (1.49 keV), Ti-K α (4.51 keV), Cu-K α (8.04 keV) の 3 つの特性 X 線のエネルギーを用いることで、各パラメーターのエネルギー依存性を得た。これらの測定結果から、反射鏡背面の反射率が X 線天文衛星すざくのものに比べ少なくなっていることや、プリコリメーターブレードの反射率はすざくのものと同様であることがわかった。また、これらの測定結果をもとに各パラメーターのモデル化を行い、Ray-tracing に組み込みシミュレーションを行った。本講演ではこれらの結果と地上較正試験との比較について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V345a

ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状打ち上げ

中澤知洋 (東大理)、国分紀秀、佐藤悟朗、萩野浩一、太田方之、小高裕和、川原田円、佐藤理江、高橋忠幸、武田伸一郎、原山淳、渡辺伸 (ISAS/JAXA)、榎戸輝揚、田中孝明 (京大)、寺田幸功 (埼玉大)、内山秀樹 (静岡大教)、谷津陽一 (東工大)、中野俊男 (東大理)、田島宏康、山岡和貴 (名大 ISEE)、大野雅功、勝田隼一郎、高橋弘充、深沢泰司、水野恒史 (広大理)、中森健之 (山形大理)、野田博文、牧島一夫、湯浅孝行 (理研)、内山泰伸、斉藤新也 (立教)、片岡淳 (早大理工)、Philippe Laurent、Francois Lebrun、Olivier Limousin (CEA Saclay)、他 HXI チーム

2016 年を迎え、いよいよ ASTRO-H 衛星が打ち上げられようとしている。搭載観測機器の一つである硬 X 線撮像検出器 (Hard X-ray Imager: HXI) は、硬 X 線望遠鏡と組み合わせることで、5–80 keV の硬 X 線帯域で撮像分光を実現する。角度分解能 ~ 2 分角 (HPD) で 9.2×9.2 分角の視野を持ち、エネルギー分解能は 1–2 keV (FWHM) である。HXI の主検出器部は、シリコン (Si) およびテルル化カドミウム (CdTe) 半導体で構成され、これを BGO シンチレータのアクティブシールドで囲むことでバックグラウンドを低減し、さらに感度を上げている。

HXI 2 台を含む全ての観測装置を搭載した ASTRO-H 衛星は、2015 年度中を通じて打ち上げ前の最終試験を進め、全ての性能が要求を満たすことを確認した。HXI も上記の主要性能が全て達成できていることが確認できた。2016 年度の初頭の打ち上げを前に、種子島宇宙センターへの移動と現地での輸送後試験も進んでいる。これまでのデータから、軌道上での検出器パラメータを導出し、運用コマンドプランも策定した。NASA と協力して解析ソフトウェアや検出器応答の準備も進められている。打ち上げ後は、姿勢・電源・通信などの衛星側の準備が整ったところで進展式光学ベンチを伸ばし、HXI の電源を入れて、いよいよ観測を開始することになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V346a **ASTRO-H 衛星搭載 軟ガンマ線検出器 (SGD) コンプトンカメラの偏光
ビーム試験**

枝廣育実, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功, 北口貴雄, 勝田隼一郎, 幅田翔, 大橋礼恵, 岡田千穂, 内田和海, 深沢泰司 (広島大), 渡辺伸, 太田方之, 林克洋, 小高裕和, 一戸悠人, 内田悠介, 米田浩基, 高橋忠幸 (ISAS), 伊藤真義 (JASRI), 武田伸一郎 (OIST), 田島宏康 (名大 ISEE), 湯浅孝行 (理研), 他 HXI/SGD チーム

軟ガンマ線検出器 (SGD) は、2015 年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載される検出器の一つで、60-600 keV の帯域において過去最高感度での観測を目的としている。主検出部は Si/CdTe 半導体ピクセル検出器を積層したコンプトンカメラ (CC) であり、Si 半導体を 32 層、Si 層の下に CdTe 半導体を 8 層 (CdTe-Bottom)、それらの周囲 4 方向に CdTe 半導体を 2 層ずつ計 8 層 (CdTe-Side) を積層している。SGD の観測ではコンプトン散乱の異方性を調べるにより天体信号の偏光の情報を得る事ができ、Crab Nebula のような明るい天体だけでなく、暗い天体の偏光観測も期待され、磁場や散乱体などの他の手段で得られない物理量を得る事ができる。

SGD の偏光科学観測では信頼できる偏光応答が必要であり、そのためにシミュレーターを用いる。シミュレーターの検証のため、2015 年 11 月 12-14 日に SPring-8 の BL08W において 122, 193 keV の単色直線偏光ビームを用い、衛星搭載品と同じ構成の試作機による偏光ビーム試験を行った。最も基本的なイベントである、Si でコンプトン散乱し、CdTe-Side で光電吸収されるイベントについて解析を行い、実験データ解析によるモジュレーションファクターを相対値 10%以内でシミュレーターにより再現することができた。今後は散乱角や Si の反応位置による依存性などより詳しい解析を行う予定であり、本講演ではその結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V347a 磁気回折のX線偏光解析への応用についてII

安達弘通（信州大学）

磁性体による回折現象を利用したX線の偏光分析法について研究を行っている。前回の講演では、このような方法が宇宙X線の観測に対して現実的であるための前提条件として、いかにして通常の電氣的な散乱による回折信号を抑え、磁気回折信号を感度よくとらえることができるか、ということを中心にお話した。今回の講演では、本手法のもつ以下の側面について考察を加えてみたい。

一つは、系統誤差に左右されにくい分析の可能性についてである。宇宙X線は多くの場合あまり大きな偏光度が期待できるものではなく、それゆえ装置由来の誤差をいかに排除して真の偏光状態を見定めるかというところに技術的な難しさがあることは周知のとおりである。この点、磁気散乱を利用した方法はやや独特なアプローチをとるので、そのことについて考えてみたい。

もう一つは、円偏光の検出についてである。磁気散乱を使った偏光計では直線偏光だけでなく円偏光の検出が可能であることは古くから知られているが、我々が目下検討中のケースに則して、それがどのように達成できるか議論できればと考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V348a iWF-MAXI : 国際宇宙ステーション搭載広天域軟 X 線監視ミッション

河合誠之, 谷津陽一, 有元誠 (東工大), 富田洋, 上野史郎, 海老沢研 (JAXA), 三原建弘, 芹野素子, 湯浅孝行 (理研), 常深博, 穴吹直久 (阪大), 吉田篤正, 坂本貴紀 (青学大), 幸村孝由 (東理大), 根来均 (日大), 上田佳宏, 中村, 卓史, 田中, 貴浩 (京大), 坪井陽子 (中大), 森井幹雄 (統数研), 吉田道利 (広島大), 神田展行 (阪市大), Mark Vagins (IPMU), ほか iWF-MAXI チーム

iWF-MAXI (広天域軟 X 線監視装置) は、X 線トランジェント現象の発見と位置即時通報を主要な任務とする国際宇宙ステーション搭載ミッションである。KAGRA 等によって数年以内に検出されると期待される重力波現象の X 線対応天体の探索や、X 線連星の活動の監視、ガンマ線バーストの位置通報などとともに、初の本格的軟 X 線トランジェント監視装置として超新星のショックブレイクアウトや潮汐破壊現象、恒星のスーパーフレアなどまだよく調べられていない軟 X 線領域の突発現象の初期観測を重要な科学目標とする。2010 年代末の運用開始を目指して JAXA/ISAS の小規模プロジェクトに応募し、設計検討を進めている。開発費用低減・期間短縮のために宇宙ステーション曝露部共用バス iSEEP を用い、X 線 CCD と符号化マスクを組み合わせた軟 X 線大立体角カメラ (SLC) によって広い天域を監視する。宇宙ステーション搭載装置として、形状、質量、電力、熱環境、姿勢、放射線環境、安全基準などさまざまな制約がある一方、軌道上の約 70 % は地上と通信がつながっていることは突発天体の速報を容易に実現できるという利点をもつ。一方、最大の課題は毎週回に観測装置前面に日照を受けることに起因する熱環境と周辺構造物からの反射光である。本発表ではこれらの課題への取り組みなど現在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](#)

V349a 超小型衛星を用いた重力波に同期した X 線突発天体探査

澤野達哉, 米徳大輔, 吉田和輝, 鳥屋子あすか, 加川保昭, 河合謙太郎, 伊奈正雄, 遠藤友 (金沢大学), 池田博一, 原山淳 (ISAS/JAXA), 有元誠 (東工大)

重力波の直接検出は、強い重力場中での一般相対論の実験的検証や、高密度星の崩壊・合体のダイナミクスを探るプローブとして極めて重要である。2018年よりKAGRA、Advanced LIGO、Advanced Virgoによる重力波干渉計ネットワークが本格的に稼働し、大質量星の崩壊や、星の潮汐破壊、中性子星連星の衝突合体などに伴う重力波イベントの初検出が待たれている。一方で、重力波干渉計による天体の方向決定精度は、全天にわたる数100平方度と粗く自身では母銀河を同定することができない。親星の周囲の環境や重力エネルギーの解放から放射へ至るメカニズムの理解には、電磁波観測との連携が非常に重要になるが、突発天体を広視野で監視するためにはX線、ガンマ線帯域が有効である。特に、軟X線帯域は、重力波天体の有力候補である中性子星連星の衝突合体によって生じると考えられている短時間ガンマ線バースト (Short GRB) の初期放射や付随する Extended Emission、潮汐破壊による熱的な放射など、興味深い観測対象に富んだ領域である。我々は、これらの背景から広視野の軟X線撮像検出器を搭載した超小型衛星計画を推進している。軟X線に観測帯域を持つことで、有効面積が100 cm² 級でも Short GRB の軟X線超過成分に対してはSwift/BATよりも良い感度であり、15分角の角度分解能でX線突発天体の方向を決定できる特徴をもつ。さらに、X線撮像検出器は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たもので、初期宇宙探査計画HiZ-GUNDAM搭載のX線撮像検出器と基盤となる技術を共通化し、HiZ-GUNDAMのX線撮像検出器のパスファインダーとしての役割も担う。本講演では、超小型衛星によるX線突発天体探査の科学的意義と検討中の衛星システム、検出器の構成などについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V350a 超小型衛星搭載を目指した軟 X 線撮像検出器の開発

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉, 吉田和輝, 伊奈正雄 (金沢大学), 池田博一, 原山敦 (ISAS/JAXA), 有元誠 (東工大)

重力波天文学を発展させるためには、重力波源（母天体）の情報が非常に重要であるが、重力波干渉計の方向決定精度は全天にわたる数 100 平方度と非常に粗い。そのため重力波の発生と同期した突発天体を電磁波で観測することが重要となる。その最有力候補である中性子星連星の衝突・合体時には、継続時間が短いガンマ線バースト (SGRB) が発生すると考えられており、SGRB を検出することで発生方向を決定できると考えられる。

金沢大学では、現行の GRB 検出衛星である Swift/BAT より低エネルギーに感度を持つ広視野の X 線撮像検出器を開発している。方向決定には広い視野で角度分解能の良いコーデッドマスク、1-20 keV の X 線検出のために 1 次元シリコンストリップ検出器 (SSD) を用いている。信号読み出しには高増幅率の集積回路 (ASIC) を用いており、また、ASIC を制御するための FPGA を用いたデジタル回路の開発も行っている。これらの SSD、ASIC、FPGA および衛星バスとのインターフェースとなる CPU を一体化させたプロトタイプモデルが完成し、その評価を行っている。1 枚の基板に 256 本のストリップをもつ SSD と 8 つの ASIC が搭載されたセンサー基板と、FPGA が載った制御基板の 2 枚構成となっている。このプロトタイプモデルに対応するため、これまでの 64 本ストリップの SSD を 1 つの ASIC で読み出す制御機能を複数の ASIC を並列に動作させるよう拡張し、有効面積の確保拡大、X 線の撮像性能の向上を目指している。

本講演では、このプロトタイプモデルの初期動作試験において、複数の ASIC の制御による X 線撮像実験について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V351a E T C C による高感度 M e V 線イメージング核分光の実現と新しい核宇宙物理学観測

谷森達, 高田淳史, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 宮本奨平, 中増勇真, 吉川慶, 窪秀利, 水村好貴, 水本哲矢, 園田真也, 友野大, Parker Joseph, 中村輝石, 松岡佳大, 小田真 (京都大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

我々は電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡により M E V 線に初めて Point Spread Function (P S F) の定義を可能にし、高精度な感度計算を可能にした。さらにこの P S F を用いて X 線望遠鏡のような高感度イメージング核分光を実現、従来のコーデッドマスク、コンプトンカメラの 1 桁以上高感度な観測が可能になる。その実験的実証とこれにより期待できる宇宙での核物理学観測を紹介する。特に数年後に実現可能な極域長時間気球でも可能な銀河面核ガンマ線観測について詳しく報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V352a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (10)

手嶋政廣 (東大宇宙線研), 窪秀利 (京都大学), 戸谷友則 (東大理), 井岡邦仁 (KEK 素核研), 田島宏康 (名大 STE 研), 林田将明 (東大宇宙線研), 山本常夏 (甲南大理工), 吉越貴紀 (東大宇宙線研), 吉田龍生 (茨城大理), 他 CTA-Japan Consortium メンバー

CTA (Cherenkov Telescope Array) は次世代の国際宇宙ガンマ線天文台であり、従来に無い感度と精度で 20GeV から 100TeV を超える全天からの超高エネルギーガンマ線を観測する。1000 を超える多種多様な天体を銀河系内、銀河系外に観測し、高エネルギー宇宙物理・非熱的宇宙の研究を飛躍的に発展させる。銀河系内の全ての超新星残骸をサーベイし銀河宇宙線の起源を明らかにする。銀河系外の観測においては、活動銀河核、ガンマ線バーストを宇宙論的な距離まで観測し、超高エネルギーガンマ線の地平線を大きく広げる。また、銀河中心領域、また矮小楕円銀河に暗黒物質対消滅からのガンマ線を探索する。CTA のサイエンスは、宇宙物理から基礎物理まで大きな広がりをもつ。プロジェクトの現状としては、過去、3年間の Design Study、4年間の Preparatory Phase を終了し、2015 年より pre-production phase に入っている。北半球、南半球のサイトが、スペイン・ラパルマ、チリ・パラナルと決定し、2016 年よりインフラ整備、装置建設が開始する。本講演では、国内外での CTA 計画の準備状況について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V353a **First results of the camera prototype for the Large Size Telescopes of the Cherenkov Telescope Array**

Daniela Hadasch (ICRR, U. Tokyo) for the CTA-Japan consortium

The Cherenkov Telescope Array (CTA) is going to be an array of about 100 Imaging Cherenkov Telescopes of three different dimensions: small, mid and large size telescopes. In total the array will be sensitive to gamma rays from 20 GeV to more than 300 TeV, and become an order of magnitude more sensitive than the current generation of imaging Cherenkov telescopes. The Large Size Telescopes (LST) with a dish diameter of 23m are going to be unique in the low energy regime of CTA, from 20 GeV to several hundred of GeV. The LST camera consists of 265 photosensor modules, each of them containing 7 photomultiplier tubes (PMTs), a slow control board (SCB), a readout board, and a 2-level trigger logic. We designed, constructed and operated the first prototype camera consisting of 19 PMT modules in Japan. In this talk I will present the camera prototype and compare the results of the camera characterization with the requirements of the LST.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V354a CTA 大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの試験構造体を用いた運用試験

深見哲志, 稲田知大, 岩村由樹, 加藤翔, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明 (東大宇宙線研), 手嶋政廣 (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 奥村暁 (名大 ISSE, MPIK), 小野祥弥, 加賀谷美佳, 片桐秀明, 重中西, 長紀仁, 本橋大輔, 吉田龍生 (茨城大理), 齋藤隆之 (京大理), 千川道幸 (近畿大理工), 岸田柊, 山本常夏 (甲南大理工), 野田浩司 (Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 他 CTA-Japan consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、大中小3種の異なる口径を持つ望遠鏡をアレー状に配置し、20 GeV から 100 TeV の 線を現行の望遠鏡と比べ1桁高い感度で観測する国際プロジェクトである。中でも大口径望遠鏡は日本グループが中心となって開発を進めてきた。大口径望遠鏡は重量約 47 kg の分割鏡約 200 枚から構成され、それを支える構造体には GRB 等の突発天体に対応するため軽量で丈夫な新素材 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) が使用されている。望遠鏡の自重により構造体に歪みが生じ、分割鏡の方向が天頂角に依存して最大4分角程度ずれるため、焦点面でのチェレンコフ光の結像性能が低下する。これを補正するために Active Mirror Control (AMC) という方法が提案されている。各分割鏡に固定された CMOS カメラで方向を常にモニターしながら、分割鏡の支軸に用いられるアクチュエータで微調整するというものである。

本講演では、ドイツのマックスプランク物理学研究所に建設された、大口径望遠鏡の一部を模した試験構造体を用い、AMC 機能の長時間稼働試験を行った測定結果を報告する。また、試験で得られた分割鏡の方向の制御可能な精度を気温や風速等の天候パラメータ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](#)

V355a CTA 大口径望遠鏡による 2FHL ソースの観測シミュレーション

Dang Viet Tan, 吉田龍生, 片桐秀明 (茨城大理), 稲田知大, 大石理子, 吉越貴紀 (東大宇宙線研), 奥村暁 (名大 ISEE, マックスプランク核物理), 佐藤雄太 (名大 ISEE), 池野祐平, 櫛田淳子, 西嶋恭司, 平井亘 (東海大理), 郡司修一 (山形大理), 榊直人 (阪市大理), 永吉勤, 松岡俊介 (埼玉大理), 齋藤隆之, 増田周 (京大理), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画とは口径の異なる大中小3種類の解像型大気チェレンコフ望遠鏡群を配置した超高エネルギーガンマ線天文台で、現在の望遠鏡の十倍深い感度を達成し、観測できるエネルギー帯を 20 GeV から 100 TeV 以上へ拡大することを目指す国際共同実験計画である。現在世界で 32 カ国、1200 人を超える研究者達が参加している。CTA 計画で狙う主要なサイエンスは、Key Science Project (KSP) として策定されており、銀河系内・系外サーベイ、銀河中心、大マゼラン星雲などの観測戦略が立案され、議論が進んでいる。その中でも銀河面サーベイ計画 (Galactic Plane Survey: GPS) は、重要な観測戦略の1つとして検討されている。GPS では、銀緯は -3° から 3° までの銀河面を 4 mCrab の感度で観測する計画である。GPS では主に視野の広い CTA 中・小口径望遠鏡アレイが重要な寄与をすると期待されている。しかしながら、視野が相対的に小さい CTA 大口径望遠鏡もサーベイに参加することで、*Fermi* ガンマ線宇宙望遠鏡で得られた 2FHL ソース (The Second Catalog of Hard *Fermi*-LAT Sources) の観測にどのような寄与ができるかを調査し、低いエネルギー帯で CTA 大口径望遠鏡の役割を検討しながら観測戦略を練る必要がある。この問題を Ctools という CTA データ解析のために開発されているソフトウェアパッケージを用いてシミュレーションにより調べている。

本講演では、GPS において CTA 大型望遠鏡が 2FHL ソースの観測に対して果たす役割の検討状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V356a **Resolving the extragalactic background light with the MAGIC telescopes**

Daniel Mazin, Daniela Hadasch, Masaaki Hayashida, Satoshi Fukami, Yuki Iwamura, Sho Kato, Tsutomu Nagayoshi, Daisuke Nakajima, Mitsunari Takahashi, Masahiro Teshima (ICRR, U-Tokyo), Kazuma Ishio, Koji Noda, Takeshi Toyama (MPI for physics), Hidetoshi Kubo, Shu Masuda, Takayuki Saito, Shunsuke Tanigawa (Kyoto University), Yuhei Ikeno, Wataru Hirai, Junko Kushida, Kyoshi Nishijima, Shimpei Tsujimoto, Mayu Yoshida (Tokai University) Susumu Inoue (Rikken), Reiko Orito (Tokushima University) and the MAGIC Collaboration.

MAGIC is a stereoscopic system of two Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes operating in the very high energy (VHE) range from about 50 GeV to over 50 TeV. The VHE gamma-ray spectra measured at Earth carry imprint of the extragalactic background light (EBL) and can be used to study the EBL density and its evolution in time. In the last few years precision measurements of several blazars in the redshift range from $z=0.03$ up to $z=0.95$ were performed with MAGIC trying to resolve the EBL. In this talk I will present the results of the studies and discuss the implications and perspectives for future observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W1. 高密度星】

3月15日(火) 午後(14:06-15:30) [E会場]

W101a	14:06	エディントン光度：再考 II 福江純 (大阪教育大学)
W102a	14:18	ブラックホールへの落下ガス雲撮像画像を用いた Kerr 時空の新検証法 森山小太郎 (京都大学)
W103a	14:30	ブラックホールの曲がった時空の効果を直接観測する原理と方法 3 齋田浩見 (大同大学)
W104a	14:42	Blandford-Znajek 過程と Penrose 過程の関係 2 當真賢二 (東北大学)
W105a	14:54	GRMHD 数値実験によるブラックホール降着円盤とジェット 非軸対称性の重要性 水田晃 (理化学研究所)
W106a	15:06	超臨界降着円盤からのブラックホール風の観測的特徴 折橋将司 (大阪教育大学)
W107a	15:18	多波長データを用いたブラックホール連星 GRO J1655-40 の円盤風の研究 志達めぐみ (理化学研究所)

3月16日(水) 午前(09:30-11:42) [E会場]

W108b	09:30	ブラックホール磁気降着流からの高エネルギー輻射 黒田健太 (愛知教育大学)
W109c		微小回転のブラックホールから外向きの電磁エネルギー流の生成機構 小島康史 (広島大学)
W110c		全天 X 線監視装置 MAXI/GSC が観測した X 線バーストの系統的な解析 坂本貴紀 (青山学院大学)
W111b	09:30	差分変動率法を用いたブラックホール天体 Cyg X-1 の長時間変動の解析 大枝克弥 (明星大学)
W112b	09:30	ブラックホール連星 LMCX-3 の high/soft 状態における円盤コロナモデルの検証 齋藤隆成 (芝浦工業大学)
W113b	09:42	降着円盤歳差運動による超軌道周期 X 線光度曲線の再現 阿久津貴晃 (明星大学)
W114b	09:42	ガンマ線連星 B1259-63/LS 2883 に対する初めてのミリ波観測 山口正輝 (国立天文台)
W115b	09:42	「すざく」が観測したマグネターのサイクロトロン共鳴線の探査 宮崎直人 (首都大学東京)
W116b	09:54	那須パルサー観測所による Crab パルサーの電波モニタリング 青木貴弘 (早稲田大学)
W117b	09:54	パルサーの距離情報を用いた銀河系内電離ガス密度分布推定 III 亀谷收 (国立天文台)
W118c		中性子星連星合体の系内残骸からの r 過程核の崩壊 γ 線の観測可能性 澤田涼 (京都大学)
W119b	09:54	超臨界降着円盤からのクランピーアウトフローの 3 次元高精度放射流体シミュレーション 小林弘 (総合研究大学院大学)
W120a	10:06	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計画 西山正吾 (宮城教育大学)
W121a	10:18	「すざく」によるブラックホール連星 Cygnus X-1 のソフト状態におけるハードテイル成分の解析 (2) 奥田和史 (東京大学)
W122a	10:30	MAXI による Cyg X-1 の 5.6 日軌道周期変動 杉本樹梨 (理化学研究所/立教大学)
W123a	10:42	恒星風へのフィードバックを考慮した High Mass X-Ray Binary の質量降着モデル 谷治健太郎 (首都大学東京)
W124a	10:54	V404 Cygni のアウトバーストにおける規則的な短時間変動の発見 木邑真理子 (京都大学)
W125a	11:06	ブラックホール連星 V404 Cyg におけるジェット放射への制限: 可視近赤外線偏光観測と広帯域スペクトルモデリング 田中康之 (広島大学)
W126a	11:18	位置天文観測による長周期ブラックホール連星の探査 山口正輝 (国立天文台)
W127a	11:30	TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 における吸収量の位相依存性 河野貴文 (広島大学)

(次頁に続く)

【W1. 高密度星】

3月16日(水) 午後(13:30-15:18) [E会場]

- | | | |
|--------------|-------|---|
| W128a | 13:30 | カニパルサー巨大電波パルスの Stacking 解析 三上諒 (東京大学) |
| W129a | 13:42 | Fermi 衛星による若いパルサー PSR J2022+3842 の γ 線長期観測 大内遙河 (東京工業大学) |
| W130a | 13:54 | X 線連星パルサー GX1+4 の降着柱からの放射 吉田裕貴 (立教大学) |
| W131a | 14:06 | X 線光度にみる電波パルサーの活動性磁場の存在確率 渡邊瑛里 (山形大学) |
| W132a | 14:18 | 全天 X 線監視装置 MAXI による長い X 線バーストの観測 芹野素子 (理化学研究所) |
| W133a | 14:30 | MAXI/GSC と Swift/BAT による LMXB の Z ソースのコンプトン成分 浅井和美 (理化学研究所) |
| W134a | 14:42 | 低質量連星中性子星の長時間発展 木内建太 (京都大学) |
| W135a | 14:54 | $z > 10$ の初代天体における中性子星連星の合体 田川寛通 (東京大学) |
| W136a | 15:06 | 核子の超流動・超伝導状態を考慮した中性子星の冷却 野田常雄 (久留米工業大学) |

3月17日(木) 午前(09:30-11:30) [E会場]

- | | | |
|--------------|-------|--|
| W137a | 09:30 | マグネター 4U 0142+61 の硬 X 線パルス位相変調: <i>NuSTAR</i> データの解析 牧島一夫 (理化学研究所) |
| W138a | 09:42 | マグネターの磁場強度と硬 X 線放射の相関: すぎく観測のまとめ 榎戸輝揚 (京都大学) |
| W139a | 09:54 | 強い電磁場の量子効果による真空の屈折率の変化 矢田部彰宏 (早稲田大学) |
| W140a | 10:06 | MAXI が検出した 2015 年度後半の突発現象と検出限界光度近く of 突発天体の検出 根来均 (日本大学) |
| W141a | 10:18 | MAXI 未同定ソフトランジェント MAXI J1501-026 の可能な天体は? 松岡勝 (理化学研究所) |
| W142a | 10:30 | MAXI 未同定短時間軟 X 線ランジェント (MUSST、マスト天体) 三原建弘 (理化学研究所) |
| W143a | 10:42 | Swift 衛星による NGC 1313 X-1 の 900 日連続観測 吉田鉄生 (国立天文台) |
| W144a | 10:54 | 熱的コンプトン過程を用いた ULX 天体の統一的な描像 小林翔悟 (東京大学) |
| W145a | 11:06 | ULX パルサーの超臨界降着シミュレーション 川島朋尚 (国立天文台) |
| W146a | 11:18 | 中性子星周囲の超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション 大須賀健 (国立天文台/総合研究大学院大学) |

W101a エディントン光度：再考 II

福江 純（大阪教育大）

2015年春季年会で、有限の光学的厚みをもった半透明～不透明なガス雲に対するエディントン限界は、粒子に対する通常のエディントン限界とは異なることを示した（Fukue, J. 2015, PASJ, 67, 57）。具体的には、質量 M 、半径 R_* 、光度 L （古典的なエディントン光度 L_E ）の球対称光源の上空で、距離 R の場所に、光学的厚みが τ_c の層雲が存在している場合、層雲内の輻射輸送を数値的に解いた結果、エディントン限界条件は、

$$\Gamma \equiv \frac{L}{L_E} = \frac{1 + \mu_* + \tau_c}{2}$$

のように近似されることがわかった。ここで $\mu_* (= \sqrt{1 - R_*^2/R^2})$ は光源を見込む方向余弦である。物理的な理由は、層雲による後方散乱（アルベド）と遠方（ $\mu_* \rightarrow 1$ ）で輻射場が非等方になるためである。

今回、し残したこと（し忘れたこと）を少し補足計算した結果を紹介する。

前は簡単のために等方散乱を仮定したが、トムソン散乱にすると、臨界条件はやや下がる。一方、散乱再分配関数を前方散乱が優勢な形にすると、臨界条件は上がる。ただし、どちらも、光学的厚みが薄いときには等方散乱と変わらない。輻射場が非等方的になることと、粒子による散乱の異方性が相乗的に作用するためだ。

またここまでは散乱のみを考えていたが、吸収・再放射のみ（散乱なし）の場合も調べてみたところ、量的には多少違うが、全体的な傾向は同じであることがわかった。層雲の上面から上方への輻射流束と下面から下方への輻射流束（アルベド）の差が、エディントン限界の重要な要因になっているためである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W102a ブラックホールへの落下ガス雲撮像画像を用いた Kerr 時空の新検証法

森山小太郎、嶺重慎 (京都大学)

ブラックホール時空の観測的解明は、事象の地平面の存在証明や、一般相対論の検証のために不可欠な課題である。一般相対論によると、その時空は質量と角運動量 (スピン) のみによって一意に決定されるため、これらの量を観測すると、時空構造を決定することができるはずだ。しかし、それは本当だろうか？ 観測的にそれを証明するにはどうすればよいだろうか。

2015年春の年会 [J145a] では、ブラックホール近傍において、降着円盤内縁から有限の角運動量を持って落下するガス雲からの放射を想定し、光円軌道半径集光効果によるフラックスの時間変動から、ブラックホールスピンを測定する方法を提唱した。今発表では、フラックス変動データに、落下プロブの直接撮像データを組み合わせ、アインシュタイン理論により記述されたブラックホール時空 (Kerr 時空) そのものを証明するための観測的新手法を提唱する。まず、近未来の VLBI 観測により得られると期待される、直接撮像による落下プロブの軌道サイズからも、フラックス変動とは独立にスピンを測定することができることを示す。次に、Kerr hole よりも時空の引きずりが強い (弱い) Kerr like hole を導入し、それを観測データから Kerr hole と区別できることを示す。すなわち、フラックス変動と画像からそれぞれ独立にスピンを測定したところ、得られたスピン値は異なる値を示すことがわかった。これはフラックス変動とガス雲の大きさはそれぞれ計量の異なる成分、すなわち前者は動径 (g_{11}) 成分、後者は時空の引きずり (g_{03}) 成分に依存するからである。このようにして、見積もられたスピンを比較することによって、ブラックホール時空が Kerr 時空であるか否かを証明することができる。これら異なる方法でスピン測定することで、時空構造の決定に有効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](#)

W103a ブラックホールの曲がった時空の効果を直接観測する原理と方法 3

齋田浩見 (大同大学)

一般相対論は、BH を『極端に曲がった時空領域』だと理解し、BH 時空の曲がり方(形)は質量・自転角運動量・電荷の3つだけで決まると結論づける。ただし現実的には電荷はゼロだろう。よって、『BH 直接検出』とは『極端に曲がった時空の効果の直接観測でBHの質量と角運動量を測ること』である。一方、『極端に曲がった時空の効果』の直接検出に基いたBH観測は未成功で、BH存在の直接証拠は未だ得られていないと言える。従って、観測的BH研究の更なる発展には、観測技術の向上やBH周辺環境の理解の深化に加え、一般相対論研究の立場から『極端に曲がった時空の効果の直接検出する原理・方法』を新たに考案することも必要だろう。

そこで、一つの望遠鏡で可能なBH直接検出の方法として、『BHの強い重力レンズ効果で生じる時系列データからBHの質量と角運動量を測定する方法』を提案する。この提案では次の2点に注目する：(1) BH近くで光源が等方的に発光すると、BHの強い重力レンズ効果により、ある光線は空間的に最短距離を通過して(0巡光)、別の光線はBHを一周巡ってから(1巡光)、観測者に届く。(2) 0巡光と1巡光の『観測者への到達時間の差』と『観測される強度の比』はBHの質量と角運動量で決まる。この『時間差』と『強度比』は、一つの望遠鏡で取得する時系列データの中に記録される。

2014年春と2015年秋の年会では、それぞれ、『時間差と強度比を時系列データから抽出する方法』の提案と『上記(2)の観測量の数値計算が可能になったこと』の報告を行った。今回は、『光源運動を前回よりも現実に近いものに変更した場合の計算結果』と『その計算結果と鹿島34m電波望遠鏡の検出感度との比較』を報告する。後者の比較結果は、現在(あるいは近い将来)の望遠鏡性能でBH直接検出が期待できる結果だと思われる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W104a Blandford-Znajek 過程と Penrose 過程の関係 2

當眞賢二 (東北大) 高原文郎 (大阪大)

活動銀河核やガンマ線バースト現象には、相対論的速度のプラズマジェットが付随する。その駆動メカニズムとして世界的に最も有力視されているものは、中心ブラックホール (BH) の回転エネルギーの電磁的抽出 (Blandford-Znajek 過程) である。それは、ブラックホール磁気圏が十分荷電粒子に満たされているが、エネルギー密度は磁場が優勢であるという状況において、電磁エネルギー流束が定常的に生成される過程である。しかし、電磁エネルギー流束の起源や、この過程と Penrose 過程 (エルゴ領域で生じる負のエネルギー粒子を落下させることでエネルギーを抽出する過程) との関係について未だ議論が続いている。我々は近年、主に解析的な方法を用い、この議論の促進に寄与している。

2013 年度の春季天文学会において、エルゴ領域内の赤道面を貫く磁力線について、赤道面付近で電場が磁場より強くなり、これが電流を駆動することを示した。2014 年度の春季天文学会においては、地平面を貫く磁力線について、真空磁気圏をフォースフリープラズマが満たしていくという非定常過程をモデル化し、真空とプラズマの境界で電流が駆動されるということを示した。(その回の予稿に記した「電流はやはり赤道面で駆動される」という考察は正しくなかった。) 今回の講演では、この非定常モデルの意義について改めて説明する。そしてこれまでの講演内容をまとめ、BH 磁気圏の全体構造、電流とエネルギー流束の駆動源、Penrose 過程との関係、パルサー磁気圏との違いについて整理する。我々の議論は、任意のブラックホール回転速度、任意の磁場構造を考える一般的なものであるが、大きな仮定は磁力線に沿う電場成分がゼロとしていることである。この点について最近なされている議論を紹介し、今後取り組むべき問題について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W105a GRMHD 数値実験によるブラックホール降着円盤とジェット 非軸対称性の重要性

水田晃、戎崎俊一（理化学研究所）、田島俊樹（UC. Irvine）、長瀧重博（理化学研究所）

ブラックホール降着円盤のシステムとそこから噴出する相対論的ジェットはマイクロクェーサーや活動銀河核で見られ、降着円盤の物理、相対論的ジェット形成、宇宙線加速など重要な物理過程が見られる天体である。ジェットの駆動機構は未解決であるが、Blandford-Znajek(BZ) 機構 (1977) が相対論的ジェットの駆動メカニズムとして提唱され、近年は数値磁気流体実験が盛んに行われるようになり調べられている。数値実験ではブラックホールのイベントホライズンから電磁的エネルギーが外向きに出ていくことがいくつか報告され、AGN ジェット根本でのアルフヴェン波による宇宙線加速機構 (Ebisuzaki & Tajima 2014) への応用として 3D-GRMHD 数値実験を行っている我々のモデルでも見られた。

BZ 機構は物質の影響が無視できるフォースフリー近似、定常、軸対称を仮定し導出されているが、数値実験で見られるような非定常で、物質の降着を伴うような場合でも駆動される電磁的エネルギーの極角依存性などは BZ 機構で駆動されたと仮定するとよく合う。軸対称を保つ 2 次元的計算では赤道から \pm 数十度の方向に電磁的エネルギーが最も強く出る傾向が見られる一方、軸対称を仮定しない 3 次元的計算では赤道方向に最も強い電磁的エネルギーが出ている。この違いはイベントホライズン近くの磁力線がブラックホールにどのように入り込んでいるかの違いによって生じている。3 次元的計算の場合赤道付近でもイベントホライズンに大きな角度をもって入り込む磁力線が見られる。この磁力線に沿って BZ 機構で予言される磁場の動径方向成分を赤道付近でも局所的に大きくすることができるために、大きな電磁的エネルギー放射が実現されることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W106a 超臨界降着円盤からのブラックホール風の観測的特徴

折橋将司, 福江 純 (大阪教育大学)

我々は、超臨界降着円盤から定常的に吹いている光学的に厚い相対論的なアウトフロー (Black Hole Wind) の観測的特徴を、電子散乱および自由自由吸収の波長依存性を考慮して、各振動数ごとの見かけの光球や熱化面を計算し、観測されるスペクトルを求めた。先行研究 Tomida et al. (2015) や 2015 年度秋季年会では、中心天体から球対称風が吹くモデルで計算したが、本研究では超臨界降着円盤からアウトフローが吹くモデルで計算した。

計算方法は次の通りである。無限遠からみて、視線方向に測った全光学的厚み $\tau = -\int \gamma(1 - \beta \cos \theta)(\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}})\rho dz = 1$ となるところを見かけの光球とする。また見かけの光球から動径 (R) 方向に測った有効光学的厚み $\tau_* = -\int \gamma(1 - \beta)\sqrt{\kappa_{\text{ff}}(\nu)(\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}})}\rho dR = 1$ となるところを熱化面と仮定する。そして熱化面で生まれた黒体放射光子が、散乱されて $\tau = 1$ の光球まで到達し、観測者へ飛来すると考えて、共動系での放射スペクトルや、ドップラー効果を考慮した観測されるスペクトルを算出した。その際に、温度分布は $4\pi R^2 \sigma T^4 / \tau = L$ (光度) とし、スペクトルは $4\pi R^2 \pi B_\nu(T) / \tau_\nu = L_\nu$ として、拡散の効果を評価した。また、見かけの光球や熱化面の大きさが超臨界降着円盤の表面より小さいときは超臨界降着円盤の温度分布を用いてスペクトルを算出した。得られたスペクトルの形状は、質量や質量放出率などのパラメーターにもよるが、単一温度の黒体放射とは異なり、比較的幅が広いものとなった。得られた結果を ULX にも適用する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W107a 多波長データを用いたブラックホール連星 GRO J1655-40 の円盤風の
研究

志達めぐみ (理化学研究所), Chris Done (ダーラム大学), 上田佳宏 (京都大学)

ブラックホール X 線連星 GRO J1655-40 の 2005 年のアウトバースト中に、Chandra 衛星で分光観測が行われ、降着円盤から噴き出す円盤風由来の青方偏移した高電離の吸収線が検出された。吸収線構造の解析の結果から、磁場により駆動された円盤風と解釈されてきたが、円盤内縁部からの X 線との逆コンプトン散乱によって運動エネルギーを得た外縁部のガスが噴出したとの主張もあり、論争が続いている。

我々は、Chandra の観測日の前後数十日間に得られた RXTE 衛星の X 線データと可視光・近赤外線の時測光データを用いて、GRO J1655-40 の円盤風について調査した。その結果、アウトバースト開始後、X 線強度は Chandra 観測日の約 10 日前から減少に転じている一方、可視・近赤外線フラックスは単調に増加していることがわかった。この間、軟 X 線スペクトルの形状はほぼ一定のまま、強度のみ変化していた。さらに、Chandra 観測日の多波長スペクトルエネルギー分布を、X 線照射による円盤外縁部の再放射を考慮した降着円盤モデルを用いて解析したところ、可視・近赤外線フラックス (円盤外縁部の光度) から期待される X 線光度は、RXTE のデータから実際に測定された X 線光度に比べ 1 桁以上も大きいことがわかった。これらの結果は、円盤風内にコンプトン散乱に対して光学的に厚くほぼ完全電離したガスが存在し、円盤内縁部からの X 線光子の大部分が強いコンプトン散乱によって視線方向から外れ、見かけの X 線強度が減少したと考えれば説明できる。本講演では、上記の結果について報告し、円盤風の駆動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](#)

W108b ブラックホール磁気降着流からの高エネルギー輻射

黒田健太，高橋真聡（愛知教育大学）

活動銀河核（AGN）やブラックホール（BH）連星系は膨大な高エネルギー輻射を放出している。このような輻射はBH周辺の高温度ガス領域から放出されていると考えられている。本研究では、BH近傍の時空構造を観測的に理解するために、BH近くの相対論的効果が顕著となる領域について調べる。この目的のため、放射領域はBH高緯度域からのMHD降着流とする。そうすることで、物理的な高温ガス領域の解が得られる。降着流の温度分布は、相対論的ベルヌーイの式をポロイダル面内で各磁力線ごとに解き求めた。その結果、BH近傍で数億Kのガス領域の温度分布を議論した。また、ガスの落とし方やBHスピンの与え方により特徴的なガスの温度分布解が存在することがわかった。例えば、降着率の分布の θ 依存性の与え方によりガスの最高温度域の緯度が異なる解が得られた。降着流の最高温度やその位置により放射スペクトルのプロファイルが異なることが予想される。

本研究で注目する輻射モデルは、BH周囲の降着円盤の黒体輻射による低エネルギー光子が降着流内で高エネルギー電子と逆コンプトン散乱されることで高エネルギーとなり観測されるとするものである。本講演では、最高温度領域からの期待されるスペクトルを `xspec` の `compbb` を用いてテスト計算を行った。この結果より、べきの傾きは電子温度が高いほど高エネルギーまで伸びることが確認できた。さらに、このようなガス領域からの輻射はAGNで観測されている `soft exceed` 成分の発生源と期待でき、散乱によるべき成分も同時に得られるため、このモデルはAGNの軟X線成分を説明するものと推測できる。

本講演では、BH周囲の相対論的な高温ガス領域の温度分布について系統的な解析結果を中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W109c 微小回転のブラックホールから外向きの電磁エネルギー流の生成機構

小島康史 (広島大)

活動銀河核からのジェット現象に関連したエンジン機構の可能性として、中心ブラックホールの回転エネルギーの電磁的抽出 (Blandford-Znajek 過程 MNRAS,197(1977)433) がある。これまで数値シミュレーションを含め多くの理論研究がなされ、今でも研究が活発にすすめられている。磁気圏構造を決めるのに、主としてFF(Force-free)近似や理想MHD近似が用いられてきた。前回の講演 (J145a) では、電荷が正負からなる二成分のプラズマ流体を考え、その流れとそれを源とした電磁場構造を求める研究 (MNRAS,454(2015)3902) 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 (スプリットモノポール) がある場合、流れは球対称のままである。正負の電荷の偏りや電流が生じず、中性のまま落下する。従って電磁エネルギー流は生じない。次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、特に外向きの電磁場のエネルギー流 (ポインティングフラックス) が生成されるかを調べたものである。

この自転に関する摂動的な取り扱いは Blandford-Znajek(1977) が用いた手法と同じであり、FF 近似を微視的な電流モデルを考察したことで如何に外向きのエネルギー流は生じるかを示したものである。なぜ、彼らの (および、しばしばの誤解から) ブラックホール地平面付近での FF 近似の誤用から生じるエネルギー流と本結果の比較や関連する疑問等をこのポスター発表にまとめておく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W110c 全天 X 線監視装置 MAXI/GSC が観測した X 線バーストの系統的な解析

坂本貴紀, 大槻光 (青学大), 芹野素子 (理化学研究所), 吉田篤正 (青学大), ほか MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI に搭載されている Gas Slit Camera (GSC) は、2009 年 8 月の観測開始以来多くの低質量 X 線連星 (LMXB) から X 線バースト (XRB) を観測してきた。この中には、MAXI J1647227 や MAXI J1421613 を含む MAXI 時代に発見されたバースターも含まれる。しかし、これまで MAXI/GSC が観測した XRB の系統的な探査は行われたことがない。そこで我々は GSC のデータについて XRB の探査を行った。XRB 探査の手法としては、MAXI チームが提供する MAXI on-demand process で作られるライトカーブを出発点に、XRB 発生時刻の候補を抽出した。次に、GSC のイベントデータから XRB 候補の時刻付近の時間分解能の小さなライトカーブを作成し、XRB が単なる強度変化かを判断した。それぞれの XRB に対し、ライトカーブ、イメージ、バーストの発生時刻、継続時間、エネルギーフルエンス、ピークフォトンフラックス、黒体温度を求めた。これらの解析結果をカタログという形にまとめ、ウェブで公開し、他の研究者へも閲覧を可能にした。カタログとしては、64 天体の結果を公開し、比較的多くの XRB が観測されている H 1636536 からは 72 回、4U 1916053 からは 20 回の XRB が観測された。1996-2007 年まで稼働した RXTE 衛星によるカタログ (Galloway et al. 2008) では同天体からのバーストがそれぞれ 172 回、14 回観測されており、これと比較しても遜色ない。本講演では、XRB の探査や解析の方法について説明し、我々の XRB カタログの一部を紹介する。また、本カタログの結果を用いて、定常放射のハードネスの変化と XRB の頻度などについて議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W111b 差分変動率法を用いたブラックホール天体 Cyg X-1 の長時間変動の解析 大枝克弥, 井上 一 (明星大学)

MAXI で得られたブラックホール天体 Cyg X-1 のアーカイブデータに差分変動率法 (Inoue 2011, PASJ, 63, S1) を適用し、Cyg X-1 の low intensity-hard spectrum state (LHS) と、high intensity-soft spectrum state (HSS) の二状態それぞれの長時間変動の特徴を調べた。MAXI の orbit データと day データを、2, 4, 8, 16, 32 ビンごとに順次まとめ、それらの差分変動率を、2-4 keV バンド (L バンド)、4-10 keV バンド (M バンド)、10-20 keV (H バンド) ごとに求めてそれらの時間ビン幅依存性 (差分変動関数) を求めた。得られた差分変動関数は、LHS の L、M、H バンドと HSS での L バンドでは大きな差異はみられなかったのに対し、HSS の M と H のバンドでは、16 日以下の時間スケールでほかのバンドより有意に大きな差分変動率が示された。それらの結果は、杉本ら (2015, submitted to PASJ) が同じ MAXI のデータから求めたパワースペクトルの結果と矛盾しないものであった。われわれは、さらに、HSS における L バンドの変動と M バンドの変動の相関を調べ、それにより HSS における L バンド中の disk-blackbody 成分 (soft 成分) と power law 成分 (hard 成分) の変動を分離した。その結果、32 日周期付近では hard 成分と soft 成分の差分変動率がほぼ同じだったものが、16 日から短い時間スケールでは hard 成分が有意に大きな変動を示すようになり、時間スケールが短くなるとともに二つのスペクトル成分の独立性が強まることがわかった。これらの結果から、降着円盤の外縁には、外から 16 日程度の時間変動を持った降着物質の流入があり、外縁部あたりで、soft 成分を担う幾何学的に薄い降着流と hard 成分を担う幾何学的に厚い降着流の 2 層の流れに分かれてそれぞれ独立の流れになっていくと推察される。そして、幾何学的に薄い流れでは遅い落下速度のために変動がなまされ、幾何学的に厚い流れに比べて、変動が小さ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](#)

W112b ブラックホール連星 LMCX-3 の high/soft 状態における円盤コロナモデルの検証

齋藤隆成, 吉田健二, 久保田あや (芝浦工業大学), Chris Done (Durham 大学)

ブラックホール連星の high/soft 状態は卓越した軟 X 線放射と弱い硬 X 線放射によって特徴づけられる。軟 X 線放射は最終安定軌道 (ISCO) まで広がった標準降着円盤 (Shakura & Sunyaev 1973) からの放射として非常によく理解されてきたが、硬 X 線放射は power-law もしくは simpl (Steiner et al. 2009) モデルを用いて数学的に記述されることが多い。久保田、Done は、Novikov-Thorne モデルを仮定し、降着円盤と硬 X 線放射を同時に記述する円盤コロナモデル (diskEQ) を構築し、GX3394 の Very High State (VHS) のスペクトルに適用し、スペクトルが非常に良く再現されることを示すと同時に内縁部での放射率の低下を示唆した (Kubota, Done, MNRAS submitted)。本研究では、diskEQ モデルの妥当性を検証するため、降着円盤の幾何学的配置がよりよく分かっているブラックホール連星 LMC X-3 の high/soft 状態に着目した。LMC X-3 はすざく衛星によって、2008 年、2009 年、2013 年にそれぞれ 54.3 ks, 133.4 ks, 87.1 ks の観測がなされており、0.7–30 keV の X 線光度は、距離 52 kpc を仮定して、 1.48×10^{38} erg/s, 2.88×10^{38} erg/s, 4.45×10^{37} erg/s であった。傾斜角 $i = 67^\circ$ を仮定し、kerrbb モデル (Li et al. 2005) と simpl モデルでデータを再現すると、ブラックホールの spin a^* は $a^* = 0.17 \pm 0.02$, 0.216 ± 0.003 , -0.14 ± 0.04 と変化し、これは内縁半径でいうと最大 20% 程度の変化に対応する。一方、diskEQ モデルにより硬 X 成分まで統一的に再現すると、3 回の観測でスピンの変化は $a^* = 0 \sim 0.2$ であり、内縁半径の変化は 8% 程度であった。本講演では各モデルの fitting 結果の比較に基づき、diskEQ モデルの妥当性について検証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](#)

W113b 降着円盤歳差運動による超軌道周期 X 線光度曲線の再現

阿久津貴晃, 井上 一 (明星大学)

明るい X 線連星では、しばしば連星周期の 10 倍から 100 倍の周期の X 線強度変動がみられ、超軌道周期変動と呼ばれている。それらの超軌道周期変動の起源はまだ明らかになっていないが、Inoue (2012, PASJ, 64,40) により、近接連星系において降着円盤の歳差運動が励起される可能性が論じられ、いくつかの X 線連星における超軌道周期と連星周期との関係が矛盾なく説明できることが示されている。ここでは、X 線パルサー SMC X-1 と Her X-1 に見られる、それぞれ約 55 日と 35 日の超軌道周期 X 線強度変動は、それらの周期で歳差運動をする降着円盤内の物質の電子散乱により中心 X 線源が見え隠れしていることによると考え、それらの X 線光度曲線の再現を試みた。降着円盤外縁部の物質分布は Inoue (2012) による等温大気リングの近似を用い、連星軌道傾斜角、歳差運動の傾斜角、外縁部リングの幾何学的あつみ、光学的あつみ等をパラメーターに、歳差運動による視線上の電子散乱の光学的厚みの周期的変化のモデル光度曲線を作成した。そして、その予想光度曲線を、MAXI のアーカイブデータから作成した X 線光度にフィッティングを行い、 χ^2 が最小となる最適パラメータ群を求めた。その結果、これらの 2 つの X 線連星の超軌道周期の X 線光度曲線は、歳差運動する降着円盤外縁部のリング状の物質による電子散乱でよく再現できること、また、その最適軌道傾斜角は、他の観測から求めたものと矛盾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](#)

W114b ガンマ線連星 B1259-63/LS 2883 に対する初めてのミリ波観測

山口正輝 (国立天文台)、広瀬亜紗、河内明子 (東海大学)、赤堀卓也 (鹿児島大学)、藤田裕 (大阪大学)

ガンマ線連星 B1259-63/LS 2883 に対して ATCA を用いて世界で初めてミリ波の観測を行った。その結果を報告する。ガンマ線連星 B1259-63/LS 2883(以降 B1259) は Be 星とパルサーからなる連星である。B1259 の多波長観測から、ガンマ線、X 線、電波において近星点付近での増光が確認されているが、これは以下のように説明されている。B1259 のパルサーの軌道は、離心率を持ち Be 星周円盤に対して傾きを持っている。そのため、近星点付近でパルサーが星周円盤を通り抜けることになる。そのとき、パルサー風と星周円盤が衝突し衝撃波を形成して非熱的放射を生成する。

しかし、詳細な放射機構については不明な点が多い。これまでの B1259 の観測から、GeV ガンマ線と X 線 (または電波) の増光時期がずれていることがわかっている。そのため、いつパルサーと円盤の相互作用が始まるのかわかっていない。これを明らかにするためには、星周円盤からの放射を観測することにより、相互作用の円盤に対する影響を捉えることが必要である。星周円盤のうち、パルサーが通過する部分からは「ミリ波」が卓越すると考えられている。したがって、我々は ATCA の 3mm バンドを用いて B1259 の観測を行った。観測期間は 2014 年 5 月の近星点通過前後の半年間で、計 8 回の観測を行った。

その結果、1mJy 程度の精度で観測を行うことができたが、有意なフラックスは検出されなかった。このことから、予想を超える量のフラックスは放射されていないと結論付けられる。ALMA を用いてさらに精度のよい観測を行うと、ミリ波が検出され、モデルを制限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](#)

W115b 「すざく」が観測したマグネターのサイクロトロン共鳴線の探査

宮崎直人、山田真也(首都大)、榎戸輝揚(京都大)、大橋隆哉(首都大)

マグネターは QED の臨界磁場 ($B = 4.4 \times 10^{13}$ G) を超える非常に強い磁場を持つ中性子星であると考えられている。その典型的な双極子磁場の大きさは回転周期の減衰率から見積もられ、 10^{14} - 10^{15} G 程度であるとされる。強磁場中での電子や陽子のエネルギーはランダウ順位に離散化され、そのエネルギー間隔は磁場強度に比例するため、サイクロトロン共鳴線を見つけることは、天体の磁場を直接測定する重要な手がかりとなる。マグネターでは陽子サイクロトロン共鳴が探索されてきたが、その報告例は少ない。原因として、マグネターの強磁場による真空の偏光異方性によって、サイクロトロン共鳴の影響が弱められることなどが考えられている (Ho & Lai 2003)。

我々は2015年の春季天文学会で、ガンマ線バーストの残光における輝線の探査・評価に用いられてきた、エネルギー空間における最適化フィルターを用いたモンテカルロ法による輝線/吸収線の評価方法を「すざく」の観測データに適用する方法並びに2つの比較的明るいマグネター、4U 0142+61 と 1RXS J1708-4009 の時間平均スペクトルへの適用結果を報告した。

今回我々はこの手法をマグネターのパルス位相分けスペクトルに対して適用したが、時間平均スペクトルの場合と同様、有意な吸収構造は発見されなかった。また、この手法によって、4U 0142+61 の輝線/吸収線の「すざく」における上限値が得られ、その結果が過去に *Chandra* (Juett et al. 2002) や *XMM-Newton* (Rea et al. 2007) で報告されている値とおおよそ一致することを確認した。本講演ではこれらの解析結果とその考察、ASTRO-H の SXS でこの手法を適用する場合について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W116b 那須パルサー観測所による Crab パルサーの電波モニタリング

青木貴弘, 加藤達也, 杉谷佳紀, 遊馬邦之, 中島啓幾, 坪野公夫, 大師堂経明 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICT), 新沼浩太郎 (山口大学)

那須パルサー観測所では、主に Fast Radio Burst (FRB) やパルサーのジャンアントパルスの発見を目的とし、2014年より本格的に電波パルスの探査を実施してきた。本講演では、それによって観測された Crab パルサーのジャンアントパルスについて報告する。FRB の検出には多大なデータ解析時間を要するため、現在解析中である。

那須パルサー観測所は、自由学園那須農場 (栃木県那須塩原市) の敷地内に早稲田大学が建設した電波観測所であり、口径 20 m の電波望遠鏡 8 基と 30 m の電波望遠鏡 1 基をもつ巨大施設である。その観測目的は主に、ガンマ線バーストや FRB などの突発天体の探査と、活動銀河核やパルサーのような変動天体のモニタリングである。観測は、指向方向を地上に対して固定し天球の回転にまかせて掃天する方式で、天体は追尾していない。

この那須 30 m 鏡を単一鏡として使用し、2014年より本格的にパルス探査を行った。観測ターゲットは主に Crab パルサーであり、これまでに行った約 90 エポックの観測で 22 個のジャンアントパルスを検出している。が約 3 kJy であること、観測時間が 1 エポックあたり数分であること、およびジャンアントパルス強度の確率分布を考えると、この検出数はおおよそ妥当だと考えられる。検出されたジャンアントパルスにはタイムスケールがナノ秒オーダーの微細構造も見られ、強度が 1 MJy を超えるパルスも発見できている。また時間-周波数平面における波束分散の様子も明瞭に捉えられ、これらの情報の蓄積によって、パルサー磁気圏のプラズマ乱流構造や星間プラズマ密度の時間変化なども考察できるようになるだろう。現在はサンプル数を増やしている段階であり、これらの観測結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W117b パルサーの距離情報を用いた銀河系内電離ガス密度分布推定 III

亀谷 収 (国立天文台)

パルサーに対する相対 VLBI 観測やパルサータイミング観測により、天の川銀河内のパルサーの 3 次元分布と固有運動を調べる事ができる。日本天文学会 2012 年春季年会および秋季年会の講演では、当時までに出版された 47 個のパルサーのデータを用いて、3 次元の分布を求めると同時に、Dispersion Measure の観測結果により推定されたパルサーと地球間の電離ガスの総量と、視差の観測から得られる距離の情報を組み合わせることで、パルサーと地球間の電離ガスの平均密度の情報を求めた。更に、Dispersion Measure の観測結果から銀河系内の密度分布のモデルを使うことで推定してきたパルサーまでの距離の信頼性について検討した。

今回は、前回の発表から 3 年間の間にパルサーの視差データが更に増えたことから、これまでのデータを洗い直して、天の川銀河内の密度分布、これまで考えられた密度モデルの信頼性について、再度評価したので、その結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W118c 中性子星連星合体の系内残骸からの r 過程核の崩壊 γ 線の観測可能性

澤田涼, 前田啓一 (京都大学), 和南城伸也 (上智大学), 関口雄一郎 (東邦大学)

r 過程元素は鉄よりも重たい中性子過剰な元素である。その生成源の候補として、Supernova (SN) と Neutron Star Merger (NSM) の二つが主に考えられているが、未だ決着はついていない。r 過程元素生成源を確定する最も直接的かつ不定性のない手段は、不安定な r 過程元素核からの崩壊 γ 線および硬 X 線を検出し、一度のイベントで生成される r 過程元素の生成量を特定することである。

銀河系内における r 過程不安定核由来の崩壊 γ 線の観測可能性について調べた Qian et al.(1998, 1999) においては、主として r 過程元素が SN 由来の場合の検出可能性について議論された。本研究においては、これまで議論が手薄であった NSM を生成源とする場合について、NSM における r 過程元素合成シミュレーションの結果 (Wanajo et al.2014) をもとにその銀河系内残骸の γ 線および硬 X 線による観測可能性について調べた。また、NSM の合体過程と元素合成の理論計算にはまだ不定性が残されているため、本研究においては特に特徴的な指標である Y_e の値の組み合わせを変えることで、どの程度 γ 線放射の特徴が変わるか、逆にこのような観測が実現された際に NSM 合体過程に制限をつけられるかを考察した。

感度との兼ね合いを考慮すると、硬 X 線での検出の方が実現可能性が高い。Astro-H/HXI や次世代 γ 線望遠鏡により 1M sec の観測が可能であれば、1 kpc 程度以内に NSM 残骸が存在すれば検出が可能である。このためには、他の波長であらかじめ候補天体をしぼりだしておくことが必須である。この結果を踏まえ、観測戦略について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W119b 超臨界降着円盤からのクランピーアウトフローの3次元高次精度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 (国立天文台)

ブラックホール周囲の超臨界降着円盤からは、強力な円盤風が吹き出し、それが多数のガス雲に分裂することが、竹内らによって行われた2次元シミュレーションによって示唆されている (Takeuchi et al. 2013)。生成されたガス雲は、活動銀河核が示す幅の広い輝線や、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空間2次元を仮定しており、且つ、Flux-limited diffusion 近似で輻射場を解いていた。したがって、より現実的なガス雲の構造や分布、それによって引き起こされる時間変動を解明するには3次元のより高精度な計算が必要である。

そこで我々は空間3次元の高次精度輻射流体シミュレーションに取り組んでいる。ガス雲が形成される遠方領域 (100 から 1000 倍のシュバルツシルト半径の) で十分な空間分解能を達成しつつ計算量を削減するため、ブラックホール近傍領域の構造はモデル化する。また、輻射場は M1-closure 法を用いて計算する。この新たな計算法の詳細と得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W120a 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計画

西山正吾 (宮城教育大), 長田哲也, 長友竣 (京都大), 田村元秀 (東京大/国立天文台), 高橋真聡 (愛知教育大), 斉田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専)

銀河系の中心には、超大質量ブラックホール (SMBH) 候補である Sgr A* が存在する。Sgr A* を周回する星の位置観測から、星のケプラー軌道が明確になり、Sgr A* の質量の測定が可能となった。しかしこれまでの研究は、すべてニュートン重力を通じた観測であった。一般相対論効果を検出した例はまだない。私達は、銀河系の SMBH 近傍における一般相対論効果の検出を目指した観測を進めている。

本講演では、Sgr A* を周回する星 S2 の視線速度モニター観測計画について報告する。この計画は、S2 が Sgr A* に最接近する 2018 年前後の視線速度の測定を通して、SMBH による重力赤方偏移と横ドップラー効果の検出を第一の目的としている。これらの効果による視線速度の変化は約 190 km/s と見積もられている (Zucker et al. 2006)。すばる望遠鏡と近赤外線高分散分光器を用いると、S2 の視線速度を 10 – 20 km/s の精度で測定できると推定しており、これらの効果を検出できる可能性が十分にある。さらに視線速度の精度を上げることができれば、歳差運動による星の軌道の変化を検出することができるかもしれない。計画の詳細と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](#)

W121a 「すざく」によるブラックホール連星 Cygnus X-1 のソフト状態におけるハードテイル成分の解析 (2)

奥田和史, 小林翔悟, 中澤知洋 (東大理), 山田真也 (首都大), 牧島一夫 (理研)

ブラックホール連星の X 線スペクトルは、ソフト状態とハード状態という 2 つの典型的な形状をとる。ソフト状態において、軟 X 線成分は幾何学的に薄く光学的に厚い降着円盤からの多温度黒体輻射と理解されているが、ハードテイルという数 MeV まで延びるべき関数型の硬 X 線成分 (McConnell et al. 2002) の起源は未知である。

我々は最も明るいブラックホール連星の 1 つである Cygnus X-1 の「すざく」による観測データを用い、ソフト状態におけるハードテイルのスペクトル形状と強度の関連を調べた。X 線 CCD カメラで検出された降着円盤由来の 0.5–3 keV の平均強度は $3 \times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ で数倍程度の弱い変動を示したのに対し、硬 X 線検出器で検出されたハードテイルの 15–60 keV の強度は数秒から数時間の広いタイムスケールで、 $2 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$ から $8 \times 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ まで最大 40 倍もの変動を示した。その変動には円盤成分の変動との弱い正の相関が見られた。ハードテイルは最高で 125 keV まで検出され、そのスペクトルは平均的には光子指数 2.7 程度で 25 keV 前後に折れ曲がりが生じていた。この光子指数は過去のソフト状態の Cygnus X-1 での値 (2.4 程度) に比べソフトである。ハードテイルの強度が変動してもその 15 keV 以上での平均的な傾きはあまり変化しなかったが、増光すると折れ曲がりやや強くなり、特に強度が最も強くなったときには軟 X 線成分も含めたスペクトルは Very High 状態のようになった。これらの傾向は 2013 年の 2 観測の解析で既に得られており (奥田 2015 秋天文学会)、今回は 2013 年の 2 回を含む 5 回分の観測データを解析して改めてこれを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W122a **MAXIによるCyg X-1の5.6日軌道周期変動**

杉本樹梨 (理研/立教大)、北本俊二 (立教大)、三原建弘、松岡勝 (理研)、他 MAXI チーム

ブラックホール連星 Cyg X-1 は、X 線で定常的に明るく、数日～数百日で low/hard 状態と high/soft 状態の遷移を示す。O 型超巨星の伴星 HDE226868 を持ち、ブラックホールは主に stellar wind を捕獲し降着することで X 線を放射している。可視光分光により求められた軌道周期は 5.6 日であり (Mason+1974; Bolton+1975)、軌道傾斜角 27° (Orosz+2011) で X 線食は見られない。low/hard 状態では、ブラックホール外合 (ブラックホールが伴星の向こう側にある) 付近で軟 X 線帯域に吸収 dip が見られる (Li&Clark+1974)。これは、非一様で clumpy な stellar wind における吸収によると考えられている (Kitamoto+1984; Boroson+2010)。一方、high/soft 状態では、軌道変動は見られないか、low/hard 状態よりも弱い dip が報告されている (Boroson+2010; Hanke+2011; Grinberg+2015)。本研究では、全天 X 線監視装置 MAXI のデータを用いて、Cyg X-1 の low/hard 状態、high/soft 状態における軌道変動を解析した。その結果、軌道周期で畳み込んだ 2–4 keV 帯域の光度曲線の変動 (振幅/平均比) は、low/hard 状態では約 8 %、high/soft 状態では約 5 % であった。さらにスペクトル解析により、low/hard 状態では水素柱密度 N_H が外合付近で約 2 倍 ($5 \rightarrow 9 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) に増加していることが確認できた。一方 high/soft 状態では、dip で N_H は増加しておらず、powerlaw 成分のフラックスが変動していることがわかった。これらの結果から、両状態とも外合付近で視線上のガスが増加することで軌道変動が作られているが、high/soft 状態では、low/hard 状態よりも 2–4 keV 帯域で X 線が 4 倍強いいため、ガスの電離が進んでおり、光電吸収よりもトムソン散乱の影響が大きくなっ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](#)

W123a 恒星風へのフィードバックを考慮した High Mass X-Ray Binary の質量降着モデル

谷治健太郎, 政井邦昭, 山田真也 (首都大)

はくちょう座 X-1(Cyg X-1) は、早期型巨星の伴星からの恒星風をブラックホールの重力によって捕捉し、そのガスの重力エネルギーの解放によって X 線帯域で輝く High Mass X-Ray Binary である。この天体には、明るく低エネルギー光子の多いソフト状態と、暗く高エネルギー光子の多いハード状態が存在することが知られている。P-Cygni プロファイルから、恒星風は伴星の紫外線領域の輻射圧によって加速されていると考えられるが、ブラックホールからの軟 X 線による、加速に寄与するイオンの光電離によって、特にソフト状態では恒星風が強く影響を受けることが予想される。実際に、伴星と観測者との間にブラックホールが位置する軌道位相では、ブラックホールが伴星の向こう側に位置する場合に比べて、恒星風速度が抑制されていることが観測的に示唆されている。

コンパクト天体への質量降着については、降着円盤描像 (disk-fed) に基づいた研究が盛んに行われているが、恒星風の捕捉 (wind-fed) から整合的に降着流や降着円盤の外縁の物理状態の議論につなげる研究はそれほど多くない。そこで、この研究の第一歩として、Cyg X-1 連星系を想定し、ブラックホールからの軟 X 線放射のフィードバックを考慮した、恒星風の捕捉によるブラックホールへの物質降着を調べた。具体的には、輻射圧加速の強さを変化させながら、電離状態を特徴付けるパラメータを用いてフィードバックを評価し、恒星風の速度・密度分布と質量降着率を数値計算から求めた。講演では、それらの値とソフト/ハード状態における恒星風速度やルミノシティとの整合性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W124a V404 Cygni のアウトバーストにおける規則的な短時間変動の発見

木邑真理子, 磯貝桂介, 加藤太一, 上田佳宏, 榎戸輝揚, 堀貴郁, 野上大作 (京都大学), 中平聡志 (宇宙航空研究開発機構), 志達めぐみ (理化学研究所), Colin Littlefield (Wesleyan University), 石岡涼子 (Academia Sinica), Elena P. Pavlenko (Crimean Astrophysical Observatory), Alexei S. Pozanenko (Space Research Institute, Russian Academy of Sciences), ほか VSNET team

V404 Cygni は、X 線や可視光で X 線や可視光でおよそ数十日から数百日にわたって増光現象 (アウトバースト) を不定期に起こすトランジェントなブラックホール (BH) 連星である。過去の観測から、この天体は、アウトバースト中に X 線や可視光で激しい短時間変動を示すことが知られている。

2015 年 6 月中旬から 7 月初旬にかけて、V404 Cygni は 26 年ぶりにアウトバーストを起こした。私達は、このアウトバーストの VSNET (国際変光星ネットワーク) を通じた国際共同可視測光観測を行い、トランジェントな BH 連星のアウトバーストでは過去最大の可視データを得た。その結果、V404 Cygni の激しい短時間変動 (振幅: 0.1–2.5 mag, 周期: 5 min–2.5 hours) が、BH 連星 GRS 1915+105 でエディントン光度 (L_{Edd}) 近くに達している時期に見られる、規則的な X 線短時間変動の形とよく似ていることを発見した。これは、今まで X 線でしか観測できないと思われていた、BH 近傍の放射エネルギーの振動現象を可視光で初めて捉えたことを意味する。また、X 線の同時観測データの解析により、このような規則的な短時間変動は光度がおよそ $0.01L_{\text{Edd}}$ でも起こっていることがわかった。これは、GRS 1915+105 に見受けられるのと同種の変動は光度が高いときに起こるという従来の定説を覆すものである。本講演では、V404 Cygni の 2015 年のアウトバーストの可視及び X 線観測データの解析の結果と、そこから考察される今回のアウトバーストの描像について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W125a **ブラックホール連星 V404 Cyg におけるジェット放射への制限: 可視近赤
外線偏光観測と広帯域スペクトルモデリング**

田中康之、伊藤亮介、植村誠、川端弘治、深沢泰司、秋田谷洋 (広島大学)、渡邊誠 (北海道大学)、
井上芳幸 (ISAS/JAXA)、吉井健敏 (東工大) 他、かなたチーム、光赤外線大学間連携チーム

X線連星 V404 Cyg は、1989年にX線と可視光で非常に明るいバーストを起こしたことで発見され、K型星と約10太陽質量のブラックホールからなる連星系である。2015年6月に同様の非常に明るいバーストがX線と可視光で検出され、X線フラックスは30 Crab以上にも達した。また、電波でも1 Jyに達するバーストが観測され、ジェットの存在が示唆されている (e.g., ATel 7646, 7702, 7708)。

我々は光赤外線大学間連携の協力のもとで、X線バーストが検出された直後から1週間、広大なかなた望遠鏡 HONIR と北大 Pirka 望遠鏡 MSI などを用いて、V404 Cyg の可視/近赤外線偏光観測を行った (ATel 7709)。その結果、可視近赤外線では大きなフラックス変動が観測されたにも関わらず、偏光度、偏光方位角の有意な時間変動は検出されなかった。V404 Cyg から観測された偏光度と偏光方位角は周囲の星とほぼ一致することも見出した。これらは、検出された可視近赤外線偏光が星間ダスト起源であり、V404 Cyg 由来ではないことを示唆する。

また、同時期の Swift 衛星やフェルミ衛星のデータも解析することにより、広帯域スペクトルを構築した。レーザーでよく用いられる one-zone Synchrotron+Inverse Compton モデルを用いることにより、ジェット放射のスペクトルモデリングを行い、放射領域のサイズや磁場強度、電子分布などを推定した。その結果、粒子加速は効率的ではなく、せいぜい電子のローレンツ因子が100程度までしか加速されていないことを見出した。本講演では、これらの観測結果を報告し、モデリングからジェットパラメータへの制限を行った結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W126a 位置天文観測による長周期ブラックホール連星の探査

山口正輝、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)

位置天文観測によって、連星を成している高密度星の質量を測ることができる。連星を成す恒星に対して天球面上の位置を正確に計測すると、相手の星の影響によりその位置が揺らぐ。その揺らぎ方は楕円軌道を描くが、その楕円軌道からすべての連星軌道要素を独立に計測できる。さらにその軌道要素から、相手の星の質量を推定することができる。その相手の星が高密度星の場合、その質量から白色矮星、中性子星、またはブラックホールのいずれかを特定することができる。この位置天文観測の性質を利用することで、観測する恒星が連星を成しているか不明な場合に高密度星の探査が可能である。特に、質量を計測した場合に3太陽質量かそれ以上の場合、ブラックホールであることがわかる。したがって、位置天文観測によりブラックホール探査が可能である。

今回、位置天文観測でどれだけ長い周期のブラックホール連星を探査可能かを数値計算によって調べた。川中氏ら (前回年会 J113a) によって、Gaia 衛星を用いた位置天文観測により発見されるブラックホール連星の数が見積もられた。そこで、連星周期の最大値は不定性が残されていたが、連星の数を正確に見積もるためにはその最大値を見積もることが必要である。そこで我々は、疑似観測データを用いた数値計算により観測期間より長いブラックホール連星に対して観測精度を調べた。

その結果、5太陽質量のブラックホールを持つ連星であれば、観測期間の5倍の周期の連星であっても、ブラックホールを同定できる程度の精度で観測できることがわかった。このとき、位置精度を10マイクロ秒角を仮定している。したがって、Gaia を想定した場合、周期25年のブラックホール連星も発見が可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W127a **TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 における吸収量の位相依存性**

河野貴文 (広島大), 森谷友由希 (Kavli IPMU), 高橋弘充 (広島大), 岡崎敦男 (北海学園大),
Dmitry Khangulyan(立教大), 深澤泰司 (広島大)

ガンマ線連星は、コンパクト天体と大質量星からなり、1 MeV 以上の高エネルギー放射が卓越している連星系である。これまでに5つのガンマ線連星が発見されてきたが、系を構成するコンパクト天体の正体は1つの天体でしか突き止められていないため、粒子加速機構・高エネルギー放射機構の統一的理解は足掛かりも掴めていない。ガンマ線連星の物理的な描像としては、コンパクト天体の正体がパルサーであるパルサー風モデルと、ブラックホールかパルサー風を伴わない中性子星であるマイクロクエーサーモデルの2つのモデルが提唱されている。

HESS J0632+057 は Be 星と正体不明のコンパクト天体からなる大質量連星系であり、電波から TeV ガンマ線までの、GeV ガンマ線を除く幅広い領域で検出されている。この系はガンマ線連星の中でも特異であり、遠星点前に鋭いピーク、遠星点後にゆるやかなピークを持つ周期的な X 線とガンマ線の光度変動を示す。この振る舞いを十分に説明できるモデルはまだ存在しない。我々は、Be 星とコンパクト天体との相互作用に制限を与え、高エネルギー放射の起源に迫る為に、HESS J0632+057 の Swift/XRT のデータ解析と可視・近赤外線モニター観測を行っている。約6年間の Swift/XRT のデータを詳細に解析した結果、位相に依存してスペクトルのべき、もしくは吸収体の柱密度 N_H が変化していることが分かった。更に、primary peak 付近は全平均に比べ、 N_H が有意に大きいことが明らかになった。本講演ではこれらの観測結果の報告と、そこから示唆される相互作用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](#)

W128a カニパルサー巨大電波パルスの Stacking 解析

三上諒¹, 寺澤敏夫¹, 浅野勝晃¹, 田中周太¹, 木坂将大², 三澤浩昭³, 土屋史紀³, 北元³, 関戸衛⁴, 岳藤一宏⁴, 竹内央⁵, 1: 東京大学, 2: KEK 素核研, 3: 東北大学, 4: 情報通信研究機構, 5: 宇宙航空研究開発機構

カニパルサーからは、電波帯域において数秒から数分に一度、通常パルスの数千倍にも達する巨大電波パルス (Giant Radio Pulse, GRP) が観測される。我々は未解明の GRP 発生機構にスペクトルの観点から迫るべく、2014 年 9 月 6-7 日、国内の電波望遠鏡群を用いて GRP の多周波同時観測を行った。

2015 年春季年会より我々は、0.3 GHz (以下 P 帯), 1.6 GHz (以下 L 帯), 2.2 GHz (以下 S 帯) での同時観測期間内に得られた GRP のスペクトルについて解析を行った結果を報告している。本講演においてはさらに、L, S 帯ではともに検出できたが、P 帯では検出限界以下となった GRP (以下、L/S GRP) に注目することで、より弱い GRP のスペクトルの性質に迫ろうとした。我々は、L/S GRP が発生した周期の P 帯のライトカーブを足し合わせることでノイズレベルを下げ、検出限界以下の GRP の存在を検証した (Stacking)。この結果我々は、単発では検出できないが平均としては非 GRP 時より数倍程度明るいパルスの存在を確認することが出来た。本講演ではこの結果の詳細と、結果から推測されるスペクトルの性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W129a Fermi 衛星による若いパルサー PSR J2022+3842 の γ 線長期観測

大内 遙河、有元 誠、谷津 陽一、河合 誠之 (東京工業大学)、中森 健之 (山形大学)

Fermi 衛星はこれまでに 160 個以上のパルサーから高エネルギー γ 線のパルスを検出しており、そのうち約半数は、特性年齢 10 万年未満の若いパルサーである (<http://tinyurl.com/fermipulsars>)。一方で γ 線パルスが検出されていない若いパルサーも存在する。 γ 線と電波で観測できるパルサーのそれぞれの数を知る事はパルサーの放射起源の解明にもつながる (Romani et al. 1995)。

PSR J2022+3842 は SNR G76.9+1.0 中に X 線で発見された若い回転駆動型パルサーであり、48 ms のパルス周期をもつ (Arzoumanian et al. 2011, Arumugasamy et al. 2014)。PSR J2022+3842 のエネルギー損失率と特性年齢の値 3.0×10^{37} erg/s と 8.9 kyr はともに有名な Vela パルサーに近い値を持つ。このパルサーは銀河面に位置するため背景および周辺からの γ 線の混入が多いため、解析が難しく、 γ 線パルスは検出されていなかった。今回我々は *Fermi* 衛星の約 7 年分のデータを詳細に解析し、PSR J2022+3842 のパルス放射の長期的な振る舞いを明らかにした。また、*RXTE* やグリーンバンク望遠鏡のデータを再解析し γ 線パルス放射と比較したところ、 γ 線フラックスに連動したパルス周期の変化を発見した。また時期的にパルス成分の消長があることも明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W130a X線連星パルサー GX1+4 の降着柱からの放射

吉田裕貴, 北本俊二, 鈴木大朗, 星野晶夫 (立教大理)

X線降着駆動パルサーは伴星から中性子星への質量輸送がおこる。中性子星へ輸送されたガスは最終的に中性子星の持つ磁場に沿って磁極付近の表面に降り積もる。降着により熱せられた中性子星表面からX線が放射され、磁軸と自転軸の不一致により自転周期に対応したパルスが観測される。

GX1+4はM5III型巨星と中性子星との低質量X線連星系を成すX線降着駆動型パルサーである。1970年代にはスピナップの状態にあったが、1980年代に入り徐々にlow stateとなり、感度限界を超え検出できなくなった。1980年代後半再び観測された時には一転して、スピンドアウンの状態にあった (torque reversal)。このトルク反転から磁場強度は 10^{13} - 10^{14} Gと推測され、典型的なパルサーの1-2桁上の強磁場を持つという報告があるが未だに決着がついていない。パルスプロファイルには吸収ディップの構造を持ち、中性子星表面の放射領域の降着柱による食であると解釈できる。したがって中性子星の放射領域から降着柱付近の物理現象を調査するサンプルとして興味深い天体である。

我々はすざく衛星が観測したGX1+4のデータからライトカーブを抽出し、folding解析を行った。得られたパルスプロファイルからdipの幅がエネルギーが高くなるにつれて広がるのがわかった。さらにスピン位相により分割した1-120keVのエネルギースペクトルを作り、スペクトル解析を行った。その結果、位相別けしたすべてのスペクトルを黒体放射 (BB) とカットオフ付きベキ関数 (CPL) の重ね合わせたモデル (BB+CPL) により再現することができた。本公演では、これらの時系列・スペクトル解析の結果をもとに中性子星の降着柱の散乱による放射の様子について議論する

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W131a X線光度にみる電波パルサーの活動性磁場の存在確率

柴田晋平、 渡邊瑛里（山形大学）、谷津陽一（東京工業大学）、榎戸輝揚（京都大学）

電波パルサーの磁気圏と粒子加速機構および放射機構の理解のため、X線光度 (L_X) と回転パワー (L_{rot}) の相関関係 ($L_X - L_{\text{rot}}$ 相関) が盛んに調べられている。これまでにいくつもの $L_X - L_{\text{rot}}$ 相関が提唱されてきたが、使用するサンプルによって結果にばらつきがあり、統計的に有為でない事から、一つの見解に収束していない。一方で、双極磁場 (B_d) が 10^{13}G を超えるようなマグネター種族は、 $L_X - L_{\text{rot}}$ 相関に沿わず、X線超過を起こしている事が知られている。それらと同等の B_d を持つ強磁場電波パルサーの中にも、X線超過を起こしている例がみられ、強磁場電波パルサーの中にもマグネター種族と同じような散逸性の磁場を持つものと疑われる。これら強磁場電波パルサーとマグネター種族の $L_X - L_{\text{rot}}$ 相関上での境界は、明瞭でない。

そこで我々は、モンテカルロシミュレーションを用い、統計的に有為な $L_X - L_{\text{rot}}$ に潜在する真の相関関係を探索した。この探索では、潜在する $L_X - L_{\text{rot}}$ 相関を仮定し、 L_X にばらつきをもたらす効果を取り入れたシミュレーターを用いて L_X の確率分布を求め、実際の観測データとの比較を行った。中性子星のサンプルは、普通の電波パルサー（ミリ秒パルサーなどを除く）をパークスの電波カタログから抽出し、それらを観測回転パワーフラックス ($F_{\text{rot}} = L_{\text{rot}}/4\pi r^2$) ごとのサンプルと強磁場を持つ電波パルサーサンプルに分けて使用した。

統計解析の結果、 $L_X - L_{\text{rot}}$ 相関関係として $\log L_X = 1.1(\pm 0.3)[\log L_{\text{rot}} - 27] + 33.8(\pm 0.4)$ を得た。上限値を考慮した統計解析も行い、同じ相関を得た。またこの結果は、使用するサンプルを超えて普遍であった。強磁場を持つ電波パルサーのサンプルでは、強磁場電波パルサー内に活動性磁場がないという命題は棄却され、およそ10%程度の存在確率であるという結果を得ている。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W132a 全天 X 線監視装置 MAXI による長い X 線バーストの観測

芹野素子, 岩切渉, 玉川徹 (理研), 坂本貴紀 (青学大), 中平聡志 (JAXA), 松岡勝 (理研), 山岡和貴 (名大)

superburst は中性子星表面での爆発的な核融合反応によって X 線で明るく輝く現象 (X 線バースト) のなかでも継続時間が 30 分以上におよぶ長いものである。これまで約 20 年の観測により、25 例程度が見つかっており、発生頻度は年に一度程度と珍しいイベントである。発生源はすべて既知の (通常の) X 線バーストを起こす天体であるが、いつどの天体が superburst を起こすかは予測できないため、広い天域をモニタ観測するような装置による観測例が多い。国際宇宙ステーションに搭載されている全天 X 線監視装置 MAXI はこれまで約 6 年半の観測で 10 例の superburst (候補を含む) を観測した。この数は、前述の頻度と比べても多く、効率良く観測できていると言える。

MAXI により観測された superburst の特徴は、バースト前後の定常放射成分が弱いことである。また、アウトバーストと静穏期を繰り返すランジェント天体からの superburst も多い。これらは、従来知られていた「superburst は persistent で明るい天体で発生する」という描像と異なるため、従来の superburst の理論では説明が難しく、見直しが必要になると考えている。また、MAXI では定常放射の成分をモニタできることを利用して、バーストが起こる時期と定常放射の明るさとの関係を調べた。その結果、4U 1850-086 では、通常の X 線バーストが起こるのは定常成分の明るいアウトバースト中であるが、長いバーストが起こる時はアウトバースト中ではないことがわかった。更に、バーストの継続時間とピークの明るさの関係を調べたところ、それらの積が一定になるような傾向を発見した。これらの結果は、長いバーストの点火メカニズムや燃料などを考えるヒントになるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W133a **MAXI/GSC と Swift/BAT による LMXB の Z ソースのコンプトン成分**

浅井和美、三原建弘、松岡勝、杉崎睦 (理研) ほか MAXI チーム

前回の天文学会では、Eddington 光度の約 10%以下で輝いている 9 つの Atoll ソースのソフト状態について、MAXI/GSC と Swift/BAT のモニタリング観測 (2009-2015 年) の光度曲線 (2-10 keV と 15-50 keV) 解析から、2 バンドの強度比 (ハードネス比: HR) 分布のピーク値の違いを見出し、それは、中性子星の磁場の違いによると推測した。今回、Eddington 光度程度で定常的に輝いている 6 つの Z ソース (常にソフト状態) について、同様の解析を行った結果、HR の分布のピーク値に大きな差はなかったが、HR が 5 倍程変化する天体 (Cyg X-2, GX 5-1, GX 340+0, GX 17+2) と、ほとんど変化しない天体 (Sco X-1 と GX 349+2) の 2 つに分けられた。

HR の値は、コンプトン成分の輻射の違いを反映していると考えられる。コンプトン成分には、熱的成分と非熱的成分 (バルク成分: 中性子星近傍でのバルク運動によるコンプトン成分) がある。HR がほとんど変化しない Sco X-1 は、コンプトン雲の熱的成分の電子温度 (T_e) が、3-180 keV (Titarchuk+2014) と大きく変化するが、HR の変化が大きい GX340+0 は、 $T_e=3-21$ keV (Seifina+2013) と変化が小さいという報告があり、HR は、熱的成分の T_e とは関係がなさそうである。一方、Z ソースのバルク成分については、様々議論があるが、Z ソースの中でも明るい Sco X-1 はバルク成分を無視でき (Titarchuk+2014)、Sco X-1 に比べ光度が低く、HR の変化が大きい Cyg X-2 は、バルク成分の存在が報告されている (Farinelli+2009)。これらのことから、我々が観測した HR の変化は、熱的成分 (T_e) の変化ではなく、バルク成分が関係している可能性がある。

光度が Eddington 光度を越える場合は、輻射圧で中性子星への質量降着が抑えられるため、バルク成分は減少すると考えられるので、Sco X-1 は、バルク成分が抑えられ、HR の変動が小さいと推測できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W134a 低質量連星中性子星の長時間発展

木内建太（京都大学基礎物理学研究所）、久徳浩太郎（理研 iTHES）、柴田大（京都大学基礎物理学研究所）

今年の9月より重力波観測器 Advanced LIGO（アメリカ）が稼働を開始した。2018年頃を目途に、日本のKAGRA、イタリアーフランスの advanced VIRGO が本格観測を開始する予定である。連星中性子星合体はこれらの観測器の有望なターゲットであるため、合体過程の詳細な理解が望まれる。

特に近年パルサーの観測より中性子星の最大質量の下限に2太陽質量という制限がついている。また、観測されている連星中性子星の内一番質量が小さいものは1.2太陽質量程度である。この2つの観測事実と数値相対論シミュレーション結果を合わせると、合体後過渡的に存在する大質量中性子星の寿命は長いと予想される。この星がどのような運命をたどるかは、角運動量輸送と冷却機構に依存するため、我々はスーパーコンピューター京を用いた高解像度数値相対論-磁気流体シミュレーションを実行した。先行研究より比べて長時間発展を追跡し、その結果をもとに大質量星の運命について議論する。具体的には、ブラックホールへ崩壊した後に降着円盤が形成されるのか、質量放出があり得るかについて重点的に調べた結果を講演する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W135a $z > 10$ の初代天体における中性子星連星の合体

田川寛通 (東京大学), 梅村雅之 (筑波大学), 郷田直輝 (東京大学, 国立天文台)

r 過程元素の起源として、中性子星連星の合体が有力であることが、近年の数値シミュレーションにより示されている。また、金属量の低い恒星の r 過程元素の組成比の分布から、中性子星連星の誕生から 10 Myr 以内に合体が起こっている必要があることが指摘されている。しかしながら、観測されている中性子星連星の軌道周期から、合体時間は 0.1 Gyr 以上と見積もられる。このような、予想される中性子星連星の合体時間の相違が、中性子星連星の合体による r 過程元素の説明として、問題となっている。

そこで、本研究では、ガスが豊富な初代天体において、ガスの力学的摩擦の効果により、短い時間で中性子星連星が合体できるか調べるため、数値シミュレーションを行なった。シミュレーションの背景として、複数個の中性子星とブラックホールが初代星残骸として、系内に残っている状況を考えた。計算には、一般相対性理論の効果とガスによる力学的摩擦の効果を取り入れた。結果として、初代天体として期待される 10^7 cm^{-3} 程度の高ガス密度領域において、10 Myr 以内に中性子星連星の合体が起こる場合があることが確認された。このように、初代天体の環境を考慮することが、中性子星連星の合体時間の問題に対して、解決策となり得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](#)

W136a 核子の超流動・超伝導状態を考慮した中性子星の冷却

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 橋本正章 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (京都大学), 藤本正行 (北海学園大学)

中性子星内部は QCD 相図上の低温高密度領域に位置し、クォーク物質やメソン凝縮、ハイペロンの出現や核子の超流動・超伝導といった興味深い現象が出現すると考えられている。高密度な物質の状態は、ニュートリノ放射に顕著に表れ、中性子星の熱的進化へ大きな影響を与える。超流動・超伝導以外の状態については、臨界密度以上で出現すると考えられており、重い中性子星ほど強いニュートリノ放射を行う“エキゾチック”な状態を持ち、重いほど早く冷えると考えられる。核子の超流動・超伝導状態 (中性子の 1S_0 、 3P_2 、陽子の 1S_0 状態) は、密度依存する臨界温度にて相転移を起こす。この超流動・超伝導への相転移において、転移時にはニュートリノを放射し星を強く冷却するが、一度相転移してしまうと今度はニュートリノ放射を抑制する効果をもち、冷却へ複雑な影響を起こすことが知られている。

本研究では、核子の超流動・超伝導状態を考慮した中性子星の冷却シミュレーションを行い、観測結果を説明できるパラメータ範囲を調査した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W137a マグネター 4U 0142+61 の硬 X 線パルス位相変調: *NuSTAR* データの解析

牧島一夫 (理研), 榎戸輝揚 (京大), 村上浩章 (東大), 中澤知洋 (東大)

我々は「すざく」の2009年の観測 [1-3]、さらに2013年 [3,4] および2011年の観測 [5] で、マグネター 4U 0142+61 の周期 $P = 8.69$ s の硬 X 線パルスが、 $T = 55 \pm 4$ ksec の長い周期で位相変調されている証拠を得た。さらにマグネター 1E 1547.0-5408 では、 $P = 2.07$ s の硬 X 線パルスが $T = 36_{-2.5}^{+4.5}$ ksec の周期で位相変調されていることを突き止めた [6-8]。我々はこれを、マグネターが $\sim 10^{16}$ G の内部磁場により $\epsilon \sim 10^{-4}$ だけ縦長に変形されたため自由歳差運動が発生し、そのスリップ周期が $T = P/\epsilon$ に発生した結果と解釈している。

これら「すざく」の結果には、別衛星による検証が必須である。そこで今回、米国の硬 X 線撮像衛星 *NuSTAR* で2014年3月に正味 144 ksec (gross 217 ksec) にわたり取得された、4U 0142+61 の高統計の公開データを解析した。このデータはすでに他グループにより解析され、位相変調の徴候は無いと報告されていた [9]。

10-70 keV の *NuSTAR* データに対し、「すざく」と同じ手法で $T = 10 - 100$ ks の範囲で復調解析を行った結果、最も有意な変調効果は、周期 $T = 56 \pm 8$ ksec において、振幅 $A \sim 0.15$ s (パルス周期の 2%) 付近に得られた。これとても統計的有意度は決して高くはなく、このデータだけで変調の存在を主張することはできない ($A = 0$ を棄却できない) が、 T の値は「すざく」の結果と良く一致する。「すざく」の4回の観測でも A の値が異なる ($A < 0.9, 0.7 \pm 0.3, 1.5 \pm 0.5, 1.2 \pm 0.4$) ことから、この結果は「すざく」のものと矛盾しないと考えられる。

[1] Makishima+2014, Phys. Rev. Lett. 112, id.171102 [2] 牧島+13年春の年会 J72a [3] 牧島+14年秋の年会 J133a [4] 村上+14年秋の年会 J135a [5] 村上+15年春の年会 J124a [6] Makishima+2014, PASJ 68, in press (tmp.263M) [7] 牧島+15年春の年会 J125a [8] 牧島+15年秋の年会 J135a [9] Tendulkar+2015 ApJ 808, id.32.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W138a マグネターの磁場強度と硬X線放射の相関: すざく観測のまとめ

榎戸輝揚 (京大), 柴田晋平 (山形大), 北口貴雄 (広島大), 諏訪雄大 (京大/MPA), 内出崇彦 (産総研), 牧島一夫 (理研)

2015年8月に正式に運用を終了した「すざく」衛星は、10年間の稼働中に15個のマグネターを観測した。これは知られている銀河系内のマグネター23個ほどのうち約7割に及ぶ。そのX線放射は、 ~ 0.5 keVの黒体放射で近似できる表面の熱放射と、新たに見つかってきた10 keV以上で卓越する光子指数 $\Gamma \sim 1$ のべき成分の二つの放射成分からなることがわかってきた。2009年までの観測データをもとに、2成分の光度比が自転周期の測定から推測できるダイポール磁場の強さに相関し、磁場が強いほど硬X線放射が卓越すると指摘した (Enoto et al., 2010, ApJL)。硬X線の光子指数も磁場強度に相関することも見出した。本講演では、その後取得された「すざく」データに加え、*NuSTAR* 公開データを合わせた最新結果を報告する。現時点で、15-60 keVで 3σ 以上の有意性で9天体 (非公開データでさらに1天体) から硬X線が検出され、その典型的なX線フラックスは $\sim 1-11 \times 10^{-11} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ であった。過去のトランジェント・マグネターでは感度のよい硬X線データがない点を考えると、ほとんどのマグネターは硬X線放射をもつと考えられる。*NuSTAR*で新たに検出された天体の結果や、「すざく」で得られた弱磁場天体での上限値も、これまでに提案した相関と矛盾なく、ダイポール磁場の強さがマグネターの広帯域スペクトル進化を表すよいパラメータと確かめられた。さらに、*Swift*と*RXTE*衛星の2006年から2011年のトランジェント・マグネターのデータを解析し、突発増光後のX線放射の減光が、初期の数日のプラトー後にべき則で減衰する、地震学で余震の発生個数を表現する大森則によく近似できることも報告する。定常放射のスペクトルと時間変化を整理し、すざく衛星によるマグネター観測の1つの“まとめ”とする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W139a 強い電磁場の量子効果による真空の屈折率の変化

矢田部彰宏, 山田章一 (早稲田大学)

中性子星の中で特に磁場の強いものをマグネターといい、巨大フレアやバーストなどの大規模な天体現象を起こす。これらの天体現象の原因はそれ自体の強い磁場であると考えられているが、どのような素過程が引き起こすかなどの具体的なメカニズムはわかっていない。それどころか、強い電磁場によって引き起こされる量子電気力学的な過程は現在でも活発に研究されている。本研究では、強い電磁場中で起き、真空の屈折率を変化させる量子電気力学的な過程である真空偏極を扱う。将来の高強度レーザーによる実験において、真空偏極を検証することが可能であると考えられていて、ここではレーザー実験における真空偏極を考える。高強度レーザーによる平面電磁波の波長は可視光程度で、これは crossed field とよばれる平面電磁波の長波長極限としてみなせる。本研究では crossed field 中の真空偏極を扱い、屈折率を定量的に求める。求めた屈折率は複素数で、虚部は電子と陽電子の対生成を表す。また、平面電磁波の変化による量子論的な効果もあると考えられていて、本研究では crossed field の強さに勾配がある場合を扱い、crossed field の場合の屈折率からのずれも求める。電磁場の変化による量子効果はマグネターの天体現象のモデルの一つで重要であると考えられていて、本研究はそのモデルを扱うための基礎的な理論となりうる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W140a **MAXI が検出した 2015 年度後半の突発現象と検出限界光度近くの突発天体の検出**

根來 均, 中島基樹, 田中一輝, 増満隆洋 (日本大学), 芹野素子, 杉本樹梨, 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 中平聡志 (JAXA), 坪井陽子, 兼藤聡一郎, 中村 優美子 (中央大学), 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

15 年 9 月の秋季年会以降、12 月 7 日までに、MAXI チームから 11 件の The Astronomer's Telegram (ATel) への突発天体の報告と、2 件の The Gamma-ray Coordinates Network (GCN) への GRB の検出の報告を行った。2 つの新天体起源の可能性のある増光 (MAXI J1714-130: ATel #8050, MAXI J1135-606: ATel #8322) を検出、報告したが、ともに Swift/XRT の追観測によって対応天体は発見されなかった。一方、今年の 5 月に発見された新天体 MAXI J1957+032 の再増光が 10 月に検出され (ATel #8143)、Swift/XRT の追観測で数日間ほどで減光する特徴的な活動が観測された。天体の正体はまだわかっていない。また、Be パルサー GX 304-1, A 0535+26 (ATel # 8055), GS 0834-430 (#8175), 4U 0115+63 (#8179) のアウトバーストの検出に加え、小マゼラン星雲の Be パルサー SMC X-2 の活動が 15 年ぶりに捕らえられた (ATel #8088)。

これら以外にも、dMe 型星 YY Gems (ATel # 8090), RS CVn 型星 GT Mus (ATel # 8285) からの超巨大フレア、低質量連星系 IGR J17062-6143 から数時間続いたスーパーバースト的な活動 (ATel # 8252)、ブレーザー 1ES 1959+650 の増光 (ATel # 8165)、そして、GRB 151027A (GCN 18525), GRB 151112A (GCN 18596) の検出も行った。講演では、これまでの XRT の追観測によって検出されなかった天体を含め、MAXI/GSC 検出器の検出限界近くの突発天体の検出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](#)

W141a **MAXI 未同定ソフトランジェント MAXI J1501-026 の可能な天体は？**

松岡勝 (理研), 中平聡志 (JAXA), 三原建弘 (理研), 根来均 (日大), MAXI チーム, 松元亮治 (千葉大)

MAXI は 6 年半近い全天 X 線監視観測を続けてきた。この間、連星の中性子星、ブラックホール天体、活動銀河核、激変星、新星、超新星の残骸、ガンマ線バースト、星フレア等の多くを観測してきた。これまで観測したランジェント天体のほとんどはよく知られたこれらの天体に何れかに属するのが多い。ところが、ランジェント天体のなかでこれらの天体のどれにも対応の難しいものが見つかっている。ここでは、その一つの MAXI J1501-026 の観測結果とその性質を発表する。

この天体の方角は、銀河中心から銀河の北に 47 度ほど離れたところに出現した。強度は 440 mCrab でスペクトルは 5keV 以下だけ輝く非常にソフトなランジェントであった。黒体放射のスペクトルで $kT_{BB} \sim 0.5\text{keV}$ であった。この X 線強度は国際宇宙ステーション ISS の 1 周回に MAXI が観測できる約 40 秒だけ輝き、この ISS の周回の前後の周回 (± 90 分) の観測では検出されなかった。さらに MAXI で検出された ~ 3 時間後の Swift/xrt の追観測でも新天体を検出できなかった。X 線は 約 40 秒ほど減衰をせず輝き長くても約 5000 秒以下で消えていた。また、半日後には木曽のシュミットでの光観測や、美星天文台やアマチュア天文台 (仙台の遊佐 他) では、通常の新星は見つからなかった (山岡均 [九大] 情報による)。

観測データと解析結果は、これまでの上記の通常为天体としてはどれも説明が困難である。つまり、非常に特殊な状態を考えなければならない。そこで、ここでは、新しいモデルとして、単独に浮遊する星サイズのブラックホールに彗星が衝突した場合の可能性を考えてみた。一つの解として質量 10^{18}g ほどの彗星が潮汐破壊して一時的に降着円盤を作って X 線を出すことが可能であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W142a **MAXI 未同定短時間軟 X 線トランジェント (MUSST、マスト天体)**

三原建弘 (理研)、根来均 (日大)、中平聡志 (JAXA)、松岡勝、芹野素子、高木利紘、杉崎睦 (理研) ほか MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI は 6 年半近く、変動する X 線宇宙を全天観測してきた。ガンマ線バースト (GRB)、活動星フレア以外にも、20 個近い新 X 線天体を発見してきた。それらの多くは、ブラックホール連星、中性子星連星、白色矮星連星であった。しかし、その正体が分からないものも蓄積し 8 例に達した。それらの特徴は、X 線領域の MAXI 帯でのみで輝く天体 (硬 X 線の Swift/BAT では検出されない soft な天体) であり、半日後の Swift/XRT の追観測時にはすでに消えている短時間現象 (short transient) である。Swift/XRT で同定できなければ、MAXI の位置精度 (約 0.3 度) では可視光の追観測には不十分なので「未同定」に終わる。我々はこれらを MAXI Unidentified Short Soft Transient (MAXI 未同定短時間軟 X 線トランジェント、MUSST) と名付けた。

これらの中には、X 線残光を伴わなかった (弱くて X 線残光も暗かった) GRB や、天体位置が Swift XRT の追観測の視野外であった場合もあるだろう。しかし「未同定」の主原因は、その X 線減光が速すぎて追観測で検出できなかったためである。本講演では、MUSST 天体の現状をまとめ、これが、恒星フレア、X 線閃光 XRF、軟 X 線新星、静穏時の中性子星連星での X 線バーストなど、既知のカテゴリの天体なのか、あるいは、宇宙論的に赤方偏移した GRB、GRB の親なし残光、重力波天体、古いマグネターなど、未知のカテゴリの天体なのかを議論する。MAXI J1501-026 については、松岡らによる「単独ブラックホールに彗星が落下」説も提唱される。

我々は、2016 年 8 月に同じく ISS に搭載予定の NICER (ナイサー) 装置と即時連携し、ディスカバリスペースとして残されている、X 線 (10keV 以下) での短時間 (1 時間以下) のフロンティアを探ることを考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W143a Swift 衛星による NGC 1313 X-1 の 900 日連続観測

吉田鉄生, 川島朋尚, 高橋博之 (国立天文台)

ULX(Ultraluminous X-ray source) とは、系外銀河の核でない場所に発見される 10^{39} erg/s を超える点源状の天体であり、ブラックホールであると思われる。ULX は比較的安定した光度で輝き続けるが、時に数倍から 10 倍程度の光度変化を起こすことで知られている。これまで、すざく衛星などによって良質なスペクトルが得られ、低光度状態/高光度状態それぞれのスペクトルが詳細に分かってきたが、離散的な観測であるために、光度が上昇している最中にスペクトルがどのような変動を起こすかはよく分かっていない。

我々は、Swift 衛星によって行われている NGC 1313 X-1 の長期間モニタリングに注目し、2013 年 6 月から 2015 年 11 月までの約 900 日間の観測データの解析を行った。観測の間、X-1 はすくなくとも 2 種類のバーストを起こした。ひとつは数十日に渡る緩やかなバーストであり、50–80% 程度の光度上昇 (~ 5 to 9×10^{39} erg/s) とともに、スペクトルがソフトに変化した (Hardness ratio: $HR=3-10$ keV/ $0.5-3$ keV ~ 2.8 to 2.2)。もうひとつは day scale の突発的なバーストであり、 $\sim 4 \times 10^{40}$ erg/s に達する光度上昇とともに、スペクトルがハードに変化した ($HR \sim 0.2$ to 0.3)。また、いくつかのバーストの直前に、光度一定のままスペクトルが急激にソフトになり、その後 HR が一定のまま光度が上昇するという特異な変動を検出した。本講演では、ブラックホールへの質量降着率や磁場流入の変動が観測された 2 種類のバーストに与える影響について議論し、光度上昇直前の Histerisis な現象がバーストの前兆である可能性を提示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W144a 熱的コンプトン過程を用いた ULX 天体の統一的な描像

小林翔悟, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

Ultra Luminous X-ray source (ULX) は、渦巻銀河の腕などに見られる X 線で異常に明るい点源で、その質量については未だ議論が続いているが、中間質量 ($\geq 100M_{\odot}$) ブラックホール (BH) の有力候補である (牧島+2000)。ULX は全てが系外銀河に付随しており、光学主星の軌道ドップラーから BH の質量を測定することは困難である。よって ULX の質量を求めるには、その X 線スペクトルの振る舞いを、より知見の進んでいる BH 連星 (BHB) のものと比較することが重要な鍵となる。

ULX のスペクトルは、 ~ 10 keV まで冪状に伸びる Power-Law 状態と、上に凸な Disk-like 状態という2つの状態を示し、これまで異なるスペクトルモデルで個別に解釈されてきた。しかし宮脇ら (2009) は後者が前者と同様に、降着円盤からの多温度黒体放射 (MCD) とその熱的逆コンプトン散乱 (THC) という BHB で一般的に用いられるモデルで自然に再現できることを、代表的な ULX である M82 X-1 で示した。そこで我々は4個の ULX にこの MCD+THC モデルを適応したところ、状態によらずそれらのスペクトルがよく再現されることが判明した。また2状態でのスペクトル形状の違いを、「種光子を供給する円盤の温度 T_{in} とコンプトン雲の電子温度 T_{e} の比 $T_{\text{e}}/T_{\text{in}} \equiv Q$ 」と、「円盤からの全放射のうちコンプトン散乱される割合 F 」という新しい2つのパラメタで特徴づけることができた。さらに状態遷移の起きる「臨界光度」を推定すると、それが4個の天体間で、 ~ 1 桁もばらつくことがわかった。この臨界光度が BHB と同様に、ある一定のエディントン比に対応すると仮定すると、ULX の質量も同じだけ幅をもつことが示唆される。よって、ULX の最小質量を $10M_{\odot}$ と仮定しても、最大のものは $100M_{\odot}$ に達すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W145a ULX パルサーの超臨界降着シミュレーション

川島朋尚 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大), 大須賀健 (国立天文台/総研大), 小川拓未 (京都大)

最近、超高光度 X 線源 M82 X-2 から周期 1.37 秒の X 線パルスが検出された (Bachetti et al. 2014)。パルス放射を示すことから、M82 X-2 では、銀河系内のパルサーと同様、回転軸と向きの異なる磁軸に沿って中性子星極冠への降着が起きていると考えられる (ULX パルサー)。その光度は $10^{40} \text{ erg}\cdot\text{s}^{-1}$ にも達し、中性子星のエディントン光度を大きく超えていることから、中性子星極冠への超臨界降着が起きていると考えられる。しかし、果たして中性子星極冠への継続的な超臨界降着は可能なのか、可能な場合、降着コラムはどのように光るのか、弱磁場中性子星やブラックホールへの降着との違いは何なのか、よくわかっていない。

そこでわれわれは、超臨界降着コラムの軸対称 2 次元輻射流体シミュレーションを実施した。簡単のため、降着コラムの形状は円錐状とし、コラム側面はガスは通さないが輻射は自由に通す境界とした。その結果、中性子星表面付近 ($r < 15 \text{ km}$) で降着ガスの圧縮により運動エネルギーが輻射エネルギーに変換されることで大量の輻射エネルギーが降着コラム内で生み出され (バルクコンプトン効果)、発生した光子がコラム側面から多量に抜け出て、エディントン光度の 100 倍超で輝くことがわかった。発生した光子の大部分は降着流側面へと逃げるため、動径方向への輻射圧は弱められて継続的な超臨界降着が可能となる。また電磁波輻射は極めて非等方的なため、中性子星自転に伴い観測フラックスは大きな周期変動を示すこともわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W146a 中性子星周囲の超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

高橋博之(国立天文台), 大須賀健(国立天文台/総合研究大学院大学)

超高光度 X 線源 M82 X-2 から X 線パルスが検出された (Bachetti et al. 2014)。これは、少なくとも一部の超光度 X 線源の中心天体が中性子星であり、エディントン光度を超えて輝いていることを示唆している。また、中性子星への超臨界円盤降着は、X 線連星の観測によっても示唆されている (Takahashi 2005)。

中性子星への超臨界円盤降着は可能か否か? Ohsuga (2007) は、輻射流体シミュレーションによって可能であることを示した。しかしながら、この計算では磁場を解かずにアルファ粘性モデルを採用しており、また、一般相対論効果も近似的にしか取り入れていない。

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実行し、弱磁場中性子星周囲の超臨界降着円盤を調べた。その結果、超臨界降着が可能であり、円盤からアウトフローが発生することがわかった。しかも、ブラックホールの場合と異なり、アウトフローのパワーは、輻射光度の 10 倍にも達するほど強力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](#)

【W2. 高密度星】

3月15日(火) 午前(10:30-11:30) [E会場]

W201b	10:30	Submillimeter follow-ups of Gamma-Ray Burst Afterglows using SMA and ALMA	浦田裕次 (台湾国立中央大学)
W202a	10:42	超大質量星の起こすガンマ線バーストに伴った非常に明るい超新星	松本達矢 (京都大学)
W203a	10:54	ガンマ線バーストジェット内での最高エネルギー宇宙線の加速	浅野勝晃 (東京大学)
W204a	11:06	準相対論的な速度で自由膨張するエジェクタと星周物質との流体力学的相互作用	鈴木昭宏 (京都大学)
W205b	11:18	相対論的流体場中の輻射輸送における高エネルギー電子の影響	鍋島史花 (東北大学)
W206b	11:18	古典新星 V2659 Cyg (=Nova Cyg 2014) にみられた吸収線の起源	新井彰 (京都産業大学)
W207c		共生連星 AG Pegasi の 2015 年増光時における分光観測	田邊健茲 (岡山理科大学)
W208b	11:18	Nova Sgr 2015 No.2(V5668 Sgr) の近赤外線 JHK バンドでの光度変化	栄木美沙紀 (鹿児島大学)
W209c		WZ Sge 型矮新星の分布	田邊健茲 (岡山理科大学)

3月15日(火) 午後(13:30-14:06) [E会場]

W210a	13:30	The Third <i>Swift</i> BAT GRB catalog	坂本貴紀 (青山学院大学)
W211a	13:42	Fermi データを用いた Fast Radio Bursts の全天ガンマ線探査	山崎翔太郎 (東京大学)
W212a	13:54	CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) による GRB の観測	川久保雄太 (青山学院大学)

W201b **Submillimeter follow-ups of Gamma-Ray Burst Afterglows using SMA and ALMA**

Yuji Urata (NCU), Kuiyun Huang (NTNU), Satoko Takahashi (JAO/ALMA/NAOJ)

Submillimeter (submm) and millimeter (mm) follow-up observations have played an essential role in identifying gamma-ray burst (GRB) afterglow and host galaxies in, for example delineating the energy scale, geometry, radiation physics, and environments of long GRBs. However, submm/mm follow-up observations have lagged behind X-ray, optical and cm radio observations (summaries of afterglow observations are available in Urata et al. 2015) because of the limited sensitivity of previous submm/mm facilities coupled with the higher redshift of Swift GRBs. To break this situation, we have been managing multi-wavelength afterglow follow-ups by using SMA and ALMA. On GRB120326A, our SMA observation provided the fastest detection to date among seven submm afterglows at 230 GHz. The rapid SMA and multi-frequency observations revealed their complex emissions as the synchrotron self-inverse Compton radiation from reverse shock. On GRB131030A, we managed the first ALMA observation of the late afterglow phase (17.1 days). With the deep ALMA observation, we also identified a faint submillimeter source near the GRB position. We report these SMA and ALMA results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W202a 超大質量星の起こすガンマ線バーストに伴った非常に明るい超新星

松本達矢, 中村卓史 (京都大学), 仲内大翼 (東北大学), 井岡邦仁 (KEK 素核研)

赤方偏移 $z \gtrsim 6$ で観測されている質量 $\gtrsim 10^9 M_{\odot}$ の超巨大ブラックホール (BH) は、恒星質量 BH がエディントン降着率によって成長してきたと考え、成長に必要な時間が宇宙年齢を超えてしまうという問題がある。これを解決する方法として、質量 $\sim 10^5 M_{\odot}$ の超大質量星の重力崩壊で形成される大きな BH を種として成長させるというシナリオがある。近年、このシナリオは注目を集め、超大質量星の形成過程などが盛んに議論されているが、現在までに超大質量星が実際に存在するという観測的証拠は一切見つかっていない。

我々は、超大質量星が重力崩壊時にガンマ線バーストを起こすと、非常に明るい超新星が付随することを発見した。この超新星は $L \sim 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$ にも達し、将来観測で計画されている近赤外望遠鏡 *Euclid*, *WFIRST*, *WISH* によって赤方偏移 $z \sim 20$ でも観測可能である。さらに、等方的に放射を行うのでイベントレートもガンマ線バーストより約 100 倍高くなる。本講演では、この超大質量星ガンマ線バーストに付随する超新星の発生機構を説明し、さらに将来観測での観測可能性を議論する。また、この超新星を観測することで親星である超大質量星の質量や半径が推定できることを明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W203a ガンマ線バーストジェット内での最高エネルギー宇宙線の加速

浅野勝晃 (東大宇宙線研), Peter Mészáros (Penn State)

最高エネルギー宇宙線の加速天体はいまだに解明されていない。その源の有力な候補としてガンマ線バーストが挙げられてきたが、内部衝撃波で加速された陽子の幕指数を標準的な値である2とした場合、要求される宇宙線のエネルギーはガンマ線をはるかに凌駕するものとなる。ガンマ線の10倍のエネルギーを宇宙線につぎ込んだとしても、 10^{20} eVを超える一部のエネルギー領域しかガンマ線バーストでは説明することができない (Asano & Mészáros 2014)。

しかし、Kelvin-Helmholtz不安定性などでジェット内部に励起される乱流によって陽子が加速される場合、そのベキ指数は2よりも硬くなり、エネルギーの大部分をその最高エネルギー領域に集中させることができる。その結果、低エネルギー宇宙線のエネルギーを削減できるので、要求される宇宙線全体のエネルギーを減らすことが可能になる。乱流による加速では加速の時間スケールが衝撃波によるものよりも長くなるが、相対論的な乱流が期待できるガンマ線バーストでは、Dynamicalな時間スケール以内で最高エネルギー宇宙線を加速できるであろう。

本講演では圧縮性波動による宇宙線の加速を考え、そのスペクトルを解析的に求め、観測されているガンマ線バースト発生頻度から、宇宙線強度とスペクトルを求めた結果を報告する。さらに、より楽観的なモデルとして、バーストのガンマ線光度と宇宙線の強度が反相関している場合を考えることができる。暗いバーストでは、エネルギー収支的に余裕があるので、明るいバーストよりも多くの宇宙線を加速しているかもしれない。最高エネルギー宇宙線加速にとって、考えられうる限り最も理想的な場合に要求される、宇宙線加速効率を求める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W204a 準相対論的な速度で自由膨張するエジェクタと星周物質との流体力学的相互作用

鈴木昭宏（京都大学）

大質量星の重力崩壊によって発生する高速なエジェクタと濃い星周物質の衝突は、衝撃波を通してエジェクタの力学的エネルギーを散逸し、放射に変換する過程として極めて重要である。この過程によって、超新星エジェクタは ^{56}Ni の放射性崩壊をエネルギー源とする放射で期待される以上に明るく輝くことが可能であり、一部の明るい超新星の可視光放射や、あるいはより高エネルギーなX線ガンマ線放射を説明するモデルなどが提唱されてきた。このような衝突の流体力学的な時間発展を表すモデルとしては、非相対論的な速度で成り立つ自己相似解 (Chevalier 1982) やその超相対論的な速度への拡張 (Nakamura & Shigeyam 2006) があるが、その中間にあたる、4元速度にして光速付近の速度成分を持ったエジェクタに関する(準)解析的な研究は例がなかった。そのようなエジェクタは、極超新星での星の外層の加速やGRBジェットのクーン成分として実現することが考えられ、一部のX線フラッシュやGRBを説明する上で重要かもしれない。

本研究では、エジェクタ中を伝搬する逆行衝撃波と星周物質中を伝搬する順行衝撃波の間の領域を薄いシェルとして近似し、その運動方程式を解くことで、シェルの運動を記述するモデルを提案する。エジェクタの密度構造や力学的エネルギーの分布、星周物質の密度を変化させた場合に、どの程度の力学的エネルギーがシェルの内部エネルギーに変換されるかを調べ、低光度GRBの放射エネルギーやタイムスケールとの比較を行った。その結果、SN 2006ajに伴うXRF 060218のような長く光るX線フラッシュを説明するためには、 $0.01M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程度の非常に激しい質量放出率が必要であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W205b 相対論的流体場中の輻射輸送における高エネルギー電子の影響

鍋島史花（東北大学）、石井彩子（東北大学）、大西直文（東北大学）

高エネルギー天体を起源とした非熱的な放射スペクトルの原因を解明するため、これまで様々なモデルが提案されているが、詳細な解析には輻射輸送現象を伴う超相対論的な流体場の数値シミュレーションが必要である。我々は、これまで散乱優位な超相対論的流体場とのカップリング計算に適した輻射輸送計算手法を調査してきたが、散乱対象が比較的低温であることを仮定してきた。しかし、高温流体場中では逆コンプトン散乱によって高エネルギー電子が光子エネルギーに影響を及ぼすため、放射スペクトルを予測する際には、輻射輸送計算において適切に電子のエネルギー分布を与えることが重要となる。

本研究では、高温流体場において、相対論的な速度を持つ電子が光子のエネルギースペクトルに与える影響について調査した。散乱優位な高温流体場を仮定し、電子の相対論的なマクスウェル分布を考慮し、モンテカルロ法を用いて輻射輸送計算を行った。精度よく電子分布を与えるためにはサンプリング方法を切り替える必要があること、相対論的な速度を持つ電子との衝突により光子のスペクトルが大きく変化する場合があることを確かめた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W206b 古典新星 V2659 Cyg (=Nova Cyg 2014) にみられた吸収線の起源

新井彰, 河北秀世 (京都産業大学 神山天文台), 田実晃人 (国立天文台 ハワイ観測所), 新中善晴 (国立天文台/リエージュ大学)

古典新星の爆発初期の中・高分散スペクトルには線幅や速度が2倍近く異なる2種類の青方偏移した吸収線が検出されることがある。バルマー線や Fe II のような新星のスペクトルで輝線を強く示す元素は、その両方の速度成分を顕著に示すことが多いが、Ti II, Cr II といった低励起の重元素線のほとんどは弱い低速の吸収成分のみを示す。このような特徴は、1930年代から古典新星の分光的特徴の一つとして知られてきた。しかし、この吸収線の起源については、いまだに議論が収束していない。そこで我々は吸収線の起源を議論するために、この2つの速度系の吸収線を示した新星 V2659 Cyg (Nova Cyg 2014) の極大後 33 日後に取得された高分散分光スペクトル (分解能約 72,000) を調査し、吸収線のプロファイルの調査と吸収線を示す元素の励起温度の推定を行った。その結果、低速の吸収成分は -620 km s^{-1} に位置すること、また、同一線では高速の吸収成分は低速成分よりも吸収量が深く、少なくとも 8 本の吸収線が $-1100 - -1500 \text{ km s}^{-1}$ の速度範囲に重ね合わさった状態になっていることがわかった。さらに、低速の吸収成分が有意に検出された 2 本の Ti II 線の等価幅から推定した低速吸収領域の励起温度は、約 12000K と推定された。これは光度変化から推定された光球温度とほぼ一致する。現在の有力な仮説を基にした 2 つの物理描像をこれらの観測結果に適用したところ、低速の吸収成分は新星風を起源とする放出物によって形成されており、高速な吸収成分は新星爆発初期に放出された物質によって形成されていると解釈するのが妥当であるという結論を得た。本講演では我々の結果に加え、他のグループの観測結果も含め古典新星の吸収線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](#)

W207c 共生連星 AG Pegasi の 2015 年増光時における分光観測

田邊健茲、小木美奈子、安藤和子（岡山理科大学）

AG Peg（ペガサス座 AG 星）は M 型巨星と白色矮星の共生連星として知られている。この星は、1821 年に 9 等級の変光星として発見され、その後 1855 年頃増光が始まって、1871 年には 6 等級まで明るくなりその後 100 年ほどかけて緩やかに減光した。

当初、この変光星は Cannon や Fleming によって P Cygni 型と考えられてきたが、その後 20 年間に B 型、O 型星、さらには TiO の吸収線を示したため、この星は Wolf-Rayet 星の様相も呈してきた（Kenyon1985）。現在ではこの星は M 型巨星と白色矮星の連星系（共生連星；S-type）かつ Symbiotic Nova（共生星新星、あるいは very slow nova）に分類されている（たとえば Warner1995）。

この星が 2015 年 6 月に約 7 等に増光していることが発見され（前原 vsolj-219、2015.6.24）、我々岡山理科大学チームは低分解能可視分光器 DSS-7 を用いてスペクトルを取得してきた。

観測されたスペクトルは水素の Balmer 線が優勢であるが、過去の分光データに $H\alpha$ が得られていないため、比較が難しい。なお、この $H\alpha$ の輝線はその相対強度が強くなる傾向にあるので、12 月現在もなお増光している可能性がある。詳細はポスターで発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W208b Nova Sgr 2015 No.2(V5668 Sgr)の近赤外線JHKバンドでの光度変化

栄木美沙紀、永山貴宏、面高俊宏(鹿児島大学)、ほか鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡グループ

Nova Sgr 2015 No.2は2015年3月15.634日にJohn Seachによって発見された新星である。発見当初はAAVSOによると可視光で約6等であったが、その後最大4.3等まで増光した。我々は、この天体を鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡と近赤外カメラを用いてJHKバンドで観測を行った。観測は2015年3月24日から開始した。この天体で通常の観測を行うと、明るすぎて検出器が飽和してしまうため、100分の1部分減光フィルターを用いて観測を行った。

観測を開始した3月24日の時点でJ=4.1等、H=3.7等、K=3.4等であった。AAVSOによると、この天体は発見当初から5月末頃まで可視光において振幅2等ほどの増光と減光を繰り返していたが、6月1日あたりから急激な減光がみられ、この辺りでダストが形成されたと考えられる。以降、可視光では13等程度まで減光したが、ダスト形成時期は梅雨時期であったため、我々は観測が行えなかった。

梅雨明け後の7月17日の観測結果では、J=8.2等、H=5.9等、K=3.4等となり、ダスト形成前の最終観測日の5月27日の観測結果と比較すると、Kバンドで3.4等増光したのに対し、Jバンドでは3.0等減光した。色も5月27日にはJ-Hが0.0等、H-Kが0.7等であったのに対し、J-Hが2.3等、H-Kが2.5等と値が大きく変化した。さらに、Kバンドで8月9日に2.7等で極大になるなどJHKバンドそれぞれで約1等分の増光があった。可視光では、9月の初めに9等程度まで明るさが回復し、その後、10月末まで9等程度で明るさが推移したのに対し、近赤外においては極大以降1日に約0.02等で減光を継続しており、10月22日の時点でJ=7.9等、H=6.0等、K=4.1等であった。J-H、H-Kはともに2.0等前後で極大以降あまり変化していない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W209c WZ Sge 型矮新星の分布

田邊健茲、大谷徳紀（岡山理科大学）

WZ Sge 型矮新星は、そのアウトバースト時に SUUMa 型矮新星と同じようなスーパーハンプを示すが、増光の幅（静穏時との等級差）が7、8等と大きいこと、増光の持続期間が長いこと、さらにはアウトバーストの間隔が長く、しかもその間にいわゆるノーマルアウトバーストがほとんどないこと、また軌道周期が短い（約80分）などのはっきりした特徴を持っている。

このタイプの激変星は20世紀末には数個しか知られていなかったが、近年、急にその数が増加し、2015年末で100個近くに増加した。その理由の一つには自動検出システムが機能していること、そしてかつては写真乾板で古典新星として記録されていたものの多くが、WZ Sge 型であることが判明したことにもよると考えられる。

このタイプの矮新星の空間分布を銀河座標 (l, b) で表示してみると、ほぼ等方的でしかも銀河中心方向にほとんど存在しないことがわかった。その理由を明らかにするために、すべての WZ Sge 型星の極大時における光度が等しく、Prototype である WZ Sge ($45.3 \pm 0.5 \text{ pc}$) の極大等級と仮定し、空間分布を求めた。その結果、最も高い位置にある SS LMi が銀河系の Thin Disk 内にあると想定すると、銀河系円盤による強い吸収を考える必要があることがわかった。詳細はポスターで発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W210a **The Third *Swift* BAT GRB catalog**

坂本貴紀, Lien Amy, Barthelmy Scott, Baumgartner Wayne, Chen Kevin, Collins Nicholas, Cummings Jay, Gehrels Neil, Krimm Hans, Markwardt Craig, Palmer David, Stamatikos Mike, Troja Eleonora, Ukwatta Tilan

ガンマ線バースト (GRB) 探査衛星 *Swift* は運用開始から 10 年を超え、現在も精力的に GRB の観測を続けている。*Swift* に搭載されている Burst Alert Telescope (BAT) は 2015 年 10 月 27 日に発生した GRB 151027B の検出で、通算 1000 発の GRB の検出を達成し、その内の ~330 個の GRB では、地上望遠鏡との連携により、赤方偏移 ($z=0.03$ から $z=9.38$) が測られている。そのため、*Swift* 衛星が提供している GRB の観測データは、GRB 自体の現象解明に留まらず、GRB を用いた宇宙初期の研究などにも広く用いられている。

本 GRB カタログは、2011 年に発表した第 2 弾 BAT GRB カタログ論文に続く、第 3 弾である。約 11 年の運用期間に、GRB 151027B までに検出した 1000 個の GRB について、最新のキャリブレーションデータおよび、ソフトウェアを用いて再解析を行い、BAT のイベントデータを用いた時系列、およびスペクトル解析の結果をまとめた。BAT の GRB に対する検出感度、選択効果、そして、BAT で測られたバースト本体のパラメータと赤方偏移との相関などを調べた。また、BAT のサーベイデータを用いて、イベントデータではカバーできていない、バースト発生数時間前、および、バースト発生 1 日後までのデータを確認し、バースト発生前後の放射の有無を調べた。その結果、バースト発生前に有意な放射が確認できたバーストは、GRB 100316D と GRB 101024A の 2 例のみで、バースト発生後に有意な放射が確認できたのは 16 個の GRB であった。本講演では第 3 弾 *Swift* BAT GRB カタログのいくつかのハイライトについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W211a Fermi データを用いた Fast Radio Bursts の全天ガンマ線探査

山崎翔太郎, 戸谷友則 (東京大学)

Fast Radio Bursts (以下、単に FRB) は、新種の電波放出現象である。電波の継続時間がミリ秒スケールと小さく、GHz 帯におけるフラックスが数 Jy 程度と非常に明るいのが特徴である。星間プラズマによる Dispersion Measure (DM) の値が、Milky Way 成分よりもはるかに大きいことから、銀河系外起源 (典型的な赤方偏移は $z \sim 0.5 - 1.0$ 程度) と考えられている。2007 年に Lorimer らによって、Parkes の Archival data から最初の FRB が発見されて以来、数十個が検出されているものの、電波観測のみであることから、スペクトルの全容は不明であり、その物理機構を明確に特定するには至っていない。

我々は、FRB がガンマ線を放射する可能性を考え、Fermi-LAT の 7 年間の Archival photon data を用いて、全天で FRB の Blind Search を行った。検出されたミリ秒スケールのガンマ線イベントは、ガンマ線背景放射のポアソン統計に従っており、有意な FRB 候補は検出されなかった。このことから我々は、Fermi で受かる msec 時間スケールのバースト現象の発生頻度に上限をつけ、さらに FRB 発生頻度 (及びその z 進化) を組み合わせることにより、FRB のガンマ線強度 (ガンマ線 / 電波強度比) に上限をつけた。本講演では我々の FRB ガンマ線探査の結果の概要を示すとともに、FRB 観測及び理論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](#)

W212a **CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) による GRB の観測**

川久保雄太, 坂本貴紀, 吉田篤正, 高橋一郎, 瀬沼一真, 森山光明, 山田祐輔 (青学大理工), 山岡和貴 (名大 ISEE 研), 中平聡志 (JAXA), 浅岡陽一, 小澤俊介, 鳥居祥二 (早大理工研), 清水雄輝, 田村忠久 (神奈川大学), Sergio B. Ricciarini (University of Florence), Michael L. Cherry (Louisiana State University), Pier S. Marrocchesi (University of Siena)

高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET) は 2015 年 8 月 19 日に HII-B/HTV 5 号機によって打ち上げられ、現在は国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」にて観測を行っている。CALET にはガンマ線バースト (GRB) の観測を主目的とした CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) が搭載されている。CGBM は $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 結晶を用いた硬 X 線モニター (HXM) 2 台、BGO 結晶を用いた軟ガンマ線モニター (SGM) 1 台の全 3 台の検出器によって構成されている。CGBM は 2 種類のシンチレータを搭載することで、X 線、ガンマ線に対して 7 keV から 20 MeV という広エネルギー帯域による GRB 観測を実現している。CGBM は日本時間 2015 年 10 月 6 日午前 0 時に試験観測を開始し、2015 年 11 月現在、軌道上でのキャリブレーション、運用パラメータの調整を行っている。この間に GRB151006A と GRB151107B の 2 例の GRB を機上トリガーにより検出し、Gamma-ray Coordinates Network (GCN) に報告した。GRB151006A は Swift/BAT や Fermi/GBM などの複数の衛星が検出しており、CGBM/SGM においても検出した。また GRB15107B は Fermi/GBM によって検出され、CGBM の全検出器において検出した。本発表では、CGBM が検出した GRB 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](#)

【X. 銀河形成】

3月16日(水) 午前(09:30-11:30) [G会場]

X01a	09:30	超新星爆発の影響下における初代銀河の進化と星形成史 矢島秀伸(東北大学)
X02a	09:42	Non-linear violent disc instability with high Toomre's Q in high-redshift clumpy disc galaxies 井上茂樹(エルサレム・ヘブライ大学)
X03a	09:54	ALMA と HST で捉えた銀河形成最盛期のバルジ形成 但木謙一(Max-Planck-Institut fuer extraterrestrische Physik)
X04a	10:06	衛星銀河の星生成と大質量コンパクト銀河との合体進化 市川隆(東北大学)
X05a	10:18	激動進化期における星形成銀河の IMF は top-heavy か? I 前田郁弥(京都大学)
X06a	10:30	激動進化期における星形成銀河の IMF は top-heavy か? II 猪口睦子(京都大学)
X07a	10:42	直接温度法で探る $z = 0 - 4$ 星形成銀河の N/O 元素組成比の進化 小島崇史(東京大学)
X08a	10:54	$z \sim 2$ における H α および [OIII] 輝線で選ばれた銀河サンプルの比較 鈴木智子(総合研究大学院大学)
X09b	11:06	高解像度 Pa α 撮像で分解する合体途上銀河の星形成活動 美濃和陽典(国立天文台)
X10b	11:06	ダスト存在下での輻射性フィードバックによるアウトフローの駆動過程 一色翔平(北海道大学)
X11b	11:06	SDSS データで統計的に探る星形成銀河のアウトフロー 菅原悠馬(東京大学)
X12b	11:18	銀河系内成分の近赤外線背景放射への寄与 佐野圭(東京大学/宇宙航空研究開発機構)

3月16日(水) 午後(13:30-15:30) [G会場]

X13a	13:30	Evolution of mid-infrared galaxy luminosity functions from the entire AKARI NEP-Deep field with new CFHT photometry Goto, Tomotsugu (National Tsing Hua Univ.)
X14a	13:42	SDSS と「あかり」で探る、「新たなバースト」を起こしている近傍主系列銀河 村田一心(宇宙航空研究開発機構)
X15a	13:54	「あかり」遠赤外線全天マップのスタッキング解析による星形成銀河のダスト温度と銀河環境の関係について 松木康裕(東京大学)
X16a	14:06	サブグリッドの物理を考慮した孤立銀河内でのダスト形成シミュレーション 青山尚平(大阪大学)
X17a	14:18	野辺山 45 m 電波望遠鏡と ALMA で探る $z \sim 1.4$ のガス・ダスト比 世古明史(京都大学)
X18a	14:30	A cosmological PAH survey by SPICA - 塵に隠された銀河と AGN の進化を探る 和田武彦(宇宙航空研究開発機構)
X19a	14:42	AGN クラスタリング解析による AGN の活動性への制限 大木平(文教大学)
X20a	14:54	超大質量ブラックホールに付随する circum nuclear disk がブラックホール成長に与える影響についての準解析的銀河形成モデルを用いた研究 白方光(北海道大学)
X21a	15:06	Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars 松岡良樹(国立天文台)
X22a	15:18	AGN の光度変光と母銀河の色選択による高赤方偏移・小質量 SMBH サンプルの獲得 木村勇貴(東北大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

3月17日(木) 午前(09:30-11:18) [G会場]

X23a	09:30	Revisiting the Intra-Halo Light Model as the Origin of the Cosmic Near-infrared Background Radiation 小林正和 (愛媛大学)
X24a	09:42	大規模構造のフィラメントにある中性水素 21cm 線シグナル 堀井俊宏 (名古屋大学)
X25a	09:54	6次元位相空間上での Vlasov シミュレーションにおける高次精度化 田中賢 (東京大学)
X26a	10:06	矮小楕円体銀河におけるダークハロー進化と星形成史の研究 岡安優佑 (東北大学)
X27a	10:18	4重像レンズにおけるフラックス比異常の起源について 井上開輝 (近畿大学)
X28a	10:30	HSC すばる戦略枠観測に基づく原始銀河団候補領域の選択 内山久和 (総合研究大学院大学)
X29a	10:42	赤方偏移 8 の銀河高密度領域の性質と銀河団コア形成への示唆 石垣真史 (東京大学)
X30a	10:54	DLA 集中領域における輝線天体の探査 小倉和幸 (愛媛大学)
X31a	11:06	Cosmic Hydrogen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS) 井上昭雄 (大阪産業大学)

X01a 超新星爆発の影響下における初代銀河の進化と星形成史

矢島 秀伸 (東北大学), 長峯 健太郎 (大阪大学)

近年の観測装置の発展により、赤方偏移 6 以上の銀河が数多く観測され、我々の初期宇宙における天体形成の理解は深まっている。一方で、赤方偏移 10 以上の初代銀河がどのように形成され、進化していったのかは理論的にも観測的にもほとんど理解が進んでいない。初代銀河は、ハロー質量が 10^8 乗から 10^{10} 乗太陽質量程度と小さいため、星やブラックホールからのフィードバックを強く受ける。従って、初代銀河は常に様々なフィードバックの影響を受けながら進化し、星形成が進んでいったと考えられる。我々は、超新星爆発の影響下において初代銀河がどのように形成、進化し、星形成を行ったかを数値計算により調べた。結果として、ハロー質量が 10^{10} 乗太陽質量以下では、フィードバックにより星形成が効率よく進まないことがわかった。本講演では、初代銀河において星形成がどのように進むかを紹介し、次世代望遠鏡による初代銀河の観測可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a Non-linear violent disc instability with high Toomre's Q in high-redshift clumpy disc galaxies

井上 茂樹, Avishai Dekel, Nir Mandelker (HUJI), Daniel Ceverino (Universidad Autonoma de Madrid), Frédéric Bournaud (CEA Saclay), Joel Primack (UCSC)

We utilize zoom-in cosmological simulations to study the nature of violent disc instability with giant clumps in high-redshift galaxies. This study performs instability analyses using local Toomre's Q parameter based on a two-component model of gas and stars smoothed on a $\simeq 1$ kpc scale to focus on the formation of massive giant clumps of $\sim 10^8$ – $10^9 M_\odot$ for clumpy star-forming galaxies in redshifts between $z \sim 1$ and 5. We find that inter-clump disc regions can have Q values significantly higher unity, while the regions of $Q < 1$ are confined to collapsed clumps where the surface densities are high. However, significant fractions of new clumps form in the disc regions that are apparently Toomre stable with $Q \gtrsim 2$. This result proposes that giant clumps can form due to mechanisms other than the standard Toomre instability, and such formation of giant clumps is beyond the applicable domain of the linear perturbation theory, i.e. non-linear violent disc instability. The non-linear clump formation could be induced by rapid decay of turbulent pressure of gas by dissipation, Toomre instability on small scale followed by intense accretion of gas and mergers with other clumps, or instability for non-axisymmetric perturbations. In addition, the non-linear instability could also be stimulated by external perturbations such as minor mergers, tidal interactions, and counter-rotating streams feeding the discs, which may may induce excessive compressive modes of turbulence which may represent the high Q values.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a ALMA と HST で捉えた銀河形成最盛期のバルジ形成

但木謙一 (MPE) 児玉忠恭 (国立天文台) Gracias-ALMA チーム

10年ほど前から赤方偏移2を超えた時代では星形成を止めた銀河のサイズが、現在の宇宙にある同じ星質量の銀河に比べて4倍も小さいことがわかってきた。この発見によって新たな2つの問題が生まれ、銀河形成分野ではホットな話題となっている。1つは過去に星を作らなくなった銀河がその後どのようにサイズを大きくしたのかという問題、もう1つはそもそもこれらの銀河のコンパクトなコアがどのようにして形成されたのかという問題である。本講演ではこの2つ目の問題解明に焦点を当てている。

今回我々は銀河形成の最盛期である $z \sim 2$ の25個の星形成銀河に対して、ALMAのBand-7 ($870 \mu\text{m}$) を用いて高空間分解能 (0.2秒角) 観測を行い、主に $\log M_* > 11$ と非常に重い11個の銀河から 6σ 以上の有意性でダスト連続光を検出し、そのサイズを測定した。静止系可視域 (WFC3/H₁₆₀ バンド) ではこれらの銀河のサイズは $R_e = 3 - 5 \text{ kpc}$ 程度と比較的大きい一方で、静止系遠赤外域では $R_e < 1 \text{ kpc}$ と非常にコンパクトであることがわかった。一方で 6σ 以上で検出できなかった $\log M_* = 10.5 - 11$ の銀河に対して、ALMAデータのvisibilityスタッキング解析を行った結果、 $870 \mu\text{m}$ でのサイズはWFC3/H₁₆₀ バンドで測定されたものと一致するという結果を得た。静止系可視域のマップが、必ずしも星質量の分布を反映しているわけではないことに注意が必要であるが、この結果は $z \sim 2$ にある星形成銀河はある程度成長するまでは、広がった円盤で星形成を行うが、その後期段階に銀河中心のコンパクトな領域で起きるスターバーストによって楕円銀河のバルジの元となるコアを形成している可能性を示唆している。銀河はinside-outで成長するという従来の考え方と矛盾するシナリオにも思えるが、今回の観測結果を説明するためには、銀河内での動径方向のガス輸送のような物理機構が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X04a 衛星銀河の星生成と大質量コンパクト銀河との合体進化

市川隆 (東北大学), 森下貴弘 (東北大学、カリフォルニア大学)

近傍宇宙にはコンパクトな大質量銀河が比較的少ないことから、一般に high- z にあって星生成の小さい (quiescent) コンパクトな大質量銀河 (以下 red nugget) は周囲の銀河と合体しながら、大きな楕円銀河に進化するのではないかとされている。そこでハッブル望遠鏡の XDF 領域にある red nugget ($z=1.92$ 、星質量 $3.9 \times 10^{10} M_{\odot}$) に注目した。XDF には high- z の大質量銀河が多く観測されているが、red nugget はこれが唯一である。幸い XDF 領域の中心近くにあるので、十分広い領域にわたって周囲の衛星銀河を探索できる。XDF は空間解像度が高く、また検出限界が極めて深いことから、現在利用できるアーカイブデータとしては合体することが予想される red nugget 周囲の低質量銀河の探索に最も有効である。そこで衛星銀河を探索し、それらが red nugget に合体し、 $z \sim 0$ での星質量と大きさがどのようになるかを考察した。特に大質量楕円銀河に進化するための条件を調べる。我々はこの銀河から期待されるハロー質量のピリアル半径 300 kpc を設定し、その範囲にある 30.9 mag (AB) までの 34 銀河を衛星銀河と同定した。この検出限界は星質量で $1.6 \times 10^7 M_{\odot}$ に相当し、非常に低質量銀河の合体まで考慮することができる。観測された銀河の大半は低質量で星生成が活発な銀河であり、 $10^8 M_{\odot}$ 以下の銀河の星質量と星生成率の関係 (main sequence) の傾きは大質量銀河のものよりも大きい。high- z の低質量銀河にも main sequence に良い相関があることを確認した。この red nugget が近傍の大質量楕円銀河になるためには比較的大きな衛星銀河が約 0.5 Gyr の間、現在の星生成率で星を生産し、合体する前にすべて星生成をやめ、quiescent 銀河になった後に minor merging が必要であることがわかった。他のケースでは近傍のコンパクト銀河に進化することが予想される (Morishita and Ichikawa, arXiv:1511.06415; ApJ, inpress)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X05a 激動進化期における星形成銀河の IMF は top-heavy か？ I

前田郁弥、猪口睦子、太田耕司（京都大学）、矢部清人（東京大学）

星形成や銀河形成・進化を理解する上で、初期質量関数（IMF）を明らかにすることは極めて重要である。近傍宇宙に存在する星形成銀河での IMF は、低質量側での違いが少しあることを除けば、ほぼ Salpeter IMF であるとみなされることが多いと考えられる。実際 SDSS のデータを用いて、星形成銀河の $H\alpha$ 輝線の等価幅（EW）と銀河の色の分布を調べ、これを銀河の population synthesis model (PEGASE2) と比較すると、明るめの銀河では Salpeter IMF を仮定したモデルと矛盾はない (Hoversten and Glazebrook 2008)。しかし、激しい星形成を行っている遠方の銀河でも IMF が同じかどうかはわかっていない。

そこで、我々はすばる FMOS で取得していた $z \sim 1.4$ の星形成銀河の分光データを用いて、同じ手法で $H\alpha$ の EW と銀河の色 ($J-H$) の分布を調べてみた。まず、SXDS 領域で K バンドで選択した銀河で、phot- z が FMOS で $H\alpha$ 輝線をカバーできる $z \sim 1.2 - 1.6$ で、主系列にのっていると考えられる銀河を選んだ。これらの銀河の近赤外分光を行って $H\alpha$ 輝線が有意に検出された 280 個の銀河をサンプルとした。UV 光度あるいは $H\alpha$ 輝線から算出される星形成率は $10 \sim 500 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ であり、近傍の SDSS 銀河等と比べるとかなり大きな値を示している。また、星質量は $10^9 \sim 10^{11.5} M_{\odot}$ である。exponential 的に decay する星形成史やコンスタント星形成史を仮定して EW と色を計算し観測される分布と比較したところ、全く再現できなかった。しかし、Salpeter IMF より flat な top-heavy IMF を仮定するとこの分布は再現することができ、IMF のスロープが 1.0 (Salpeter = 1.35) 付近でよく再現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](#)

X06a 激動進化期における星形成銀河の IMF は top-heavy か？ II

猪口睦子、前田郁弥、太田耕司 (京都大学)、矢部清人 (東京大学)

前講演において、銀河の激動進化期である $z \sim 1.4$ 付近の星形成銀河の $H\alpha$ の等価幅 (EW) と銀河の色の分布を調べた結果、Salpeter IMF よりフラットな IMF を考えた方が観測結果をよく説明できるとわかった。

しかし、EW と色の分布はバースト的な星形成があっても再現できると考えられる。そこで、exponential decay のような連続的な星形成にバースト的な星形成をのせた場合の分布を調べた。IMF は Salpeter IMF に保ったまま、バーストを起こす時期・バーストの強さ・継続時間等を変えて EW と色の分布を調べたところ、観測される分布の範囲をよくカバーしており、バーストモデルでも観測結果を説明可能であることがわかった。

しかしながら、バースト終了後の銀河は観測で得られた分布より下の方 (EW が小さい方) に分布し、そのような位相に滞在する期間はバーストしている期間より長いため、この位相にいる銀河がたくさん存在するべきであることもはっきりした。しかし観測された分布ではこの位相にいるような銀河はほとんど見られない。実際はバースト終状態の銀河は存在しているが、それらは $H\alpha$ 輝線光度が小さいために観測にかかってないだけという可能性も考えられる。そこで、K バンドで選択された、もっと暗い銀河も含むサンプルを対象に、多色撮像データを用いて SFR や吸収量を出し、予想される $H\alpha$ EW を計算して分布を調べてみた。その結果を見ても、このようなバースト終状態に存在する銀河はほとんど存在しなかった。この結果はバーストモデルよりは top-heavy IMF の考え方を支持していると考えられるが、今後もっと深い $H\alpha$ 輝線の観測が望まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07a 直接温度法で探る $z = 0 - 4$ 星形成銀河の N/O 元素組成比の進化

小島崇史, 大内正己, 小野宜昭, 澁谷隆俊 (東京大学), 中島王彦 (ジュネーブ天文台)

星形成銀河の $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$ 対 $[\text{NII}]/\text{H}\alpha$ 関係 (BPT ダイアグラム) には、 $z = 0$ と 2 との間にオフセットの存在が知られている。オフセットの原因の一つに、星間ガスの窒素・酸素元素の組成比 (N/O 比) が $z = 0$ と 2 の間で進化している可能性が指摘されている。この N/O 比進化を評価するためには N/O 比とともに金属量を正確に決定する必要がある。しかし、これまでの研究では近傍銀河の経験則をそれより遠方の銀河に適用していたために、これらが系統的な誤差を含んでいる可能性があった。そこで本研究では、星間ガスの電子温度をオーロラ線により測定する直接温度法を用いてより正確に N/O 比と金属量を決定する。我々は、Keck/LRIS の分光観測を行い、 $z=2.2$ の銀河から $\text{OIII}]_{\lambda\lambda 1661, 1666}$ をそれぞれ $\sim 5\sigma$ で検出した。さらに、文献から $\text{OIII}]_{\lambda\lambda 1661, 1666}$ または $[\text{OIII}]_{\lambda 4363}$ が検出されている 10 個の星形成銀河 ($z = 1.4 - 3.6$) を得た。合わせて 11 個の星形成銀河からなるサンプルである。高赤方偏移かつ、この規模のサンプルで直接温度法による N/O 比を議論をした例はこれまでにない。本サンプルは、直接温度法を用いることのできる SDSS のスタックサンプル (Andrews et al. 2013) と、同じ星形成率と金属量で比較した。その結果、 $z = 0$ から 2 までの N/O 比の変化が $\sim 0.2\text{dex}$ 以下であることがわかった。講演では、銀河の物理量と N/O 比の依存性も含めてより詳細に議論を行なう予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X08a $z\sim 2$ における $H\alpha$ および [OIII] 輝線で選ばれた銀河サンプルの比較

鈴木智子, 児玉忠恭 (総研大/国立天文台), David Sobral (Univ. of Lisbon), 林将央 (国立天文台), 小山佑世 (すばる望遠鏡), 但木謙一 (MPE), 田中孝, 美濃和陽典 (すばる望遠鏡), 嶋川里澄, 山元萌黄 (総研大/国立天文台), Ian Smail (Durham Univ.), Philip Best (Edinburgh Univ.)

近年の近赤外分光観測を通して、遠方の星形成銀河が強い [OIII] 輝線を示すことが明らかになってきている (e.g. Steidel et al. 2014, Shapley et al. 2015)。このことから、遠方宇宙においては [OIII] 輝線も星形成銀河の指標となり得ると考えられ、特に $H\alpha$ 輝線が地上から観測できない $z>3$ において星形成銀河のサンプルを構築するには有用な指標になると期待される。しかしながら一方で、[OIII] 輝線を指標として用いることで、得られる銀河サンプルにバイアスが生じるとも考えられる (例えば、低金属量、もしくは高い電離状態を示す星形成銀河にバイアスされる、または AGN の寄与など)。

遠方宇宙において [OIII] 輝線を基に選ばれた銀河が、特に $H\alpha$ 輝線によって選ばれた銀河に対して何らかのバイアスを示すかどうかを検証するために、今回我々は $H\alpha$ と [OIII] 輝線をそれぞれ指標として銀河サンプルを構築、それらの物理的性質の比較を行った。一般フィールドにおける狭帯域 (NB) フィルターを用いた大規模な撮像サーベイ (HiZELS) においては、 H -band と K -band の NB フィルターで $z=2.23$ の [OIII] 輝線と $H\alpha$ 輝線をそれぞれ捉えることができる。ふたつの輝線をそれぞれ指標として得られた $z\sim 2$ の銀河サンプルについて、それらの星質量、星形成率、ダスト減光量といった物理量を比較したところ、各物理量の分布に関して両サンプル間に統計的な差は見られないという結果が得られた。この結果は、遠方宇宙において [OIII] 輝線が星形成銀河の指標として有用であることを示唆するものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09b 高解像度 Pa 撮像で分解する合体途上銀河の星形成活動

小嶋洋平, 河野志洋, 陳家偉 (東京大学), 秋山優太 (法政大学), 岡部愛, 関大策 (愛知教育大学), 竝木茂朗 (京都大学), 依田萌 (名古屋大学), 美濃和陽典, 児玉忠恭, 利川潤, 小山佑世 (国立天文台), 北川祐太郎 (東京大学), 林左絵子 (国立天文台)

今日の階層的な銀河形成シナリオのもとでは、銀河の形態を初めとする様々な性質を決定付ける上で、銀河の衝突および合体が果たす役割は大きいと考えられている。したがって、銀河の合体の最中に銀河内部のどこでどのような現象が起こり、星形成活動がどのように進んだかを明らかにすることは極めて重要である。

我々は、本年度のすばる観測体験企画において、すばる望遠鏡 IRCS + 補償光学 AO188 を用いて、あかり衛星のデータから強いダスト放射を示す事が分かっている合体途上の銀河 (赤方偏移 ~ 0.1115) の高解像度撮像観測を行った。本観測では、ダスト吸収に強い星形成の指標である、電離ガスから放射される Pa α 輝線を捕らえるため、赤方偏移した Pa α 輝線に合った狭帯域フィルターを用いた狭帯域撮像、及び連続光をサンプルする K バンドでの撮像を行った。その結果、メインの銀河 A では、渦状腕の部分に沿って Pa α 輝線で特に明るい複数のクランプが存在する一方で、バルジ部分では、K バンドで明るく、Pa α 輝線は弱い様子が明らかになった。これらのクランプでは、星形成活動が高まっている事から、銀河間の相互作用によって、銀河内部でガスがエネルギーを散逸し不安定になってクランプが形成されたというシナリオが示唆される。一方、この銀河と相互作用している伴銀河 B では、バルジ部分で Pa α が強く、逆に腕部分では弱いことが分かった。銀河間の相互作用によってトルクを受けて角運動量を失ったガスが、中心部分に落ち込んで星形成を行っていると考えられる。本結果は、一例ではあるが、銀河同士の合体の際に銀河の内部で一体何が起こるのかを直接解明するための一歩となるであろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10b ダスト存在下での輻射性フィードバックによるアウトフローの駆動過程

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学)

大質量星からの輻射によるアウトフローは、銀河中に存在するガスの量、ひいては銀河の星形成史を理解する上で重要である。

輻射によるアウトフローの駆動過程としては二通り存在する。一つ目は、光電離によって引き起こされる圧力差による駆動、二つ目は輻射圧による駆動である。この二つのうち、先行研究では輻射圧はほとんど寄与しないとされる結果が報告された (Sales et al. 2014)。しかし、前回の学会において、ダストの影響を考慮すると輻射圧も重要となることを報告した (2015 年秋季年会 X28a 参照)。これは、ガスのように電離して光子が吸収できなくなるフェーズがないことから、常に赤外線から紫外線までの広い波長帯で光子を吸収できるため、そしてダストの赤外線再放射、再吸収によって、光子の運動量を効率よくガスの運動量に変換できるためである。

今回は、開発した一次元数値シミュレーションコードを使い、星形成領域に似せた、前回と比較してより現実的な初期条件においても輻射圧が働くのかを調べた。この数値シミュレーションでは、中心に光源を置き、球対称にガスを分布させた。ガスの成分は H, He, そしてダストとしてグラフィイトを使用した。また、光源のスペクトルとしては PEGASE.2 (Fioc & Rocca-Volmerange 1997, 1999) から得た星団のものを使用した。そして、ダストとガスはカップルして動くものとした。これらの条件を元に、一次元輻射流体シミュレーションを行った。

これにより、星形成領域では、輻射圧によって星団周囲のガスを吹き飛ばすこと、分子雲スケールではダストによる赤外線再放射は輻射圧にほとんど影響を与えないことが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X11b SDSS データで統計的に探る星形成銀河のアウトフロー

菅原悠馬、大内正己、小野宜昭、播金優一 (東京大学)

星形成や AGN 活動に伴って起こる星間ガスのアウトフローは、銀河形成の鍵を握るフィードバックの主なものである。アウトフローは大きく分けて2つのメカニズムが理論的に示されており、星風や超新星爆発、AGN の放射圧などがもたらす運動量駆動アウトフローと超新星爆発などの加熱がもたらすエネルギー駆動アウトフローである。しかしながら、これらの駆動メカニズムの信憑性について観測的な確認はほとんどなされていない。そこで我々は Sloan Digital Sky Survey (SDSS) DR7 の2万個の近傍星形成銀河を使って、アウトフローを統計的に調べた。SDSS 銀河を星質量 (M_*) 別にスタックした60個のスペクトルに対して、星種族合成モデルで星起源の連続光と吸収線を決定した上で、静止する星間ガスとアウトフローするガスがもたらす Na I D 吸収線の光学的厚さ、速度、速度幅をフィッティングにより求めた。これらの測定値からアウトフローの質量放出率 (\dot{M}_{ej}) を見積もり、銀河の星形成率 (SFR) の比をとった mass loading factor ($\eta \equiv \dot{M}_{ej}/SFR$) を得た。また、Simons et al. (2015) の関係式を用いて M_* からハローの回転速度 (V_{circ}) を推定した。これに、過去の研究で得られている低質量銀河の測定値を合わせることで、 $10^8 - 10^{11} M_\odot$ の広い星質量範囲の銀河に対して η と V_{circ} を得た。その結果、 η は大雑把に V_{circ}^{-1} に比例することが確認された。これは当該質量範囲におけるアウトフローの主なメカニズムが運動量駆動であることを示している。一方で、1つの $\eta \propto V_{circ}^{-1}$ 関係と比べると η にして10倍におよぶ大きな分散も確認された。この分散の起源を探るため、同じ星質量範囲で銀河円盤の傾斜角毎の平均の η を調べたところ、 η の傾斜角依存性は見られなかった。本講演ではこれらの解析を含めてアウトフローの駆動メカニズムについて議論し、現在進行中の SDSS/MaNGA 探査による研究の展望を示したい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X12b 銀河系内成分の近赤外線背景放射への寄与

佐野圭, 片ざ宏一 (東京大学, ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大学), 津村耕司, 新井俊明 (東北大学), 白旗麻衣 (国立天文台), 大西陽介 (東京工業大学)

近赤外線背景放射には、宇宙初期から現在までに放射された光が含まれており、星形成史の指標となる。近赤外線背景放射は空の面輝度から、前景光である黄道光、星光、銀河拡散光を除去して得られるが、 $1\text{--}2\ \mu\text{m}$ の波長域ではその値が系外銀河の積算光の約 2–5 倍にも達する。この超過成分は、プレーザーからのガンマ線と背景放射光子の対生成によって得られる背景放射の上限値と矛盾するため、銀河系内起源である可能性もある。

そこで、我々は銀河系内の暗い星の積算光と、可視光から近赤外線の放射が比較的強い Warm Ionized Medium (WIM) からの放射の寄与を再検討した。近赤外線域では 2MASS によって、約 15 mag までのスターカウントが得られているが、それより暗い等級ではモデルを用いて推定するしかなく、実際のスターカウントが不明であった。近年、UKIDSS の Deep Extragalactic Survey (DXS) がなされた 4 領域では、約 22 mag までのスターカウントが得られている。そのデータを用いた結果、いずれの領域でも約 20 mag より暗い星の積算光は積算光強度にほとんど寄与しないことを確認した。また、2MASS の検出限界より暗い星の積算光は系外銀河の積算光以下であり、背景放射の超過成分を説明できるほどの面輝度には達しない。

また、銀河系内 WIM (電子温度 8000K) からは電離水素ガスの free-free、free-bound、2-photon 遷移によって可視光から近赤外線にかけて連続光が放射される。しかし、以前に測定された銀河系内 WIM のエミッションメジャーを用いて、一般の星間空間におけるそれら連続光の寄与を推定すると、超過成分の 1% 以下にとどまった。したがって、背景放射の超過成分を説明するには、これら以外の未知の放射源が必要となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a

Evolution of mid-infrared galaxy luminosity functions from the entire AKARI NEP-Deep field with new CFHT photometry

Tomotsugu Goto (National Tsiung Hua University), Nagisa Oi, H. Matsuhara (JAXA), Y. Ohyama (ASIAA) and the AKARI team

We present infrared galaxy luminosity functions (LFs) in the AKARI North Ecliptic Pole (NEP) deep field using recently-obtained, wider CFHT optical/near-IR images. AKARI has obtained deep images in the mid-infrared (IR), covering 0.6 deg^2 of the NEP deep field. However, our previous work was limited to the central 0.25 deg^2 due to the lack of optical coverage. We recently obtained CFHT optical and near-IR images over the entire AKARI NEP deep field, which allowed us to fully exploit the precious space-based mid-infrared data.

AKARI's deep, continuous filter coverage in the mid-IR (2.4, 3.2, 4.1, 7, 9, 11, 15, 18, and $24 \mu\text{m}$) exists nowhere else, due to filter gaps of ISO, Spitzer and WISE. Restframe $8 \mu\text{m}$ and $12 \mu\text{m}$ luminosities are estimated without using a large extrapolation based on spectral energy distribution (SED) fitting, which was the largest uncertainty in previous studies. Total infrared luminosity (TIR) is also obtained more reliably due to the superior filter coverage. The resulting restframe $8 \mu\text{m}$, $12 \mu\text{m}$, and TIR LFs at $0.15 < z < 2.2$ are consistent with previous works, but with much reduced uncertainties, especially at the high luminosity-end, due to the larger field coverage. In terms of cosmic infrared luminosity density (Ω_{IR}), we found that the Ω_{IR} evolves as $\propto (1+z)^{4.2 \pm 0.4}$.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X14a SDSS と「あかり」で探る、「新たなバースト」を起こしている近傍主系列銀河

村田一心、山下拓時、小山舜平、中川貴雄 (宇宙科学研究所)

近傍の主系列銀河のうち、星形成の「新たなバースト」を起こしている銀河があることがSDSSと「あかり」によって分かった。主系列銀河とは、銀河の星形成率-星質量関係の上に乗る銀河で、宇宙の星形成の大部分を担うと考えられている銀河である。この相関は赤方偏移によって異なり、遠方ほど星質量に対して星形成率が高いことが知られている。このことは、主系列銀河の星形成率は時間と共に減少していくことを示唆する。一方、星形成の「新たなバースト」とは、減少してきた星形成率が再び増加する現象である。銀河が「新たなバースト」を起こしているかどうかは、可視スペクトルの指標、 $D_n(4000)$ と $H\delta_A$ から判別できる。これらの指標は、OB型星とA型星の寿命の違いを利用し、星形成史を制限するものである。本研究では、SDSS(DR12)のHIIと分類された銀河について、 $D_n(4000)$ と $H\delta_A$ をBC03のモデルと比較することで、「新たなバースト」を起こしているかどうかを判別した。「新たなバースト」を起こしている銀河について、赤外線およびバルマー輝線から求めた星形成率と星質量の関係を調べたところ、そのほとんどが主系列の関係に乗っていることが示された。この結果は、主系列銀河の星形成率は必ずしも時間と共に減少し続けるわけではないことを意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15a 「あかり」遠赤外線全天マップのスタッキング解析による星形成銀河のダスト温度と銀河環境の関係について

松木康裕 (東京大学), 小山佑世 (国立天文台), 中川貴雄, 瀧田怜 (宇宙科学研究所)

銀河の星形成率は星質量と強く相関している。一方で、銀河の星形成率はその周囲の銀河数密度、すなわち銀河環境にも依存している。例えば、高密度環境（銀河団）においては星形成率の低い楕円銀河が多く、低密度環境（フィールド）においては星形成の活発な渦巻き銀河の割合が大きいことが既に知られている。そのため、何が星形成活動を増大させ、また減衰させるのか解明する鍵となる情報が、星形成率と銀河環境との相関を調べることにより得られると期待される。星形成活動の評価においてはダストが重要な役割をもつ。星形成活動と密接に関連する OB 型星からの光の一部はダストにより減光され、遠赤外線で再放射されるためである。従って、ダストに隠された星形成活動を見積もるには、遠赤外線の観測が必須である。この目的のために、我々は「あかり」遠赤外線全天マップを用いた。但し、非常に明るい天体を除いて、個別の銀河からの遠赤外線放射を検出することは困難である。そこで、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の Data Release 7 の分光サンプルと「あかり」遠赤外線全天マップを組合せてスタッキング解析を行い、星形成活動の指標として平均的なダスト温度と銀河環境との関係を評価した。特に、 $z \sim 0.1$ の星形成銀河のダスト温度の環境依存性について調べた。その結果、ダスト温度の環境依存性は有意には確認できなかった。近年の研究から、星形成銀河に限定すると「星形成率 – 星質量関係」は銀河環境によらないことが示されている。本研究結果により、平均的なダスト温度についても銀河環境には強く依存しないことが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16a サブグリッドの物理を考慮した孤立銀河内でのダスト形成シミュレーション

青山尚平 (大阪大学), 侯冠州 (ASIAA), 清水一紘, 長峯健太郎 (大阪大学), 平下博之 (ASIAA)

現在の宇宙論的流体シミュレーションは WMAP 衛星や Planck 衛星などによる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測から導かれた宇宙初期の密度ゆらぎから、 $z \sim 6$ の高赤方偏移の銀河形成過程や銀河の形態を自己整合的に解明しつつある。

高解像度シミュレーションにおいて、銀河におけるダストの存在は非常に重要である。ダストは水素分子 (H_2) の生成触媒であるなど、銀河内部での星形成を理解していく上で不可欠な要素である。Hirashita(2015) では銀河のダストのサイズ分布の時間進化を accretion や coagulation, shattering, 超新星爆発起源の衝撃波による破壊の効果などを考慮して、各大きさのダストの総質量の時間進化方程式が構築された。私たちは宇宙論的流体シミュレーションにこのダストの形成過程モデルを導入した。現在のシミュレーションの分解能では個々の分子雲は分解できないため、その中で主に起こる accretion や coagulation 過程を取り扱うためにはサブグリッドモデルが必要になる。私たちは SPH シミュレーションコード GADGET-3 [Springel *et al.*(2005) の改良版] に近傍銀河におけるダスト-ガス質量比やダストの密度勾配に関する観測結果を説明できるサブグリッドモデルを実装し、ダストの空間分布の時間発展を求めた。

本発表ではサブグリッドモデルの紹介、観測量とシミュレーション結果の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X17a 野辺山 45 m 電波望遠鏡と ALMA で探る $z \sim 1.4$ のガス・ダスト比

世古 明史, 太田 耕司, 青野 佑弥 (京都大学), 矢部 清人 (Kavli IPMU), 廿日出 文洋, 伊王野 大介 (国立天文台)

$z = 1 - 2$ の時代は銀河進化の激動期であり、この時代の銀河を調べることは銀河進化の理解に不可欠である。近年、ハーシェル宇宙望遠鏡により $z \sim 2$ までの main sequence 銀河のダストを調べることが可能になってきた。これにより遠方銀河でダスト質量から分子ガス質量を見積もる研究が行われているが、これらの研究では近傍銀河のガス・ダスト比を仮定してしまっている。我々は $z \sim 1.4$ にある太陽金属量程度のガス金属量を持ち、Spitzer/MIPS、Herschel/SPIRE 250 μm 、350 μm で検出されている main sequence 付近の 4 つの星形成銀河について、 $^{12}\text{CO}(J=21)$ 輝線の観測からガス質量を、SPIRE のデータからダスト質量を算出し、そのガス・ダスト比が近傍銀河の値に近いことを示した (Seko et al. 2014, PASJ, 66, 81)。しかし、これらの銀河は main sequence 銀河の中でも specific SFR が高く、バイアスがかかったサンプルの可能性があった。

我々は Subaru/FMOS による近赤外線分光観測により金属量が分かっている $z \sim 1.4$ の main sequence 銀河 (Yabe et al. 2012, 2014; Roseboom et al. 2012) から、20 個の銀河 (ほとんどの銀河は Herschel では検出されていない) の CO(5-4)・ダスト観測を ALMA/band-6 で行い、また太陽金属量を持ち SPIRE 250 μm 、350 μm で検出されているが sSFR が低い 2 つの銀河の CO(2-1) 観測を野辺山 45 m 電波望遠鏡/TZ 受信機で行った。観測の結果、ALMA では 11 天体から CO 輝線を、7 天体からダスト放射を検出し (CO・ダスト両方検出できた銀河は 5 天体)、野辺山 45 m 電波望遠鏡では両天体から CO 輝線を検出した。解析の結果、 $z \sim 1.4$ のガス・ダスト比は近傍銀河に比べ 3 - 4 倍高い可能性があることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X18a **A cosmological PAH survey by SPICA – 塵に隠された銀河と AGN の進化を探る**

和田武彦 (ISAS/JAXA), SPICA 銀河探査チーム, 他 SPICA チームメンバー

赤外線天文衛星 SPICA は大口径 (2.5m) の冷却望遠鏡 (8K) を有しており、遠中間赤外線領域で抜群の分光感度を誇る。我々は、SPICA の低分散分光マッピング能力を用いて無バイアスサーベイを行ない、塵に隠されている宇宙の星生成/AGN 活動史を明らかにする。さらに、無バイアスサーベイで得られた赤方偏移、光度、種族に偏りの無い銀河サンプルに対してスペクトル線観測を行ない、1) 塵に隠された部分で何が起きているのか、近傍でのそれとは違うのか? 2) ダスト/重元素の役割は? それらは、星生成/AGN 活動を支配しているのか? を明らかにし、宇宙の星生成/AGN 活動が赤方偏移 $z=1-3$ でピークとなる物理的理由を探る。

無バイアスサーベイには、中間赤外線観測装置 (SMI) の低分散分光チャンネル (LRS) を用いる。LRS は長さ $10''$ 、幅 $3.7''$ のスリットを 4 本備えた波長範囲 $18-36\mu\text{m}$ 、分解能 $R=50$ の分光器であり、点源観測限界 (1 時間 5σ) は $30\mu\text{Jy}$ である。それぞれ 500 時間を費し $10(1)$ 平方度の全面分光サーベイを行なうことで、 $z=3$ で赤外線光度 L_{IR} が $10^{12}(10^{11.5})L_{\odot}$ より明るい銀河を検出し、 $z=0-4$ の総計 $5(1)$ 万個の銀河に対し、芳香族炭化水素 (PAH) バンド放射や Silicate バンド吸収による分光赤方偏移と光度の決定と、PAH 等価幅による星生成/AGN 区分けを行なう。

スペクトル線観測には、SMI の中分散分光チャンネル (MRS) と遠赤外線観測装置 (SAFARI) を用いる。波長範囲は $18-210\mu\text{m}$ で点源観測限界は $\sim 5 \times 10^{-20}\text{W}/\text{m}^2$ である。 $z=3$ で $L_{\text{IR}} = 10^{12}L_{\odot}$ の銀河でも 10 時間積分で $[\text{NeII}]12.8\mu\text{m}$ $[\text{OIV}]26\mu\text{m}$ といった重要輝線を検出でき、塵に隠された星生成や AGN 活動の物理的特性を明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a AGN クラスタリング解析による AGN の活動性への制限

大木平 (文教大学), 榎基宏 (東京経済大学), 石山智明 (千葉大学), 小林正和 (愛媛大学), 真喜屋龍 (東京大学), 長島雅裕 (文教大学)

クエーサーなどに代表される活動銀河核 (AGN) のクラスタリングは、AGN の光度関数などと相補的かつ基礎的な観測量であり、超大質量ブラックホール (SMBH) の形成過程や AGN のトリガー機構への重要な制限となる。これまでに、SDSS などによるクラスタリング観測の結果から、クエーサーのバイアスに顕著な光度依存性が無いこと、高赤方偏移 ($z > 3$) で非常に大きなバイアスをもつことが示されている。我々は、これらの観測と比較可能な理論モデルとして、ダークハローの形成史に超大規模宇宙論的 N 体シミュレーションを用いた、準解析的銀河・AGN 形成モデルを開発した。このモデルは、銀河と SMBH/AGN の形成・進化を統一的に取り扱うことができ、近傍銀河の光度関数や AGN のダウンサイジングを再現することに成功している。このモデルを用いてクエーサー/AGN の空間相関を求め、さらにクエーサー/AGN バイアスの光度・赤方偏移依存性について調べた。その結果、我々のモデルはクエーサーバイアスに光度依存性が無いという観測結果を自然に再現できることが分かった。この理由として、大質量のダークハローに低光度クエーサーが多く存在するため、またクエーサーの最大光度としてスーパーエディントン光度を許しているためであることが分かってきた。しかしながら、 $z > 3$ の非常に大きなバイアスを説明することは困難であることも明らかになった。本講演では上記の結果を示し、SMBH の形成過程、AGN の放射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](#)

X20a 超大質量ブラックホールに付随する circum nuclear disk がブラックホール成長に与える影響についての準解析的銀河形成モデルを用いた研究

白方 光 (北海道大学), 川勝 望 (呉高専), 和田 桂一 (鹿児島大学), 榎 基宏 (東京経済大学), 岡本 崇 (北海道大学), 長島 雅裕 (文教大学), 他 ν^2 GC チームメンバー

局所的シミュレーションから, SMBH 近傍に circum nuclear disk (CND) が存在し, SMBH の成長に大きな影響を与えることが示唆されてきた. その存在が観測出来るようになってきたのはごく最近のことで, CND の詳細な物理的性質はまだ議論の余地がある. しかし銀河形成の枠組みの中で SMBH の成長や AGN の発現, AGN が銀河に与える影響等について考える場合, CND の理解が不可欠である.

我々は準解析的銀河形成モデル “*New Numerical Galaxy Catalogue*” (ν^2 GC; Makiya et al. submitted to PASJ) を用いて銀河と超大質量ブラックホール (SMBH) の共進化について調べてきた. ν^2 GC では, ダークハローの形成史は N 体シミュレーションで数値的に計算し, パリオンに関する物理は解析解等を用いて物理的意味を失わないようにモデル化して解いている. そのため宇宙論的流体シミュレーションよりも低い計算コストで大きな計算体積を取ることができ, 活動銀河核 (AGN) などの個数密度の小さな天体の統計的性質の議論に適した手法である.

本研究の目的は, 銀河形成の枠組みの中で, 局所的シミュレーションで得られた CND モデルを用いて SMBH 成長を考えた際, 観測的な SMBH の性質を再現できるのかを検討し, この枠組みの中で SMBH 近傍の構造に制限を与えることである. 今回は CND モデルの 1 つである Kawakatu & Wada(2008) を ν^2 GC に導入し, SMBH の成長と AGN の発現, そして大体 100pc スケールで起こる爆発的星形成の関連を調べたので, その結果を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X21a Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars

松岡 良樹 (国立天文台) on behalf of the Subaru/HSC high-z quasar collaboration

高赤方偏移 ($z > 6$) クエーサーは、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成、宇宙再電離、母銀河の進化などを探る上で極めて有用なツールの1つである。また宇宙暗黒時代からまもない時期における高光度の活動銀河核現象として、それ自身非常に興味深い天体種族でもある。これまでに SDSS, CFHT Legacy Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1 などの広域探査によって 50 天体ほどが発見されているが、それらは観測の制約によって、おおむね光度 $M_{1450} \lesssim -24$ 等、赤方偏移 $z \leq 7.1$ という種族のみに限られている。光度関数のより暗い側 (すなわち平均的にブラックホール質量の低い側)、あるいは赤方偏移のより高い宇宙にどれだけのクエーサーが存在するのかが、巨大ブラックホール形成メカニズム、また宇宙再電離への放射寄与との関連からも非常に重要な問題である。

我々はこの問題に取り組むため、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略的サーベイデータを用いて、従来よりも約 2 等深く、かつ現在の最遠記録 $z \sim 7.1$ を超えるクエーサーにまで感度のある画期的な探査プロジェクトを遂行している。すばる、GTC などによる分光フォローアップも開始しており、すでにいくつかの高赤方偏移クエーサーの発見に成功した。本講演では、プロジェクトの概要とこれらの初期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](#)

X22a AGNの光度変光と母銀河の色選択による高赤方偏移・小質量SMBHサンプルの獲得

木村勇貴, 山田亨, 大塚拓也, 山中郷史, 秋山正幸 (東北大学), 古澤久徳, 高田唯史, 廿日出文洋, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 久保真理子 (東京大学), 鍛冶澤賢, 谷口義明 (愛媛大学), 花見仁史 (岩手大学), 馬渡健 (大阪産業大学)

ほとんどの銀河の中心には巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole; SMBH) が存在しており、今日の宇宙において SMBH 質量と母銀河の spheroid 成分の星質量などの間に良い線形相関を持つことから、これらがお互い密接に関係しながら成長 (共進化) していることが示唆されている。その SMBH と母銀河の共進化史解明にあたって、高赤方偏移、つまり過去の SMBH と母銀河の関係を知ることが重要である。遠方宇宙において活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) が唯一その調査を実現できる天体である。従来の研究では AGN の同定に X 線を用いていたが、X 線のデータは調査領域が限られており、また高赤方偏移の場合は非常に明るく大質量なものを選択的に選び出されるため偏ったサンプルであることが課題であった。そこで我々は、AGN の「光度変光」の性質と母銀河の「色選択」を用いて、高赤方偏移にある小質量 SMBH サンプルの獲得に向けた調査 (z' -band; 2008-2011 年) を SXDS 領域で行った。その結果、赤方偏移が 1 以上で SMBH 質量が $10^8 M_{\odot}$ 以下の候補天体が ~ 600 天体存在することがわかった。またこの中で有意に変光を示した 13 天体を Keck/DEIMOS で分光観測をした結果、MgII の Broad Line をもつ天体を 4 つ検出でき、うち 2 天体は赤方偏移が 1 以上で SMBH 質量が $10^8 M_{\odot}$ 以下の天体であることが判明した。これにより、X 線に頼ることなく高赤方偏移・小質量 AGN 天体を同定するには、AGN の「光度変光」と母銀河の「色選択」を組み合わせた方法が有効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](#)

X23a Revisiting the Intra-Halo Light Model as the Origin of the Cosmic Near-infrared Background Radiation

小林 正和 (愛媛大学), 長島 雅裕 (文教大学), 吉井 讓 (東京大学), 真喜屋 龍 (東京大学)

宇宙背景放射は、宇宙初期から現在に至る様々な時代における様々な天体からの放射と吸収の全歴史を反映したものである。個々の天体としては検出できない表面輝度の暗い天体からの放射も含むため、背景放射の観測を通してそれらの形成と進化過程の解明も期待される。波長 $\sim 1\text{--}5\ \mu\text{m}$ の近赤外線波長域における背景放射 (Cosmic Near-InfraRed Background; CIB) では、強い前景放射として存在する黄道光の不定性を避けるべく、絶対値ではなく空間的なゆらぎの測定が進められてきた。その結果、既知の放射源である系外銀河起源のゆらぎを大きく超過した $> 1'$ スケールの CIB ゆらぎが検出されてきたが、その起源は未だ解明されていない。

本研究では、CIB ゆらぎの起源として暗黒物質ハロー内に浮遊している星からの拡散光を考える Intra-Halo Light (IHL) モデル (Cooray et al. 2012) に着目し、その検証を行った。彼らのモデルでは、ハローに含まれる全銀河の放射光 L_{tot} に対してわずか $f_{\text{IHL}} \approx 0.07\text{--}0.2\%$ の割合が IHL として拡がって分布していれば、観測された強い CIB ゆらぎの強度を再現できると報告していた。しかし、我々が開発してきた銀河形成の準解析的モデル $\nu^2\text{GC}$ (Makiya et al. 2015, arXiv:1508.07215) を用いた検証の結果、彼らのモデルで用いられていた L_{tot} の値は観測結果を何桁も過大評価するものであることが明らかになった。本講演では、これら検証結果について報告するとともに、現実的な L_{tot} のもとで必要となる f_{IHL} の値と既存の観測結果からの制限との関係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](#)

X24a 大規模構造のフィラメントにある中性水素 21cm 線シグナル

堀井俊宏、浅羽信介、長谷川賢二、田代寛之(名古屋大学)

宇宙マイクロ波背景放射から予言されるバリオン質量のほとんどは未だ直接検出されておらず、これはミッシングバリオンと呼ばれている。観測的には未検出ではあるが、理論的にはミッシングバリオンの候補の一つとして、Warm Hot Intergalactic Medium (WHIM) と呼ばれる大規模構造のフィラメント部分に存在しているバリオンガスが考えられている。

本研究では、中性水素 (HI) の超微細構造遷移に伴う 21cm 線に着目し、これを用いた WHIM の直接検出の可能性の検証を行った。HI 21cm 線を用いて WHIM の検出可能性を議論した先行研究である Takeuchi et al. (2014) では、現在の観測機器でも 21cm 線シグナル検出が可能であると結論づけていたが、N 体計算による物質分布と単純なガス温度進化計算モデルを使用しており、シグナル強度の見積もりが正確でない可能性があった。それに対し本研究では、バリオンの密度や温度をより正確に計算している宇宙論的流体シミュレーション Illustris (Genel et al. 2014; Vogelsberger et al. 2014) のデータの解析から HI 21cm 線シグナル強度を見積もり、宇宙再電離期から現在までの HI 21cm 線の検出可能性を調査した。その結果、フィラメント部のガスは先行研究の見積もりより高温である事がわかり、結果として中性水素割合・HI 21cm 線輝度温度が小さくなる事を示した。講演ではこの新たな結果をもとに次世代電波干渉計 SKA による WHIM 検出可能性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](#)

X25a

6次元位相空間上でのVlasovシミュレーションにおける高次精度化

田中賢 (東京大学), 吉川耕司 (筑波大学), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU)

自己重力系での無衝突ボルツマンシミュレーション (Vlasov シミュレーション) は N 体シミュレーションで現れる離散粒子による二体緩和、物理量のショットノイズの影響がなく、また熱い成分であるニュートリノなどの大きな速度分散を持った系でも計算が可能であるので粒子法とは別のアプローチとして長年注目されている。しかしながら、この計算は位置空間 3 次元、速度空間 3 次元の 6 次元位相空間での計算なので膨大な計算コスト、メモリ領域が必要であり近年までは次元を削減した計算が行われていたが、計算資源の発達に伴い Yoshikawa et al. 2013. では初めて 6 次元位相空間上での Vlasov シミュレーションが行われた。ところが、Vlasov シミュレーションでは高精度化にあたり、計算資源の観点から単純にメッシュ数を増やすことが困難であるので別の方法で精度を上げる必要がある。

そこで我々は、5 次精度 (MP5) スキーム (Suresh and Huynh 1997) をもとに、正值性を保証した手法を新たに開発した。この手法では、同じメッシュ数であってもこれまで用いてきた 3 次精度 (PFC) スキーム (Filbet et al. 2001) よりも高精度の計算を行うことができる。本講演では、5 次精度スキームの実装方法および 6 次元 Vlasov シミュレーションを用いた自己重力系における Landau damping などのいくつかの計算例を示し、精度が向上したことによりどのような結果が得られたかを紹介する。また、宇宙論的な計算への拡張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](#)

X26a 矮小楕円体銀河におけるダークハロー進化と星形成史の研究

岡安優佑 (東北大学), 千葉証司 (東北大学)

Hayashi & Chiba 2015a にて矮小銀河や渦巻き銀河、楕円銀河など様々な銀河形態にわたって「回転速度が最大となる半径内の平均面密度 ($\Sigma_{V_{\max}}$)」が一定値を取ることが示唆され、銀河系及びアンドロメダ銀河の矮小楕円体銀河においては、 $20M_{\odot}pc^{-2}$ をとっている。そこでこの値をもつダークハロー進化を解析的に追うと、high z では降着した z が小さくなるにつれてハロー質量は早く進化し、low z ではその依存性は小さくなることがわかった。さらに、ハロー内のバリオンを考慮し観測されている矮小楕円体銀河と比較したところ、high z でホストハローに降着し進化を早く終えたサブハローは星形成効率が大きい一方で、 $z \leq 6$ で進化を終えたサブハローは星形成効率が低く、矮小楕円体銀河には二つの系列が存在することが明らかとなった。

本発表では、さらに本モデルと高解像度なシミュレーションとの比較や、矮小楕円体銀河の星形成史との比較から矮小銀河の星形成史を理解する上でのダークハロー進化の重要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](#)

X27a 4重像レンズにおけるフラックス比異常の起源について

井上 開輝 (近畿大)

視線方向の銀河ハローによって天体が4重像に分裂して観測される4重像重力レンズ系において、なめらかなポテンシャルをもつ重力レンズモデルを用いた場合、レンズ像の位置は $\sim 0.1\%$ の精度でフィットできるがフラックス比が($\sim 10\%$)で観測値と合わない「フラックス比異常」という現象が知られている。その起源の有力な候補として、従来レンズ銀河ハロー中のサブハローによる摂動が考えられてきたが、近年、視線方向に存在するダークマターとバリオンから成る非線形構造が原因である可能性が指摘されている。今回、準解析的手法によって得られたサブハロー質量関数を用いて、フラックス比異常を示す5つの4重像重力レンズ系におけるサブハローのフラックス比摂動を理論的に評価した。その結果、フラックス比におよぼす影響は数パーセント以下であることが判明した。一方、視線方向の非線形構造による影響は常に10パーセント程度存在し、サブハローによる摂動より大きい(2~5倍)ことが判明した。両者の効果を観測的に切り分けるには、観測から評価できるコンバージェンス摂動が光源の赤方偏移と共に単調に増加するか否か、又、赤方偏移が比較的大きい光源をもつレンズ系に対し、局所的に負の質量密度ゆらぎによる摂動が生じているか否か調べればよい。今回、その手法をフラックス比異常を示す5つの4重像重力レンズ系に対し適用して得られた結果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](#)

X28a

HSC すばる戦略枠観測に基づく原始銀河団候補領域の選択

内山久和, 利川潤, 柏川伸成, 松田有一, 斎藤智樹 (国立天文台), Roderik Overzier (ブラジル国立天文台), 石川将吾, 尾上匡房, 山元萌黄 (総合研究大学院大学), 大内正己, 小野宜昭, 嶋作一大, 玉澤裕子, 播金優一, Surhud More (東京大学), 後藤友嗣 (国立清華大学), 但木謙一 (マックスプランク研究所), Lihwai Lin (中央研究院), Sebastien Foucaud (上海交通大学)

近傍宇宙では、フィラメント/ボイドと呼ばれる高/低密度領域を持つ大規模構造が存在し、銀河の性質は環境に密接に関係している。形態密度関係に代表される銀河の環境依存性がいつどのように形成されたかを理解するためには、高赤方偏移での高密度領域 (原始銀河団) を直接探査することが重要である。しかし、原始銀河団の数密度は極めて稀 (見つかっている $z > 3$ の原始銀河団は数 10 個) であり、それらの統計的な性質を調べるには至っていない。そこで、我々は HSC 戦略枠観測に基づいて原始銀河団を探査し、それらの統計的な性質を議論することを試みる。広視野観測を用いることで電波銀河や QSO を用いない無バイアスな原始銀河団の探査を行うことができ、様々な性質を持つ原始銀河団の発見が期待できる。我々はまず現在までに観測されている領域 (有効面積 $\sim 87 \text{ deg}^2$) に対して g-dropout 銀河 ($z \sim 4$) の銀河数局所面密度を測定し、その平均値と分散から超過密度のマッピングを構築した。局所的な測光誤差を較正し、人工的なシグナルやノイズを慎重にマスクするなど注意深くこのプロセスを行った。その結果、超過密度の統計的有意性が $> 4\sigma$ を持つ原始銀河団候補を 94 個見つけた。ここで超過密度の有意性が 4σ を持つ領域は $z = 0$ において $> 10^{14} M_{\odot}$ の質量を持つ銀河団に成長することが確率 80% で期待される。この原始銀河団候補の数密度は 1.1 deg^{-2} である。本講演ではこのサンプル構築について、およびこれらの高密度環境と銀河の測光学的性質との関係、AGN 分布との相関などについての初期成果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29a 赤方偏移 8 の銀河高密度領域の性質と銀河団コア形成への示唆

石垣真史, 大内正己, 播金優一 (東京大学)

Hubble Frontier Fields プロジェクトによる Abell 2744 銀河団領域の探査の結果、 $z \sim 8$ の星形成銀河が極めて高密度に集まっている領域 (A2744z8OD) が発見された。しかし、これまで A2744z8OD に対する定量的な研究は行われていなかった。そこで本研究では、他の観測領域およびシミュレーションとの比較により A2744z8OD の性質を調べた。Hubble 宇宙望遠鏡で観測された 8 つの領域を用いて $z \sim 8$ の銀河の空間分布を調べたところ、A2744z8OD は半径 6 秒の円内での密度超過が $\delta \simeq 130$ に達することがわかった。銀河形成シミュレーションのカタログを用いて観測と同様に $z \sim 8$ の銀河の空間分布を調べたところ、A2744z8OD と同様の高密度領域 (Modelz8OD) が発見された。Modelz8OD は視線方向に細長く伸びた構造をしており、その軸方向から見ることによって δ の値を大きく見積もっていることがわかった。Modelz8OD は現在の銀河団の祖先であり、Modelz8OD 内の銀河の多くは銀河団中心銀河 (BCG) に取り込まれる。もし Modelz8OD が A2744z8OD と同じ性質を持つ天体であれば、A2744z8OD は $z > 12$ から非常に早く星形成を始めた銀河団コア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](#)

X30a **DLA 集中領域における輝線天体の探査**

小倉和幸, 長尾透 (愛媛大学), 今西昌俊, 柏川伸成 (国立天文台), 谷口義明, 鍛冶澤賢, 塩谷泰広, 小林正和, 鳥羽儀樹, 延原広大 (愛媛大学)

DLA (damped Ly α absorption system; 減衰ライマンアルファシステム) は中性水素の柱密度が $10^{20.3} \text{ cm}^{-2}$ 以上のクエーサー吸収線系である。高赤方偏移にある DLA はその H I 柱密度の大きさから、将来星形成を引き起こす豊潤なガスの貯蔵庫 (Nagamine et al. 2004, MN, 348, 421 など) として注目されているが、対応天体は 8-10 m 級の望遠鏡による観測で近年になって一部が特定されたのみで、その正体はまだ議論下にある。

我々は SDSS BOSS の DLA カタログ (Notaedaeme et al. 2012, A&A, 547, L1) に基づき、DLA の空間分布を調査した。その結果、非常に狭い領域の中に赤方偏移が同じ DLA が複数存在する領域を発見した。これら領域は、銀河からの放射に頼った探査では見落とされていた密度超過領域の可能性がある。また、効率よく DLA 対応天体を探査できる点でも注目すべき領域である。そこで我々は、(1) DLA 集中領域が本当に密度超過領域に相当するかを調べること、(2) 領域内の DLA 対応天体を特定することを目的にすばる望遠鏡 Suprime-Cam の狭帯域フィルター NB400 (中心波長=4003 Å, FWHM=92 Å) を用いて赤方偏移 2.3 の DLA 集中領域で輝線銀河の探査を行った。NB400 と g' の限界等級 (5σ , $2''$ アパーチャー, AB 等級) がそれぞれ 25.34, 26.79 の観測から色等級図により約 140 個の輝線天体を選出できた。選出結果から Ly α 光度関数を作成し、先行研究 (Hayes et al. 2010, Nature, 464, 562) における Ly α 光度関数と比較した結果、顕著な密度超過は見られなかった。一方、今回の観測領域内にある 4 個の DLA のうち 1 個の DLA の近くに輝線天体を検出した。この天体は DLA 対応天体の可能性がある。本講演では、DLA 集中領域における Ly α 光度関数と、DLA 対応天体の候補について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31a Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS)

井上昭雄 (大阪産業大学), ほか CHORUS メンバー

われわれは、宇宙再電離現象の解明を目的として、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 戦略枠観測の Ultra-Deep Survey 領域である COSMOS および SXDS において、狭帯域フィルター 5 枚 (NB387, NB527, NB718, IB945, NB973) による撮像探査を実施するインテンシブ観測として行なうつもりである。本講演では、CHORUS と名付けられたこのレガシー的狭帯域撮像探査計画の紹介と、期待されるサイエンス成果について報告する。

CHORUS は、(1) 銀河と AGN の電離光子放射率の測定、(2) AGN 光度関数の faint-end の測定、(3) 種族 III 星形成率密度の測定、(4) 宇宙の中性度空間マップの可視化を行なうことで、宇宙再電離現象の 3 つの課題である再電離光源、再電離史、そして再電離トポロジーを解明することを目標としている。

CHORUS および戦略枠観測で用いる HSC 狭帯域フィルター 8 枚の開発は、2007 年から仕様検討が始まり、全てを組み合わせることで最大の成果が挙がるように、個々の波長帯が緻密に設計され、メンバーがそれぞれ担当するフィルター開発費を科学研究費補助金などで獲得することにより、総額約 1 億円で実現された。

CHORUS で得られる非常に深い狭帯域撮像データは、再電離現象の解明だけでなく、さまざまなサイエンスに寄与する可能性を持つ。戦略枠観測データのリリースに歩調を合わせて、全てコミュニティに公開する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

3月14日(月) 午後(13:00-15:15) [C会場]

Y01a	13:00	「はやぶさ2」地球スイングバイ観測キャンペーンデータの解析 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
Y02a	13:12	「はやぶさ2」地球スイングバイ観測キャンペーンの実施報告 井上毅(明石市立天文科学館)
Y03a	13:24	はやぶさ2がめざしている小惑星の名称募集とその波及効果 矢部あずさ(宇宙航空研究開発機構)
Y04a	13:36	IAU 太陽系外惑星命名キャンペーンへにおける国内での取り組み 白田-佐藤功美子(国立天文台)
Y05a	13:48	IAU・OAOの活動から見てきた天文教育・普及諸課題の考察 縣秀彦(国立天文台)
Y06a	14:00	ホノルル IAU 総会における天文学用語の発音調査 佐藤勲(日本大学)
Y07a	14:12	国立天文台・星と宇宙の日でのアストロバイオロジー企画による宇宙生命に対する意識調査 日下部展彦(自然科学研究機構)
Y08a	14:24	AURORA 4D PROJECT(1): 計画概要と異分野連携研究の分析 玉澤春史(京都大学)
Y09b	14:36	リーダー教育に天文学は役立つか? 高梨直紘(東京大学)
Y10b	14:36	星空案内人資格認定制度運営機構の最近の活動について 柴田晋平(山形大学)
Y11b	14:36	かわさき宙と緑の科学館で捉えた「はやぶさ2地球スイングバイ」 佐藤幹哉(かわさき宙と緑の科学館)
Y12b	14:48	デジカメ星空診断「夜空の明るさをはかるキャンペーン」の展開 小野間史樹(星空公団)
Y13b	14:48	SDSS DR7 日本語版ウェブサイトの構築 吉田尚洋(法政大学)
Y14b	14:48	HEALPix法を用いた全天モニタ画像検索システムの開発 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y15b	15:00	全天モニタ画像の位置較正 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y16b	15:00	流星の移動方向が1観測点でわかるHRO法 吉田英人(東京大学)
Y17c		木曾105cmシュミット鏡/2kCCD/4度プリズムによる恒星の対物分光データの教材化 西浦慎悟(東京学芸大学)
Y18c		自作分光器による太陽の高分散分光観測から求められる磁場、速度場 坂江隆志(埼玉県立浦和西高等学校)

3月15日(火) 午前(09:30-11:30) [C会場]

Y19a	09:30	4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」の多言語化について 加藤恒彦(国立天文台)
Y20a	09:42	天文台活動と社会の関係 - すばる望遠鏡の見学プログラムについて 林左絵子(国立天文台)
Y21a	09:54	地域連携を通じた教育普及・科学史調査 - 日本初のロケット発射場、秋田の場合 阪本成一(国立天文台)
Y22a	10:06	地域活性化に繋がった天文台20周年記念イベント 矢動丸泰(紀美野町みさと天文台)
Y23a	10:18	市民とともに夜空の明るさ調査 ひらつか星空調査隊について 塚田健(平塚市博物館)
Y24a	10:30	科学ライブショー「ユニバース」の20年 亀谷和久(東京理科大学)
Y25a	10:42	日本における公開天文台と天文教育との連携 李銀知(埼玉大学)
Y26a	10:54	教員向け研修事業の実践と課題について 茨木孝雄(国立天文台)
Y27a	11:06	教育現場における天体観測室の構築例 佐々井祐二(津山工業高等専門学校)
Y28a	11:18	国立天文台水沢VLBI観測所収蔵「緯度観測所ガラス乾板コレクション」のデジタル化 馬場幸栄(お茶の水女子大学)

Y01a 「はやぶさ2」地球スイングバイ観測キャンペーンデータの解析

吉川真, 山口智宏 (ISAS/JAXA), 安田岳志 (姫路市宿泊型児童館「星の子館」, JAPOs), 三島和久 (倉敷科学センター, JAPOs), 井上毅 (明石市立天文科学館, JAPOs), 井本昭 (日本惑星協会), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)

小惑星探査機「はやぶさ2」は、2015年12月3日に地球に接近しスイングバイを行った。その目的は、地球の引力を利用して軌道を変更し、目的地の小惑星リュウグウに向かわせることであるが、この機会を利用して地上から探査機を観測するキャンペーンを行った。このキャンペーンは「はやぶさ2」プロジェクトのアウトリーチが主目的であったが、天体観測としては高速で移動する暗い人工天体を捕らえるという観測技術のチャレンジという意図もあった。キャンペーンには、個人やグループでの参加が合計80件以上もあり、そのうち約30件の観測成功の報告があった(2015年12月7日時点)。一つの探査機のスイングバイに関連して、これだけ多数の観測が集まったことは、おそらく過去にはないと思われる。

アウトリーチとしての成果は別の発表に譲ることにし、ここでは、観測結果をより積極的に利用する可能性について考えてみたい。一つの可能性としては、各地で撮影されたイメージから「はやぶさ2」の天球上の位置を計測し、電波航法によって推定された軌道と比較してみることが挙げられる。このことで、探査機の軌道推定を直接的に確認することができる可能性がある。もう一つの可能性としては、撮影されたイメージの光度を調べることが挙げられる。探査機の光度は事前の予測が難しいが、多くの観測データを集めることで、その時間変化を出したり、探査機における光の反射率などを求めることができる可能性がある。本発表では、アウトリーチ活動として得られたデータが、工学的にも利用できるかどうかについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a 「はやぶさ2」地球スイングバイ観測キャンペーンの実施報告

安田岳志(姫路市宿泊型児童館「星の子館」、JAPOS)、三島和久(倉敷科学センター、JAPOS)、井上毅(明石市立天文科学館、JAPOS)、井本昭(日本惑星協会)、山口智宏(ISAS/JAXA)、吉川真(ISAS/JAXA)

2015年12月3日に実施された、JAXAの小惑星探査機「はやぶさ2」の地球スイングバイの際に行われた観測キャンペーンについて報告する。2015年10月のJAXAの会見で、地上から「はやぶさ2」が観測できる可能性があるとの発表があり、全国の公開天文台や科学館等により、観測キャンペーンを行う事とした。日本公開天文台協会(JAPOS)からのメーリングリストでの呼びかけに対して、最終的に海外を含む35の施設からの申込みがあった。観測までの期間は、申込みがあった施設に対して、JAXAはやぶさ2プロジェクトより観測に必要な位置情報が提供され、また、観測についてのノウハウやテスト観測の画像をJAPOSのウェブを通じて発信し、観測者のサポートを行った。結果、当日は曇りや雨の地域もあったが、観測者の様々な工夫により、当初の予想を上回る数多くの観測地点で動画・静止画共に撮影に成功し、マスコミを通じて撮影成功のニュースが流れた。また、日本惑星協会(TPSJ)が一般向け支援を担うこととなり、JAPOS関連施設に加えて広く一般への観測支援データを提供することとなった。結果、観測地は施設の35に一般観測者の46地点が加わり、その観測成果も大きく拡大する結果となった。個人、公開天文施設、研究機関の3者が共同して、一般からの興味関心に応えた1例として、今後の同種のキャンペーンの参考になると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a 「はやぶさ2」がめざしている小惑星の名称案募集とその波及効果

矢部あずさ, 吉川真, 大川拓也, 生田ちさと (JAXA 宇宙科学研究所)

JAXAの小惑星探査機「はやぶさ2」がめざしている小惑星は、米国MITのによって発見され、仮符号で1999JU3と呼ばれていた。この小惑星に付いた名称「Ryugu」は、命名提案権を持つLINEARの厚意により、「はやぶさ2」プロジェクトから名称案をLINEARに提案させてもらったものである。名称のアイデアについては「はやぶさ2」プロジェクトの意向で一般からの公募とし、世界中から名称案を募集した。

名称案の募集は、2015年7月22日から8月31日のおよそ1か月間行った。応募はインターネット、葉書、JAXA相模原キャンパスの特別公開にて受け付け、合計7,336件の応募があった。選考は多数決ではなく有識者からなる名称案選考委員会が行い、神話由来の「Ryugu」という名称案を選び、2015年9月上旬にLINEARから小惑星センターに命名提案が行われた。承認までには通常3か月ほどかかると言われるが異例の早さで進み、2015年10月5日、小惑星センターの管理する小惑星名のリストに「Ryugu」が掲載されたことから、回報への掲載確認を待たず、国際天文学連合(IAU)の承認を得られたと判断しJAXAは記者発表を行った。

名称案募集については国内外のメディアなどで取り上げられ、「はやぶさ2」のミッションの知名度向上と、小惑星についての知識の普及に関して効果をあげた。一方で、応募総数は過去の探査機関連のメッセージキャンペーン等に比べて少ない数に留まった。本発表では、このことについて考えられる理由と、今後の公募型キャンペーン展開の際に留意すべき改善点を述べる。加えて、名称案募集を通じて決定した「Ryugu」という名称が世間でどのように受け止められているのか、また、名称の認知が社会にどのように広がり波及効果をもたらしているのか、参考となるSNS解析の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a IAU 太陽系外惑星命名キャンペーンへにおける国内での取り組み

白田-佐藤 功美子 (国立天文台), 飯塚礼子 (日食情報センター), 山岡均 (九州大学), 半田利弘 (鹿児島大学), 天文教育普及研究会・系外惑星命名支援ワーキンググループ (WG)

2014年7月より、国際天文学連合 (IAU) が「太陽系外惑星命名キャンペーン (NameExoWorlds contest)」を開始した。1) 名前を提案したい団体の登録、2) 登録団体による命名対象となる惑星系選び、3) 登録団体による名前の提案、4) 提案された惑星系名への一般投票、という4段階で実施され、2015年10月末日に一般投票が終了した。団体とは、アマチュア天文クラブや学校の科学部など、専門の研究機関ではないグループを指す。

日本国内では、名前の提案を行う団体の支援を日本語で行うため、また、この国際イベントに多くの方が関心を持ってもらうため、2014年9月に日本天文協議会・IAU 太陽系外惑星系命名支援 WG が設立された。天文教育普及研究会・系外惑星命名支援 WG が主体となって、日本語ウェブサイトをたちあげ、随時、IAU 公式サイトの翻訳、太陽系外惑星の紹介、団体登録や一般投票方法の説明などを掲載した。また、各メンバーが講演会で紹介したり、天文雑誌や Twitter で情報発信するなど、ウェブ以外での宣伝も行った。

その結果、2015年6月末時点にて、登録した586団体のうち日本の団体が166団体 (約3割) と世界で1位となったほか、命名する20の惑星系のうち、日本の研究グループが発見したものが7個 (約3割) 含まれるなどの成果をあげた。その反面、第4段階の一般投票では日本からの得票数が伸び悩み、トップ10入りを果たせなかったという課題も見えた。

本講演では、このキャンペーンを通じたWGの取り組みを紹介しながら、英語を第一言語としない人々にとって、天文の国際イベントへ参加しやすくなる方法について検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y05a IAU・OAOの活動から見えてきた天文教育・普及諸課題の考察

縣秀彦、Sze-leung Cheung、Lina Canas、柴田幸子（国立天文台）

2012年4月に国立天文台に設置された The IAU Office for Astronomy Outreach (IAU・OAO) は、2014年4月に新しいスタッフ (International Outreach Coordinator) が、さらに追加スタッフが2015年5月に着任し、活動が本格的になりつつある。OAOは、定常的かつ国際的なIAUのサイエンスコミュニケーション活動を新DivisonCやIAU・OAD (Office of Astronomy for Development) 等と協力して推進することが設置の目的で、CAP国際会議の開催、CAPジャーナルの刊行、OAOニューズレターの配信、IAUウェブページの更新などを担当している。さらに、今年度は「惑星系に名前を付けよう」キャンペーン (NameExoWorlds)、国際光年2015「宇宙からの光」(Cosmic Light, International Year of Light) の国際事業を担当した。本講演においては、これらの諸活動の成果を簡単にレビューするとともに、グローバルな活動推進から明らかになった日本の天文教育・普及の特徴について考察する。

特筆すべきは、次の2点であろう。(1) 日本のようにプロの天文学者とアマチュアとの交流が盛んな国は稀有であること。(2) 日本における諸活動は先進的であるにも関わらず、外国ではほとんど認知されていないこと。

(1) において、日本天文学会が果たしてきた役割は極めて大きい。IAUも本学会の仕組みを参考に、会員種別の見直しをすべきであろう。(2) においては言語の壁や文化の違いが影響していると考察されるが、グローバル化の中で日本の天文学コミュニティの果たすべき役割について具体例をあげて提案したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06a ホノルルIAU総会における天文宇宙用語の発音調査

佐藤 勲 (宇宙用語研究会)

現在、彗星等の天体名の公式な日本語表記を決定する機関がないため、「ハリー彗星」が正しい表記であるにもかかわらず、高校地学の教科書を含む多くの書物で「ハレー彗星」という誤った表記がされているなどの問題点がある。特に、新しく発見された彗星や小惑星や衛星の名前の日本語表記については、多くの混乱が見受けられる。

昨年8月にホノルルで開催されたIAU総会において、多数のネイティブの外国人から発音の聞き取り調査を行い、多くの事実がわかった。一例を挙げると、

チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星に着陸した探査機 Philae は「フィラエ」ではなく、フランス語でもアラビア語でも「フィレー」と発音する。

小惑星センターの Garreth Williams は、「ギャレット・ウィリアムズ」ではなく、「ガレス・ウィリアムズ」である。

ナスミス焦点で知られているイギリスの James Nasmyth は、正しくは「ネイスミス」と発音する。

講演では、この問題についてより詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07a 国立天文台・星と宇宙の日でのアストロバイオロジー企画による宇宙生命に対する意識調査

日下部展彦(アストロバイオロジーセンター(ABC)/国立天文台)、大宮正士(国立天文台/ABC)、持永千鶴(国立天文台すばる室)、ほか企画展示をお手伝いいただいた皆様

2015年4月、自然科学研究機構にアストロバイオロジーセンターが設立された。宇宙における生命という分野は一般の人にとっても興味関心の高い分野であるが、サイエンスフィクションと混同されやすい分野でもある。そこで、興味が高い点を生かしつつ、たんなる知識の押し付けではなく効果的に最先端の研究分野を伝えられるように、現状での「宇宙における生命」に対するイメージを調べるべく、天文学に興味がある人が集まる国立天文台特別公開「星と宇宙の日」の光赤外研究部のブースにおいて、イラスト企画をおこなった。2014年10月25日の特別公開では「想像上の系外惑星の姿」の企画で200枚のイラストが集まり、2015年10月24日の「系外惑星の宇宙生命」の企画においては400枚以上のイラストが集まった。

2015年の「系外惑星の宇宙生命」お絵描き企画においては、系外惑星の生命をイメージする参考のため、現状で考えられるハビタブルゾーンにある岩石惑星や、より内側にある灼熱の惑星、外側にある氷の惑星の想像図をポスターとして展示した。宇宙生命をイメージしてもらうに際し、生息する惑星のタイプ、生息環境、エネルギー源といったその生命の特徴についても簡単なワークシート形式で考えてもらうようにした。この企画から、天文に興味のある人が宇宙における生命といったときに、どのようなことをイメージする傾向があるのかを把握したうえで、実際のアストロバイオロジー研究を効果的に伝えるための手法を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08a **AURORA 4D PROJECT(1)：計画概要と異分野連携研究の分析**

玉澤春史，早川尚志，河村聡人，磯部洋明（京都大学），片岡龍峰（極地研究所），岩橋清美（国文学研究資料館），宮原ひろ子（武蔵野美術大学），他 AURORA 4D PROJECT メンバー

人類は古くからオーロラなどの天の異変を観察して記録に残し，現代ではデジタルカメラで撮影したオーロラ写真を SNS に掲載している．オーロラの世界的な拡大は，一方で宇宙では人工衛星の故障や衛星通信の異常，地上では誘導電流による大規模停電を引き起こしうる巨大磁気嵐の発生を示し，宇宙インフラや電力ネットワークに依存する現代社会を脅かす「宇宙災害」として，近年関心が高まっている．この「宇宙災害」へ多角的にアプローチするために，総研大の学融合研究「オーロラ4Dプロジェクト」がスタート，人文系と自然科学系の研究者が連携し，古文献に記載されたオーロラなどの記録を精査，自然科学データと比較して整備・活用すると同時に，世界初となる市民参加型宇宙環境モニターの実現や，未知のオーロラ観光名所の開拓などを通して，現代社会における先端科学と市民の新たな関係を築いていくことを目的としている．歴史学など人文科学と地球物理・太陽物理といった自然科学との異分野連携研究であり，どちらか一方だけでは推進できない研究である．近接分野との共同研究よりも研究文化の背景が違い，互いの領域について積極的に質問・意見交換することで進められる．また，研究当事者間だけではなく，関連学会の研究者や事務担当者など，様々な面において「異分野交流」する機会があり，自らの属する研究領域を相対的に見ることができる．本講演ではプロジェクトの経緯，概要および初期成果を紹介するとともに，異分野連携研究の現場から得られる具体的な事例を分析，異分野への普及効果などについて論じる．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b リーダー教育に天文学は役立つか？

高梨直紘（東京大学 EMP）

東京大学エグゼクティブ・マネジメント・プログラム（東大 EMP）は、将来の組織の幹部、特にトップになる可能性のある主に 40 代の優秀な人材を対象としたプログラムである。現在までに東京大学に所属する幅広い分野の研究者を中心とする講師陣との議論を通じ、各分野に特有の世界観や思考様式を学び取っていくことで、課題設定・形成能力を醸成していくことを目的としている。ビジネス分野からの参加者が主であるが、行政やプロフェッショナルなど、さまざまな組織や個人が参加している。

プログラムで行われる講義は多岐にわたるが、全部で 120 コマ程度ある講義群のうち、少なくとも 3 コマは天文学に関する講義が行われている。それに加え、泊まりがけの星空観望会や宇宙ビューワー「Mitaka」の上映、IPMU や国立天文台見学会など、天文学や宇宙に触れるさまざまな機会が提供されている。アンケート調査によれば、天文学分野の講義は常にもっとも印象深い講義のひとつとして挙げられており、高い評価を得ている。一見するとマネジメント能力の醸成とはなんら関係がないように見える天文学が、受講生らにとってどのような意味を持っているのだろうか。

本講演では、このような社会人向けの教育において天文学がどのように役立っているのか、あるいは役立つ可能性があるのかについて、東大 EMP の事例を元に議論を深めたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y10b 星空案内人資格認定制度運営機構の最近の活動について

柴田晋平、渡邊瑛里 (山形大学)、甲田昌樹 (星空案内人資格認定制度運営機構)、安藤享平 (郡山ふれあい科学館)、富田晃彦 (和歌山大学)、水谷雅寛 (三重県環境学習情報センター) ほか機構メンバー

星空案内人資格認定制度運営機構は、星空や宇宙への関心を高め、親しんでもらえる日常環境を作るべく星空案内人 (星のソムリエ) の養成を中心とした様々な活動をしています。中期的な目標のひとつに、星空案内のボランティア活動するならまずこの資格から、といわれるような信頼性のある教程をつくることを掲げています。現在の実施団体数は 25 団体、案内人・準案内人総認定数は 3313 件 (2016 年 12 月 5 日現在) です。

昨年は次の 3 つの認定基準の改訂を行いました: 「望遠鏡を使ってみよう」という科目の認定チェックシート二点 (赤道儀おおび経緯台)、「さあ、はじめよう」という科目の認定レポートです。ここでは、講師、受講生のモニターによるポート問題の改善意見が大変参考になりました。

各科目の講師が苦勞する講義スライドについては、「星空案内人資格認定制度スライド作成プロジェクト」を立ち上げて全国の講師がスライドなど教材を交換する仕組みを作りました。著作権などの問題を避けるため講師による研究会の形をとっています。このため、教材を入手したいときはプロジェクトメンバーに入る必要があります。

制度の活性化のためには、全国統一の認定基準を確保するとともに生きた授業を支える講師の自由度が重要で、両者のバランスが必要です。この点に関する指針を定めました。3 月 6,7 日 に開催する星空案内人資格認定制度全国シンポジウムの速報もします。(参照 ; <https://sites.google.com/site/hoshizoraannaishikakunintei/>)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11b かわさき宙と緑の科学館で捉えた「はやぶさ2地球スイングバイ」

佐藤幹哉, 弘田澄人, 成瀬裕子 (かわさき宙と緑の科学館)

小惑星探査機「はやぶさ2」が、スイングバイのために2015年12月3日に地球に接近した。日本では、夕刻の北の空をはやぶさ2が飛来していく様子を観測できる条件にあり、JAPOS(日本公開天文台協会)を中心とする観測キャンペーンが実施された。かわさき宙と緑の科学館においても、この観測キャンペーンに参加しはやぶさ2の検出観測を試みた。当初、はやぶさ2は11~12等級と予想されており、光害の影響の大きい場所に立地する当館で観測することは大変難しい状況であったが、3種類の機材を用意して臨むことにした。

計画では、増光してくる18時から地球の影に突入する19時前までを観測する予定であったが、雲の影響もあり、実際に観測できたのは18時30分以降となった。この時間中において18時40分から18時53分まで、はやぶさ2の像をビデオ(動画)にて撮影することに成功した。得られた映像は、速報的にプラネタリウムの投影で紹介し、また館内のビデオ展示で観測翌日に公開した。また、精密な光度観測は予定しなかったが、得られた映像を測定し、約10等級まで明るくなっていることを確認できた。

なお今回の観測には、観測キャンペーンへの参加が事前に告知されたこともあり、テレビ局・新聞社・通信社、合わせて5社が当日の観測の取材に訪れた。観測の様子や得られた映像について、テレビ報道3番組における放映と、地元新聞1社への掲載があった。館内の公開にとどまらず、メディアにも取り上げられたことで、アウトリーチとしての貢献も十分に果たすことができた。

本講演では、成功に至った当館の取り組みと観測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](#)

Y12b デジカメ星空診断「夜空の明るさをはかるうキャンペーン」の展開

小野間史樹, 柴山万優子 (星空公団), 原田泰典 (国際航業株式会社), 大川拓也 (宇宙航空研究開発機構), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 小野智子 (国立天文台)

星空公団では、環境省が1998年から続けてきた全国星空継続観察が2013年夏以降休止となっていることから、その代替りとなる独自の暫定調査を実施している。この調査は、これまで25年間連続してきた夜空の明るさのデータがいったん途切れることを防ぎ、継続的なデータの蓄積につなげていくための試みとして、全国の賛同者にデータ提供の協力を呼びかけて実施しているものである。調査では、カメラの撮影画像から背景の明るさを測定し、標準星と比較することで天空輝度を算出している。

これまでの環境省の調査では、フィルムカメラを用いた調査手法が用いられていたが、我々はこれをデジタル化し、かつ測定を簡素化することで参加者が取り組みやすい手法を開発した。撮影枚数を従来の6枚から1枚に削減し、また露出時間も最長で300秒であったものを30秒に短縮している。さらにデータ収集方法をウェブサイトを通じた投稿方式に変更し、データ投稿時に測定結果(速報値)が即時表示される方法を実現したことで、調査への参加者と観測点の増加が期待できる。

この方法を用い、国際光年である2015年度に全国一斉調査を呼びかけるデジカメ星空診断「夜空の明るさをはかるうキャンペーン」を展開した。このキャンペーンでは、多くの人々が大気保全のみならず星空の大切さや夜間照明の効率的な利用を考えるきっかけとなることを狙いとしている。

講演では、この測定手法の詳細や2015年の調査結果を紹介することで、継続的なデータの蓄積の重要性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13b

SDSS DR7 日本語版ウェブサイトの構築

吉田尚洋, 岡村定矩 (法政大学), Ani Thakar (ジョンズ・ホプキンス大)

SDSS (Sloan Digital Sky Survey) の Legacy Survey は、1 億個以上の銀河 (と星) の位置と明るさを測定して、全天の約 4 分の 1 にわたる詳細な宇宙の地図を作ったサーベイプロジェクトである。この Legacy Survey のデータ (画像、測光データ、分光データ) は SDSS DR7 ウェブサイトで公開されている。このサイトは英語版、ドイツ語版、ハンガリー語版、スペイン語版、ポルトガル語版が運用されているが、日本はプロジェクトの主要参加国であるにもかかわらず日本語版がない。SDSS のデータを扱う日本語版サイトはプロジェクト初期に作られたもので、新しいデータにアクセスできないことに加え、新しい研究体験ページに対応していない。我々は、SDSS DR7 ウェブサイトの中でも、研究者だけでなく一般の人々も利用するページを中心に日本語版の構築を行っている。具体的には、天文学の基礎「Astronomy」ページ、SDSS プロジェクト「SDSS」ページ、学習向けの研究体験「Projects」ページがある。これらのページの日本語版を作れば、天文学の教材として活かせること、また一般の人々が天文学に関心を持つきっかけを作ることに繋がる。

SDSS ウェブサイトのミラーサイトからサイトの圧縮ファイルを自分のコンピュータにダウンロードして作業をする。サイトの階層ごとに分かれているフォルダ内の「.asp」ファイル中の該当する文章を英語から日本語に翻訳している。翻訳に際しては、日本語としての読みやすさを優先し、原文の構造を壊さない範囲で意識することを意識した。また翻訳版に合わせて、画像のサイズ・位置の調整など、見やすい形にするための作業も行っている。2015 年 12 月までに「Astronomy」と「SDSS」を完了した。「Projects」を含めすべての作業が完了したら、ファイルをアメリカの管理者へ送付し、本家サイトに日本語版としてリンク付けしてもらおう予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14b HEALPix法を用いた全天モニタ画像検索システムの開発

小澤友彦(紀美野町文化センター), 尾久土正己(和歌山大学観光学部)

我々は、天球の空間分割法である HEALPix 法を用いて、全天モニタ画像上の部分的な晴れ間を探し、目的の星が写る画像のみを検索するシステムを開発したので報告する。

2014 年春よりみさと天文台において全天モニタを運用している(2014 年春季年会 Y28c)。機器の故障や保守などにより停止する期間はあるが、およそ毎分 1 枚の頻度で昼夜全天の撮影を継続している。

取得した全ての全天モニタ画像に対して座標較正を行った(2015 年秋季年会 Y06b)。次に SAO-J2000 星表の 5.5 等より明るい星を対象に、雲や月明り、薄明などで消されることなく星が写っているかどうかの判定を、夜間帯の全ての画像に対して行い、各画像の晴天域の情報を作成した。この情報を HEALPix 法により空間分割した天球上の各領域に付合し、各領域毎での晴天情報としてデータベースに登録し検索に用いた。

本講演では、全天モニタ画像上の星の有無の判定や HEALPix 法により空間分割した領域を元とした晴天情報のデータベースについて議論する。また検索システムの概要について紹介する。

尚、本研究は科研費(25350330)の助成を受け行われたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15b 全天モニタ画像の位置較正

小澤友彦 (紀美野町文化センター), SMOKA グループ

SMOKA では全天モニタ画像公開システムを開発し、2014年3月より運用を続けている。画像の有効性をさらに高めるべく位置較正を施したので報告する。

全天モニタ画像は空全体を1、2分に1枚の頻度で定点撮影しているため、星の動きや明るさの変化などを捉えることができ、研究や教育に有益性が高いものである。この全天モニタ画像に位置較正を施すことによりその有用性はさらに高まる。例えば、長期に渡り同じ星の明るさの変化を調べたり、流星の位置を測定したり、自動的に星や星座の名前を画像に付加することが容易にできるようになる。

本研究では2015年秋季年会 Y06b にて報告した全天画像用座標較正ソフトウェア (Levenberg-Marquardt 法による非線形最小二乗法を利用) を用いて座標較正を行った。本予稿提出時においては、東工大 MITSuME 望遠鏡明野観測所の画像の大部分について位置較正を終え、ひきつづき岡山天体物理観測所の画像について作業を進めている。位置較正の結果は JPEG の全天モニタ画像を FITS に変換し、WCS として付加することで公開する予定である。

本講演では、位置較正の手法と結果の評価や FITS-WCS の作成について議論するとともに公開システムで提供するサービスについても紹介する。

尚、本研究は科研費 (25350330) の助成を受け行われたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y16b 流星の移動方向が1観測点でわかる HRO 法

吉田英人，寺澤敏夫（東京大学），矢口徳之，臼居隆志（日本流星研究会），宮本英明（巣鴨高校），吉川一朗（東京大学）

アマチュア天文家や学校クラブ活動では、流星電波観測としてHRO(Ham Radio Observation)法が普及している。しかしながら従来のHROでは、流星の出現を知ることができてもそれがどちらの方向に流れたのかまでは知ることができなかった。今回我々は、送信点が異なるアマチュア無線ビーコン波を3波利用し、さらにHROftソフトでバイナリデータを取得できるHROft072を使用することで、流星の移動方向を1観測点でも推定できる方法を確立したので報告する。

この方法の原理は、流星が移動することによりフットプリントも地表を移動する際、受信点を横切る時刻は送信点と受信点の位置の組み合わせで異なるので、最低3波の送信点が異なるアマチュア無線ビーコンを利用できれば、それぞれのビーコンによる流星エコー到来時間差から流星移動方向と地上移動速度を推定することができる。我々は多地点電波観測法で得られた結果と本方法の結果を比較し矛盾の無い結果を得た。

この方法を使えば、群流星か散在流星かのおおまかな判別にも使うことができ、アマチュア天文家や学校クラブ活動において流星電波観測に対して一段と掘り下げた興味を惹起できると思われる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y17c 木曾105cmシュミット鏡/2kCCD/4度プリズムによる恒星の対物分光データの教材化

西浦慎悟 (東京学芸大・教育), 三戸洋之 (東大・理・天文センター・木曾), 伊藤信成 (三重大・教育), 山縣朋彦 (文教大・教育), 濱部勝 (日本女子大・理), 中田好一 (東大)

現行の高等学校学習指導要領や同解説の「地学基礎」および「地学」では、太陽を初めとする恒星のスペクトルや恒星の進化と元素生成の関係を扱うこと、そして、吸収線や輝線の観察やネットワークによるデータの活用が謳われている。従って、様々な元素や分子の吸収線を直接視認できる恒星スペクトルの教材は、現行の学習指導要領との親和性が高いと言える。これらを背景に、我々はアーカイブ・データを元に、自主学習やデータ解析実習での使用を前提とした恒星スペクトルの FITS 画像教材セットを開発している。

教材化に用いた画像は、東京大学天文学教育研究センター木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡に、4度プリズムと2kCCDカメラを装着して得られた恒星の対物分光データである。本教材では、これを生データから画像解析できるように、バイアス画像、フラット画像、そして、テキスト・ファイルによる簡易観測ログをセットにした。また、本観測装置は約1度角四方という広い視野を持つため、1つの画像中に複数の恒星のスペクトルが捉えられている。そこで、Digitized Sky Survey (=DSS) から得た撮像画像に、CDS から検索した恒星名とスペクトル型を記したファインディング・チャートを作成し、教材セットに加えた。

現在、プロトタイプとして、4つの天体領域 (HD159608, HD182489, HD192281, M57) の FITS 画像のセットが完成している。これらはいずれも1視野中に、複数の様々なスペクトル型の恒星を捉えた画像データである。ポスターでは、本教材セットの詳細やデータ解析方法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y18c

自作分光器による太陽の高分散分光観測から求められる磁場、速度場

坂江隆志 (埼玉県立浦和西高等学校), 花岡庸一郎 (国立天文台), 大辻賢一 (京都大学)

当自作太陽分光器については、2012年春季年会 Y09b で製作とスリットスキャンによるヘリオグラムの作成、2014年春季年会 Y24b で近赤外対応と HeI 1083.0nm による観測、2015 年春季年会 Y15c で高次スペクトルによる自転速度の測定について報告してきた。今回、偏光観測によりゼーマン効果を利用した太陽磁場の検出に成功したので報告する。

太陽で起きる諸現象は磁場を理解することにより解明されてきた。従って磁場を捉えることは非常に重要であるが、可視光領域での磁場によるゼーマン効果の信号は非常に微弱であり、小型の装置による観測例は無いようである。当自作分光器は重量約 7 キロと軽量にできており、市販の小型赤道儀に搭載して観測が可能なものであるが、2 次のスペクトルを用いると $R=60000$ で 0.1\AA 程度まで分解でき、大きな黒点周りの強い磁場であれば検出できそうなことがわかった。そこで、主鏡の筒先に円偏光フィルターを装着し、視線方向磁場のみに対象を絞って磁場観測を試みた。円偏光フィルターは市販の写真用円偏光フィルター（直線偏光板 $+\lambda/4$ 波長板）を裏返しにしたものである。ゼーマン効果の大きい FeI 630.25nm 吸収線付近を 13 分ほどかけてスリットスキャンして約 2600 フレームの画像を取得し、そのスペクトル上で地球大気の水蒸気 H_2O 吸収線を基準にガウス近似によりサブピクセルまで吸収線位置を測定することでその偏移を求めた。その結果、超粒状斑の対流などによるドップラー信号に加え、大きな黒点の周辺では正負の磁場信号も捉える事に成功した。以上から、当分光器のような小型なものでも円偏光フィルターを加えるだけで太陽の磁場観測への応用が可能であり、各教育機関で普及すれば磁場までもとらえることができる分光観測がより身近に行えるようになるものと期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y19a 4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」の多言語化について

加藤恒彦, 小久保英一郎, 縣秀彦, 中山弘敬, 福士比奈子 (国立天文台)

国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト(4D2Uプロジェクト)では、天文シミュレーションソフト「Mitaka」の開発を行っている。これは天文学の様々な観測データや理論的モデルを使用して立体的な「デジタル宇宙」を構築し、地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して、宇宙の様々な天体や構造を見ることができるものである。元々は、国立天文台の立体視シアター用に開発を始めたソフトウェアであり、2015年4月にリニューアルした4D2Uドームシアター (<https://prc.nao.ac.jp/4d2u/>) でも現在使用されている。フリーソフトとしてウェブサイト (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>) でも公開しており、個人利用のほか、学校や科学館、公共天文台などでも使用されている。

2007年の第2期プロジェクトの終了後からしばらく開発が停滞していたが、2014年10月から再び本格的な開発を再開した。前回2015年秋季年会では、バージョン1.2.2から1.2.5までに行ったさまざまな機能追加などについて報告した。その後開発を進めたバージョン1.3.0では、主にMitakaの多言語化を行った。これにより、ユニコード(UTF-8)形式で文字列定義をテキストファイルに記述することで、Mitaka上で様々な言語で文字列を表示することが可能になった。そして、この機能を利用した新たな表示言語としてフランス語を追加した。そのほか、探査機「あかつき」や「はやぶさ2」の軌道や3Dモデルを追加し、さらに新たにメニューに追加された「プリセットメニュー」により、あかつきの金星周回軌道再投入やはやぶさ2の地球スイングバイなども簡単に再現できるようになった。また、小惑星の数を大幅に増やしたほか、環を持つ小惑星「カリクロー」も表示できるようになった。講演ではこれらの内容についてお話したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y20a

天文台活動と社会の関係 – すばる望遠鏡の見学プログラムについて

林 左絵子 (国立天文台) 国立天文台ハワイ観測所広報室

国立天文台ハワイ観測所では、日本国内・地元・国際的に説明責任を果たすべく、すばる望遠鏡からの情報発信・施設見学対応・アウトリーチ活動に努めている。その中で施設見学は、望遠鏡の様子やそこでの職員の働きを直接視察できることから、訪問者が現実的な理解を得る上できわめて重要な位置を占める。一方では、すばる望遠鏡の立地条件から、地元の事情に深い配慮が必要であり、環境保全および文化的・社会的な特殊性にかんがみて慎重にプログラムを進めなければならない。本発表では、施設見学プログラムの実施統計をもとに、地元での影響・反響を述べる。

なお、マウナケア山頂地域で望遠鏡を運用する組織の中で、関係者などではなくとも施設見学の機会を提供しているのはすばる望遠鏡だけである。このため地球の反対側からわざわざ訪問してくるケースもある。もちろんこれはハワイがそもそも観光地・保養地であることにもよるが、似たような条件の島々の中で州都からもっとも離れたハワイ島を選ぶのは、すばる望遠鏡見学のためという訪問者が存在するわけである。珍しい施設を訪問したい、つまり必ずしも天文学そのものに関心があるとは限らない層にも、国際的な波及効果が出ている。

日本国内での支持に加えてこの2つのこと – いわゆる研究業界を超えて地元社会での受容と国際的な認知度を今後も継続できるよう、施設見学対応に工夫を重ねていかななければならない。外国に立地している研究施設として長期の存続を図るためである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y21a 地域連携を通じた教育普及・科学史調査 – 日本初のロケット発射場、秋田の場合

阪本 成一 (国立天文台), 小菅 京 (東京工業大学附属科学技術高校), 関 啓亮 (秋田大学)

戦後まもなく再開した日本のロケット開発は2015年で60周年を迎えた。1955年4月12日の国分寺でのペンシルロケット水平試射を皮切りに、同年5月から6月にかけては千葉にあった東大生産研の施設で地上実験を実施、同年8月には秋田県の道川海岸(由利本荘市)で打ち上げが行われている。しかしながら現在は国分寺市にも千葉市にも由利本荘市にもJAXAの研究開発拠点はなく、特に科学館のない国分寺市と由利本荘市では宇宙をキーワードにした教育普及も限定的である。科学史の面でも、日本の宇宙開発黎明期の史料が十分に引き継がれず、散逸する恐れがある。そこで、人間であれば還暦にあたるこの機会を利用して、地域との連携を図って教育普及につなげるとともに、科学史的な調査を行うこととした。

由利本荘市で10月17日に行ったロケット打ち上げ60周年記念イベントでは、ペンシルロケットや道川から打ち上げられ海上回収されたベビーRロケットなどの実機展示とともに、記念講演とパネル討論を行った。会場には当時の状況を知る地元住民が多数参加し、さまざまな情報が寄せられたほか、当時の写真資料などの貸与を受けることができた。参加した地元住民からの要請にこたえる形で小惑星にmichikawaと命名する提案を申請(2015年11月)し、良好な関係を築くことができた。

また、報道を通じてベビーロケットの初期の機体と思われる資料が個人宅から発見された。

講演では地域との連携を通じた教育普及や科学史調査の事例を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a 地域活性化に繋がった天文台 20 周年記念イベント

矢動丸泰，山内千里（紀美野町みさと天文台），ほかイベント関係者一同

紀美野町立みさと天文台は、1995 年 7 月 7 日に旧美里町の施設としてオープンした。2015 年 7 月に実施する 20 周年記念イベントが天文系講演会のような内容では、限られた天文ファンが喜ぶだけである。そうではなく、一人でも多くの町民が関わり、幸せを感じ、町の活性化にも繋がるものを目指して、結婚式イベントを実施した。

町内で説明会を開催し、多数の事業者やボランティアによる協力体制を作り上げることができた。挙式者は広く公募し、志望動機等をもとに紀美野町民を含む 2 組を選抜した。天文台では結婚式のみを時間差で実施し、食事会も町内 2 か所の別会場で行った。式には親族や友人以外に町内の方など約 200 名が祝福に訪れた。

結婚式はマスコミで多数取り上げられた。月食饅頭の広告効果（2015 春季年会 Y29a）と比べ全国規模では減少したものの、地方局では増加した。特徴的なのは、取り上げられる期間が長期化（半年余り）した事である。こうした天文台観点の効果以上に、町全体へ波及する影響のあったことが、本イベントの最大の効果である。

結婚式をきっかけに天文台を含む業種を超えた町内の横の繋がりが出来た、例えば、きみのピクニックフェスタや、ふたご座流星群イベントなど、事業者が【一緒に】何かを作り上げる雰囲気が出来た。さらに事業者自らが「星空を観光資源として活用しよう」との思いに至り、流星群イベント実行委員会を立ち上げ、事業者を中心に準備が進められた。天文台は企画を提案しただけである。自らが事業主の実行委員長は教育にも理解がある。20 周年イベントが地域活性化の起爆剤となり、天文教育活動を含めた様々な町内プロジェクトが動き始めている。

本講演では、イベントの様子や経済的効果、実行委員会が考える天文イベントの目的などを紹介するとともに、今後の計画や活動の問題点や課題も合わせて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y23a 市民とともに夜空の明るさ調査 ひらつか星空調査隊について

塚田健, 藤井大地 (平塚市博物館)

人工光の漏出は周囲の自然環境に様々な影響を及ぼし、それを光害(または光もれ害)という。影響の一つが、漏れ光が大気中の微粒子で拡散されて夜空が明るくなることであり、その程度を「夜空の明るさ」と呼んでいる。

平塚市博物館では環境庁(当時)が実施していた「全国星空継続観察(スターウォッチング・ネットワーク)」に開始当初から参加していたが、同調査は平成25年度に終了した。それを受けて当館では、市民が参加する形で広く市域全体の「夜空の明るさ」調査を行う目的に『ひらつか星空調査隊』を立ち上げた。当館ではこれまでも市民参加による市内の生物相調査などを行った実績があり(「みんなでしらべよう!」シリーズ)、本調査はその一環でもある。最初の調査は平成27年1月から2月にかけて行ない、その結果をまとめた。本発表では活動の概要と初年度の成果、そして今年度の現状と今後の展望を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y24a 科学ライブショー「ユニバース」の20年

亀谷和久(東京理科大), 柴田吉輝(埼玉大), 半田利弘(鹿児島大), 戎崎俊一(理研), ほか科学ライブショー「ユニバース」関係者一同

科学ライブショー「ユニバース」は、科学技術館(東京都千代田区)において上演されている定期プログラムである。科学者が「案内役」として来場者の前に立ち、本物の科学の魅力を直接伝えることを特徴としており、1996年4月の初演以来、毎週土曜日の午後2回ずつの上演を20年間続けてきた。これまでの上演回数は1900回以上を数え、来場者数はのべ9万人を超える。本講演では、20年間の活動の歩みと最近の展開を示したい。

ライブショーの会場は、当初の平面スクリーンと72席の客席を持つホールから、2008年に62席のフルデジタル立体ドームシアター「シンラドーム」へ改装された。ここに様々な現象を再現するリアルタイムシミュレーションや実写の映像を投映し、案内役は来場者と双方向コミュニケーションをしながらライブショーを進行する。その内容は、天文学をはじめ科学の様々な分野の話題を扱う。案内役は、自らの専門や興味に応じてユニバースのオリジナルコンテンツ群から数個を選び、米国の天文台とのインターネット中継で実施するライブ天体観測や科学の様々な分野の研究者等を招くゲストコーナーも加え、最新の科学成果を盛り込んだライブショーを構成する。運営を担う学生チーム「ちもんず」の活動もユニバースの特徴のひとつである。これまでに20以上の大学から100名以上が参加し、現役メンバーとして常に約20名が活躍している。彼らはライブショー本番中のPCの操作だけでなく運営全般を担当している。ライブショーで使用するソフトもちもんずや関係者によって開発されたものが多く、ライブショーで使用されることで改善を重ねてきた。講演では、このように研究者、学生、科学館が協力して常に進化を続けてきた運営体制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](#)

Y25a 日本における公開天文台と天文教育との連携

李銀知, 小倉康, 大朝由美子 (埼玉大学)

天文分野は地学の中でも生徒たちが難しさを感じる分野である。そのため、学習の動機付けとなるように、天文学への興味・関心を高めることが重要である。公開天文台は天文分野への興味を高めるための天体観測実習や体験活動が経験できる施設の一つである。

韓国で本格的に公開天文台が設置されたのは、地方テーマ科学館建立支援事業の影響で地方自治団体が設立・運営する公開天文台の建設が活発であった2000年代以後である。しかし、2014年から地方テーマ科学館建立支援事業による追加の支援が無くなったため、今後韓国公開天文台の量的増加は期待できない。したがって、公開天文台をよりうまく活用できる方法がのぞまれる。一方、日本公開天文台協会の『公開天文台白書2006』(2007)によると、日本ではすでに1980年代に公開天文台の建設ラッシュがあり、2006年当時約300~400箇所の公開天文台が全国各地に設置されている。公開天文台の適切な活用方向を探る一つの方法として、韓国より公開天文台の数が多く、天文教育分野の活用経験が豊富な日本の先例を分析することが考えられる。

そこで、日本の公開天文台の状況、特に学校現場の天文教育と関係のあるプログラムに焦点をあて調査することを目的とし、日本公開天文台協会第10回全国大会に参加した施設を対象として、公開天文台の活動内容に関するアンケートを実施した。また、天文学者、理科教育学者の意見を参考にして日本でも教育活動が盛んな公開天文台(群馬県立ぐんま天文台、兵庫県立大学西はりま天文台)を選択し、小・中学生向け及び高校生向けの教育、教員研修、教員養成などとの関係のあるプログラムの運営状況や内容について資料調査、関係者インタビューなどを実施した。本講演ではその調査結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y26a 教員向け研修事業の実践と課題について

茨木孝雄, 羽村太雅, 内藤誠一郎, 他 (国立天文台)

夜間の天体観察をはじめ直接体験がしにくい小学校理科天文分野の授業は、少なからず苦手意識を持つ教員が多い。また中学校理科においても、天文学や天文教育を専攻した教員は数少ないため同様な状況にあるが、各地の教育センター等で観察実習を含む教員研修テーマとして実施されている例は少なく、指導に際して苦勞を伴う分野のひとつとなっている。

そこで、特に理科または天文分野に苦手意識のある小中学校教員を対象に、国立天文台野辺山宇宙電波観測所ならびに羽村市自然休暇村（山梨県北杜市高根町清里）にて『理科授業のための天文セミナー 2015 高原で学ぶ宇宙』と題する小中学校教員合同の研修講座を開催した。

教員が参加しやすい夏季休暇期間の中で、8月11日-13日のペルセウス座流星群極大の時期に合わせた2泊3日の合宿研修として募集を行い、関東圏を中心に全国から36名の参加を得た。帰校後に天文学の魅力を最大限に伝えられるよう、参加者自身が楽しめる内容を組み込むと共に、授業ですぐに役立つ知識や技能の習得を目指して、電波観測設備の見学、星空と流星群の観察、望遠鏡操作実習、授業案の検討とそのグループ発表会など合計11テーマの研修が実施された。

本発表では、終了後の参加者を対象に行ったアンケート調査の結果を踏まえて、国立天文台が手がけた教員研修事業の意義と今後の課題に関する検討結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y27a 教育現場における天体観測室の構築例

佐々井祐二（津山高専）

発表者は津山高専に移籍した2006年以来、天体観測室の構築を狙っていた。幸いにも外部資金と校費にて、2008年度冬季と2012年度冬季に2m × 3m スライディングルーフを計2室設置できた。順に東観測室と西観測室と呼ぶ。世界天文年2009より、この天体観測室を利用し、小中学生及び保護者対象の公開講座「天体観測会 - 君も未来のガリレオだ! - 」を年4、5回開催すると共に、3年自発的学習科目「チャレンジゼミナール」の生徒約10名の天文教育を行っている。

コンクリート基礎に固定された両スライディングルーフは校舎3階屋上の別の耐震壁上の防水シート上さらに保護シート上に置かれている。コンクリート基礎は重量軽減のため薄鉄板状のベタ基礎でなく、スライディングルーフが載る口の字型と望遠鏡が載る円筒形の他をくり抜いた布基礎としているが、観測室や望遠鏡を含めると2.5トン近くある。天体望遠鏡として、東観測室には経緯台式のMeade社LX200GPS-35、西観測室にはドイツ式のLosmandy社TITAN赤道儀にMeade社LX200-35ACF鏡筒を同架させている。事情があり、東観測室のLX200GPS-35は中古であり、2015年末に新式でドイツ式赤道儀のMeade社LX850-35F8ACFに換装される。LX850シリーズの特徴は、主鏡筒に対象天体を導入後、システムに組み込まれているガイド鏡で自動的にガイド星を選択し、ガイディングを実行するスターロックシステムであり、長時間露光による天体撮影を簡単に実現する。長時間露光撮影は比較的ハードルが高いため、スターロックシステムは教育現場に最適かも知れない。

天体望遠鏡換装のタイミングに合わせ、本発表では、天体観測室の構築例とLX850について、また、天体観測室のさらなる教育的活用を目指した利用方法の検討を紹介し、各位のアドバイスを仰ぎたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y28a 国立天文台水沢 VLBI 観測所収蔵「緯度観測所ガラス乾板コレクション」
のデジタル化

馬場幸栄（お茶の水女子大学）

緯度観測所は1899（明治32）年、文部省によって岩手県水沢に設置された。以降、天文学・高層気象学・地震観測学・報時学における国際的拠点のひとつとして緯度観測所は精力的な活動を続け、Z項の発見で有名な木村栄（1870 - 1943年）や日本初の彗星発見者として知られる山崎正光（1886 - 1959年）らを輩出した。1988（昭和63）年、緯度観測所が東京天文台等と統合されて国立天文台に改組されると、それまで緯度観測所が所蔵していた行政文書・観測記録・観測機器類は国立天文台へと移管されることになった。かくして、かつて緯度観測所にあったそれらの歴史的な文書・記録・機器類は、現在、国立天文台水沢 VLBI 観測所に収蔵されている。さて、その緯度観測所旧蔵資料群のなかにガラス乾板のコレクションがある。ガラス乾板とは、写真撮影で用いられるネガの一種で、日本でも明治期から使用されていた。このたび、この「緯度観測所ガラス乾板コレクション」のなかから、主に人物や施設が撮影されているガラス乾板約400枚をデジタル化し、ポジの写真として閲覧できるようにした。それら写真には、47歳の若さで逝去された第二代所長・川崎俊一（1896 - 1943年）や、いやま取り壊されてしまった観測施設も写っている。本発表では、透過スキャナと画像処理ソフトを使用したガラス乾板デジタル化作業、割れてしまったガラス乾板に対する画像復元作業、被写体を特定するための各種調査、目録作成の工程について具体的に説明するとともに、デジタル化によって再現された緯度観測所の職員や観測施設の往時の様子を解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)