

2015年 秋季年会

講演予稿集

電子版

於 甲南大学

2015年9月9日(水) ~ 9月11日(金)

秋季年会会場 甲南大学岡本キャンパスのご案内



アクセス

JR 神戸線摂津本山駅下車 北西へ徒歩約 10 分

各停のみ停車。大阪方面からは芦屋で快速から乗換

三宮方面からは住吉で快速から乗換

住吉からも徒歩で 20 分程度

阪急神戸線岡本駅下車 北西へ徒歩約 10 分

特急も停車する。

甲南大学のページ

<http://www.konan-u.ac.jp/access/>

もご参照ください。

甲南大学岡本キャンパスマップ



キャンパス内全面禁煙です。喫煙は指定の場所をお願いいたします。

無線 LAN は Eduroam のアカウントのみ接続可能です。Eduroam 参加機関であれば取得できますので、あらかじめ取得してきてください。取得できない場合には会議中の期間限定アカウントを受付付近で発行いたします。

Eduroam 参加機関： <http://www.eduroam.jp/participants/siteinfo.html>

無線 LAN がつながる場所は

1号館 3F ラウンジ，5号館 1F カフェパンセ，10号館 1F ラウンジ です。

講義室ではつながりません。

ATM は生協入口とファミリーマート内にあります。

会場案内図



会場案内図



10号館



※天文学会理事会の会議室は3号館7階の第3会議室です。

口頭セッション 9月9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	【恒星】	【教育・他】	【宇宙論】	【高密度星】	【太陽系】/ 【銀河形成】	【銀河団】	【CTA】	【銀河】	【観測機器】
11:00	N01a	Y01a	U01a	J201a	L01a	T01a	A01r }	R01a	V101a
11:12	N02a	Y02a	U02a	J202a	L02a	T02a		R03a	V102a
11:24	N03a	Y03a	U03a	J203a	L03a	T03a		R04a	V103a
11:36	N04a	Y04a	U04a	J204a	L04b	T04a		R05a	V104a
11:48	N05a	Y05b Y06b Y09b	U05a	J205a	X01a	T05a		R06a	V105a
12:00	N06a	Y12a	U06a	J206a	X02a	T06a		R07a	V106a
12:12	N07a	Y13a	U07a	J208a	X03a	T07a		R08a	V107a
12:24	N08a	Y14a	U08a	J209a	X04a	T08a		R09b R10b R11b	V108b V109b V110b
12:36	N09b N10b N11b	Y15a	U10a *	J210a	X05b X06b X07b	T09a		R12a	V111a
12:48	N12b N13b	Y16b Y17b Y18b	U11a *	J211a	-	T10a		R13a	V112a
13:00	-	Y19b Y20b	U12b *	J212b J213b	-	T11a	-	V113a	
13:12	-	-	-	-	-	T12b	-	-	
13:00	昼休み								
14:00	ポスター								
開始時刻	【恒星】	【教育・他】/ 【星・惑星】	【太陽】	【高密度星】	【銀河形成】	【銀河核】	【CTA】	【銀河】	【観測機器】
15:00	N14a	Y21a	M01a	J101a	X09a	S01a	A10r } A17a	R14a	V119a
15:12	N15a	Y22a	M02a	J102a	X10a	S02a		R15b R16b R17b	V120a
15:24	N16a	Y23a	M03a	J103a	X11a	S03a		R18b R19b R20b	V121a
15:36	N17a	Y24a	M04a	J105a	X12a	S04a		R21a	V122a
15:48	N18a	Y25a	M05a	J106a	X13a	S05a		R22a	V123a
16:00	N19a	P201a	M06a	J107a	X14b X15b X16b	S06a		R23a	V124a
16:12	N20a	P202a	M07a	J108a	X17a	S07a		R24b R25b R26b	V125b V126b V127b
16:24	N21a	P203a	M08b M09b M10b	J109b J110b J111b	X18a	S08a		R27a	V128a
16:36	N22a	P204a	M11b M12b M13b	J112a	X19a	S09a		R28a	V129a
16:48	N23a	P205a	M14b M15b M16b	J113a	-	S10a		R29a	V130b V131b V132b
17:15	天文教育フォーラム (A 会場)								
19:00	理事会								

口頭セッション 9月10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	【星・惑星】	【星・惑星】	【太陽】	【高密度星】	【銀河形成】	【銀河核】	【超新星爆発】	【銀河】/【観測機器】	【観測機器】
09:30	P101a	P206a	M20a	J114a	X20a	S11b S12b S13b	K01a	R30a	V133a
09:42	P102a	P207a	M21a	J115a	X21a	S15a	K02a	R33a	V134b V135b V136b
09:54	P103a	P208a	M22a	J116a	X22a	S16a	K03a	R34a	V137b V138b V139b
10:06	P104a	P209b P210b P211b	M23a	J117a	X23b X24b X25b	S17a	K04a	R35a	V140a
10:18	P105a	P212a	M24a	J118a	X26a	S18a	K05a	V201a	V141a
10:30	P106a	P213a	M25a	J119a	X27a	S19a	K06a	V202b V203b V204b	V142b V143b V144b
10:42	P107a	P214a	M26a	J120a	X28a	S20a	K07a	V205a	V145a
10:54	P108a	P215b P216b P217b	M27a	J121a	X29a	S21a	K08a	V206b V207b V208b	V301a
11:06	P109a	P219b P220b P221b	M28a	J122a	X30a	S22a	K09a	V209a	V302b V303b V304b
11:18	P110b P111b P112b	P222b P223b P224b	M29a	J124b J125b	-	S23b S24b S25b	K10a	V210a	V305b V306b V307b
11:30	P113b P114b	-	-	-	-	S26b	K11b	-	-
11:30	昼休み(代議員総会)(E 会場)								
12:30	ポスター								
開始時刻	【星・惑星】	【星・惑星】	【太陽】	【高密度星】	【銀河形成】	【星間現象】	【超新星爆発】	【観測機器】	【観測機器】
13:30	P115a	P226a	M30a	J126a	X31a	Q01a	K12a	V211a	V308a
13:42	P116a	P227a	M31a	J127a	X32a	Q02a	K13a	V212b V213b V214b	V309a
13:54	P117a	P228a	M32a	J128a	X33a	Q03a	K14a	V215b V216b V217b	V310a
14:06	P118a	P229a	M33a	J129a	X34a	Q04b Q05b Q06b	K15a	V218a	V311a
14:18	P119b P120b P121b	P230a	M34a	J130b J131b J132b	X35a	Q07a	K16a	V219b V220b V221b	V312b V313b V314b
14:30	P122a	P231a	M35a	J135a	X36a	Q08b Q09b Q10b	K17a	V224a	V315a
14:42	P123a	P232a	M36a	J136a	X37b X38b X39b	Q11a	K18a	V225a	V316a
14:54	P124a	P233a	M37a	J137a	X40b X41b X42b	Q12a	K19a	V226a	V317b V318b V319b
15:06	P125a	P234a	M38a	J138a	X43a	Q13a	-	V227a	V320b V321b V322b
15:18	P126a	P235a	M39a	J139a	X44a	Q14b Q15b	-	V228b V229b V230b	V324a
15:30	P127b P128b P129b	-	-	-	-	-	-	V231b V232b V233b	V325a
16:00	会員全体集会(G 会場)								
17:30	懇親会(カフェパンセ)								

口頭セッション 9月11日(金)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場
開始時刻	【星・惑星】	【星・惑星】	【太陽】	【高密度星】	【銀河形成】	【星間現象】	【SKA】	【観測機器】	【観測機器】
09:30	P130a	P236a	M40a	J140a	X45a	Q16a	B01r ? B03r	V234a	V326a
09:42	P131a	P237a	M41a	J141a	X46a	Q17a		V235a	V327a
09:54	P132a	P238a	M42a	J142a	X47a	Q18a		V236a	V328a
10:06	P133a	P239a	M43a	J143a	X48a	Q19b Q20b Q21b		V237a	V329a
10:18	P134a	P240a	M44a	J144a	X49a	Q23a		V238a	V330a
10:30	P135a	P241a	M45a	J145a	X50a	Q24b Q25b Q26b		V239a	V331a
10:42	P136a	P242a	M46a	J146a	X51a	Q27a		V240a	V332a
10:54	P137a	P243a	M47a	J147a	X52a	Q28a		V241a	V333a
11:06	P138a	P244a	-	J148a	-	Q29a		V242a	V334a
11:18	P139a	-	-	-	-	Q30a		V243b V244b V245b	V335a
11:30	P140a	-	-	-	-	-	V246a	V336a	
11:30	昼休み								
12:30	ポスター								
開始時刻						【星間現象】	【SKA】	【観測機器】	【観測機器】
13:30						Q31a	B04a ? B13a	V247a	V337a
13:42						Q32a		V248a	V338a
13:54						Q33a		V249a	V339a
14:06						Q34a		V250a	V340a
14:18						Q35a		V251a	V341a
14:30						Q36a		V252a	V342a
14:42						Q37a		V253a	V343a
14:54						Q38a		V254a	V344a
15:06						Q39a		V255a	V345a
15:18						-		V256a	-
15:30	特別セッション (G 会場)								

ポスターセッション 9月9日(水) ~ 9月11日(金)

ポスター会場(1-1)

[A. CTA] (6)

A18c A19c A20c A21c A22c
A23c

[P2. 星・惑星] (14)

P209b P210b P211b P215b P216b
P217b P218c P219b P220b P221b
P222b P223b P224b P225c

ポスター会場(1-2)

[P1. 星・惑星] (11)

P110b P111b P112b P113b P114b
P119b P120b P121b P127b P128b
P129b

[S. 活動銀河核] (10)

S11b S12b S13b S14c S23b
S24b S25b S26b S27c S28c

ポスター会場(1-3)

[Q. 星間現象] (15)

Q04b Q05b Q06b Q08b Q09b
Q10b Q14b Q15b Q19b Q20b
Q21b Q22c Q24b Q25b Q26b

ポスター会場(2-1)

[M. 太陽] (12)

M08b M09b M10b M11b M12b
M13b M14b M15b M16b M17c
M18c M19c

[N. 恒星] (5)

N09b N10b N11b N12b N13b

ポスター会場(2-2)

[J1. 高密度星] (12)

J104c J109b J110b J111b J123c
J124b J125b J130b J131b J132b
J133c J134c

[J2. 高密度星] (3)

J207c J212b J213b

[K. 超新星爆発] (2)

K11b K20c

ポスター会場(2-3)

[L. 太陽系] (3)

L04b L05c L06c

[Y. 天文教育・他] (12)

Y05b Y06b Y07c Y08c Y09b
Y10c Y11c Y16b Y17b Y18b
Y19b Y20b

[PDL]

ポスター会場(3-1)

【V1. 観測機器】(18)

V108b V109b V110b V114c V115c
 V116c V117c V118c V125b V126b
 V127b V130b V131b V132b V134b
 V135b V136b V137b

ポスター会場(3-2)

【V1. 観測機器】(9)

V138b V139b V142b V143b V144b
 V146c V147c V148c V149c

【V2. 観測機器】(9)

V202b V203b V204b V206b V207b
 V208b V212b V213b V214b

ポスター会場(3-3)

【V2. 観測機器】(18)

V215b V216b V217b V219b V220b
 V221b V222c V223c V228b V229b
 V230b V231b V232b V233b V243b
 V244b V245b V257c

ポスター会場(4-1)

【R. 銀河】(16)

R02c R09b R10b R11b R15b
 R16b R17b R18b R19b R20b
 R24b R25b R26b R31c R32c
 R36c

ポスター会場(4-2)

【X. 銀河形成】(16)

X05b X06b X07b X08c X14b
 X15b X16b X23b X24b X25b
 X37b X38b X39b X40b X41b
 X42b

【B. SKA】(3)

B14c B15c B16c

ポスター会場(4-3)

【V3. 観測機器】(16)

V302b V303b V304b V305b V306b
 V307b V312b V313b V314b V317b
 V318b V319b V320b V321b V322b
 V323c

【T. 銀河団】(1)

T12b

【U. 宇宙論】(3)

U09c U12b* U13c*

【A. ガンマ線天文台 CTA で切り拓く次世代の高エネルギー天文学】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[G会場]

A01r	11:00	高エネルギーガンマ線天文学の新展開・(24) 手嶋政廣（東京大学）
A02r	11:24	多波長観測で切り拓く高エネルギー天文学・(24) 福井康雄（名古屋大学）
A03a	11:48	CTA で探る宇宙線の起源：RX J1713.7-3946 のガンマ線シミュレーション・(12) 佐野栄俊（名古屋大学）
A04a	12:00	チャンドラ衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7-3946 の膨張測定・(12) 辻直美（立教大学）
A05a	12:12	HESSJ1731-347 におけるガンマ線起源の解明・(12) 福田達哉（名古屋大学）
A06a	12:24	超新星残骸 W28 領域におけるガンマ線放射と星間ガス・(12) 吉池智史（名古屋大学）
A07a	12:36	星間水素ガスの正確な定量とガンマ線データの関係・(12) 岡本竜治（名古屋大学）
A08a	12:48	CTA で見る Crab Flare・(12) 齋藤隆之（京都大学）
A09a	13:00	CTA Transient Factory：広視野突発天体サーベイの展望・(12) 井上進（理化学研究所）

9月9日（水）午後（15:00-17:00）[G会場]

A10r	15:00	ガンマ線天文学の課題と今後への期待：理論的観点から・(24) 高原文郎（大阪大学）
A11r	15:24	Observational Cosmology through high and very high energy gamma rays・(24) Daniel Mazin (Univ. of Tokyo)
A12a	15:48	Sgr A* の過去の活動を起源とする銀河系中心からのガンマ線放射・(12) 藤田裕（大阪大学）
A13a	16:00	Do blazars have an additional spectral component in the TeV band?・(12) Yoshiyuki Inoue (ISAS/JAXA)
A14a	16:12	Fermi-LAT and multi-wavelength observation of new TeV-emitting blazar S4 0954+65 during bright optical flare in 2015 February・(12) Yasuyuki Tanaka (Hiroshima University)
A15a	16:24	ガンマ線短時間変動のモデル化による活動銀河核ジェットの放射への制限・(12) 齊藤新也（立教大学）
A16a	16:36	低光度活動銀河核での乱流加速と高エネルギー粒子放射・(12) 木村成生（東北大学）
A17a	16:48	最高エネルギー宇宙線観測の現状と今後・(12) 木戸英治（東京大学）
A18c		空気シャワーモンテカルロシミュレーションによる CTA のデザイン研究と観測性能 稲田知大（東京大学）
A19c		CTA 計画大口径望遠鏡初号機用 PMT の性能と品質管理 永吉勤（埼玉大学）
A20c		CTA 大口径望遠鏡 焦点面検出器の構造 掃部寛隆（甲南大学）
A21c		CTA 大口径望遠鏡データ収集システムの開発 増田周（京都大学）
A22c		CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の結像性能評価 長紀仁（茨城大学）
A23c		CTA 小口径望遠鏡用焦点面カメラの開発 田島宏康（名古屋大学）

A01r 高エネルギーガンマ線天文学の新展開

手嶋政廣 (東大宇宙線研)

高エネルギー (TeV) ガンマ線天文学は、近年、地上のチェレンコフ望遠鏡、HESS, MAGIC, VERITAS により大きく進展した。銀河系内、銀河系外に多種多様なガンマ線源が観測され、現在では > 100 GeV ガンマ線天体は 170 を超える。銀河内では、超新星残骸と衝突する分子雲、パルサー星雲、星生成領域、連星などがガンマ線源として、同定され、様々な場所で粒子加速、ガンマ線放射が起こっていることがわかってきた。銀河系外では、数多くの活動銀河核が観測されているが、最も遠い天体 PKS1441+25 ($z=0.939$), S3 0218+35($z=0.944$) が MAGIC により観測され、 $z \sim 1$ の領域まで観測領域が広がってきた。また、暗黒物質の検出を目指して、銀河中心領域、矮小楕円銀河のディープな観測がなされている。

さらなる飛躍的発展を目指し、この分野の研究者、近隣分野の研究者が集まり、次世代の国際宇宙ガンマ線天文台 CTA の準備研究を過去 10 年間すすめてきた。そして、今まさにその建設を開始しようとしている。CTA は世界で唯一のガンマ線天文台となり、南半球、北半球にそれぞれ大規模な望遠鏡アレイを展開し全天を観測する。CTA では、現在稼働中の望遠鏡と比べ、感度は一桁向上し、エネルギー帯域も一桁広がり、空間分解能は 3 倍改善される。CTA は、高エネルギーガンマ線観測を $z < 4$ の初期宇宙まで大きく広げる。

本講演では、新たな展開をみせている高エネルギーガンマ線天文学の現状についてオーバービューを与え、次世代の国際宇宙ガンマ線天文台 CTA で、どんな天体が見えてくるのか、どのような新しい現象が見えてくるのか、その期待を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A02r 多波長観測で切り拓く高エネルギー天文学

福井康雄 (名古屋大学)

CTA の目指すガンマ線観測は、高エネルギー天文学に革新をもたらすと期待される。高エネルギー天文学の中心課題の一つは、宇宙線の起源の解明にある。CTA によってガンマ線観測の角度分解能と感度が飛躍的に向上する。これによって銀河系と局所群でも、超新星残骸と銀河系中心部における粒子加速の理解が大きく前進し、系外銀河の高エネルギー現象を解読するためのテンプレートを与えると期待される。

この際、多波長観測が本質的な役割を果たす。センチ波・ミリ波・サブミリ波・赤外線で観測される星間物質は宇宙線陽子・電子と相互作用し、ガンマ線・X線の強度とエネルギースペクトルに強く影響することが、最近の研究で明らかになった (e.g., Inoue et al. 2012 ApJ 744, 71; Fukui et al. 2012 ApJ 746, 82; Sano et al. 2013 ApJ 778, 59)。ハドロン起源のガンマ線の分布は、標的である星間陽子とよく相関するため、精密な星間陽子の定量がガンマ線起源の鍵を握る。非熱的・熱的 X線もまた、衝撃波-星間雲相互作用に強く影響され、その分布が規定される。本講演では、ガンマ線超新星残骸等を例に、星間物質とガンマ線・X線の比較がいかにか本質的かを示し、CTA のもたらす宇宙線研究の地平を展望する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A03a

CTA で探る宇宙線の起源:RX J1713.7–3946 のガンマ線シミュレーション

佐野栄俊, 福井康雄, 田島宏康, 奥村暁 (名古屋大学), 中森健之, 郡司修一 (山形大学), 片桐秀明, 柳田昭平, 吉田龍生 (茨城大学), 山崎了, 大平豊, 馬場彩, 澤田真理 (青山学院大学), 森浩二 (宮崎大学), 李兆衡 (JAXA/ISAS), 藤田裕 (大阪大学), 井上剛志 (NAOJ), 花畑義隆, 林田将明, 吉越貴紀 (ICRR), 窪秀利, 斎藤隆之, 田中孝明 (京都大学), 櫛田淳子 (東海大学), 井上進 (MPI), 井岡邦仁, 郡和範 (KEK), 村瀬孔大 (IAS), 長瀧重博 (理研), 内藤統也 (山梨学院大学), 寺田幸功 (埼玉大学), 内山泰伸 (立教大学), Stefano Gabici (APC)

宇宙線の発見から100年余りが経った今なお, その起源の探索が観測・理論研究の両面から続けられている。目下最大の焦点は, 銀河系内宇宙線の最高エネルギー 3×10^{15} eV (*knee*) に迫る陽子の加速を捉えることにある。若く TeV ガンマ線で明るい超新星残骸 (SNR) が, その発生源として最有力視されている。もし, 陽子が加速されていれば, SNR に付随する星間ガスとガンマ線放射の空間分布は概ね一致する。

RX J1713.7–3946 は, 年齢 1,600 年の若い SNR であり, TeV ガンマ線やシンクロトロン X 線で非常に明るいという特徴を持つ。我々はこれまでに, 星間ガス分布 (分子 + 原子) とガンマ線分布の比較研究を行い, 両者の良い空間一致を示した (Fukui, Sano et al. 2012)。これは現時点で *knee* に最も近い宇宙線陽子の加速を捉えたことになる。さらなる詳しい検証を行うには, より高分解能・高感度のガンマ線データの取得が欠かせない。

今回我々は, 高い空間分解能と感度を有する次世代ガンマ線望遠鏡 Cherenkov Telescope Array (CTA) を用いた際に, RX J1713.7–3946 から期待されるガンマ線放射の特性 (空間分布やスペクトルの時間変動等) を, 簡単なモデルをもとに見積もった。本講演ではその結果について紹介するとともに, 今後の展望について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A04a チャンドラ衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7-3946 の膨張測定

辻直美, 荒川真範, 内山泰伸 (立教大学)

Knee 以下のエネルギーを持つ宇宙線は銀河系内の超新星残骸で生成されると考えられている。加速機構としてはフェルミ加速が有力であり、超新星残骸の衝撃波速度が重要なパラメータとなっている。超新星残骸 RX J1713.7-3946 は、非熱的 X 線放射が非常に強く、GeV-TeV ガンマ線の放射も確認されるなど、多波長に渡って研究が進んでいる。特に大気チェレンコフ望遠鏡 H.E.S.S. による TeV ガンマ線のイメージ観測は、新時代のガンマ線天文学の幕開けを告げる象徴的な観測結果となった。RX J1713.7-3946 は超新星残骸における粒子加速を研究する上で最重要天体の一つであり、CTA での初期観測の対象としても議論されている。しかし、熱的 X 線が検出されていないことなどから、この天体の衝撃波速度や年齢についての直接的な情報は得られていない。我々は、チャンドラ衛星によって 2005 年から 2011 年に渡って 4 度の観測を実施し、2000 年に行われた観測データも組み合わせることで、超新星残骸の膨張測定を行った。その結果、星間空間を伝播する衝撃波の速度が約 5,000 km/s と非常に大きな値であることが明らかとなった。一方で、シェル内部のフィラメント状構造においては、見かけの速度が 1,000 km/s 以下であった。観測された衝撃波速度を良く再現する進化モデルについて議論し、この天体の年齢推定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](#)

A05a **HESSJ1731-347 におけるガンマ線起源の解明**

福田達哉、佐野栄俊、吉池智史、小林洋明、馬場崎康敬、三石郁之、福井康雄（名古屋大学）

HESS J1731-347 は、TeV ガンマ線によって発見された超新星残骸 (SNR) である (Abramowki et al. 2011)。TeV ガンマ線・電波・X 線においてシェル状分布を示し、ガンマ線 SNR RX J1713.7-3946・RX J0852.0-4622 等との類似性が注目される。我々は「NANTEN2」望遠鏡による 12CO(J=1-0) および The Southern Galactic Plane Survey(SGPS) の HI の詳細解析により、TeV ガンマ線分布と相関のある星間ガスを発見した (Fukuda et al.2014)。さらに今回、我々は SNR の衝撃波と星間ガスの相互作用の描像を明らかにするため、Mopra 望遠鏡を用いた 12CO(J=1-0) の高分解能観測を実施した。そして XMM-Newton によって得られた X 線シンクロトロン放射と 1pc スケールでの空間分布の比較を行い、シンクロトロン放射に付随する分子雲を発見した。本講演ではこれらの結果を報告するとともに、CTA によって明らかになるであろう HESSJ1731-347 におけるガンマ線放射の起源を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A06a 超新星残骸 W28 領域におけるガンマ線放射と星間ガス

吉池智史, 福田達哉, 佐野栄俊, 鳥居和史, 早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名大理)

超新星残骸 (Supernova Remnants; SNRs) は宇宙線の加速とその伝搬の理解において重要な天体である。中でも、本研究では SNR W28 に着目する。H.E.S.S. 大気チェレンコフ望遠鏡の観測によって、SNR W28 とその周辺領域で 4 つのガンマ線ソース (HESS J1801-233, HESS J1800-240 A,B,C) が検出された (Aharonian et al. 2008)。HESS J1801-233 は W28 と重なって位置するため、W28 で加速された宇宙線起源と考えられる。一方、HESS J1800-240 A、B、C は W28 の外側に位置し、これは W28 から逃走した宇宙線起源と考えられているが、未だ確証は得られていない。以上から、W28 は SNR における宇宙線の加速・伝搬の両観点から重要な天体である。ここで、宇宙線陽子起源のガンマ線である場合、ガンマ線は宇宙線陽子と星間陽子の相互作用で放射されるため、ガンマ線の起源を検証する上で星間ガス (分子・原子ガス) の観測は必須である。しかし、これまでの観測は各ガンマ線ソースと比較において分解能が不十分である、観測領域が限られている、などの問題があった。

我々は NANTEN2 4m ミリ波・サブミリ波望遠鏡 (チリ、アタカマ) を用いて、4 つのガンマ線ソースを網羅する W28 とその周辺領域に対し $^{12,13}\text{CO}(J = 1-0, 2-1)$ 輝線の分子ガス観測を行った。また、水素原子ガスについては ATCA 電波干渉計・Parkes 64m 電波望遠鏡による Southern Galactic Plane Survey (SGPS) のアーカイブデータを用いた。今回の観測により、各ガンマ線ソースについて対応する星間ガス成分の存在を確認し、それぞれを空間・速度空間でより詳細に抽出できた。本講演では、複数 CO 輝線観測に基づくガスの物理状態も踏まえ、W28 領域の各ガンマ線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](#)

A07a 星間水素ガスの正確な定量とガンマ線データの関係

岡本竜治, 佐野栄俊, 大浜晶生, 鳥居和史, 早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄, 他 NANTEN2
メンバー (名古屋大学)

我々は現在、星間水素ガスの性質や状態を詳細に理解するために、中性水素原子 (H I) の 21 cm 線や一酸化炭素分子 (CO) の回転輝線などのガスのデータと *Planck* 天文衛星によるダスト放射データとの比較解析を進めている。この解析では、*Planck* による 353 GHz での光学的厚さ (τ_{353}) のデータを H I の柱密度の精確なトレーサとして利用する。これにより光学的に厚い H I ガスが大量に存在することが明らかとなり、光学的厚さの補正量はおよそ 2 倍であると推定された。さらに、いわゆる「暗黒ガス」が光学的に厚い H I ガスで説明できることも示された (Fukui et al. 2014, 2015 など)。

これらの H I ガスの光学的厚さに関する結果を別の独立な手法で検証するために、ガンマ線のデータを利用することができる。すなわち、 τ_{353} から求めた H I の柱密度 N_{HI} および CO 輝線の強度から求めた水素分子の柱密度 N_{H_2} を、ガンマ線の観測強度 (全水素原子の柱密度 $N_{\text{HI}} + 2N_{\text{H}_2}$ を反映すると期待される) と比較して相関を見ることで、検証が可能である。これまでに、超新星残骸 Vela Jr. 領域においてこの比較が行われている。「H I ガスは光学的に薄い」として求めた H I の柱密度を用いた場合、ガンマ線強度との相関係数は 0.74 であるが、 τ_{353} から求めた H I の柱密度を用いた場合、相関係数は 0.89 となった。

この結果は、H I ガスの光学的厚さの効果の重要性を示すとともに、ガンマ線の観測データの解釈に対して大きな影響を与える可能性があることも示唆する。本講演では、これらの解析の概略の紹介および議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A08a CTA で見る Crab Flare

齋藤隆之 (京都大), 郡和範 (KEK), 大平豊 (青山学院大), 井岡邦仁 (KEK), 内山泰伸 (立教大), 石尾一馬, 木坂将大, 田中周太 (東大宇宙線研), 井上進, 長瀧重博 (理研), 奥村暁 (名古屋大), 折戸玲子 (徳島大), 川中宣太 (東京大), 櫛田淳子 (東海大), 窪秀利, 田中孝明 (京都大), 小山志勇, 李兆衡 (JAXA), 寺田幸功 (埼玉大), 當真賢二 (東北大), 内藤統也 (山梨学院大), 中森健之 (山形大), 広谷幸一 (ASIAA), 馬場彩, 山崎了, 吉田篤正 (青山学院大), 森浩二 (宮崎大)

多くの波長で標準光源として用いられるかに星雲は、GeV 領域では年に一回程度フレア現象を起こすことが、AGILE および Fermi-LAT によって発見された。フレアの機構は未だ解明されていないが、その手がかりとなるのがこの現象の二つの特徴である。一つ目は光度変動の時間スケールが星雲の大きさより遥かに小さいこと、二つ目はスペクトルのピークエネルギーが単純なシンクロトロン放射では説明できないことである。これらの特徴を説明するモデルの一つとして、Kohri, Ohira & Ioka による Blob モデル (MNRAS 424, 2249, (2012)) がある。放射 Blob が相対論的速度で観測者に向かっていくとすることで、上記二つの特徴を説明する。このモデルによれば、GeV フレアは (ドップラーブーストされた) シンクロトロン放射で説明されるが、同時に 100 TeV 領域の逆コンプトン散乱の存在も予言する。そして、シンクロトロン成分と逆コンプトン散乱成分のフラックスを同時に測定することで、放射 Blob のサイズや、磁場強度、ブーストファクターが求まる。

このモデルに基づき、CTA による観測でどの程度 GeV フレアの物理に迫れるか、シミュレーションを用いて検証した。本講演ではその結果と考察について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A09a CTA Transient Factory : 広視野突発天体サーベイの展望

井上進 (理研), Daniel Mazin (東大宇宙線研), Paul O'Brien (Leicester U.), Jonathan Granot (Open U. Israel), Michal Szanecki (U. Lodz), Jim Hinton (MPIK), 他 CTA Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) は、HESS・MAGIC・VERITAS 等の現行チェレンコフ望遠鏡のみならず、Fermi 衛星にとっても後継の装置にあたる次世代 GeV-TeV ガンマ線観測計画である。特に、数 10 GeV 帯域で Fermi をはるかに凌ぐ有効面積により、GRB などの突発天体・短時間変動天体の観測で大きな威力を発揮するはずである。

CTA で初めて可能になるユニークな観測手法として、約 25 台の中口径 (MST) 望遠鏡群を同時に数 10 度平方の視野に分配する、広視野モード観測が上げられる。このような観測モードでは、感度・角度分解能・エネルギー分解能などは現行のチェレンコフ望遠鏡と同程度になる一方、視野が格段に広がるため、点源にとっては、CTA の通常の観測モードに比べてより効率のよいサーベイ観測が期待できる。さらには、他の波長でのアラートなしに、無バイアスの突発天体探査を行うことも可能になり、特に、GRB 発生時からの高エネルギーガンマ線観測も予想される。本講演では、まず、このような観測モードで GRB を捉える意義を述べた上で、期待される GRB の検出頻度の見積もりを報告する。さらには、SKA との同時観測による fast radio burst の TeV 対応天体の探査や、未知の突発天体検出の可能性についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A10r ガンマ線天文学の課題と今後への期待：理論的観点から

高原文郎（大阪大学）

この10年間 TeV ガンマ天文学は大きな展開をとげ、超新星残骸、パルサー星雲、ガンマ線連星、ブレーザーなど多数の天体が源として同定された。CTA によってさらに多数の天体や、これまで未同定のガンマ線バーストや暗黒物質起源の源の発見も期待されている。本講演では超新星残骸とブレーザーについて、現在の到達点と今後の展望について理論的観点から考察を試みる。

超新星残骸は銀河宇宙線の起源天体の最有力候補であるが、GeV-TeV ガンマ線の検出によって、そこでの宇宙線加速と伝播の様相が具体的に議論できる段階に達してきた。観測されたガンマ線のスペクトルは単純な理論予想よりも急峻であって、最大エネルギーもかなり小さい。これは宇宙線加速が時間依存性を持つこと、超新星残骸が宇宙線の供給源としてかなりの多様性を持っていることを示している。他方、宇宙線の直接観測でも陽電子電子比の高エネルギーでの増大、陽子やヘリウムの高エネルギーでのスペクトルの硬化などの興味ある観測が提示されている。無衝突衝撃波の研究においても加速粒子による磁場増幅効果、ピックアップイオンの役割などさまざまな新たな物理過程が発見されてきている。これら3つの観点からの考察を行う。

ブレーザーについては、相対論的ジェット中の内部衝撃波モデルが標準的なものとなっているが、TeV ガンマ線観測は、数分以下の短時間変動、孤立 TeV フレア、標準的な衝撃波粒子加速では理解困難な非常にハードなスペクトル等々、その枠内に収まりきれない事象をいくつか発見している。再収束衝撃波、スパイン・シース構造、乱流による2次加速理論など最近の理論的試みを紹介しながら今後を展望する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A11r **Observational Cosmology through high and very high energy gamma rays**

Daniel Mazin (ICRR, University of Tokyo)

High energy and Very high energy (HE, $E > 100$ MeV, VHE, $E > 100$ GeV) gamma-rays are absorbed via interaction with low-energy photons from the extragalactic background light (EBL) if the involved photon energies are above the threshold for electron-positron pair creation. The HE and VHE gamma-ray absorption, which is energy dependent and increases strongly with redshift, distorts the energy spectra observed from distant objects. The observed energy spectra of the AGNs carry, therefore, an imprint of the EBL. The detection of hard VHE gamma-ray spectra of distant sources ($z = 0.11 - 0.95$) by ground based Cherenkov telescopes such as H.E.S.S., MAGIC and VERITAS enabled to set strong upper limits on the EBL density, using certain basic assumptions about blazar physics. In a similar method Fermi/LAT data of a large blazar sample at HE allowed to resolve the EBL with a precision of about 25%. In this talk, we give an overview of the EBL and Hubble constant constraints, their limitations and perspectives for observational cosmology through HE/VHE gamma rays with satellites (Fermi/LAT, GAMMA-400, ASTROGAM) and the ground based observatory Cherenkov Telescope Array (CTA).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A12a Sgr A* の過去の活動を起源とする銀河系中心からのガンマ線放射

藤田 裕 (大阪大学), 木村成生 (東北大学), 村瀬孔大 (Penn State)

宇宙に多数存在する低光度 AGN が、IceCube で観測されているニュートリノの発生源であるという説が提唱されている (Kimura, Murase, & Toma 2015)。この説では、AGN の Radiatively inefficient accretion flow (RIAF) で加速された宇宙線陽子が、RIAF 中で光子や他の陽子と相互作用をすることでニュートリノが発生する。もしこの説が正しければ、大量の宇宙線陽子が RIAF から星間空間に流れ出しているはずである。

我々はこの説の検証に、低光度 AGN である銀河系中心天体 Sgr A* の周囲のガンマ線放射が使えないか検討した。Sgr A* は現在の活動はとても弱いものの、 $\gtrsim 100$ 年前は、現在よりもはるかに活動が活発だったとされている。この時代に加速された多数の陽子は、RIAF から流れ出し、一部は Sgr A* を取り囲む、質量が $\sim 10^7 M_{\odot}$ の分子ガス Central Molecular Zone (CMZ) に入り、そこでガス陽子と反応して現在もガンマ線を放射しているはずである。

このシナリオに基づいて、我々は CMZ からのガンマ線を計算した。その結果、HESS ですでに観測されている $\sim 0.2\text{--}10$ TeV のガンマ線放射は、このモデルで説明できることがわかった。CTA を用いれば、より高エネルギーでのガンマ線放射のスペクトルから、宇宙線陽子のスペクトルについて議論することが可能になり、さらに CMZ からの高エネルギーニュートリノのスペクトルについても予想することができるであろう。また、ガンマ線スペクトルの空間変化から、Sgr A* の活動史を明らかにすることもできるかもしれない。さらに、近傍の低光度 AGN (例えば Centaurus A) からのガンマ線もこのモデルで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](#)

A13a **Do blazars have an additional spectral component in the TeV band?**

Yoshiyuki Inoue (ISAS/JAXA), Yasuyuki T. Tanaka (Hiroshima), Kohji Tsumura (Tohoku),
Shuji Matsuura (Kwansei Gakuin)

TeV gamma-ray spectral hardening of blazars has been discussed for a long time. Recent precise gamma-ray measurements also indicate the existence of a new spectral component in some blazars in the TeV band even with low-level cosmic optical/infrared background (COB/CIB) radiation models. Such additional component is also reported in a nearby radio galaxy, Centaurus A core. However, the existence of the new spectral component has not been investigated in detail. We statistically test the existence of this additional component in TeV spectra of blazars using recent TeV blazar data sets and the latest COB/CIB models. Although most of blazars do not show such evidence, a few of them show statistically clear signature of an additional component in the TeV band. Furthermore, we have examined the effect of the NIR background excess. Recent various direct CIB measurements report the NIR background excess not only in the spectrum but also in the fluctuation. The origin of this excess is still under debate. Assuming the extragalactic origin for the excess, the new component disappears by adding the excess component, but overall spectra become brighter and harder. We will also discuss a possible origin of the CIB excess.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A14a **Fermi-LAT and multi-wavelength observation of new TeV-emitting blazar S4 0954+65 during bright optical flare in 2015 February**

Yasuyuki T. Tanaka, Ryosuke Itoh, Kensei Shiki, Yasushi Fukazawa (Hiroshima University), Yoshiyuki Inoue (ISAS/JAXA), Josefa Becerra Gonzalez, Roopesh Ojha (NASA/GSFC), Justin Finke (NRL)

We report on *Fermi* Large Area Telescope (LAT) and multi-wavelength results of the new TeV-emitting blazar S4 0954+65 ($z=0.368$) during an extraordinary bright optical flare in 2015 February. Compared to 4-year averaged (3FGL) LAT spectrum of $\Gamma_{\text{GeV}} = 2.38 \pm 0.04$, the daily MeV/GeV spectrum showed significant hardening in a few days during the high state and the hardest power-law index of $\Gamma_{\text{GeV}} = 1.8 \pm 0.1$. On the same day, very-high-energy ($E > 100$ GeV) γ -ray emission was detected by ground-based Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, MAGIC (Mirzoyan et al., ATel 7080), suggesting that blazars which showed hardening of $\Gamma_{\text{GeV}} \lesssim 2.0$ in MeV/GeV band is a promising target for TeV follow-up. *Swift*/XRT data showed softer spectrum of $\Gamma_x = 1.72 \pm 0.14$ during the MAGIC detection night, while hard spectra (typically $\Gamma_x = 1.3 - 1.4$) was observed on the other days during the flaring state. Modeling of quasi-simultaneous (< 1 day) broadband spectrum based on one-zone synchrotron plus inverse-Compton assumption revealed that GeV/TeV emission would be produced by inverse-Compton process of external photons coming from dusty torus, rather than Synchrotron self-Compton radiation, despite the BL Lac type classification. We also discuss future perspective of CTA follow-up for GeV-flaring blazars detected by Fermi-LAT.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A15a **ガンマ線短時間変動のモデル化による活動銀河核ジェットの放射への制限**

齊藤新也 (立教大学), Lukasz Stawarz (Jagiellonian University), 田中康之 (広島大学), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA)

ガンマ線時間変動の観測は、未だに謎の多い活動銀河核ジェットにおける放射領域やジェットの幾何学的な形状に制限を与えるうえで重要なプローブとなりうる。フェルミ衛星によって GeV ガンマ線帯域における観測感度は大きく進歩し、活動銀河核ジェットからのガンマ放射の時間変動を 1 日以下の時間スケールで観測することがはじめて可能になった。その結果、ブレーザーと呼ばれる、中心ブラックホールから地球の方向に光速近いジェットを噴出している天体では、フレア時において数時間以下で放射強度が激しく変動していることが明らかになった (Saito et al. 2013 他)。

我々はフェルミ衛星の観測データを用いてブレーザーの短時間変動の系統的な解析と時間変動のモデル化を行い、ジェットの放射機構への制限を試みた。内部衝撃波モデルに基づくモデル化の結果、ジェットにおける放射領域が中心大質量ブラックホールから 0.3-3pc 程度に位置することを示唆する結果を得た (Saito et al., submitted to ApJ)。モデルパラメータの不定性を除去し、より精密な解釈を行うためには、TeV ガンマ線をはじめとする多波長完全同時観測によって放射強度の変化を追跡することが不可欠である。本講演では、フェルミ衛星による短時間変動の観測結果、および変動のモデル化と CTA による観測で予想される時間変動について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A16a 低光度活動銀河核での乱流加速と高エネルギー粒子放射

木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学), 村瀬孔太 (ペンシルベニア州立大学), 鈴木建 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

低光度活動銀河核の降着流での乱流加速と高エネルギー粒子放射について調べた。低光度活動銀河核の降着流では質量降着率が低く、高温かつ希薄なプラズマが生成される。そのため、クーロン衝突が非効率的となり非熱的粒子が生成されうる。本研究ではその降着流中での乱流加速を現象論的に扱い、放出される宇宙線陽子とニュートリノのスペクトルを求めた。典型的な低光度活動銀河核では陽子は 10 PeV 程度まで加速され、放出されるニュートリノのエネルギーは PeV 程度になる。また、低光度活動銀河核の光度関数を用いて、低光度活動銀河核からのニュートリノ背景放射フラックスを見積もった。降着エネルギーの 1%程度エネルギーが宇宙線の注入に使われると、低光度活動銀河核は IceCube の観測を説明できる。このとき、近傍の低光度活動銀河核を次世代ニュートリノ望遠鏡で点源として観測可能かを議論する。また、このモデルではニュートリノと同程度の光度の γ 線が放出されることが予期される。 γ 線は電子陽電子対生成により吸収され、生成された電子陽電子対がガンマ線を出すため、スペクトルは複雑となる。上記のことを考慮に入れ、近傍の radio-Quiet AGN からの γ 線の CTA や Fermi による観測可能性を議論する。一方、上記の現象論的取り扱いが降着円盤中の乱流加速現象に適用できるかどうかは自明ではない。本研究では、3次元磁気流体計算と粒子軌道計算を組み合わせた数値実験を行った。その結果についても紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A17a 最高エネルギー宇宙線観測の現状と今後

木戸英治 (東大宇宙線研)

100 EeV ($1 \text{ EeV} = 10^{18} \text{ eV}$) 以上の最高エネルギー宇宙線の到来は、地球上のおよそ 1000 km^2 の面積に1年で1粒子程度であり、非常に稀な現象である。このような宇宙線は大気中で空気シャワーと呼ばれる2次粒子群を発生させる。この特徴を利用して広範囲の空気シャワー事象を観測できる検出器を用いて、これまで最高エネルギー宇宙線は研究されてきた。しかし、最高エネルギー宇宙線の起源は、未だ明らかになっていない。最高エネルギー宇宙線の起源を解明するため、現在望遠鏡アレイ実験とピエールオージェ実験がそれぞれ米国とアルゼンチンで観測を続けている。望遠鏡アレイ実験の検出器は地表の約 700 km^2 、オージェ実験は約 3000 km^2 をカバーしている。

望遠鏡アレイ実験では、5年間の観測で得られたデータを用いて、57 EeV以上の宇宙線の到来方向に世界で初めて高い有意度で異方性の兆候を観測した。望遠鏡アレイ実験は、最高エネルギー宇宙線の異方性を詳しく調べるために、地表検出器のカバーする面積を現在の4倍に拡張する計画を進めている。一方でオージェ実験では、宇宙線の組成や宇宙線の大气との相互作用について更に詳しく調べる計画を進めている。本講演では、最高エネルギー宇宙線観測のこれまでの研究成果と、現在提案されている将来計画から期待される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](#)

A18c **空気シャワーモンテカルロシミュレーションによる CTA のデザイン研究
と観測性能**

稲田知大, 石尾一馬, 大石理子, 吉越貴紀 (東大宇宙線研), 池野祐平, 櫛田淳子, 西嶋恭司, 平井巨 (東海大理), 奥村暁 (名大 STE 研, MPIK), 片桐秀明, Dang Viet Tan, 吉田龍生 (茨城大理), 郡司修一 (山形大理), 齋藤隆之, 増田周 (京大理), 榊直人 (阪市大理), 永吉勤 (埼玉大理), 他 CTA-Japan Consortium

次世代地上ガンマ線天文台 CTA (Cherenkov Telescope Array) は、解像型大気チェレンコフ望遠鏡およそ 100 基を南北 2 サイトに設置し、従来より一桁深いガンマ線観測感度で全天を観測する野心的な計画である。主鏡口径が異なる 3 種類の望遠鏡を用いることで、CTA は稼働中の解像型大気チェレンコフ望遠鏡群より一桁広い、20 GeV から 100 TeV 以上までのガンマ線エネルギー領域をカバーする。未踏の装置規模は望遠鏡配置、ハードウェア構成等のパラメータに高い自由度を与えるため、シミュレーションによる事前のデザイン研究が不可欠である。CTA のモンテカルロ (MC) シミュレーションワークパッケージ (WP) は、CTA コンソーシアム内で共通の MC シミュレーションソフトウェアを準備し、これを用いてガンマ線および宇宙線原子核を主成分とするバックグラウンド粒子に由来する空気シャワーモンテカルロシミュレーション事象の大量生産を行ってきた。また、このシミュレーションデータを解析し、CTA の仕様を観測性能 (観測感度、角分解能、エネルギー分解能等) およびコストについて最適化するための調査、複数の観測サイト候補地の観測性能に関する比較等を行っている。本講演ではそれらの中間結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A19c

CTA 計画大口径望遠鏡初号機用 PMT の性能と品質管理

永吉勤, 寺田幸功, 松岡俊介 (埼玉理), 猪目祐介, 掃部寛隆, 山本常夏 (甲南大), 大岡秀行, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田 将明 (東大宇宙線研), 窪秀利, 今野裕介, 斎藤隆行, 土屋優吾, 畑中謙一郎, 増田周 (京大理), 郡司修一, 武田淳希, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大理), 澤田真理, 坪 根善雄, 馬場彩 (青山大理), 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明 (茨城大理), 梅津陽平, 櫛田淳子, 辻本 晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array 計画は、大中小の三種類の大気チェレンコフ望遠鏡を半径 10 km² に配置する事で、現在稼働中の大気チェレンコフ望遠鏡の 10 倍の感度で 20GeV から 100TeV の広帯域を観測する国際共同計画である。口径の大きさによって観測するエネルギー帯域が異なり、我々日本グループが中心となって開発している大口径望遠鏡は低エネルギー帯域を観測する。チェレンコフ光は、ガンマ線のエネルギーが小さくなるにしたがって、光子密度が小さくなるため、大口径望遠鏡には特に高い感度が要求されている。我々は、大口径望遠鏡の高い感度を実現するために、光検出器として採用されている光電子増倍管 (Photomultiplier Tube, PMT) の全数試験を行った。全数試験では、動作試験をはじめ、電荷分解能を決定する超過雑音指数、望遠鏡のエネルギー閾値の決定に影響を与えるアフターパルス、時間特性といった PMT の諸特性を試験した。そして試験結果をデータベース化した。今後は、このデータベースを元に PMT に配置を決定していく。本講演では、全数試験の試験系、諸特性の測定方法、試験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A20c

CTA 大口径望遠鏡 焦点面検出器の構造

掃部寛隆, 猪目祐介, 山本常夏 (甲南大), 大岡秀行, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明 (東大宇宙線研), 窪秀利, 今野裕介, 斎藤隆行, 土屋優吾, 畑中謙一郎, 増田周 (京大理), 寺田幸功, 松岡俊介, 永吉勤 (埼玉理), 郡司修一, 武田淳希, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大理), 澤田真理, 坪根善雄, 馬場彩 (青山大理), 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明 (茨城大理), 梅津陽平, 櫛田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は口径 10~23m の望遠鏡を複数並べ 20GeV から 100TeV 以上のガンマ線を観測する国際共同実験である。現在、最初の口径望遠鏡を 2016 年の観測開始を目指して開発を進めている。この口径望遠鏡は口径 23m の放物面鏡を備え、焦点面には直径 2.3m の円形に 1855 個の光電子倍增管 (PMT) を配置した検出器が装着される。この PMT は紫外線に対する検出効率を上げるため光電面が直径 4cm の球形擦りガラスになっており、波長 400nm の紫外線に対する量子効率が平均約 40 % になっている。それぞれの PMT にライトガイド、高圧電源、増幅回路を取り付け、さらにノイズを避けるためアルミパイプで覆っている。PMT モジュールを 7 本単位で束ね、トリガー回路とデータ収集回路を取り付けクラスター化している。このクラスター 265 個を冷却装置を備えたカメラ筐体に装着する。冷却装置は 25mm 厚のアルミ水冷板と空冷式の熱循環システムを備え、回路で発生する熱を冷却水により望遠鏡架台に装着した冷却器まで運んでいる。この焦点面検出器は大きさ 3m × 3m × 1.5m の密閉式カメラボックスに入れられ、外気と遮断されている。カメラボックスの開口部はドーム型の紫外線透過型アクリルにより密閉されている。開口部の前には遮光用のスクリーンとシャッターが取り付けられ、すべてリモート制御される。本講演ではこのカメラの設計について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A21c

CTA 大口径望遠鏡データ収集システムの開発

増田周, 窪秀利, 今野裕介, 齋藤隆之, 谷川俊介, 畑中謙一郎 (京都大学), 石尾一馬, 大岡秀行, 手嶋政廣, 中嶋大輔, Daniela Hadasch, 林田将明, Daniel Mazin (東京大学), 郡司修一, 武田淳希, 中森健之 (山形大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明 (茨城大学), 田中真伸 (KEK), 山本常夏 (甲南大学), 他 CTA-Japan Consortium, 池野正弘, 内田智久 (KEK, Open-It)

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は北・南半球の両サイトに合計約 100 台の望遠鏡を建設し、20 GeV–100 TeV 以上のガンマ線を従来よりも 10 倍高い感度で全天観測する、29 カ国参加の国際共同プロジェクトである。我々は 23 m 大口径望遠鏡 (LST) の焦点面カメラに搭載する、光検出器信号読み出し回路を開発した。チェレンコフ望遠鏡は、大気入射時にガンマ線が形成する電磁カスケードシャワーを大気チェレンコフ光で撮像する。しかし LST が感度を持つ数十 GeV のエネルギー帯では空気シャワーから到来するチェレンコフ光子数が少なく、星の光等の夜光光子との判別が難しい。我々の読み出し基板は低消費電力のアナログメモリ ASIC「DRS4」を採用することで、7 本の光電子増倍管 (PMT) からの信号波形を同時に GHz でサンプリングし、シャワー光子と夜光光子の分離を可能にした。また、少数のシャワー光子の情報のみからトリガーを生成するために、多数の隣接ピクセルのアナログ波形を足し合わせて判定する方式を採用する。さらに LST は低エネルギー閾値を目指すため、平均 15 kHz の非常に高いトリガーレートが見込まれ、望遠鏡一台あたり平均 40 Gbps の超高速転送が必要になる。我々はこの要求に耐えるデータ収集システムを構築した。これはカメラを構成する 265 枚の読み出し基板から 10 Gbps スイッチを介し TCP/IP 非同期通信により得られた各データを、カメラサーバーのマルチスレッドでイベント毎に結合するシステムである。本講演では LST 1 号機データ収集システムの概要・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](#)

A22c

CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の結像性能評価

長紀仁, 小野祥弥, 加賀谷美佳, 片桐秀明, 重中茜, 本橋大輔, 吉田龍生 (茨城大理), 稲田知大, 岩村由樹, 加藤翔, 手嶋政廣, 中島大輔, 花畑義隆, 林田将明, 深見哲志 (東大宇宙線研), 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), 奥村暁 (名大 STE 研, MPIK), 野田浩司 (MPI for Physics), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画では、3種類の口径の異なる大気解像型チェレンコフ望遠鏡を大規模に配置した望遠鏡群により高エネルギーガンマ線観測を行う。日本が主体となり開発を進めている大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope : LST) は、23 m という主鏡口径を六角形の対辺間が 1.51 m の球面分割鏡を約 200 枚使用し実現する。最終的に LST 8 台分 (約 1600 枚) を生産することになる分割鏡であるが、要求される結像性能は、 0.03° (15 mm) であり、その焦点距離は f (28 m - 29.2 m) である。現在、結像性能の評価方法の一つとして、 $2f$ の位置で直接像を測定し、評価する $2f$ 法を採用しており、製造元の工場内で納品前の検定の評価方法として用いてきた。実際には、 $2f$ の位置に光源である LED とスクリーンを置き、デジタルカメラで光源が ON と OFF の状態をそれぞれ撮影し、それらの画像を差し引きすることで結像されたスポットの大きさを求め、それが要求を満たすかを評価している。今回、自動制御による画像の撮影によって作業の効率化、測定精度の向上を図った改良を重ねた上で、これまでよりも更に整った測定環境でより詳細な分割鏡の結像性能評価を行うために、新たに東京大学宇宙線研究所に $2f$ 実験装置を組み立てた。本講演では、新たに組み立てた $2f$ 実験装置で測定を行った結果等、LST の分割鏡の結像性能評価の状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A23c CTA 小口径望遠鏡用焦点面カメラの開発

田島宏康, 奥村暁, 日高直哉, 佐藤雄太, 山根暢仁 (名大 STE 研), 片桐秀明, 重中西 (茨城大理),
ほか CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array は、次世代の超高エネルギーガンマ線観測のための国際共同実験であり、大中小三種類の口径の望遠鏡を適切に配置することで、20 GeV から 300 TeV 以上のエネルギー領域においてこれまでの十倍の検出感度を実現することを目指す。目標感度を達成するためには、多数の望遠鏡を配置することが必要となるため、費用の最適化が重要な鍵となる。光学系に副鏡を採用するデュアルミラー望遠鏡では、焦点距離を短くでき画像が圧縮できるため、小さなピクセルの多チャンネル光検出器を活用することで、カメラ費用の大幅な低減を可能にする。また、副鏡を採用した光学系では、広い視野でよい結像精度を実現できるため、望遠鏡間隔を広くすることで有効面積の改善に寄与できる。ただし、デュアルミラー望遠鏡では非球面鏡が必要となるため、比較的小口径に適した技術であり、中小口径望遠鏡の有力な候補である。我々が開発する小口径望遠鏡用焦点面カメラは、64 ピクセルを高密度に配列する約 6 cm 角のカメラ・モジュール 32 個で構成される。信号処理には、0.5–1 GHz で波形を記録でき、トリガー回路やデジタル化回路も内蔵する 16 チャンネルの集積回路を開発することで、少数の電子部品だけでカメラ・モジュール構成することを可能とし、費用の低減と信頼性の向上を実現する。光検出効率を改善するため、光検出器には半導体光電子増倍素子を採用している。マルチアノード光電子増倍管と比較して増倍率の均一性が優れている点や、動作電圧が 1/10 ですむことも利点である。現在、小口径望遠鏡用のフルスケールのカメラを試作し、カメラとしての総合性能の評価を進めている。本講演では、半導体光電子増倍素子と専用集積回路の開発状況を概観し、試作カメラの評価結果の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【B. Transformational science and technology with the SKA】

9月11日（金）午前（09:30-11:30）[G会場]

B01r	09:30	Engineering Challenges in SKA1 and SKA2・(40)	Tim Cornwell (SKA Organization)
B02r	10:10	The MWA Epoch of Re-ionisation Experiment・(40)	Rachel Webster (University of Melbourne)
B03r	10:50	Studying Gravity with Pulsars and the SKA・(40)	Evan Francis Keane (SKA Organisation)

9月11日（金）午後（13:30-15:30）[G会場]

B04a	13:30	SKA 時代に向けた宇宙磁場研究の進展・(12)	町田真美（九州大学）
B05a	13:42	SKA で探るミッシングバリオンと銀河間磁場・(12)	赤堀卓也（鹿児島大学）
B06a	13:54	SKA-JP EoR サイエンスワーキンググループの取り組み・(12)	長谷川賢二（名古屋大学）
B07a	14:06	21cm 線観測で探る初代星形成と宇宙再電離・(12)	矢島秀伸（東北大学）
B08a	14:18	SKA における宇宙論・(12)	山内大介（東京大学）
B09a	14:30	将来の 21cm 線放射の観測による暗黒エネルギーの性質の解明・(12)	大山祥彦（東京大学）
B10a	14:42	Formation, Evolution, and Revolution of Galaxies by SKA・(12)	竹内努（名古屋大学）
B11a	14:54	SKA-Japan パルサーグループ活動報告・(12)	高橋慶太郎（熊本大学）
B12a	15:06	SKA のよる電波源高精度位置計測に基づく天の川銀河・局所銀河群の動力的構造の探求・(12)	今井裕（鹿児島大学）
B13a	15:18	広帯域フィードの開発 (IX)・(12)	氏原秀樹（情報通信研究機構）
B14c		ミンコフスキー汎関数による宇宙再電離期解析	吉浦伸太郎（熊本大学）
B15c		原初磁場を考慮した大規模構造形成	山崎大（茨城大学）
B16c		銀河ガス円盤シミュレーションを用いた渦状銀河磁場の観測的可視化	町田真美（九州大学）

B01r **Engineering Challenges in SKA1 and SKA2**

Tim Cornwell (SKA Architect)

The SKA vision is being implemented in two phases, distinguished both by scale and technology. The second phase, SKA2, is delayed by at least 5 years in order that lessons learned from the first phase, SKA1, can be applied in the development of the second phase. SKA1 is largely amenable to standard engineering solutions, at achievable cost levels. However there are some areas where the specifications require technology growth over that available today. The key areas are in signal processing, signal transmission, data processing, and power efficiency. Power efficiency in particular drives operational costs, which are likely to be tight in any plausible scenario. A system-wide budget allocation process is in place to control the costs for SKA1. SKA2 is very roughly an order of magnitude larger in number of dishes. For SKA2, these key areas scale either linearly, quadratically, or higher as the number of dishes. Thus for example, the SKA1 power requirement could rise to well over 100MW, and will shift towards the signal processing and data processing.

In my talk I will discuss these engineering challenges for SKA1 and SKA2 and the prospects for enabling solutions for SKA2.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B02r **The MWA Epoch of Re-ionisation Experiment**

Rachel Webster, University of Melbourne

The Murchison Widefield Array has been fully operating at Boolardy in Western Australia since 2013. Since that time over 2 Petabytes of data have been taken for the Epoch of Reionization experiment.

During this talk, the details of the approach to the data analysis will be fully described, including the issues of foreground subtraction, beam modelling and systematics from the telescope design. Latest results of that analysis will be presented.

Finally, plans for the development of the MWA with a doubling of the collecting area, and new system elements will be described.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B03r **Studying Gravity with Pulsars and the SKA**

Evan Francis Keane, SKA Organisation

In this talk I will review pulsar science and the applications of pulsar research to studies of gravity, in particular as enabled by the SKA. Pulsars are small stars that emit a reliable beacon of radio light which, combined with their rapidly spinning nature, results in pulsars being essentially 'super clocks' in space. The Square Kilometre Array (SKA) will be the largest telescope ever built and will be capable of studying every pulsar in the Galaxy whose beacon sweeps past the Earth. Using the SKA to perform pulsar timing we can study gravity in two very different regimes. Firstly there is the strong field regime: this concerns binary systems with orbital periods of just a few hours. In these systems strong-field effects predicted by Einstein's General Relativity arise and can be tested against the predictions of alternative theories of gravity — where does General Relativity break down? The SKA will also identify the coveted pulsar-black hole binary systems so that using pulsar timing techniques we can test black hole theorems such as the Cosmic Censorship Conjecture and the No Hair Theorem. Secondly, in the radiative regime, we can use pulsars to directly detect gravitational waves for the first time. Gravitational waves produced by supermassive black hole binaries, by cosmic strings and in the early Universe ripple through spacetime, passing by thousands of pulsars as they propagate. By careful measurement we can detect the distortions imparted by these waves on the ticks of the pulsar clocks. All of this cutting edge fundamental physical research is made possible by pulsars, Nature's best laboratories, and the astounding capabilities of the SKA telescopes: together they will unlock the secrets of gravity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B04a SKA 時代に向けた宇宙磁場研究の進展

町田真美（九州大学）、赤堀卓也（鹿児島大学）、他 日本 SKA「宇宙磁場」科学検討班一同

宇宙論的種磁場の起源は未だ明らかにはなっていないが、太陽は数千ガウスの磁場によって例えばフレアや CME(コロナ質量放出)などの非常に活発な活動を行っている。また、地球の地磁気は $\sim 0.5\text{G}$ と弱いにも関わらず CME によって降り注ぐ宇宙線粒子を防ぐ役割を果たすなど、磁場は強弱によらず非常に重要な役割を担っている。磁場は、太陽等の恒星、中性子星、ブラックホールなどのコンパクト星、銀河、銀河団などの様々なスケールでの高エネルギー現象に深くかかわっており、その役割や起源を探る事は非常に重要な研究課題の一つである。そのため、現在建設準備中の超巨大電波干渉計である Square Kilometer Array(SKA) 計画においても、宇宙磁場観測はキーサイエンスの一つとなっている。

日本 SKA「宇宙磁場」科学検討班はこの SKA 計画において、日本の独自研究を推進するために 2010 年 3 月より活動を開始している。これまで SKA を用いた磁場研究を効率良く推進するための検討などを行う月例会議、宇宙磁場研究の裾野を広げる目的の研究会の開催などを行っており、昨年は SKA 日本版サイエンスブック(第 6 章 宇宙磁場)の作成も行ってきた。本講演では、この日本版サイエンスブックの 4 節、日本の独自の戦略に関連する項目を紹介する。衝突銀河団 Abell 2256 電波レリックの JVLA による多周波観測では、偏波解消とトモグラフィーを用いる事で既存装置によっても前景放射と背景放射を区別する事に成功している(小澤ら 2015)。SKA を用いる事で更に高性能・高分解に磁場の 3 次元構造に迫る事が可能となるはずである。この他、本講演では、銀河磁場、宇宙大規模構造の磁場の起源や構造に迫る研究とその観測可能性についてを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B05a SKAで探るミッシングバリオンと銀河間磁場

赤堀卓也（鹿児島大学）

現在の標準的なビックバン宇宙論は、観測されている総量よりもはるかに多くのバリオンが合成されることを予言する。そのいわゆる「ミッシングバリオン」がもし存在しないということになれば、理論体系を揺るがす大問題である。ゆえに観測的な検証は極めて重要なテーマである。宇宙論的構造形成の知見から、宇宙大規模構造に付随する電離物質がミッシングバリオンの最有力候補である。そして様々な理論研究と一部の観測から、宇宙大規模構造の電離物質は銀河間磁場を伴うことも知られつつある。しかしながら現在に至るまでの観測では、希薄な電離物質と微弱な銀河間磁場を宇宙全体に渡ってくまなく探し出すことは極めて困難である。

SKAの驚異的な観測性能は、その困難な状況を打開するだろう。本講演では3つの方法について特に銀河間磁場の探査の実現性を定量的に議論する。1つ目は「RMグリッド」である。SKAの時代には1平方度あたりに数百から数千の背景偏波源を探し出すことが可能になる。もし大規模構造からのシグナルが数 rad/m^2 程度であれば、統計的に抽出することが可能と見込まれる。2つ目「ファラデートモグラフィー」である。SKAは数100 MHzから数GHzの超広帯域に渡って偏波データを取得でき、これにより視線上の磁場断層解析が実現できる。同じく数 rad/m^2 程度のシグナルであれば、条件が整えば発見できる見込みである。3つ目「Fast Radio Burst (FRB)」である。目下調査中ではあるが、もしFRBが系外起源でかつ偏波を伴うならば、検討の価値は十分あるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B06a SKA-JP EoR サイエンスワーキンググループの取り組み

長谷川賢二 (名古屋大学)、吉浦伸太郎、島袋隼士 (熊本大学)、ほか SKA-JP EoR サイエンスワーキンググループ

SKA は、宇宙再電離期 (Epoch of Reionization: EoR) 以前の中性水素 21cm 線を直接観測しうる非常に強力な観測装置である。この時代における 21cm の空間分布は、バリオンの密度分布、中性水素割合分布、温度分布、さらには Lyman α 光子による Pumping などによって決定され、これらの量は宇宙論的なゆらぎの成長や形成される天体からの輻射の影響を強く受ける。その為、21cm 線の観測は、単純に中性水素割合の典型的な赤方偏移進化を知るだけでなく、再電離光子源となる天体の形成史や個々の天体の空間分布・スペクトルタイプといった情報も引き出せる可能性があるが、観測される 21cm 線からこれらの情報を定量的に引き出すには、詳細な物理過程を考慮した理論モデルの構築が必要不可欠である。

SKA-JP EoR サイエンスワーキンググループ (EoR SWG) では、輻射によるフィードバック等を詳細な数値シミュレーション結果の解析によりモデル化して EoR の 21cm 線シグナル分布を計算するコードの開発、および EoR 21cm シグナル検出の際の最大の障害となる全景放射の除去方法の発案を柱とした活動を行っている。

講演では、計算コードに採用するモデルの詳細と開発状況さらにそれをういた研究計画について主に紹介し、SKA-JP EoR SWG メンバーの個々の研究についても簡単に紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B07a **21cm 線観測で探る初代星形成と宇宙再電離**

矢島秀伸 (東北大学), Sadegh Khochfar(U. of Edingburgh), Yuexing Li(Pennsylvania State U.)

ビッグバン後約 10 億年の間に宇宙のバリオンはその状態を著しく変化させる。この時代に宇宙で最初の星や銀河が形成され、それらが放つ紫外線により宇宙のほとんどの水素はイオン化した状態 (宇宙再電離) となる事が近年の観測により示唆された。しかし、いつ頃どのように天体が形成され、宇宙再電離が起きたかなどの詳細については全く不明なままである。これらを直接明らかにするために、現在 SKA による銀河間ガスからの 21cm 線観測が計画されている。

本研究では、初期宇宙での天体形成と周辺銀河間ガスからの 21cm 線放射の関係について数値計算を行って定量的に調べた。具体的には初代星、初代銀河の周りのガスがどのように電離、加熱されるのか、紫外線がどのように伝播するのかを 1 次元球対称モデルにより計算し、これら天体周辺に作られる 21cm 線シグナルの構造を明らかにした。結果として、天体のスペクトルの違いにより、天体周辺の 21cm シグナルも大きく異なった構造となる事が分かった。また、初代星単体では SKA での直接検出が難しいが、それらが多数集まった星団や銀河ならば検出可能である事を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B08a SKA における宇宙論

山内大介 (東京大学), ほか SKA-Japan 宇宙論グループ同

Square Kilometre Array (SKA) では、30,000 平方度にわたる広範な掃天を行うだけでなく、赤方偏移が 5 を超えるような深宇宙を探索することができる。これにより、十分大きな体積、つまり十分多数のモードを観測することが可能になることで、CMB による精密探査を超えた宇宙論の新しいフロンティアに到達することができる。特に、 10^9 個もの莫大な数の銀河を探索しうることから、宇宙論における究極のサーベイとして期待されている。SKA で行う宇宙論サーベイとして、いくつかの異なる観測手法が計画されている。銀河の個々の赤方偏移を探索する HI 銀河赤方偏移サーベイ、個々の銀河を特定することをせず、比較的低い空間分解能で銀河からの放射を連続的に掃く HI 強度マッピングサーベイ、銀河からのシンクロトロン放射を用いる電波連続線サーベイ、さらに、赤方偏移した 21cm 線を用いて再電離以前の中性水素分布を探る 21cm 線サーベイが計画されている。

本公演では我が国で進展が期待される科学的な課題について議論する。現在我々が直面する宇宙論の重要な未解決問題として次の 3 つが考えられる：「インフレーションがどのように起こったのか」、「暗黒エネルギーの正体とは何か」、「暗黒物質の正体は何か」である。SKA による宇宙論的サーベイにより、これまでになく精度・規模の観測データを得ることが可能になることから、これらの宇宙論の諸問題に対して決定打を与えることができると期待できる。特に、これらの問題を解決するために我が国で行われている研究をレビューするとともに、近年の研究の進展について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B09a 将来の 21cm 線放射の観測による暗黒エネルギーの性質の解明

大山祥彦(東大宇宙線研), 郡和範(KEK), 関口豊和(ヘルシンキ大学), 高橋智(佐賀大学)

Ia 型超新星や CMB の観測により現在宇宙は加速膨張していることが判明しているが、その原因となっているエネルギー(暗黒エネルギー)の性質は依然として不明である。また、様々な暗黒エネルギーのモデルにおいて、そのエネルギー密度、および状態方程式は時間変化するが、その影響は密度揺らぎの成長やその赤方偏移空間歪みを観測することによって測定できる可能性がある。SKA 等を利用した将来の 21cm 線観測は、宇宙の密度揺らぎを広い赤方偏移に渡って観測することが可能であり、暗黒エネルギーの性質を解明する上で、非常に有用な観測であると言える。

我々は、宇宙再電離時に生じる 21cm 線と CMB の観測を組み合わせることにより、暗黒エネルギーの時間変化を将来どの程度まで制限できようにな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](#)

B10a **Formation, Evolution, and Revolution of Galaxies by SKA**

竹内 努, 諸隈 佳菜, 平下 博之, 百瀬 莉恵子, SKA-JP galaxy evolution sub-working group

Formation and evolution of galaxies have been a central driving force in the studies of galaxies and cosmology. Recent studies provided a global picture of cosmic star formation history. However, what drives the evolution of star formation activities in galaxies has long been a matter of debate. The key factor of the star formation is the transition of hydrogen from atomic to molecular state, since the star formation is associated with the molecular phase. This transition is also strongly coupled with chemical evolution, because dust grains, i.e., tiny solid particles of heavy elements, play a critical role in molecular formation. Therefore, a comprehensive understanding of neutral–molecular gas transition, star formation and chemical enrichment is necessary to clarify the galaxy formation and evolution.

Here we present the activity of SKA-JP galaxy evolution subWG. Our activity is focused on three epochs: $z \sim 0, 1$, and $z > 3$. At $z \sim 0$, we try to construct a unified picture of atomic and molecular hydrogen through nearby galaxies in terms of metallicity and other various ISM properties. Up to intermediate redshifts $z \sim 1$, we explore scaling relations including gas and star formation properties, like the main sequence and the Kennicutt–Schmidt law of star forming galaxies. To connect the global studies with spatially-resolved investigations, such relations will be plausibly a viable way. For high redshift objects, the absorption lines of H I 21-cm line will be a very promising observable to explore the properties of gas in galaxies. By these studies, we will surely witness a real revolution in the studies of galaxies by SKA.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B11a SKA-Japan パルサーグループ活動報告

高橋慶太郎 (熊本大学), ほか SKA-Japan パルサーグループ一同

次世代センチ波・メートル波電波望遠鏡 Square Kilometer Array (SKA) では 1GHz 帯でパルサーのサーベイや精密なタイミング測定が行われる。SKA の圧倒的な感度により、観測できるパルサーは SKA1 で現在の 4 倍程度、SKA2 では 10 倍以上になると見込まれる。このような大量のパルサーを用いて周期分布、光度分布、空間的分布、速度分布などが統計的に議論できるようになり、中性子星の形成と進化、またパルスの放射機構に関する研究が飛躍的に進歩すると期待される。

また、銀河系中心のブラックホールのごく近傍 ($\sim 1\text{mpc}$) のパルサーを発見できればブラックホールに関する一般相対論の基本的な定理、無毛定理や宇宙検閲官仮説をそれぞれ 1%、0.1% の精度で制限でき、一般相対論を真に強い重力場で検証することができる。

さらにミリ秒パルサーの中でも特に周期の安定したものを長期間にわたって観測してパルスの到着時刻をモニターすることによって $10^{-7} - 10^{-9}$ Hz という非常に低周波の重力波を直接検出できる。この周波数帯には銀河衝突に伴って形成される巨大ブラックホールの連星からの重力波が存在し、パルサーによる重力波の観測は銀河進化を探る新たな手段となる。

本講演ではこれらのサイエンスとともに SKA-Japan のパルサーグループの活動、特に科学目標について報告する。具体的にはパルサーグループでは背景重力波の異方性とその検出法、修正重力理論におけるブラックホールの無毛定理、パルサーペアの観測による銀河系磁場構造の探索、巨大電波パルスによるパルサー磁気圏構造の解明などについての研究が行なわれており、ここでその概略を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B12a **SKA のよる電波源高精度位置計測に基づく天の川銀河・局所銀河群の動力学的構造の探求**

今井 裕 (鹿児島大学), SKA-JP Astrometry sub-Working Group

我々検討ワーキンググループは、既存電波望遠鏡の感度を圧倒する SKA を用いた次世代電波源高精度位置計測に基づく研究の方向性について検討を行ってきた。その中で、VERA や VLBA で進められている電波源三角測量の現状を整理し、SKA で新たに探求可能な課題例を示してきた。また、これらに関したさらなる検討や準備研究を行うべく、国内外で共同検討の体制を構築してきた。その中で、SKA による電波源位置計測に必要な仕様を明らかにすることが急務となっている。こうして、国際的な議論の枠組みとして SKA VLBI Focas Group が 2014 年に創設された。現在は、SKA 観測波長バンド (主に 20–2 cm)、特に長波長側で高精度位置計測が可能かどうかについて、VLBA など実存装置を用いて実証を進めている。さらに、SKA で測量対象となり得る電波源の数をより正確に見極めるため、SPLASH、GASKAP などの現行観測プロジェクトに参加してそのデータ解析を進めている。これらの活動により、以下のことを明らかにしてきた。(1) 現在行われているメーザー源に対する三角測量よりも少なくとも 1 桁以上の数のメーザー源が新たに測量対象になり得る。(2) 薄い銀河円盤内の三角測量によって、渦状腕内の星形成領域が星形成過程の段階順に空間的に分離され連続的に並んで分布する様子が見られるはずである (Spiral arm tomography)。(3) 新たにバルジや厚い円盤も含めて天の川銀河全体を電波源三角測量の対象と位置付け、さらに大小マゼラン銀河などの永年固有運動計測も視野に入れることにより、局所銀河群の動力学的構造とその進化の探求が新たな研究課題として重要となる。(4) 長波長側では高い角分解を得るのが難しくまた電離層の影響も大きい、数 10 マイクロ秒角の精度での位置計測計測、三角測量が可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B13a 広帯域フィードの開発 (IX)

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 VIGOS への対応を考慮しつつ、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。開口能率の変動はあるものの 2.2-18GHz あるいは 22GHz を目標としているが、形状が複雑で制作に時間がかかっており、このうちの娘フィード試作機のみを娘フィードの試作品を 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であるが、直焦点用のビームの広い広帯域フィードも開発した。現在 MARBLE (口径 1.5m 及び 1.6m の 2 台) に使っている市販のクワッドリッジフィードをこれと交換して開口能率向上を図り、同時に主鏡径を 2.4m に大型化して、2 倍程度の SNR の向上を図る予定である。また今年度は、このフィードをアレンジした 3.2-14.4GHz の広帯域フィードを 34m アンテナに搭載するが、これに対応する直線 2 偏波用の出力端子も製作中である。広帯域の伝送系とサンブラの整備も継続的に行い、国内で最も SKA に近いシステムとも言えよう。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](#)

B14c ミンコフスキー汎関数による宇宙再電離期解析

吉浦伸太郎 (熊本大学)、島袋隼士 (名古屋大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、松原隆彦 (名古屋大学)

初期の宇宙には星の存在しない暗黒時代と呼ばれる期間があった。その時代の宇宙は中性水素で満たされていたが、やがて重力によって物質の収縮が起き、星が誕生する。それらの星が光を放射し始める時代は宇宙の夜明けと呼ばれる。さらに、放射された紫外線光子が周囲の中性水素を電離させ、宇宙誕生後数億年にほとんどの水素が電離するまでの時代を宇宙再電離期という。宇宙再電離期の観測は水素の陽子と電子のスピンの状態の違いから生じる 21cm 線を通して行われる。さらに 21cm 線は宇宙のガス温度や放射の様子と結びつけられ、輝度温度として観測される。SKA (Square Kilometer Array) はこの 21cm 線輝度温度を観測しようとする史上最大規模の電波干渉計である。SKA によってパワースペクトルをはじめとした、様々な統計を用いた再電離期の解析が精密に行われると考えられる。また、ミンコフスキー汎関数は分布のもつ幾何学的構造を特徴付ける事のできる統計的手法である。この手法を再電離期の解析に応用するには、正確な輝度温度の分布が必要であり、SKA による大規模かつ正確な観測が必要不可欠である。

私は宇宙再電離期の準数値シミュレーションを用いて将来得られる輝度温度を再現し、ミンコフスキー汎関数 (MFs) を用いて解析を行った。この解析によって、1. 電離に寄与する最小の星の質量は輝度温度の分布を変化させ、MFs による解析が有効である事、2. 輝度温度を構成する宇宙の中性率は MFs の大きさを変化させる事、3. 中性水素のスピンの温度分布が MFs の振る舞いを複雑にする事が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B15c 原初磁場を考慮した大規模構造形成

山崎大 (茨城大学)

銀河団スケールで観測により数 μG の磁場が確認され、その起源を知るために、局所的なものから大局的なものまで多くの磁場の生成や進化のモデルが提唱され、多くの研究者が宇宙の晴れ上がり以前に nG 程度の磁場が必要であることを支持するようになった。この背景のもと、我々を含む国内外の多くの研究者が、原初磁場の初期宇宙における影響を研究し、原初磁場が宇宙論だけでなく天文・天体物理学の主要な分野で重要な役割を担っていることが分かってきた。

この宇宙の原初から存在していると予想される「原初磁場」は、宇宙の大規模構造の元になる初期物質密度揺らぎにも影響する。宇宙の晴れ上がり以前に磁場があると、実質的な放射物質エネルギー比をと流体の音速に影響を与えるため、初期物質密度揺らぎの観測量である matter power spectrum のピークの位置と振幅が変わる。

当発表では、原初磁場を正しく考慮した場合、構造形成やそれに付随する宇宙論・宇宙物理学減少に原初磁場が与える影響と、将来予想される観測から原初磁場がどのように制限されるか解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B16c 銀河ガス円盤シミュレーションを用いた渦状銀河磁場の観測的可視化

町田真美、守田佳永（九州大学）、中村賢仁（九州産業大学）、赤堀卓也、中西裕之（鹿児島大学）

渦巻銀河には大局的な磁場構造が見られ、その観測的特徴から Axi-Symmetric Spiral (ASS) や Bi-Symmetric Spiral (BSS) 等に分類されており、平均磁場強度は数 μG である事が回転量度 (RM) の観測から指摘されている。この銀河磁場の起源を明らかにする目的で、我々は銀河ガス円盤に関する3次元磁気流体シミュレーションを行っており、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って弱い種磁場を数十億年安定に維持できる事を示してきた。しかし、数値計算からは密度や3次元磁場などの物理量を直接得ることができるが、直接観測と比較することはできない。本研究では、数値計算結果から RM などを得ることで、積分量である観測量と実際の磁場構造との間にどのような関係性があるかを調べたのでその結果を報告する。

町田ら（2013）の銀河ガス円盤数値計算結果を系外銀河と仮定し、見込み角 θ と回転量度 (RM) の関係を調べた。その結果、face-on に近い場合 ($\theta = 5$) には渦状磁場構造と乱流磁場構造が複雑に混ざるため、非常に細かいスケールで RM の正負の反転が生じた。一方、edge-on に近い場合 ($\theta = 85$) には、円盤面に沿った磁場構造が強く反映される構造を示すため、大きな構造が見られ RM の値も数百と大きな値となる箇所もみられた。さらに、鉛直方向に RM の向きの反転も観測できた。また、伝統的な観測の分類である $\phi - \text{RM}$ 関係は非常に複雑な振る舞いをし、ASS や BSS と分類する事は困難であった。更に、ストークスパラメータを計算してシンクロトロン放射強度や偏波率の計算も行ったので合わせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【J1. 高密度星 (BH・NS)】

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [D会場]

J101a	15:00	「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 奥田和史 (東京大学)
J102a	15:12	MAXI, Swift, RXTE による Cyg X-3 のクエンチ状態と高電離散乱体 三原建弘 (理化学研究所)
J103a	15:24	GX 339-4 の Very high state における円盤コロナおよび内縁流の幾何学的配置の観測的決定 久保田あや (芝浦工業大学)
J104c		ブラックホール候補天体 V4641 Sgr のすざく衛星による詳細 X 線観測 山岡和貴 (名古屋大学)
J105a	15:36	High/Soft State にあるブラックホール X 線連星 4U 1630-47 の「すざく」NuSTAR 同時観測 堀貴郁 (京都大学)
J106a	15:48	MAXI/GSC と Swift/BAT で調べた中性子星低質量 X 線連星系のソフト状態でのコンプトン雲の大きさ 浅井和美 (理化学研究所)
J107a	16:00	Be 星-パルサー連星系 PSR B1259-63 の軌道位相に対する X 線光度 小野雄貴 (東京工業大学)
J108a	16:12	X 線パルサー GX 1+4 と 4U 1626-67 のパルス波形 鈴木大朗 (立教大学)
J109b	16:24	「すざく」衛星による低質量 X 線連星 Sco X-1 の硬 X 線放射の観測 岡田千穂 (広島大学)
J110b	16:24	Be 型 X 線連星のノーマルアウトバーストの定量的評価 中島基樹 (日本大学)
J111b	16:24	X線連星パルサー Her X-1 の連続放射スペクトルの新モデルによる解析 近藤恵介 (総合研究大学院大学)
J112a	16:36	位置天文観測による大質量 X 線連星の高密度星質量決定 山口正輝 (国立天文台)
J113a	16:48	質量降着を伴わない星質量ブラックホール連星の位置天文衛星による検出数予測と理論モデルへの示唆 川中宣太 (東京大学)

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [D会場]

J114a	09:30	TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 における Be 星とコンパクト天体の相互作用 河野貴文 (広島大学)
J115a	09:42	TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 の IRSF/SIRIUS・かなた/HONIR を用いた近赤外線長期モニタリング観測 千榊翔 (東海大学)
J116a	09:54	ガンマ線連星系 PSRB1259-63/LS2883 近星点通過時の近赤外線光度変動 河内明子 (東海大学)
J117a	10:06	TeV ガンマ線連星系 PSR B125963/LS 2883 において Be 星ガス円盤の密度分布が X 線放射に与える影響 小早川達也 (東海大学)
J118a	10:18	ULX M82 X-2 における降着モード (2) 鷹野重之 (九州産業大学)
J119a	10:30	一般相対論的輻射磁気流体計算による円盤コロナの形成について 高橋博之 (国立天文台)
J120a	10:42	3D GRMHD 数値実験によるブラックホール降着円盤とジェット形成 水田晃 (理化学研究所)
J121a	10:54	コンパクト天体連星合体からの質量放出 関口雄一郎 (東邦大学)
J122a	11:06	初期宇宙における多重ブラックホールの合体過程の研究 田川寛通 (東京大学)
J123c		$2M_{\odot}$ の最大質量を満足する高密度星の熱的進化モデル 野田常雄 (久留米工業大学)
J124b	11:18	超臨界降着による超巨大ブラックホールの形成条件 稲吉恒平 (Columbia Univ.)
J125b	11:18	相対論粒子シミュレーションのための分布関数生成アルゴリズム 銭谷誠司 (国立天文台)

(次頁に続く)

【J1. 高密度星 (BH・NS)】

9月10日(木) 午後(13:30-15:30) [D会場]

J126a	13:30	NGHXT で狙うブラックホールのサイエンス II 信川正順 (京都大学)
J127a	13:42	MAXI J1957+032 の発見と MAXI が検出した 2015 年度前半の突発現象 根来均 (日本大学)
J128a	13:54	ブラックウィドウ パルサー 2FGL J1311.6-3429 からの可視光輝線検出 谷津陽一 (東京工業大学)
J129a	14:06	若いパルサー PSR J2022+3842 の Fermi 衛星による γ 線観測 大内遙河 (東京工業大学)
J130b	14:18	X 線新星の降着円盤の状態変化と絶対光度の関係の検証 増満隆洋 (日本大学)
J131b	14:18	Ghosh & Lamb の式による中性子星の質量・半径および距離の推定 高木利紘 (理化学研究所/日本大学)
J132b	14:18	325MHz 帯におけるカニパルサー GRP の dispersion measure と decay time の時間変動 廣島渚 (東京大学)
J133c		Crab パルサー GRP 間の相関: 太陽風シンチレーション効果の可能性 寺澤敏夫 (東京大学)
J134c		誘導コンプトン散乱の天体現象への応用に向けて 田中周太 (東京大学)
J135a	14:30	「すぎく」によるマグネター 1E 1547.0-5408 の自由歳差運動の検出 (2) 牧島一夫 (理化学研究所)
J136a	14:42	マグネター 1E 1841-045 および 1RXS J170849.0-400910 の「すぎく」による硬 X 線パルス復調解析 村上浩章 (東京大学)
J137a	14:54	「すぎく」衛星によるマグネターの X 線定常放射のエネルギー依存性のある強度揺らぎの研究 (2) 中川友進 (宇宙航空研究開発機構)
J138a	15:06	チャンドラ衛星を用いた中性子星の活動性磁場の探査 渡邊瑛里 (山形大学)
J139a	15:18	普通の電波パルサーにみられるマグネター様の磁場散逸の探査について 柴田晋平 (山形大学)

9月11日(金) 午前(09:30-11:30) [D会場]

J140a	09:30	ガス層内の輻射輸送効果を考慮するとエディントン光度以下でも輻射圧で駆動される球対称風が吹くことができる! 福江純 (大阪教育大学)
J141a	09:42	輻射輸送を考慮した層雲の終端速度 増田剛大 (大阪教育大学)
J142a	09:54	ブラックホール風の見かけの光球と熱化面とスペクトル IV: 拡散効果 折橋将司 (大阪教育大学)
J143a	10:06	ブラックホール近傍の強重力場による光度変化 大橋洋平 (早稲田大学)
J144a	10:18	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 2 齋田浩見 (大同大学)
J145a	10:30	ブラックホールの回転による外向きの電磁エネルギー流の生成 小島康史 (広島大学)
J146a	10:42	電磁場によるブラックホール回転エネルギーの引き抜きの因果的理解 小出真路 (熊本大学)
J147a	10:54	ブラックホール磁気圏における磁気流体波の伝播 - II 高橋真聡 (愛知教育大学)
J148a	11:06	バイナリーブラックホールへの超臨界降着 小川拓未 (京都大学)

J101a 「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

奥田和史, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研), 山田真也 (首都大)

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。ソフト状態の軟 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、ハードテイルと呼ばれる数 MeV まで延びる冪関数型の硬 X 線成分 (McConnell et al. 2002) の起源は未だ明らかでない。

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 に着目し、0.3–300 keV もの広い帯域を観測できる日本の X 線衛星「すざく」で取得されたデータを用いて、ハードテイル成分の解析を行った。2010 年の中頃に Cygnus X-1 がソフト状態になって以降、2013 年までに行われた計 5 回の観測において、硬 X 線検出器 (HXD) の 15–200 keV の強度は、数分から数秒のタイムスケールで 1 桁以上もランダムに変動していた。特に 2013 年 4 月 8 日の内の 440 sec は最大強度に達し、15–50 keV のフラックスは $1.5 \times 10^{-8} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、また同 5 月 7 日の 3.4 ksec は最も暗く $4.5 \times 10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ と、33 倍の開きがあった。これら 2 つに 2013 年 5 月 7 日全体の観測を含めた 3 つのデータの硬 X 線スペクトルを比較すると、すべて冪関数型を示し途中で折れ曲がりが見られた。それらを Broken power law モデルを用いてフィッティングを行うと、いずれも $\Gamma_1 = 2.47 \pm 0.05$ 、 $\Gamma_2 = 3.07^{+0.06}_{-0.05}$ 、 $E_{\text{break}} = 25 \pm 1 \text{ keV}$ という同一のパラメータで説明できることがわかった。このようなスペクトルの不変性は長いタイムスケールでは確認されていたが (McConnell et al. 2002)、「すざく」によって短い時間変動について確認することができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J102a **MAXI, Swift, RXTE による Cyg X-3 のクエンチ状態と高電離散乱体**

三原建弘、松岡勝、杉崎睦 (理研)、中平聡志 (JAXA)、北本俊二 (立教大) ほか MAXI チーム

2014 年秋季学会では、MAXI で得られたスペクトル (円盤黒体放射) から Cyg X-3 が低質量ブラックホールである可能性を報告した。その後、Swift/XRT、RXTE/PCA のスペクトルを 1-25 keV の広いエネルギー帯で同時フィットした。XRT では 2-4 keV に残差が残ったが、「すざく」衛星で観測された 9 本の電離元素輝線を入れることで解消した。PCA では 20 keV 以上で若干コンプトン成分が見られ、7.4 keV (中性) と 9.0 keV (He + H-like) の鉄エッジが必要であった。連続成分は、円盤黒体放射 diskbb とコンプトン nthcomp モデルに部分吸収モデル pcfabs をかぶせることで合わせる事ができた。MAXI では検出限界以下であった鉄輝線も検出されたが、エネルギーは XRT では 6.7 keV、PCA では 6.4 keV となった。不一致は 2 者の観測時期が異なるためであろう。diskbb の温度は (1.48 ± 0.01) keV (90% エラー) と精度よく求められた。MAXI の結果 (1.5 keV) と一致した。

2 倍の X 線強度変動を示す 4.8 時間 (軌道周期) 変動は MAXI によりクエンチ状態でも観測された。系を取り巻く散乱ガス (X 線電離された星風) は、クエンチ状態においても他状態と同様に存在すると言える。星風速度 1700 km/s、損失率 $3 \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ (Vilhu+ 2009) を用いると、散乱ガスは X 線源近傍では完全電離、遠方でも $\xi \geq 1000$ に電離され、視線方向の水素柱密度 N_{H} は 400 [10^{22} cm^{-2}] にもなる。電離鉄エッジの N_{H} は 100 [同単位] 程度であるので、実際その程度の量の鉄が電離したガスがあると推定される。見かけの吸収量は 3 [同]、部分吸収でも 13 [同] にしか過ぎないので、鉄より軽い元素はほとんどが完全電離しており低エネルギー X 線を吸収しないと理解される。降着円盤からの黒体放射スペクトルは、トムソンの光学的厚さが 1 程度の散乱ガスにより散乱されるわけだが、散乱ガスの電子温度は同程度 (数 keV) なので、あまり変形されないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J103a **GX 339 – 4 の Very high state における円盤コロナおよび内縁流の幾何学的配置の観測的決定**

久保田あや (芝浦工業大学), Chris Done (Durham 大学)

ブラックホール (BH) の very high state (VHS) は、降着率が最も高い状態であると同時に、光学的に薄く幾何学的に厚い降着流が支配的な low/hard 状態 (LHS) から、光学的に厚く幾何学的に薄い降着円盤が支配的な high/soft 状態 (HSS) にいたる過渡状態である。スペクトルは、HSS に典型的な降着円盤からの軟 X 線放射とともに強い硬 X 線放射を特徴とし、両者の幾何学的配置を決定することは、LHS から HSS への降着円盤の発達を理解する上で、極めて重要である。日本天文学会 2015 年春季年会において、我々は熱的および非熱的電子を考慮した円盤コロナモデルを構築し、すざく衛星で取得した GX339 – 4 の VHS データに適用した。コロナがほぼ完全に非熱的で、円盤が BH 周りの最終安定軌道 (ISCO) から遠方で中断することを示したが、VHS にしばしば観測される低周波 QPO は、降着円盤の内側に存在する高エネルギープラズマ流の Lense-Thirring 効果として理解されており、円盤の最内縁の内側からの放射の記述が課題であった。実際、Axelsson & Done (MNRAS 投稿中) は GX 339 – 4 の VHS データから QPO 成分のみをとりだし、スペクトルが極めて非熱的であることを示しており、非熱的放射の一部は円盤の内側からの放射と考えられる。今回、我々は円盤の内側の高エネルギー降着流を円盤コロナ部と同様に eqpair モデル (Coppi) を用いて記述した。このモデルはデータを非常によく再現し ($\chi^2/dof = 184.1/199$) 内縁の降着流を考慮しないモデルに対して、自由度 1 の増加で $\Delta\chi^2 = 40$ と有意に改善した。 $\tau \sim 0.4$ 程度の非熱的コロナに覆われた円盤は $3R_{\text{ISCO}}$ 程度で消失するが、その内側では、 $\tau \sim 2.5$ 程度の非熱的な降着流が $1.5R_{\text{ISCO}}$ 程度まで存在するという結果を得た。この結果は、Axelsson らによる QPO の解析結果と非常によく一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J104c ブラックホール候補天体 V4641 Sgr のすざく衛星による詳細 X 線観測

山岡 和貴(名古屋大学)、John A. Tomsick(UC Berkeley)、上田 佳宏(京都大学)

V4641 Sgr は 1999 年 9 月に X 線でかに星雲の実に 12 倍にも及ぶ巨大アウトバーストを起こしたブラックホール連星である。1999 年以降、小規模なアウトバーストが毎年のように観測されているが、他のブラックホール候補天体と同様に降着円盤成分が卓越するハイスレート、コンプトン散乱成分が卓越するロースレートのような状態が存在するかどうかは明らかではない。電波ジェットが観測されており、降着円盤とジェットとの関係を明らかにする上でも大事なマイクロクエーサーといえる。

今回、我々は 2014 年 2 月からはじまった小規模アウトバーストを Swift/XRT や MAXI によるモニタ観測、日本の X 線天文衛星すざくと NuSTAR による詳細 X 線観測を実行した。すざくでは 2014 年 3 月 25 日から 28 日かけて 3 日間の観測(正味の時間 99 ksec)を行い、ファクター約 10 倍に及ぶ大きな強度変動(平均的明るさは 10 mCrab 程度)を観測した。また、X 線スペクトルからは H-like、He-like など高階電離した鉄からの輝線がこの天体から初めてクリアに検出され、ブラックホール周辺に光電離プラズマの存在を強く示唆する。本講演ではすざくの観測、解釈について詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J105a **High/Soft Stateにあるブラックホール X線連星 4U 1630–47の「すざく」
NuSTAR 同時観測**

堀貴郁, 上田佳宏 (京都大学), Chris Done, 志達めぐみ

ブラックホール X線連星からは、しばしば、高電離したガスによる降着円盤風が観測される。降着円盤風は、質量降着率と同程度の質量放出率を担うと考えられ、降着円盤全体の力学や、周辺環境への影響を理解する上で重要である。しかし、円盤風がどのような条件で効率良く生成されるかという基本問題はまだまだよく分かっていない。

4U 1630–47は、しばしばアウトバーストを起こす銀河系内ブラックホール X線連星で、High/Soft State (HSS) において円盤風からの鉄 K 吸収線が観測されている (Kubota et al. 2007)。我々は2012年に、HSSより光度の大きな状態である Very High State (VHS) にある同天体を「すざく」で観測し、鉄の K 吸収線が消えていることを発見した (Hori et al. 2014)。これは、HSS で見られた円盤風の放出が弱まったためか、もしくは、強い硬 X線によって鉄イオンが完全電離したためであると考えられるが、どちらが正しいかまだ決着がついていない。この問題を解決するためには、これらの中間の光度において高精度広域 X線スペクトルを調べることが重要である。

我々は2015年2月、「すざく」および NuSTAR を用いて、HSS にある 4U 1630–47 を計3回にわたって ToO 観測した。この結果、2005年の観測時より高い光度における HSS スペクトルの入手に成功した。3回の観測中における光度変化はわずか ~1.3 倍程度であったにもかかわらず、鉄 K 吸収線の等価幅は大きく変化していた。光電離プラズマのシミュレーションにより、この等価幅の減少は硬 X線の増加のみでは説明できないことが分かった。これは光度が増加するにつれ、円盤風の密度または放出半径が減少することを意味する。この傾向は、VHS の観測結果とも合致する。本講演では、観測結果の詳細を報告し、光度に依存した円盤風の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](#)

J106a **MAXI/GSC と Swift/BAT で調べた中性子星低質量 X 線連星系のソフト状態でのコンプトン雲の大きさ**

浅井和美、三原建弘、松岡勝、杉崎睦（理研）ほか MAXI チーム

NS-LMXB は、降着円盤周辺に逆コンプトン散乱を起こすコロナ（コンプトン雲）が存在し、X 線スペクトルのハード成分を作っていると考えられている。コンプトン雲の形状を仮定することで、X 線スペクトル解析から電子温度や光学的厚さなどの物理状態が見積もられている。しかし、コンプトン雲が存在する場所や大きさは不明であり、全体像はつかめていない。我々は、NS-LMXB の中で、Eddington 光度の約 10% 以下で定常的に輝いている 6 つの Atoll 天体について、MAXI/GSC と Swift/BAT のモニタリング観測（2009 年 8 月～）により得られた光度曲線（2–10 keV と 15–50 keV）を解析した。その結果、ソフト状態における 2 バンドの強度比（ハードネス比：HR）が、4U 1820–30 と 4U 1735–44 では平均 0.1 以上であるのに対して、GX 3+1, GX 9+1, GX 9+9, GX 13+1 では 0.05 程度であった。ソフト状態における HR の違いは、電子温度と連星系の傾斜角にも依存し、2 倍程度の違いは、両者の組み合わせ（電子温度：2.5–3.5 keV と傾斜角：30–70°）により、説明可能な範囲ではある（Gladstone et al. 2007）。しかし、4U 1820–30 と GX 3+1 は、電子温度が同程度の値を持ち（Titarchuck et al. 2013）、傾斜角（4U 1820–30： $43 \pm 9^\circ$ 、GX 3+1：35–45°）も極端には異なることから、HR の違いは、コンプトン雲の大きさが関係していると推測した。また、4U 1820–30 は、モニタリング観測中にスペクトル状態遷移が起きているが、同じ光度でも GX 3+1 は遷移を起こしていない。さらに、その遷移光度は他の天体の遷移光度より大きく、4U 1820–30 のコンプトン雲が大きいことを示唆していると推測できる。本講演では、HR と遷移光度の違いをもとに、HR の異なる 2 つのグループのコンプトン雲の相対的な大きさについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J107a Be星-パルサー連星系 PSR B1259-63 の軌道位相に対する X線光度

小野雄貴, 河合誠之 (東京工業大学), 森井幹雄 (統計数理研究所), ほか MAXI チーム

PSR B1259-63 は、Be 星とパルサーが作る連星系である。この連星系の特徴として、3.4 年の軌道周期の中の近星点付近において X 線から高エネルギーガンマ線にわたる広いエネルギー領域で増光することが知られており、この軌道位相で、パルサーが Be 星の星周ガス円盤を通過するためにパルサー風と円盤が相互作用するためだと考えられている。

ところが、全天 X 線監視装置 MAXI の約 5 年にわたる観測によると、この天体を含む領域から近星点付近ではない位相において数回の X 線の増光が見られた。そのような現象は今まで知られておらず、仮に本当であればこの天体の描像に変更を迫るものとなる。しかしながら、MAXI GSC は Slit とコリメータを用いて光子到来方向を決定するために、その解像度は典型的には 1.5° 程度である。これに対し、PSR B1259-63 から 0.16° しか離れていない近傍には IGR J13020-6359 という変動天体があり、単純な解析ではこれまでに観測された増光現象がどちらの天体に起因するのか、区別することは困難であった。

そこで本研究では、X 線画像を GSC の点源の広がりを表す関数 (PSF: Point Spread Function) でフィッティングし、X 線源の位置を正確に決定した。その結果、PSR B1259-63 によると考えられる増光と、IGR J13020-6359 によると考えられる増光を区別でき、増光エピソード 4 回のうち、3 回は PSR B1259-63 の非近星点位相での増光である可能性が高いことがわかった。PSR B1259-63 が非近星点位相で増光しているとする、例えば Be 星が星周円盤以外の方向にもガスを放出した可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J108a X線パルサー GX 1+4 と 4U 1626-67 のパルス波形

鈴木大朗、吉田裕貴、北本俊二、星野晶夫 (立教大-理)

GX 1+4 は自転周期 110-169 秒の X 線パルサーであり、M6 III 型星と中性子星の連星系である。降着円盤を仮定した磁場強度の推定では、 10^{13-14} G 程度であるという報告がある。かつては変化率がほぼ一定でスピニングアップしていたが、1980 年代初期以来同程度の変化率でスピニングダウンに転じている。パルス波形は高エネルギー X 線では正弦波的な形であるが、低エネルギー X 線では比較的フラットになり Dip と呼ばれる特徴的な強度減少を示す。4U 1626-67 は自転周期 7.7 秒程度の X 線パルサーであり、晩期型星との連星系である。サイクロトロン共鳴散乱構造が検出されており磁場強度は 3.2×10^{12} G である。パルス周期は GX 1+4 と同じように変化率がほぼ一定のスピニングアップから同程度の変化率のスピニングダウンに転じている。パルス波形も GX 1+4 とよく似た形を示す。よって、GX 1+4 と 4U 1626-67 は連星系の性質は大きく異なるにもかかわらず共通の放射機構を持つと予想できる。2014 年秋期年会では、GX 1+4 のパルス位相別のスペクトルフィッティングを 2 成分で行い、フラックスの変化をモデルで表す事を試みた。そして、低エネルギー側のペンシルビーム型の放射と高エネルギー側のファンビーム型の放射で説明できることを示した。これらをまとめて、GX 1+4 の質量降着流の簡単な幾何学的モデルを考え、そのモデルによるフラックス変動のシミュレーションを行い大雑把な光度曲線を再現出来た。今回、4U 1626-67 についても GX 1+4 のように位相で分けたスペクトルフィッティングを 2 成分で行い、それぞれのフラックスの変化を求めた。その結果、GX 1+4 のビームパターンと同様に、4U 1626-67 についてもペンシルビームとファンビームの 2 つのビームパターンがあることがわかった。また、両天体のスペクトルフィッティング結果を比較することにより GX 1+4 の磁場強度を推定した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J109b 「すざく」衛星による低質量 X 線連星 Sco X-1 の硬 X 線放射の観測

岡田千穂, 高橋弘充, 中岡竜也, 深沢泰司 (広島大学), 堂谷忠靖, 前田良知, 勝田哲 (ISAS), 森英之 (UMBC), 村上弘志 (東北学院大), 湯浅孝行 (理研)

X 線で全天で一番明るい Sco X-1 は、中性子星をコンパクト星とする低質量 X 線連星 (LMXB) である。Sco X-1 のようなエディントン限界光度 10^{38} erg/s に近い LMXB は、カラーカラー図の上を Horizontal branch、Normalbranch、Flaring branch と呼ばれる 3 つの状態を遷移することが知られており、その 3 つの状態をトレースする形が Z に似ていることから「Z 天体」と呼ばれている。この Z 天体は、近年、BoppoSAX、RXTE、INTEGRAL 衛星により 50keV 以上で熱的放射を卓越するハードテールの検出が報告されている。しかし、この Z 天体は時期や観測天体によって、ハードテールが観測されたりされなかったりし、それは 3 つの状態によってハードテールのフラックスが変化するためだと考えられている。この現象を明らかにできれば、中性子星や降着円盤の内縁付近でハードテールが発生するメカニズムを明らかにすることにつながる。

そこで、実際に Sco X-1 でハードテールが存在しているかを詳細に調べるため、2015 年 3 月 9-12 日に我々が「すざく」で観測を行い、そのデータの解析を行った。Sco X-1 のフラックスは 10keV 以下では 10 Crab と非常に高いため、XIS 検出器の CCD にダメージが生じないように 15 分角のオフセット観測を行っている。HXD-PIN 検出器によって得られた 33ks の全平均スペクトルでは、天体からの放射は 50 keV までは有意であり、15-30 keV のエネルギー帯域では明るいときには 80 counts/s ものカウントレートで、全天で最も明るかった。50 keV 以上で卓越すると考えられるハードテールの検出については、GSO のデータ解析も含めて、バックグラウンドの再現性の制度も考慮した注意深い解析が必要である。本講演では、これらの詳細解析について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J110b Be 型 X 線連星のノーマルアウトバーストの定量的評価

中島基樹 (日大)、三原建弘、杉崎睦、高木利紘、松岡勝 (理研)、他 MAXI チーム

Be 型星と強磁場中性子星の連星 (Be/XRB) は、数桁に及ぶ X 線光度変動を示すトランジェント天体である。頻繁に観測されている X 線増光は、数日から数百日の軌道周期に同期しており、近星点付近を中性子星が通過する際、Be 星の星周円盤から中性子星に質量降着が生じ、X 線のピーク光度が $\sim 10^{37}$ erg/s に達する。この増光は、ノーマルアウトバースト (Normal OutBurst: NOB) と呼ばれている。これまでの観測研究では、シングルピークやマルチピークの NOB のプロファイルを調べるのにガウス関数が用いられ、各種パラメタが調べられていた。しかし非対称な光度曲線に対する再現性の低さが問題となっており、光度曲線に対する十分な定量的評価はなされていなかった。本研究では、NOB の非対称な光度曲線を表す関数として、バーストモデル (線形増光し、指数関数的に減光) を導入し、それぞれのモデルパラメタについて調査した。解析には MAXI/GSC と Swfit/BAT で観測された代表的な Be/XRB である、4U0115+63、V0332+53、EXO 2030+375、GX304-1、GRO J1008-57 の 2-20 keV と 15-50 keV のデータを使用した。解析より、バーストモデルは各天体の NOB の形状をよく再現できることを確かめた。得られたモデルパラメタより、NOB の開始軌道位相の変化から Be 星の星周円盤の形状変動の推定についてや、NOB の増光率とピーク X 線光度の相関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](#)

J111b X線連星パルサー Her X-1 の連続放射スペクトルの新モデルによる解析

近藤 恵介、堂谷 忠靖 (総研大、ISAS/JAXA)、井上 一 (明星大)

X線連星パルサーは、強磁場中性子星と通常の恒星からなる近接連星系で、周期的に強度変動するX線を放射する天体である。この系では、恒星からのガスが中性子星の磁極に向かって流れ込んでおり、定在衝撃波面以降に形成される柱状の高温プラズマ(降着柱)からX線が放射されている。一般に中性子星の磁軸と回転軸は一致しておらず、観測者からは回転に合わせて降着柱が見え隠れするので、中性子星の自転周期に合わせて規則的に変化するX線パルスが観測される。X線連星パルサーからの連続放射スペクトルは、ベキ関数に指数関数的なカットオフを掛けた「ECUTモデル」(N. E. White, et al., 1983, ApJ., 270, 711)や、正負の二種類のベキ関数に指数関数的なカットオフを掛けた「NPEXモデル」(K. Makishima, et al., 1999, ApJ., 525, 978)で良く再現出来る事が知られている。しかし、これらは半経験的モデルで、モデルのパラメータが放射領域の物理量と必ずしも結びついていない。

本研究は、H. Inoue (1975, PASJ, 27, 311)に基づき、X線連星パルサーの連続X線成分を、黒体放射の重ね合わせを基本とする新たなモデルで再現する試みである。我々は、代表的なX線連星パルサー Hercules X-1について、「すざく」衛星搭載のXISとHXDの観測データを0.4-80 keVの範囲で用い、新モデルを適用して解析を行った。結果、観測されたエネルギースペクトルを、パルス平均スペクトル及びパルス位相で分割したスペクトルのそれぞれで良く再現する事ができた。解析結果は、降着柱がこれまで考えられていたよりも細長い形状であり、衝撃波面は中性子星表面から離れたところに形成されている可能性を示唆している。講演では、新たなモデルの概要と解析結果を説明し、従来から推測されていた放射領域のパラメータと比較し議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J112a 位置天文観測による大質量 X 線連星の高密度星質量決定

山口正輝、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)

大質量 X 線連星において、高密度星の質量を正確に測ることは、高密度星の性質を知る上で重要である。質量を測ることで、白色矮星・中性子星・ブラックホールの区別をおおよそ付けることができる。また、中性子星の質量を正確に測れることができれば、連星中性子星におけるシャピロディレイの測定のように中性子星物質の状態方程式を制限することができる。

大質量 X 線連星の星の位置を正確に測ることで、高密度星の質量を測ることが可能である。ある星が伴星を持つと、その重力により天球面上で楕円運動を行う。その運動から軌道要素が測定できるので、伴星 (今の場合高密度星) の質量を知ることができる。最近の位置天文観測プロジェクトでは 10 マイクロ秒角の位置決定精度を目指している。現在稼働中の Gaia は 7 マイクロ秒角、計画中の小型 JASMINE、TMT、GRAVITY(VLT) は 10 マイクロ秒角を要求精度としている。このような位置決定精度で大質量 X 線連星の星の運動を測定したとき、高密度星の質量はどの程度正確に測れるだろうか？高密度星の種類の違いや状態方程式の制限は可能なのだろうか？我々は、個々の大質量 X 線連星に対して、高密度星質量がどの程度正確に測れるかを計算した。

その結果、近傍の大質量 X 線連星 Cas (高密度星が白色矮星か中性子星かわかっていない) の高密度星の質量を、0.03 太陽質量の精度で測れることがわかった。さらに、この高密度星が白色矮星か、中性子星かが 2 の信頼度で判定できることがわかった。また、高密度星が中性子星とわかっている大質量 X 線連星、X Per と V725 Tau (A0535+262) に対して、0.04 太陽質量程度の精度で質量を測定できることが分かった。これは、これらに含まれる中性子星が 2 太陽質量かそれ以上であれば、中性子星物質の状態方程式を制限できることを意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J113a 質量降着を伴わない星質量ブラックホール連星の位置天文衛星による検出数予測と理論モデルへの示唆

川中宣太 (東京大学), Tomasz Bulik (University of Warsaw), Tsvi Piran (Hebrew University of Jerusalem)

太陽の20倍以上の質量を持つ星は、重力崩壊型の超新星爆発を起こしたのち、星質量程度のブラックホールを中心に残すと考えられている。我々の銀河系の星形成率や初期質量関数を考慮すると、系内に存在するこのようなブラックホールの数は 10^{8-9} 個程度と見積もることができる。一方、現在までに確認されている系内ブラックホールは、伴星からの質量降着によって輝いているX線連星の形で観測されている20数個のみである。したがって、系内には連星をなしていない単独ブラックホール、および連星を組んでいるが軌道間隔が広いために質量降着を伴っていないブラックホールが数多く存在することが予想される。これらの存在を観測的に確認できれば、ブラックホールの形成率や質量関数を議論することが可能となる。

我々は、質量降着を伴わないブラックホール連星系は、伴星である星の固有運動を観測することによって観測的に検出できることに着目し、現在の銀河系においてGaiaやNano-JASMINEといった位置天文衛星によって何個程度のブラックホール連星が新たに検出できるかを、共通外層段階、星風によるマスロス、超新星爆発の影響を考慮した連星進化の理論モデルに基づいて見積もった。その結果、Gaiaで $G < 20$ magの明るさにおいて $\sim 300 \mu\text{as}$ の精度を仮定すると、 10^3 個程度のブラックホールの検出が期待できることが分かった。本講演では伴星質量や軌道周期に関する分布の予測、さらに大質量星からのブラックホール形成モデルに関してどのような理論的示唆が期待できるかについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J114a **TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 における Be 星とコンパクト天体の相互作用**

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、遠星点前後にそれぞれ、周期的な鋭いピークを持つ X 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、放射起源に迫る為に、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 のデータに Z-DCF (Z-transformed discrete correlation functions) を用いることで、連星周期は317日程度であることを確認した。更に、X線光度変動と Be 星の状態変化との関係性を調べる為に、X線光度変動と H α 輝線の等価幅や FWHM の変動との相関を調べた。その結果、X線光度変動と H α 輝線の FWHM の相関を示唆する結果を得た。本講演では上記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](#)

J115a **TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 の IRSF/SIRIUS・かなた/HONIR
を用いた近赤外線長期モニタリング観測**

千榊翔, 吉田裕美, 河内明子 (東海大学), 森谷友由希 (広島大学, カブリ IPMU), 岡崎敦男 (北海学園大学), 広島大学かなた望遠鏡観測チーム

HESS J0632+057 はガンマ線連星の一つであり、TeV 領域にまで及ぶ非熱的高エネルギー放射を示す連星系 (軌道周期 ~ 320 日、離心率 0.83) である。この系は Be 星と呼ばれる幾何学的に薄い星周円盤を持つ B 型星 MWC148 とコンパクト天体から成る。このコンパクト天体はパルサーであるとする説とブラックホールとする説の 2 つの競合案が提示されているが、正体は分かっていない。

遠星点 (コンパクト天体までの距離 $\sim 100R_s$ 、 R_s は Be 星の半径) 前後に非熱的放射の増光が観測される一方で、コンパクト天体が Be 星の星周円盤のごく近傍 ($\sim 10R_s$) ないしは内部を通過する近星点での変動はなく、放射機構の理解が難しい。近星点の振る舞いについては、高密度のガス円盤に依ってパルサー風が抑止されるモデルも提唱されており、円盤の物理量がどう変動するかは興味深い。我々は南アフリカ天文台近赤外線観測施設 IRSF の SIRIUS カメラを用いて JHKs バンド 3 色の観測を 2010 年より 5 年間にわたり 81 夜行った。我々の観測は遠星点前後の増光期間をカバーしている。これに加えて広島大学かなた望遠鏡/HONIR で 2014 年、2015 年に近星点直前と直後をカバーする 20 夜の観測を行った。これら 2 つの望遠鏡から得られたデータを用い、光度曲線を作成した。本講演では観測結果の報告と、示唆されるコンパクト天体の Be 星ガス円盤への影響について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J116a **ガンマ線連星系 PSRB1259–63/LS2883 近星点通過時の近赤外線光度変動**

河内明子, 吉田裕美 (東海大学), 岡崎敦男 (北海学園大学), 森谷友由希 (カブリIPMU)

これまで GeV/TeV ガンマ線放射が検出された連星系はいずれも大質量星とコンパクト天体から成っている。その中でも、PSR B1259–63 と Be 星 LS 2883 が周期 3.4 年離心率 0.87 の連星系を構成している本研究のターゲットはコンパクト天体がパルサーと判明している唯一の物であり、放射機構の詳細な研究が可能である。近星点辺りでは電波から TeV ガンマ線という幅広いエネルギーに亘って特徴的な放射変動が観測されており、Be 星の星周ガス円盤、恒星風とパルサー風が位相に応じて複雑に位置関係を変えながら相互作用していると考えられる。

この系では近星点前後にそれぞれ一回、ガス円盤の比較的高密度な部分をパルサーが通過するが、潮汐相互作用やパルサー風の高エネルギープラズマがガス円盤に与える影響、それに依って非熱的放射がどう変化するかは分かっていない。我々は LS 2883 のガス円盤の変動に着目し、南アフリカ天文台 SAAO 赤外線観測施設 IRSF の SIRIUS カメラを用いて、近赤外線 J, H, K_s の 3 色で測光観測を試みた。観測は 2010 年 12 月から 1 月および 2014 年 4 月から 5 月、2 周期分の近星点近傍を狙って行った。前後の静穏期に散発的に観測した他、近星点を挟む 5 週間程度を集中的に観測。電波観測から示唆される、パルサーがガス円盤を通過する期間をカバーしている。

現時点での解析から得られた光度曲線では、近星点前から徐々に増光し、近星点を過ぎてピークがゆっくりと戻っていく非対称な変動傾向が得られている。変化の様子は天候条件が違う 2010 年、2014 年でほぼ一致しており、3 色の増減のタイミングは同一だが、色指数の変化が見えている。本講演では最終解析結果を報告し、パルサーとガス円盤の潮汐相互作用の影響の大きさと放射機構の変動等を検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J117a **TeV ガンマ線連星系 PSR B125963/LS 2883 において Be 星ガス円盤の密度分布が X 線放射に与える影響**

小早川達也 (東海大学), 河内明子 (東海大学), 岡崎敦男 (北海学園大学), 高田順平 (華中科技大学、中国)

ガンマ線連星系 PSR B1259-63/LS2883 は 回転駆動型パルサーと Be 星 (赤道方向にガス円盤を持つ大質量星) との連星系である。3.4 年の軌道周期のこの系では近星点の近傍で、電波から TeV ガンマ線までの広い波長域で変動する非熱的放射が検出され、特に近星点前後で 2 つのピークを持つ光度曲線が確認されている。この非熱的放射はパルサー風と Be 星のガス円盤ないし恒星風との衝突によって生じる衝撃波領域による粒子加速に起因すると考えられている。この系の相互作用と放射を研究するために我々は SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いた流体シミュレーションを行い、位相毎にシンクロトロン放射量をグリッド単位で計算し、積分して X 線光度曲線を求めた。

本研究では、Be 星ガス円盤に対し観測から得られる物理量の範囲で変数を振り、光度曲線への影響を調べた。① Be 星ガス円盤の密度分布に於ける星表面での密度 ρ_0 (g/cm^3) を 10^{-9} から 10^{-11} 程度と、Be 星標準に近い値に変更した。ただし、密度勾配を調整してパルサー通過位置での密度 ρ' は同程度になるようにした。光度曲線の動向は同一になり、ピーク強度は ρ' のファクターの比を反映することがわかった。② 連星軌道面とガス円盤のなす傾き角 ϕ は観測から 45° よりも小さいという示唆に従い、変更した。 ϕ が小さい場合、相互作用の期間が長くなり、光度曲線の形状は ϕ の値に敏感に大きく変化することがわかった。パルサーのガス円盤通過時の相互作用が複雑に変化していることが考えられる。本講演では、これらの結果について詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J118a **ULX M82 X-2 における降着モード (2)**

鷹野重之 (九産大)

最近の NuSTAR 衛星による観測により, M82 内にある ULX である M82 X-2 は中性子星を含む連星系であることが明らかとなった. その X 線輝度を説明するのに要求される大きな質量降着率を達成する上で, 中性子星への質量輸送モードとして Roche Lobe Over Flow (RLOF) が起きていることが示唆されている. しかし, RLOF が起こるためには, 主星側に様々な制約が課せられる. M82 X-2 のように, 非常に近接した (軌道周期 2.5 日) 連星系では, 軌道長半径がきわめて短いため, 主星半径に非常に厳しい制約がつく. 本研究では, M82 X-2 で RLOF が起こるとの仮定に基づき, 星進化計算と比較することで, 主星の満たすべき条件について考察する. 検討の結果, 主星は 20 太陽質量程度の主系列星, または 5 太陽質量程度の比較的軽い星が Hertzsprung gap を渡る段階にある場合に, RLOF の条件を満たすことができることがわかった. すくなくとも, 主星は巨星段階までは進化していないことは間違いなさそうである. この結果は星進化を組み込んだ population synthesis などの結果と併せて検討されるべきものであり, ULX の観測から系外銀河の連星系進化や星形成についての情報を得られる貴重な例と考えられる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J119a 一般相対論的輻射磁気流体計算による円盤コロナの形成について

高橋博之(国立天文台)、大須賀健(国立天文台)、川島朋尚(国立天文台)、関口雄一郎(京都大学)

ブラックホール候補天体からは様々な放射スペクトル/アクティビティが観測されており、これらはブラックホール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 3 次元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。この高温ガス雲の大きさは磁場形状によって決まっており、ポロイダル磁場優勢の場合にはこの領域がより広く広がることがわかった。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。具体的にはポロイダル磁場が強く、ブラックホールが回転している場合に高温ガスがより明確に現れる事が解った。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](#)

J120a

3D GRMHD 数値実験によるブラックホール降着円盤とジェット形成

水田晃、戒崎俊一（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、磁場が重要であると考えられる。降着円盤内部では磁気回転不安定性等によって磁場が強く増幅されると考えられ、降着ガスと共にブラックホールへ落ち込み、その一部はアウトフロー中にも伝播する。アウトフロー中の大強度、大振幅のアルフヴェン波による宇宙線加速機構への応用も提唱されている (Ebisuzaki & Tajima 2014)。

磁気駆動型モデルの一つである Blandford-Znajek 機構 (1977) では、回転するブラックホールと磁場との相互作用によってブラックホールの回転エネルギーをポインティングフラックスによって引き抜けることが示されたが、ブラックホールの無限小回転などが仮定されており、より現実的な状況においては、数値シミュレーションによる解析が必須である。本研究では、回転するブラックホール周りの平衡円盤解 (Fishbone-Moncrief 解) にポロイダル弱磁場を初期条件に与えることによって系を時間発展させる 3次元一般相対論的磁気流体シミュレーションを行った。

その結果、初期に与えた弱磁場は回転による巻き込み、磁気回転不安定性などで増幅され、飽和、磁気散逸による磁気エネルギーの解放が繰り返しおきる様子が見られた。また、ブラックホール回転軸方向には低密度、磁場優勢のアウトフローが生じ、円盤の縁を沿うように円盤風も見られる。アウトフロー中には電磁エネルギーに関する時間変動が見られ、アルフヴェン波による宇宙線加速の可能性に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J121a コンパクト天体連星合体からの質量放出

関口雄一郎

r プロセス元素合成の起源天体として、2010年頃までは超新星爆発が有力視されていたが、近年の理論研究により、観測と合致するような元素合成パターンを達成するのが極めて難しいことが明らかとなり、超新星爆発が r プロセス元素合成の起源天体である可能性に多くの疑問が投げかけられている。代わって注目を集めているのが、コンパクト天体 (中性子星およびブラックホール) 連星の合体時に放出される中性子過剰の物質中での r プロセス元素合成である。

これに対し、これまで我々は、連星中性子星合体の一般相対論的なニュートリノ輻射流体シミュレーションを行い、合体時に放出されるエジェクタの熱力学特性を明らかにし、得られた流体場を用いて元素合成計算を行い、連星中性子星合体での r プロセスが観測的制約を満たすことを明かにした。本発表は、これまでの研究をブラックホール-中性子星連星の合体の場合に拡張したものである。

ブラックホール-中性子星連星の合体は有望な重力波源でもある。合体時に放出される中性子過剰のエジェクタで合成される r プロセス元素の崩壊熱をエネルギー源とする電磁波放射が対応天体として有望視されている。そこで、重力波の電磁波対応天体としての可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J122a 初期宇宙における多重ブラックホールの合体過程の研究

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), 矢野太平 (国立天文台)

近年、 $z > 6$ で、10 億太陽質量以上の超巨大 BH をもつような QSOs が多数観測されているが、これらの超巨大 BH が合体によって成長したのか、ガス降着によって成長したのか、その形成過程は現在のところ解明されていない。その起源として初代星残余物の種 BH を仮定した場合、ガスの質量降着だけでは観測されている質量に成長することは難しいことが、先行研究により示唆されている (Milosavljevic et al. 2009)。これらの問題は、中間質量 BH を初期宇宙で作ることができれば、解決すると考えられているが、現在のところ、作ることが出来るか明らかでない。そこで、BH の合体による成長により中間質量 BH が作れるか調べることを研究の目的とする。

本研究の背景となる初代星が誕生する頃は、ガスが豊富であり、またガスによる力学的摩擦の効果が BH 合体に対して有意に効く可能性が先行研究で示唆されている (Tanaka & Haiman 2009)。さらに、ガスの効果を考慮した合体過程において、多重 BH の場合には、力学的摩擦により落ち込んだ 3 体目の BH との 3 体相互作用の効果が期待できるため、そのような系を調べることは重要である。そこで、Tagawa et al. (2015) では、ガス降着が効かない場合には、初代星形成のシミュレーション (Susa et al. 2014) の結果に基づいたパラメーター領域において、初代星から生まれた多重の BH が 1000 万年程度で 1 つに合体できることを示した。

一方今回は、ガス降着の影響を考慮した場合の、3 体以上の BH を持つ系における合体過程の研究を行った。計算を行った結果、ガスの降着率によって、BH の合体が BH の成長に寄与するかどうかが大きく変化することが明らかになった。そこで、BH の合体が BH の成長に有意に効くようなパラメーター領域の条件を調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J123c $2M_{\odot}$ の最大質量を満足する高密度星の熱的進化モデル

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)

$2M_{\odot}$ の質量を持つ高密度星が観測され、高密度核物質の状態方程式への強い制限となった。高密度星の内部は、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といった興味深い現象が出現すると考えられており、議論が繰り返されている。 $2M_{\odot}$ の高密度星の観測は、核物質の状態方程式を用い TOV 方程式を解いた際に、最大質量が $2M_{\odot}$ に到達しなければならない、という強い制限となる。

高密度物質の状態は、ニュートリノ放射に顕著に現れ、高密度星の熱的進化に直結する。重い質量を支えるためには、状態方程式が硬くなければならないが、硬い状態方程式ではエキゾチックな状態が出現せず、一部の高密度星の温度を説明できなくなってしまう。高密度星の熱的進化においても、この $2M_{\odot}$ の質量を持つ高密度星は、大きな制限となっており、矛盾のないモデル構築が必要とされる。

本研究では、クォーク物質を考慮した高密度星のモデルを構築し、熱的進化のシミュレーションを行った。その結果、 $2M_{\odot}$ の最大質量を満足し、他の観測結果を含めて統一的に説明可能であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J124b 超臨界降着による超巨大ブラックホールの形成条件

稲吉恒平, Zoltán Haiman, Jeremiah P. Ostriker (Columbia University)

宇宙初期 ($z > 6$) に観測されている超巨大ブラックホール ($\sim 10^9 M_{\odot}$) の存在は、ブラックホール (BH) の形成過程に対して強い制限を与えている。その中でも宇宙初期の星形成の研究から、初代星 ($\sim 100 M_{\odot}$) や超大質量星 ($\gtrsim 10^5 M_{\odot}$) の重力崩壊によりできる BH が種となり、それらがガス降着により成長することで超巨大 BH を形成するシナリオが考えられている。しかし、そのためにはエディントン降着率あるいはそれを越えるような超臨界降着率での成長が必要であり、それが実現される条件を調べることが必要である。

本講演では、種ブラックホール ($100 \sim 10^5 M_{\odot}$) が超臨界降着率で成長できるための条件を議論する。1次元輻射流体計算 (ZEUS) に輻射電離と化学反応の効果を加えたコードを用いて、BH の重力圏半径 (ボンディ半径) から BH 近傍まで降着するガスのダイナミクスの時間発展を調べた。結果、星質量 BH へのガス降着の場合、BH 近傍からの電離光子による加熱によって、BH のボンディ半径からのガス降着が抑制されて超臨界降着は実現できないことが分かった。一方で、中間質量 BH へのガス降着の場合 ($\gtrsim 10^4 M_{\odot}$)、輻射圧と電離加熱によるフィードバックは重要ではなくなり、降着流の性質は等温 (~ 8000 K) の定常降着流の解 ($\dot{M} \gtrsim 5000 L_{\text{Edd}}/c^2$) に収束することが分かった。また、輻射フィードバックを抑えて超臨界降着の定常解を実現する条件として、 $(M_{\text{BH}}/10^4 M_{\odot})(n_{\infty}/10^5 \text{ cm}^{-3}) \gtrsim 1$ が得られた (M_{BH} は BH 質量、 n_{∞} はボンディ半径でのガス密度)。この結果から、超大質量星の崩壊により形成される中間質量 BH は超臨界降着により急成長することが可能で、超巨大 BH の種として有望であると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J125b 相対論粒子シミュレーションのための分布関数生成アルゴリズム

銭谷誠司 (国立天文台)

乱数を用いた速度分布関数の初期化は、プラズマ粒子シミュレーションの基本的な要素技術の1つである。非相対論プラズマでは、例えば正規分布を生成する Box-Muller 法などの標準アルゴリズムが知られている。しかし、相対論プラズマで粒子分布を生成するアルゴリズムはよく知られておらず、この分野に参入する障壁の一つになっている。本講演ではまず、相対論的 Maxwell 分布 (Juttner-Synge 分布) を生成するアルゴリズムとして、モンテカルロ業界で使われている Sobol 法 (1976) を再訪する。次に、系が相対論的なバルク速度で動いている場合には、エネルギー・運動量と時空の2つの部分のローレンツ変換を考慮する必要があるが、このことを表立って論じた文献はない。我々は、ローレンツ変換の時空パートを処理する2種類の簡単なアルゴリズム、効率 50% の汎用棄却法および効率 100% の flip 法を提案する。最後に、いくつかのテスト問題や、相対論的衝撃波における粒子加速問題で、これらのアルゴリズムの有効性を検証する。

- Zenitani, *Phys. Plasmas* **22**, 042116 (2015).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J126a **NGHXT で狙うブラックホールのサイエンス II**

信川正順, 上田佳宏, 鶴剛 (京都大学), 久保田あや (芝浦工業大学), 中澤知洋 (東京大学), 高橋忠幸 (JAXA/ISAS), 栗木久光, 寺島雄一 (愛媛大学), 森浩二 (宮崎大学), 井上一 (明星大学), 他
NGHXT チーム

NGHXT は、10 keV 以上の硬 X 線バンドにおいて、既存衛星の 1 桁上の点源検出感度を実現する画期的なミッションであり、隠れたブラックホールの探査に絶大な威力を発揮する。NGHXT は主要科学目標として (1) 巨大ブラックホールと銀河の共進化、(2) 天の川銀河の構成と形成史、の解明を目指している。天文学会 2015 年春季年会 (W132a) において、(1) を重点的に報告した。本講演では (2) を中心に議論する。

年齢 100 億年の天の川銀河には、超新星爆発で生まれる 10^7 – 10^8 個の恒星質量ブラックホールが存在しているはずだが、これまで 20 天体程度しか同定されていない。つまり、銀河系内には多数の「ミッシングブラックホール」が潜んでいる。近年、「すざく」や INTEGRAL などの観測から、10 keV 以上の硬 X 線バンドにおいて銀河リッジ X 線放射 (GRXE) にハード ($\Gamma \sim 1.5$) な非熱的成分が存在することがわかってきた (e.g., Yuasa, T., et al. 2008, PASJ, 60, 207; Turler, M., et al. 2010, A&A, 512, AA49)。さらに NuSTAR は銀河中心領域において、10 keV 以下の熱的成分と分布が異なることを発見した (Kerstin et al. 2015, Nature, 520, 646)。軟 X 線帯域では強磁場白色矮星連星系が主要起原だと考えられてきたが、この事実は 10 keV 以上では別起原であることを示す。その可能性として、ミッシングブラックホールの重ね合わせが考えられる。NGHXT により GRXE 硬 X 線放射を空間分解することで、未知のブラックホールを発見し、その質量分布を求め、銀河系形成史を解明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J127a **MAXI J1957+032 の発見と MAXI が検出した 2015 年度前半の突発現象**

根来 均, 中島基樹 (日本大学), 芹野 素子, 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 上野史朗, 富田 洋, 中平聡志 (JAXA), 兼藤聡一郎, 坪井陽子 (中央大学), 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI は、この春、2018 年 3 月までの運用延長が認められ、2015 年春季年会以降も多くの突発現象を検出し、6 月 15 日の時点で MAXI チームから The Astronomer's Telegram (ATel) に 5 つ、The Gamma-ray Coordinates Network (GCN) に 8 つの報告を行った。また、MAXI と Swift/BAT の公開データを用いて、ブラックホール候補天体 H 1743-322 (Zhang et al. ATel 7607) や GS 1354-64 (Miller et al. ATel 7612) の再増光の報告など、海外の研究者らによる ATel への報告や Swift ToO も頻繁に行われるようになった。

5 月 14 日には、INTEGRAL と独立して (IGR J19566+0326, Cherepashchuk et al. ATel 7506)、新天体 MAXI J1957+032 が発見され、報告した (Negoro et al. ATel 7504)。5 月 11 日から 2 日間、MAXI の検出限界近くの 8-10 mCrab で観測され、その後、急激に減光しており、その正体はまだわかっていない。また、ブラックホール候補天体 XTE J1856+053 の再増光 (ATel 7579)、4U 1850-08 から Eddington 光度を超える約 6×10^{38} erg/s の X 線バースト (ATel 7500)、そして、Be パルサー GX 304-1 と GRO J1008-57 の Type-I アウトバースト (Nakajima et al. ATel 9441, 9490) も検出し、ATel に報告した。

GRB に関しては、2015 年春季年会以降、4 月の 5 つを含む 8 つの GRB を 6 月 15 日までに検出した。この半年で、すでにこれまでの年間の最大数 12 を超える 15 つの GRB を検出しており、延長が認められた今後にも十分な成果が期待できる。講演では、これらの MAXI がこの半年間で検出した突発現象のうち、主に ATel や GCN に報告した内容について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J128a **ブラックウィドウ パルサー 2FGL J1311.6–3429 からの可視光輝線検出**

谷津陽一, 吉井健敏, 斉藤嘉彦, 河合誠之 (東京工業大学・理), 服部堯 (国立天文台・すばる観測所), 片岡淳 (早稲田大・理工)

近年、フェルミガンマ線天文台の発見したガンマ線源などから、低質量 X 線連星と単独のミリ秒パルサーの間種と考えられている「伴星からの質量降着が終わりつつある連星系」がいくつも発見されている。特に最近注目を集めているのが、降着駆動と回転駆動の状態を数分単位で行ったり来たりしている ”Swinging Pulsars” であり、パルサー周辺での質量降着や磁気圏活動のメカニズムを理解する上できわめて重要なサンプルといえる。

2FGL J1311.6–3429 はフェルミの未同定ガンマ線源リストの中でも一際明るい天体であり、2012 年の我々の可視光観測により、パルサー風が伴星を蒸発させつつあるブラックウィドウパルサーであることが明らかになっている。公転周期はおよそ 1.55 時間とかなり近接した連星系であり、X 線や可視光でおよそ 1 万秒スケールの不規則なフレアを起こす点特徴的であるが、その発生機構は全く分かっていなかった。我々はこの不規則フレアの発生機構を明らかにするため、すばる望遠鏡/FOCAS を用いて、およそ 10 分の時間分解能で可視光スペクトルの時間変化を追跡した。その結果、約 5 時間の観測中に 2 回のフレアに遭遇し、その増光中に HeI の輝線を検出した。輝線放射はそれぞれのフレアで約 1 時間ほど継続し、その形状が短波側に吸収線を伴った P cygni 構造から、ダブルピーク構造へと徐々に変化していく様子を捉えた。我々は、この現象が一時的な降着円盤の形成に関連すると考えており、この仮説が正しければ本天体が第 4 番目の Swinging Pulsar となる可能性もあり得る。本講演ではこれら解析結果と解釈について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J129a 若いパルサー PSR J2022+3842 の Fermi 衛星による γ 線観測

大内 遙河、有元 誠、谷津 陽一、中森 健之、河合 誠之

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はそれぞれ 3.0×10^{37} erg/s と 8.9 kyr である為、Vela-like なパルサーであると言える。このパルサーはこれまでに X 線と電波による観測が行われてきたが、 γ 線での研究は行われてこなかった。PSR J2022+3842 は銀河面に位置するため背景および周辺からの γ 線の混入が多く、解析が難しいためである。

今回私は Fermi 衛星の約 7 年分のデータを用いて PSR J2022+3842 の解析を行った。その結果、PSR J2022+3842 の γ 線パルス放射を確認した。また、2009 年 6 月にグリッチとそれに伴う増光、およびグリッチ前後でのパルス波形の変化も観測された。

本講演では以上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](#)

J130b X線新星の降着円盤の状態変化と絶対光度の関係の検証

増満隆洋, 藤田麻希子, 根来均 (日本大学) ほか MAXI チーム

Maccarone (2003) は、過去の観測データからブラックホール候補天体と中性子星の光度変化に伴う降着円盤の状態変化を調査し、ソフトからハード状態へ遷移する時の光度が Eddington 光度の 1-4% であることを示した。また、Yu ら (2007) は、ハードからソフト状態に遷移する時は絶対光度に依存するのではなく、ソフト状態の最高光度に依存する関係を示した。そこで我々は、全天 X 線観視装置 MAXI のデータを用いてブラックホール候補天体の状態遷移と光度の関係について調査している。5 年以上に渡る MAXI によるモニタリング観測の結果、例えば、Cyg X-1 や H 1743-322 は MAXI によって 5 度以上の状態遷移やアウトバーストが観測されており、上記の結果を検証する統計的な議論が十分可能になった。

例えば、これまで Yu らによってもっともよく調べられた GX 339-4 も 2 度のアウトバーストが検出されており、そのハードネスレシオの変化から (4-10 keV と 2-4 keV のカウント比が 0.5 のところを状態遷移したとみなすと)、1 回目のアウトバーストでは、2010 年 4 月 27-29 日付近でハードからソフト状態へ、2011 年 2 月 8 日辺りでソフトからハード状態に遷移したとみなすことができる。前者のソフト状態への遷移時のスペクトルは diskbb モデルと power-law モデルの 2 成分で表せ、各成分の bolometric luminosity からそれらの足し合わせた光度は、Eddington 光度の約 7.7% であることがわかった (GX 339-4 の距離と質量は、それぞれ、Hynes ら (2003, 2004) の 6 kpc と $5.8 M_{\odot}$ を用いた)。発表では、GX 339-4 以外の結果を含め上記の調査結果を報告し、また、その結果を用いてこれまで MAXI が発見した X 線新星までの距離を見積もる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J131b Ghosh & Lamb の式による中性子星の質量・半径および距離の推定

高木利紘 (理研/日大), 三原建弘, 杉崎睦 (理研), 他 MAXI チーム

4U 1626–67 は 7.6 秒のパルス周期を持つ低質量 X 線連星パルサーである。パルス周期が発見された 1977 年から現在まで数多くパルス周期が測られ、パルス周期が短くなる Spin-up 期と長くなる Spin-down 期を繰り返すことが知られている。我々は全天 X 線監視装置 MAXI を用いて、この天体の MJD 55110 から MJD 56550 におけるパルス周期 P とその変化率 \dot{P} 、光度 F_X を求めた (日本天文学会 2013 秋季年会, 高木)。 F_X の増加に伴い \dot{P} が増加していた。この天体はサイクロトロン共鳴により磁場が測られているので、Ghosh & Lamb (1979) で導かれている天体の光度 L_X と \dot{P} の関係式 (GL 式) を適用することができる。GL 式的主要パラメータは、中性子星の質量 M 、半径 R 、慣性モーメント I 、磁場強度 B 、パルス周期 P である。GL 式と MAXI および過去の観測における F_X と \dot{P} を用いて、天体までの距離 D の推定を試みた (日本天文学会 2014 春季年会, 高木)。GL 式では M 、 R と I が独立な変数であるので、 M と R を求められる。現在提案されている中性子星の状態方程式の内の 3 つ (SLy、APR、Shen) について、それぞれで観測データに合う M と D の範囲を求めたところ、SLy では $M \sim 1.5 - 1.8M_\odot$ 、 $D \sim 9 - 10$ kpc、APR では $M \sim 1.8 - 2.2M_\odot$ 、 $D \sim 10 - 11$ kpc という範囲が得られた。求めた D の範囲は、SLy と APR の両方とも Chakrabarty (1998) の結果 $D = 5 - 13$ kpc と一致している。Shen の場合は観測データに合う値はなかった。このように GL 式を仮定すれば、観測された F_X と \dot{P} から中性子星の M と R を求められる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J132b **325MHz 帯におけるカニパルサー GRP の dispersion measure と decay time の時間変動**

廣島渚¹、寺澤敏夫¹、三上諒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

パルサー由来の電波パルスの観測では群遅延効果を利用して視線上の星間プラズマ電子の総量 dispersion measure(DM) が測られる。また、非一様な星間プラズマ電子の散乱効果に起因して実効的な光路長が伸びるため、ライトカーブでは指数関数的な減衰が見られる。減衰の時間スケール τ_d は周波数に強く依存する。カニパルサーでは DM の年スケールでの時間変動が他のパルサーと比べて数倍激しく、さらに、DM がごくわずかに増加したときに τ_d が非常に大きくなるのが問題になっている。この解明には多波長で τ_d の DM 依存性を求める必要がある。しかし、DM と τ_d の相関を具体的に求めた先行研究は 1 例しかなく、Giant Radio Pulse(GRP) とよばれる突発的な大強度電波パルスを用いた 111MHz 帯での解析 (Kuzmin et al., 2008) のみであった。

我々は東北大学飯館観測所でカニパルサー観測を 2014 年 6 月、7 月、9 月及び 2015 年 4 月、5 月に計 6 回実施し、GRP を用いて DM と τ_d の時間変動の相関を 325MHz 帯で初めて求めた。各観測日の DM として同時観測した鹿島・臼田での 1.4GHz 帯及び 2.2GHz 帯でのパルス微細構造から決めた値、あるいは観測日前後 1 日での Jodrell Bank 天文台の公開値を採用したところ、観測期間を通じて DM 値は $56.75\text{pc}/\text{cm}^3$ から 0.7 % 程度変化したのに対し、 τ_d は 0.5ms から 2 倍程度変化し正の相関を示した。DM の増分に対する τ_d の増分は先行研究と同じ傾向にあった。本講演ではその詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J133c

Crab パルサー GRP 間の相関：太陽風シンチレーション効果の可能性

寺澤敏夫¹、三澤浩昭²、土屋史紀²、北元²、関戸衛³、岳藤一宏³、竹内央⁴、徳丸宗利⁵、三上諒¹、廣島渚¹、浅野勝晃¹、田中周太¹、木坂将大⁶；1:東京大学、2:東北大学、3:情報通信研究機構、4:宇宙航空研究開発機構、5:名古屋大学、6:KEK 素核研

Crab パルサー巨大電波パルス (Giant Radio Pulse, GRP) は、ほぼ半世紀前の発見以来、成因が不明のままであるが、Crab パルサー磁気圏解明の手掛かりを得るために重要であると考えられている。Crab の GRP の特徴として、通常パルスと同じ Main pulse (MP)、interpulse (IP) の 2 つの位相に出現すること、個々の GRP の出現頻度はポアソン分布に従い互に無相関であること (e.g. 関戸他、2012 秋天文学会講演) が知られている。しかるに我々は、2014/6/1 に東北大飯館観測所で観測した 325MHz 帯 GRP の出現頻度がポアソン分布から逸脱し、0.3~0.6 秒程度の相関特性時間を持つことを見出した。一方、同じ飯館 325MHz 帯の 2014/9/6-7(UT) の観測では、そのような GRP 間の相関はなく、出現頻度はポアソン分布に従っていた。ここで、6月と9月の観測条件には Crab の太陽離角 (前者は約 15 度、後者は約 81 度) の違いがあり、また 0.3~0.6 秒程度の相関特性時間は電波星太陽風シンチレーションに通常見られるものである。このことから、我々は 2014/6/1 の観測で見出された GRP 間の相関は、パルサー固有もしくは星間空間伝搬過程起源のものではなく、太陽風シンチレーションにより生じた見かけのものであると考えている。発表では、関連した理論的考察についても述べると共に、Crab パルサー追観測 (2015/6~7 に予定) の結果についても報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J134c 誘導コンプトン散乱の天体現象への応用に向けて

田中周太 (東京大学)

我々は誘導コンプトン散乱という物理過程を研究してきた。この過程は、パルサーからの電波パルス、太陽の電波バースト、近年発見された高速電波バーストなどの高輝度天体現象で卓越すると思われる。誘導コンプトン散乱という過程は光子とプラズマの非線形相互作用であるため、散乱による光子分布関数の時間変化を非線形発展段階まで追うことは困難であった。しかし我々のこれまでの研究によって、等方的な系に関しては、光子スペクトルの時間変化を長時間追える方程式を見出した。またその結果、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のがわかった。

本研究では、天体現象への誘導コンプトン散乱の応用を考える。これまでの研究で得られた光子スペクトルの特徴的な振る舞いと、いくつかの天体現象、パルサーからの巨大電波パルスや太陽の電波バースト、で見られる線スペクトル構造に注目する。一方、これまでの研究では等方的な系を仮定するなど、現実的な現象に耐えうるような定式化でなかったため、天体現象への応用に向けた研究の発展に向けても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J135a 「すざく」によるマグネター 1E 1547.0–5408 の自由歳差運動の検出 (2)

牧島一夫 (理研)、榎戸輝揚 (京大白眉)、村上浩章、古田祿大、中野俊男、中澤知洋 (東大理)

我々は「すざく」により、マグネター 4U 0142+61 の周期 $P = 8.689 \text{ sec}$ の硬 X 線パルスの位相が、周期 $T = 55 \text{ ksec}$ で振幅 0.7–1.3 秒の位相変調を示すことを発見した [1-3]。また最速自転マグネター 1E 1547.0–5408 の「すざく」データから、 $P = 2.0721 \text{ sec}$ の硬 X 線パルスが、同様に周期 $T = 36_{-3}^{+4} \text{ ksec}$ で振幅 $A = 0.52 \pm 0.14 \text{ sec}$ の位相変調を受けていることを発見した [4]。これらの現象は、中性子星が $\epsilon \equiv \Delta I/I = P/T$ (I は慣性モーメント) だけ軸対称に変形したため、自由歳差運動が周期 $P' = P/(1 \pm P/T)$ で発生し、さらに硬 X 線の放射パターンが星の軸対称性を破るために、 P と P' のビートとして周期 T でパルスに位相変調が起きた結果と解釈される。このような変形は、星内部に存在する強度 $\sim 10^{16} \text{ G}$ のトロイダル磁場の磁気応力に起因する可能性が高い。

今回は 1E1547.0–5408 のデータを追解析し、以下の結果 (一部 [4] で報告済) を得て、[4] での報告を強化することができた。(1) HXD で得られた 15–40 keV のパルス波形は時間変動し、確かに周期 28–45 ks の成分が強い。(2) $T = 36 \text{ ks}$ の位相別に集積した硬 X 線パルス波形には、正弦波的な位相変動が目視できる。(3) これら周期的な位相変調がランダムに生起する確率は $< 0.4\%$ である。(3) タイミングモードで取得された XIS0 データでは、10–14 keV でこの現象が再現する。(4) $< 10 \text{ keV}$ では振幅変調 A が急減し $< 4 \text{ keV}$ では $A \sim 0$ となる。

1E 1547–5408 のこれらの結果を 4U 0142+61 の結果と比べると、前者の $\epsilon = 0.6 \times 10^{-4}$ は後者の $\epsilon = 1.6 \times 10^{-4}$ とほぼ同じオーダーで、上記の性質 (4) も両者に共通である。他方おもな相違点として、前者での位相変調の相対振幅 $A/P = 0.27 \pm 0.02$ が、後者の $A/P = 0.08 - 0.14$ (時期により変化) より有意に大きいことが挙げられる。

[1]Makishima+14 [2] 牧島+ 13 春 J72a, 14 秋 J133a, [3] 村上+ 14 秋 J135a, 14 秋 J124a, [4] 牧島+ 15 春 J125a

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J136a マグネター 1E 1841-045 および 1RXS J170849.0-400910 の「すざく」による硬 X 線パルス復調解析

村上浩章（東大理）、牧島一夫（理研）、中澤知洋（東大理）

マグネターの X 線スペクトルは特徴的な硬軟二成分からなり、とくに硬 X 線成分は極端に硬いベキをもつことで知られている。われわれは、「すざく」衛星によりマグネター 4U 0142+61 および 1E 1547.0-5408 を観測し、この硬 X 線のパルス位相が変調していることを発見した [1-6]。これは、中性子星が強度 $B_t \sim 10^{16}$ G のトロイダル磁場によりわずかに軸対称変形したことで、自由歳差運動が発生し、さらに遠方から見た硬 X 線の放射パターンが磁気軸まわりに非対称なために、自転周期と歳差周期がビートを起こした結果と解釈できる。

この現象の理解を進めるために、われわれは「すざく」のアーカイブデータの中から、硬 X 線帯域で十分なフラックスをもつ 1E 1841-045 および 1RXS J170849.0-400910 の 2 天体、計 3 観測に注目してデータ解析を行った。XIS を用いることで、それぞれの天体の軟 X 線パルス周期は $P \sim 11.78$ sec、 $P \sim 11.01$ sec と求められた。一方で硬 X 線パルスは、1E 1841 では (周期 T , 振幅 A) = (29.5 ksec, 1.9 sec)、J1708 の 2009 年の観測では (T, A) = (30 ksec, 1.1 sec) の周囲に位相変調の徴候が見られる。これらは一例目や二例目ほど顕著ではないが、磁気変形した中性子星による自由歳差運動の描像に当てはめると、やはり $B_t \sim 10^{16}$ G のトロイダル磁場があると考えて矛盾のない結果である。またこのとき、変調の相対振幅は $A/P = 0.10 - 0.16$ となり、4U 0142+61 の値に近い。

- [1] Makishima+14 PRL **112**, 171102 [2] 牧島+13 春 (J72a) [3] 牧島+14 秋 (J133a) [4] 村上+14 秋 (J135a)
[5] 村上+15 春 (J124a) [6] 牧島+15 春 (J125a)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J137a 「すざく」衛星によるマグネターのX線定常放射のエネルギー依存性のある強度揺らぎの研究(2)

中川友進, 海老沢研 (宇宙航空研究開発機構)

マグネターは超強磁場 ($\sim 10^{14}$ G) を有する中性子星である。「すざく」衛星などの活躍により X 線エネルギースペクトルの観測的研究は進展しつつある。我々はバースト/X 線定常放射によらずエネルギースペクトルは二温度黒体放射 + 硬 X 線成分という良く似た形状を持つ事 (e.g., Nakagawa et al. 2007, 2009, 2011; Enoto et al. 2012) を明かにした。さらに、両成分の光度に相関がある事 (Nakagawa et al. 2011) を見出した。そこで我々は、バースト/X 線定常放射に共通の放射機構が存在すると考えており、「定常放射は多数の微小バーストで構成」という仮説を提唱している。

我々の仮説が正しいとすると、X 線定常放射は大小さまざまなサイズの微小バーストで構成されており、X 線定常放射の強度揺らぎはポアソン分布から推定される値よりも大きいと考えられる。「すざく」衛星が観測した 11 天体 (21 観測) のマグネターの光度曲線 (0.2–12 keV、10–70 keV) について、RMS Variation を用いて強度揺らぎを定量的な評価を行った。

2014 年秋季年会では、ポアソン分布から推定される値よりも、0.2–12 keV では 11 天体 (1.3–18.8%)、10–70 keV では 5 天体 (16–99%) が有意に大きい値となること、および 5 天体ではエネルギーが高くなるほど RMS Variation が大きくなるエネルギー依存性を見出したことを報告した。本年会では RMS Variation と磁気エネルギーの Cooling Timescale との関係、回転周期の位相と RMS Variation の関係などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J138a チャンドラ衛星を用いた中性子星の活動性磁場の探査

渡邊瑛里、柴田晋平（山形大学）、谷津陽一（東京工業大学）、榎戸輝揚（京都大学）

中性子星は、さまざまな種族がある事が明らかになっているが、その中でも重要な種族としてマグネターが挙げられる。電波パルサーが、 10^{12} G 程度の双極磁場を持ち、回転エネルギー (L_{rot}) を放射エネルギーに変換して輝いている一方で、マグネターは、 10^{15} G にもおよぶ強い双極磁場で、磁場のエネルギーを散逸して輝いているとされている。また、マグネターは放射の時間変動性を持ち、回転エネルギーでは説明できない放射エネルギーを持つ事 (X線放射超過) から、星表面に何らかの活動性磁場が存在する事が示唆された。しかし、弱い双極磁場でも時間変動を示すもの (Rea, 2010) や、マグネターと同程度の強い双極磁場でありながら、時間変動が見られないもの (Olausen, 2011)、逆に急な増光現象を伴って、時間変動を起こすようになったもの (Kumar & Safi-Harb, 2008; Enoto, 2010) が確認され、星表面の活動性磁場の存在が双極磁場の強さに関わらない可能性が出てきた。これを探査することは、マグネター様の振る舞いの起源を明らかにする事につながる。

探査には、チャンドラ衛星のアーカイブデータを用いた。アーカイブデータの抽出には、パークスの電波カタログを用い、上限値のみでも意味を持つよう、flux に制限をかけたサンプリングを行った。中性子星の X 線光度 (L_x) は、経験的に回転エネルギー L_{rot} の 10^{-3} であることが知られている (Becker, 2009) ことから、もし中性子星表面に、活動性磁場があるとすれば、上記経験則からはずれた X 線超過が見られるはずである。解析の結果、分散もふまえ $L_x \geq 10^{-2} L_{\text{rot}}$ が確認できるような中性子星は、表面に活動性磁場を持つものと判定した。本講演ではその結果を報告する。

得られた結果は統計的に処理し、一般的な中性子星が活動性磁場を持つ割合の算出につなげたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J139a 普通の電波パルサーにみられるマグネター様の磁場散逸の探査について

柴田晋平, 渡邊瑛里 (山形大学), 谷津陽一 (東京工業大), 榎戸輝揚 (京都大学)

非常に強い磁場 ($\sim 10^{14} - 10^{15}$ G) を持つ中性子星は、磁場の散逸によるエネルギー解放で輝き、また時間変動する天体 (AXP, SGR) として主に X 線で観測され、マグネターと呼ばれている。一方、自転のエネルギーで輝く普通の電波パルサーでも非常に強いダイポール磁場成分 ($B_d > 10^{13}$ G) を持つものが発見され、強磁場パルサーと呼ばれることがある。両者の境界は B_d で決まっているわけではない: (1) 強磁場パルサーのもっとも強い磁場は $B_d = 10^{14.4}$ G で、マグネターのそれを超える、(2) SGR でも B_d の小さいものが複数見つかった (例、SGR 0418+5729 は 7×10^{12} G)、(3) 回転駆動型パルサーと見られていた強磁場パルサー PSR J1846-0258 ($B_d = 4.9 \times 10^{13}$ G) が X 線でバーストを起こしマグネターと認識された。

このようなことから、普通の電波パルサーとして観測されているものの中に、マグネターと同じようにダイポール成分とは別の強い磁束 (おそらくトロイダルな成分) を持ち、磁場の散逸により X 線放射をしているものがあると予想される。

まず、普通の電波パルサーに対する Becker (2009) のサンプルで求められた $L_x - L_{rot}$ 関係の回りの分布は対数正規分布になることを示す。さらに、最近の観測をコンパイルすると、KS テストでは対数正規分布は棄却されないが、僅かながら強磁場パルサーの中に僅かな X 線光度超過の傾向が見られた。

今後、大量の電波パルサーの X 線光度が観測された場合に、そのデータから普通の電波パルサーが磁場の散逸を起こし、マグネターのように振る舞う割合を算出することが可能であると考えられる。また、この確率が B_d と相関するかについても知りたい。このような統計的な処理のためのアルゴリズムを研究し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](#)

J140a **ガス層内の輻射輸送効果を考慮するとエディントン光度以下でも輻射圧で駆動される球対称風が吹くことができる！**

福江 純（大阪教育大）

春季年会時に、エディントン光度について再検討した結果を紹介した。すなわち、有限の光学的厚みをもった層雲に対して、輻射輸送の効果をきちんと取り入れてエディントン限界を計算したところ、層雲の光学的厚みが1程度なら古典的エディントン限界とほぼ一致するが、光学的厚みが小さい層雲だと臨界条件は下がり（亜エディントン光度でも楽々吹き飛ばせる BAL クェーサーや UFO 問題の解決）、光学的に厚い層雲では臨界条件は上がる（超エディントン光度でも降着可能 超大質量ブラックホール形成問題の解決）ことがわかった。具体的には、層雲の光学的厚みを τ_c 、層雲から中心天体を見込む方向余弦を μ_* とすると、エディントンパラメータ（中心光度とエディントン光度の比）は、 $\Gamma = (1 + \mu_* + \tau_c)/2$ でよく近似される。詳細は、PASJ, 67, 57 参照。

物理的な理由は以下である。通常のエディントン光度で考える電子散乱では、散乱は等方的に起こるが、層雲の場合は散乱される方向が非等方であり（ここは本質的ではない）、さらに、前方へ抜けるより後方散乱の割合が大きい（ここが重要）。その結果、極端な場合はエディントン光度の半分まで減少する（近似公式の分母の2）。

となると、つぎに検討すべきは、孤立した層雲ではなく、球対称風（流）などだろう。球対称流では一般的には平行平板近似が使えないが、中心天体の半径に比べてガス層の幾何学的な厚みが小さいと仮定すれば（この近似は計算結果で検証する）、平行平板近似で扱える。今回は、そのような状況で、球対称風（ガス層）に対するエディントン限界を調べた結果を報告する。事前に予想したとおり、中心天体の光度がエディントン光度以下でも、輻射圧駆動風が吹き出すことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J141a 輻射輸送を考慮した層雲の終端速度

増田剛大, 福江純 (大阪教育大学)

降着円盤を含んだ明るい天体の周辺には、ガス雲や層雲などが存在する。それらのガスは放射場によって加速されるが、外向きの輻射流速によって加速されるのに加えて、速度に比例して一部の輻射は光行差によって前方から入射して減速に働く。この輻射抵抗の結果、無限に広がった一様光源による放射場では、ガス粒子の速度には $\sim 0.45c$ の終端速度が存在する (Icke 1989)。

一方、有限の光学的厚みを持ったガス雲や層雲では、雲全体による輻射の散乱・吸収や反射や通過など、輻射輸送的な効果を考慮する必要がある。相対論的輻射輸送効果を考えた有限なサイズの層雲では、終端速度は層雲の光学的厚みに依存することが、エディントン近似を用いた解析解によって示された (Fukue 2014)。

今回、運動する層雲における相対論的輻射輸送を、エディントン近似を用いずに数値的に計算した。終端速度は層雲の光学的厚みに依存するが、光学的厚みが小さい領域で、エディントン近似を用いた解析解とは反対の振る舞いをする結果となった。具体的には、光学的厚みが大きくなると終端速度は $\sim 0.47c$ に近づき、光学的厚みが1より小さくなると終端速度は ~ 0.25 程度まで小さくなることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J142a ブラックホール風の見かけの光球と熱化面とスペクトルIV：拡散効果

折橋将司, 福江 純 (大阪教育大学)

我々は、中心天体から定常的に吹いている光学的に厚い相対論的な球対称風 (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てきた。2014年秋季年会では質量依存性や質量放出率依存性について調べた結果を報告し、2015年春季年会では超大光度 X 線源 ULX に適用させた。前回までの計算では、熱化面から光球面までの光子の拡散を正しく評価していなかったため、今回、拡散効果をきちんと取り入れてスペクトルを計算した結果を報告する。

計算方法は次の通りである。無限遠の観測者からみて、視線方向に測った全光学的厚み $\tau = -\int \gamma(1-\beta \cos \theta)(\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}})\rho dz = 1$ となる場所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 $\tau_* = -\int \gamma(1-\beta)\sqrt{\kappa_{\text{ff}}(\nu)(\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}})}\rho dR = 1$ となる場所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。

光球面での光度をエディントン光度とすると、得られた放射スペクトルの光度も同程度になった。ただしスペクトルの形状は、質量や質量流出率などのパラメーターにもよるが、単一温度の黒体輻射とは異なり、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](#)

J143a ブラックホール近傍の強重力場による光度変化

大橋洋平（早稲田大学），前田恵一（早稲田大学）

一般相対論は光の軌道が重力場によって曲げられることを予言している。代表的な強重力場源としてブラックホールがある。ブラックホールは光を発することはないため、他の天体のように電磁波による直接観測を行うことは出来なかった。しかし、ブラックホールの「影」を観測することは原理的に可能である。ブラックホールが観測者と光源の間に存在する場合、光の一部がブラックホールに吸収されることにより影が発生する。この影の形状とブラックホールの持つ物理量（質量、自転）の関係が詳しく調べられている (Hioki and Maeda, 2009)。

ブラックホールの直接撮像を実現するには、ブラックホールの影を観測することが重要である。撮像の期待がかけられているのは VLBI (超長基線電波干渉法) による観測である。VLBI は、我々の地球の各地に建設された電波観測施設の観測データを総合することによって、地球スケールの基線長を用いた観測を行う。VLBI の解像度は日々進歩しており、ブラックホール候補の中で最も影スケールが大きいいて座 A* の観測が有望である。いて座 A* は降着円盤やジェットなどを伴っていると予想されており、さまざまな光源モデルが提案され、それによってどのような像が観測されるであろうかについて活発に議論が行われている (Takahashi, 2004)。それらの研究においては、ブラックホール周辺の見かけの光度が強重力場によりどのように変更を受けるかを解析する必要がある。我々は、光子がヌル測地線に沿って進むと仮定し、観測者に到達した測地線束の観測球面上における密度を調べることによって、観測される見かけの光度の視線方向依存性を解析した。ここでは簡単のため、光源は無限遠に一様に分布していると仮定した。その結果、ブラックホールの影と同程度のスケールの解像度で観測した場合でも、見かけの光度の変化が十分検出可能であることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J144a 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 2

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。なお、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を直接検出する原理・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年春の年会では、『時間差と強度比を時系列データから抽出する方法』を提案した。今回の講演では、『観測量(時間差・強度比)とBHパラメータ(質量・角運動量)の対応表』を一般相対論に基づいて理論的に計算したので、その計算結果を報告する。今後は、この計算結果を基に、前回の講演で提案した『BH直接検出の方法(時間差と強度比の検出方法)』の実現可能性を検討していきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J145a ブラックホールの回転による外向きの電磁エネルギー流の生成

小嶋 康史 (広島大)

活動銀河核からのジェット現象に関連する可能性の機構として、中心ブラックホールの回転エネルギーの電磁的抽出 (Blandford-Znajek 過程) がある。これまで多くの理論研究がなされてきたが、数値シミュレーションを含め、磁気圏の研究では Force-free 近似や理想 MHD 近似が用いられてきた。一方、その破綻も論じられている。本研究ではそれらの近似を用いず、電荷が正負からなる二流体のプラズマの流れを考え、それを源として電磁場及びプラズマの流れの無矛盾な解を調べている。前回の講演 (J146a) ではある特別な場合の数値計算例を示した。今回の発表では、より広範なパラメータでの振る舞いを理解するため、以下の状況で調べた。これは Blandford-Znajek が Force-free 近似と理想 MHD 近似を用いて計算したものをそれら無しで微視的な電流モデルを考察したことに相当する。

自転がない (Schwarzschild) ブラックホールに動経的な形状の磁場 (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。そこにブラックホールの微小な自転が付け加わる場合、如何に変更を受け、特に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。WKB 解析をすることで、二種類の摂動のモードが明確になり、そのうちのひとつのモードは外向きのエネルギー流であることがわかった。モデルの概要と結果を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](#)

J146a 電磁場によるブラックホール回転エネルギーの引き抜きの因果的理解

小出眞路 (熊本大学)

さまざまなブラックホールの回転エネルギーを引き抜く機構が提案されてきた。その中で電磁場を用いたブラックホール回転エネルギーの引き抜き機構は活動銀河核、マイクロクエーサー、ガンマ線バーストのエネルギー供給機構として注目されている。その中で、磁場によるブラックホールエネルギー引き抜き機構はフォースフリー条件下でブラックホールの地平面を通して外側にエネルギーが放出される解をはじめて示したパイオニアの名を冠して広く「ブランドフォード・ナエク機構」と呼ばれている。ブラックホール地平面では物質、エネルギー、情報はすべてブラックホールの外側から内側にしか移動・伝播できない。このブランドフォード・ナエクの解はこの因果律を一見破っているように見える。一方、ブラックホールの回転エネルギーの引抜き機構の「ペンローズ過程」は粒子の分裂あるいは相互作用により『負のエネルギー』の粒子を生成しそれをブラックホールに落下させブラックホールのエネルギーを減少させエネルギーを引き抜く。これは、ブラックホール回転エネルギーを引き抜く機構として因果律にしたがい直感的に理解できる。粒子を電磁場に置き換えて同様の説明がブランドフォード・ナエク機構にも試みられてきた (Koide et al. 1999, Komissarov 2009, Lasota et al. 2014, Koide 2014)。しかし、これまではカーメトリックが使われてきた。最近、カーシルトメトリックの場合、ブランドフォード・ナエク機構の働く場合であっても電磁場のエネルギー密度が地平面でも正になっているとの指摘がなされた。ブランドフォード・ナエク機構に対するこの指摘と負の電磁場エネルギーを落とし込むという説明は矛盾する。この指摘は、粒子では因果律というものが自然と考えられるが、電磁場において因果律をどう考え扱うべきかという原理的な問題と関連している。本講演ではこの問題をめぐる考察について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J147a **ブラックホール磁気圏における磁気流体波の伝播 – II**

高橋真聡、伊豆丸翔 (愛知教育大学)

天体ブラックホールの周りには降着ガス流があって、降着ガス円盤とそのコロナ、および磁気圏が形成されていると考えられる。ブラックホールの活動性において、磁場の存在が重要な役割を果たしている事が分かっているが、ブラックホールの強重力場環境において磁場がどのような特徴的振る舞いを演じるかについては、まだまだ議論の余地がある。本講演では、ブラックホールの周りの磁気圏環境について、一般相対論的な磁気流体力学を用いて議論する。

降着ガス円盤から伸びる大局的磁場は、コロナ領域・磁気圏を介して遠方領域に伸びて行くが、その一部はブラックホールにも接続し、「ブラックホール磁気圏」が構築される。この磁力線に沿っては、電磁流体流としてのエネルギー・角運動量が輸送されるが、各々の磁力線に沿ってどの程度のエネルギー・角運動量・プラズマが輸送されるかの定量的議論はほとんど進展していない。その議論以前に、磁気圏の構造形成に際しての因果関係の理解、またその安定性の理解なども不十分である。前回の講演では、既に定常解として知られているいくつかの磁場形状モデルと回転ガス円盤についての流体分布モデルを拡張して、「磁気圏」における情報伝達の方向性を理解する事を目的に「磁気音波の伝播」を考察した。今回は、ガス降着流が存在する場合についての取り扱いに拡張する。特に、磁気音波に関しての「地平面 (magnetosonic hirozon)」および「エルゴ領域 (magnetosonic ergoregion)」の概念について整理する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J148a バイナリーブラックホールへの超臨界降着

小川 拓未, 嶺重 慎 (京都大学), Tobias Illenseer, Wolfgang Duschl (キール大学, ドイツ)

宇宙初期のブラックホール成長を考える上で超臨界降着 (エディントン降着率を超えた質量降着) はきわめて重要である。というのも宇宙初期の密度揺らぎから Pop III を経て生じたとされる $10^2 M_{\odot}$ 程度の種ブラックホールから $z \sim 6.4$ (宇宙年齢約 1Gyr) の早期宇宙で発見されている $10^{10} M_{\odot}$ に成長するためにはエディントン降着率で質量降着が起こったとしても 1Gyr 以上かかるからである。一方、宇宙論的なブラックホール成長過程としては、宇宙初期のブラックホールの連星合体による成長も考えられている。しかし、連星合体による成長は、重力波のみで連星系の角運動量を引き抜くとすると寿命が非常に長い (数 Gyr 以上) ため、成長率が低いという問題がある。

そこで我々は上記二つの成長メカニズム (超臨界降着と合体成長) を組み合わせた「バイナリーブラックホールへの超臨界降着」に注目した。超臨界降着による急速な質量成長に加えて、超臨界降着による巨大な円盤からの潮汐トルクによる軌道角運動量の引き抜き (Hayasaki et al. 2008)、更にアウトフローによる角運動量の引き抜きによる早い合体成長により、ブラックホールが急速に成長することが出来るのでは無いかと睨んでいる。

以上を鑑みて、我々はメッシュ法による超臨界降着バイナリーブラックホールの流体シミュレーションを行った。数値計算には curvilinear grid を用い、それぞれのブラックホールまわりを高精度で解像している。初期状態の共通円盤からガスが降着し、それぞれのブラックホール周りに円盤が形成され、更に二つのブラックホール降着円盤の間に強い衝撃波によるブリッジ状の構造が確認された。質量降着率が激しく、不規則に変動する様子も確認された。本講演では、流体シミュレーションとその結果を示し、シミュレーションにより分かった詳細な円盤構造から超臨界降着バイナリーブラックホールの成長可能性と観測可能性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](#)

【J2. 高密度星（WD・GRB・その他）】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[D会場]

J201a	11:00	Soft X-ray Observation of the Prompt Emission of GRB100418A	今谷律子（大阪大学）
J202a	11:12	Fermi LAT で検出された GRB141207A の高エネルギーガンマ線放射	有元誠（東京工業大学）
J203a	11:24	相対論的輻射媒介衝撃波の定常解	伊藤裕貴（理化学研究所）
J204a	11:36	相対論的乱流磁気リコネクションと相対論的 outflow の加速	高本亮（東京大学）
J205a	11:48	母銀河の系統的分光観測で long Gamma-Ray Burst の発生条件に迫る	新納悠（国立天文台）
J206a	12:00	GRB collapsar モデルの親星依存性に関する理論的研究	早川朝康（京都大学）
J207c		MITSuME 明野望遠鏡によるガンマ線バースト残光の観測 (2012-2015)	藤原太智（東京工業大学）
J208a	12:12	短時間ガンマ線バーストに伴う軟 X 線超過成分の統計的解析	加川保昭（金沢大学）
J209a	12:24	中性子星連星合体による重力波の X 線対応天体	木坂将大（KEK 素核研）
J210a	12:36	モンテカルロ法を用いた超軟 X 線天体 CAL87 の X 線スペクトルシミュレーション (II)	和田師也（ISAS/JAXA, 東京大学）
J211a	12:48	「すざく」観測による激変星 V1223 Sagittarii の X 線スペクトル解析	和田有希（東京大学）
J212b	13:00	X 線天文衛星すざくによる γ Cas の観測とその放射機構の推定	森鼻久美子（兵庫県立大学西はりま天文台）
J213b	13:00	超相対論的流体-輻射輸送連成計算に向けた検証	石井彩子（東北大学）

J201a **Soft X-ray Observation of the Prompt Emission of GRB100418A**

今谷律子、常深博(大阪大学)、富田洋、中平聡、木村公(JAXA)、諸岡義隆(宮崎大学)、坂本貴紀(青山学院大学)、米徳大輔(金沢大学)、有元誠、河合誠之(東京工業大学)

国際宇宙ステーション搭載の MAXI/SSC は広い天空を走査観測し、全天の X 線天体の軟 X 線帯域 (0.7-7keV) の強度をモニターしている。今回 GRB100418A の prompt emission を観測した結果を報告する。この GRB は XRF と呼ばれるサブクラスに属するタイプであり、*Swift*/BAT(15-150keV) により 2010 年 4 月 18 日 21:10:08 に検出され、その 84 秒後から XRT(0.3-10keV) による観測が始まった。XRF の即時放射の軟 X 線帯域での観測例は、HETE-2 以降きわめて少ないが、MAXI/SSC はその即時放射をその出現から約 50 秒間にわたり捉えており、このような観測は非常に稀で貴重である。得られた SSC のライトカーブ (LC) は、それに続く XRT の LC とスムーズに繋がることがわかり、この GRB の LC には時間のべき関数に加えて大変強い指数関数成分が含まれる事を見つけた。また、SSC のスペクトルと BAT のスペクトルを組み合わせると GRB の初期放射部分の軟 X 線帯域から硬 X 線帯域に至る広いエネルギー範囲のスペクトルを得た。GRB で使われる Band 関数から、 E_p の上限値は 8.3keV を得た。これは GRB の中では一番低い値を持つグループに属する。また GRB で知られているピーク光度とピークエネルギーの相関に関する Yonetoku 関係に矛盾しないことが判った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J202a Fermi LAT で検出された GRB141207A の高エネルギーガンマ線放射

有元 誠 (東京工業大学), 浅野勝晃 (宇宙線研), 大野雅功 (広島大学), 河合誠之 (東京工業大学)

2008年のFermiの打ち上げ以降、数keV～数10GeVの広い帯域で数多くのガンマ線バーストが検出されてきた。そして、そのいくつかの観測の中で、従来のシンクロトロン放射モデルでは説明できない超過成分を持つGRBが発見されている。その放射起源の候補は、高エネルギーまで加速された陽子起源もしくは、シンクロトロン放射を叩き上げた逆コンプトン散乱など複数存在し、未だに決着はついていない。そこで、超過成分を持つGRBのサンプルを増やしていき、その放射の振る舞いを調べることは、その起源解明の上で非常に重要である。

GRB141207Aは、Fermi搭載の検出器GBM及びLATにより検出されたガンマ線バーストであり、継続時間が20秒程度のためlong GRBのタイプに分類される。その放射を特徴付けるものとして、即時放射中に3GeVの最大エネルギーを持つ光子が検出されており、そのGeV放射がMeV領域以下の軟ガンマ線放射に比べて遅れている点あげられる。これは他のGeV放射を有するGRBと共通する振る舞いであり、軟ガンマ線とGeVガンマ線の放射機構が異なることを示唆する。さらに詳細なスペクトル解析を行ったところ、定型的な描像であるシンクロトロン放射成分を表現すると考えられているバンド関数だけでは説明できず、高エネルギーの超過成分が存在することが判明した。加えて、バンド関数成分自身も、低エネルギー側の光子指数が+0.3程度と非常に硬いスペクトルを示しており、GRBの定説であるシンクロトロンショックモデルでは説明できないことがわかった。本発表では、これらの詳細な解析内容について、報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J203a 相対論的輻射媒介衝撃波の定常解

伊藤裕貴, 長瀧重博 (理化学研究所)

ガンマ線バーストを引き起こしている相対論的ジェットの内には、周辺物質との相互作用や中心エンジンの活動に起因した相対論的衝撃波が、普遍的に存在していると考えられている。このような衝撃波は、光学的に厚い光球面の内側の領域においては光子とプラズマの相互作用が散逸過程を担っている(相対論的輻射媒介衝撃波)。光球面にて解放された光子の多くは衝撃波領域を通過するため、衝撃波はガンマ線バーストの放射に多大な影響を与えられとされる。しかし、相対論的輻射媒介衝撃波の散逸過程の詳細を調べた研究は数が少なく、ガンマ線バーストに適用できるような衝撃波上流が輻射圧優勢であり、散乱過程が重要となっている場合の計算例は存在していない。

そこで本研究では、光子の電子による散乱に伴う光子、プラズマ間のエネルギー、運動量の交換を輻射輸送計算によって評価し、衝撃波上流が輻射圧優勢となっている場合の相対論的輻射媒介衝撃波の一次元定常解を構築した。手法としては、輻射輸送はモンテカルロ法を用いて計算し、その結果に基づいてプラズマの空間分布に反復的に修正を加える事によって定常解へと収束させている。本講演では、衝撃波の上流から下流に至るまでの遷移領域の構造、及びその領域における光子のエネルギー分布について紹介する。主な結果としては、衝撃波の遷移領域では光子の分布は非等方的で非熱的なものとなり、そのスペクトルはガンマ線バーストの観測を再現できる事が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J204a 相対論的乱流磁気リコネクションと相対論的 outflow の加速

高本亮 (東京大学)

宇宙では相対論的速度を持つ様々な高エネルギー天体現象が知られており、観測・理論の双方から盛んに研究が行われている。特に AGN jet やガンマ線バースト、パルサーなどは光速の 99% を超える速度を持つプラズマが付随していることが観測から示されているが、その加速機構は未だ解明されていない。近年ブラックホールや中性子星などの磁気圏の研究から、これらの天体は電磁場優勢の outflow を駆動する事が明らかになってきている。しかし理論から示唆される速度は観測で示唆される値よりも遥かに小さく、電磁場に蓄えられたエネルギーをプラズマの運動エネルギーに変換することが必要だが、十分な早さで磁場を散逸出来る物理機構は未だ不明確である。

本講演では、相対論的強磁場の散逸機構として乱流を伴う磁気リコネクションについて議論を行う。磁気リコネクションは乱流により磁場散逸の効率が散逸率に依存しなくなる事が非相対論では示されているが、相対論的プラズマ中での効果については研究が無く不明確なままであった。本研究では高エネルギー天体現象を局所モデル化した、相対論的プラズマ中での磁気リコネクションと乱流による影響についての研究成果を報告する。またその高エネルギー天体現象への適用可能性についても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J205a 母銀河の系統的分光観測で long Gamma-Ray Burst の発生条件に迫る

新納悠, 青木賢太郎, 橋本哲也, 服部堯, 柏川伸成, 利川潤 (国立天文台), 矢部清人 (東京大学), 石川将吾, 尾上匡房 (総研大)

継続時間の長いガンマ線バースト (以下、単に GRB) は宇宙最大の爆発現象といわれ、少なくともその一部は大質量星が起こす重力崩壊型超新星 (以下、CC SN) に伴って発生すると考えられている。しかし、CC SN が常に GRB を引き起こすわけではなく、GRB の発生条件についてはいまだ議論が続いている。起源星の金属量が低いほど GRB が発生しやすいとする説が有力視されているものの、GRB 発生頻度と金属量の定量的な関係は定まっていない。GRB 母銀河は GRB 発生頻度と金属量の関係を観測的に制限する重要な手掛かりである。特に、 $z \lesssim 0.3$ の低赤方偏移 GRB 母銀河は分光観測による金属量測定が比較的容易な上、宇宙全体の銀河種族の平均的な金属量が高赤方偏移に比べて高いことから低金属な場合に発生しやすいとされる GRB の性質が強く現れやすいと期待できる。しかし、GRB の発生座標は全天に一樣に散らばっているため系統的な分光観測は進んでいない、低赤方偏移の GRB 母銀河であっても性質が十分に調べられていないものが多く残されており、GRB 母銀河種族の全体像は未解明である。

低赤方偏移 ($z \leq 0.345$) で知られている 11 の GRB のうち 4 つの母銀河についてこれまで金属量が測定されていない。我々は Gemini/GMOS によるキューモード観測を用いて、新たに 3 つの母銀河の分光観測を行い、残り 1 つの母銀河については GRB とは無関係な赤方偏移サーベイによって取得されたのスペクトルを利用して母銀河の金属量を調べた。本講演では我々の分光サンプルの概要を示すとともに、低赤方偏移 GRB 母銀河の金属量から得られる GRB 発生頻度と起源星金属量の関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J206a GRB collapsar モデルの親星依存性に関する理論的研究

早川朝康 (京都大学), 前田啓一

線バースト (以下 GRB) は、エネルギーの高い 線を数秒から数十秒の短時間で放出する全天で最も明るい現象である。GRB は観測的に2種類に分けられ、継続時間が2秒以上の long GRB とそれよりも短い short GRB に分けられる。本研究では long GRB に着目する。long GRB の候補になる系としては、大質量星の重力崩壊モデルが考えられている (collapsar モデル)。collapsar モデルは、中心コアの重力崩壊後に中心にブラックホールとその周りに降着円盤を作るモデルである。円盤からの降着のエネルギーを相対論的なジェットとして放出することで、GRB になるとされている。collapsar モデルが long GRB の候補とされているのは、コア崩壊後も、外層から円盤へ降着することで、円盤からブラックホールへの降着率が高いまま維持されるためである。しかし、long GRB の中でも、典型的な継続時間より長いものや、超新星に付随したものも観測されている。それらをどのように説明するのは未解明である。先行研究として、Kumar et al. (2008) は外層からの降着、円盤からブラックホールへの降着を単純化した collapsar モデルで数値計算を行った。その結果、高速回転する大質量星で long GRB になりうるということがわかった。また円盤からの質量放出や角運動量の損失によって、外層を吹き飛ばし超新星になる可能性があること示唆された。しかしながら、降着の仕方は親星の状態によって変わるために、この研究で用いられている親星以外でも同じような結果が得られるかは不明である。そこで本研究では彼らのモデルを参考に、親星の質量分布や、角運動量分布、円盤風の強さをパラメータとして変えて数値計算した。これによって GRB の継続時間に違いが出るのか、また超新星になりうるかを調べた。また計算結果より GRB の発生可能性のある親星の状態に制限がかけられるかも調べた。本発表では上記の研究について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J207c MITSuME 明野望遠鏡によるガンマ線バースト残光の観測 (2012-2015)

藤原太智, 河合誠之 (東京工業大学)

ガンマ線バースト (GRB) は、宇宙における最大の爆発現象であり、コンパクト天体から放出される相対論的ジェットによって生じると考えられている。ジェット内部からの短時間のガンマ線放射である即時放射に続いて、ジェットが星間物質と衝突して生じる外部衝撃波から X 線や可視光が残光として放射される。この残光を観測することによって、GRB 自体の発生過程や母銀河の物質組成の手がかりが得られる。

この講演では、2012 年 4 月から 2015 年 3 月までの間において MITSuME 明野望遠鏡で検出された GRB 残光を扱う。3 年間の観測で、明野望遠鏡は 13 個の GRB の残光を検出した。

明野望遠鏡は検出器として ccd カメラを用いていて、シャッターを閉じていても暗電流が流れ、ccd の各ピクセルの感度にムラがある。従ってこれらの影響を取り除き、画像を重ね合わせた。重ね合わせ画像について、恒星カタログと比較して残光等級を測定した。測定結果を用いて光度曲線を描いた。

それぞれの GRB について減光指数の計算を行い、外部衝撃波からのシンクロトロン放射で説明出来るかどうかを検証した。検証結果より、GRB 150323C の遅い時間での増光は、通常のシンクロトロン放射では説明できないことがわかった。そこで GRB 150323C の観測結果を 2 成分ジェットや、マグネターからのエネルギー注入で説明できるかどうかを議論した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J208a 短時間ガンマ線バーストに伴う軟 X 線超過成分の統計的解析

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉, 鳥屋子あすか (金沢大学), 中村卓史 (京都大学), 高橋慶太郎 (熊本大学), 檜山和巳 (ペンシルバニア州立大学), 井岡邦仁 (KEK 素核研)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst:GRB) とは、短時間に 10^{52} erg ものエネルギーをガンマ線として放出する宇宙最大の爆発現象である。そのうち、ガンマ線放射の継続時間が 2 秒以内の Short Gamma-Ray Burst (SGRB) は、中性子連星の衝突・合体時に発生すると考えられており、重力波発生源の有力な候補天体の 1 つである。また SGRB には、直後に Extended Emission (E.E.) と呼ばれる ~ 100 秒まで続く軟 X 線の放射を伴うものが観測されているが、詳しい発生機構は未解明である。SGRB の物理現象を理解することは、重力波天文学の創成にとって重要な課題であり、E.E. のような軟 X 線領域での観測はこの SGRB の理解につながると考えられる。

そこで、本研究では *Swift* 衛星に搭載された、0.3-10 keV の X 線に感度を持つ XRT 検出器で観測した比較的明るい 8 つの SGRB の観測データの統計的な解析を行った。時分割したスペクトルからは、黒体放射よりもべき乗則のモデルがよりよく合うことから、放射は非熱的なモデルが支持された。さらに、4 つの SGRB では光子指数の時間に対する急激な軟化が見られた。また、エネルギーフラックスの減光には、時間に対して急激に暗くなる指数関数的な成分と、時間に対してべき型のように暗くなる X 線残光の成分の 2 種類が見られ、指数関数的な減光が見られた SGRB には光子指数の急激な軟化も見られた。

この急激な軟化と減光の関係を、curvature effect と呼ばれる一様に瞬間的に光を放射することを想定した標準モデルと比較した場合、SGRB のフラックスの減光がより早いと分かった。このことから、ジェットは幾何学的に一様ではなく、外側が暗い構造を持っていることが示唆された。本講演ではこれら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](#)

J209a 中性子星連星合体による重力波の X 線対応天体

木坂将大, 井岡邦仁 (KEK 素核研), 中村卓史 (京都大学)

中性子星連星の合体の際には強い重力波が放出され、KAGRA などの重力波望遠鏡による直接検出が期待されている。この天体現象からより多くの情報、特に位置決定精度向上のためには電磁波での追観測が必要であることから、どのような電磁波放射を伴う可能性があるかの調査は重要である。X 線帯域は可視光などと比べて明るい突発天体の数が少ないことから注目されているものの、この帯域での検出が期待される代表例ショートガンマ線バーストは、ジェット状のアウトフローと考えられており放射強度の方向依存性が強いことから、重力波放出イベントと同時に観測される確率は限られている。

今回、ショートガンマ線バーストに付随して検出され、中心エンジンの活動性が起源と考えられている $\sim 10^4$ 秒程度のプラトーと呼ばれる長時間放射成分に注目する。合体から $\sim 10^2 - 10^4$ 秒後には、合体に伴って放出された物質がプラトー放射の領域を取り囲むと考えられる。この場合、プラトー放射の一部は放出物質に散乱され、等方的にまで放射される可能性がある。期待される散乱成分のフラックスを見積もったところ、100Mpc で起きた場合 $\sim 10^{-10} - 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ となり、ISS-Lobster, eROSITA, WF-MAXI などにより検出可能であることがわかった。講演では、プラトー放射の起源となる活動性によって同時に合体時に放出物質を加熱している場合、自然なパラメーターの範囲で巨新星 (Macronova) の観測結果を説明できること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](#)

J210a モンテカルロ法を用いた超軟 X 線天体 CAL87 の X 線スペクトルシミュレーション (II)

和田師也, 海老沢研 (東京大学, ISAS/JAXA), 小高裕和, 辻本匡弘 (ISAS/JAXA)

超軟 X 線天体は、白色矮星連星系のひとつであり、そのエネルギーのほとんどが ~ 0.5 keV 以下の超軟 X 線帯域で放射されている。伴星からの質量降着率が大きいため、白色矮星表面で定常的に水素核燃焼が起きている。その X 線スペクトルは、高階電離酸素による吸収端構造をもつ黒体放射様の連続成分と多数の輝線成分の、2つの特徴を持つ。前者は光学的に厚い白色矮星大気から、後者は光学的に光電離した薄い降着円盤コロナ (accretion disk corona; ADC) からの放射と考えられている。しかし、このスペクトルは定性的なモデルでしか説明できず、光学的に厚い放射と光学的に薄い放射を同時に再現する定量的なモデルの構築には成功していない。

そこで我々は、モンテカルロ法に基づいた放射計算コード「MONACO」を用いて、超軟 X 線天体 CAL87 の X 線スペクトルモデルを作成した。「MONACO」はコンプトン散乱と光電離・光励起、およびそれらにともなう再結合放射、脱励起放射の物理プロセスを取り入れたシミュレーションを行うことができる。春の学会では、Ebisawa et al. (2001) のジオメトリを基本として、ADC の光学的厚み τ 、電離パラメータ ξ をパラメータとしたモデルを構築し、その結果、光学的に厚い放射と光学的に薄い放射を同時に再現できたことを報告した。しかし、XMM-Newton 衛星による実際の観測データと比較すると、特に吸収端構造の深さや輝線強度比などが再現できていなかった。そこで今回、新たなパラメータとして、白色矮星大気からの入射スペクトルの吸収端の深さを導入したモデルを作成した。この新しく作成したモデルでは実際の観測データをより良く再現でき、スペクトルフィットの結果から ADC の τ , ξ , および入射スペクトルの吸収端の深さを定量的に決定できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J211a 「すざく」観測による激変星 V1223 Sagittarii の X 線スペクトル解析

和田有希 (東大理), 湯浅孝行 (理研), 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

激変星は強磁場白色矮星 (主星) と晩期型主系列星 (伴星) との連星系である。伴星のガスは磁力線に沿って降着柱を形成しながら、主星の磁極へ降着する。自由落下により速度を持ったガスは降着柱内での定在衝撃波により 10^{7-8} K まで加熱され、熱的制動放射によって硬 X 線を放出する。このプラズマ温度を測定することで重力ポテンシャルを推定でき、白色矮星の質量 M と半径 R の比を求めることができる。

本研究では激変星 V1223 Sagittarii の白色矮星の質量を推定するために、エネルギースペクトルの解析を行った。V1223 Sagittarii は「すざく」で、2007 年 4 月に 61 ksec、2014 年 4 月に 150 ksec 観測された。2014 年の観測データを用いた広帯域 (XIS+HXD) にわたる解析は本研究が初めてである。

取得した 5.0–50.0 keV の帯域のスペクトルに対し、降着柱を満たすプラズマが衝撃波の直下で最も高温で、白色矮星表面に近づくにつれ放射冷却されると仮定し、多温度の光学的に薄いプラズマ放射モデル (cevmk1、Done & Osborne 1997) を適用した。また降着柱からの放射が白色矮星表面で反射する効果を reflect モデル (Magdziarz & Zdziarski 1995) で取り込んだ。プラズマの最高温度は 2007 年で 35 ± 3 keV、2014 年で 31 ± 1 keV と測定され、そこから M と R の比 $(M/M_{\odot})(R/R_{\odot})^{-1}$ は 76 ± 7 ないし 66 ± 3 と求めた。さらに白色矮星の M - R 関係式 (Nauenberg 1972) を用いて、 $M = 0.78 \pm 0.03 M_{\odot}$ ないし $0.72 \pm 0.02 M_{\odot}$ と推定された。X 線での先行研究 (Hayashi et al. 2011) による $M = 0.82^{+0.05}_{-0.06} M_{\odot}$ 、および可視光での先行研究 (Beuermann et al. 2004) による $M = 0.93 \pm 0.12 M_{\odot}$ と比較し、モデルの詳細化や解析の手法などを検討する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J212b

X線天文衛星すざくによる γ Casの観測とその放射機構の推定

森鼻久美子（兵庫県立大学天文科学センター西はりま天文台）、辻本匡弘（JAXA/ISAS）

Be型星は、可視光域で水素のバルマー系列からの輝線を一度でも放射したことのあるB型星である (Jaschaek et al., 1981)。B0.5IV型のカシオペア座 γ 星 (γ Cas) はその一つで、X線で特異な性質を持つことが知られている。そのX線光度は、 10^{32} – 10^{33} erg s⁻¹ で、Be型星の典型的な光度より約1桁大きい。また、X線スペクトルは、3本の鉄輝線 (6.4, 6.7, 7.0 keV) を持ち、10 keVを超える熱的プラズマモデルで表される (e.g., Kubo et al., 1998)。その放射機構モデルには、(1) 磁場を持つ単独Be型星 (Smith et al., 2006) と (2) 白色矮星とBe型星の連星系 (e.g., Horaguchi et al., 1994) の二つがある。放射モデルの区別には、高温プラズマと6.4 keVの蛍光鉄輝線から示唆される中性物質を見込む立体角の決定が一つの鍵となる。この立体角は、次の別々の物理課程で観測データに表れる。中性物質にある (i) 鉄のK殻電子によるX線光電吸収と6.4 keV蛍光輝線放射、(ii) 電子による入射X線のコンプトン散乱 (20–40 keV) である。これまで (i) による立体角の制限はあったが、(ii) による制限はなく、両者を用いて立体角を制限する必要がある。我々は、すざく衛星による γ Casの広帯域X線スペクトルを解析し、高温プラズマ成分に加えて、6.4 keV鉄輝線とコンプトン散乱成分を検出し、多温度プラズマ放射と中性物質からの反射 (6.4 keV輝線とコンプトン散乱) を考慮したモデルで表した。その結果、立体角の制限から、X線放射領域の広がり、Be型星の半径の8%以内であることを明らかにした。また、プラズマ温度は \sim 40 keVとなり、磁場を持つ早期型星からのX線放射としては高温すぎるため、 γ Casは白色矮星とBe型星の連星系である可能性が高まった。その後、プラズマ成分をより厳密に再現するため、強磁場激変星の降着柱放射モデル (Hayashi et al., 2014) による解析を行った。これらの結果を用いて、考えられる放射機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J213b 超相対論的流体-輻射輸送連成計算に向けた検証

石井 彩子 (東北大学), 大西 直文 (東北大学), 長倉 洋樹 (京都大学), 伊藤 裕貴 (理化学研究所),
山田 章一 (早稲田大学)

ガンマ線バースト (GRB) は大質量天体周辺で形成される相対論的ジェットに付随して生じていると考えられている。これまでに、ジェットの構造をモデリングした定常流体場をバックグラウンドとして輻射輸送計算が行われてきており、GRBの非熱的放射スペクトルを再現できる可能性が示されてきた。一方で、過去の相対論的流体計算より、ジェットは非一様で多次元的な構造を持ち、その空間的構造がジェットから放射されるスペクトルに影響を与え得ることが指摘されてきた。よって、ジェットの内部構造の時間発展を考慮しながら輻射輸送計算を行う必要があり、これにはジェット構造の時間発展を追う相対論的流体計算とジェット内部での光の輸送を詳細に表現する輻射輸送計算のカップリングが必要となる。ジェットが光学的に厚い状態から計算を始める場合、輻射と物質の相互作用によるフィードバックが計算結果に影響を及ぼす可能性があるが、超相対論的流体場かつこのフィードバックの効果を含めたカップリング計算はまだ行われてきていない。

我々は上記のようなカップリング計算を目指し、相対論的流体場中での輻射輸送計算手法を検討してきた。モンテカルロ法を用いて詳細な散乱過程を考慮した輻射輸送計算手法を構築し、種々のテスト計算を行ってきた。その結果、背景が超相対論的である際、精度良く輻射輸送計算を行うために必要な時間幅や空間解像度などの計算条件を見積もった。これらの計算条件は流体計算とのカップリングを考える際に厳しい条件となり得るものであり、現実的な計算コストである程度高精度の計算を行うための手法についても検討していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【K. 超新星爆発】

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [G会場]

K01a	09:30	「すざく」によるマゼラン星雲の古い超新星残骸の系統解析 武内陽子(理化学研究所/東京理科大学)
K02a	09:42	チャンドラ衛星による超新星残骸 Cassiopeia A におけるスカンジウム及びチタン KX 線の発見 池田拓馬(立教大学)
K03a	09:54	長周期のパルサー 1E 161348-5055 に付随する超新星残骸 RCW 103 の親星質量の推定 古田禄大(東京大学)
K04a	10:06	Sub-MeV/MeV ガンマ線観測による Ia 型超新星の爆発過程解明手段 II 水村好貴(京都大学)
K05a	10:18	ガンマ線背景放射から Ia 型超新星へ 幾田佳(京都大学)
K06a	10:30	Ia 型超新星残骸における生き残り伴星の検出可能性 野田和弘(東京大学)
K07a	10:42	バイクラスタリングの対話型可視化ツールを用いた Ia 型超新星の分類 植村誠(広島大学)
K08a	10:54	Ia 型超新星の特異な減光則を引き起こす母銀河ダストの性質 野沢貴也(国立天文台)
K09a	11:06	IIf/IIP/IIL 遷移型超新星 SN 2014G の測光分光観測 福嶋大樹(大阪教育大学)
K10a	11:18	光赤外線大学間連携によるスーパーチャンドラセカール超新星候補 SN 2012dn の ToO 観測: 赤外超過とダスト放射 山中雅之(甲南大学)
K11b	11:30	IIP 型超新星 2014cx の早期紫外-近赤外域 SED の解析 中岡竜也(広島大学)

9月10日(木) 午後(13:30-15:30) [G会場]

K12a	13:30	大規模並列粒子シミュレーションコード開発フレームワーク FDPS の開発とそのアプリケーション 谷川衝(理化学研究所)
K13a	13:42	超新星 shock breakout の 2 次元輻射流体シミュレーション 鈴木昭宏(京都大学)
K14a	13:54	マグネターが与える超新星及び超新星残骸への影響 増山美優(東京大学)
K15a	14:06	音響メカニズムによる重力崩壊型超新星爆発の系統的研究 原田了(東京大学)
K16a	14:18	非球対称な重力崩壊型超新星爆発における p 過程核元素合成 藤本信一郎(熊本高専)
K17a	14:30	原始中性子星における有限温度非一様状態の核物質 中里健一郎(東京理科大学)
K18a	14:42	超新星爆発における軽元素によるニュートリノ反応の影響 古澤峻(国立天文台)
K19a	14:54	ニュートリノ機構に基づく重力崩壊型超新星の網羅的研究 中村航(早稲田大学)
K20c		重力崩壊型超新星の多次元モデルに基づく重力波形の特徴 荒木惟(福岡大学理学部)

K01a 「すざく」によるマゼラン星雲の古い超新星残骸の系統解析

武内陽子 (理研, 東京理科大), 山口弘悦 (メリーランド大学, NASA/GSFC), 玉川徹 (理研)

超新星残骸 (SNR) は、星内部での元素合成や星間物質の組成に関わる、宇宙の化学史を解明する上で重要な天体である。SNR の観測からは重元素の空間分布やプラズマの温度構造など多様な情報が引き出せるため、従来の研究においては個々の天体を深く掘り下げ、その物理的性質を調べる方法が主流であった。しかし、この手法によって得られる結果には、各天体の個性や複雑なプラズマ状態に起因する不定性が常に伴い、親星の種類 (Ia 型か重力崩壊型か) といった基本的な問題さえも議論が分かれることが多い。一方、近年になって、残骸の形状や重元素の電離度など、特定の物理量を多数の天体に対して系統的に調べることで親星の分類を行い、それぞれの特徴を帰納的に理解する研究手法の有効性が示されている (e.g., Lopez et al. 2011; Yamaguchi et al. 2014)。

今回我々は、大小マゼラン星雲内の古い SNR (年齢 >5000 yr) 9 天体に注目し、X 線天文衛星「すざく」を用いてスペクトルの系統分析を行った。いずれの天体においても親星の種類についての示唆はあるものの、明確な結論は得られていない。一般に古い SNR の X 線スペクトルでは星間物質の寄与が卓越するため、イジェクタ (親星を構成した物質) 起源の重元素量の測定は難しい。一方で、爆発後の経過時間が長いために逆行衝撃波が SNR の中心まで到達しており、イジェクタ全体から X 線を観測できる利点もある。研究の結果、対象の 9 天体は 1 keV 周辺のスペクトル構造が明確に異なる 2 つのグループに分類できた。一方のグループは Fe の L 殻輝線が卓越することから Ia 型、もう一方は Ne の K 殻輝線が卓越することから重力崩壊型の超新星爆発だと考えられる。また、詳細なスペクトル解析によって得られた Fe/Ne 比は、いずれのグループでもマゼラン星雲の平均組成比と有意に異なることが確認された。この事実は、古い SNR においてもイジェクタの寄与が十分にあることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K02a **チャンドラ衛星による超新星残骸 CassiopeiaA におけるスカンジウム及びチタン KX 線の発見**

池田拓馬, 内山泰伸 (立教大学)

超新星爆発で生成される 44 チタンは半減期 60 年で電子捕獲によりスカンジウムに崩壊し、その後半減期 4 時間で陽電子放出により安定なカルシウムへと崩壊する。この 44 チタンは爆発時に星中心のいわゆる質量カット付近で生成され、その生成量や空間分布は爆発の様相を強く反映する。そのため 44 チタンの放射性崩壊に伴って放出される硬 X 線やガンマ線ラインの観測がこれまで数多く行われてきた。特に超新星残骸 CassiopeiaA ではガンマ線ラインが明確に捉えられ、さらに最近の NuSTAR 衛星の観測からチタン崩壊による 68/78 keV の硬 X 線ライン放射の空間分布が明らかになった。しかしチタンが電子捕獲により崩壊して生成されるスカンジウムからの 4.1keV の $K\alpha$ 線は未だ検出されておらず、我々はその輝線の有無をチャンドラ衛星を用いて検証した。その結果、NuSTAR 衛星によって報告された硬 X 線ライン放射の空間分布とは異なる分布を示すスカンジウム及びチタンの $K\alpha$ 線を発見した。本講演ではそ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](#)

K03a 長周期のパルサー 1E 161348-5055 に付随する超新星残骸 RCW 103 の親星質量の推定

古田禄大, 中野俊男, 村上浩章, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

RCW 103 は中心付近に長周期のパルサー 1E 161348-5055 を伴う, 2000 歳程度 [1] の若い重力崩壊型の超新星残骸 (SNR) である。パルサーの X 線放射には, 6.67 時間という, 典型的な電波パルサーより 5 桁も長い周期変動が報告されており [2], その起源について様々な議論がなされている [3, 4]。私たちは, 爆発の痕跡である SNR のプラズマ診断という観点から, この特異なパルサーを作った超新星爆発の特徴を調べている。

これまで「すざく」と XMM-Newton のデータを解析し, SNR の X 線スペクトルが温度 ~ 0.3 keV と ~ 0.6 keV の電離非平衡プラズマで再現でき, 前者が前方衝撃波で加熱された ISM shell, 後者が後方衝撃波で加熱された ejecta と同定された [5]。XMM-Newton の解析では SNR を角度方向に 11 領域に分割し, 全領域でスペクトルを同じモデルで再現できることを確かめ, ejecta 質量 $\sim 18M_{\odot}$, 爆発エネルギー 4×10^{50} erg を推定した [6]。このとき, 後方衝撃波は SNR の中心まで到達し, 全ての ejecta が光っていることを仮定した。ところが今回, さらに細かく空間分割したところ, ejecta 成分は SNR 中心よりやや外側で強く, 球殻状に分布するように見え, 後方衝撃波がまだ中心まで達しておらず, 光っていない未加熱の ejecta があることが示唆された。後方衝撃波が $r = 0.7R$ まで達していると仮定すると, ejecta 密度は $\sim 2.5 \text{ cm}^{-3}$ と推定され, 未加熱の ejecta や, 爆発前の星風で失われた質量も考慮すると, 親星の初期質量は $23M_{\odot}$ 以上であったと考えられる。

[1] Carter+1997, PASP, **109**, 990 [2] De Luca+2006, Science, **313**, 814 [3] Popov+2015, PASA, **32**, e018

[4] Pizzolato+2008, ApJ, **681**, 530 [5] 古田+2014 秋 J134a [6] 古田+2015 春 Q03a

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04a Sub-MeV/MeV ガンマ線観測による Ia 型超新星の爆発過程解明手段 II

水村好貴, 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)

Ia 型超新星は、宇宙における距離灯台や元素供給源として非常に重要な天体現象であるが、その爆発機構は十分に解明されていない。特に、白色矮星に伴星から質量降着して爆発する SD モデルと、白色矮星同士の連星系が融合して爆発する DD モデルの 2 つが、Ia 型超新星の親星システムとその進化として支持されているが、理論・観測の両面で精力的な研究が続けられているにも関わらず、どちらが主要な機構なのか未だ決着に至っていない。近年、この状況を打破し得る Ia 型超新星の爆発過程診断法として、MeV ガンマ線観測が有効であることが提案されたが (A. Summa, et al., 2013)、観測性能が十分なガンマ線全天望遠鏡は稼働していない。

我々は、MeV ガンマ線帯を天文学として開拓するために電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) の開発を続け、これまで SMILE 実験の準備状況として飛翔体セッションで報告してきた。最近、我々のガンマ線到来方向の再構成手法に大きな改善があり、天体望遠鏡として当たり前のパラメータである Point Spread Function (PSF) を、Maximum Likelihood Expectation Maximization (ML-EM) 法など定量評価が簡単でない統計的推測手法の導入を仮定する事無く、コンプトンカメラとして初めて定義するに至り、不定性の少ない望遠鏡の感度推定が可能となった。本講演では、ETCC 将来機で期待される高効率な雑音除去能力と PSF $3\text{-}4^\circ$ 程度の角度分解能を元に、遠方の Ia 型超新星の観測シミュレーションを展開し、得られる光度曲線とスペクトルから Ia 型超新星の親星問題解明のビジョンを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K05a ガンマ線背景放射から Ia 型超新星へ

幾田佳 (京都大学理学研究科宇宙物理学教室)

Ia 型超新星 (以下 SNIa) は連星系を成す白色矮星の核爆発が起源だと考えられており、次の 2 つのモデルが提唱されている。白色矮星と主系列星 (若しくは赤色巨星) から生じる Single Degenerate モデル (以下 SD) と、白色矮星同士の合体から生じる Double Degenerate モデル (以下 DD) である。これらのモデルの親星は形成から爆発までの時間に差があり、SD は DD に比べて爆発までの時間が短い。その為、赤方偏移方向の発生頻度の分布に差が生じる。しかし、その差は可視領域では観測例が少ない為に誤差が大きく、特に赤方偏移 $z > 1$ では顕著である。

そこで、ガンマ線背景放射 (以下 CGB) に着目した。CGB は様々な赤方偏移の天体からの足し合わせとして観測される。クエーサー等の活動銀河核が主要な光源だと考えられているが、合成された ^{56}Ni が放射性崩壊する過程でガンマ線を放射する SNIa の寄与もあると考えられる。また、SD と DD では赤方偏移方向の発生頻度分布が異なるので CGB への寄与が異なる。この差を CGB から抽出することで、可視とは独立してガンマ線で SNIa の親星を特定できると考えた。

本研究では、将来的な観測を念頭に、SD と DD の CGB への寄与から必要な観測精度を定量的に考察した。まず SNIa の典型的なスペクトルを理論的な SD の赤方偏移方向の頻度分布で重み付けて足し合わせ、CGB への寄与を評価した。更に SD と DD で異なる寄与を比較評価した。その結果、SD からの CGB への寄与は最低 5% 程度で、SD に対し DD は 80% 程度となった。この程度の観測精度があれば、2 つのモデルを観測的に区別出来ることが分かった。更に観測誤差をモンテカルロ法にて評価し、観測への制限を考察した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K06a Ia型超新星残骸における生き残り伴星の検出可能性

野田和弘, 須田拓馬, 茂山俊和 (東京大学)

Ia型超新星(SN Ia)はCO白色矮星の爆発現象と考えられており、標準光源として宇宙論パラメータの決定に用いられている。SN Iaの progenitor については主に二つのシナリオがあり、single degenerate(SD)シナリオとdouble degenerate(DD)シナリオと呼ばれている。SDシナリオは白色矮星と非縮退星の連星系を考えており、非縮退星からの質量降着によって白色矮星の質量をチャンドラセカール限界まで増加させることで爆発を引き起こすシナリオである。一方でDDシナリオは二つの白色矮星の連星系を考えており、この二つの白色矮星の合体で爆発を引き起こすというシナリオである。

観測的な手法として、超新星残骸の観測を行い、生き残った伴星の有無によってこれら二つのシナリオを区別するというものがある。ハッブル宇宙望遠鏡(HST)を用いたSNR 0509-67.5の観測では、Vバンドの絶対等級で8.4等の観測限界において生き残った伴星が検出されず、この結果はDDシナリオを支持するとされている。

我々はこのような伴星の見つからなかった超新星残骸について、SDシナリオで生き残った伴星が超新星の影響で非常に暗くなったために観測されなかった、という可能性を考えた。その可能性を検証するために我々は、生き残った伴星が超新星の影響を受けてどのように進化するのかを恒星進化のモデルを用いて計算した。具体的に伴星が受ける影響としては、外層の剥離と外層へのエネルギーの注入を考慮した。結果として、赤色巨星段階の中でも軽いHeコア(0.3太陽質量程度以下)を持つ伴星の場合には、超新星の影響で非常に暗くなってしまい、HSTで観測されない可能性があることを示した。発表においては、生き残った伴星の明るさが外層の剥離やエネルギー注入、伴星のコア質量によってどのように変化するのかを系統的に示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K07a バイクラスタリングの対話型可視化ツールを用いた Ia 型超新星の分類

植村誠 (広島大学), 前田啓一 (京都大学), Hsiang-Yun Wu (慶應義塾大学), 渡辺一帆 (豊橋技術科学大学), 高橋成雄 (会津大学), 藤代一成 (慶應義塾大学)

Ia 型超新星の観測的な多様性は従来より知られており、いくつかの観測量に対して様々な分類が提案されてきた。距離指標の精度を上げるためにも、爆発機構を理解するためにも、このような分類は重要である。しかし、歴史的には測定が容易な観測量から分類されてきた経緯があり、そのような観測量が真に妥当かどうかは自明でない。そこで、候補となる観測量の種類を増やし、従来の分類とは独立した、客観的な分類と分類に適した観測量を研究する必要がある。ただし、観測量が4種類以上になるとデータ構造を視覚的に認識することが困難になる。可視化の分野ではこのような問題に対する研究が盛んに行われてきた。最近では機械学習的な解析と解析者による判断の相互作用を可能にする対話型の可視化ツールが注目されている。

今回、我々はパークレーグループが公開している Ia 型超新星データにそのような手法を応用した。用いた可視化ツールは、天体サンプルのクラスタリングと、相関の強い観測量同士のクラスタリングを同時に行うバイクラスタリングの手法に基づいた対話型のツールである。今回の解析では、サンプルは132天体、観測量は絶対等級や Si II 吸収線の半値幅などを含む14変数を用いた。その結果、サンプルは1) Si II λ 6355 の速度が $\lesssim 12,000 \text{ km s}^{-1}$ で、Si II λ 5972 と Si II λ 6355 の強度に正の相関が見られるグループと、2) 速度が大きく、Si II λ 6355 と Si II λ 5972 強度に負の相関が見られるグループに分類された。これらの観測量は以前から Ia 型超新星の分類軸として提案されてきたものであり、今回の結果は、従来の経験的な分類軸の妥当性を支持するものである。一方で、絶対等級はこれらの観測量との間に弱い相関が見られたものの、有効な分類軸にはならなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08a Ia型超新星の特異な減光則を引き起こす母銀河ダストの性質

野沢貴也 (国立天文台)

星間ダストによる減光は、Ia型超新星の観測から宇宙論パラメータを決定する際の最も大きな不定性の一つである。Ia型超新星を標準光源とするこれまでの研究では、ダスト減光はハッブルダイアグラム上のデータの分散を最小にするようにとられており、得られた選択減光 (total-to-selective extinction ratio、 R_V) の値は $R_V=1-2$ となっている。また、近年 M 82 で起こった SN 2014J も $R_V=1.4$ による減光則によって赤化されており (Amanullah et al. 2014)、これらの R_V の値は我々の銀河系の平均値 $R_V=3.1$ と比べて非常に低い。この低い R_V は、Ia型超新星周囲のダストに寄因すると提唱されているが (e.g., Wang 2005)、星周ダストからの熱放射が観測されていないことからこの説は可能性が低い (e.g., Maeda et al. 2015)。それゆえ、もし実際に Ia型超新星の R_V が異常に低いのであれば、その母銀河中の星間ダストの性質が銀河系のものと大きく異なっていることを示唆する。

本講演では、古典的な星間ダストモデル (MRN モデル、Mathis et al. 1977) に基づいて、Ia型超新星に対して観測された低い R_V を再現する星間ダストの性質について報告する。MRN モデルでは、ダスト種としてグラファイトとシリケートの二成分モデルが採用され、そのサイズ分布は冪乗 ($dn/da \propto a^{-q}$) であるとされる。銀河系の平均の減光曲線 ($R_V=3.1$) は、どちらのダスト種に対しても $q = 3.5$ 、半径の上限・下限値はそれぞれ $a_{\max} = 0.25 \mu\text{m}$ 、 $a_{\min} = 0.005 \mu\text{m}$ として再現される。一方本計算から、Ia型超新星で推測された $R_V=1$ ($R_V=2$) に対応する減光曲線は、ダスト半径の上限値を単に $a_{\max}=0.055(0.12) \mu\text{m}$ と減少させることによって再現できることがわかった。この結果は、Ia型超新星の母銀河中には、銀河系のものと比べて大きいサイズのダストが比較的乏しいことを意味しており、本講演ではこの原因についてダスト進化モデルの観点から簡単に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K09a I Ib/IIP/IIL 遷移型超新星 SN 2014G の測光分光観測

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

SN 2014G は 2014 年 1 月 14 日 (UT) に板垣公一氏によって発見された、NGC 3448 に現れた超新星である。初期においては II_n 型と分類されていたが、数週間後に強く幅の広い輝線を持つ水素の P Cyg プロファイルを示し、IIL 型超新星へと再分類された。また、発見 4 日前には 19.4 等の限界等級が与えられており、1 月 12 日ごろに爆発したものと推定される。大阪教育大観測チームは、2014 年 1 月 15 日 (UT) からこの超新星の多色での測光観測を爆発後約 110 日に至るまで行った。さらに広島大のかなた望遠鏡を用いた撮像と、4 夜分のスペクトルを取得した。得られた光度曲線は初期において、外層が剥ぎ取られた状態で爆発した IIb 型のような極大光度を示し、その 70 日程度後に IIP 型に見られるような急減光を示した。また、スペクトルは非常に青い連続光成分を示し、30 日後になりようやく水素の P Cyg プロファイルが見られた。

一方で、Faran et al. 2014 において、光度の極大から爆発後 50 日に至るまでの減光率が 0.5 等を超えるものを IIL 型超新星と定義しており、SN 2014G では ~ 1.22 等となり IIL 型超新星の特徴を示す。このような IIb/IIP/IIL 型の性質を併せ持つ超新星は非常に希少であるが、比較検討の結果、IIL 型超新星である SN 2013by と光度曲線の様子が非常に似ており、しかし爆発後 100 日ほどの tail 期の光度はととても明るいことがわかった。極大における総放射光度は、tail 期光度から見積もられる Ni⁵⁶ の質量より推定される光度と比べ非常に小さく、一般に IIP 型超新星において知られている plateau 期と tail 期の光度の相関関係に従わない。本講演においては、IIb/IIP/IIL 超新星と比較しつつ、その放射起源を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10a

光赤外線大学間連携によるスーパーチャンドラセカール超新星候補 SN 2012dn の ToO 観測：赤外超過とダスト放射

山中雅之 (甲南大/京都大), 前田啓一 (京都大), 川端弘治 (広島大), 田中雅臣 (国立天文台), 富永望 (甲南大), 高木勝俊, 川端美穂, 上野一誠, 伊藤亮介, 秋田谷洋 (広島大), 森谷友由希, 諸隈智貴 (東京大), 永山貴宏 (鹿児島大), 磯貝瑞希, 花山秀和, 黒田大介, 浮田信治, 前原裕之, 関口和寛 (国立天文台), 高橋隼, 高木悠平 (兵庫県立大), 新井彰 (京都産業大), 宮ノ下亮 (鹿児島大), 齊藤嘉彦 (東京工業大), 渡辺誠 (北海道大), 野口亮, 増本一成, 松本桂 (大阪教育大), 小野里佳子 (大阪大), 野上大作 (京都大), 大朝由美子 (埼玉大), 村田勝寛 (名古屋大), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), ほか光・赤外線大学間連携観測チーム

近年チャンドラセカール限界質量内の白色矮星起源では説明できないスーパーチャンドラセカール超新星 (以下 SCSN) が発見され、新たな多様性として大きな注目を集めている。我々はずでに、光赤外線大学間連携における ToO 観測プログラムにより、多数の望遠鏡を用いて SN 2012dn の集中的観測を実施し、SCSN 候補天体であることを見出した (日本天文学会 2013 年春季年会 K01a)。我々は、さらに解析を進め、(1)B バンド極大光度 30 日後以降でカラーの進化に強い赤外超過を示すこと、(2) 赤外超過は amorphous carbon を組成とする 900-1300K 程度の放射で矛盾なく説明できること、を見出した。光学的に薄いダスト放射モデルによって、少なくとも 10^{-3} 太陽質量程度のダストを見積もることができた。本講演では、ダスト放射モデルから、質量・光度・温度の時間進化を推定し、その起源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](#)

K11b IIP 型超新星 2014cx の早期紫外-近赤外域 SED の解析

中岡竜也, 川端弘治, 高木勝俊, 川端美穂 (広島大), 山中雅之 (甲南大), 前田啓一 (京都大), 秋田谷洋, 植村誠, 伊藤亮介, 宇井崇紘, 神田優花, 高田紘司, 吉田道利 (広島大), 田中雅臣 (国立天文台), 富永望 (甲南大), 森谷友由希, 野本憲一 (東京大), 光・赤外線天文学大学間連携観測チーム

爆発最初期の IIP 型超新星の光球面は高温で、そのピーク波長は紫外域となるため、可視光域の観測だけでは光球の有効温度を正しく見積もることは難しい。超新星の紫外域の観測では、現在 Swift 衛星搭載の検出器 UVOT が活躍している。しかし IIP 型超新星は光度曲線の立ち上がりが速く、U バンドの極大以前から紫外域の観測が行われたものは数例しかない。超新星 2014cx は、2014 年 9 月 2.57 日 (UT) に板垣公一氏によって NGC 337 (23.3 Mpc) に発見された超新星で、その後、爆発後 2-3 日の IIP 型と同定された。発見から 0.4 日後に Swift 衛星により観測が開始されており、爆発後最も早い段階から観測が行われた IIP 型超新星の一つとなっている。我々は発見後 6 日目より広島大 1.5 m かなた望遠鏡と HOWPol 及び HONIR を用いて可視近赤外域の測光分光観測を行い、Swift/UVOT のデータと合わせて解析を行った。得られた SED は黒体放射で近似可能であり、その温度は発見日は 20000 K に達していたが、その後急速に低下し、30 日以降では約 6000 K でほぼ一定となった。また、その半径は発見日から 6 日目にかけて ~ 8000 km/s の割合で膨張したものの、その後は徐々に穏やかになり、30 日後以降はほぼ一定となった。SN 2014cx のプラト-期の観測的特徴は、典型的な IIP 型超新星である SN 2012aw とよく似ているが、最初期の SED のふるまいについても大まかには似ていることが分かった。講演では他の超新星との比較や、スペクトルの特徴も交えて考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K12a 大規模並列粒子シミュレーションコード開発フレームワーク FDPS の開発とそのアプリケーション

谷川衝, 岩澤全規, 細野七月, 似鳥啓吾, 村主崇行, 牧野淳一郎 (理化学研究所)

我々は大規模並列粒子シミュレーションコードの開発を容易にするフレームワークである FDPS (Framework for Developing Particle Simulator) を開発した。粒子シミュレーションとは、対象となる系を相互作用する粒子の集団としてみなし、その粒子の集団の進化を追うものである。この手法は、様々な学問分野で用いられており、その実例としては、重力 N 体シミュレーション、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) シミュレーション、分子動力学シミュレーション、粉体シミュレーションなどがある。FDPS の基本的なコンセプトは、粒子シミュレーションの大規模並列化に伴う複雑な処理を、実際の粒子間相互作用の計算や軌道積分のような簡単な処理から切離すことである。前者は FDPS が、後者はユーザーが行う。前者には、領域分割、領域分割に合せた粒子の再分配、粒子間相互作用を計算するための粒子データの交換、などが含まれる。FDPS を用いると、京コンピュータのような大規模並列環境下で動作する重力 N 体シミュレーションコードをたったの 117 行で記述できる。また、重力相互作用計算部分に SIMD 演算をほどこしたコードは、京コンピュータ 76,544 ノードで 4.5 PFLOPS の性能を達成した。

本講演では、FDPS の基本コンセプトと基本的な使い方を述べる。また、FDPS の実アプリケーションとして、白色矮星の合体シミュレーションなどで使用できる Helmholtz の状態方程式 (Timmes, Swesty 2000) を組み込んだ SPH コードについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K13a 超新星 shock breakout の2次元輻射流体シミュレーション

鈴木昭宏, 前田啓一 (京都大学), 茂山俊和 (東京大学)

重力崩壊型超新星は大質量星の進化の最終段階であり、進化段階における恒星内部での核燃焼によって生まれた鉄コアが自己重力によって崩壊することで、その重力エネルギーの一部を使って星が爆発する現象である。超新星爆発の噴出物は、 ^{56}Ni の放射性崩壊をエネルギー源として、主に可視赤外領域の電磁波を放射することが知られ、この段階の放射は古くから精力的な観測が行われてきた。一方で、超新星爆発からの早期放射は、星内部を伝播する衝撃波後面で作られた光子によって担われる。この光子は、衝撃波が星の十分奥深くにある時には衝撃波後面に閉じ込められているが、時間が経って衝撃波が星表面へ近づくことで星の外へ漏れ出すことが可能となる。この段階は超新星 shock breakout と呼ばれ、UV あるいは X 線で非常に明るく輝くことが知られている。

我々は、非球対称な爆発を起こす場合の shock breakout の2次元輻射流体シミュレーションを行った。親星モデルとして SN 1987A の光度曲線を再現する青色巨星を用い、まず 10^{51} erg の爆発エネルギーで球対称に爆発する計算を行うことで、先行研究の1次元球対称の計算をうまく再現できることを確認した。さらに、球対称から外れたエネルギー注入を考えた場合の計算を行い、shock breakout 段階の描像がどのように変わり、光度曲線へどのような影響があるのかを考察した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K14a マグネターが与える超新星及び超新星残骸への影響

増山美優, 中野俊男, 茂山俊和 (東京大学)

重力崩壊型超新星 (SN) を輝かせる加熱源として、伝統的には爆発時に合成される放射性元素の崩壊や衝撃波と星周物質との衝突による機構が考えられてきた。これらに加えて近年、超新星と伴星との衝突 [1],[2] や超強力な磁場を持つ中性子星 "マグネター" のスピンドウンエネルギーを加熱源とする研究が行われるようになってきた。これは通常よりも二桁も明るい "超高輝度超新星 (SL-SN)" のエネルギー源としても注目されている。さらに、SN 中心に高速回転するマグネターが存在する場合、その回転エネルギーが SN 爆発に影響する可能性があることも指摘されている [3]。しかし、これまでの理論的な研究ではマグネターからのエネルギーの注入の仕方を考慮した SN 爆発時の影響の見積もりはなされていない。

そこで本研究では、SN へマグネターからのエネルギー供給を仮定した流体計算を行うことで、マグネターが SN、及び超新星残骸 (SNR) に与える影響を計算した。通常の SN 爆発の計算では、爆発エネルギーを瞬間的に与えるのに対し、我々はマグネターの回転エネルギーを双極子放射によって SN へ供給し続ける場合を計算した。エネルギーの注入は SN の中心領域にのみ行い、エネルギーは輻射ではなく流体の運動エネルギーとして系全体に運ばれるとした。本講演では、この計算結果とマグネターを持つ SNR の観測結果から得られる磁場強度や回転速度、膨張速度を比較することで、マグネターの磁場強度や回転速度の起源や進化に制限をつける可能性について論じる。

[1] Kasen, D., 2010, ApJ, 717, 245 [2] Kutsuna, M., & Shigeeyama, T., 2015, PASJ, 67, 54

[3] Bodenheimer, P., & Ostriker, J. P. 1974, ApJ, 191, 465

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K15a 音響メカニズムによる重力崩壊型超新星爆発の系統的研究

原田了 (東京大学), 岩上わかな, 長倉洋樹, 山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発とは、 $8 M_{\odot}$ 以上の大質量星がその最期に爆発を起こす現象である。大質量星は進化の最終段階で中心に鉄のコアを形成する。この鉄コアはやがて鉄の光分解反応によって中心部の圧力が低下し、重力崩壊する。このときに解放される重力エネルギーによって爆発が起こると考えられている。

重力崩壊したコアは中心が原子核程度の密度になると核力により跳ね返され、衝撃波を形成する。この衝撃波が星の表面まで伝搬することで超新星爆発が起こると考えられるが、実際にはエネルギーを失って衝撃波は停滞する。衝撃波を復活させるメカニズムは約 50 年間研究されているが、未だにはっきりとは解明されていない。現在の最有力仮説は、中心に形成される原始中性子星からニュートリノが放射され、それが衝撃波下流側の物質を加熱することで復活するというものである。しかし、この仮説もまだ確かめられていない。

一方で、音響メカニズムという仮説も提唱されている。原始中性子星は周囲の流体から撃力を受けて振動し、音波を放射する。音響メカニズムとは、この音波が二次衝撃波を形成して運動エネルギーを散逸し、衝撃波にエネルギーを与えるというものである。これは発見したグループを除きシミュレーションで再現されておらず、音波が衝撃波を復活させられるのか、そもそも原始中性子星から音波が放射されるのか、詳しくわかってはいない。

そこで、本講演では原始中性子星が振動することを仮定し、それが衝撃波復活に与える影響を調べた。衝撃波の伝搬が止まったところを初期条件とし、中心から原始中性子星振動に由来する音波を境界条件として与え、ニュートリノ加熱も近似的に扱いながら流体シミュレーションを行った。特に、本講演では原始中性子星の振動強度を様々に変えて衝撃波が復活する条件を系統的に調べ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](#)

K16a 非球対称な重力崩壊型超新星爆発における p 過程核元素合成

藤本 信一郎 (熊本高専), 小野 勝臣, 橋本 正章 (九州大学), 固武 慶 (福岡大学)

p 過程核は中性子捕獲反応では合成することが出来ない Se より 35 種の原子核である。超新星爆発の際に、衝撃波加熱による (大質量星進化中に形成された) s 過程核の光分解 (γ 過程) によって p 過程核は合成される。球対称爆発モデルを用いて、 γ 過程による p 過程核合成計算が行われ、形成された p 過程核は太陽系組成と似た分布を持つことが示された。ただし、 $^{92,94}\text{Mo}$ 、 $^{96,98}\text{Ru}$ 、 ^{113}In 、 ^{115}Sn 、 ^{138}La の生成量が少ない。(Rayet et al. 1995; Arnould & Goriely 2003; Rapp et al. 2006)

以上の結果は球対称爆発モデルに基づいたものであるが、近年の重力崩壊型超新星爆発の理論的研究および超新星残骸の観測的研究からは、重力崩壊型超新星爆発は非球対称であることが示唆されている。本研究では、非球対称な重力崩壊型超新星爆発における p 過程核元素合成を調べた。ニュートリノ吸収・現実の状態方程式を考慮した 2 次元軸対称流体力学コードを用いて、原子中性子星から照射されるニュートリノ光度・温度をパラメータとして、コアバウンスから数秒に渡って放出ガスの dynamics を流体力学計算した。

流体力学計算結果に基づいて、非球対称な超新星爆発における元素合成計算を行ない、以下のことを示した。(1) γ 過程により p 過程核が合成され、生成量は一部の核を除き、球対称爆発モデルの結果と同程度である。(2) ν 吸収反応により、 ^{138}La 、 ^{180}Ta が合成される。(3) 電子比 0.46-0.48 の中性子過剰ガスが放出され、ガス中では多量の ^{92}Mo より軽い p 過程核が合成される。ただし、その生成量はモデル・パラメータであるニュートリノ光度・温度および恒星質量に依存する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K17a 原始中性子星における有限温度非一様状態の核物質

中里健一郎 (東理大理工), 富樫甫 (理研), 竹原裕太, 山室早智子, 鈴木英之 (東理大理工), 鷹野正利 (早大理工研)

重力崩壊型超新星爆発の研究において、核物質状態方程式の理解は不可欠である。現在、特に爆発メカニズムの解明を目指して数値シミュレーションによる多くの研究がおこなわれているが、その際にも非一様状態相も含めた核物質状態方程式の数値テーブルが用いられている。一方、衝撃波伝播のあとに残される原始中性子星からもニュートリノの放出は続くため、ニュートリノ観測の観点からはそれも含めた包括的な理解が重要となる。

そこで、クラスター変分法による有限温度の一様核物質状態方程式に基づき、Thomas-Fermi 計算をおこなって新しい有限温度非一様核物質の状態方程式を作成し、既存の Shen らによる状態方程式と比較して原始中性子星内部の状態相の違いを調べた。その結果、新たに作成した状態方程式は Shen らの状態方程式と比べて対称エネルギーが小さいため、非一様相においてより高密度まで中性子過剰で質量数の大きい原子核が存在できることが分かった。これはゼロ温度の中性子星物質の場合において、Oyamatsu and Iida (2007) によって指摘されていた傾向とコンシステントである。また、原始中性子星内部に大きな原子核が多く存在することは、冷却時におけるニュートリノオパシティに影響を与えられられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K18a 超新星爆発における軽元素によるニュートリノ反応の影響

古澤峻 (国立天文台)、中村聡 (大阪大学)、滝脇知也 (理化学研究所)、住吉光介 (沼津高専)

重力崩壊型超新星爆発において、ニュートリノの起こす弱相互作用は、重要な役割を果たすことが知られている。例えば、バウンス後の衝撃波後方に多く存在する自由核子と軽元素は、ニュートリノと反応し衝撃波のダイナミクスに影響すると考えられている。しかし、これまでの数値シミュレーションでは、状態方程式の制約からニュートリノと軽元素の反応は無視されてきた。一方で、近年、軽元素の存在比を高密度高温の効果を含めむ状態方程式 (Furusawa et al 2013) や重水素のニュートリノ冷却反応率 (Nasu et al. 2014) などインプットデータの整備が進んできた。2013年秋の学会では、軽元素によるニュートリノ加熱反応の影響は、衝撃波のダイナミクスに大きく影響することを報告した。今回は、軽元素によるニュートリノ冷却反応も含めて、軽元素が超新星爆発のダイナミクスにどのような影響を及ぼすかを調べ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](#)

K19a ニュートリノ機構に基づく重力崩壊型超新星の網羅的研究

中村航（早稲田大学），滝脇知也（理化学研究所），黒田仰生（バーゼル大学），固武慶（福岡大学）

重力崩壊型超新星の爆発機構として、ニュートリノ機構が有力と考えられている。我々の研究グループでは、ニュートリノと物質の相互作用を IDSA (Isotropic Diffusion Source Approximation; Liebendörfer et al. 2009) と呼ばれる近似法を用いて解くことによって、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超新星の進化を調べている。

日本天文学会 2014 年秋季年会において、Woosley, Heger, & Weaver (2002) の太陽金属量モデル 101 個 (Z_{\odot} 質量 $10.8 M_{\odot} - 75 M_{\odot}$) に対する計算結果を発表した。太陽金属量を持つ親星において、超新星の爆発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、あらたに金属量 $10^{-4} Z_{\odot}$ モデル 247 個 ($11 M_{\odot} - 75 M_{\odot}$) およびゼロ金属量モデル 30 個 ($11 M_{\odot} - 40 M_{\odot}$) に対して同様の計算を完了したので、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](#)

K20c 重力崩壊型超新星の多次元モデルに基づく重力波形の特徴

荒木 惟 (福岡大理), 固武 慶 (福岡大理), 中村 航 (早稲田大理工)

重力崩壊型超新星 (以下単に超新星と呼ぶ) は、大質量星がその進化の最終段階に迎える大爆発現象で、宇宙で最も激しい爆発現象の一つである。その爆発の物理的機構に関しては、50年以上の理論研究の中で様々な提案がなされてきたが、いまだに完全には理解されていないのが現状である。理論モデルに最も強い制限を加えると期待されているのが重力波の観測である。事実、超新星は現在建設中の KAGRA をはじめとする大型干渉計の狙う有力ターゲット天体の一つに数えられており、将来の観測から爆発メカニズムの解明に大きな役割を果たすことが期待されている。

本講演では、多次元超新星シミュレーションに基づく重力波形の特徴、ならびにその定量的予測について発表を行う。今回は、星の軸対称性を仮定した 2D シミュレーション、特に初期条件としては II_p 型超新星として典型的な親星 (初期質量 11.2 から $20M_{\odot}$) を 4 モデル選び、IDSA 法 (Liebendoerfer et al. 2009) とよばれるエネルギー多群輻射輸送法を用いて、重力崩壊、コアバウンス、ニュートリノ加熱によるショックの復活および爆発までの動的進化をセルフコンシステントに追ったモデルを用いる (Nakamura et al. (2014))。シミュレーションの結果から四重極公式を用いて重力波を抽出し、そのフーリエ解析を行い、スペクトログラム解析を行う。結果、初期質量が大きなモデルほど重力波の特徴的周波数が高く、そのスペクトルエネルギー強度が大きくなる傾向があることが分かった。次世代の検出器を想定した信号/雑音比を定量的に調べ、検出可能距離を明らかにし、さらにニュートリノ起源の重力波を詳細に調べ、爆発メカニズムにいかなる知見が得られるか議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

9月9日(水) 午前(11:00-13:00) [E会場]

L01a	11:00	C/2013 R1(Lovejoy) 彗星ガス輝線への Abel 変換の適用 II. 長谷川 隆 (群馬県立ぐんま天文台)
L02a	11:12	2014 年ほうおう座流星群のアメリカ東海岸での光学観測 藤原康德 (総合研究大学院大学)
L03a	11:24	「あかり」遠赤外・中間赤外線観測に基づく黄道光ダストバンド構造の検出と小惑星起源ダストの性質の解明 大坪貴文 (東京大学)
L04b	11:36	赤外線天文衛星「あかり」による小惑星の近赤外線分光サーベイ 白井文彦 (東京大学)
L05c		小天体の含水鉱物探査にむけた MIMIZUKU 近赤外線分光機能の検討 上塚貴史 (東京大学)
L06c		東北大学ハレアカラ観測所 (ハワイ) における木星の撮像観測 浅田正 (九州国際大学)

L01a C/2013 R1(Lovejoy) 彗星ガス輝線への Abel 変換の適用 II.

長谷川 隆 (県立ぐんま天文台), 河北 秀世 (京都産業大学)

2015 年春季年会 (L09a) では彗星ガス輝線の 2 次元表面輝度データから 3 次元輝線密度構造が Abel 変換によって復元できることを報告した。本報告ではこの復元結果をより詳細に考察し、また定量的な評価を述べる。2 次元の表面輝度は輝度の視線方向の積分であるが、Abel 変換は球対称の場合にこれから 3 次元の密度分布を復元するものである。なお、2 次元の表面輝度データは前回に用いた C/2013R1 (Lovejoy) のものである。

1. CN の輝度プロファイルには、彗星核から 15000km 程度の広がり第 3 の領域がある可能性が高い。これは Haser (1957) が提案した二つの指数関数の時定数をもつプロセスが継続した結果最終的なガス輝線が発生するというモデルから予想される二つの領域より内側にある。この第三の領域では 10^3 秒程度の指数関数の時定数のプロセスが働いているとすると観測とあう。

2. Abel 変換が直面する問題点の検討を行った。考慮したのは、1) Abel 変換で現れる積分では下端において発散の可能性がある、また無限遠の積分上端を打ち切らざるをえない、2) 観測データに含まれるシーイングの効果が複雑に反映されること、である。これらの効果を評価するために、上記の Haser によるモデルに従う 2 次元輝度分布を作成した。視線方向の積分はシーイングの影響はないので、ここまでは厳密のままである。これにシーイングの影響をかけたものについて 1 次元動径方向の輝度プロファイルを作成して Abel 変換を行い、さらに視線方向に積分して表面輝度を復元した。モデルと復元された表面輝度について Haser モデルの二つの時定数がどの程度復元されるか検証した。これと独立な時定数測定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](#)

L02a **2014年ほうおう座流星群のアメリカ東海岸での光学観測**

藤原康徳 (総研大, 極地研, 日本流星研究会), 植原敏, 嵯峨山亨, 木下正雄 (日本流星研究会), 戸田博之 (国立天文台岡山), 渡部潤一 (国立天文台), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 土屋智恵 (放送大), 戸田雅之, 佐藤智子 (日本流星研究会), NHK コズミックフロント取材班

ほうおう座流星群は、1956年12月に一度だけ突発的な大出現が観測され、それ以降活発な流星群活動の観測報告はなかった。また、親天体と考えられていた Blanpain 彗星も、1819年に発見された後は行方不明となっていたが、2003年に発見された小惑星 2003WY25 が Blanpain 彗星と同定され、彗星の軌道が確定した。これにより、モデル粒子によるダストトレイルからの流星群の出現検証、予報が可能となり、1956年の大出現とその後の不出現の状況が、モデル計算により確認された (Watanabe et al. 2005)。また、モデル計算からは、2014年12月1日から2日にかけてこの流星群が出現する可能性があることが示された (Sato & Watanabe 2010)。

我々は、予報された極大が12月2日00時UT前後であったため、光学観測が可能なアメリカ東部ノースカロライナ州で観測を行った。デジタルカメラ2台、ビデオカメラ8台を用いて予想極大を含む約4.5時間観測を実施した。観測結果からは、ほうおう座流星群の活動自体は認められたが、明確なピークを伴った大出現はなかった。本講演では、ほうおう座流星群の活動状況と観測された輻射点位置について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a 「あかり」遠赤外・中間赤外線観測に基づく黄道光ダストバンド構造の検出と小惑星起源ダストの性質の解明

大坪貴文, 土井靖生 (東大総文), 瀧田怜, 川田光伸, 松浦周二, 北村良実, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 服部誠 (東北大), 有松亘 (国立天文台), 田中昌宏 (筑波大), 臼井文彦 (東大理), 石原大助, 近藤徹 (名古屋大), 他「あかり」チーム

赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線拡散光全天画像データ (65, 90, 140, 160 μm) は、2014年12月に広く一般に対し公開されている (2015年春季年会、土井他)。この画像データは我々太陽系内の惑星間塵からの熱放射である黄道光の研究にとっても貴重なものである。黄道光中の小惑星起源のダストバンド構造は過去の赤外線衛星の観測でも空間的微小構造として受かっているが、「あかり」の遠赤外線全天画像データでも、短波長側の2バンド (65, 90 μm) で黄道面付近と黄緯 $\pm 10^\circ$ の数 MJy/sr レベルの小惑星ダストバンド構造が明確に検出できている (2014年、15年春季年会、大坪他)。「あかり」の全天画像データによって、60 μm よりも長い波長域での $\pm 10^\circ$ 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。一方、我々は「あかり」で黄道光の中間赤外線分光観測もおこなった。黄道光スペクトルには10 μm 帯のシリケート・フィーチャが見つかっているが、黄道面付近、黄緯 $\pm 10^\circ$ 、高黄緯でそのシリケート・フィーチャの形状に違いあり、特に黄緯 $\pm 10^\circ$ の小惑星ダストバンドでは結晶質オリピンのフィーチャが弱く、惑星間塵の供給源に他の領域との違いがあると考えられる。本講演では、「あかり」の遠赤外・中間赤外の両方のデータに基づいて、黄緯による惑星間塵の違い、特に小惑星起源ダストの性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04b 赤外線天文衛星「あかり」による小惑星の近赤外線分光サーベイ

臼井 文彦 (東京大学), 長谷川 直 (ISAS/JAXA), 大坪 貴文 (東京大学)

小惑星における含水鉱物の存在を調べることは、太陽系の形成、進化の過程、熱的な履歴の変遷を知る上で重要である。含水鉱物は液体の水とケイ酸塩鉱物が反応して生成される。小惑星帯における含水鉱物の分布から、原始太陽系星雲の均質性や熱源の存在、微惑星の混合の度合いなどを知る手がかりが得られる。特に、含水鉱物は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マーカーになる。小惑星における含水鉱物や水氷の存在は、近赤外線の波長帯、特に $3\ \mu\text{m}$ 帯におけるスペクトルの吸収フィーチャーとして現われる。しかし、顕著な吸収を示す $2.5\text{--}2.85\ \mu\text{m}$ は地球大気の影響を強く受けるため、鉱物種の同定につながる精度のよい観測を行うには宇宙望遠鏡を用いるのが望ましい。

そこで、我々は赤外線天文衛星「あかり」に搭載された近・中間赤外線カメラ (IRC) による小惑星の分光サーベイ観測を実施した。「あかり」の冷媒である液体ヘリウムが尽きた後の観測期間 (Phase 3) において、IRC の近赤外線チャンネルを用いて、 $2.5\text{--}5\ \mu\text{m}$ の波長帯で 66 天体の観測を行った。この観測から、ほとんどの C 型小惑星では、 $2.7\ \mu\text{m}$ 付近にピークを持つ含水鉱物由来の吸収フィーチャーを初めて明確に捉えることに成功した。一方、観測したすべての S 型小惑星では、この波長帯において明確な吸収を持たないことがわかった。

本講演では、「あかり」による近赤外線分光サーベイの概要とデータ解析の詳細、得られたスペクトルから考えられる小惑星の分類について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L05c 小天体の含水鉱物探査にむけた MIMIZUKU 近赤外線分光機能の検討

上塚貴史, 臼井文彦, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清 (東京大学), 長谷川直 (JAXA), 高遠徳尚 (NAOJ)

我々の太陽系には様々な形態の水が広く存在することがわかってきた。太陽系のスノーラインより外側では水は氷として存在している。一方、水と無水鉱物は水質変成作用によって含水鉱物を生成する。含水鉱物は氷の昇華温度以上になっても安定に存在するため、生成後の温度変化でリセットされない水の存在を示す重要なマーカーになる。そこで、水の存在の探査には、多様な小天体について含水鉱物の存在を調べるのが有用となる。

含水鉱物の強い吸収は波長 $2.7\text{--}2.8\ \mu\text{m}$ に見られるが、この波長域には地球大気の水蒸気による吸収帯があり、一般に地上からの観測は困難である。しかし、標高 5640 m の東京大学アタカマ天文台 (TAO) であればこの観測が可能となる。そこで我々は、TAO 搭載中間赤外線観測装置 MIMIZUKU に、小天体の水氷や含水鉱物の観測に特化した近赤外線分光機能を追加し、小天体分光サーベイを実現することを計画している。

これまで含水鉱物の観測に最適な機能を決定した。含水鉱物の鉱物種の同定には、吸収フィーチャーとその周辺を含めた波長域のスペクトル形状を正確にとらえる事が重要である。このため、スリットロスの影響を避けるためにスリット幅を広くとり、シーイングリミットの波長分解能に設定した。また、観測中の大気水蒸気量の変化・シーイングの変化・波長較正精度が与える観測スペクトルの安定性を考慮して波長分解能を設定した。結果、波長 $2.4\text{--}2.95\ \mu\text{m}$ を $R \sim 600$ でカバーするモード、波長 $2.4\text{--}4.2\ \mu\text{m}$ を $R \sim 230$ でカバーするモードの二つを搭載することとした。分光素子としてブレース角と格子定数が $13.3\ \text{度} \cdot 5.0\ \mu\text{m}$ 、および $5.1\ \text{度} \cdot 15.5\ \mu\text{m}$ のシリコングリズムの製作を検討している。本講演ではサーベイ観測の内容、装置スペックの詳細について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L06c 東北大学ハレアカラ観測所(ハワイ)における木星の撮像観測

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

福島県の飯舘村にあった東北大学惑星プラズマ大気研究センターの60cm反射望遠鏡(三鷹光器製)はハワイ・マウイ島のハレアカラ山頂に2014年9月に移設された。その望遠鏡を用いて木星の撮像観測を行った。

クーデ焦点(焦点距離14m)に6種類のフィルター(RGB、赤外線連続光、メタンバンド2種類)を用い、Webカムで撮影を行った。3月前半に滞在した8夜のうち、3夜が終日快晴であった。画像処理の手法やシーイングがベストではなかったが、国内でこれまで撮影した画像より高画質の画像を得ることができた。

今後の観測テーマとしては次の2つが考えられる。1) 赤外線を用いた南赤道縞(SEB)上空のHazeの光学的厚さの年変化の観測: SEB攪乱のメカニズムを解明するために、Center-Limb Variationから、雲の頂の高度変化を求める。2) 主にRGBを用いた木星の斑点(渦)の短期変動の観測: ハワイの高い晴天率と良シーイングを活用すれば、木星面の同じ経度を最短20時間(2自転)間隔で撮像が可能である。この時間間隔で木星の斑点の生成や消滅、相互作用を追跡し、渦の挙動や気象力学的環境を解明する。またSEB攪乱などの突発現象の直前や発生直後の時間変化を追跡する。

なお遠隔操作による、日本からの撮像も検討している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [C会場]

M01a	15:00	次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」経過報告 渡邊鉄哉(国立天文台)
M02a	15:12	Solar-C時代の地上大型太陽望遠鏡の精度限界とSUVIT 一本潔(京都大学)
M03a	15:24	過去半世紀にわたる太陽マイクロ波スペクトルの変動 下条圭美(国立天文台)
M04a	15:36	第24太陽活動周期のグローバルな活動状況 柴崎清登(太陽物理学研究所)
M05a	15:48	強い密度成層下での対流ダイナモと磁気スポット形成の物理 政田洋平(愛知教育大学)
M06a	16:00	大規模磁場構築における小スケールダイナモの影響 堀田英之(HAO/NCAR)
M07a	16:12	磁気要素の自動追跡モジュールを用いた太陽黒点の成長/崩壊過程の解析 加藤翔大(名古屋大学)
M08b	16:24	南極ドローニングモードランドアイスコアの酸素同位体比からわかる気温変動と太陽活動周期との関係 長谷部憂磨(理化学研究所/埼玉大学)
M09b	16:24	NICT 新太陽電波望遠鏡-III 久保勇樹(情報通信研究機構)
M10b	16:24	強非対称磁気リコネクションの非対称度依存性 新田伸也(筑波技術大学)
M11b	16:36	Cross-field superslow propagation by continuum Alfvén/slow magnetosonic waves 金子岳史(東京大学)
M12b	16:36	プロミネンスにおける中性粒子とカルシウムイオンの速度差から明らかにする部分電離プラズマの磁場拡散2 阿南徹(京都大学)
M13b	16:36	国立天文台太陽フレア望遠鏡 H α 線観測データ自動処理システムの改良 大辻賢一(国立天文台)
M14b	16:48	野辺山電波ヘリオグラフ 34GHz の像合成方法と彩層大気 岩井一正(情報通信研究機構)
M15b	16:48	飛騨 DST 偏光分光観測による黒点半暗部形成と磁場発展との関係性の検証 米谷拓朗(茨城大学)
M16b	16:48	狭帯域チューナブルフィルターを用いたエラーマンボムの三次元立体構造の解明 加藤友梨(茨城大学)
M17c		太陽極域の磁気パッチ形成と光球収束流について 末松芳法(国立天文台)
M18c		Ca II K 分光観測によるコロナループ足元の彩層現象の診断 II 永田伸一(京都大学)
M19c		太陽風領域の自動識別について 亘慎一(情報通信研究機構)

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [C会場]

M20a	09:30	Hinode 衛星と IRIS 衛星による MHD 波動の高時間分解能観測 加納龍一(東京大学)
M21a	09:42	コロナ輝線幅の非熱的速度成分について 原弘久(国立天文台)
M22a	09:54	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(茨城大学)
M23a	10:06	アルフベン波の非線形反射 庄田宗人(東京大学)
M24a	10:18	On optimized relation functions of solar wind plasma used in the IPS-MHD tomography and their long-term evolution 林啓志(名古屋大学)
M25a	10:30	自動追跡モジュール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(名古屋大学)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M26a	10:42	日食時データを用いた EIS 観測における迷光寄与の評価 藤下祐人 (名古屋大学)
M27a	10:54	Solar micro-Type III burst storms and long dipolar magnetic field in the outer corona 森岡昭 (東北大学)
M28a	11:06	太陽電波 IV 型バースト中の微細構造ゼブラパターンの放射過程における X モードの出現過程 金田和鷹 (東北大学)
M29a	11:18	高感度硬 X 線観測ロケット FOXSI-2 とひので X 線望遠鏡による太陽活動領域の温度解析 石川真之介 (ISAS/JAXA)

9月10日(木) 午後(13:30-15:30) [C会場]

M30a	13:30	ひので・IRIS 衛星による半暗部マイクロジェットの観測 勝川行雄 (国立天文台)
M31a	13:42	IRIS 衛星 Mg II h/k 線観測で明らかにするスピキュール発生源 阿南徹 (京都大学)
M32a	13:54	2 次元輻射磁気流体計算による彩層ジェット構造のコロナ温度依存性の検証 飯島陽久 (東京大学)
M33a	14:06	彩層分光観測から迫る太陽フレアのエネルギー解放過程 鄭祥子 (京都大学)
M34a	14:18	磁場がサージを加速するメカニズムについての観測的検証 坂上峻仁 (京都大学)
M35a	14:30	ホモログスフレアの 3 次元磁場構造の時系列解析 川畑佑典 (東京大学)
M36a	14:42	フィラメント放出を伴う M クラスフレアの多波長観測 大山真満 (滋賀大学)
M37a	14:54	フレア発生前磁場特徴量の統計的傾向とフレア予測手法開発 西塚直人 (情報通信研究機構)
M38a	15:06	飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いたフィラメント消失についての調査 廣瀬公美 (京都大学)
M39a	15:18	飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いた多波長偏光分光観測によるプロミネンスの磁場診断 佐野聖典 (京都大学)

9月11日(金) 午前(09:30-11:30) [C会場]

M40a	09:30	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 石井貴子 (京都大学)
M41a	09:42	白色光増光現象を引き起こす太陽フレアの特徴 渡邊恭子 (国立天文台)
M42a	09:54	野辺山電波ヘリオグラフを用いた白色光・非白色光フレアの比較研究 増田智 (名古屋大学)
M43a	10:06	Hinode/XRT CCD イメージセンサを利用した SEP の特徴に関する研究 山田正矩 (茨城大学)
M44a	10:18	太陽フレア MeV 中性子の検出に向けた基礎開発実験 小野光 (東京大学)
M45a	10:30	フレアループトップ上空における衝撃波構造とその動的性質 高棹真介 (京都大学)
M46a	10:42	コロナ中の衝撃波に伴うプロミネンス振動の磁気流体シミュレーション II 西田圭佑 (京都大学)
M47a	10:54	動的に形成する電流シートにおける高速リコネクションのオンセット 磯部洋明 (京都大学)

M01a 次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」経過報告

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）

次期太陽観測衛星 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一つのシステムとして理解するとともに、宇宙に普遍的に現れるプラズマ素過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も貢献する。この視点に立って、SOLAR-C 計画では、以下の3つの科学課題 (I,II,III) に挑むことになる。より上位ほど優先度が高い課題である：I. 彩層・コロナと太陽風の形成機構の究明, II. 太陽面爆発現象の発現機構の究明とその発生を予測するための知見の獲得, III. 地球気候変動に影響を与える太陽放射スペクトルの変動機構の解明。これらのミッション要求を具現化する観測装置として、光学磁場診断望遠鏡 (SUVIT)・紫外線高感度分光望遠鏡 (EUVST)・X線撮像分光望遠鏡 (HCI) の設計検討を進め、平成27年2月16日、平成26年度戦略的中型宇宙科学ミッション候補の提案募集に対し Solar-C のミッション提案を行った。一方、欧州コミュニティは、ドイツ・マックスプランク太陽系科学研究所 (MPS) が中心となって、欧州宇宙機関 (ESA) の中型 (M4) 衛星計画募集に対し、EPIC (European Participation In solar-C) 計画として、平成27年1月16日同様にミッション提案を行っている。

予稿執筆の現在 (6月15日時点)、「EPIC」提案は ESA/M4 の選考に漏れ、戦略的中型宇宙科学ミッションの1号機については「火星衛星からのサンプルリターンミッション」を宇宙研として速やかに選定する旨が、宇宙政策小委員会に報告されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a Solar-C時代の地上大型太陽望遠鏡の精度限界とSUVIT

一本潔 (京都大学)、三浦則明 (北見工大)、SUVIT 検討チーム

Solar-C に搭載する光学磁場診断望遠鏡 (SUVIT) は、光球の微細磁気対流構造と激しく変動する彩層の熱力学的構造を空間的・時間的に分解し、高精度偏光分光観測によってそれらを貫く磁場の3次元構造を計測することを目的とする。光球の磁場と彩層の密度構造の観測には0.1秒角(約70km)の空間分解能が要求され、彩層の磁場観測にはスペクトル線の偏光を約10秒以内に 3×10^{-4} の精度で測定することが要求される。SUVITはこれを口径1.3~1.4mの望遠鏡によって280~1100nmに存在する多様なスペクトルラインを観測することで達成する。

一方Solar-Cが実現する2020年代には、口径4m級の大型地上太陽望遠鏡(例:DKIST)が稼働を開始し、SUVITを上回る回折限界分解能を実現することが見込まれている。スペースから観測をおこなうSUVITには、広い視野と長時間にわたる安定した点像関数、近紫外から近赤外をカバーする完全同時分光、という地上では決して実現できない利点があり、Solar-Cの多くの科学課題がそれによって初めて達成可能であることは明らかであるが、微細構造を形成するプラズマ素過程の解明等、比較的短時間、狭視野の観測で挑む課題については、地上観測も大きな貢献をすることは間違いない。SUVITの装置計画はこのことを十分考慮した上で決定していくことが、Solar-Cのミッション提案をより洗練されたものにしていく上で重要である。

本講演では、地上大型太陽望遠鏡が2020年代に達成するであろう空間分解能と偏光計測精度の限界を、補償光学のシミュレーション等を用いて評価することにより、SUVITの担うべき役割をより明確化する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a 過去半世紀にわたる太陽マイクロ波スペクトルの変動

下条圭美, 南谷哲宏, 斎藤正雄 (国立天文台), 岩井一正 (情報通信研究機構), 浅井 歩 (京都大学), 野澤 恵 (茨城大学)

日本では、マイクロ波帯である 1, 2, 3.75, 9.4 GHz における太陽全面からのフラックス観測が、1957 年から 1994 年まで名古屋大学 豊川キャンパスにて、1994 年から現在まで国立天文台 野辺山キャンパスにて、豊川/野辺山太陽電波強度偏波計により行われている。野辺山太陽電波観測所の閉所にともない、2015 年春から野辺山太陽電波強度偏波計の装置運用が野辺山宇宙電波観測所へ移管され、観測データの科学的検証を京都大学と茨城大学が担当することとなった。

この半世紀を越える長期間の多波長データを利用してマイクロ波スペクトルの長期変動を調べるため、まずは月ごとの各周波数の平均フラックスと標準偏差を求めた。利用したデータは、人の手で慎重に電波バーストや天気の影響および装置のトラブルによる影響を省いたデータである。そのため観測されたフラックスの放射メカニズムは、遷移層～コロナからの熱的な制動放射と黒点等の強磁場領域からのジャイロレゾナンス放射である。

データ解析の結果、月ごとのマイクロ波フラックスの標準偏差から、月ごとの黒点数を用いるより、太陽活動が最も低い月を正確に特定できることがわかった。また、標準偏差をつかって決めた各周期における太陽活動が最も低い月のマイクロ波スペクトルを比較すると、太陽周期 20 から 24 までのスペクトルが約 7% の範囲で一致した。装置の精度を考えると 7% は非常に小さい値である。よってこの結果は、この半世紀の間に太陽周期ごとの活動度 (ex. 極大期の黒点数) が大きく変化したにもかかわらず、静穏領域の平均的な大気構造は測定精度を考慮すると変化しなかったことを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M04a 第24太陽活動周期のグローバルな活動状況

柴崎清登（太陽物理学研究所）

第24太陽活動周期の極大のピークはふたつに分かれ、第一ピークが2012年、第二ピークが2014年で、以後下降を続けている。第一ピークは主に北半球、第二ピークは主に南半球の活動に起因する。電波ヘリオグラフの毎日の17GHzの強度画像から合成した電波蝶形図を用いて最近のグローバルな活動状況を調べた。

北半球の低緯度帯の活動は2012年のピーク以後下降したが、2013年半ばから活動はほぼ一定を保っている。一方、高緯度帯の活動は2012年の極小以降、上昇に転ずることなくほぼその活動度を保っている。北半球の周期活動は第24活動周期のピーク以降、そのリズムを失った状態に陥っている。これらの傾向は、横軸に高緯度の電波の明るさ、縦軸に低緯度の明るさをプロットしたヒステリシス曲線上で顕著に見られる。極域および低緯度ともに変化が少ないために、プロット上で狭い範囲に停滞している。第22周期から続いている北半球全体としての活動低下は現在も継続しており、ヒステリシス曲線が次第に原点方向に移動している。

南半球では北半球とは対照的に活動のリズムが保たれており、現状では活動度は第23周期の同時期のものに近い。低緯度の活動は2014年以降低下に転じ、高緯度の活動は2014年以降上昇に転じている。ヒステリシス曲線は23周期の上昇期から下降期のものとほぼ重なり、南半球全体としての活動の低下は見られない。SDO衛星搭載のAIAの極端紫外画像から、南極周辺はよく発達したコロナホールに覆われていることがわかる。一方北極はいまだにコロナホールが発達していない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a 強い密度成層下での対流ダイナモと磁気スポット形成の物理

政田洋平（愛知教育大学）、佐野孝好（大阪大学）

黒点や活動領域等の大規模な磁気スポットは、一般的には、タコクラインにおいて増幅された大局的磁場が磁気浮力によって表層に浮上した結果として生じると考えられている (e.g., Choudhuri 2008; Fang et al. 2009)。一方、磁気スポットが、タコクラインではなく対流層上部における“何らかの”磁束集中機構の帰結として形成される可能性も示唆されている (e.g., Brandenburg 2005; Kitiashvili et al. 2010; Cheung et al. 2010; Stein & Nordlund 2012; Rempel & Cheung 2014 [例えば Cheung et al. や Rempel & Cheung では輻射輸送と磁束集中の関係が議論されている])。磁気スポットの形成機構は大局的磁場の増幅機構とも密接に関連しているが、ダイナモから磁気スポットの形成までを MHD に無矛盾に数値的に再現した例はこれまで存在していない。

黒点や活動領域の形成過程を大局的磁場の生成段階から首尾一貫して理解するために、現在我々は太陽対流層を模擬 ($0.7R_{\odot} \lesssim r \lesssim 0.99R_{\odot}$ の密度差をカバー) した計算モデルで、マルチスケール熱対流と磁場の非線形相互作用を定量的に調べている。天文学会 2015 年春季年会では、(1) 高速回転モデルにおいて大局的ダイナモが誘起されること、(2) 大局的ダイナモによって生成された磁場が対流層上部で組織化し、双極性の磁気スポットを形成すること、を明らかにした。本講演ではまず、強密度成層下での大局的ダイナモも乱流 α 効果によって定量的に説明できることを示し、大局的ダイナモの成否と局所ダイナモ数の関係を議論する。さらに、磁気スポットの大きさの計算ボックス幅 (アスペクト比) に対する依存性を示し、その形成の物理について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M06a 大規模磁場構築における小スケールダイナモの影響

堀田英之, Matthias Rempel (HAO/NCAR), 横山央明 (東京大学)

これまでにない高解像度の磁気流体シミュレーションをおこない太陽対流層のような回転熱対流ダイナモにおける大規模構築の新しいレジームを発見した。これまでの太陽や太陽型星を対象とした磁気流体計算によって、大規模磁場やその周期活動が再現可能になっている。しかし、最新の高解像度計算では、小スケールの磁場が支配的になり大規模磁場は弱くなるもしくは、ほとんど確認できないということが指摘されている。運動学的な状況での小スケールダイナモはスケールが小さければ小さいほど、成長率が大きいことが原因である。

しかし、実際の太陽では粘性や磁気拡散がとても小さいにも関わらず、11年周期やヘールの法則など大規模な磁場の存在を示唆する観測がある。つまり太陽ダイナモを理解するためには、低粘性・拡散の状況での大規模磁場構築を理解しなければならないのだ。本研究では、低拡散のスキームを使いつつ、格子点数を増やすことでこれまでに比べて劇的に実行的な解像度をあげた。すると低解像度・中解像度ではこれまでの発見と同じ解像度をあげると大規模磁場が弱くなるという傾向を発見したが、さらなる高解像度計算では、再度、大規模磁場が増幅されることが明らかになった。小スケールダイナモが活発になるほどの高解像度では、小スケールのローレンス力が大規模磁場の構築を助けることを発見した。本機構は、大きな粘性・拡散を必要としないので実際の太陽でも起こりうる機構であると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07a 磁気要素の自動追跡モジュールを用いた太陽黒点の成長/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、磁氣的活動(たとえば太陽フレアやジェットなど)の物理過程を解明するために重要である。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たアルゴリズムを利用し、一般的な検出アルゴリズムに比べて数倍程度の検出性能を持っている。本研究では開発したモジュールと、ひので/SOT (FG: Na I D 5896) 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 20 例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極輸送の非等方性が示唆された。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 2 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 4 倍以上となった。また後行黒点においては極側に輸送する例がやや多い傾向が見られた。本発表では、解析する黒点のデータ数を増やし、これまでの研究で得られた黒点崩壊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](#)

M08b 南極ドロニングモードランドアイスコアの酸素同位体比からわかる気
温変動と太陽活動周期との関係

長谷部憂磨, 望月優子 (理化学研究所, 埼玉大学)

地球の平均気温は太陽活動 11 年周期の極大・極小期に合わせ 0.1-0.2K 変動することが知られており、これら 2 つの関係性が示唆されている (e.g., Gray et al. 2010, Camp & Tung 2007)。本講演では、東南極にあるドロニングモードランド (DML) の気温変動の周期と太陽活動周期とを比較することにより、この関係性の有無を検証する。DML の過去の気温を調べるために、アイスコアを用いる。アイスコアとは、過去の積雪が層状に堆積した円柱状の氷試料で、その深度は年代と一対一対応している。アイスコアを溶かした水の分子 H_2^{18}O は H_2^{16}O に比べ飽和水蒸気圧が小さいため、蒸発しにくく凝結しやすい。このため気温が下がると、海面から蒸発し DML に降雪する水の酸素同位体 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比は減少する。酸素同位体 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比は気温と比例関係にあることが雪氷学上で確立されており、従ってアイスコア中の水の酸素同位体 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比は過去の気温の指標である。

我々は、公開された DML の時間分解能 1 年の 1025 年 ~1997 年の酸素同位体比データから、およそ 21 年、80 年、200 年の周期を得た。周期解析にはフーリエ解析法と自己回帰モデルによる方法を用いた。本講演では、この結果をよく知られた太陽周期である約 22 年、88 年、200 年と比較し、周期の関係性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](#)

M09b NICT 新太陽電波望遠鏡-III

久保勇樹, 岩井一正, 巨慎一, 石橋弘光, 石井守 (情報通信研究機構)

太陽電波観測は、太陽フレア / CME の発生に伴う衝撃波の形成や粒子加速の情報をいち早く察知するために有効な観測である。特に MHz 帯の電波は、コロナ中の衝撃波の発生やその強さ、伝搬速度などを推定するためによく使われており、地上の電波望遠鏡で観測することができることからリアルタイム性が重要である宇宙天気予報を行う上で重要な観測である。また、GHz 帯の電波は太陽フレアに伴って加速された電子が作るシンクロトロン放射等を観測しているため、フレアによる粒子加速などのコロナ中の高エネルギー現象の研究などに良く使われる。近年、サンプリングした信号データを直接ハードウェア上でフーリエ変換することで、非常に高速に周波数スペクトルを取得することができるようになったことを受けて、高時間・高周波数分解能太陽電波観測が世界各地で行われるようになった。このような高時間・高周波数分解能太陽電波観測は、今まであまり行われてこなかった太陽電波バーストの微細構造に関する研究や、バーストの発生機構に関する研究を飛躍的に進歩させる可能性を秘めており、精力的に研究が進められつつある。情報通信研究機構では、宇宙天気予報および太陽コロナ中での高エネルギー現象の科学研究のための基礎データの取得を目的として、超広帯域 (70MHz-9GHz) をカバーする高時間・高周波数分解能太陽電波望遠鏡の開発を進めている。現在、アンテナやフロントエンド、バックエンド等、一通りのシステムは完成し、試験観測を通してシステムの問題点の洗い出しと改善を行っている。本発表は、NICT 新太陽電波望遠鏡開発の現状と、試験観測中に観測された電波バーストのデータを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10b 強非対称磁気リコネクションの非対称度依存性

新田伸也（筑波技大）、淵田泰介（愛媛大）、和田智秀（理研）、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り、多数の論文が出版されつつあるが、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整合的特徴に注目している。

前回までの年会（2014秋、2015春）にて、 $k = 1.0, 1.1, 2.0$ の場合について報告した。その結果、磁場強度のわずか10%の非対称性だけで、標準モデルとされて来たPetschekモデルとは大きく異なる顕著な非対称構造を生じる事が明らかになっていた。ここから推測すると、磁場強度が桁で異なるような場合には、さらに強烈な非対称構造を生じそうに思われる。一方で、非対称度が強まるに従って、高ベータ側のリコネクションジェットが急激に遅く、また重くなり、これにブレーキをかけられることで低ベータ側のプラズモイド成長が遅くなる事も判明した。これは、極端な非対称構造は生じにくい事を示唆している。これら相反する傾向から、磁場強度の非対称性がシステムの時間発展にどのように影響するかには、慎重な解析の余地がある。

本講演では、磁場強度での非対称性のもたらす影響をさらに詳細に検討した結果を報告する。非対称リコネクションの顕著な特徴である低ベータ側プラズモイド先端から高ベータ側領域に伸びる長大なfast-mode shockの強度は僅かな非対称（ $k < 2$ 程度）で最大となり、非対称度の増加に追従しない事が判明した。また、低ベータ側のアウトフロー構造に与える非対称性の影響も $k \sim 5$ 程度で飽和し、これ以上非対称度を増しても、リコネクションシステムの全体構造に新たな特徴を生じない事などが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11b **Cross-field superslow propagation by continuum Alfvén/slow magnetosonic waves**

Takafumi Kaneko, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo), Marcel Goossens, Tom Van Doorsselaere (KU Leuven), Roberto Soler, Jaume Terradas (Universit de les Illes Balears)

We discuss the apparent propagation produced by phase mixing of continuum Alfvén waves or continuum slow magnetosonic waves on individual magnetic surfaces.

In the spring meeting of Astronomical Society of Japan in 2014, we reported on cross-field propagation which had slower velocity than the characteristic speed of the fast magnetosonic wave in the interior of the prominence of our simulation, and explained it by phase mixing of standing Alfvén or slow magnetosonic waves on individual magnetic surfaces. In this presentation, we derive the analytical solution of the apparent propagation and show examples for two-dimensional potential coronal arcade fields. The speed and direction of apparent propagation are related to spacial variation of the local Alfvén/slow frequency across the magnetic surface. The speed of apparent propagation gets slower with time, leading to a ‘superslow’ propagation that has slower velocity than the characteristic speed of Alfvén/slow wave. The apparent wavelength gets shorter, corresponding to the nature of phase mixing. The direction of the apparent propagation is across the magnetic surface, hence, this phenomenon could be erroneously interpreted as a fast magnetosonic wave. The features of apparent propagation should be taken into account to correctly analyze the results of observations and numerical simulations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12b プロミネンスにおける中性粒子とカルシウムイオンの速度差から明らかにする部分電離プラズマの磁場拡散 2

阿南徹、一本潔（京都大学）、Andrew Hillier（ケンブリッジ大学）

部分電離プラズマである太陽彩層の中性水素は、荷電粒子との衝突を介して、ローレンツ力を受けている。これまで太陽彩層は密度が大きく十分な衝突があるため、 $H\alpha$ (H I 6563Å) などで観測される様々な現象は磁気流体力学によって理解されてきた。特にコロナ中に浮かぶ冷たく重いプロミネンスにおける中性水素は磁場によって支えられていると考えられている。中性粒子と荷電粒子の衝突による摩擦力は中性粒子と荷電粒子の速度差に比例する。近年、この速度差を起因とする中性粒子流体からの磁場の拡散が理論的に研究され始め、この磁場の拡散によってコロナ加熱に重要な波の減衰率、磁気リコネクションの効率、浮上する磁場の量、彩層加熱率、さらには星形成の効率に影響することが明らかとなってきた。私たちはこの中性粒子と荷電粒子の速度差を観測的に明らかにすることを目的に、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて、プロミネンスの中性粒子、カルシウムイオンのスペクトル線を同時分光観測しドップラー速度を比較している。前回の2015年春季年会では、理論的に予想されていた速度差（～秒速0.01キロメートル）よりもはるかに大きい～秒速1キロメートルの速度差を有意に測定したことを報告した。しかし、測定誤差の導出方法に非常に小さな誤差（波長サンプリングの1/100、1/1000）を導出してしまうという問題があることが明らかとなり、測定された速度差が有意でないことが明らかとなった。本ポスターでは、測定誤差の導出方法における問題点を議論するとともに、2015年5月5日に観測したプロミネンス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](#)

M13b 国立天文台太陽フレア望遠鏡 $H\alpha$ 線観測データ自動処理システムの改良
大辻賢一 (国立天文台)

国立天文台太陽観測所の太陽フレア望遠鏡 (Solar Flare Telescope) の T1 は、世界で数少ない、 $H\alpha$ 線近傍多波長 (center, $\pm 0.5\text{\AA}$, $\pm 0.8\text{\AA}$, $+3.5\text{\AA}$) による太陽全面撮像を行っている観測装置である。今回、この T1 の撮像カメラをこれまでの CCD カメラからスミア等の影響のない sCMOS カメラへの変更を行い、より定量的な太陽彩層活動現象の解析が可能となった (花岡ポスター参照)。これに伴い、これまでの観測データ処理プログラムも一新し、フィラメントやプロミネンスの活動をリアルタイムでモニター可能とした。

観測されたデータは、この自動処理システムによって公開用の fits ファイルに変換されると同時に周辺減光の除去を行い、一定の条件を経てフィラメント領域やプロミネンス領域が検出される。これらの位置や形状の情報は、太陽全面 cloud model 適用プログラムへと受け渡され、彩層上空に浮かぶフィラメントやプロミネンスの物理量解析に用いられる。しかし、太陽全面への cloud model 適用は時間がかかるために、リアルタイムでのフィラメント噴出現象の自動検出として用いるにはまだ改良の余地がある。このため、より簡易的な手法として、検出されたフィラメントやプロミネンスの面積の時間変化 (フィラメント噴出現象の際は $\pm 0.5\text{\AA}$ における暗領域面積が増加し、プロミネンス噴出では center での明領域面積が増大) をモニターすることでこれらの噴出現象をいち早く検出することを考案し、観測データ自動処理システムの改良を行った。

現在、雲等の影響を除外するアルゴリズムの改良を行っており、完成した暁には国立天文台太陽観測所の HP からリアルタイムのプロットが閲覧できるようにする予定である。本システムにより、彩層活動現象のアラートとしての役割を太陽フレア望遠鏡が担うことになるものとして期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M14b 野辺山電波ヘリオグラフ 34GHz の像合成方法と彩層大気

岩井一正 (情報通信研究機構), 越石英樹 (宇宙航空研究開発機構), 柴崎清登 (名古屋大学), 野澤恵, 宮脇駿, 米谷拓朗 (茨城大学)

ミリ波帯域の主要な電波放射機構は彩層上部 6000K から 10000K の層からの熱制動放射である。この波長の熱制動放射は局所熱力学平衡状態で形成され、光学的厚さが温度と密度で決まる。よって電波の輝度温度スペクトルからは、彩層大気の温度と密度の鉛直構造を逆算できる。これまでに野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた観測から、85GHz(3.5mm)、115GHz(2.6mm) で黒点大気の観測が行われている (Iwai and Shimojo, 2015, ApJ)。熱制動放射の放射波長は太陽面からの高度に対応しており、より長波長での観測は彩層上部から遷移層の大気モデルに制約を与えるうえで重要である。本研究では、野辺山電波ヘリオグラフの 34GHz(8.8mm) の全面撮像データを用いて、黒点暗部の輝度温度を導出した。電波ヘリオグラフの空間分解能は 34GHz において最高で約 5 秒角であり、比較的大きな黒点の暗部と半暗部を分解できる。一方、黒点やその周辺のプラージュは電波ヘリオグラフにとって広がった構造であり、通常の CLEAN は像合成に不向きな場合がある。本研究では通常の CLEAN に加え、広がった構造に適した Steer-CLEAN アルゴリズムを 34GHz のデータに適用することで、2 種類の像合成方法で黒点の輝度温度の導出を行った。その結果、34GHz において黒点暗部の輝度温度の上限値は静穏領域に対して 100K から 1500K 高かった。34GHz の輝度温度は多くの大気モデルで静穏領域より 1000K から 8000K 程度明るいと予想されるが、本観測結果はそれより低い値だった。これは遷移層の高度が多くのモデルの予想より低い可能性を示唆している。また本研究成果は、今まで主にフレアの解析に用いられた電波ヘリオグラフの 34GHz のデータが、フレア以外の幅広い観測対象にも利用できることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M15b 飛驒 DST 偏光分光観測による黒点半暗部形成と磁場発展との関係性の検証

米谷拓朗、野澤恵（茨城大学）、一本潔、上野悟、阿南徹（京都大学）

黒点は太陽内部の対流層に存在する磁束管が光球まで浮上することにより生成される。黒点は暗部と半暗部で構成されるが、半暗部形成における具体的な物理メカニズムは解明されていない。黒点を構成する磁場は複数の大気層にまたがっており、磁場の構造は温度や密度など大気層の物理パラメータに依存するため、同一の磁束管でも大気層によって異なる描像を示す。Shimizu et al. (2012) では光球・彩層同時撮像観測から半暗部形成において、光球よりも先に彩層で半暗部の前駆構造が形成されたことを示唆した。また、Jan et al. (2014) では偏光分光観測による光球磁場測定から、光球において暗部の垂直な磁場が傾き、水平な磁場へと変化することによって暗部が半暗部へと変化したことを示唆した。

そこで本研究では光球・彩層両者の磁場の時間変化がどのように半暗部形成に影響しているかについて光球・彩層同時偏光分光観測による磁場測定から検証をおこなった。

2015年5月14日に活動領域 NOAA 12342 中の黒点半暗部が数時間かけて成長した。その半暗部の形成過程を飛驒ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の垂直分光器を用いて偏光分光観測をおこない、彩層のスペクトル線 He I 10830 Å に対してインバージョンコード HAZEL (Asensio Ramos & Trujillo Bueno et al. 2008) を適応し、彩層における磁場や視線方向速度などの物理量を導出した。一方、光球のスペクトル線 Si I 10827 Å に対しては Milne-Eddington 大気モデルを適用することにより、光球における磁場や視線方向速度などの物理量を導出した。本講演ではそれらの物理量をもとに半暗部形成について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16b 狭帯域チューナブルフィルターを用いたエラーマンボムの三次元立体構造の解明

加藤友梨、野澤恵 (茨城大学)、萩野正興、大辻賢一 (国立天文台)、一本潔、木村剛一、上野悟 (京都大学)

2015年6月上旬にH α 線で観測したNOAA 12356の黒点近傍で発生したエラーマンボムについて報告する。エラーマンボムとは彩層底部で起こる小規模な爆発現象であり、H α 線中心では吸収、ウィング部で増光がみられる特徴的なスペクトルプロファイルを示す。一般的に浮上磁場領域や黒点半暗部の縁、上昇中のフィラメントの足元に生じ、しばしばサージを伴う。我々はこれまで、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡(DST)の水平分光器を用いて、CaIIK線のコアとピークのドップラーシフトを測定してきた。この結果としてCaIIKの散発的増光に伴い、ガスが上空へ放出され、コアでの光度曲線で大きな変動が見られないことから、エラーマンボムは彩層上部ではなく光球面上から彩層下部で起こっていることが示した。

今回、我々はDSTのスリットジョーイメージを取得するために京都大学飛騨天文台で開発された狭帯域チューナブルフィルター(UTF)をセットし、H α 線波長中心から $\pm 2\text{\AA}$ の範囲にわたり 0.2\AA ステップで21波長観測を行った。これは各波長における光度変化を求め、加熱による光度変化が高さの違う彩層中での変化を調査するためである。これにより、エラーマンボムの立体構造を詳細に調べ、磁気リコネクションに伴うエネルギー開放及び伝播とそれによる彩層加熱の具体的描像を観測的に解明することを目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17c 太陽極域の磁気パッチ形成と光球収束流について

末松芳法 (国立天文台)

太陽極域の磁場構造および時間変化は、磁気活動の周期性を説明するダイナモ機構を考える上で重要である。極域の極性が周期性を持ち、黒点数の増減と合わせて反転することは良く知られているが、反転の詳細機構は不明である。極域では磁束の大きいかたまり (磁気パッチと呼ぶ) が、周期性を担っていることが知られてきており、磁気パッチの特性、形成機構を知ることが極域の磁場特性を理解する上で必要である。「ひので」衛星の時間分解能の高い偏光分光データを用いて、磁気パッチの形成・維持には光球の収束流が多く伴っていることが分かった (Kaithakkal et al. 2015, ApJ 799)。分光観測では視線方向のドップラー速度しかわからないため、収束流の2次元的な構造はわかっていない。ここでは、「ひので」の極域 G-band 高解像度 2次元像を用いて、局所相関追跡法 (Spectral Optical Flow 法) により、速度場を求めた。また、白斑 (G-band 輝点) を磁気パッチの代わりとし、速度場の発散、回転を取ることで、収束流との関係を調べた。結果として、白斑には収束流が伴うが、白斑のないところと比べて、特に顕著でないことが分かった。磁気パッチの形成には、収束流だけでなく、検出できない背景磁場の分布が重要であることを示している。磁気パッチの形成について、インダクション方程式を用いた簡単なモデルを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M18c **Ca II K 分光観測によるコロナループ足元の彩層現象の診断 II**

永田伸一、阿南徹、上野悟（京都大学）、大辻賢一（国立天文台）

2009年8月3日に実施された「ひので」と飛騨天文台 Domeless Solar Telescope(DST) の共同観測のデータを用い、コロナループ下部の彩層状態の解析を行っている。ひので XRT で観測される hot loop、TRACE 195Å で観測される warm loop の下部からの Ca II K のスペクトルを比較すると、1) K2/K3 強度は、hot loop 下部が、warm loop 下部よりも大きい、2) K2V/K2R の非対称性は、warm loop では K2V が卓越する成分が多いが、hot loop には K2R が卓越する成分も含まれることを見いだした (2015 年春季年会 M56a)。Vernazza, Avrett and Loeser (1981) の平行平板大気モデルに従うと、彩層からの net radiative loss は Ca II H/K と、IR の 3 本の線からの寄与が全体の 30% を占めることを援用すると、1) の結果は、hot loop 下部は、warm loop よりも大きな彩層加熱が発生していることを示唆する。2) の K2V が卓越する非対称なプロファイルは Carlsson & Stein (1997) による Ca II HV grain の衝撃波通過による加熱と定性的には整合するが、warm loop には K2R の超過成分がある、と見ることができる。他方では、森田他 (2009) による、ひので可視光望遠鏡で Ca II jet と同定された現象の DST スペクトルでは、磁気リコネクションジェットの伸長に伴う速度勾配起因の K2R の非対称性発達が議論されている。本講演では、新たに各 loop 下部の Ca II K の時間変動と、モデル大気を用いたスペクトル計算を用い、コロナループ下部での彩層加熱現象を衝撃波形成と磁気リコネクション双方の効果の重率として議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M19c 太陽風領域の自動識別について

亙 慎一, 田 光江, 久保勇樹 (情報通信研究機構)

現在、太陽風のリアルタイムデータを提供している Advanced Composition Explorer (ACE) 衛星の後継となる Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) 衛星が 2015 年 2 月に打ち上げられ、6 月はじめに地球から約 150 万キロ離れた L1 点に到着した。これにより、今後も安定してリアルタイム太陽風データが得られる見通しが立った。そこで、リアルタイム太陽風データを用いた太陽風領域の自動識別について検討を行った。太陽風パラメータは、コロナ質量放出 (CME) やコロナホールなど太陽でのソースにより異なる特徴を持っている (Neugebauer et al., 2003)。太陽風パラメータからその太陽風の領域がどのような特徴を持っているかを自動的に識別できると観測された太陽風の太陽でのソースの推定や太陽風の乱れによる影響の予測を行う宇宙天気予報において有用である。磁気嵐の原因となる磁気ロープ構造について磁気ロープの領域 (Lepping et al., 1990) では、磁場の変動が少なくなることから、磁場が強く磁場の時間微分値が小さくなる領域として検出を試みた。また、太陽風パラメータの時間微分値の組み合わせを用いた検出法 (Vorotnikov et al., 2008) により太陽風中の衝撃波の検出を試みた。それら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](#)

M20a **Hinode 衛星と IRIS 衛星による MHD 波動の高時間分解能観測**

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

MHD(電磁流体力学的) 波動、特に Alfvén 波が太陽コロナの加熱を理解するための鍵として注目されている。太陽大気に存在するプロミネンスやスピキュールで多くの Alfvén 波の観測例が存在するが、Alfvén 波が励起されている現場や散逸されている現場を観測した例は少ない。また、これまでの多くの研究では撮像データから波動の物理量を得ており、偏光観測により磁場データを用いて定量的な議論をした研究はほとんどない。

我々は偏光観測により MHD 波動の性質を調べた先行研究 (Fujimura & Tsuneta 2009) に着目した。この研究は Hinode 衛星の可視光望遠鏡に搭載されている SP(Spectro-Polarimeter) を用いて偏光分光観測を行い MHD 波動の性質を調査したものである。しかしながら先行研究で行われた観測の時間分解能は 67 秒であり、35 分周期で振動する MHD 波動を同定するにあたり、波形も含めて議論することは難しい。また観測は光球面に限定されており、上空大気が波動にどのように応答するかの考察までは行われていない。これらの二点を改良するため、我々は Hinode 衛星と IRIS 衛星を用いて高時間分解能 (21 秒) で同時観測を行った。

データを解析した結果、光球面でも上空大気でも周期的に振動するシグナルを速度場、放射強度、磁場 (*Hinode により光球面のみ観測) について得ることができた。それらの周期は光球面でも上空大気でも変わらず 5 分程度であり、速度場に関しては上空大気の振幅のほうが光球面における振幅よりも大きかった。また光球面における速度場と磁場の関係を調べたところ、観測された磁場の周期変化は Alfvén 波による磁場の振動によるものだけではなく、P-mode 振動により励起された音波によって引き起こされた観測高度の周期変化による見かけの振動である可能性が大きいという結論を得た。本講演ではこれらの結果を導いたデータを示しつつ、過程を詳細に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21a コロナ輝線幅の非熱的速度成分について

原 弘久 (国立天文台)

太陽の遷移層やコロナで観測される輝線の幅は、電離平衡プラズマからの輝線放射の形成温度に比べて顕著に広がっていることが1960年代より知られ、輝線放射に関わるイオンの非熱的運動の寄与分と理解されている。その広がりの量は速度単位で10–30 km/s程度であり、解像度の悪い初期の観測から現在に至るまで大きくは変わっていない。その解釈は、コロナの波動加熱機構の代表格であるアルヴェン波そのものであったり、アルヴェン波が生み出す乱流構造であったり、極微小フレアが生み出す速度構造だったり様々である。いずれにしてもこの運動がコロナの熱化と密接に関係している鍵とみるべきであろう。

コロナの構造に対して輝線幅中の非熱的速度成分の変化分を捉えることで、加熱機構について調査するという研究がこれまでいくつか行われてきている。コロナの磁気ループ構造に対する非熱的速度成分の異方性については、乗鞍の地上コロナグラフによる高分散分光観測でその存在が指摘され、コロナグラフでアクセスできる領域においては、波動加熱モデルへ拘束がかけられている。また、地上観測に比べては低分散分光ではあるが、観測効率の高いスペースでのコロナの分光観測からは、現在の解像度以下の微細構造の加熱に伴って発生する高温コロナプラズマの上昇運動が輝線幅変化として見出されているほか、多種イオンの輝線を同時に観測できることからイオンの熱運動速度の測定が可能となってきた。本講演では、これまでの観測結果のほかに、「ひので」衛星の極端紫外線撮像分光観測で得られつつある新たな結果と今後の実施課題を示し、また将来に必要とされるコロナの分光観測と研究の方向性について私見を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22a 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。これは重力無しの結果に合致する。

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ため、これらの効果が打ち消し合い、重力無しと有り flux 量に大きな差は生まれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M23a アルフベン波の非線形反射

庄田宗人, 横山央明 (東京大学)

現在ではコロナ加熱や太陽風加速を説明する理論はいくつか存在するが、その中でもアルフベン乱流は最も有力な素過程の一つであると考えられている。アルフベン乱流はその駆動源として反射波が必要であり、背景場の非一様性に由来する線形反射がその生成メカニズムとして有力視されている。しかしながら太陽風が加速される領域では背景場のスケール長が大きく、線形反射は効率的ではない。一方波の非線形性は無視できない程度に大きいいため、減衰不安定のような非線形効果を介した反射波の生成は効率よく生じると考えられる。したがって実効的な反射率は線形理論から計算される量より大きくなる可能性があり、アルフベン乱流によるエネルギー供給率をより正確に見積もるためには非線形反射のメカニズムの同定とその定量的解析が不可欠となる。

そこで私たちは一次元一様周期系でのアルフベン波の非線形伝播を数値計算し、非線形効果に由来する反射波の生成の定量的解析を行った。十分振幅の大きいアルフベン波は圧縮性モードと相互作用することで音波を生成し、生成された音波は再度アルフベン波に衝突することで新たにアルフベン波を生成する。私たちの解析結果は、アルフベン波が上記のような連鎖的非線形相互作用を繰り返すことで効率よく反射波を生成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](#)

M24a **On optimized relation functions of solar wind plasma used in the IPS-MHD tomography and their long-term evolution**

Keiji Hayashi, Munetoshi Tokumaru, and Ken'ichi Fujiki (STEL, Nagoya University)

The IPS(Interplanetary Scintillation)-MHD(magnetohydrodynamics) tomography is a method we developed to determine three-dimensional MHD solution of the solar wind best matching the line-of-sight IPS solar-wind speed data (Hayashi et al., 2003). In each iteration step of this method, synthetic IPS observations are simulated in MHD steady-state solution, and the boundary map at 50 solar radii is then modified in a way such that differences between the computed and actual line-of-sight plasma speed will be reduced. In this iterative MHD method, the plasma density and temperature of solar wind are determined with empirical functions of solar-wind speed, $N(V_r)$ and $T(V_r)$, that were derived from data of Helios in-situ measurements within 0.5 AU in 1970s. The functions work reasonably well for numerically reproducing state of solar-wind plasma in earlier solar cycles, and the obtained solutions well agree with in-situ measurements at Earth and by Ulysses space probe. However, for recent years, specifically after 2006, these functions yield higher densities and lower temperatures than in-situ measurements indicate. To assess the background dynamics in acceleration and heating processes in the solar corona and characterize the differences between the simulated and actual solar wind plasma, we first optimize the empirical relation functions for each Carrington Rotation period. In this presentation, we will show the methodology for optimizing the relation functions and discuss their variations over three and a half solar cycles, from early 1970s.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M25a 自動追跡モジュール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)

太陽コロナホールの大きな特徴の一つとして、太陽コロナホールから太陽風が吹き出ていることを挙げられる。太陽風は人工衛星等に大きな影響を与えることが知られている。太陽コロナホールの変動の理解は太陽風の発展の理解につながり、これは宇宙天気研究において重要なものである。太陽コロナホールの生成・消滅過程を解析するために、SDO(Solar Dynamics Observatory) 衛星に搭載された AIA(Atmospheric Imaging Assembly) の観測データと 2 機の STEREO(Solar TERrestrial RELations Observatory) 衛星に搭載された SECCHI(Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation) 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。本研究では、2012.1.27 ~ 2012.10.26 の期間にわたって、北半球に位置した同一の太陽コロナホールを追跡し解析を行った。その面積は 1 月 27 日から 5 月 6 日の間に $1.30 \times 10^{10} \text{km}^2$ から $15.9 \times 10^{10} \text{km}^2$ まで増加し、そこから 10 月 26 日までに $2.28 \times 10^{10} \text{km}^2$ まで減少した。その際、そのコロナホールの形状は差動回転の影響を受け、左斜めに引き伸ばされていった。この太陽コロナホールの重心の速度を求めたところ平均速度 1.87km/s と、太陽の赤道付近での自転速度 (約 1.89km/s) にほぼ一致した。また、このモジュールを用いて解析を行った結果、フレア/CME の発生が太陽コロナホール生成に非常に重要であることがわかった。本研究では太陽コロナホールとフレア/CME の関係についての解析結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26a 日食時データを用いた EIS 観測における迷光寄与の評価

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

近年、ひので衛星 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 Alfvén wave damping の証拠がとらえられている。極域コロナホールは非常に暗く、対象とするコロナホール上空では、Fe の輝線で静穏領域に対し、高さ $1.2R_{sun}$ で 1/5, 高さ $1.4R_{sun}$ で 1/10 程度である。ゆえに、周辺領域からの迷光の影響により解析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、散乱光・迷光の影響を定量的に評価する。前回の講演で解析したものに加え、全部で 3 つの日食イベントについて考察する。これらのイベントはそれぞれ異なる特色をもつデータであり、総合的に解析する事は有意義である。特徴を以下に示す。

①:2014 年 4 月 29 日 5:00 ; 月が太陽面をほぼ全て隠し (ほぼ皆既日食)、EIS はその外側のオフリム (Y:-884 " から -1341 ") を観測、②2014 年 10 月 23 日 20:00 ; 月が太陽極域 (Y:-13 " から 965 ") からオフリム (Y:1814 " まで) を隠し、EIS はオフリム領域を月に隠された状態で (Y:888 " から 1399 ") を観測、③2014 年 10 月 23 日 23:00 ; 月が太陽極域 (Y180 " から 965 ") からオフリム (Y:2007 " まで) を隠し、EIS は反対側のオフリム領域を (Y:-686 " から -1197 ") 観測。具体的な解析は、通常時・日食時において、FeXII(195.12Å), FeXI(188.23 Å), FeX(184.54 Å) の 3 つについて、輝線強度と輝線幅 (装置幅・熱速度を引いた非熱速度) を解析し、その値の変化を考察した。①から FeXII の高さ $1.39R_{sun}$ で 60 % の散乱光・迷光があり、それらの影響により輝線幅が細くなる (46.0 - 44.8[km/s]) 事がわかった。②では散乱光・迷光のソース領域からの距離による違いを検討する。また、③により、日食時に生じる衛星の温度変化によって、光学系に変化が生じ、輝線強度や輝線幅に変化が生じる可能性が考えられる。しかし、輝線強度・輝線幅に対するそのような変化の影響は無視できる事がわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M27a **Solar micro-Type III burst storms and long dipolar magnetic field in the outer corona**

Akira Morioka (Tohoku Univ.), Yoshizumi Miyoshi (Nagoya Univ.), Kazumasa Iwai (NICT), Yasumasa Kasaba (Tohoku Univ.), Satoshi Masuda (Nagoya Univ.), Hiroaki Misawa, Takahiro Obara (Tohoku Univ.)

Solar micro-type III radio bursts are elements of the so-called type III storms and are characterized by short-lived, continuous, and weak emissions. Their frequency of occurrence with respect to radiation power is quite different from that of ordinary type III bursts, suggesting that the generation process is not flare-related but due to some recurrent acceleration processes around the active region. We examine the relationship of micro-type III radio bursts with coronal streamers. We also explore the propagation channel of bursts in the outer corona, the acceleration process, and the escape route of electron beams. It is observationally confirmed that micro-type III bursts occur near the edge of coronal streamers. The magnetic field line of the escaping electron beams is tracked on the basis of the frequency drift rate of micro-type III bursts and the electron density distribution model. The results demonstrate that electron beams are trapped along closed dipolar field lines in the outer coronal region, which arise from the interface region between the active region and the coronal hole. A 22-year statistical study reveals that the apex altitude of the magnetic loop ranges from 15 to 50 RS. The distribution of the apex altitude has a sharp upper limit around 50 RS suggesting that an unknown but universal condition regulates the upper boundary of the streamer dipolar field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28a 太陽電波 IV 型バースト中の微細構造ゼブラパターンの放射過程における
X モードの出現過程

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）

太陽電波 IV 型バーストは閉じた磁力線に捕捉された非熱的電子に起因する電波放射で、メートル~デシメートル波長帯にかけて観測される現象である。IV 型バースト中には様々なスペクトル微細構造が存在し、それらのスペクトル構造はコロナ中の放射源や電波伝搬域のプラズマ環境を反映している。zebra pattern (ZP) と呼ばれる微細構造は狭帯域の放射が周波数方向に並んだ縞模様のようなスペクトル形状を示す現象である。ZP はコロナのプラズマ環境を理解する上で有用であるが、その生成メカニズムは特定されていない。この ZP について、これまでに提唱されたシナリオの検証を通して、その放射及び伝搬過程を解明することが本研究の目的である。

本研究では、2011 年 6 月 21 日に観測された ZP の偏波について、特にその周波数特性に着目し、太陽電波望遠鏡 AMATERAS により得られた高分解能スペクトルデータを用いた解析を行った。ZP が、その発生過程として有力な Double Plasma Resonance で放射されたと仮定し、観測された偏波特性の出現過程を検討した。その結果、ZP が O モードで放射された後、放射源のごく近傍でその一部が、何らかの低周波波動との相互作用により X モードに変換されることで周波数ずれが生じ、そこから伝搬する O モードと X モードの群速度の違いにより時間差が発生した可能性が示唆された (Kaneda et al. 2015 submitted)。本講演では、偏波特性をより定量的に評価することにより、これまでの解析から示唆された放射過程において X モードが出現するモード変換過程の実現可能性を検討し、それに必要とされる低周波波動の特性およびプラズマ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](#)

M29a **高感度硬 X 線観測ロケット FOXSI-2 とひので X 線望遠鏡による太陽活動領域の温度解析**

石川真之介 (ISAS/JAXA), L. Glesener, S. Krucker (UC Berkeley), S. Christe (NASA/GSFC), 成影典之 (NAOJ), ほか FOXSI チーム

太陽活動領域における高温プラズマの温度分布 (Differential Emission Measure, DEM) は、活動領域の物理状態を理解してその成り立ちを議論するために必要な基礎的パラメータであり、これまで軟 X 線や EUV の観測から推定されていた。しかし我々は、フレアを起こしていない活動領域に >10 MK の超高温プラズマが存在するかどうかを軟 X 線と EUV の観測のみから判断することは不定性が大きいため困難であり、この成分の有無を判定するには硬 X 線観測が有効であることを示した (Ishikawa et al. 2014, PASJ)。フレア発生時以外における太陽硬 X 線観測は従来の非集光型撮像観測機器では実現されておらず、これまでにない高感度観測が必要である。我々は、硬 X 線望遠鏡と高分解能の半導体硬 X 線イメージャーを用いて世界初の硬 X 線集光撮像観測による高感度太陽観測を行うロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager (FOXSI) の 2 回目の打ち上げを 2014 年 12 月に行い、複数の活動領域の観測に成功した (FOXSI-2、2015 年春季年会にて石川他が報告)。FOXSI-2 の観測時間中およびその前後、我々はひので衛星で FOXSI-2 をサポートする同時観測を行っている。X 線望遠鏡 (X-ray Telescope, XRT) は、活動領域の温度構造を調べることを目的として、マルチフィルター観測を行った。 >10 MK の高温成分にこれまでにない高い感度を持つ FOXSI-2 の観測と、 <10 MK に感度を持つ XRT の同時観測により、 >10 MK までに及ぶ広い温度範囲で精度の高い DEM の推定が初めて可能になった。本講演では、FOXSI-2 およびひので/XRT による活動領域観測の概要と、DEM 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](#)

M30a ひので・IRIS 衛星による半暗部マイクロジェットの観測

勝川行雄 (国立天文台), 木村泰久 (東京大学), 岡本文典 (名古屋大学), T. Tarbell (LMSAL)

半暗部マイクロジェットは「ひので」によって発見された微細な彩層高速現象であり、彩層のダイナミクスにおいて磁気リコネクションの重要性を示すものである。本講演では、ひので・IRIS 衛星共同観測により半暗部マイクロジェットが遷移層・コロナにどう影響しているか調べた研究について報告する。この共同観測では、ひので Ca II 線の高時間分解能 (1.6 秒) 撮像観測により彩層高速現象の時間発展を追った。IRIS 衛星では Mg II 線と Si IV 線の slit jaw 観測・分光観測を行い、彩層上部・遷移層の応答をひのでと同等の解像度で観測した。ひので Ca II 線観測によって、ジェット状増光は付け根 (内側) から先端 (外側) に向かって明るくなる様子がとらえられ、見かけの速度は内側で 100–200 km/s 程度、外側では 1000 km/s に迫るものが多いことが分かった。Mg II 線では、Ca II 線とほぼ同じか Ca II 線よりも若干長く伸びたジェット状増光が見られる。それらよりも高温に感度のある Si IV 線では、ジェット状増光の先端付近に輝点状増光が現れることが分かった。さらに、半暗部マイクロジェットの一部分に対して AIA 171Å などのコロナ画像でも増光を同定することができた。Ca II 線で見えていたのは半暗部マイクロジェットの下側のみだったのである。Si IV 線の輝点状増光は Ca II 線のジェット状増光と 10 秒の時間分解能でほぼ同時であり、高速な伝播現象であることを裏付けている。さらに、スピキュールで見られるような放物線運動は見られず、また Si IV 線の分光観測からドップラーシフトはせいぜい 10 km/s 程度であり、Ca II 線の見かけの速度より桁違いに小さい。よって、ジェット状増光は大気の運動ではなく波動の伝播を見ている可能性が高い。100 – 1000km/s にもなる伝播速度は Alfvén 波以外には考えにくく、その場合、Alfvén 波により黒点彩層が加熱されていることになる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M31a IRIS 衛星 Mg II h/k 線観測で明らかにするスピキュール発生源

阿南徹、一本潔、永田伸一（京都大学）

スピキュールは幅 300km、長さ 7000km の細長いジェットであり、彩層の主要な構成要素である。よって、スピキュールの形成過程を理解することは彩層を理解することに繋がる。また、光球からコロナへエネルギーが伝播する際の経路になっていると考えられてる。これまでスピキュールの微細な構造を空間分解するために、ある波長帯を透過するフィルターを用いた 2 次元空間画像観測によってスピキュールは主に研究されてきた。しかし、ある波長帯で観測されるプラズマはスピキュールの視線方向速度や温度、柱密度などの様々な物理情報によって決定されるため、スピキュールがどのような大気でどのような構造や現象に伴って発生するかを特定することはできなかった。2013 年 6 月に打ち上げられた IRIS はスピキュールを観測するのに十分な高い空間分解能で安定して分光観測を行う太陽観測衛星である。IRIS によって観測されるスペクトル線 Mg II h/k 線のプロファイルは特徴的な形をしており、プロファイルの形から温度最低層における温度、彩層中部での温度や速度勾配、彩層上層部での速度や速度勾配などの 2 次元空間分布を得ることができる。また、光球上部から彩層中部までの温度分布の変化なども得ることができる。私たちは、スピキュールがどのような大気でどのような構造や現象に伴って発生するかを明らかにするために、IRIS が観測した太陽静穏領域の Mg II h/k 線分光観測データを用いて、スピキュールの構造と Mg II h/k 線のプロファイルの形から明らかとなる物理量を比較した。その結果、暗いスピキュール (dark mottle) は温度最低層より少し上空 (平均的な大気モデル FALC で光球からの高さ 800km) の暗い領域から発生し、明るく小さく細いスピキュール (bright fine mottle) は温度最低層の明るい領域から発生することが明らかとなった。本講演では明らかになったことをまとめ彩層静穏領域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](#)

M32a 2次元輻射磁気流体計算による彩層ジェット構造のコロナ温度依存性の 検証

飯島陽久, 横山央明 (東京大学)

太陽彩層では様々なジェット様構造が観測される。特に、活動領域におけるダイナミックフィブリルや静穏領域やコロナホールで観測されるスピキュールは放物型の軌道を持ち、同様の形成機構が示唆される。しかし、活動領域ダイナミックフィブリルと静穏領域スピキュール、コロナホールスピキュールでは最大高度にして数倍程度の違いがある。Shibata & Suematsu (1982) は、理想化した1次元流体計算を用いて、これが背景成層の違い、特に遷移層における密度の違いにより説明出来ることを示した。

本研究では、Shibata & Suematsu (1982) をより現実的な物理過程を取り入れた2次元輻射磁気流体計算により検証する。計算は磁気流体方程式に加え、部分電離の効果を検討した状態方程式、輻射によるエネルギー損失、非熱的電子による熱伝導を考慮する。下部境界からのエネルギーフラックスの流入により、計算領域内では対流運動が起こり、自発的にジェットを含む大気構造を形成する。しかし、2次元計算であることと上部境界がコロナ下部にあるため、高温のコロナは上部境界からの熱伝導フラックスにより保たれている。本研究では、この熱伝導フラックスの大きさを調整することで、コロナホールから静穏領域、活動領域の大気構造を模倣し、形成される彩層ジェット構造への影響を調べた。

その結果、彩層ジェットは活動領域で背が高く、静穏領域で背が低くなる傾向を示した。これは Shibata & Suematsu (1982) の結果と定性的に一致する。講演では、コロナ温度への依存性のより定量的な比較とその物理メカニズムを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a 彩層分光観測から迫る太陽フレアのエネルギー解放過程

鄭祥子, 坂上峻仁, 浅井歩, 上野悟, 一本潔, 柴田一成 (京都大学), 川手朋子 (Queen's University Belfast), 岡本文典 (名古屋大学)

近年, 太陽フレアにおける間欠的なエネルギー解放が観測と理論の両面から示唆されているが, 観測的証拠は未だ少ない。太陽フレアでは, 上空での磁気リコネクションで一部の電子がエネルギー解放領域から磁力線に沿って下方向に高速で運動し, 彩層付近で衝突による加熱, 膨張をもたらすと理解されている。このことから, フレア足元の彩層の観測によりフレアのエネルギー解放過程に迫った。

今回は 2014 年 11 月 11 日 8 時 55 分 (JST) 頃に活動領域 NOAA12205(N13W07) で発生した C5.4 のフレアについて報告する。このフレアは HOP275 により IRIS 飛騨ひので共同観測が行われた。Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) では一部フレアリボン上に乗った固定スリットによる分光とフレア領域の撮像, 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡水平分光器 (DST/HS) ではフレア領域の分光スリットスキャンがなされ, 太陽フレアにおける彩層の多波長同時分光撮像観測に成功した。

IRIS で観測された MgIIh/k, CII, SiIV 等の彩層で形成されるラインでは, フレア初期にフレアリボン上で間欠的な輝線の red asymmetry が確認され, データの時間間隔である 9.5sec の時間構造が発見された。これよりフレアにおける彩層への間欠的なエネルギー注入が示唆された。この輝線の波長変位から算出したドップラー速度は最大 40-80km/s 程度となったが, これらライン間で red asymmetry の開始時刻に差はなかった。さらに DST/HS で観測された Ha, CaIIK, CaII8542A のラインでも輝線の red asymmetry が確認された。これら彩層の多波長分光観測データを中心とした結果から, 太陽フレアにおけるエネルギー解放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](#)

M34a 磁場がサージを加速するメカニズムについての観測的検証

坂上峻仁, 鄭祥子, 浅井歩, 上野悟, 一本潔, 柴田一成 (京都大学)

太陽では、フレアに伴って大気下層のプラズマが上空へ噴出するジェット現象がよく見られる。この内 $H\alpha$ 線などの彩層のラインで観測されるジェット現象は「サージ」とも呼ばれ、その加速メカニズムには磁場が深く関与していることが指摘されてきた。たとえば Shibata & Uchida 1986 は、螺旋状の磁場がプラズマを加速することを数値計算で示し、しばしば見られる螺旋状のサージについて、その加速メカニズムを説明している。

一方で、サージの加速メカニズムと磁場との関係を観測で明らかにしようという試みは十分に行われてこなかった。サージの加速度に注目した観測的研究として Roy 1973 や Tamenaga *et al.* 1973 などがあるが、これらは主に噴出したサージが減速される過程に注目している。また、上記の理論によれば、サージの加速メカニズムにおいて本質的に重要なのは、ねじれなどの3次元構造であるはずだが、先行の観測的研究ではサージが磁力線に沿って1次元的に運動するものと単純化した議論しかできていないことが多い。

そこで本研究では、2014年11月11日に京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡での観測で捉えられた加速期段階のサージについての高空間・高時間・高波長分解能かつ同時多波長 ($H\alpha$ 、CaII K、CaII 854.2nm) のスペクトルヘリオグラムの解析を行った。

解析により、サージのねじれの運動や視線方向の構造など、その3次元構造を定量的に把握できたほか、サージの中で独立して運動する複数のプラズマの塊に注目し、サージの加速度場に非一様な構造があることも見ることができた。こうしたサージの加速度場の構造がどのように形成されるのか、特にその過程に磁場がどう関与するのかを明らかにすることが本研究の主眼である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a ホモロガスフレアの3次元磁場構造の時系列解析

川畑佑典 (東京大学), 井上諭 (名古屋大学), 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。太陽フレアの中でも同じ活動領域の同じ場所で、似た形状のフレアループ増光が確認されるイベントをホモロガスフレアと呼ぶ。過去のホモロガスフレアの研究では、足元の磁場構造が4重極構造を示している事が報告されている (Chandra et al. 2011; Sun et al. 2012)。そこで、太陽観測衛星「ひので」で観測された4重極構造におけるホモロガスフレアイベントの解析を行った。

解析対象として2014年2月に複数回のMクラスのホモロガスフレアを引き起こした活動領域を選んだ。その中の一つのフレアイベントを選び、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、4つの正負の磁極がフレアに関与していることを確認した。しかし、これらの磁場の結びつきが明確ではなかったため、光球磁場を境界条件としてフォースフリー磁場外挿を行い、コロナ磁場の3次元形状を調べた。この活動領域は、focused mode と呼ぶ新しい「ひので」観測運用モードで観測され、1週間連続して高空間分解能・高精度の光球磁場データが数時間ごとに得られている。その時系列の磁場データの視野不足を「SDO/HMI」のデータにより補間し、境界条件として用いた。

外挿の結果、4つの磁極はそれぞれつながりを持ちその中央にnull点をもつ4重極構造を形成している事が確認できた。また3次元コロナ磁場の時系列変化を見ると、光球面のフローによりループの足元の位置は変化するものの、グローバルな4重極構造の形状はホモロガスフレアが起きた期間内で維持されていることが分かった。フレアを引き起こした後も4重極構造が変化しない事が、ホモロガスフレアに関係していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M36a フィラメント放出を伴う M クラスフレアの多波長観測

大山 真満 (滋賀大学 / 宇宙航空研究開発機構), 坂尾 太郎 (宇宙航空研究開発機構)

2013年3月15日に発生したM1.1クラスフレアについて報告する。このフレアは05:46UTに活動領域NOAA11692 (N09E06)で発生し、「ひので」衛星搭載の軟X線望遠鏡 (XRT)、可視光望遠鏡 (SOT)、SDO衛星のAIAによって高時間分解能、高空間分解能で観測されている。また、フィラメント放出を伴っており、京都大学飛騨天文台のSMART望遠鏡によってフィラメント放出が観測されている。フィラメントは黒点の東側に位置し、北東-南西方向に伸びている。XRTの観測からフレア前にはシグモイド構造が見られ、シグモイドの西側の端が黒点に、もう一端がフィラメントの北東部分付近に位置していることが分かった。フレア開始約2時間前に、シグモイドの北東側のループに増光がみられ、さらに、SDO衛星の193Åの観測では、フィラメント上空にあるコロナループの上昇が観測された。この上昇はゆっくりとしており (slow-rise phase)、フレア初期にその上昇速度は約12倍の速さに急激に変化した (fast-rise phase)。Slow-rise phase から fast-rise phase に急激に移り変わる phase では下降する流れも観測され、その下降速度は slow-rise phase の上昇速度の約17倍と、fast-rise phase の上昇速度よりも速いことが分かった。本講演では、ひので衛星、SDO衛星の解析結果をもとにこのフレアについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M37a フレア発生前磁場特徴量の統計的傾向とフレア予測手法開発

西塚直人、久保勇樹、田光江、亘慎一、石井守 (情報通信研究機構)

太陽フレア予測は宇宙天気予報の重要課題の一つであるが、フレアの発生機構とトリガーとは未だ十分には解明されていない。ひので衛星とSDO衛星によりベクトル磁場の定常観測が行われ、かつ数値モデリングでは磁場の歪み具合と浮上磁場パターンの観測からフレア規模と発生時期を予測できることが提唱された (Kusano et al. 2012)。このモデルは大規模フレアイベント数例に関して詳細解析により検証された (Bamba et al. 2013) が、統計的にはまだ十分には検証されていない。

本講演では、我々のグループで行っているフレア予測手法開発の状況を紹介します。まずSDO衛星によるフレア発生前の光球磁場データベースを作成した。2010年から2014年の過去5年間で、GOES Xクラスフレア41例、Mクラス463例が観測され、そのうち太陽面上でXクラス34例、Mクラス402例が観測された。太陽全面の視線方向磁場データをもとに、黒点磁場の強い領域を基準に着目領域(活動領域)を自動検出した。また、光球ベクトル磁場を局所直交ベクトル成分表示し、かつランベルト正積投影図法によりリム射影効果を補正した。これら補正した各着目領域データに対して、磁場絶対値や磁場勾配、磁気ヘリシティやローレンツ力などの物理特徴量を算出した。また磁場勾配から磁気中性線を抽出し、磁気中性線の本数や長さ、また磁気中性線付近の磁場の歪み具合等を評価した。大規模フレア発生前には、複数の長い磁気中性線が観測され、かつ磁気中性線付近では磁場のシアが大きいことが統計的にわかった。さらに、これら得られた物理特徴量とフレア発生規模との対応付けを行い、フレア発生予測への応用可能性について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a 飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いたフィラメント消失についての調査

廣瀬公美（京都大学・理），一本潔（京都大学・理），浅井歩（京都大学・宇宙ユニット），大辻賢一（国立天文台），北井礼三郎（佛教大学），京都大学 SMART チーム

フィラメントは太陽コロナ中に浮かぶ、周囲に比べて低温高密度なプラズマ雲である。フィラメントは細長い形状を保って浮かんでいられるのは、磁力線によって支えられているからであるが、フィラメントはいずれ消失する。その消え方は大きく分けて三つある。プラズマが宇宙空間に噴出する Eruption 型、プラズマの上昇がみられるが宇宙空間に噴出しきれず太陽表面に戻っていく Quasi-Eruption 型、そしてプラズマの上昇が見られずゆっくりと消えていく Disappearance 型の三つである。この三つの中で消失前のフィラメントの構造や環境に特徴の違いはないか、またそもそもフィラメントが噴出する要因は何なのか、などフィラメント消失について今だ不明な点は多い。また、太陽コロナのプラズマが突発的に宇宙空間へ放出される現象であるコロナ質量放出とフィラメント消失との関わりも宇宙天気観測から注目されている。

そこで本研究ではまず飛騨天文台 SMART 望遠鏡で撮られた $H\alpha$ 中心の日毎画像を用いてフィラメント消失のイベントを 2005 年 4 月から 2012 年 12 月までの間で 861 例見つけた。そして、フィラメントの長さがおよそ 10 万 km より大きいもの 508 例を選んで SMART のムービーで詳細を確認したところ、フィラメント消失する様子が実際に観測されていたのは、231 例であった。この 231 例について Eruption 型と Disappearance 型の分類をし、その特徴について調べた。さらに、そのうちの数例について速度場解析をした。本発表ではその解析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](#)

M39a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いた多波長偏光分光観測によるプロミネンスの磁場診断

佐野 聖典、阿南 徹、一本 潔、上野 悟 (京都大学)

太陽にはコロナと呼ばれる希薄な大気層 ($\sim 10^9$ [1/cm³]) が存在する。その希薄な層にコロナよりも高密度 ($\sim 10^{11}$ [1/cm³]) なプロミネンスが浮かんでいる。このプロミネンスが太陽の重力に反してコロナ中に浮かんでいるのは、磁場によって支えられているためである。さらにプロミネンスは、磁場構造の変化に伴い太陽フレアや地球に電波障害等を引き起こすコロナ質量放出と関係があり、プロミネンスの磁場構造を理解することはとても重要である。プロミネンスの磁場構造のモデルはいくつか存在するが、未だ決定には至っていない。

そこで本研究では、2014年9月2日に西のリムに存在した静穏型プロミネンスを飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて、HeI 10830 Å、CaII 8662 Å、CaII 8542 Å、CaII 8498 Å、H_I 6563 Å、NaI 5896 Å、NaI 5890 Å、HeI 5876 Å、H_I 4861 Å、H_I 4340 Å、H_I 4101 Å、CaII 3968 Å、CaII 3933 Å の13波長で偏光分光観測を行い、ゼーマン効果とハンレ効果を用いてスリット上におけるプロミネンスの磁場強度と方向の導出を行った。その結果、CaII 8662 Å、CaII 8542 Å、CaII 8498 Å の3つのラインからゼーマン効果により、10 – 13 [G] の視線方向磁場強度を得た。磁場の方向については、HeI 5876 Å にハンレ・ダイアグラムを適用することにより、視線方向に対して右斜め上方向という結果が得られた。一方、H_I 4340 Å、H_I 4101 Å、CaII 3968 Å、CaII 3933 Å に関しては、機器偏光が原因と考えられるようなクロストークが見られ、磁場強度の導出にはいたらなかった。本講演では他のラインについても解析を進め、プロミネンスの磁場導出に最も適したスペクトル線の組み合わせと、それらを組み合わせ得たプロミネンスの磁場構造について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a **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**

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ck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。

本講演では、H-alpha 線でのフレアリボン・フレアカーネルの発達過程と連続光での増光箇所の対応関係、RHESSEI 衛星による硬 X 線ライトカーブとの比較など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](#)

M41a 白色光増光現象を引き起こす太陽フレアの特徴

渡邊恭子 (国立天文台)、増田智 (名古屋大学)

我々は「ひのでフレアカタログ」を用いて、太陽フレアに伴って可視連続光の増光が観測される「白色光フレア」現象の発生要因を調べるための統計解析を行っている。これまで我々が行った「白色光フレア」と「白色光を伴わないフレア」の統計比較研究より、「大量の加速電子」が「狭い領域」に「短時間」に降り込むことが、白色光増光の鍵であることが分かってきた(北川他、2014年日本天文学会春季年会 M47a、秋季年会 M05a)。

上記の統計研究では、2011年1月から2013年8月に「ひので」可視光望遠鏡(SOT)で観測された可視連続光データ(Mクラスフレア以上、42例)を用いたが、本研究では2014年12月までに観測されたデータを用いることにより、イベントデータ数はほぼ2倍(Mクラスフレア以上、79例)となった。またSDO/HMIの連続光データを用いることによって、SOTの視野外で発生したイベントについても検証を行った。

本研究では、SOTで観測された白色光データを中心に、GOESデータやRHESSI硬X線データ、そしてSDOで観測された多波長データを用い、統計比較研究を進めた。特に、GOESデータとの比較研究においてエネルギー解放領域の磁場強度が白色光の発光条件の一つと示唆されていることから、HMIで観測された磁場強度との比較も行った。

今回の発表では、上記の79例のひのでフレアイベントについて行った統計研究について報告し、白色光フレア発生の物理条件が我々が統計解析で得た白色光フレアの発生条件に当てはまっていたのかどうか、またその境界となっている物理量について詳しく検証を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M42a 野辺山電波ヘリオグラフを用いた白色光・非白色光フレアの比較研究

増田 智 (名古屋大学), 渡邊 恭子 (国立天文台)

我々は、これまで太陽フレアを白色光フレアと非白色光フレアに分け、統計的に両者をさまざまな観測量で比較することによって、白色光増光の条件を探ってきた。野辺山強度偏波計の電波スペクトルを用いた解析では、白色光フレアは、非白色光フレアと比べて、ジャイロシンクロトロン放射のピーク周波数がくなる傾向を示した(日本天文学会 2015 年春季年会 M29a)。この結果は、白色光フレアの電波放射領域の磁場強度が強いこと、すなわち、フレアループの背が低く、磁気ミラーによるトラップ効果が弱いことを示唆しており、別の観測量の解析から判明したコンパクトな構造かつ短寿命という白色光フレアの特徴に合致する。本研究では、この統計研究で得られた結果をより確かなものにするために、ほぼ同じ GOES クラス、ほぼ同じ経度で発生した白色光フレアと非白色光フレアを一個ずつ選んで、主に野辺山電波ヘリオグラフのデータを用いた詳細研究を行った。選んだイベントは、2012 年 10 月 23 日に S13E58 で発生した X1.8 クラスの白色光フレアと 2013 年 5 月 15 日に N10E68 で発生した X1.2 クラスの非白色光フレアである。両者の違いは、電波放射の継続時間に顕著に現れており、17GHz における開始からピークまでの時間は、前者が 1 分 23 秒なのに対し、後者は 11 分 56 秒である。また、17GHz 電波強度の e-folding time は、前者が 38 秒なのに対し、後者は 283 秒であり、この大きな差は、非白色光フレアでトラップ効果が高いことを反映している可能性がある。統計解析では扱いにくい画像解析も行ったところ、前者は、電波ヘリオグラフの空間分解能では構造を持たないコンパクトな電波放射源であったのに対し、後者は、フレアループ構造が電波放射でもはっきりと見られ、高エネルギー電子が運動している磁気ループのサイズの違いが直接、確認できた。電波源の時間発展の様子についても両者で違いがないか検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M43a **Hinode/XRT CCD イメージセンサを利用した SEP の特徴に関する研究**

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

太陽フレアやコロナ質量放出 (CME) により加速された太陽高エネルギー粒子 (SEP) や、地球磁気圏内に捕捉されたプラズマ粒子は、人工衛星に搭載された CCD イメージセンサに対して、観測対象由来ではない信号を生成する。これらの衝突痕は高エネルギー粒子の情報を含むため、衛星軌道上にどの程度の SEP が流入してきたか判断することができ、周辺の宇宙環境を探る上で重要な情報となる。

本研究ではこの CCD イメージセンサに生じた衝突痕 (以下、speckle と呼ぶ) に着目し SEP の特徴や、地球磁気圏との関係性について研究を進めていった。

最初に Hinode/XRT 撮像画像を用いて speckle の検出を行った (以下 Hinode/XRT 撮像データから検出された speckle を XRT speckle と呼ぶ)。解析結果から複数の太陽プロトン現象 (SPE) 時において、XRT speckle の有意な増加が起きていること・その時間変動は GOES 衛星によって観測された proton flux (以下 GOES proton flux と呼ぶ) の時間変動と酷似した点が存在したが、2015 年春季年会で報告済みである。

増加のあったイベント中でも、GOES proton flux が同程度なのにも関わらず、XRT speckle の検出数は最大一桁異なるイベントが存在していた。それら 2 つのイベントを比較すると、GOES proton flux で 10MeV 以上の flux については同程度であるものの、100MeV 以上のより高エネルギー側のプラズマの flux の観測値や時間変動が大きく異なっていた。今回は磁気圏の活動も踏まえプラズマの流入のしやすさを、XRT speckle の増加の違いから、より詳細に報告する。また、長期間での XRT speckle の変動やオーロラ活動との関係についても言及していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a 太陽フレア MeV 中性子の検出に向けた基礎開発実験

小野光、村上浩章、中澤知洋 (東大理)、牧島一夫 (理研)

太陽フレアでは、電子だけでなくハドロンも加速され、数 100 MeV に達する陽子と中性子が発生する。MeV 以上の高エネルギー中性子は地球まで到達することができ、特に 100 MeV 以上のものは、地球大気による激しい減衰を受けつつも地表まで届き、検出することができる。これは宇宙におけるハドロンの加速を直接探るほぼ唯一の観測手段であるが、主に強い大気減衰のため感度が低く、例えば多くのフレアを観測している X 線光子と比較して、中性子で検出できる例は少ない。

そこで我々は小さいフレアに伴う中性子を捉えるために、大気圏外での観測を想定し、 $\sim 1 - 10$ MeV 中性子を高感度で検出する基礎実験を行っている。大気中性子バックグラウンドを除くために、中性子のエネルギーとともに入射方向に感度を持つ検出器を試作した。検出器は波形から粒子識別ができるプラスチックシンチレータ EJ299-33 の 2 層からなる。1、2 層目で中性子を立て続けに散乱させ、それらの時間間隔と 1 段目の反跳陽子エネルギーから散乱角度を計算する事ができる。

今回は、半径と高さが 2 インチの EJ299-33 を 2 つ使い、 ^{252}Cf からの MeV 中性子を計測した。それぞれのシンチレータの波形から ^{252}Cf のガンマ線イベントを除き、TAC でイベント間の時間を測定した。飛行時間の測定精度 ~ 2 ns、シンチレータのエネルギー分解能 $22\% @ 2.5$ MeV を達成した。1 層目で中性子が 60° 散乱したとき、4 MeV 以上の中性子に対して 10° (FWHM) の角度分解能を達成し、エネルギーと角度を両方求めることができることを確認した。大気中性子が 4π 方向からくると仮定し、 ~ 30 cm 立方の衛星搭載可能な検出器に拡張すれば、原理的には $\sim X2$ クラスのフレアの中性子まで検出できると推定される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M45a フレアループトップ上空における衝撃波構造とその動的性質

高棹真介、柴田一成 (京都大学)

太陽フレアを駆動する磁気リコネクションは超音速流を生じるため、フレア領域の様々な場所で衝撃波が生じやすい状況が実現されている。特に軟 X 線で明るいフレアループの上空 (フレアループトップ上空) には磁気リコネクションアウトフローがリコネクションした磁気ループと衝突することで衝撃波を形成すると期待されている (termination shock)。termination shock の形成が期待される場所付近は硬 X 線で明るいことがあるため、termination shock と粒子加速の関係性も議論されてきた。しかし熱伝導と彩層蒸発を考慮した太陽フレアの多次元磁気流体 (MHD) シミュレーションは過去にほとんど行われておらず、これまで termination shock の構造は単にほぼ水平なものとして考えられてきた。我々はループトップ上空、特に termination shock の構造を詳細に調べるべく、高解像度の太陽フレアの 2 次元 MHD シミュレーションを行った。その結果、ループトップ上空はこれまで期待されていたよりはるかに衝撃波や波動で満ち満ちていることが明らかになった。また、termination shock は水平な構造ではなく、2 つの斜め衝撃波によって構成され V 字構造を持ちやすいことがわかった。さらに、その斜め衝撃波は反射することによって、ループトップ上空で無数の衝撃波を自然に形成し粒子加速が起きやすい状況になっていることも明らかになった。シミュレーションの詳細な解析の結果、我々は termination shock がなぜそのような複雑な構造を持つのかを解明し、さらにその衝撃波が近年観測されはじめたフレア領域から放射されるコロナ波動 (fast-mode wave) の起源である可能性もわかった。この結果は、コロナ波動は termination shock、さらには粒子加速場所の情報を持っている可能性を示す点で重要である。本講演では、ループトップ上空の衝撃波構造を決める物理を紹介し、その衝撃波と粒子加速の関係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](#)

M46a コロナ中の衝撃波に伴うプロミネンス振動の磁気流体シミュレーション
II

西田 圭佑, 浅井 歩, 柴田 一成 (京都大学)

2011年8月9日にNOAA 11263で発生したX6.9クラスの巨大フレアにより、コロナ中を衝撃波が伝搬し、遠方のプロミネンス・フィラメントの振動が励起される現象が観測された (Asai+ 2012)。このような太陽フレアによるプロミネンス振動の励起は以前より知られており、コロナ診断のためのツール (coronal seismology) として期待されている。

今回我々はより詳細なプロミネンス振動の2次元磁気流体モデリングを試みた。コロナ中に浮かぶ閉じた磁力線に囲まれた高密度のプロミネンスに対し、衝撃波をぶつけることでプロミネンス振動を発生させた。プロミネンスの磁場・密度、衝撃波の入射方向をさまざまに変化させてシミュレーションを行った結果、さまざまなモードでのプロミネンス振動が生じた。このうち、プロミネンスの水平方向の振動周期については、Alfvén波がプロミネンス内部の磁場構造に沿って往復する時間で説明できることがわかった。2011年8月9日のプロミネンス振動の場合、プロミネンスの磁場は約60Gと推定できる。また、プロミネンスの外周部から内部の方向に伝わる、見かけの波動が見られた。さらに、2次元と3次元におけるプロミネンス振動の振る舞いの違い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](#)

M47a 動的に形成する電流シートにおける高速リコネクションのオンセット

磯部洋明 (京都大学)

太陽大気中では、浮上磁場やプロミネンス噴出などの磁場構造の進化に伴って電流シートが動的に形成され、そこで高速磁気リコネクションが起こることでジェットやフレアなどの磁気エネルギー解放現象が起きると考えられている。電流シートがイオン慣性長くらいまで薄くなれば高速磁気リコネクションが起きるとする理論的示唆があるが、電流シートが動的に形成される状況では、反並行の磁場の間にプラズマや縦磁場が挟まって電流シートが薄くなるのを妨げると考えられ、どのようにしてイオン慣性長 (太陽コロナ中では 1m 程度) まで薄くすることができるのかは自明ではない。しかし観測的には浮上磁場や噴出など磁場構造の進化のタイムスケール (100 1000 秒程度) で速い磁気リコネクションが開始しているように見える。本講演では、動的に形成する電流シートが十分薄くなって高速リコネクションがオンセットするまでの理論モデルを提示し、磁気流体シミュレーションによりその妥当性を示す。まず電流シート形成時に間に挟まって電流シートが薄くなるのを阻害するプラズマは、Sweet-Parker リコネクションに似たプロセスで掃き出され、この段階では電流シートはシートの長さを流れが横切る程度の時間スケールで指数関数的に薄くなることが示される。続いてテアリング不安定により電流シートが分割されると、分割されたシートの長さに対応した時間スケールでさらに指数関数的に薄くなる。このプロセスを繰り返すと、観測と矛盾のない程度の時間スケールでイオン慣性長程度まで電流シートを薄くすることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【N. 恒星】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[A会場]

N01a	11:00	LAMOST で検出された金属欠乏星候補天体のすばる高分散分光観測 青木和光（国立天文台）
N02a	11:12	炭素過剰金属欠乏星における Li 含有量の詳細な解析 松野允郁（総合研究大学院大学/国立天文台）
N03a	11:24	LAMOST で検出された $[Fe/H] < -3.5$ の天体のすばる HDS による r プロセス元素組成の解析 青木みさ（国際基督教大学）
N04a	11:36	s-過程核種合成と炭素過多金属欠乏 (CEMP) 星形成の統一的描像 山田志真子（北海道大学）
N05a	11:48	矮小銀河中の恒星のデータベース (2) 須田拓馬（東京大学）
N06a	12:00	古典新星における爆発的リチウム合成の発見 田実晃人（国立天文台）
N07a	12:12	KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)-IV 松永典之（東京大学）
N08a	12:24	全天 X 線監視装置 MAXI/GSC を用いた星からの巨大フレアの最新報告 兼藤聡一郎（中央大学）
N09b	12:36	活動的な太陽型星の測光モニター観測 前原裕之（国立天文台）
N10b	12:36	スーパーフレア星のリチウム組成 II 本田敏志（兵庫県立大学）
N11b	12:36	早期型星の X 線放射機構の観測的研究 津村大樹（立教大学）
N12b	12:48	ミラ型変光星 α Cet および R Leo の星周構造の探査 上塚貴史（東京大学）
N13b	12:48	水メーザースペクトルの高頻度モニタリングによる星周エンベロープでの周期的な加減速の検出 須藤広志（岐阜大学）

9月9日（水）午後（15:00-17:00）[A会場]

N14a	15:00	特異な食連星ぎょしゃ座 ϵ 星の高 S/N 高分散分光モニタ観測：2008 年 10 月～2014 年 5 月の変化の特徴 神戸栄治（国立天文台）
N15a	15:12	星のスペクトルタイプと LSP 変光現象の関連性 高山正輝（東京大学）
N16a	15:24	赤色巨星の振動の双極子モードの漸近解析と星震学への応用 高田将郎（東京大学）
N17a	15:36	Physical Properties of Fullerene-containing PN Lin49 in the SMC 大塚雅昭 (ASIAA)
N18a	15:48	AGB 星からの質量放出へのダストのドリフト運動の影響 保田悠紀（北海道大学）
N19a	16:00	近赤外高分散分光観測で迫る LBV 星の周辺構造 水本岬希（東京大学）
N20a	16:12	Wolf-Rayet 星 EZ CMa の X 線スペクトル変動調査 菅原泰晴（中央大学）
N21a	16:24	近傍銀河で発生した II _n 型超新星 SN 2006jd の X 線モニター観測 勝田哲（宇宙航空研究開発機構）
N22a	16:36	高速回転するバロクニック星の構造-高速回転星進化計算に向けて 藤澤幸太郎（早稲田大学）
N23a	16:48	星の進化計算を目指した回転平衡形状の導出 安武伸俊（千葉工業大学）

N01a LAMOST で検出された金属欠乏星候補天体のすばる高分散分光観測

青木和光 (国立天文台)、H. N. Li, G. Zhao (NAOC)、本田敏志 (兵庫県立大学)、須田拓馬 (東京大学)、N. Christlieb (Heidelberg)、青木みさ (ICU)

銀河系における金属欠乏星の探査とその後の詳細観測は、初期世代星の形成・進化、銀河初期の化学進化などの理解に大きく貢献してきた。シュミット望遠鏡で対物プリズムを用いて行われた探査に続き、SDSS では多天体分光機能を活かし、多くの金属欠乏星を同定し、その統計的な研究を可能にしてきている。2012 年から本格稼働している LAMOST は、これらの研究をさらに大規模に推し進めようとしている。LAMOST では約 4000 天体の中分散スペクトル ($R = 1800$) を同時に取得することができ、すでに 100 万天体以上が観測され、多数の金属欠乏星候補天体が検出されている。我々は 2014 年にすばる望遠鏡を用いてその候補天体の高分散フォローアップ分光観測を開始した。これまでに約 70 天体の観測を行い、そのほぼすべてが非常に金属量の低い天体 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$) であることを確認し、LAMOST のデータからの候補天体選択の信頼性を立証した。そこにはこれまで観測例が多くない $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$ の星が少なくとも 15 天体含まれており、最も金属量の低い領域の星の性質を解明するうえで重要なサンプルを提供できる。うち 2 天体は $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -4$ の炭素過剰天体であり、高精度のスペクトルを得て解析を行った (Li et al., PASJ, in press)。うち 1 天体は進化の進んでいない主系列ターンオフ星であり、リチウム組成が他の金属欠乏星に見られる一定値 (Spite plateau 値) より有意に低いことを明らかにした。またこれとは別に、r-プロセス元素の著しい過剰を示す比較的明るい天体を同定し、これまでに知られている同種の天体と同じく、太陽系の r-プロセス元素組成パターンとよく一致することを確認した (Li et al., RAA, in press)。今後の予定と合わせて観測計画全般を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02a 炭素過剰金属欠乏星における Li 含有量の詳細な解析

松野允郁 (総合研究大学院大学)、青木和光 (国立天文台)

金属欠乏星の化学組成には初期の銀河の化学進化の情報が残されているとして、金属欠乏星の組成の測定やその起源の研究が盛んになされている。金属欠乏星 ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2$) では Li の含有量は一定値 (Spite plateau 値) をとるが、より金属量の少ない星 ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -4$) ではそれよりも低い値をとる (Sbordone et al., 2010)。また、現在までに見つかっている $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -4$ の恒星のほとんどは鉄より重い元素には過剰を示さずに炭素に過剰を示す CEMP-no 星である。超金属欠乏星の Li の含有量から正しく化学進化の情報を得るためには、低い Li の含有量は $[\text{Fe}/\text{H}]$ が低いことに起因するものなのか恒星が CEMP-no 星であることに起因するものなのかを切り分けていく必要がある。我々は $[\text{Fe}/\text{H}] > -4$ の CEMP-no 星の Li の含有量の調査を行うことでこの問題に取り組む。

解析の対象とした恒星は LAMOST の中分散多天体分光器を用いた探査で選り出され、すばる望遠鏡の高分散分光器によって詳細な追観測がなされている (Li et al., in press)。解析は以下の手順で行った。まずバルマー線の輪郭から有効温度や表面重力を決定し、それらが鉄の電離状態や励起状態と矛盾がないことを確かめ、恒星が主系列星であることを確認した。次に過去に詳細な解析がなされていて性質が似ていると考えられる恒星に対し同様の解析を行い、先行研究と得られた値に矛盾がないことを確かめた。最後に 6708 \AA 付近の Li の吸収線に対してスペクトル合成を行い、Li の含有量を求めた。その結果、今回解析を行った CEMP-no 星 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -3.1$) の Li 組成は Spite plateau にのる値となり、今回解析を行った恒星の歴史の中で激しく Li の破壊を引き起こす過程は起こっていないと考えられる結果を得た。この結果は $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -4$ の恒星に見られる低い Li 組成は CEMP-no 星であることに起因するものではなく、Fe 組成に関連するものであることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N03a LAMOST で検出された $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$ の天体のすばる HDS による r プロセス元素組成の解析

青木みさ (国際基督教大, 総研大), 青木和光 (国立天文台), H. N. Li (NAOC), 石丸友里 (国際基督教大)

鉄より重い中性子捕獲元素を生成する過程のひとつに、爆発的に起こる速い中性子捕獲過程 (r プロセス) がある事がわかっているが、その起源は依然として未解明である。中性子星合体が有力な起源候補だが、金属量の低い星にみられる r プロセス元素過剰の星を説明するのは困難であるとの指摘もある。一方、金属量の低い星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$) において、軽い中性子捕獲元素 (Sr 等) と重い中性子捕獲元素 (Ba 等) の組成比 $[\text{Sr}/\text{Ba}]$ にみられる大きな分散から、軽い中性子捕獲元素には別の起源がある可能性が示唆されている。r プロセスの起源を解明するうえで、金属量の最も低い星の中性子捕獲元素組成は重要な制限となるが、依然として $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$ の星の観測例は極めて少ないのが現状である。2012 年から稼働している LAMOST では、大規模な中分散スペクトル ($R=1800$) 観測が行われ、これまで多数の金属欠乏星候補天体が検出された。2014 年にはすばる望遠鏡 HDS を用いた候補天体のフォローアップ観測を開始し、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3.5$ の星も約 15 個検出された。我々はこれらの低金属量の星の Sr と Ba を測定し、鉄との組成比 ($[\text{Sr}/\text{Fe}]$, $[\text{Ba}/\text{Fe}]$) および 2 つの元素の組成比 ($[\text{Sr}/\text{Ba}]$) を調べた。結果、 $[\text{Ba}/\text{Fe}]$ の値は軒並み低く、低金属量では 0.0 を越えない事がわかった。一方、 $[\text{Sr}/\text{Fe}]$ では、Sr の量が比較的多い星が見出された。その結果として、 $[\text{Sr}/\text{Ba}]$ はこれまで確認されたよりも低い金属量でも大きく分散すると判明した。これは、極めて低い金属量でも、軽い中性子捕獲元素を主に生成するプロセスが存在し、大きく寄与していることを示唆している。講演では、これらのサンプルから得られる r プロセスへの制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04a s-過程核種合成と炭素過多金属欠乏 (CEMP) 星形成の統一的描像

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

我々のグループでは、金属欠乏 AGB 星での炭素過多星 (CEMP) の形成機構、s-過程元素合成過程について調べてきた。炭素過多の形成機構としては、(a) 質量が $M \lesssim 1.5M_{\odot}$ で起きる He flash 時の核生成物の表面对流層による浚渫 (Third Dredge-up), (b) $M \lesssim 3.5M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.5$ で機能する He flash 対流層への水素混合に起因する水素 flash 対流層の発生とその浚渫 (Helium-Flash Driven) の 2 つがある。また、s-過程核種合成機構としては (1) He flash 対流層への水素混合による対流中での $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ 反応, (2) 外層中の CNO 元素が水素燃焼で ^{14}N へと変換し、その後の He flash による対流層で内部に持ち込まれて ^{22}Ne を起点とする反応 (3) 表面对流層から He 層への水素の overshoot によって形成される ^{13}C pocket の 3 様式が提唱されている。

本研究では、s-過程元素合成の効率は 3 様式によって大きく異なることを示した。CEMP stars の内 Ba 元素の過剰を示す CEMP-s 星は、(1) の対流 ^{13}C 燃焼によって、又、Ba 元素の過剰を伴わない CEMP-no 星は、(1) と (2) の何れでも説明できるが、鉛の過剰の有無によって区別される。前者は低質量、後者は中質量星で起こる。

超金属欠乏星では、Eu/Ba 比の観測から、s-過程元素に比して r-過程元素の過剰を示す炭素過剰星 CEMP-r ($[\text{Eu}/\text{Ba}] > 0.5$) や CEMP-r/s ($0.5 > [\text{Eu}/\text{Ba}] > 0$) の subclasses が存在する。これら恒星の炭素過剰は、s-過程核種合成の効率の低い AGB 星によるもので、Ba の組成は、形成時にガス雲が含んでいたそれ以前の r-過程元素合成で形成された Eu 及び Ba の寄与が支配的になっているものである。従って、CEMP-no 星は Eu の組成が観測されると、多くは、r-過程元素過多の種族に属することになる。本研究の結論としては、CEMP-no 星、r-過程元素過多の種族を含めて CEMP 星は、連星系での AGB 星からの質量降着によって統一的に説明可能である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N05a 矮小銀河中の恒星のデータベース (2)

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

銀河系近傍にある矮小銀河は天の川銀河の構成要素の名残と考えられ、銀河系形成過程を理解するうえで重要な天体である。近年では赤色巨星の分光観測が盛んに行われ、中分散分光による組成解析が行われた恒星の数は数千個に上る。これまでの観測によって、太陽の1000分の1以下の鉄組成を持つ超金属欠乏星や α 元素、中性子捕獲元素に特異な分布が見られる星などが発見され、銀河系ハローの星との比較が可能となっている。

矮小銀河中の恒星データの蓄積を受けて、我々が開発した銀河系ハローの恒星を対象とした金属欠乏星データベース (SAGA database: <http://sagadatabase.jp/>, 2004年秋季年会等) の矮小銀河への拡張を行った (2013年秋季年会)。以前の講演では、矮小銀河中の恒星データを含んだ拡張データベースを紹介し、登録されたデータのレビューを行った。その後、データベースの更新とシステムの改良により、銀河系ディスク星のデータも登録し、銀河系と矮小銀河のデータを同時に検索・作図する機能を実装した。

本講演では、恒星の観測データと理論モデルを用いて、矮小銀河における宇宙初期の星形成史・化学進化について検証する。データベースには、近傍矮小銀河では、20個程度の銀河について5000天体以上の中分散分光 (高分散データは200個以上) による観測データ、銀河系ハローでは4000天体以上の高分散分光による観測データが含まれており、統計的な議論が可能である。測光データによる矮小銀河の色等級図と恒星進化モデルとを比較することで個々の銀河の星形成史を調べるとともに、赤色巨星の詳細な元素組成データから、個々の星の金属量と年齢の間の相関を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N06a 古典新星における爆発的リチウム合成の発見

田実晃人, 青木和光 (国立天文台), 定金晃三 (大阪教育大), 内藤博之 (名古屋大・なよろ市立天文台), 新井彰, 河北秀世 (京都産業大)

三番目に軽い元素であるリチウムの起源は、周期律表に並ぶ多くの元素の中でも特に複雑で謎にまつまれている。リチウムはビックバン元素合成や銀河宇宙線と星間物質の衝突による核破碎反応に加え、赤色巨星や超新星爆発、そして新星爆発など様々な天体・現象で作られると考えられている。銀河系内の各天体で観測されるリチウム量は宇宙の重元素組成が一定レベル以上 ($[Fe/H] > -1$) となってから急激な上昇を見せるため、特に寿命の長い低質量星を起源とする天体からの寄与が重要視されていたが、これまでそうした天体でのリチウム生成、そして星間物質への供給について直接的な証拠が得られた例はなかった。

我々は2013年に出現した古典新星 (Nova Delphini 2013 = V339 Del) について、その爆発後約40–50日にすばる望遠鏡 HDS による高分散分光観測を行った。そして、その結果得られた紫外線スペクトルから、約 1000 km s^{-1} という高速度で新星から放出されるガス中に多量のベリリウムの同位体 (${}^7\text{Be}$) が含まれていることを発見した。 ${}^7\text{Be}$ は53日という短い半減期で電子捕獲によってリチウム (${}^7\text{Li}$) に変化することが知られており、この観測結果は恒星起源の天体でのリチウム生成・放出の証拠を初めて示したことになる (Tajitsu et al. 2015, *Nature* 518, 381)。また、同じ古典新星である Nova Sagittari 2015 No.2 についても我々は同様の観測を行い、爆発後約80日の紫外線スペクトルにおいて、やはり ${}^7\text{Be}$ の強い吸収線を検出した。この結果は、V339 Del で我々が発見した爆発的リチウム生成が古典新星で普遍的に起きている現象であることを強く示唆するものである。したがって、古典新星でのリチウム生成は銀河系のリチウム進化において非常に重要な役割を果た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](#)

N07a **KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)-IV**

松永典之 (1), 岩崎仁美 (2), 前原裕之 (3), 浮田信治 (3), 坂本強 (4), 三戸洋之 (1), 小林尚人 (1), 泉奈都子 (1), 山本遼 (1), 福江慧 (1), 青木勉 (1), 征矢野隆夫 (1), 樽澤賢一 (1), 猿楽祐樹 (1), 酒向重行 (1), 諸隈智貴 (1), 土居守 (1), 中田好一 (1), 田中雅臣 (3), 岩田生 (3), 柳澤顕史 (3), 板由房 (2), 小野里宏樹 (2), 花上拓海 (2), 山下智志 (5), 新井彰 (6); (1) 東京大, (2) 東北大, (3) 国立天文台, (4) 日本スペースガード協会, (5) 鹿児島大, (6) 京都産業大

周期光度関係をもつ脈動変光星は高精度の距離決定が可能であり、銀河系の構造などを調べるためのよいトレーサである。ミラ型変光星は、十億～百億年程度の年齢をもつ漸近巨星分枝 (AGB) 星で、その周期や表面化学組成が酸素過多であるか炭素過多であるかということから、その星の年齢と初期金属量に制限をつけることができる。また、赤外線ですばやく、星間減光の強い銀河系円盤を探るのに適している。

我々は、東京大学木曾観測所のシュミット望遠鏡と超広視野カメラ KWFC を用いて、銀経 60–210 度の広い範囲 (KWFC で 80 視野、合計約 320 平方度) に対する銀河面変光天体探査を行っている。2012 年 4 月からの 3 年間に行った各視野 40 回以上の観測から、食連星や YSO 変光天体など多様な種類のものを含めて数千個の変光天体を見つけた。まず振幅の大きな変光星について解析を進めており、700 個程度のミラ型変光星候補を検出した。そして、ライトカーブからほぼ確実にミラ型変光星であろうという天体を中心に、国立天文台岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡と兵庫県立大西はりま天文台なゆた望遠鏡で分光観測を行い、酸素過多と炭素過多のタイプ分類を進めている。本講演では、両者の割合が周期や銀河系中の位置にどのように依存しているか、銀河系の既知の天体やマゼラン銀河などの恒星系のそれと比較しながら議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08a 全天 X 線監視装置 MAXI/GSC を用いた星からの巨大フレアの最新報告

兼藤聡一郎, 坪井陽子, 菅原泰晴 (中央大学), 松岡勝, 三原建弘 (理研), ほか MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI は 90 分で地球を一周する国際宇宙ステーションに搭載され、2009 年 8 月の運用開始以降全天をサーベイし続けている。GSC (GasSlit Camera : ガス比例計数管) は 2 - 30 keV の帯域で 1 日あたり 10 - 20 mCrab まで検出可能な高い感度を誇る。この感度を利用し、我々は星からの巨大フレアの探査を続けている。運用初期の探査で得られた成果については 2011 年秋季年会 (山崎 et al.)、2012 年秋季年会 (比嘉 et al.)、2013 年春季年会 (比嘉 et al.) で報告している。2015 年 6 月 11 日現在でフレアサンプルは 76 個に至った。前回報告した 2013 年 3 月 23 日以降、MAXI / GSC で初検出した天体も 3 天体あった。それらは全て RS CVn 型連星 (2 つの星ともにロッシュローブを満たしていない近接連星系) であり IM Peg、Gem、V824 Ara であった。これら、今までにないサンプル数のフレアデータを用いて、巨大フレアを生み出すパラメータとは何かを明らかにするため、改めて統計的調査を行った。まず星の半径とフレアの最大 X 線ルミノシティのプロットを作成すると、正の相関が見られた。次に、星の半径とフレアの減衰時間 (e-folding time) のプロットでは、また正の相関が見られた。よってフレア中に放射された全放射エネルギーを最大 X 線ルミノシティと減衰時間の積として求め、それと星の半径との相関をとると、全放射エネルギーが星の半径の 3 乗程度となった。X 線とは別に、星の磁気的活動の指標として H_{α} 線の強度も一般に用いられる。X 線の全放射エネルギーを星の半径の 3 乗で割ったものと、この H_{α} 線の等価幅との相関をとると、全放射エネルギーは H_{α} 線の等価幅にほぼ比例していた。本講演では、これらの統計的結果の解釈についても詳しく述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N09b 活動的な太陽型星の測光モニター観測

前原裕之 (国立天文台), 野津湧太, 野津翔太, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 柴山拓也 (名古屋大学)

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)。しかし、これらの天体は距離が遠く暗いため、中小口径の望遠鏡による高分散分光観測や、X 線など多波長での観測を行うことが難しい。そこで、より近くにある明るいスーパーフレア星候補として、強い X 線放射 ($L_X > 10^{28}$ erg/s) を示す近距離 (< 100 pc) の太陽型星を選び、それらの星の高分散分光観測を行って、彩層活動性や射影自転速度 ($v \sin i$) などを調べた (野津他、2015 年春季年会 N05a)。

太陽型星の X 線放射やフレアの頻度などの活動性はその星の自転速度と関連があることが知られているが、分光的に求めた射影自転速度には自転軸の傾斜角 (i) に不定性があるため、真の自転速度を知るためには星の自転による変光を検出し変光周期を求める必要がある。そこで、明るい ($V \sim 5\text{-}10$ 等) 天体の変光を調べるために、焦点距離 105mm のレンズと CCD カメラを用いて行っている広視野測光サーベイの 2012-2015 年の観測データを使い、分光観測を行った強い X 線放射を示す太陽型星の準周期的な変光を調べた。Ca II 線の強度から、大きな黒点を持つと考えられる天体では、分光から求めた射影自転速度と矛盾しない周期で、V-band での振幅が 3-6% の変光が検出された。変光の振幅から予想される黒点の大きさは、Ca II 線の強度から見積もられる黒点サイズ (Notsu et al. 2015, PASJ, 67, 33) や、X 線強度と磁束量の間経験則と矛盾しない。また、2012-2015 年の観測シーズン毎の平均光度の変動がみられる天体もあり、これは活動領域の長期的な変化に対応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](#)

N10b スーパーフレア星のリチウム組成 II

本田敏志 (兵庫県立大学), 野津湧太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 野津翔太 (京都大学), 柴山拓也 (名古屋大学), 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

我々はケプラーの測光データから発見したスーパーフレアを起こす太陽型星について、すばる HDS を用いた高分散分光観測を行った。連星の兆候が見られない星について、これらの星が太陽と比べて高い活動性を示し、測光データから示唆されていた巨大黒点の存在や、自転速度の見積もりに矛盾がないことなどを確認した (Notsu et al. 2015a,b)。また、2013 年の年会では 12 星の解析で、どの星もリチウム組成が高いことを示した。リチウム組成を年齢の指標として考えると、これらの星がすべて若い星であるか、あるいはフレアによるリチウム合成の可能性があることを報告した。しかしながら、この 12 星は変光周期の短いものに偏っており、リチウムの過剰は自転速度のやや速い太陽型星で見られる傾向を見ている可能性があった。その後、自転が遅いと考えられるスーパーフレア星も観測を行ったので、それらを追加した 34 星について、新たに見積もった大気パラメータを用いてリチウム組成を得た (Honda et al. 2015)。得られた星の温度とリチウム組成の関係から、約半分はヒアデス星団の星 (約 6 億年) より若い星であることが示唆されたが、リチウムの低い星も多数存在した。従って、スーパーフレア星でリチウムが高い値を示していたのは、自転速度の速い星に偏ったサンプルであったためと考えられる。これは、スーパーフレア星はすべて若い星とは限らず、太陽の程度の年齢の星でも存在する可能性を支持する結果である。典型的な太陽型星と比較すると、同じ自転速度でリチウムの低い星が存在し、スーパーフレア星ではリチウム組成と自転速度、活動性に通常の太陽型星のようなきれいな相関が見られなかった。また、フレアの頻度や最大エネルギーとも相関が見られないことから、フレアによるリチウム合成の明確な証拠は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11b 早期型星の X 線放射機構の観測的研究

津村大樹, 北本俊二, 星野晶夫 (立教大理)

早期型星 (OB 型星) とは恒星の一種であり、恒星の中でも表面温度が高く明るい星のことである。早期型星の X 線放射機構は、自らの星風の不安定性から起こる衝撃波が生み出す高温プラズマからの X 線放射モデル (星風衝撃波モデル) や、早期型星が連星系をなしている場合、お互いの星風が連星間で衝突することで高温プラズマが発生し、そこから X 線が放射されるという星風衝突モデルがある。また、一部の早期型星から磁場が発見されている事と考えあわせ、磁場に拘束された星風が赤道付近で衝突し、高温プラズマが出来るという Magnetically Confined Wind Shock (MCWS) モデルも注目されているが、確立されたモデルはいまだない。

2014 年秋季天文学会では、12 個の OB 型星 (τ Sco, ζ Oph, Cygnus OB2 No.5, No.8a, No.9, No.12, μ Col, ζ Pup, ζ Ori, ι Ori, θ^1 Ori C, 10Lac) の解析結果を報告した。今回は新たに CPD-28° 2561 の解析を行い、データに加えた。CPD-28° 2561 は τ Sco, θ^1 Ori C, ζ Oph, ζ Pup, ζ Ori らのように磁場が見つかっており、O 型星である。また、Cygnus OB2 No.5, No.8a, No.9, ζ Ori, ι Ori は連星系であり、そのうち Cygnus OB2 の 3 天体は O 型を伴星に、 ζ Ori と ι Ori は B 型星を伴星に持つことが分かっている。

CPD-28° 2561 を含めた計 13 個の早期型星の X 線スペクトルを解析し、その結果、強磁場をもつ天体や O 型星を伴星に持つ天体では高温度成分が強くなる事、また、低温成分は、質量放出率と良い相関を持つことを発見した。これらの解析結果と推定される X 線放射機構について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12b ミラ型変光星 *o* Cet および R Leo の星周構造の探査

上塚貴史, 大澤亮, 高橋英則 (東京大学), 高見英樹, Tae-Soo Pyo (NAOJ)

ミラ型変光星は宇宙空間のダストの主要な供給源の一つであり、その星周環境はまさにダストが形成される領域である。このため、星周環境のガスの密度や温度、そしてその運動を明らかにすることは、ダストの形成過程の理解や、ダストの存在によって加速される質量放出風の駆動メカニズムの理解に非常に重要である。酸素過多のミラ型変光星において形成される主要なダストはシリケートダストであるが、このシリケートダストが星周のどこで形成されるかは長年議論されており、近年は 10 恒星半径以上の領域である可能性も指摘されている。

このような星から少し離れた領域の星周構造の探査が重要と考え、本研究ではすばる望遠鏡に搭載された近赤外線分光撮像装置 IRCS のエシェル分光モードと AO188 を組み合わせた高空間分解高分散分光観測を用い、ミラ型変光星 *o* Cet、および R Leo の星周ガスの観測を実施した。その結果、波長 4.74–4.85 μm に見られる CO のラインについて顕著な広がりを捉える事に成功した。本波長帯では波長分解能 $R \sim 20000$ 、空間分解能 ~ 0.12 秒角の観測が達成された。解析の結果、観測されたプロファイルは中心星に加え二重のシェルとさらに広がった成分をもつような構造で説明できることがわかった。二重のシェル構造の直径は *o* Cet で 260, 540 mas (9, 18 恒星直径)、R Leo では 260, 740 mas (およそ 10, 29 恒星直径)、広がった成分の直径は 1000 mas 以上となっている。このような構造の成因の一つとして、異なる時代に起きた間欠的な質量放出が考えられるが、二つのシェルの空間的な間隔と星風の速度からその時間間隔を見積もるとそれぞれ 15, 13 年の間隔となり、これまでに考えられていないような時間間隔での質量放出活動が示唆される。本講演では以上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](#)

N13b 水メーザースペクトルの高頻度モニタリングによる星周エンベロープでの周期的な加減速の検出

須藤広志、志賀元紀、高羽浩（岐阜大学）、面高俊宏、中井千尋（鹿児島大学）

中小質量星はその進化末期にミラ型変光星のような長周期の脈動変光星となる。脈動変光星はきわめて激しい質量放出を伴い、放出された大量の物質は最終的に星間ガスに取り込まれ、新たな星を作る材料となる。このような星の星周エンベロープには水メーザー源が存在し、そのスペクトルをモニタリング観測することで、ドップラーシフトの時間変化（加速度）が計測できる。これまで、1カ月程度のスパンでの観測から、星周エンベロープ中の加速（減速）現象が見つかった。

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）を用いて、鹿児島大学 6m 鏡による高頻度モニタリング観測を実施した。得られた大量の観測データに含まれる全てのスペクトル成分を網羅的に同定するために、連続ウェーブレット変換に基づく自動ピーク検出法を用いた。

この観測の結果、半規則型変光星 R Crt において、複数の速度成分で 0.5 km/s/y 程度の減速を検出した。これに加え、振幅 0.1 km/s 程度の周期的な加速と減速のくり返しを検出した。その周期は数 100 日程度である。R Crt の変光周期（160 日程度）と比べ長周期であり、脈動とは別のメカニズムが関連する新たな現象を捉えた可能性がある。また、今後の岐阜大学 11m 鏡による観測計画や時系列構造も組み込んだ新たなスペクトル解析法の開発等についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N14a **特異な食連星ぎょしゃ座 星の高S/N高分散分光モニタ観測：2008年10月～2014年5月の変化の特徴**

神戸栄治（国立天文台岡山）、定金晃三（大阪教育大）、橋本修（県立ぐんま天文台）、本田敏志（兵庫県立大学西はりま天文台）、佐藤文衛（東工大）

ぎょしゃ座 星は、27.1年毎に約2年間におよぶ食が起きる（皆既期間は約1年間）特異な食連星である。2009年8月に始まり2011年5月に終了した前回の食期には広範な波長域で集中的な観測が行われ、例えば、光干渉計の観測で食が伴星の周り数AUの範囲に広がった低温の円盤によるものだと確認されたり、FUVの観測から伴星がB型主系列星に相当するスペクトルを示すことがわかったりしたものの、まだこの系の素性、特に大質量星説（F1Ia型である主星が10太陽質量以上）か小質量星説（主星が3～6太陽質量でpost-AGB段階）かの判別もついていない。我々も、各星や円盤の性質を探るべく、国立天文台岡山天体物理観測所188cm鏡+HIDESと県立ぐんま天文台150cm鏡+GAOESを用いて、2008年10月から月に約2回のペースで高S/N高分散分光モニタ観測を実施しており、化学組成解析結果などを報告してきた（2010春季年会N07b、2010秋季年会N12aなど）。本講演では、2008年10月～2014年5月の期間（全237夜分）に両天文台でモニタできた481nm～664nmの波長域で、ブレンドなどの影響が少ない約80本のラインを選び出して行った解析の結果について報告する。今回特筆すべき特徴としては、(1)FeIの高励起線など高々数本のラインを除くほとんどすべてのラインに食の影響がみられ、特にFeII, CrII, TiIIなどのラインでは-70～-100 km/s付近に暖められた円盤によると考えられる吸収成分が食の中心直後から見られること、(2)周期解析では複数の周期性、特にほとんど全てのラインで周期65日の、半数以上のラインで周期116日の変化が検出され、これらの相対振幅比が元素によって違うこと、などがあげられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15a 星のスペクトルタイプとLSP変光現象の関連性

高山正輝, 板由房

明るい red giant variables のおよそ 30-50% の星では、よく知られた動径脈動による変光とは別に、より長周期の変光現象 (Long Secondary Period, 以下 LSP) が見つかっている。この長周期の変光の原因を説明するため、g-mode pulsation, eclipsing binary, dust formation, rotating spot など様々なモデルが提案されて来たが、未だに観測結果を上手く説明出来るモデルに辿り着けないでいる。LSP の周期は同じ明るさの Mira 型変光星の 4 倍程度長く、典型的には 400-1,500 日である。また星の表面はおよそ 3.5km/s の振幅で視線速度の周期的な変動が見られる。ただしこの原因が脈動による星の膨張収縮なのか、連星の公転運動によるものか (あるいは全く別の原因なのか) は明らかになっていない。LSP は非常に周期が長いのでその変動の様子を調べるためには長期間の観測を要する。測光観測ではこれまで MACHO や OGLE といった可視光での観測データしか存在せず光度変動について限られた情報しか得ることが出来なかった。

一方 OGLE の観測期間と重なる時期に、IRSF/SIRIUS camera の JHK_s filter を用いて約十年に渡って大小マゼラン銀河の天体の測光観測が行われていた。この新しいデータは近々公開される (Ita et al. in prep)。本研究では OGLE と SIRIUS のデータを組み合わせ、小マゼラン銀河で見つかった LSP 星の可視・近赤外での「色」の時間変動に着目して研究を行ってきた。今回新たに星のスペクトルタイプ (i.e. oxygen-rich star or carbon star) によって各波長域での光度振幅に大きな違いが現れることを見つけた。このことは LSP の変光に伴って星の大気の状態が変動していることを示唆している。従って LSP 現象は連星の eclipse ではなく、星が本質的に変光していることが原因であることを支持する結果となった。以上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](#)

N16a 赤色巨星の振動の双極子モードの漸近解析と星震学への応用

高田将郎（東大理）

近年 CoRoT 衛星や Kepler 衛星からの観測により、膨大な数の赤色巨星で周期数時間の微弱な変光が検出されるようになった。これらは太陽と同様、表面近くの対流によって励起された固有振動モードと解釈され、赤色巨星の内部を探る手段として、活発に研究されている。

赤色巨星の振動で特に興味深いのは、中心部では（浮力を復元力とする）重力波的、外層では音波的な振動を示す「混合モード」と呼ばれる振動モードが多数観測されていることにある。（これらは主として、角度方向に双極子なパターンで振動するモードである。）このため、混合モードの性質を調べることで、星の中心部と外層の両方の構造を探ることが可能になる。しかしながら、最近の観測精度の著しい向上に伴い、従来用いられてきた振動周波数のスペクトルを解釈する表式が、不正確である、ないしは観測と矛盾することが認識され始めている。そこで、本研究では、これまで無視されていた、以下の点を取り入れることにした。

1. 振動に伴う重力ポテンシャルの変動の効果
2. 中心部の（重力波）振動と外層の（音波）振動の強い相互作用

これらを考慮したうえで、（振動の波長が構造のスケール長より十分短い場合に）双極子モードの漸近解析を実施し、振動周波数を決定する理論表式をあらたに導出した。こうして得られた表式は、観測結果と矛盾せず、また赤色巨星の星震学において、特に中心部の構造を探るあらたな手段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](#)

N17a **Physical Properties of Fullerene-containing PN Lin49 in the SMC**

大塚雅昭, F. Kemper (ASIAA), B. Ochsendorf (Leiden Observatory), J. Cami, E. Peeters (UWO/SETI), J. Bernard-Salas (The Open Univ.), A.G.G.M. Tielens (Leiden Observatory)

Planetary nebulae (PN) represent by far the largest fraction of fullerene $C_{60,70}$ detections, having been reported in about 25 objects in the Milky Way and the Magellanic Clouds. All fullerene-containing PNe are very young, low-excitation objects, and their IR-spectra are fairly similar (e.g., Otsuka et al. 2014, MNRAS, 437, 2577). However, it remains unclear what physical properties of the central stars and the nebulae favour the formation of fullerenes in these objects, and what differentiates them from their non-fullerene containing counterparts. To answer these questions, we started the project to fully characterize properties of the central stars and dusty nebulae in fullerene-containing and non-containing PNe using multiwavelength spectra.

Lin49 is a C_{60} -containing PN in the Small Magellanic Cloud, it shows the broad $11\ \mu\text{m}/16\text{-}24\ \mu\text{m}/30\ \mu\text{m}$ features. These dust features have been seen in other fullerene-containing PNe. The strengths of the $17.4\ \mu\text{m}/18.9\ \mu\text{m}$ C_{60} bands are comparable to those in the PNe Tc1 and SaSt2-3 in the Milky Way. The near-IR excess seen in Lin49 suggests that very small grains could be dominant in its dusty nebula. By fittings to stellar absorption lines of the central star, we derived stellar abundances of six elements, effective temperature, and surface gravity. Based on over 200 nebular lines detected in the ESO/VLT XSHOOTER spectrum, we calculated nebular abundances of ten elements. Lin49 is a very young, low excitation ($T_{\text{eff}}=30\ 000\ \text{K}$, $\log g=3.2\ \text{cm s}^{-2}$) and metal-deficient object ($[\text{Ar}/\text{H}]=-1.5$). In this talk, we present a recent result of our Lin49 work.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N18a AGB星からの質量放出へのダストのドリフト運動の影響

保田悠紀、小笹隆司 (北海道大学)、田染翔平 (東京大学)

AGB星の周縁部で形成されたダストは輻射圧を受けて外向きに加速され、周りのガスもダストとの衝突によって引き摺られていく (dust-driven-wind)。AGB星からの大量の質量放出現象はこの過程で説明できると考えられており、その放出率の恒星パラメータ (質量、光度、有効温度、脈動周期、表面元素組成) 依存性がダスト形成過程を組み込んだ流体力学モデルの枠組みで調べられてきた (e.g., Winters et al. 2002)。その際、大半の動力学モデルではガスとダストの速度は等しい (Position Coupling (PC)) と仮定されており、放出率が過大評価されていることがダストのドリフト運動を考慮したモデルとの比較により示されている (Sandin and Höfner 2003a,b, 2004; Sandin 2008)。しかしながら比較は限られた恒星パラメータ範囲でのみで行われており、またドリフト運動が質量放出率だけでなく形成されるダストのサイズに及ぼす効果の系統的な研究は十分に行われていない。

我々はダストのドリフト運動を考慮した Eulerian コードを新たに開発し、まず最初に広範囲の恒星パラメータの組に対して既存のコード (Sandin 2008; Yasuda and Kozasa 2012) との比較を行い、その後開発した Eulerian コードを炭素過多 ($C/O > 1$) AGB星に適用し、ドリフト運動の質量放出率への影響の恒星パラメータ依存性を調べた。その結果 PC モデルで高い質量放出率 ($\geq 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) になる恒星パラメータの組の場合、ドリフトモデルでの値はやや小さくなる (PC モデルでの値に対して大半の場合で 1/2 倍以上) 程度で済むが、それ以外の場合 ($\dot{M}_{\text{PC}} < 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) では両モデル間でその値に顕著な違いがあることが判明した。

本講演では、これらの計算結果を示し、終端速度や炭素ダストのサイズへのドリフト運動の影響、dust-driven-wind model の適用範囲について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N19a 近赤外高分散分光観測で迫る LBV 星の周辺構造

水本岬希, 小林尚人 (東京大学), 濱野哲史, 池田優二, 近藤荘平 (京都産業大学), 福江慧, 松永典之, 安井千香子, 泉奈都子, 三戸洋之 (東京大学), 河北秀世, 中西賢之, 鮫島寛明, 川西崇史, 中岡哲弥, 大坪翔悟 (京都産業大学), 前原裕之 (国立天文台)

Luminous blue variable (LBV) 星は、大質量星の晩成期の進化過程において、主系列から Wolf-Rayet 星へと進化していく途中の姿であると考えられており、大質量星の進化の理解のための鍵となる天体である。LBV 星は大規模な質量放出を起こしていることで特徴付けられるが、最近の研究により、LBV 星の進化は特に突発的な質量放出現象によって押し進められていることが明らかになってきた。しかし、LBV 星の突発的な質量放出の観測例は少なく、その構造に関しては未だ解明されていないところが多い。

そこで今回我々は、京都産業大学神山天文台の近赤外 (0.91–1.35 μm) 高分散 ($R=28,300$) 分光器 WINERED を用いて、LBV 星の分光観測を行った。その結果、近赤外領域においてこれまでにない高精度のスペクトルを取得し、未同定ラインを 30 本含む 68 本の輝線を検出した。また、LBV 星 P Cygni に関して、これまで flat-topped 型だと考えられていた [Fe II] 輝線が double-peak 型の速度プロファイルを持つことを新たに見出した。そこで、鉄輝線を詳細に解析した結果、この速度プロファイルは 200 年ほど前に起きた突発的な質量放出によって作られたことが示唆された。本講演では、近赤外高分散分光観測によって新たに明らかになった LBV 星の周辺構造と突発的な質量放出について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N20a **Wolf-Rayet 星 EZ CMa の X 線スペクトル変動調査**

菅原 泰晴、坪井 陽子 (中央大学)、前田 良知 (JAXA)

Wolf-Rayet 星 EZ CMa (WR 6, WN4) は、可視光観測が盛んに行われており、周期 3.76 日の光度変動を起こすことが知られている。この起源として、未発見の伴星の存在や、星風構造の変動、自転に伴う共回転相互作用領域が提案されている (e.g., Flores et al. 2011; Ignace et al. 2015)。一方で、X 線観測も盛んに行われており、単独 WR 星では生成不可能とされている高温プラズマ ($kT > 2$ keV) 成分の存在が確認されている (Skinner et al. 2002)。この起源に関しては、未発見の伴星の存在や、磁氣的星風衝突など、諸説あるが未だ決着していない。また、近年、中性鉄輝線 (6.4 keV) が発見された (Oskinova et al. 2012) が、この起源に関してもよく分かっていない。観測時間が十分長い X 線スペクトルを用いた変動調査は、これらの起源に対して、制限を与えることが期待されている。

今回我々は、集光力の大きい XMM-Newton 衛星によって 2010 年 10 月から 11 月に観測されたデータ (4 観測、計 439 ksec) 及び、Chandra 衛星によって 2013 年 5 月から 8 月に観測されたデータ (3 観測、計 440 ksec) を用いて、EZ CMa の長期的なスペクトル変動を調査した。積分時間を 100–200ksec ごとに分けて解析した結果、 $E = 0.5–10$ keV 帯域の X 線スペクトルは、 $N_{\text{H}} \sim 4 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ 、 $kT_{\text{cool}} \sim 0.7$ keV、 $kT_{\text{hot}} \sim 3.5$ keV の一吸収二温度熱放射 + 中性鉄輝線モデルで再現でき、低温プラズマ成分のエミッションメジャーが最大 50% 変動していることを確認した。さらに、中性鉄輝線の強度は変動しており (最大等価幅 ~ 300 eV)、奇妙なことに、低温プラズマのエミッションメジャーの変動と逆相関を示していた。本講演では、これらの解析の結果の詳細を報告し、X 線スペクトル変動の起源に関して考察する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N21a 近傍銀河で発生した IIIn 型超新星 SN 2006jd の X 線モニター観測

勝田 哲 (宇宙研), 前田啓一 (京都大), 馬場 彩 (青学大), 寺田幸功 (埼玉大), 深沢泰司 (広島大), 川端弘治 (広島大), 大野雅功 (広島大)

近年の X 線観測により、爆発後数年から数十年程度の「超新星」が頻繁に観測されるようになってきている。この X 線は星周物質 (及びイジェクタ) から放出される熱的・非熱的放射と考えられており、現代天文学の大きな謎の一つである「超新星爆発直前の大質量星の質量放出」を探る新しいプローブになり得る。

我々は、近傍銀河 UGC 4179 (83.5 Mpc) で 2006 年 10 月 12 日に発見された、Type IIIn 超新星 SN 2006jd につき、爆発後 1 年から 8 年にかけての X 線観測データ (Swift, Suzaku, Chandra, XMM-Newton) を解析した。この期間の全ての観測で、十分な統計量の X 線を検出した。スペクトル解析の結果、爆発後 2 年ほどは、2 成分の光学的に薄い熱放射モデルで再現でき、それ以降は、単一の熱放射モデルで再現可能であった。星間吸収量は、初期の時点では極めて大きく ($N_{\text{H}} \sim 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$)、その後急激に低下し、2014 年 10 月末の「すざく」観測時点では、銀河系内の吸収量 ($N_{\text{H}} \sim 4.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$) と矛盾ないレベルに達することが判明した。このような急激な吸収量の変化は、他の Type IIIn SNe 2010jl (Chandra et al. 2012, ApJL, 750, L2), 2005ip (Katsuda et al. 2014, ApJ, 780, 184) でも確認されており、この種の超新星に共通する性質のようである。これは、超新星衝撃波が爆発数年後に濃い星周辺物質領域を突き抜けた、つまり時間を遡ると、親星は爆発の数百年前から爆発直前にかけて (星風速度 100 km/s, 衝撃波速度 10000 km/s を仮定した場合)、激しく質量放出したことを示唆する。本講演では、SN 2006jd の鉄輝線の時間変動についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N22a 高速回転するバロクリニック星の構造—高速回転星進化計算に向けて

藤澤幸太郎 (早稲田大), 安武伸俊 (千葉工大), 山田章一 (早稲田大)

星の進化の最終段階である超新星爆発では、親星の回転がその爆発の仕方や重力波の放出、さらには中性子星などのコンパクト天体の形成に大きな影響を与えると考えられており、超新星爆発の物理を考えるためには星の回転は重要である。また、超新星爆発を起こすような大質量星の多くは特に高速で自転しているため、超新星爆発に至るまでの親星の進化計算でも星の回転は重要である。そのため現在では、多くの大質量星の進化計算で自転の効果が取り入れられ、自転が進化に及ぼす影響が議論されている。しかし、そのような星の進化計算のほとんどは球対称一次元計算で回転は摂動的に取り込まれているため、星の形状が歪むような高速回転を正確に扱うことはできない。そのため少なくとも軸対称二次元以上の計算が必要である。また高速回転星の進化計算を行うためには、現実的な状態(エントロピーが星の内部で非一様)であるような回転星の定常状態を議論する必要があるが、そのような星の内部では等密度面と等圧力面がずれているようなバロクリニックな系になっているため取り扱いが難しく、そういったバロクリニック回転星を系統的に計算した例はこれまで皆無であった。

そこで今回は、まずはバロクリニックで高速回転している星の構造を求める数値計算コードを self-consistent field 法に基づいて新しく開発した。次にこの数値計算コードを用いて、シンプルなエントロピー非一様な状態方程式を用いて、様々なエントロピー分布を伴ったバロクリニック回転星の構造を系統的に計算した。その結果、星の進化計算でよく使われている shellular rotation のような角速度分布を伴ったバロクリニック回転星の self-consistent な定常解がいくつも得られた。本講演では、この新しい数値計算コードの説明と、系統的に求めたバロクリニック回転星の構造や安定性に関する議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N23a 星の進化計算を目指した回転平衡形状の導出

安武伸俊 (千葉工大), 藤澤幸太郎, 山田章一 (早稲田大)

現在、観測機器の発展に伴って、Be 星など、高速回転によって歪んでいると思われるような天体が発見されている。このような天体の成り立ちを理解するための理論を、完成させることを本研究の目標とする。

ヘニエ法が提唱されて久しいが、回転の効果を取り入れた星の進化計算法はいまだに確立されていない。回転星の進化計算をまともに解くためには、現実的な状態方程式を用いた (パロクリニシティを仮定した) 上で星の回転平衡形状を求め、時間発展させる必要がある。本研究では、そのような進化計算の手法の構築を目指し、質量座標系に基づいて回転星の平衡形状を求める。この我々の手法の特徴は大きく3つ挙げられる。すなわち (i) 現実的な状態方程式が使用可能である。(ii) 回転則やエントロピー分布を拘束条件のような形で与える必要がない。(iii) 元素合成や分子形成、あるいは放射によって各質量素片が時々刻々とどう移動するかを追うことができる。などである。

講演では、他の手法である蜂巢法や藤澤法との比較を紹介し、我々の手法の妥当性を示す。また、様々な星の回転平衡解を調べた結果、多くの回転星の進化計算で仮定されている shellular rotation 型の角速度分布も解の一つとして見つかった。この点についても議論したい。

恒星のセッションでの発表ではあるが、我々の手法は星形成、原始中性子星、(原始) 惑星などあらゆる回転する天体の構造や進化にも原理的には適用可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成（星形成）】

9月10日（木）午前（09:30-11:30）[A会場]

P101a	09:30	Streaming Velocity による宇宙初期の大質量ブラックホール形成	平野信吾（東京大学）
P102a	09:42	宇宙論的環境下での Direct Collapse シナリオによる SMBH の形成可能性	鄭昇明（東京大学）
P103a	09:54	原始銀河の高速衝突による超巨大ブラックホールの種形成	稲吉恒平（Columbia Univ.）
P104a	10:06	初代星形成におけるバースト的降着と間欠的 UV フィードバック	細川隆史（東京大学）
P105a	10:18	Supermassive stars forming with episodic accretion in the early universe	櫻井祐也（東京大学）
P106a	10:30	臨界強度未満の解離放射を受けた始原ガス雲の成長と星形成	森陽里（東京大学）
P107a	10:42	初代星は銀河系内のどこに生き残っているか？	石山智明（千葉大学）
P108a	10:54	Athena++: a New RMHD Simulation Code with Adaptive Mesh Refinement	Kengo Tomida（Princeton Univ.）
P109a	11:06	ホール効果によって引き起こされる2種類の円盤形成進化過程	塚本裕介（理化学研究所）
P110b	11:18	低金属度衝撃波圧縮ガス領域の分裂	宮澤航平（東北大学）
P111b	11:18	フィラメント状ガス雲の形状的進化について	水野友理那（東北大学）
P112b	11:18	磁場と回転の効果による円盤の方向の空間依存性	町田正博（九州大学）
P113b	11:30	原始惑星系円盤形成過程の解析的モデルと回転速度分布の観測との比較	高橋実道（東北大学）
P114b	11:30	原始惑星系円盤の光蒸発 I: 2次元輻射流体コードの開発	仲谷峻平（東京大学）

9月10日（木）午後（13:30-15:30）[A会場]

P115a	13:30	連星降着モデルで探る周連星円盤の構造	松本倫明（法政大学）
P116a	13:42	低エントロピー降着により形成した前主系列星の内部構造進化	國友正信（名古屋大学）
P117a	13:54	Dissecting the dust composition in the circumstellar environment of a young close binary system SVS13	Takuya Fujiyoshi（Subaru Telescope）
P118a	14:06	おおかみ座の遷移円盤天体における高解像度近赤外線偏光観測	工藤智幸（国立天文台）
P119b	14:18	変光に基づく前主系列星の探査	伊藤洋一（兵庫県立大学）
P120b	14:18	高銀緯分子雲における星形成探査	大朝由美子（埼玉大学）
P121b	14:18	W5のブライトリム分子雲に付随するYSOの近赤外線高分解能撮像観測	今井理恵子（名古屋市立大学）
P122a	14:30	超低光度天体 IRAS 16253-2429 に付随するエンベロープの力学構造	原千穂美（東京大学/国立天文台）
P123a	14:42	Class 0 原始星 IRAS 16293-2422 におけるエンベロープの速度構造解析	大屋瑠子（東京大学）
P124a	14:54	Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus	坂井南美（理化学研究所）
P125a	15:06	星形成領域における $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の ^{13}C 同位体存在量異常	吉田健人（東京大学）

（次頁に続く）

【P1. 星・惑星形成（星形成）】

P126a	15:18	OH 18 cm 線の吸収線と構造形成の関係の研究 海老澤勇治（東京大学）
P127b	15:30	星形成レガシープロジェクト：FOREST による W40 の ^{12}CO ・ ^{13}CO 観測 秦野義子（東京学芸大学）
P128b	15:30	EAVN による 6.7 GHz メタノール・メーザーの VLBI サーベイ XI：ペア形状メーザー天体と多重原始星系 蜂須賀一也（山口大学）
P129b	15:30	Vela C 分子雲の近赤外線偏光観測 楠根貴成（名古屋市立大学）
9月11日（金）午前（09:30-11:30）[A会場]		
P130a	09:30	星間アミノ酸の合成シミュレーション 加藤貴大（東京工業大学）
P131a	09:42	SiO in the high-mass protocluster NGC 2264-C: A tracer of protostellar shock history? Ana López-Sepulcre (The University of Tokyo)
P132a	09:54	IRDC G34.43+00.24 MM3 に付随した若いホットコアの化学組成 酒井剛（電気通信大学）
P133a	10:06	ALMA によるオリオン KL における 658 GHz 振動励起水分子輝線の観測 廣田朋也（国立天文台）
P134a	10:18	VLA による G353.273+0.641 周囲の階層的降着構造の発見 元木業人（国立天文台）
P135a	10:30	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 杉山孝一郎（茨城大学）
P136a	10:42	S87 HII 領域における分子雲クランプ衝突による星団形成の観測的研究 齋藤弘雄（日本工業大学）
P137a	10:54	分子雲衝突による星形成に UV フィードバックが与える影響のシミュレーション II 島和宏（北海道大学）
P138a	11:06	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 原田遼平（大阪府立大学）
P139a	11:18	銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh 2-207 の近赤外深撮像 安井千香子（東京大学）
P140a	11:30	WISE データを用いた銀河系最外縁領域における星生成領域探査 泉奈都子（東京大学）

P101a Streaming Velocity による宇宙初期の大質量ブラックホール形成

平野信吾, 細川隆史, 吉田直紀 (東京大学)

現代宇宙論より与えられる宇宙初期の密度・速度分布を初期条件とする宇宙論的シミュレーションを行うことで、初代星・初代銀河といった初期宇宙の天体形成過程が調べられている。近年、従来の数値シミュレーションでは考慮されていなかった宇宙再結合期におけるバリオン・ダークマターの速度差 (Streaming Velocity) が宇宙初期の天体形成に影響しうることが指摘された (Tsaliakhovich & Hirata 2010)。この速度差によってバリオンの構造成長が遅れ、最終的な初代星の形成環境を変えてしまう (2015年春期年会 P101a)。特に Streaming Velocity が大きな場合、 $10^4 - 10^5$ 太陽質量程度の大質量星が形成される可能性が指摘されている (Tanaka & Li 2014)。この天体は大質量ブラックホールへと重力崩壊して遠方宇宙に観測されている超大質量ブラックホールの種となりうするため、その未解明な形成過程を説明すると期待されている (Direct Collapse シナリオ)。

我々は Streaming Velocity による大質量天体の形成可能性を探るべく、Tanaka & Li (2014) で示された物理的環境となる星形成領域を宇宙論的シミュレーションより取得し、星形成過程を調べた。その結果、Direct Collapse シナリオの条件である高温ガス雲が現れ、原始星への極めて大きなガス降着率を確認した。宇宙初期の始原的ガス雲においては、ガス降着は星からの輻射フィードバックによって止められるが、今回確認されたように降着率が十分大きいと、この輻射フィードバックは働かず原始星の質量は増え続ける。原始星の質量降着進化を3次元流体シミュレーションした結果、 10^4 太陽質量以上までの質量獲得を確認した。Streaming Velocity を考慮することで、長らく議論されてきた超大質量ブラックホールの形成過程が説明できることがわかった。本講演では、宇宙論的初期条件から宇宙初期の大質量天体形成を確認した数値シミュレーションについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P102a 宇宙論的環境下での Direct Collapse シナリオによる SMBH の形成可能性

鄭昇明、平野信吾、細川隆史、吉田直紀 (東京大学)

近年 $z \sim 7$ の初期宇宙において、すでに $10^9 M_{\odot}$ の質量を持った超大質量ブラックホール (SMBH) が存在する事が明らかになってきた。形成過程に関しては、初期宇宙において非常に特殊な環境下に存在するガス雲から超大質量星を経て $\sim 10^5 M_{\odot}$ の BH が形成される Direct Collapse (DC) シナリオが提唱されている。この BH は観測された SMBH の種となることが期待される。DC に関しては様々な研究がなされているが、現在のところ宇宙論的な状況で実際に超大質量星が形成される過程は確かめられていない。本研究では、DC が宇宙論的な環境下で起こりうるかを検証する。

宇宙論的な初期条件から始める数値計算を Gadget を用いて行い、DC が起こりうる環境が実現しているかを確かめる。DC は非常に低金属なガス雲で、かつ非常に輻射の強い状況で起こると考えらる。このためにも、(1) 星形成活動による金属汚染の過程、(2) 近傍銀河からの輻射強度の計算、(3) 輻射場のもとでのガス雲の進化、を考慮する必要がある。本研究においては、N 体計算をもとに準解析的に星形成史を再現することで (1)、(2) を考慮する。次に、得られた DC 候補ガス雲の進化を流体計算することで (3) の過程を追う。

本研究ではシミュレーション領域内で DC ガス雲を探索し、20 個程度の DC 候補ガス雲について流体計算を行った。結果として、1 つの DC ガス雲において DC が起こることを確かめた。残りの 19 個の候補に関しては、光源ハローからの潮汐力等により崩壊は進行せず先行研究が仮定していた大質量星形成には至らなかった。本講演では光源ハローとの相互作用を考慮した上での DC が起こるための条件と、宇宙論的初期条件より得られた DC ガス雲、またそこで形成される超大質量星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](#)

P103a 原始銀河の高速衝突による超巨大ブラックホールの種形成

稲吉恒平, Eli Visbal (Columbia University), 檜山和己 (University of California Berkeley)

宇宙初期 ($z > 6$) に観測されている超巨大ブラックホール ($\sim 10^9 M_{\odot}$) の起源として、原始銀河の中で超大質量星 ($> 10^5 M_{\odot}$) の重力崩壊によりできる大質量ブラックホールが有力視されている。超大質量星を形成するためには、始原ガス中の H_2 分子冷却を抑制することが必要だと考えられている。 H_2 分子冷却が抑制された始原ガス雲は、代わりに H 原子冷却により等温に収縮していき、激しい分裂を回避してそのまま超大質量星を形成すると期待されている。

本講演では、原始銀河の高速衝突により誘発される超大質量星の形成過程を議論する。原始銀河が相対速度 $\gtrsim 200 \text{ km s}^{-1}$ で衝突すると、衝撃波を経験したガスは 10^6 K まで加熱された後、放射冷却によりエネルギーを失いながら等圧に収縮して行く。そこでは、ガスは粒子同士の衝突により H_2 分子が解離するのに十分な密度 ($\gtrsim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) まで上昇するため、ガス中では H_2 分子冷却が抑制されてしまい、自発的に超大質量星形成の必要条件が満たされる。我々は、この銀河衝突により形成される超大質量星ないし種ブラックホールの個数密度を解析的な手法と宇宙論シミュレーションを用いて見積もった。結果、 $z = 10$ までに数密度は $\sim 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ (comoving) となり、宇宙初期に観測されている超巨大ブラックホールの数を説明することができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104a 初代星形成におけるバースト的降着と間欠的UVフィードバック

細川隆史(東京大学)、平野信吾(東京大学)、Rolf Kuiper(Tubingen大学)、Harold Yorke(JPL/Caltech)、大向一行(東北大学)、吉田直紀(東京大学)

The mass accretion process onto growing primordial protostars is very dynamic in general and sometimes displays highly variable accretion rates. As a result of the gravitational fragmentation of a circumstellar disk, fragments migrate inward to initiate burst-like accretion events when accreting onto the star. Here I present our recent 3D radiation-hydrodynamic (RHD) simulations following this dynamic accretion process under the influence of stellar UV feedback. Our calculations, which also solve the stellar evolution simultaneously with the 3D RHD simulations, result in the wide diversity of final stellar masses obtained in our previous 2D simulations. In particular, the formation of very massive (more than 250 Msun) primordial stars should be possible in 3D if disk fragmentation is followed by successive mergers or episodic accretion. Short accretion bursts with more than 0.01 Msun/yr weaken the stellar UV feedback. Unable to thermally readjust on such short timescales, the protostar substantially inflates with rapid accretion, its atmosphere cools rapidly, its UV flux drops, and a forming HII region suddenly disappears. This process allows the formation of very massive stars in the early universe, whose observational signature has been recently reported (Aoki et al. 2014). This should also be suggestive for forming even more massive (or supermassive) stars, which will seed supermassive black holes in the early universe.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105a **Supermassive stars forming with episodic accretion in the early universe**

Yuya Sakurai (Univ. of Tokyo), Eduard I. Vorobyov (Univ. of Vienna, SFedU), Takashi Hosokawa (Univ. of Tokyo, RESCEU), Naoki Yoshida (Univ. of Tokyo, IPMU), Kazuyuki Omukai (Tohoku Univ.), Harold W. Yorke (JPL/Caltech)

Supermassive stars (SMSs) with $\sim 10^5 M_\odot$ can be progenitors of seed BHs for SMBHs at $z \sim 6$. SMSs may form in rare halos in which rapid accretion of $\gtrsim 0.1 M_\odot/\text{yr}$ continues during accretion phases. In the case of rapid constant accretion, UV feedback is suppressed because of large stellar radius and low effective temperature. However, accretion rates can vary vigorously due to fragmentation of disks which induces episodic accretion. Such accretion experiences both burst phases and quiescent phases. If the quiescent phases are long enough, stars may contract and UV feedback may occur.

In our study, we examined the impact of episodic accretion on SMS formation by calculating stellar evolution with episodic accretion rates obtained from 2D hydrodynamical simulations. Our results show that stars do not contract for $M_* \lesssim 10^4 M_\odot$. This behavior can be explained by comparison between a surface KH timescale and the length of quiescent phases as follows. During the stellar evolution, the surface KH timescale is much larger than ~ 1000 yr for almost all time. In contrast, the length of quiescent phases does not much exceed ~ 1000 yr. This means that the former timescale is not relevant for the stellar evolution and that the thermal relaxation of stars does not occur. We will discuss possible evolution of stars for $M_* \gtrsim 10^4 M_\odot$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106a 臨界強度未満の解離輻射を受けた始原ガス雲の成長と星形成

森陽里, 平野信吾, 梅田秀之 (東京大学)

質量が太陽の数十億倍の超大質量ブラックホール (SMBH) が $z \sim 6$ の初期宇宙で観測されている (e.g., Mortlock et al. 2011) が, その形成メカニズムは未解明である. 有力なモデルとして Direct Collapse シナリオが提唱されている (e.g. Oh & Haiman 2002). 初代星を形成する始原ガス雲は主に水素分子によって冷却されるが, 外部からの紫外輻射によって水素分子が解離されると, 水素原子によって冷却される. 水素原子による冷却は高温でのみ効率的なため, このガス雲は高温のまま収縮する. ジーンズ質量が下がらないため, ガス雲は分裂せずに大質量星を形成すると考えられる. 大質量星は重力不安定により崩壊し, 重いブラックホールを形成する. この天体は, 降着によって観測されている時期までに SMBH の質量に達することができる.

Direct Collapse シナリオに必要な紫外輻射の強度は, 宇宙の平均的な紫外輻射に比べて非常に大きい (e.g., Agarwal et al. 2012). 多くのガス雲では, 外部からの輻射強度は臨界値未満になるが, この場合でもガス内の水素分子は一度解離され, その後の成長は通常の初代星形成とは異なると考えられる. 形成される初代星の質量や時期が変化し, 宇宙進化に無視できない影響を与える可能性があるが, この過程は詳しく調べられていない.

そこで本研究では, 臨界強度より弱い紫外輻射を受ける始原ガス雲の成長を, 数値計算によって調べた. 初代星形成を行うガス雲の近傍に $T = 10^4\text{K}$ の黒体輻射をする Pop II 銀河が存在すると仮定し, 始原ガス雲に外部から一様な紫外輻射を当てた宇宙論的シミュレーションを行った. 輻射によって水素分子による冷却が抑制されガス雲の収縮が遅れるため, 外部輻射が臨界強度未満であってもガス雲の成長は大きく変化した. 本発表では, ガスの降着率を比較することで, 形成される星の質量に対する輻射の影響を議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P107a 初代星は銀河系内のどこに生き残っているか?

石山智明(千葉大学), 須藤佳依, 横井慎吾(甲南大学), 長谷川賢二(名古屋大学), 富永望, 須佐元(甲南大学)

過去20年以上にわたる研究により、宇宙論的な枠組みの中での初代星の形成過程が明らかになってきた。現在まで生き残ることが可能なほどの、低質量の初代星の存在が示唆されているが、銀河系内のどこにどれくらい生き残っているかはわかっていない。

そこで本研究では、まず初代星をホストする暗黒物質ミニハローを分解でき、銀河サイズのハローの形成を追うことが可能な、暗黒物質のみの高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションを行った。そして、Lyman Werner 輻射場下においても初代星を形成しそうなミニハローを同定し、さらに同様のミニハローとの合体を経験していないミニハローが、現在の銀河サイズのハローのなかでどのように分布しているかを調べた。

多くのミニハローは階層的構造形成の過程で大きいハローに飲み込まれ、その数は親ハローの質量に比例し、銀河ハローの中ではおよそ数十万個になることがわかった。ミニハローを構成していたいくつかの粒子の位置が初代星の位置に対応すると仮定すると、初代星は親ハローのなかでおおよそ暗黒物質の分布と同じように分布する。また通常の星が少ないために、高銀緯領域が初代星を観測するのに適している。本講演ではこれら結果の詳細について報告するとともに、これまでの観測で初代星の初期質量関数がどれくらい制限されてきたかについてや、すばる望遠鏡の Prime Focus Spectrograph をはじめとした、次世代の観測機器での観測可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108a **Athena++: a New RMHD Simulation Code with Adaptive Mesh Refinement**

Kengo Tomida, James M. Stone (Princeton University)

We report the current status of the Athena++ project, which completely redesigns the Athena MHD code (Stone et al. 2008) from scratch. This code aims to achieve good performance and scalability on modern supercomputers with various architectures, support flexible coordinate systems including general relativity, and include many physical processes such as radiation transfer, self-gravity and non-ideal MHD effects for various astrophysical applications. So far, we have implemented hydrodynamics and MHD on uniform grids. The benchmark tests using Cray XC30 show that the code weak-scales excellently maintaining $\sim 1.5 \times 10^6$ (cells / sec / process) for hydrodynamics and $\sim 8.0 \times 10^5$ (cells / sec / process) for MHD. We also test scalability on IBM BlueGene/Q and it weak-scales perfectly up to 4096 nodes, 262144 processes. We also have implemented static mesh refinement for hydrodynamics, and its performance is as good as uniform grid even with 10 levels of refinement. In this talk, we describe the design of the code and report the progress of implementation of adaptive mesh refinement.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109a ホール効果によって引き起こされる2種類の円盤形成進化過程

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

本講演では円盤形成におけるホール効果の影響について報告する。分子雲コア内のガスは弱電離プラズマであるため、非理想効果（オーム散逸、ホール効果、両極性散逸）が重要な役割を果たす。このなかで、ホール効果は poloidal 磁場に対して左ネジの方向にガスの回転を誘起するという興味深い性質があり、円盤形成過程に大きな影響を与える可能性がある。しかしながら、ホール効果の円盤形成に対する影響についてはほとんど調べられてこなかった。講演者は3つの非理想効果と輻射輸送を考慮した3Dシミュレーションを行い、特にホール効果の円盤形成に与える影響について研究を行った。その結果、分子雲コアの回転ベクトルと磁場ベクトルが平行の場合、1 AU 程度の円盤しか形成しなかったのに対して、反平行の場合は20 AU 程度の重力的に不安定な円盤が形成することがわかった。この結果は回転ベクトルと磁場ベクトルが平行か反平行かというままで重要視されてこなかった条件が円盤形成過程を大きく変えるという点において極めて興味深い。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 ($r_d \sim 10$ AU) が形成され、半分では非常に小さい円盤 ($r_d \sim 1$ AU) しか形成されないことを预言する。また、中心で回転が促進されることによって角運動量保存からエンベロープが円盤回転方向に対して逆向きに回転する現象が見出された。このような逆回転するエンベロープは観測可能であると考えられる。もし観測された場合、ホール効果が円盤の形成進化において重要な役割を果たすことの証拠となると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110b 低金属度衝撃波圧縮ガス領域の分裂

宮澤航平, 仲内大翼, 大向一行 (東北大学)

初代星(種族 III)の典型的な質量は $10 - 100M_{\odot}$ と考えられている一方で、太陽近傍の星(種族 I)や低金属度星(種族 II)は太陽質量程度である。このことから形成される星の典型的な質量が大質量から小質量へと変化したと考えられており、この遷移がどのように進行したかは宇宙における星形成史を理解する上で重要な問題である。そのような遷移が起こる可能性として初代銀河における金属汚染を受けたガスを材料にした星形成が考えられる。初代銀河には衝撃波を伴うガス降着が存在すると考えられており、本研究では衝撃波で圧縮されたガス領域の輝線冷却に伴う分裂過程を考え、低質量星形成条件を求めることを目的とする。先行研究では極めて限られた金属度やガス密度に関して議論されているが、本研究ではより多くのパラメータについて衝撃波圧縮ガス層の分裂を調べた。平行平板かつ定常な次元衝撃波モデルを考え衝撃波通過後のガスの化学反応計算と熱進化計算を行いガス層の構造を解くことにより、パラメータであるガスの金属度や初期密度ごとに分裂時の質量スケールを求めた。衝撃波により加熱・圧縮されたガス層はまず $Ly\alpha$ 冷却により約 8000K まで定圧で進化し、この時点での密度が $n_H \lesssim 10^3 \text{cm}^{-3}$ である場合には最終的に $10M_{\odot}$ 程度の分裂片が形成された。一方で $n_H \gtrsim 10^3 \text{cm}^{-3}$ の場合には金属度が $Z \gtrsim 10^{-3} Z_{\odot}$ の場合には C, O の輝線冷却により $\sim 1M_{\odot}$ の分裂片が形成された。また初代銀河の形成時期には、星形成銀河で誕生した大質量星からの強い紫外線など外部輻射場が存在しており、それらが電離や冷却源となる分子の解離を通してガスの冷却過程に影響を与えたと考えられる。その効果も考慮し、各パラメータに対し衝撃波圧縮されたガス層の分裂スケールを系統的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P111b フィラメント状ガス雲の形状的進化について

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

広く受け入れられている分子雲コア形成シナリオでは、星間ガスがフィラメント状の構造となった後に分裂し、その分裂片が分子雲コアになると考えられている。そのため、分子雲コアの質量を決定する上でフィラメントの分裂の過程を理解することが非常に重要である。

フィラメントは有効ポリトロピック指数 $\gamma \geq 1$ でフィラメント軸方向の一様な重力収縮に対して安定である。しかしながら、球対称自己相似収縮解に対する bar-mode の摂動は $\gamma < 1.1$ で成長することが知られており、 $1 < \gamma < 1.1$ の範囲では分裂後に再度分裂する可能性があるため、数値シミュレーションを用いて調べる必要があった。本講演では、初期状態として $\gamma = 1 \sim 1.2$ の場合のフィラメントの定常解に摂動を与え、フィラメント分裂後の分裂片の形状変化を調べた結果について述べる。初期摂動は、(1) 定常フィラメントの線形解析から得られた最大成長波長の正弦波で与えた速度ゆらぎ、(2) 乱流的速度場、の2通りの方法で与えた。まず(1)の計算により、分裂片の形状は γ によらず一旦球対称に近づくが、その後の進化は $\gamma = 1.1$ を境に2通りに分かれるという結果が得られた。 $1 < \gamma < 1.1$ の範囲では分裂片はディスク状となり bar-mode の成長が見られ、 $1.1 \leq \gamma < 1.2$ の範囲で分裂片は球対称な形状のまま進化した。最後に(2)の結果を(1)の場合と比較することで、現実的な場合のフィラメントの分裂について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P112b 磁場と回転の効果による円盤の方向の空間依存性

町田正博 (九州大学)

近年の観測から星形成領域で大局磁場とジェット、アウトフローの向きが異なることが示唆されている。また、星形成領域の偏光観測によって複雑な形状の磁力線が観測されている。磁場は星の形成に関して重大な役割を果たすが、その振る舞いは単純ではない。収縮するガス雲中でローレンツ力と遠心力によって特定の方向の収縮が抑制させることによって円盤状の構造が出来る。磁場によって作られる円盤状構造を pseudo-disk と呼び、回転によって作られる構造を回転円盤と呼ぶ。

一般に星形成の理論研究では、単純化のために分子雲コアが持つ磁力線と回転軸の方向は等しいと仮定することが多い。しかし、実際には磁力線と回転軸の向きは異なることが観測から分かっている。磁力線と回転軸の向きが異なる場合、単純には、磁力線の方向に垂直に pseudo-disk が出来、回転軸と垂直方向に回転円盤が出来ると考えられる。しかし、磁場による角運動量輸送 (磁気制動) が働くために円盤の向きは単純ではないと考えられる。

この研究では、磁場と回転軸が異なる場合の分子雲の進化と磁場の方向について調べた。分子雲コアのパラメータは観測から与えられる一般的なものを採用した。分子雲コアの磁気エネルギーは回転エネルギーよりも10倍程度大きいために、100AU を超える大きなスケールでは磁場の方向とほぼ垂直に円盤 (pseudo-disk) が形成する。その後、pseudo-disk の中にほぼ初期の回転軸の向きと垂直方向に回転円盤が形成する。回転円盤は10AU程度であり、pseudo-disk よりも十分に小さい。結果、円盤の法線方向は空間スケールと共に大きく異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](#)

P113b 原始惑星系円盤形成過程の解析的モデルと回転速度分布の観測との比較

高橋実道 (東北大) 富田賢吾 (プリンストン大) 町田正博 (九州大) 犬塚修一郎 (名古屋大)

分子雲コアは一般に角運動量を持っているため (Goodman et al. 1993, Caselli et al. 2002)、原始星形成期において分子雲コアのガスは原始星に直接降着することはできず、原始星の周囲に原始惑星系円盤を形成し、円盤を通して原始星へと降着する。そのため、ガスの持つ角運動量は星形成および原始惑星系円盤形成において重要である。近年、原始星の周囲のガスの回転速度分布が ALMA による観測によって得られており、その一つが L1527 である (Ohashi et al 2014)。L1527 の周囲の回転速度分布は、中心星からの距離 $r \lesssim 50$ AU で $v_\phi \propto r^{-1/2}$ 、 $r \gtrsim 50$ AU で $v_\phi \propto r^{-1}$ と近似できると報告されている。これは、中心に半径 ~ 50 AU のケプラー円盤が形成され、その外側に角運動量を保存しながら降着しているエンベロープの回転プロファイルを観測していると考えられている。しかし、角運動量を保存したガスの降着によって円盤の外側に比角運動量がほぼ一様な領域を形成するためには、初期に比角運動量の分布が空間的にも一定である必要があるが、これは星形成過程において現実的ではない。

本研究では分子雲コアの重力崩壊過程を記述する解析モデルを構築し、原始星形成期のエンベロープの速度分布を調べた。その結果、星形成過程で円盤の外側に比角運動量がほぼ一定の領域が自然に形成されることが分かった。これは、分子雲コアの暴走的収縮の過程で初期の比角運動量分布が引き延されるためであり、重力収縮する分子雲コアの回転則に強く依存しない。また、本研究の解析モデルを用いることで、観測された原始星の周囲の回転速度分布から初期の分子雲コアの構造と現在の原始星の年齢を推定することが可能となる。これは、中心星の質量や質量降着率に関する情報と合わせることで、現実的な原始星形成シナリオに対して重要な制限を与えると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P114b 原始惑星系円盤の光蒸発 I : 2次元輻射流体コードの開発

仲谷峻平

原始惑星系円盤が、形成されてから円盤が散逸し惑星系になるまでの時間を原始惑星系円盤の寿命という。この円盤寿命は、近傍星団の観測によりおよそ 3-6 Myr と見積もられていた (e.g., Haisch et al. 2001)。しかし近年、銀河外縁部の金属量の低い環境下で、円盤の寿命が短い傾向にあることが判明した (Yasui et al. 2010)。

これら観測された円盤寿命を再現し得る理論的な円盤消失メカニズムのひとつとして、光蒸発メカニズムが提唱されている。光蒸発とは、中心星や近傍星からの光 (Far Ultra-Violet; FUV, Extreme Ultra-Violet; EUV, X-ray) で温められた円盤ガスが、ディスクの外側の領域では重力束縛を振り切って脱出するために、質量損失が生まれディスクが散逸するというメカニズムである。先行研究により、この光蒸発メカニズムは円盤寿命だけでなく、円盤散逸途中、円盤の内側領域に穴が空いた後、比較的短い時間で円盤全体が散逸するという円盤進化についての観測事実も整合的に再現できることが知られている。

本研究では、この光蒸発過程を原始惑星系円盤の金属量を変化させて数値シミュレーションし、円盤寿命の金属量依存性を明らかにする。今回、その研究の第一段階として2次元輻射流体コードを開発した。このコードは中心星からの EUV、X-ray 輻射による水素原子の電離と加熱、及び電子と水素イオンの再結合を流体の進化と同時に計算する。これまでに、このコードのテストとして Sedov-Taylor 解、星間領域の Strömgren 球形成、HII 領域膨張などの計算を行い、解析解との一致を見てコードの信頼性を確認した。今後は、原始惑星系円盤の金属量を変化させて光蒸発過程の計算が行えるよう、流体粒子としてダストや金属も考慮した場合の光子吸収、化学反応、放射冷却及びダスト-ガス衝突冷却を計算するモジュールをコードに実装し、本研究を進める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115a 連星降着モデルで探る周連星円盤の構造

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

ALMA 望遠鏡をはじめとする近年の高解像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) を捉えている (たとえば Takakuwa et al. 2014)。連星系形成のシナリオによると、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。

本研究では連星降着モデルを用いて周連星円盤の構造を調べた。本研究で採用した連星降着モデルの概要はつぎの通りである。連星を模した2個のシンク粒子を計算領域内で円運動させる。計算境界からガスを流入させる。ガスは角運動量を持っているので、シンク粒子 (連星) に直接降着せずに、周連星円盤を形成する。また磁場の効果を無視した。AMR コード SFUMATO (Matsumoto 2007) を用い高分解能シミュレーションを遂行した。

質量比が1ではない場合 (連星の質量が異なる場合)、周連星円盤は $m = 1$ の非対称の構造を示す。このような構造は実際の周連星円盤にも観測されている (たとえば UY Aur)。非対称な構造は円盤の回転の向きに回転しているが、連星の角速度よりも遅い回転である。したがって連星に対する非軸対称構造の位置角は時間とともに変化する。

従来ギャップ (周連星円盤の内縁) の大きさは、流入するガスの角運動量に依存すると考えられていた (Bate & Bonnell 1997)。ところがシミュレーションを長時間遂行すると (典型的には20周程度)、連星の重力トルクを受けてガスは内側に落ち込み、その結果ギャップは縮む。結局周連星の内縁はラグランジュ点 L2 と L3 程度になる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116a 低エントロピー降着により形成した前主系列星の内部構造進化

國友正信 (名古屋大学), Tristan Guillot (コート・ダジュール天文台), 竹内拓, 井田茂 (東京工業大学)

質量降着期の星を原始星, 降着が (ほぼ) 完了し主系列に至るまでの星を前主系列星と呼ぶ。従来の描像では, 星は大量のエントロピーを保持することで膨張して形成され, その後輻射冷却により準静的に収縮し, 主系列に至る。そのため, 降着時に星に取り込まれるエントロピーが前主系列進化を規定する。近年の3次元磁気流体力学計算から, 物質は星周円盤を通して星に降着することが明らかになった。これは球対称降着を仮定していた古典的な描像とは異なる。円盤降着の場合は, 円盤および星の表面から効率的な輻射冷却が起こり, 降着物質のエントロピーは低くなることが期待される。そこで本研究では低エントロピー降着を考慮して原始星および前主系列星の進化を計算した。恒星進化コードはMESA (Paxton et al. 2011) を用いた。降着物質のエントロピーは降着物質の重力エネルギーを用いてモデル化した。

計算の結果, 降着物質のエントロピーが小さい場合, 従来に比べ前主系列星の半径が約1桁, 光度が2桁も小さくなることがわかった。小さい半径はピリアル定理から高温を意味するため, 輻射層が発達しやすくなり内部構造進化にも影響する。従って, 従来の描像では2千万年程度かかる輻射層の発達, 低エントロピー降着では2百万年程度となることがわかった。さらに, 前主系列期の主要な熱核反応である重水素燃焼は強い発熱反応であるため, 降着物質のエントロピーだけでなく重水素量も進化に大きく影響を及ぼすことを発見した。降着物質のエントロピー量や重水素量を変えて多くの計算を行い, 表面对流層が収縮する時刻を求めた。得られた結果を用いて, 太陽の表面組成の異常問題および原始太陽の形成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](#)

P117a **Dissecting the dust composition in the circumstellar environment of a young close binary system SVS13**

Takuya Fujiyoshi (Subaru Telescope), Christopher M. Wright (PEMS, UNSW Canberra), Toby J. T. Moore (ARI, Liverpool John Moores University)

It is generally thought that planet formation begins with micron-sized dust grains, which are dragged by gas in the hot gaseous protoplanetary nebula, and when they collide they stick with one another and grow in size. They continue to grow by collision until they become $\gtrsim 1$ km entities called planetesimals, at which stage gravity takes over and finally ‘runaway’ growth of a few bodies leads to planet formation. It is therefore of great interest to study the mineralogy of circumstellar dust around young stars as it represents the original constituents of planetesimals and hence of the rocky planets like our own Earth. To this end, we have obtained perhaps the most unique *N*-band (8–13 μm) spectrum ever observed towards the low-mass, embedded pre-main-sequence close binary system SVS13. Complex absorption features are clearly detected and we identify dust components in the circumstellar environment by fitting various emissivities and absorption coefficients, and by utilising mid-infrared spectro-polarimetry results. We also speculate on the physical origin of the respective dust species and why they are all simultaneously present towards SVS13.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118a おおかみ座の遷移円盤天体における高解像度近赤外線偏光観測

工藤智幸 (国立天文台ハワイ観測所)、田村元秀 (東京大学/国立天文台)、橋本淳 (アストロバイオロジーセンター)、日下部展彦 (国立天文台)、すばる望遠鏡/HiCIAO/AO188 team.

原始惑星系円盤は惑星形成の母体であると考えられており、惑星が円盤に埋もれている場合、重力相互作用によって面密度の小さな領域が円盤に形成されることが理論的に予想されている (e.g., Zhu et al. 2011)。スペクトルエネルギー分布において、近赤外線から中間赤外線にかけて超過が減少している天体が報告されており (e.g., Strom et al. 1989)、上記の遷移天体に該当する可能性がある。しかし、他にも光蒸発 (e.g., Clarke et al. 2001) や固体微粒子の成長 (e.g., Dullemond et al. 2005) によるものなど諸説あり、一定の合意は得られていない。

そこで、我々はすばる望遠鏡と近赤外線高コントラスト偏光撮像装置 HiCIAO、補償光学 AO188 を使用し、おおかみ座にある遷移円盤天体 MY Lup の観測を行った。

その結果、非対称なエッジオン円盤構造を持つことを突きとめた。また、円盤のべき乗動径輝度分布も一様ではないことから、実際は多重の円盤構造を持つ可能性があり、惑星の重力相互作用によりプロファイルが変化したと考えられる。さらに、我々は本観測では分解できなかった主星近傍の円盤の様子を探るため、モンテカルロ法による輻射輸送計算を行った。講演では、本円盤の詳細な描像を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119b 変光に基づく前主系列星の探査

伊藤洋一, 富田堅太郎 (兵庫県立大学), 松永典之 (東京大学), 大朝由美子 (埼玉大学)

Tタウリ型星は太陽程度の質量を持つ前主系列星であり、「おうし座分子雲」などの近傍の星形成領域で詳細な観測がなされている。現在までの探査観測では、質量降着に起因する $H\alpha$ 輝線や、原始惑星系円盤に由来する赤外線超過によって Tタウリ型星が同定されてきた。

Tタウリ型星には、上記の他に不規則変光という特徴もある。そこで我々は KISO GP プロジェクトのデータを用いて、この特徴を示す Tタウリ型星を探査した。KISO GP プロジェクトは、東京大学木曾観測所の 1m シュミット望遠鏡を用いて銀河面を繰り返し撮像観測することによって、明るさに時間変動を示す天体を探査するものである。現在までの 4 年間に渡る観測の結果、ミラ型星などの晩期型星を多数発見した。

我々は、KISO GP の観測で不規則な変光を示し、かつ近赤外波長域で赤外線超過を持つ天体を選び、西はりま天文台の「なゆた望遠鏡」で可視分光観測を行った。その結果、いっかくじゅう座にある 6 天体で $H\alpha$ 輝線を検出し、これらが前主系列星であることがわかった。このうち 2 天体は近くに前主系列星や分子雲がなく、孤立して存在する。

講演ではこれらの前主系列星の特徴について述べ、これらがなぜ孤立しているのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P120b 高銀緯分子雲における星形成探査

大朝由美子、平塚雄一郎 (埼玉大学)、源川貴大 (埼玉大学/新座市立東野小学校)

星は分子雲から誕生する。しかし、これまでの観測的研究から同じような物理的特徴を持つにも関わらず、星形成を起こす分子雲と起こさない分子雲があることがわかってきた。分子雲から星が形成されるか否かを決定するものは何だろうか。この疑問に答えるべく、我々は低密度分子雲 ("translucent clouds") を対象に、可視分光及び測光観測による広範囲な探査を進めている。分子雲の多くは銀河面付近に位置するが、低密度分子雲は銀河面から離れた場所にも存在する。なかでも、高銀緯分子雲 ($b > \pm 30^\circ$) は、距離が近く、背景星の混入が少ない反面、領域が広いため、高銀緯領域における前主系列星の探査観測は一部領域の T タウリ型星に限られており、CO やダストの観測からは百以上の高銀緯分子雲があるにもかかわらず、星形成は数例しか報告されていない。

本講演では、Magnani カタログから MBM32、なんてんの CO 観測から新たに同定された高銀緯分子雲 HLCG92-35、及びおうし座分子雲 L1506 を観測対象として、(1)H 輝線、(2)変光現象の有無に基づく T タウリ型星の探査結果について報告する。(1)では、H 輝線検出を目的として、2012 から 2015 年にハワイ大学 2.2m 望遠鏡と WFGS2 を用いた可視スリットレス分光観測を行い、(2)では、光度変化モニターを目的として、2012 年から埼玉大学 55cm 望遠鏡を用いた可視測光フォローアップ観測を行っている。可視分光観測の結果、H 輝線を示す T タウリ型候補を複数個検出し、スペクトル型を推定した。また、ROSAT、2MASS、WISE、USNO、GSC などのアーカイブデータによる多波長測光値との比較から、T タウリ型候補について SED を作成した。HR 図と進化トラックから距離を仮定して質量を導出すると、新天体は若い褐色矮星であることがわかった。H 等価幅や変光現象、SED などの結果から、これらが高銀緯分子雲中で形成したのか、その場合の星形成率などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P121b **W5のブライトリム分子雲に付随するYSOの近赤外線高分解能撮像観測**

今井理恵子, 杉谷光司 (名古屋市立大学), 福田尚也 (岡山理科大学) 他

ブライトリム分子雲であるBRC12はHII領域W5に付随する小分子雲のひとつであり、紫外線による誘発的な星形成が期待できる領域である。すばる望遠鏡/CIAO+AO及び、UH88/QUIRCを用いたこの分子雲の観測の予備的解析(福田他、2008年春季年会P59a)によるとその先端の密度が高い領域には、6つのYSO候補天体が紫外線の入射方向に約0.1pcに渡って並んでいることが分かっている。今回、最近リリースされた赤外線などのアーカイブデータを含めてさらに解析を進めたので、その詳細を報告する。

J,H,K,Lバンドの測光の結果は6つのYSOのうち励起星側の2つがClassIIカラーをもち、その他の4つはより赤外超過が大きく、うち2つはClassIカラーを持つことを示している。このことは、励起星側から誘発的に星形成が起きた可能性を強く示唆する。YSOの周りを詳しく見ると、励起星側の2つはエンベロープを持つことが明らかであり、そのうちの1つは連星であるだけでなく、中心からのびるアーム構造を持つことが分かった。さらに、これらのYSOの周囲に5つの非常に暗い天体が存在することを発見した。もし、これらの天体がBRC12に付随するならば、YSOから0.08pc(投影距離)以内に存在することになり、極めて質量が小さい若い天体(若い褐色矮星)である可能性がある。このことはこれら褐色矮星候補天体が、YSOと同時に形成された可能性を示唆する。本講演ではこの可能性についても議論を行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122a 超低光度天体 IRAS 16253-2429 に付随するエンベロープの力学構造

原千穂美 (東京大学/国立天文台), 川辺良平, 中村文隆 (国立天文台), 島尻芳人 (CEA/Saclay), 塚越崇 (茨城大学), 西合一矢 (大阪府立大学)

超低光度天体 (VeLLO) は光度が $0.1 L_{\odot}$ 以下の天体であり、深く埋もれた原始星と考えられているが、その正体はよくわかっていない。これにアプローチするために、質量降着率等、エンベロープの力学構造を知ることが重要である。我々は近傍 ($d \sim 120$ pc) の星形成領域、 ρ Ophiuchus 分子雲中に位置する VeLLO の一つ、IRAS 16253-2429 ($L_{\text{IR}} = 0.05 L_{\odot}$) に対して野辺山 45 m 望遠鏡を用いた HCO^+ 、 H^{13}CO^+ (1-0) 輝線での On-The-Fly マッピング (実効空間分解能 $23''$; ~ 2800 AU、速度分解能 0.1 km s^{-1})、Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE) を用いた HCO^+ 、 H^{13}CO^+ (4-3) 輝線でのポジションスイッチ観測 (空間分解能 $22''$; ~ 2600 AU、速度分解能 0.2 km s^{-1}) を行った。IRAS 16253-2429 は中心星の質量が小さい ($< 0.04 M_{\odot}$; Yen et al. 2015) と考えられており、VeLLO の初期段階を探るのによりターゲットである。

観測の結果、 HCO^+ (1-0)、(4-3) 輝線ともに H^{13}CO^+ 輝線から得られるシステム速度のところで吸収を示していた。また、 HCO^+ (4-3) 輝線は対称なラインプロファイルを示しているのに対し、 HCO^+ (1-0) 輝線のライン形状はシステム速度に対して非対称な red-skewed プロファイルを示していた。以上の結果から HCO^+ (4-3) 輝線 ($n_{\text{cr}} \sim 9.7 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$) でトレースされる高密度な領域は質量降着の証拠が得られなかったが、 HCO^+ (1-0) 輝線 ($n_{\text{cr}} \sim 1.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$) でトレースされる、より低密度な領域は温度および密度構造を仮定することで、膨張/収縮運動について議論することができる。本講演では *Herschel* 望遠鏡のアーカイブデータや IRAM 30 m 望遠鏡の N_2H^+ (1-0) 輝線データ (Tobin et al. 2011) と組み合わせ、エンベロープの力学構造を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a **Class 0 原始星 IRAS 16293-2422 におけるエンベロープの速度構造解析**

大屋瑠子, 坂井南美, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学), Bertrand Lefloch, Cecilia Ceccarelli (IPAG, Grenoble)

原始星円盤は惑星系の母体と考えられ, その物理的・化学的性質を調べることは, 惑星系の起源を理解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 SMA, eSMA, および ALMA Cycle 0 SV 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。SMA, eSMA のアーカイブデータの解析の結果, $C^{34}S$ ($J=7-6$) の速度構造が上記のモデルで再現できることがわかった。このモデルでは, 原始星質量を $0.4 M_{\odot}$, 傾き角を 30° , 遠心力バリアの半径を 60 AU, エンベロープの外径を 500 AU とした。一方, ALMA Cycle 0 SV で観測された CH_3OCHO ($18_{8,10}-17_{8,9}$; E) の分布は, $C^{34}S$ ($J=7-6$) に比べて遠心力バリアの位置に集中し, その速度構造はエンベロープの外径を 120 AU に制限し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起こるリング状の弱い衝撃波によって生じる可能性を示唆しており, 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](#)

P124a **Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus**

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

It is well known that low-mass protostellar cores show significant chemical diversity. One distinct case is hot corino chemistry characterized by rich saturated complex organic molecules, while the other distinct case is warm carbon chain chemistry (WCCC) characterized by rich carbon-chain molecules. However, the number of sources definitively classified into them are limited, and the statistics has been apparently poor. Here, we have conducted an unbiased survey of chemical composition toward 34 Class 0 and Class I protostars in the Perseus molecular cloud complex by using IRAM 30 m telescope (1.2 mm band) and NRO 45 m telescope (3 mm band).

We have detected multi-transition lines of CCH, *c*-C₃H₂, CH₃OH, HN¹³C, H¹³CO⁺, CS, and SO toward most of the sources. The lines of DNC, C₄H, and CH₃OCHO have also been observed. The result shows clear chemical diversity, where many intermediate sources are found between the two distinct cases. Especially, we have found a marginal trend that isolated sources and sources in cloud peripheries tend to be like the WCCC source. The relative occurrence of each category (hot corino chemistry, WCCC, or intermediate) as well as preferential association of the sources in each category with a specific part of the cloud complex will give us an important clue to understanding the origin of the chemical diversity in terms of evolutionary and/or environmental effects.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125a 星形成領域における $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の ^{13}C 同位体存在量異常

吉田 健人、坂井 南美、渡邊 祥正、Ana López-Sepulcre、山本 智 (東大)、Bertrand Lefloch (IPAG, CNRS)、ASAI メンバー

我々は、ASAI (Astrochemical Surveys at IRAM) プロジェクトの一環として、スペインにある IRAM 30 m 電波望遠鏡を用い、いくつかの星形成領域に対して 1 mm から 3 mm までの波長帯でラインサーベイ観測を行った。この中で、炭素鎖分子が豊富な Class 0 原始星 L1527 では、cyclic- C_3H_2 分子の 2 つの ^{13}C 同位体の存在量比 $[\text{c-}^{13}\text{CCCH}_2]/[\text{c-CC}^{13}\text{CH}_2]$ が 0.20 ± 0.05 となり、統計重率を考慮した存在量比 0.5 よりも有意に小さくなることを 2014 年夏季年会で報告した (P126b)。本研究では、このような異常の一般性を検証するため、ASAI プロジェクトで観測された他の星形成領域について、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の ^{13}C 同位体に対する解析を行ったので報告する。

2 つの ^{13}C 同位体のうち統計的に存在量の多い $\text{c-CC}^{13}\text{CH}_2$ については、B1、L1448、TMC-1 の 3 つの天体で検出が確認された。一方、 $\text{c-}^{13}\text{CCCH}_2$ については B1 で 3σ の検出がされたのみで、他天体では検出できなかった。この結果をもとに、L1448、TMC-1 について ^{13}C 同位体の存在量比の上限値を計算したところ、どちらの天体についても $[\text{c-}^{13}\text{CCCH}_2]/[\text{c-CC}^{13}\text{CH}_2] < 0.4$ (3σ) となることがわかった。また、B1 について検出した輝線から存在量比を計算すると 0.18 ± 0.09 (1σ) となった。したがって、これら 3 つの天体についても $c\text{-C}_3\text{H}_2$ の ^{13}C 同位体の存在量比に異常があることが確認された。

$c\text{-C}_3\text{H}_2$ は C_3H_3^+ と電子の解離性再結合により生成されると考えられてきたが、この反応からは上記の存在量異常は生じない。炭素鎖分子とその異性体が特に多い L1527 だけでなく、他天体でもこの異常が確認されたことで、天体によらず、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ 分子が上記とは別の反応で生成されている可能性が高いことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a **OH 18 cm 線の吸収線と構造形成の関係の研究**

海老澤勇治, 猪熊宏士, 渡辺祥正 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 前澤裕之 (大阪府立大学), Karl Menten(MPIfR), 山本智 (東京大学)

OH 18 cm 線は OH の複雑な回転エネルギー準位の構造に由来して、強度異常を示すことで知られている。特に2012年秋季年会で猪熊が報告した例では、1612 MHz 線が宇宙背景放射に対して吸収線で観測されていた。そ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。

しかし、これとは逆に、最近我々が行った MPIfR の Effelsberg 100m 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 の北西の直線構造において、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 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わかった。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 (海老澤他 2015 年春季年会 P114a)。

我々は、1720 MHz の吸収線が直線構造で観測された点に注目し、同様に直線構造をもつ Lupus 1 の星なしコア Lupus-1A に対して GBT 100 m 電波望遠鏡を用いて OH 18 cm 線の観測を行った。その結果、Lupus-1A でも 1612 MHz 線の吸収線が観測された。Lupus-1A は TMC-1 と同様に炭素鎖分子が豊富な化学的に若い天体である。解析の結果、Lupus-1A が温かいエンベロープ (40 - 50 K) をもつことがわかった。これは、分子雲進化の若い段階にあることを反映している可能性がある。さらに、Lupus-1A の南西から北東に向かって温度が高くなる傾向が見られた。Lupus 1 の直線構造とこの温度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](#)

P127b 星形成レガシープロジェクト：FORESTによるW40の ^{12}CO ・ ^{13}CO 観測

秦野義子, 土橋一仁, 下井倉ともみ (東京学芸大学), 中村文隆 (国立天文台), 原千穂美 (東京大学), 他 45m 星形成レガシーチーム

W40はAquila Riftに位置する星形成領域で、分子雲、クラスター、HII領域が存在する。W40は太陽系近傍の大質量星形成領域の1つであり、銀河面から 3.5° ほど離れている。正確な距離は分かっていないが、概ね300-900 pcと推定されている (Rodney & Reipurth 2008; Kuhn et al. 2010; Shuping et al. 2012)。Herschel望遠鏡の赤外線データによると、この領域には弧状のフィラメント構造が見られ (e.g. André et al. 2010; Mallick et al 2013)、多数の若い星がフィラメントに沿って分布していることが分かっている (e.g. Maury et al. 2011; Mallick et al 2013)。この領域の高い角分解能による広範囲の分子輝線観測の例は少なく、領域全体の分子雲の分布や速度構造は必ずしも明らかになっていない。

そこで我々は、野辺山45m鏡星形成レガシープロジェクトの一環として、W40およびSerpens Southを含む約2400平方分の観測を遂行した。観測は2015年4月から5月にかけて行った。この観測では4ビーム・両偏波・両サイドバンドを同時受信できるFOREST受信機とSAM45分光計を用い、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ および $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線によるOTF観測を行った。観測の結果、この領域には $V_{\text{LSR}} = 0 - 15 \text{ km/s}$ にメイン成分が、40 km/s付近に高速成分が存在することが分かり、メイン成分と高速成分の天球上での分布には、分子雲衝突を示唆する反相関がみられた。さらに、メイン成分は3, 5, 7, 10 km/sの4つで構成されていることも分かった。また、Herschel望遠鏡のデータで見られるフィラメントのいくつかは、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の分布とよく一致していることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128b **EAVNによる6.7 GHz メタノール・メーザーのVLBIサーベイ XI: ペア形状メーザー天体と多重原始星系**

蜂須賀一也、藤沢健太(山口大学)、松本尚子(山口大学/国立天文台)、杉山孝一郎、米倉覚則、澤田-佐藤聡子(茨城大学)、元木業人(国立天文台)、村田泰宏(ISAS/JAXA)ほか

太陽よりも重い中・大質量星の約60%は連星系または多重星系を成し、特により重い星ほど連星系率が高いことが観測から知られている。太陽質量程度の連星系率は低く約20%だと言われている。

一方、原始星が形成され始めた段階(クラス0)のダスト連続波の電波干渉計観測(SMA: Chen et al. 2013)によれば多重原始星率は約60%であり、さらに進化が進んだ段階(クラス1)になると約30%と大きく減少することも知られている。よって原始星自身の進化と同時に多重原始星系もダイナミックに進化していると考えられている。しかし観測データ量はまだ不十分であり特に大質量原始星を含む多重原始星系データは少ない。

6.7 GHz メタノールメーザーは大質量原始星の周辺(数10数1000 AU)で回転するガス円盤から放射されていると考えられている。最高の角分解能を持つVLBIで観測を行った結果、楕円やアークなど様々な形状が発見された(藤沢ら2014, PASJ, 66, 31)。そして空間的に2つのメーザーグループを形成している"ペア形状"な天体も24%発見され、それらの離角は約1000 AU_{sub-pc}であった。その中の5天体を東アジアVLBIネットワーク(EAVN)で観測しその固有運動からペア形状が2つの原始星なのかどうかを調べた。

結果、メーザーグループがsub-pcと遠く離れている2天体はメーザーの固有運動と他波長の観測結果からそれぞれ2つの原始星から成ることが確認され、数1000 AU離れた2天体はその固有運動が1つの回転ガス円盤で説明できず2つの原始星から成ると考えている。残り1天体は1つの原始星の回転ガス円盤であると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P129b Vela C 分子雲の近赤外線偏光観測

楠根貴成，杉谷光司（名古屋市立大学），SIRPOL チーム

Vela C 分子雲は，銀河平面内にある Vela 分子雲領域の中で最も大きな分子雲である．距離 700pc にあるこの Vela C 分子雲は，先行研究により遠赤外線観測で多くの星形成領域や分子流が検出されており，初期段階の星形成領域（ $< 10^6$ 年）として知られている天体である．多くの巨大分子雲と同様，南北に伸びたフィラメント状構造を持つことがハーシェル宇宙望遠鏡により明らかになっている．また，Vela C 分子雲のほぼ中心には，O 型星を含む星団が存在し，双極状の HII 領域（RCW36）が形成されている．これまでに様々な波長での観測がなされてきたが，一般的に天体现象において重要とされている磁場構造が明らかになった観測例はあまりない．そこで我々は磁場構造の詳細を得るために Vela C 分子雲に対し近赤外線偏光観測を行った．観測は 2014 年 4 月と 2015 年 2 月に，南アフリカ天文台サザランド観測所の IRSF1.4m 望遠鏡の近赤外線偏光撮像装置 SIRPOL（視野 $\sim 7'.7 \times 7'.7$ ）を用いて行った．観測視野数は合計 76 視野で，Vela C 分子雲のほぼ全域をカバーすることができた．

HII 領域 RCW36 を中心に解析をすすめた結果，大局的には Vela C 分子雲のフィラメントに対してほぼ垂直な磁場構造を持つことが明らかになった．一方 RCW36 では，HII 領域の縁に沿った磁場構造が一部検出された．本講演では，Vela C 分子雲の全体的な磁場構造に加え，その中で形成された HII 領域周辺の磁場構造にも焦点をあて詳細に報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130a 星間アミノ酸の合成シミュレーション

加藤貴大, 井田茂 (東京工業大学)

現在、星間雲において複雑な有機物が多数発見されている。しかし、そのような複雑な有機分子がどのような化学反応を経て形成されているかは十分には解明されていない。今までの観測では、有機分子の1つであるアミノアセトニトリルの発見が報告されている。これは、最も単純なアミノ酸であるグリシンの前駆体の1つと考えられていて、宇宙空間での有機物合成を考える上で重要な手がかりとなる。しかし、隕石中ではグリシンの存在が確認されているにもかかわらず、観測によるグリシンの検出例は現在報告されていない。

本研究では、星間空間においてグリシンがどのように合成されるかを、DUmodel(Dugundji & Ugi 1973)をもとにわれわれが開発した網羅的合成経路探索シミュレーションによって調べた。このコンピュータシミュレーションの結果から、星間空間でのグリシン合成の可能性や、その反応経路について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131a **SiO in the high-mass protocluster NGC 2264-C: A tracer of protostellar shock history?**

Ana López-Sepulcre, Yoshimasa Watanabe, Ryuta Furuya, Nami Sakai, Satoshi Yamamoto

Turbulence in regions of stellar cluster formation is believed to play a key role in supporting molecular clumps against fast gravitational collapse. This is particularly relevant in the context of high-mass star formation, since a first generation of low-mass stars may be needed before a massive star ($> 8 M_{\text{sun}}$) can form. Protostellar outflows have been proposed as a potential dominant source of turbulence in large protoclusters that could counterbalance gravity for several free-fall times.

To understand the role of outflow-driven turbulence, we used the Nobeyama 45-m telescope to map the high-mass protocluster NGC 2264-C in an excellent shock tracer: SiO($J=2-1$). Comparison of the SiO emission distribution with that of mm continuum and dense molecular gas tracers reveals three spatially and kinematically distinct SiO components: (1) A region around the central dense part of the protocluster where SiO appears relatively depleted despite it being affected by molecular outflow activity as seen in, e.g. CO lines; (2) a ring-like structure of relatively strong high-velocity ($> 10 \text{ km s}^{-1}$) SiO emission around the central region, directly tracing current outflow activity; and (3) a peripheral, low-velocity ($\sim 3 \text{ km s}^{-1}$) SiO emission component surrounding the high-velocity ring. We will discuss the nature of each component and the implications in the framework of high-mass cluster formation. In particular, our analysis suggests that the third component may be a record of past protostellar activity, thus supporting the idea of a previous episode of star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132a **IRDC G34.43+00.24 MM3 に付随した若いホットコアの化学組成**

酒井剛, 柳田貴大 (電通大), 坂井南美 (東大), 古家健次 (Leiden Observatory), 相川祐理 (筑波大), 廣田朋也, Patricio Sanhueza (国立天文台), Jonathan B. Foster (Yale University), James M. Jackson (Boston University), 山本智 (東大)

分子雲内部で原始星が形成されると、周囲のダストが加熱され、ダストから様々な分子が蒸発する。蒸発した分子がガス中で反応し、原始星周囲の高温領域では、様々な複雑な分子が生成される。そのような原始星周囲の高温 (>100 K)、高密度領域をホットコアと呼ぶ。我々は、これまでに、ALMA を用いた観測によって、赤外線暗黒星雲 G34.43+00.24 MM3 内部に、若いアウトフロー (年齢が 10^3 年以下) を伴うホットコアを発見している (T. Sakai et al. 2013, ApJL)。さらに、アウトフローの年齢が若いにもかかわらず、 CH_3OH の高励起輝線 ($E_u = 165$ K) から見積もった高温領域のサイズが、小質量星のホットコアに比べ有意に大きいことも明らかにしている。今回、ALMA cycle 0 のデータを解析した結果、このホットコアで様々な分子が検出されていることがわかった。検出された分子の内、原子数が6以上の分子は、 CH_3OH , CH_2CHO , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$, CH_3OCH_3 , HCOOCH_3 , NH_2CHO である。Orion などでは、N を含む分子と、O を含む分子とで分布の違いが見られており、生成メカニズムが異なると考えられているが、今回の観測では、どちらも原始星方向にのみピークを持ち、分布に有意な差は見られなかった。また、これまでの観測では、アウトフローと周囲の高密度ガスとの相互作用領域で SiO や CH_3OH メーザーなどが観測されているが、それら衝撃波領域では、複雑な分子は検出されなかった。さらに、 CH_3OH の高励起輝線の分布に比べ、他の複雑な分子の分布はコンパクトであることもわかった。講演では、それぞれの分子の存在量をモデル計算や他天体の観測結果と比較し、このホットコア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](#)

P133a ALMA によるオリオン KL における 658 GHz 振動励起水分子輝線の観測

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

我々は、ALMA cycle 0 で採択されたオリオン KL 領域の観測において、321 GHz ($10_{2,9}-9_{3,6}$; $E_l=1846$ K)、および振動励起状態の 336 GHz ($\nu_2=1, 5_{2,3}-6_{1,6}$; $E_l=2939$ K) 水分子輝線を用いて、大質量原始星候補天体である電波源 I 周辺の双極分子流と回転円盤を検出している (Hirota et al. 2014)。今回の発表では、Band 9 で検出された 658 GHz ($\nu_2=1, 1_{1,0}-1_{0,1}$; $E_l=2329$ K) 振動励起水分子輝線の観測結果を報告する。観測は 2012 年 8 月に 28 台のアンテナによる最長基線長 385 m の extended configuration で行われ、空間分解能は約 0.26 秒角となっている。これは、オリオン KL (距離 420 pc; Hirota et al. 2007, Kim et al. 2008) では 110 AU に相当する。

658 GHz 振動励起水分子輝線は、電波源 I の近傍 ~ 1 秒角以内のコンパクトな領域のみで放射されており、321 GHz 輝線と同様に北東-南西方向に伸びた構造となっている。視線速度は双極分子流に垂直な北西-南東方向に沿った速度勾配を示しており、43 GHz SiO メーザー (Kim et al. 2008)、321 GHz と 336 GHz 水分子輝線 (Hirota et al. 2014) とも共通の速度構造となっている。以上の空間構造と速度構造から、658 GHz 振動励起水分子輝線は SiO メーザーや 321 GHz 水分子輝線と同様に、電波源 I 周辺の円盤表面から放出される北東-南西方向の双極分子流の根元付近で放射されると考えられる。観測された 658 GHz 振動励起水分子輝線のフラックスは 285 Jy であるが、電波源 I からの放射は ALMA Band 9 でのアンテナ主ビーム半値幅の外 (視野中心は異なる目的的天体) で偶然検出されたものであり、実際の強度は開口能率を補正すると 2850 Jy 以上と推測される。今回の ALMA cycle 0 の観測では 658 GHz 振動励起水分子輝線の放射領域は完全には分解されていないため、輝度温度は 5.2×10^4 K 以上と推測される。このことは、658 GHz 振動励起水分子輝線がメーザー放射であることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P134a **VLA による G353.273+0.641 周囲の階層的降着構造の発見**

元木業人、本間希樹、廣田朋也 (国立天文台)、新沼浩太郎、蜂須賀一也、藤沢健太 (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)、Andrew, J. Walsh (Curtin Univ)

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。これまでに VLA による高分解能連続波観測および ATCA による 6.7 GHz メタノールメーザ観測から、中心星近傍 100 - 15 AU 範囲において非軸対称な降着流が存在する可能性が示唆されている (2014 年秋季年会 P133a)。我々は同降着流の起源を探るべく新たに VLA C-配列による NH₃ 輝線のイメージング観測を行い、天体周囲のガス構造を調査した。

その結果 $(J, K) = (1, 1), (2, 2)$ 輝線によって南北方向に伸びたフィラメント状の母体クランプ (~ 0.1 pc) が、 $(J, K) = (4, 4), (5, 5)$ 輝線によって高温の降着エンベロープ (~ 0.01 pc) が検出された。クランプ全体はメタノールメーザの観測から示唆された中心星の速度に対してやや赤方偏移しており、またクランプからエンベロープ北西側へ接続する赤方偏移したブリッジ状の構造が検出された。さらに降着エンベロープ自身も北西-南東方向の速度勾配を示した。こうした傾向は中心星近傍で見られた速度構造ともよく一致しており、このことから 0.1 pc スケールから中心星近傍まで連続的に降着流が続いている可能性が示唆される。

一方 $(J, K) = (3, 3)$ 輝線では上記勾配と直交する向きに低速アウトフローの兆候が見られた。同アウトフローの軌道は SMA/ATCA によって検出された分子ガスジェットの軌道 (2014 年春季年会 P112a) に沿っており、ジェットからの運動量輸送によって駆動されていると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P135a **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**

杉山孝一郎, 米倉覚則, 齋藤悠, 永瀬柱, 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)

6.7 GHz メタノール・メーザーは、大質量星形成領域からのみ検出され、寿命も 10 年スケールと長く、大部分が HII 領域形成よりも若い進化段階で放射されている。特に、赤外線励起によりメーザー放射のための反転分布が形成され、大質量星周囲のダスト温度の変化に敏感であるため、可視光帯での観測が困難な形成期における大質量星周辺を選択的に観測でき、かつ強度変動現象の解明に最も有益なプローブとして注目されている。しかし、十分な頻度・期間でモニターされてきたメタノール・メーザーの天体数は、母数約 900 天体の 10%にも満たない。

そこで我々は、茨城大学が運用する日立 32-m 電波望遠鏡を用いて、赤緯 -30 度以北の 6.7 GHz メタノール・メーザー 403 天体を観測対象とした、大規模で長期的なモニターサーベイ観測を 2012 年 12 月 30 日から開始した。本モニターは、1) メタノール・メーザーが強度変動を示す天体の割合の導出、および変動傾向の統計的分類、2) 大質量星周辺では珍しい周期的な変動 (e.g., Goedhart et al. 2003) に着目し、その存在が理論計算により予言されている脈動不安定現象 (Inayoshi et al. 2013) の観測的な検証、を主目的としている。本講演では、現在までに各天体あたり 9 日に 1 度程度の頻度で 2 年半に亘り継続してきたモニター観測結果を元に、長期単調増加・減少的、突発的、周期的などの変動傾向への分類、および頻度分布について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136a **S87 HII 領域における分子雲クラump衝突による星団形成の観測的研究**

齋藤 弘雄（日本工業大学）

星形成の特性は分子雲周囲の環境により大きく異なることが知られている。例えば、HII 領域が隣接する領域では明るい星が効率よく形成される。このような分子雲に影響を与える現象として、他に、超新星残骸や分子流などがあるが、分子雲同士の衝突でも類似の影響を与えられ考えられる。近年では分子雲クラump内で形成されたフィラメント構造同士が衝突することで、効率よく高密度ガス構造を形成することも示唆されている。

そこで、星団形成の母体と考えられる分子雲クラump同士が衝突している可能性がある領域に着目し、その運動状態や内部構造を明らかにし、クラump同士の衝突が見られないクラumpとの比較を行うことで、クラump同士の衝突がクラump内の高密度ガス構造形成に与える影響の解明を進めた。

これまでの星団形成領域に対する観測で、HII 領域 S87 領域近傍の分子雲クラumpには2つの速度構造が存在し、その空間分布はHII 領域を境界に南北に分かれており、クラump同士が重なり合う領域で星団形成が起きていることが分かった。その空間分布や速度構造、星団の相対位置などの関係から、2つのクラumpが衝突し、その衝突領域で星団形成が起これたと結論付けた。また、クラump内にはフィラメント構造が複数形成されていることも明らかになった。次に、クラump構造の比較を行うため、S87 領域の近傍に存在する星団形成領域、HII 領域 S88 の分子雲クラumpと比較を行った。その結果、S88 領域のクラumpの空間分布は中心集中度の高い分布をしており、内部構造はHII 領域 S87 のクラumpほど顕著なフィラメント構造は見られなかつた。

本講演では、クラump内に見られる構造を定量的にまとめ、クラump同士の衝突が見られる S87 領域と衝突の痕跡の存在しない S88 領域とを比較することで、衝突が分子雲の内部構造形成に与える影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137a 分子雲衝突による星形成に UV フィードバックが与える影響のシミュレーション II

島 和宏, Elizabeth J. Tasker, 羽部 朝男 (北海道大学)

大質量星形成において、分子雲衝突の重要性を示す観測結果が数多く報告されている。北大のグループでは、分子雲同士の衝突によって短時間で質量の大きい高密度コアが誘発的に形成される可能性。それら星形成領域に付随する、速度差を持った分子雲ガスの衝突後の密度構造や速度構造。といった点を詳細に調べるために、ある程度理想化された環境での乱流ガス球の衝突シミュレーションを進めてきた。また、大質量星は強力な UV 輻射等によって周囲の環境を変化させるため、その形成過程とともに UV フィードバックによる次世代の星形成に与える影響を調べることも重要である。

AMR コードである Enzo を用いて、星形成モデルと Adaptive ray-tracing による UV フィードバックの計算を取り入れたシミュレーションの結果を報告する。2つの乱流ガス球を観測から得られている典型的な速度 10km, 20km で衝突させた場合と、比較のために 5km, 30km で衝突させた場合それぞれについて、形成される高密度コアの質量関数や形成効率が UV フィードバックによってどのように変化するか。UV によって電離された HII 領域と、その膨張によって影響を受けた密度構造の特徴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](#)

P138a 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

原田遼平, 大西利和, 徳田一起, 森岡祐貴, 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により、その物理的性質を明らかにする、という戦略の下、観測的研究を進めてきた。ALMA Cycle 2 では、 $^{13}\text{CO}(1-0, 2-1)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ 等を用いて、Mopra で分子ガスが検出された 10 個の孤立した大質量原始星方向の観測を行い、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。質量は典型的には数千太陽質量程度 (最も軽い天体は数百太陽質量、最も重い物は 1 万太陽質量弱) であり、中心の原始星の形成母体分子雲であると考えられる。本講演では、このプロジェクトの進捗状況・ALMA 観測の詳細等、について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P139a 銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh 2-207 の近赤外深撮像

安井千香子, 小林尚人, 泉奈都子 (東京大学), 斎藤正雄 (国立天文台/総合研究大学院大学), Alan T. Tokunaga (ハワイ大学)

われわれは、銀河半径 (R_g) が 15 kpc 以遠の銀河系外縁部における星生成の探査とその観測を進めている。銀河系外縁部は、ガス密度や金属量が極めて低い、銀河の渦状腕の影響がほとんど無いなど、太陽近傍と環境が大きく異なることが知られている。中でも「金属量」が大きく異なることで、星生成において重要な加熱・冷却過程や、惑星形成において重要な惑星の核となるダストの量が大きく変わることが予想され、星・惑星形成への影響を調べる格好の実験場となっている。

これまでに最初のターゲットとして、銀河系の最も外縁部 ($R_g \gtrsim 20$ kpc) に存在する2つの星生成領域 Digel Cloud 1, 2 について近赤外線での深撮像を進め、遠方領域での星生成の物理パラメータの導出方法を確立するとともに、初めて星生成の詳細な猫像を得た。今回は、特に低い金属量 ($12 + [\text{O}/\text{H}] < 8$) が見積もられる H II 領域 Sh 2-207 について、すばる望遠鏡の多天体撮像分光器 MOIRCS を用いた深撮像を行った。まず、領域中に同定したの光度関数をモデルと比較した結果、その年齢が約 2–3 Myr であることが分かった。また、クラスター中の星が受ける減光量を見積もったところ、非常に小さい値が得られたことより、星生成の母体である分子雲に埋もれた段階が既に終わりつつあることが示唆された。これは、星生成における分子雲散逸のタイムスケールが太陽近傍におけるものと同様であることを示唆する。一方、惑星形成の1つの指標である原始惑星系円盤を持つ星の割合 (disk fraction) を求めたところ、年齢の割に低い値 (<10%) が得られたが、低金属量下における円盤消失のタイムスケールが太陽近傍と比較して短いというこれまでの我々の示唆と合致する結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P140a **WISE データを用いた銀河系最外縁領域における星生成領域探査**

泉奈都子, 小林尚人, 安井千香子 (東京大学), 濱野哲史 (京都産業大学), 斎藤正雄 (国立天文台/総合研究大学院大学), Alan T. Tokunaga (ハワイ大学)

銀河系内において渦状腕が殆ど存在しない最外縁領域 ($R_G \geq \sim 18$ kpc) は、太陽近傍と比較して極めて低いガス密度・金属量など矮小銀河に似た始原的な環境にあるため、銀河系形成時の星生成メカニズムの研究を行う上で非常に理想的な実験場であると言える。我々はこの領域の星生成の系統的な研究を進めており、これまで野辺山 45 m 望遠鏡による CO マッピング、すばる 8.2 m 望遠鏡を用いた近赤外深撮像観測により、最外縁領域に存在する 2 つの星生成領域 Digel Cloud 1, 2 を検出した (e.g. Izumi et al. 2014, Yasui et al. 2008)。しかし統計的な議論を行うためにはサンプル数が依然不十分であり、効率的な星生成領域探査が必要不可欠である。

そこで我々は、WISE 衛星による中間赤外線全天サーベイデータに注目した。WISE 衛星は IRAS 衛星の 100 倍程度と非常に優れた感度を持ち、実際にすばる望遠鏡の近赤外データとの比較したところ、我々の発見した遠方の星生成領域が明確に検出可能であることが確認された (泉他 2013 年秋季年会 P133a 等)。我々は遠方に位置する既存の星生成領域における WISE データの等級・カラーの性質を調べて星生成領域を同定する効率的な手法を構築した。本年会ではこの手法とそれを用いて新たに検出した星生成領域候補について紹介する。さらに、WISE データを用いた星生成効率など星生成の主要なパラメータ導出方法についても併せて議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成（系外惑星）】

9月9日（水）午後（15:00-17:00）[B会場]

P201a	16:00	すばる戦略枠プロジェクト SEEDS による Young Stellar Object における惑星探査 2 鵜山太智（東京大学）
P202a	16:12	活動性や自転周期を指標として推定された年齢をもつ太陽近傍恒星に対する SEEDS による直接撮像惑星探査 葛原昌幸（東京工業大学）
P203a	16:24	長周期視線速度変化を示す中質量巨星の伴星候補に対する追観測 笠嗣瑠（総合研究大学院大学）
P204a	16:36	MOA-2012-BLG-527Lb:重力マイクロレンズ法で見つかった氷惑星 越本直季（大阪大学）
P205a	16:48	MOA-II による氷境界外側の惑星存在頻度 鈴木大介（University of Notre Dame）

9月10日（木）午前（09:30-11:30）[B会場]

P206a	09:30	重力減光とスピン-軌道歳差運動を起こす系外惑星系 PTFO 8-8695 のトランジット光度曲線の再解析 上赤翔也（東京大学）
P207a	09:42	ESPRINT プロジェクトによる K2 惑星候補のフォローアップ観測 平野照幸（東京工業大学）
P208a	09:54	岡山 188cm 望遠鏡 MuSCAT の観測成果 I : K2 のトランジット惑星候補 EPIC201505350b のトランジット時刻変動 (TTV) の確認 成田憲保（アストロバイオロジーセンター）
P209b	10:06	岡山 188cm 望遠鏡 MuSCAT の観測成果 II : 逆行ホットジュピター HAT-P-14b に対する多色精密トランジット観測 福井暁彦（国立天文台）
P210b	10:06	Apsidal Motion を利用した連星系に付随する第 3 体の探査 加藤則行（兵庫県立大学西はりま天文台）
P211b	10:06	系外惑星の直接視線速度観測に向けた分光コロナグラフの性能評価 高橋瑞樹（北海道大学）
P212a	10:18	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 1 : フォーマリズム 釜谷秀幸（防衛大学校）
P213a	10:30	中間赤外線撮像観測でさぐる Oph IRS 48 の遷移円盤の構造 岡田一志（東京大学）
P214a	10:42	HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の多波長輻射平衡モデル 持田一貴（千葉大学）
P215b	10:54	原始惑星系円盤 HD142527 のミリ波偏光観測予測 片岡章雅（ハイデルベルク大学）
P216b	10:54	タンデム惑星形成 今枝佑輔（理化学研究所）
P217b	10:54	高次精度 MHD スキームを用いた磁気回転不安定性の計算機実験 平井研一郎（東北大学）
P218c		高ダスト-ガス比の原始惑星系円盤で形成される微惑星のサイズ 長谷川幸彦（国立天文台）
P219b	11:06	巨大惑星の Type II 惑星移動現象解明のための数値計算コード開発 岩崎一成（同志社大学）
P220b	11:06	Exoplanetary System Dynamics: Multiplicity and Planetary Mass Effects 磯江麻里（東京大学/国立天文台）
P221b	11:06	周惑星円盤の散逸過程を考慮した微惑星の捕獲過程 末次竜（神戸大学）
P222b	11:18	WPH 法による月形成シミュレーション 河瀬哲弥（京都大学）
P223b	11:18	雲粒の衝突合体を考慮した系外惑星の雲モデルの開発 大野和正（東京工業大学）
P224b	11:18	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 2 : 金属量の効果 大石碧（防衛大学校）
P225c		ダスト分布を考慮した褐色矮星の赤外線スペクトルの解析 空華智子（東京大学）

（次頁に続く）

【P2. 星・惑星形成（系外惑星）】

9月10日（木）午後（13:30-15:30）[B会場]

P226a	13:30	巨大ガス惑星大気中の磁気流体力学計算における輻射輸送	田中佑希（名古屋大学）
P227a	13:42	原始惑星系円盤におけるギャップ構造と巨大惑星との関係	金川和弘（北海道大学）
P228a	13:54	Exponential cutoffを持つ原始惑星系円盤中の非軸対称流体不安定性	小野智弘（京都大学）
P229a	14:06	電子加熱による磁気乱流の抑制が引き起こす遠方の重力不安定	森昇志（名古屋大学/東京工業大学）
P230a	14:18	原始惑星系円盤中の圧力バンプにおけるダスト合体成長	瀧哲朗（東京工業大学）
P231a	14:30	原始惑星系円盤の磁気乱流で駆動される円盤風中でのダストの動力学	三宅智也（名古屋大学）
P232a	14:42	乱流の直接数値計算による原始惑星系円盤中の粒子運動に対する鉛直重力の影響の解析	小林直樹（名古屋大学）
P233a	14:54	電磁流体乱流の直接数値シミュレーションによる原始惑星系円盤内の粒子運動の解析	高橋良輔（名古屋大学）
P234a	15:06	微惑星形成過程解明のための乱流の直接数値計算と粒子追跡	江野畑圭（名古屋大学）
P235a	15:18	微惑星衝突問題への拡張：ゴドノフ SPH 法の張力優勢領域での安定化	杉浦圭祐（名古屋大学）

9月11日（金）午前（09:30-11:30）[B会場]

P236a	09:30	惑星の大領域集積計算：ガス円盤内での惑星の外側への移動	小南淳子（東京工業大学）
P237a	09:42	その場で巨大衝突集積した惑星系における初期ランダム速度の影響	松本侑士（国立天文台）
P238a	09:54	巨大衝突による近接地球型惑星の形成 II. 惑星系の最小角運動量欠損	小久保英一郎（国立天文台）
P239a	10:06	M型星における地球型惑星の形成過程	押野翔一（国立天文台）
P240a	10:18	黄道光の空間非軸対称性から推定するダストサイズ分布	植田高啓（東京工業大学）
P241a	10:30	ガス円盤中での小天体の軌道進化	小林浩（名古屋大学）
P242a	10:42	捕獲された固体物質の周惑星円盤内での分布	末次竜（神戸大学）
P243a	10:54	土星の環の自己重力ウェイク構造の傾き角	道越秀吾（国立天文台）
P244a	11:06	ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星探査	中村良介（産業技術総合研究所）

P201a **すばる戦略枠プロジェクト SEEDS による Young Stellar Object における惑星探査 2**

鶴山太智, 田村元秀 (東京大学), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 葛原昌幸 (東京工業大学), 工藤智幸 (国立天文台), SEEDS/YSO team, SCEXAO team

Subaru/HiCIAO と AO188 を用いて、系外惑星と星周円盤の探査を目的としたすばる戦略枠 SEEDS では、2009 年からの 5 年間で約 500 天体について直接撮像で観測を行った。その中で我々は、原始惑星系円盤の存在も報告されている 10Myr 以下の天体 (Young Stellar Object: YSO) を対象とした惑星探査を行い、形成中・形成直後の巨大ガス惑星を発見したい。前回の講演 (2015 年春季年会, P226a) では約 20 の YSO について惑星探査に適したデータ解析 LOCI を行い、主星から数十 AU 以遠に数木星質量以上の天体の可能性を排除した。本講演では SEEDS/YSO カテゴリの惑星探査に使用可能なほぼ全てのデータ (約 80 天体) の解析結果を報告する。

SEEDS 戦略枠による観測は 2015 年 1 月に終了したが、YSO カテゴリを含め個々の惑星探査は継続している。特に、すばる望遠鏡の新しい超補償光学系 SCEXAO を用いた観測が始まった。これによって YSO の惑星探査で期待される成果など、今後の展望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](#)

P202a 活動性や自転周期を指標として推定された年齢をもつ太陽近傍恒星に対する SEEDS による直接撮像惑星探査

葛原昌幸 (東工大), Helminiak Kris, 神鳥亮, 日下部展彦 (国立天文台), Mede Kyle, 田村元秀 (東大), Brandt Timothy (IAS), 末永拓也 (総研大), および SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

すばる望遠鏡の戦略的観測プログラムである SEEDS では、直接撮像法を用いて 2009 年から系外惑星や星周円盤を探査してきた。その結果、実際にそれらの直接撮像に成功するなど、多くの科学的成果が得られている。SEEDS では、太陽近傍に存在し、年齢が自転周期や活動性に基づいて推定することが可能な恒星を観測対象の一つとして系外惑星の探査を行ってきた。そのサンプルは地球から約 40 pc 以内の距離に存在する FGK 型星であり、そのほとんどが約 1 億年から 10 億年の年齢を持つ。

我々は上記の基準で選定した約 40 のターゲットに対して高コントラストの直接撮像観測を行い系外惑星の探査を試みた。そのうち、G0 型星 GJ 504 の系外惑星の直接撮像については 2013 年秋の天文学会 (講演番号: P219a) で報告した (Kuzuhara et al. 2013 も参照)。それ以外のターゲットに対してこれまで行った観測とデータ解析の結果としては、新たな惑星を検出するには至っていない。一方、中心星に対して、*H* バンドで約 4.1 等のコントラストをもち、11–12 AU の射影距離を持つ伴星の検出に成功した。また、この中心星に対しては高分散分光観測による視線速度観測が過去になされている (例: Fischer et al. 2014) が、その視線速度データや直接撮像による伴星の位置測定の結果を組み合わせることで、その検出した伴星の軌道を推定することを進めている。それによって導出された伴星の力学的質量は恒星の進化モデルや年齢推定手法に対する有益な観測的制限になると期待できる。本講演では、本探査による結果全体について概説し、その検出した伴星の軌道の研究について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P203a 長周期視線速度変化を示す中質量巨星の伴星候補に対する追観測

笠 嗣瑠（総合研究大学院大学）、田村元秀、高橋安大（東京大学/国立天文台）、成田憲保（アストロバイオロジーセンター）、佐藤文衛、葛原昌幸（東京工業大学）、岡山 G 型巨星惑星探索チーム、SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

視線速度（RV）法による中質量星まわりの惑星探査として、GK 型巨星を対象にしたモニター観測が岡山天体物理観測所で行われている。この RV サーベイにより、これまでに長周期トレンドを示す天体が複数発見された。長周期トレンドは遠方（ ≥ 10 AU）惑星の存在を示唆している。しかし、さらに遠方（ ~ 1000 AU）の恒星が引き起こすトレンド量は遠方惑星のものと同じである。そのため、直接撮像で伴星の有無を確認することが重要になってくる。

これまでにすばる SEEDS プロジェクトの RV カテゴリでは、このような RV 長周期トレンドを示す 6 天体に対して、すばる望遠鏡 HiCIAO を用いて H バンドでの高コントラスト撮像観測を行った。その結果、4 天体において伴星候補天体が 5 つ検出された（2014 年春季年会 P221a）。

今回、この伴星候補天体について追観測を行い、3 天体では 3 つの伴星候補が主星と共通固有運動をしていることを確認し、2 つの伴星候補天体は背景星であることを確認した。また、発見された 3 つの伴星は RV トレンド量から要請される最小質量を上回っていることが確認され、この 3 つの系で観測されている RV トレンドは今回発見された伴星によって説明されることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a MOA-2012-BLG-527Lb:重力マイクロレンズ法で見つかった氷惑星

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は主星の snow line より外側で地球質量程度の惑星にまで感度のある唯一の系外惑星探査法である。ソース星の手前をレンズ星が横切ると、重力マイクロレンズ効果によりソース星の一時的な増光が観測される。レンズ星に伴星が付随しているとき、増光の時間変化(光度曲線)に特徴(anomaly)が表れ、解析から質量比がわかるため、惑星を検出できる。

2012年に観測されたマイクロレンズイベント MOA-2012-BLG-527 は光度曲線の解析から主星と伴星の質量比が $\sim 2 \times 10^{-4}$ の惑星質量比を持つことが分かった。マイクロレンズ法では、アインシュタイン角半径 θ_E が求まる有限ソース効果と、ソースとレンズの相対パララックス π_E が求まるパララックス効果の2つの高次の効果が両方検出できた時のみ、レンズ星の質量が一意に求まる。本イベントの光度曲線には、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いた。この場合、観測されたレンズ星の明るさの上限値と合わせることで、ある程度の質量の制限が得られる。一方、この長期的なシグナルは、ソース天体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、二つの効果は縮退している。ザララップ効果の場合、 π_E を求めることはできないが、ソース天体の連星系にケプラー軌道の制限をかけることで、ザララップ効果の大きさに上限が付き、間接的に θ_E に制限をかけることができる。本イベントはザララップ効果のみから θ_E を検出できた初めての惑星イベントとなる。銀河系の星の分布を事前確率に与えたベイズ解析により、レンズ星のパラメータの確率分布を得た。結果、パララックス、ザララップのいずれの場合も、惑星はマイクロレンズで典型的な数十地球質量の氷惑星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](#)

P205a **MOA-II による氷境界外側の惑星存在頻度**

鈴木大介 (University of Notre Dame), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法を用いたサーベイ観測結果の統計解析により求めた、系外惑星の存在頻度について報告する。重力マイクロレンズ法は氷境界外側の惑星に感度があり、地球質量程度の軽い惑星まで発見できる。氷境界の外側において、数倍の海王星質量よりも軽い惑星を検出できるのは現在重力マイクロレンズ法だけであり、重力マイクロレンズ法の観測結果は非常に重要である。我々MOA(Microlensing Observations in Astrophysics)グループは、ニュージーランドの Mt. John 天文台に設置した口径 1.8m の MOA-II 望遠鏡を用いて、重力マイクロレンズ現象を観測し系外惑星探査を行っている。これまでに、他のグループと共同で 30 個以上の惑星を発見している。本研究では、2007 年から 2012 年に MOA-II 望遠鏡で観測された重力マイクロレンズイベントのうち、22 個の惑星を含む 1472 イベントを抽出し、それぞれのイベントにおいて惑星の検出効率を計算し、惑星の存在頻度を惑星/主星の質量比とセパレーション (天球面上に射影した主星-惑星間距離をアインシュタイン半径で規格化した値) の関数として求めた。得られた存在頻度は、重力マイクロレンズ法の先行研究である Gould et al. 2010 と一致しているが、約 2.4 倍小さい値となった。また、視線速度法の結果である Cumming et al. 2008 の軌道長半径分布の外挿とも一致している。本講演では、解析の詳細、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](#)

P206a **重力減光とスピン-軌道歳差運動を起こす系外惑星系 PTFO 8-8695 のトランジット光度曲線の再解析**

上赤翔也、増田賢人、Yuxin Xue、須藤靖（東京大学）、西岡翼、村上里茶、稲山廣一郎、齋藤まどか、田中道祐、米原厚憲（京都産業大学）

系外惑星系 PTFO 8-8695 は、年齢が 300 万年ほどの T タウリ型星と近接巨大ガス惑星（ホットジュピター）からなる系である。この系に関して、2009 年と 2010 年に 2 回観測されているトランジット（惑星による主星の食）の際の光度曲線の形状が互いに大きく異なるという特異性が指摘されている (van Eyken et al. 2012)。この光度曲線の時間変化は、0.671 日以下という主星の高速自転と 0.448 日という惑星の超短周期軌道に起因した、主星の自転軸と惑星の公転軸の歳差運動によるものと考えられている。Barnes et al. (2013) では、歳差運動の力学モデルを通して惑星の半径や質量、軌道傾斜角などといった系のパラメータを決定しているが、そこでは”主星の自転周期が惑星の公転周期と等しい”という、この系においては非自明な仮定が課されている。そこで本研究では、その仮定を除いた上でより広いパラメータ範囲に対してデータを再解析した結果、歳差運動の周期がそれぞれおよそ 200 日、500 日、800 日に対応する 3 つの解が存在することを発見した。加えて我々は、2014-15 年にかけて京都産業大学・神山天文台においてこの系の追測光観測を行い、そのデータを解析することで真の解は 200 日の歳差周期に対応する解に近いという予備的な結果を得ており、今後も追観測を継続する予定である。本発表ではこの結果の報告に加え、他の高速自転星の光度曲線に対する本モデルの応用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](#)

P207a **ESPRINT プロジェクトによる K2 惑星候補のフォローアップ観測**

平野照幸, 葛原昌幸, 佐藤文衛 (東工大), Roberto Sanchis-Ojeda (UC Berkley), Enric Pallé (IAC), Josh Winn (MIT), Ignasi Ribas (IEES), Simon Albrecht (オーフス大学), 福井暁彦, 成田憲保, 竹田洋一, 工藤智幸, 日下部展彦, 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠, 田村元秀 (国立天文台)

2013年に2つ目のリアクションホイールの故障により精密な姿勢制御が不可能となったケプラー宇宙望遠鏡は、太陽の輻射を第3軸として活用する姿勢制御により継続して観測を実施する第2次トランジット・サーベイ“K2”として復活した。K2ミッションでは、黄道面付近の領域を約82日間モニター観測し一つの領域の観測が終了すると別の領域を同期間観測する。これを2017年まで継続する計画である。これまでの観測により5つの領域のサーベイが完了し、そのうち3つの領域の測光データが公開されている。

K2ミッションは元のケプラーミッションとは異なり、データ解析・フォローアップの正式なチームが存在しないため、データ公開後のトランジット惑星の検出・確認は世界中の各チームに任されている。そこで我々はESPRINTと呼ばれるフォローアップチームを立ち上げ、K2ミッションで取得された測光データを解析するパイプラインを作成しこれまで公開された測光データの中から多数の惑星系候補の検出をしている。ESPRINTでは、世界中の2-8mの望遠鏡群を用いて、(1)高分散分光や高コントラスト撮像による偽検出の可能性の排除、(2)測光フォローアップによる他バンドでのトランジットの確認、(3)視線速度法による惑星質量の制限、といった手法を組み合わせることでK2ミッションで見つかった惑星系のうち特に優先度の高い系のフォローアップを実施している。本講演では、ESPRINTの概要を紹介するとともに“K2領域0, 1, 2”で見つかった惑星を中心に現在までのフォローアップ状況を概観する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 岡山 188cm 望遠鏡 MuSCAT の観測成果 I : K2 のトランジット惑星候補
EPIC201505350b のトランジット時刻変動 (TTV) の確認

成田憲保 (ABC), 福井暁彦, 日下部展彦, 工藤智幸, 泉浦秀行, 柳澤顕史 (国立天文台), 平野照幸 (東工大), 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠 (総研大), 田村元秀 (東大), 他 K2/ESPRINT チーム

2014年12月にデータが公開された K2 のフィールド 1 において、Foreman-Mackey et al. (2015) は 31 個のトランジット惑星系候補を発表し、その中のひとつ EPIC201505350 (K 型星、Kepler 等級=12.8) には 2 つの惑星候補が報告された。この惑星候補 b と c はそれぞれ 7.2 と 4.2 地球半径 (b はスーパーネプチューンサイズ) を持ち、周期がそれぞれ 7.9193 ± 0.0001 日と 11.9069 ± 0.0005 日で、2 つの惑星が 3:2 共鳴にある可能性が指摘されていた。

一方 Armstrong et al. (2015) は、2015 年 2 月 28 日に惑星 b のトランジットを観測し、Foreman-Mackey らのトランジット予報から予想されるより、トランジットが 65 分ほど遅く起きたことを報告した。彼らはこのずれを惑星 c によるトランジット時刻変動 (TTV) と解釈し、惑星 c の質量を $386M_{\oplus}$ 以下に制限した。

我々は Armstrong らによって報告された TTV の存在を検証するため、2015 年 4 月 25 日に岡山 188cm 望遠鏡の新しい多色撮像カメラ MuSCAT で惑星 b のトランジットを観測した。その結果、Foreman-Mackey らの K2 のトランジット予報に比べて、115 分ほどトランジットが遅く起きたことを確認した。我々と Armstrong らの結果から惑星 b の公転周期を決め直すと、周期は ~ 7.923 日となった。我々はこの新しい周期でも惑星 b が数十分の TTV を起こしていることを確認した。さらに我々は、すばる望遠鏡の HiCIAO でこの主星の AO 撮像観測を行い、この星の周囲に光の混入を起こす伴星が存在しないことを初めて確認した。以上により、EPIC201505350 は珍しいスーパーネプチューンサイズの惑星を持ち、3:2 共鳴の TTV が起こっている惑星系であると確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209b 岡山 188cm 望遠鏡 MuSCAT の観測成果 II : 逆行ホットジュピター HAT-P-14b に対する多色精密トランジット観測

福井暁彦, 日下部展彦, 泉浦秀行, 柳澤顕史 (国立天文台), 成田憲保 (アストロバイオロジーセンター), 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠 (総研大), 生駒大洋, 川島由依 (東京大学)

MuSCAT は、トランジット系外惑星の詳細観測を目的として岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡用に新たに開発された、6.1 分角の視野をもつ可視 3 色 ($g'_2, r'_2, z_{s,2}$) 同時撮像カメラである。2014 年 12 月にファーストライト、2015 年 3 月に性能評価のための試験観測が行われ、各バンドで約 0.1% 以下 ($R=10$ 等級の星、30 秒露光あたり) の高い相対測光精度が達成されることが確認された。

我々は 2015 年 4 月に、MuSCAT を用いた最初のサイエンス観測 (第二弾) として、楕円軌道 (離心率約 0.1) を周期約 4.6 日で逆行回転するホットジュピター HAT-P-14b のトランジット観測を行った。我々はこの惑星に対してこれまでで最も高い精度の観測を 3 色で同時に行い、得られた光度曲線の解析から、主星の密度の測定精度を 30% 以上改善することに成功した。一方、先行研究によるトランジット観測の結果と比較したところ、有意なトランジット時刻の変化 (TTV) やトランジット継続時間の変化 (TDV) は見られなかった。この結果は、HAT-P-14b がもつ軌道の”ゆがみ”を引き起こすような摂動惑星は HAT-P-14b の近傍には存在しないことを示しており、惑星がより大きな空間スケールで軌道を進化させたことを裏付ける結果と言える。なお、今回の観測では、惑星がもつ大気の透過率変化に伴う惑星半径の波長依存性は検出されなかった。

本講演では、上記の観測と解析結果の報告に加え、MuSCAT で得られる測光精度から期待されるスーパーアースに対するサイエンスの展望について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210b **Apsidal Motion** を利用した連星系に付随する第3体の探査

加藤則行, 伊藤洋一 (兵庫県立大学西はりま天文台), 佐藤文衛 (東京工業大学)

連星系に付随する第3体は、星周領域に存在するものや周連星領域に存在するものがある。これら第3体の探査手法の中に食連星を利用するものがある。もし第3体が存在するならば、食の中央時刻は常に一定とならず、ずれる。この手法を Transit Timing Variation (TTV) 法 という。しかしながら、TTV 法は食連星に探査対象が限られる。そこで、連星系の Apsidal Motion に注目した。

Apsidal Motion は、水星の近日点移動と同様に、公転軌道がその形を維持したまま回転する運動である。この回転は、視線速度法を用いた場合、近点引数の時間変化として検出できる。近点引数の時間変化が第3体からの重力摂動に起因すると示すことで、第3体の存在を明らかにできる。この探査手法は、食連星以外の系も探査対象にできる利点がある。

我々は、これまでに分光連星系 40 天体の近点引数を決定した。そのうち 12 天体について、近点引数が時間変化する可能性がある。本講演では、これら 12 天体の時間変化が第3体に起源を持つかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211b 系外惑星の直接視線速度観測に向けた分光コロナグラフの性能評価

高橋瑞樹, 村上尚史 (北海道大), 河原創 (東京大), 小谷隆行 (国立天文台), 松尾太郎 (京都大), 馬場直志 (室蘭工業大)

近年、視線速度測定法から発展した、系外惑星のスペクトルを検出できる直接視線速度測定法が注目されている。この方法は、恒星と惑星のドップラー偏移の違いを利用し、高分散分光器により惑星のドップラー偏移を直接観測できる。具体的な解析方法としては、仮定した分子種のテンプレートスペクトルを準備し、観測スペクトルとの相互相関をとることにより、惑星スペクトルを分離する。実際に、いくつかの系外惑星に対して大気成分 (CO, H₂O など) が検出されている (Snellen et al. 2010 など)。この手法における観測 SN 比を向上させるため、主要なノイズ源である恒星光を除去するコロナグラフの導入が提案されている (河原他、2014 年秋季年会 P234a)。そこで我々は、コロナグラフの導入により観測 SN 比がどれだけ向上するかを、室内実験により評価した。今回、コロナグラフとしてサバル板横シヤリングナル干渉計 (SPLINE) を用いた (喜藤他、2013 年秋季年会 V247b)。また、TMT での観測を想定し、プラスチック板で入射光波を乱すことにより大気揺らぎをシミュレートした。結果として、SPLINE を導入することにより、観測 SN 比が向上することが示唆された。さらに観測性能を向上させるため、シングルモード光ファイバーの導入を提案した。光ファイバーへの結合効率は、惑星光に対しては比較的高く、スペckル状の恒星光に対しては低くなると予想され、観測性能がさらに向上すると期待される。実証実験を行った結果、光ファイバーを導入することにより、観測 SN 比が向上することが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212a 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1：フォーマリズム

釜谷秀幸，大石碧（防衛大学校）

現代天文学において、生命居住可能域（HZ）を吟味することは、宇宙生命探査の根幹のひとつとなるために重要である。現在、多数の系外惑星系も検出されており、いよいよ、HZを実証学的に吟味できる可能性が見えてきた。しかし、HZの具体的な表現は数値的なものが多く、必ずしも、見通しの良いものではなかった。そこで、本研究では、まずは多くの研究者が採用している定義を踏まえ、HZにできるだけシンプルな表現を与えることを目標とした。

ところで、HZは、中心星の進化に応じてその位置や幅が変化していく。興味深いのは、中心星が主系列進化段階にある場合であろう。そこで、本研究でも、Guo等(2010)に習いZAMSとTMSを進化の極限として採用した。HZの内側境界条件は水分子の惑星大気からの離脱、外側境界条件は二酸化炭素のドライアイス化による大気からの消失とした。我々も、基本的に彼らのフォーマリズムを踏襲することにする。

さて、十分に長い間HZにある領域とは、ZAMSの外側境界とTMSの内側境界に挟まれる領域と考えられる。これは、太陽質量程度の主系列は、年齢に応じて明るくなるためHZが外側に移動していくためである。我々のシンプルなフォーミュレーションを採用すると、この許容条件はある質量 M_{crit} より大きな恒星に限られることが分かり、その質量(M_{crit})は太陽より少し小さく見積もられた。講演では、 M_{crit} の定量的評価の詳細を紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P213a 中間赤外線撮像観測でさぐる Oph IRS 48 の遷移円盤の構造

岡田一志 (東京大学), 本田充彦 (神奈川大学), 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 内山允史, 毛利清 (東京大学)

Ophiuchus IRS 48 は ~ 120 pc の距離にある Herbig Ae 型星で, 多波長で空間分解された構造が観測されている. VLT/VISIR の $10 \mu\text{m}$ 帯での観測では PAH の放射が支配的で, 中心星位置にピークのある点源よりやや広がった構造がみえている. 一方, $18.7 \mu\text{m}$ のダスト熱放射では, 半径 ~ 60 AU で面輝度がピークになるリング状の構造が確認されている. Subaru/HiCIAO による近赤外線散乱光や ALMA による CO (6-5) 輝線でも良く似た構造は確認されており, 惑星によって中心部のガスや小さいダストが掃かれたためではと考えられている. このように温かいダストによる放射が, 中心から半径数十 AU まで, 円盤の外側に比べて顕著に減じている天体を transitional disk (遷移円盤) という. また, ALMA による 0.44 mm ダスト連続光の観測では, mm サイズのダストが円盤南側に偏在するのが確認されている. これは, ガス円盤の外周付近でガス圧が極大となる点が生じ, 大きいダストがトラップされたものと解釈されていて, ダストトラップ領域において mm サイズのダストが微惑星まで成長する可能性が示唆されている.

今回, Subaru/COMICS によって Oph IRS 48 の観測を新たに行い, $10 \mu\text{m}$ 帯の 5 バンド ($8.6, 8.8, 10.46, 12.4, 12.8 \mu\text{m}$), $20 \mu\text{m}$ 帯の 3 バンド ($17.7, 18.8, 24.5 \mu\text{m}$) での撮像に成功した. $20 \mu\text{m}$ 帯の像はリング状の構造という点で VISIR の $18.7 \mu\text{m}$ と似ているが, 輝度の空間分布には波長ごとに差異があり, $20 \mu\text{m}$ 帯のカラーによれば, 輝度の小さい南側の構造が, 輝度の大きい北側より高温だと示唆される.

本発表では, 観測結果から導かれる円盤構造について, 近赤外線・サブミリ波の観測結果と比較しつつ議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214a HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の多波長輻射平衡モデル

持田一貴, 花輪知幸 (千葉大学)

2014年のALMA望遠鏡の試験観測は、HL Tau星周囲の原始惑星系円盤が軸対称性の良い多重リングからなることを明らかにした。この観測は円盤が幾何学的に薄いことを示している。一方でHL Tau星本体が強く減光していることや、反射光が北東側に広がっていることから、可視・近赤外線を反射するダストは円盤の鉛直方向に大きく膨らんでいることが知られていた。本講演では、ALMA望遠鏡のBand 3, 6, 7の輝度分布を再現する輻射平衡モデルを構築し、原始惑星系円盤を構成するダストの性質と鉛直構造を考察した結果を報告する。

本講演で報告する輻射平衡モデルは、 $0.1\mu\text{m}$ より 3.16mm までの広い波長帯を $\Delta \log \lambda = 0.02$ の分解能でカバーしている。HL Tau星は太陽の0.5倍の質量と6.9倍の半径をもつ温度4,000 Kの黒体と近似し、星からの照射と円盤での吸収・散乱・放射の釣り合いをM1モデル (González et al. 2007) に基づいて求めた。簡単のためガスダスト比は100で一定とし、ダストもガスとともに軸対称で、鉛直方向には静水圧平衡にあるとした。ダストオパシティーは(A) 星間ダストと同じ、(B) 半径が最大で1mmまで球形に成長したものの、(C) 吸収係数は(B)と同じだが散乱断面積は(B)の1/10の3種類を考えた。

どのオパシティーでも、円盤中央面の温度 T_0 はガスダストの面密度にはほとんど依らない。(A)のオパシティーでは T_0 がBand 7のプランク温度(T_P)より低くなり、観測を再現できない。(B)では50 AUで $T_0=42\text{ K}$ となるが、散乱が強く $T_P=27\text{ K}$ (長軸)で飽和する。さらに短軸方向に顕著な輝度勾配が現れ、観測と合わない。(C)では $T_0=43\text{ K}$ となり、面密度がKwon et al. (2011)の1.5倍で $T_P=37\text{ K}$ が達成され、短軸方向の輝度勾配も目立たない。近赤外線の反射を定性的には説明できる程度には低密度ガスダストが鉛直方向に広がる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P215b 原始惑星系円盤 HD142527 のミリ波偏光観測予測

片岡章雅 (ハイデルベルク大学/国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大学), 深川美里 (国立天文台), 芝井広 (大阪大学), 花輪知幸 (千葉大学), 村川幸史 (大阪産業大学)

我々は、原始惑星系円盤のミリ波偏光について、従来考慮されてこなかったダストの自己散乱による偏光可能性を検討した。その結果、ダストサイズが波長と同程度であり、ダストの熱放射が非一様な分布をしている場合、ミリ波においても約2%程度の偏光が検出可能であることがわかった (Kataoka et al., arXiv:1504.04812)。

本講演では、上記の研究で明らかとなったダスト自己散乱による偏光メカニズムを、ダスト熱放射の分布の非対称な円盤 HD142527 (e.g., Fukagawa et al. 2013) に応用した結果を紹介する。輻射輸送計算の結果、観測波長を $890\mu\text{m}$ と仮定すると、ダストサイズが $150\mu\text{m}$ 程度の時最も強い偏光度を示し、その偏光度は最大約2%であることがわかった。また、本天体を ALMA Cycle 3 で観測した場合、ダストサイズが $40\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下の時、ミリ波偏光が検出可能であることがわかった。このことは、ALMA による偏光観測によって従来のミリ波スペクトルを利用した方法とは独立にダストサイズを制限できることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216b タンデム惑星形成

今枝佑輔, 戒崎俊一 (理研)

我々は前回の年会に於いて、原始惑星系円盤の定常解を求め、内部乱流領域、MRI 抑制領域、外部乱流領域に分かれることを報告した。内部乱流領域は、K や Na などのアルカリ金属原子の熱電離が無視できなくなると現れる。内部乱流領域と MRI 抑制領域の境界にはガス圧勾配が正となる遷移領域が存在する。また、MRI 抑制領域の円盤中央面付近には乱流がない静穏域が現れる。この原始惑星系円盤モデル中での固体粒子の合体成長過程について調べたところ、MRI 抑制領域の内側と外側の二か所の境界で、それぞれ氷が主成分の惑星と、岩石が主成分の惑星が形成されることを見出した。我々はこれを「タンデム惑星形成」と名付けた。本講演では、その概要を説明する。

水昇華域の外側では、固体微粒子が $0.1\mu\text{m}$ から出発して、Balistic Cluster-Cluster Aggregation (BCCA) として暴走的に成長しつつ、中心星に向かってドリフトし、外部乱流域と静穏域の境界に集積して重力崩壊し、氷でできた微惑星を形成する。ここでは、Okuzumi et al. 2012 と Kataoka et al. 2013 に従い、粒子の平均内部密度が低下する効果、衝突圧縮、ガス動圧圧縮、高速衝突による破壊を考慮した。一方、水昇華領域の内側の静穏域では、固体粒子は、 0.2m ぐらいまで成長すると衝突による破壊で一旦成長を停止し、中心星に向かって落下する。このような固体粒子 (小石) は、静穏域と内部乱流領域の境界 (遷移領域: ガス圧が最大になる) に集積し、重力崩壊して、岩石が主成分の微惑星を形成する。この場所の温度は 1000K 以上と高いので、ここでできる微惑星は揮発性成分をほとんど失っている考えられる。さらに、どちらの微惑星も「小石降着」により急速に成長し、 10^6 年以内に、地球質量程度に達する可能性が高いことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P217b 高次精度 MHD スキームを用いた磁気回転不安定性の計算機実験

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)

磁気回転不安定性 (Magneto-Rotational Instability; MRI)(Balbus & Hawley, 1991) は、原始惑星系円盤などの降着円盤で発生する磁気流体不安定性である。MRI 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) をはじめ、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ける惑星形成 (e.g. Johansen et al., 2011) においても重要な役割を果たすと考えられており、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 (2010) などの線形解析により、MRI の線形成長は、磁気リコネクションや Kelvin-Helmholtz(K-H) 不安定性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。すなわち、MRI の時空間発展を MHD シミュレーションによって解くためには、リコネクションで発生する不連続構造と K-H 不安定で発生する乱流構造の双方を精度良く解き進めるといふ、シミュレーション手法の観点から非常に困難な問題を克服す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。開発したコードでは 1 波長 4 グリッド程度の高波数まで乱流を精度よく解像できることが確認されており、計算結果のエネルギースペクトルには円盤ガスの空間構造を知る上で重要となる MRI 乱流の微細構造が再現されていると考えられる。開発したコードの概要と、計算機実験の初期結果を報告し、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](#)

P218c 高ダスト-ガス比の原始惑星系円盤で形成される微惑星のサイズ

長谷川幸彦, 小久保英一郎 (国立天文台)

原始惑星系円盤での微惑星形成に関しては、ダストの直接衝突合体やダスト層の自己重力不安定、ストリーミング不安定等のモデルが研究されている。これらのモデルの中で、ダスト層の自己重力不安定によって微惑星が形成されるためにはダストが円盤の赤道面付近まで沈殿して高密度なダスト層が形成される必要がある。しかし、ダストが沈殿する過程において発生する乱流によってダストは巻き上げられ、この巻き上げは高密度なダスト層の形成を妨げてしまう。乱流が存在するダスト層が重力不安定を起こすためには、円盤のダスト面密度が標準円盤モデルの10倍程度かそれ以上必要となる。円盤のダスト面密度が大きくなると、形成される微惑星の数や大きさは変化するが、円盤のダスト面密度と形成される微惑星の大きさについて注目した研究はこれまであまり行われていなかった。

本発表では、ダストが沈殿と巻き上げの平衡状態にあるダスト層が、ダスト-ガス比が大きくなることで重力不安定を起こして微惑星が形成される場合について、ダスト面密度と形成される微惑星の大きさの関係について注目する。まず、ダストが沈殿と巻き上げの平衡状態にあるダスト層が重力不安定を起こすために必要なダスト面密度を求め、そこから形成される微惑星の大きさを求めた。その結果、1 au で標準円盤モデルのガス面密度 (1700 g cm^{-2}) の場合、ダスト面密度は 200 g cm^{-2} となり、重力不安定によって形成される岩石微惑星の大きさは 80 km 程度になることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P219b 巨大惑星の Type II 惑星移動現象解明のための数値計算コード開発

岩崎一成 (同志社大学), 小林浩 (名古屋大学)

巨大惑星と原始惑星円盤との重力相互作用により、惑星軌道に沿って円盤にギャップが形成される。ギャップ形成後の惑星軌道進化は Type II 惑星移動と呼ばれる。従来、Type II 惑星移動は粘性降着で決まると考えられていたが、ギャップを通じたガスのすり抜けの重要性が近年指摘されている (e.g., Duffell et al. 2014)。しかし、すり抜け現象の詳細な解析を通じた定量的な物理機構の解明には至っていない。また、ほとんど研究は円軌道に限定され、離心率のついた巨大惑星のギャップ形成と惑星軌道進化は未解明である。

これらの問題に取り組むための数値計算手法として、我々は粒子法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法に注目している。SPH 法の利点としては、mesh 法で行われている時間幅を大きくする工夫を必要とせず、超音速で回転する円盤を自然に計算でき、しかも角運動量が厳密に保存することが挙げられる。また、Lagrange 的に流体の軌道を直接追うことができ、ギャップを通じたガスのすり抜け現象の詳細な解析が可能である。さらに、惑星軌道が離心率をもっている場合も困難なく計算できる。

本研究では SPH の性能を評価するために、円軌道の巨大惑星の周りのギャップ形成計算を、SPH 法と公開コードである FARGO でおこない、両者の結果を比較した。その結果、ギャップの構造、惑星にかかるトルクなどがよく一致することがわかった。SPH 法で行った離心率のある惑星周囲でのギャップ形成計算の予備段階の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220b **Exoplanetary System Dynamics: Multiplicity and Planetary Mass Effects**

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)

近年の系外惑星探査の観測技術の向上に伴い、複数の惑星からなる惑星系が多数発見されている。本研究では、2014年12月までに視線速度法によって観測された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(含む惑星候補天体)を用い、惑星数や惑星質量と惑星系の力学構造の関係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。惑星質量は 10^{-4} で二分し、中心星は主系列星と巨星に分けている。今回は特に惑星系の角運動量欠損(AMD)とヒル半径で規格化した隣接惑星間軌道間隔に注目した。

その結果、系のAMD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ないことを意味する。また、大質量惑星と小質量惑星の軌道離心率の分布は異なることがわかった。特に0.4より大きい軌道離心率は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、軌道間隔が15-30の範囲で惑星数との間にべき乗の反相関性があることが確認された。また、中心星の進化が進むにつれ、軌道間隔が狭くなる傾向がある。

講演では複数惑星系の力学的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](#)

P221b 周惑星円盤の散逸過程を考慮した微惑星の捕獲過程

末次竜、大槻圭史（神戸大学）

巨大惑星の周りには数多くの衛星があり、これらは規則衛星と不規則衛星に分類できる。規則衛星は惑星近傍でほぼ円軌道で公転していることから、周惑星円盤内で固体が集積することで形成されたと考えられている。一方、不規則衛星は楕円で逆行で公転しているものもあるため、捕獲された微惑星が起源だと考えられている。近年、周惑星円盤への固体物質の供給過程が詳しく調べられ、その結果、従来の規則衛星の形成モデルでは考慮されていなかった微惑星も、周惑星円盤通過時のガス抵抗によって捕獲され、供給されることが明らかになった。先行研究では周惑星円盤の散逸過程は考慮していなかったが、実際には原始惑星系円盤の散逸やギャップ形成によるガス供給の減少によって散逸したと考えられる。しかし惑星形成終了直前におけるガス密度の非常に低い周惑星円盤による微惑星捕獲過程は不明である。また周惑星円盤散逸直前に捕獲された微惑星は散逸後も惑星周りを公転していたと考えられる。こうした微惑星は、規則衛星と衝突し表層環境に影響を与えたり、不規則衛星となった可能性がある。そこで本研究では、軌道計算を用いて周惑星円盤の散逸過程を考慮した微惑星の捕獲について調べた。ガス抵抗が小さい場合、微惑星は一回の近接遭遇で大きくエネルギー失いを捕獲されるのではなく、惑星周りを一時的に公転している間に次第にエネルギーを失うことで捕獲されることが明らかになった。こうした捕獲は微惑星の惑星周りの公転方向が順行でも逆行の場合でも起こる。また周惑星円盤散逸後の捕獲された微惑星の軌道長半径の上限は惑星のヒル半径の0.3倍程度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](#)

P222b WPH 法による月形成シミュレーション

河瀬哲弥 (京都大学), 佐々木貴教 (京都大学), 細野七月 (理化学研究所)

最も有力な月形成のモデルとしてジャイアント・インパクト説がある。この説では、原始地球に火星サイズの原始惑星が衝突したと考えられている。その結果、衝突物のマントルが飛び散り、差動回転円盤が形成される。その後、この円盤物質が自己重力で集積し、合体成長することで月が誕生したとされる。この説は月のコアが他の太陽系天体のコアと比べて小さいなどのいくつかの観測事実をうまく説明できる。

実際にジャイアント・インパクト説で月形成が可能かどうかを確かめるため、月形成のシミュレーションが多くの先行研究でなされてきた。しかし、それらはジャイアント・インパクトから円盤形成までを粒子法流体スキームの1つであるSPH法 (Smoothed Particle Hydrodynamics)、円盤内での月形成をN体計算で行うといった2段階のものであった。このため、段階間で多くの仮定を必要とし、最終的な結果に不定性が残っている。ジャイアント・インパクトから月形成までの一貫とした流体シミュレーションが行われてこなかった理由は、差動回転円盤の長時間の計算にSPH法が適していないからである。近年、この問題を克服した新しい粒子法流体スキームであるWPH法 (Weighted Particle Hydrodynamics) が開発された。これにより差動回転円盤の流体シミュレーションが長時間可能となった。

本研究では、N体計算で行われた円盤内での月形成をWPH法で計算し、両者の結果を比較する事を目標とした。現在、まだ簡単なモデルではあるが、WPH法を用いることで差動回転円盤の長時間の計算が可能であること、およびN体計算の結果と同様に一個の重い天体が形成される可能性があることがわかってきた。本講演ではWPH法を用いた月形成シミュレーションの有効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](#)

P223b 雲粒の衝突合体を考慮した系外惑星の雲モデルの開発

大野和正, 奥住聡 (東京工業大学)

近年、透過スペクトルに分子の吸収線が表れない系外惑星が発見されつつある。この観測の有力な解釈の1つは、光学的に厚い雲がこれらの惑星の大気を覆い隠しているというものである (e.g., Kreidberg et al. 2014)。この解釈の妥当性を判定するためには、雲形成の物理を正しく考慮した系外惑星の雲モデルが必要である。従来の系外惑星の凝縮雲モデルでは、雲粒の凝縮成長は考慮されているのに対して、雲粒の衝突合体や降雨の効果は任意パラメーターとして扱われている。このようなモデルは観測とのフィッティングには便利であるが、観測を再現する雲がそれぞれの系外惑星で現実的に形成されるのかを判定することはできない。

本研究では雲粒の凝縮、衝突、落下の物理過程を考慮し、非物理パラメーターの使用を最小限に抑えた雲モデルを開発した。凝縮過程では周囲の蒸気が凝縮することで粒子のサイズが増加し、衝突過程では粒子同士が衝突併合することで数密度が減少する一方でサイズが増加する (Rossow 1978)。また、成長して落下速度が上昇速度を上回るようになった粒子は、落下しながら他の粒子を除去していく。本モデルではこれらの素過程を考慮することで、凝縮雲の鉛直構造 (サイズ・数密度分布) を、地表湿度や大気上昇速度などといった大気物理量の関数として決定することを可能とした。

作成したモデルでテスト計算を行い、地球の海上での観測 (Hudson et al. 2012) との比較を行った。その結果、地表湿度 ~ 75% とした場合のテスト計算が観測とよく一致することが分かった。これは高湿度である地球海上と整合的である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P224b 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2：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誕生するのに適した領域のことである。この領域では、中心星からの放射エネルギーと惑星自身の温室効果とのバランスにより、生命が潜在的に生き延びられる液体の水が維持できる。しかしながら、恒星の放射エネルギーはその進化段階に応じて変化する。つまり、時間の経過とともにHZも変化する。このことを踏まえ、Guo et al.(2010)は、質量が $0.08 \sim 4.00M_{\odot}$ の範囲における恒星の進化を考慮したHZモデルを構築した。彼らは、恒星のZero-age main sequence（ZAMS：誕生したばかりの主系列星）およびTerminal-age main sequence（TMS：水素の核融合反応が一時終息する最晩期の主系列星）における両極端のHZを考えた。彼らの結論によると、銀河系内における生命居住可能な惑星の数は45.5億個に上り、分光型でKタイプの恒星が主であることが分かった。ところで、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が、実際には、金属量の小さい恒星周りのHZも興味深いはずである。そこで、本研究ではZAMSとTMS両者において、 $Z=0.02$ 以下の金属量の効果を踏まえたHZをモデル化した。金属量の効果は、 T_{eff} に大きく反映されるため、固有の明るさと質量の関係より寧ろ、水分子の離脱で定義された内側境界条件、及び、二酸化炭素の固化で定義される外側境界条件に大きく影響を与える。我々のモデルによると、ZAMSと比べ、TMSにおいては金属量がHZ軌道範囲に大きく影響していることが分かった。また、金属量の少ない恒星の場合、質量が大きくなるにつれて永続的に生命が発生する可能性が高くなる可能性を見出した。本講演では、金属量の違いによるZAMSおよびTMSの比較から定まるHZの許容範囲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](#)

P225c **ダスト分布を考慮した褐色矮星の赤外線スペクトルの解析**

空華智子 (東京大学)

褐色矮星は、太陽のような恒星と地球や木星に代表される惑星との中間の質量を持つ天体である。褐色矮星の大気は分子によって支配されており、それに加え重元素で構成されるダストが存在しているため大変複雑になっている。そのため、分子やダストにより特徴づけられるスペクトルも大変複雑で理解が難しい。我々は、赤外線天文衛星「あかり」や、米国の地上望遠鏡 IRTF/SpeX により得られた褐色矮星の赤外線スペクトルを、大気モデル UCM (Unied Cloudy Model; Tsuji 2002, 2005) を用いて解釈を試みた。局所熱力学平衡および太陽元素組成を仮定した静力学的な大気モデル UCM は、これらの観測データをおおむね説明することができる。しかし、一部の天体のスペクトル中の CO および CO₂、CH₄ 分子吸収バンドの強度を完全に説明することができておらず、また、1.0–5.0 μm の広範囲スペクトルに対しても、一つのモデル大気で完全に説明することができていない。

我々は、大気モデルに与えるダスト分布が褐色矮星やスペクトルにどのように寄与するのかを調査した。ダスト分布を与えると温度構造が変化し、スペクトルの形状が変化し、一部の天体のスペクトルは観測データに近づくことがわかった。一方、観測データを完全に再現することはできなかった。本研究会では、「あかり」や IRTF/SpeX 等の観測データと本研究により改良した理論大気モデルとの詳細比較についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226a 巨大ガス惑星大気中の磁気流体力学計算における輻射輸送

田中佑希, 鈴木建, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

太陽系外惑星において、惑星表層の大気の部分は観測的に情報が得られるという点で非常に重要である。例として、可視光や近赤外線でのトランジット分光観測からは、惑星の大気構造や大気組成などの特性が明らかにされつつある。また、紫外線でのトランジット観測からは、ホットジュピターと呼ばれる高温の巨大ガス惑星の超高層大気の構造や、散逸していく大量の大気存在を示唆する結果が得られている。惑星大気の特徴はその観測的な特徴のみならず、内部構造や形成過程との関連性もあると考えられ、大気に関する研究はますます活発になっている。

これまでの我々の研究では、磁気流体計算を用いた巨大ガス惑星、特にホットジュピターの高層大気構造や質量放出過程の詳細を取り扱ってきた。その結果、磁気流体波動はホットジュピターの高層大気を加熱し、大量の質量放出を駆動するということが分かってきた。さらに大気中での磁気拡散を取り入れた計算も行い、弱電離状態の惑星大気においても磁気流体波動が及ぼす影響は大きいことを示した。

惑星大気中の磁気流体力学計算においては、磁気流体波動による大気の加熱や輻射による冷却を正しく取り扱うことが重要である。これまでは太陽や恒星大気の計算に用いられている輻射冷却関数を使用していたが、より低温のガス惑星に適用するにあたっては輻射輸送の詳細な計算を行う必要がある。本講演では、巨大ガス惑星大気中での磁気流体計算における two-stream 近似を用いた輻射輸送の取り扱いの改善と、大気構造、質量放出に与える影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227a 原始惑星系円盤におけるギャップ構造と巨大惑星との関係

金川和弘 (北大低温研), 武藤恭之 (工学院大学), 田中秀和 (北大低温研), 谷川享行 (産業医科大学), 竹内拓 (東京工業大学)

原始惑星系円盤内の巨大惑星は円盤との重力相互作用によって周囲のガスを吹き飛ばし、惑星軌道に沿ってリング状のガス密度が減少した領域 (ギャップ) を作る。このような巨大惑星によって形成されたギャップは、近年多数発見されているリング状の隙間を持つ「前遷移円盤」の形成を説明する有力な説の一つである。ALAM 望遠鏡やすばる望遠鏡などによる原始惑星系円盤の直接撮像観測が盛んに行われている現状において、原始惑星系円盤のギャップ構造から惑星に対してどの程度制限を与えられるのかを議論することはきわめて重要である。

本研究では、巨大惑星が原始惑星系円盤に作るギャップの深さについて解析モデルを構築し、ギャップの深さとその中に存在する惑星質量の関係を導出した。この関係は従来研究による数値流体シミュレーションで得られたギャップの深さと惑星質量の関係ともよく一致する。この関係を用いることでギャップの深さが正確に観測された場合、その中に存在する惑星の質量を見積もることができる (Kanagawa et al. 2015b)。さらに、本研究では惑星周辺のガス構造の2次元構造の数値シミュレーションを様々な惑星質量、円盤粘性、円盤アスペクト比で行い、ギャップの幅と惑星質量の関係を調べた。本講演では、惑星質量と惑星が作ったギャップの深さおよび幅との関係について紹介する。また、惑星とギャップの深さ・幅の関係をj用いて原始惑星系円盤ギャップの撮像観測からどの程度惑星についての情報を得られるのか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](#)

P228a **Exponential cutoffを持つ原始惑星系円盤中の非軸対称流体不安定性**

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、系外惑星が多く発見され、惑星は多様性に富むことが明らかになっている。しかしながら、惑星の多様性を包括的に説明することは未だできていない。原始惑星系円盤は惑星形成の場であり、惑星の多様性を生み出す一因であると考えられている。そのため、原始惑星系円盤の構造・進化を調べることは、惑星の多様性を理解する上で不可欠である。

原始惑星系円盤は、円盤外側領域に密度分布が指数関数的に減少する構造を持つと考えられている。このような構造を exponential cutoff と呼び、その存在は理論と観測の両面から示唆されている。Exponential cutoff では強い圧力勾配力が発生するため、Kepler 回転から逸脱する。そのため、鋭い exponential cutoff が存在すると軸対称流体不安定性に関して不安定となる (Ono et al. 2014)。さらに、不安定である exponential cutoff は、安定な構造になるまで鈍されると期待される。

本研究では、exponential cutoff の非軸対称流体不安定性に着目した。Exponential cutoff を模擬するような面密度分布を背景に、線形安定性解析を行うことで非軸対称流体不安定性に関する安定性を調べた。線形安定性解析は Li et al. (2000) と同様の手法を用いて計算を行った。結果として、軸対称流体不安定性に関して安定な exponential cutoff であっても、非軸対称流体不安定性に関して不安定に成り得ることを発見した。最近、観測によって非軸対称構造を持つ原始惑星系円盤が観測されており、この研究が原始惑星系円盤の非軸対称構造を理解する上で一翼を担うことが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P229a 電子加熱による磁気乱流の抑制が引き起こす遠方の重力不安定

森昇志 (名古屋大学/東京工業大学), 國友正信 (名古屋大学), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤のガスは角運動量を失うことで中心星へと降着する。角運動量輸送機構の起源の一つとして、磁気回転不安定性 (MRI) による乱流粘性が考えられている (Balbus & Hawley 1991)。中心星から遠い領域では MRI は十分発達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)。電子加熱が起こると、高温の電子がダストに衝突し吸着されやすくなり、電離度が減少し、結果として磁場が散逸し得る (Okuzumi & Inutsuka, 2015)。MRI において磁場の散逸は磁気乱流の抑制を意味する。我々はこれまでに、中心星からおよそ 80AU 以内の赤道面の領域で磁気乱流が大きく抑制されうること示した (2014 年秋季年会; Mori & Okuzumi, submitted)。十分乱流が抑制された領域には、円盤外縁から降着してきたガスが蓄積してゆき、重力不安定になる可能性がある (Martin & Lubow, 2011)。

本研究の目的は、電子加熱を考慮することで円盤内でガスが蓄積する場所を調査することである。我々は、定常降着を仮定して、円盤の各場所における面密度と質量降着率の関係を求めた。その結果、1 太陽質量の中心星の周囲に存在するダストサイズ $0.1\mu\text{m}$ 、ダストガス比 0.01、赤道面での磁気圧に対するガス圧が 10^3 倍、質量降着率 $10^{-7}M_{\odot}/\text{yr}$ の円盤では、60AU 以内では定常降着を実現する面密度が存在しないことが分かった。ただし、ガスの電離源は宇宙線のみを考慮した結果である。そのような場所では、ガスが蓄積し続けるために面密度が増加し、最終的に重力不安定になると予想される。電子加熱を考慮しない従来の描像では 10AU 以内で定常降着を実現する面密度が存在しなかったことと比べると、我々の結果は電子加熱によって重力不安定がより広範囲で起きることを示唆する。本講演では、電離源として X 線を考慮した場合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](#)

P230a 原始惑星系円盤中の圧力バンプにおけるダスト合体成長

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 (Adachi et al., 1976)」、「衝突破壊問題 (Blum & Munch, 1993)」と呼ばれている。前者は、成長したダストに対する原始惑星系円盤からのガス抵抗が、ダストを中心星方向に急速に移動させ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、特に岩石の場合において合体成長可能な速度を上回ってしまうというものである。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; Haghighipour & 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減少させる性質をもつことが明らかになっている。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。簡単な見積もりによると、最も落下しやすいサイズのダストが圧力バンプを通過するまでに到達する最大サイズは数 km となり、圧力バンプにおけるダストの合体成長は岩石の場合を含む一般的な微惑星形成モデルの候補として有力である。

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、数値実験を行った。ダスト・ガスの空間分布の進化とダストのサイズ進化を自己無撞着に計算することで、相互に影響しあう空間分布とサイズ分布の進化の描像を明らかにした。さらに形成されるダスト・微惑星の最大サイズと形成効率を調べることで、圧力バンプにおける微惑星形成の可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P231a 原始惑星系円盤の磁気乱流で駆動される円盤風中でのダストの動力学

三宅智也, 鈴木建, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤進化の上で、未だ理論的に解明されていないことの一つに円盤ガスの散逸機構があり、その候補として、中心星からのUVやX線放射による光蒸発が幅広く研究されている。一方で、磁気回転不安定性(MRI)起源の磁気乱流により駆動される円盤風もまた、光蒸発と同等以上に円盤散逸の効果があるとの指摘が、Suzuki & Inutsukan (2009) によりなされている。ガスの散逸はダストの運動に影響を与えるが、このような円盤風を考慮したダストの動力学をはこれまで調べられていない。そこで本研究では、磁気乱流駆動型の円盤風を考慮した原始惑星系円盤の、ダスト密度の鉛直方向分布の時間進化を単純化した1次元数値シミュレーションの手法で調べ、さまざまなサイズのダストの動力学について研究を行なった。

その結果、摩擦力によりガスと強結合した小さなサイズのダストは、円盤風により円盤上空へと流れ出し、大きいダストは、円盤内部に留まることがわかった。さらに面白い事に、中間サイズのダストは重力と円盤風によるダストを持ち上げる力が釣り合い、ダストは赤道面から数スケールハイトの位置に浮いて滞留するという結果を得た。また、中心星からの距離に対する依存性を考慮すると、比較的小さいダストは円盤外側の領域にのみ残り、大きいダストは円盤赤道面付近に留まるという結果を得た。

これらの結果は、円盤内のダストが円盤内側領域から、そして小さいサイズから消失していくということを示唆している。また、ダストが原始惑星系円盤上空に持ち上げられていると思われる赤外線観測の結果を、本機構の観点から議論し、加えて、ALMA などによる今後の高空間分解能観測による検証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](#)

P232a 乱流の直接数値計算による原始惑星系円盤中の粒子運動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、従来、乱流は微粒子の衝突・合体を妨げるものと考えられていたが、近年、乱流にはむしろ衝突・合体を促進する働きがあるとして着目されている (Pan et al., *Astrophys. J.* 2011)。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) の運動の理解は微惑星形成過程の解明のために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についても把握しておく必要がある。乱流中の慣性粒子の運動を理解するためには、粘性を入れたナビエ・ストークス (NS) 方程式をモデル化せず高精度に解き微細な渦の動きまで解像する乱流の大規模な直接数値計算 (DNS) が有効である。そこで、本研究では外力のある NS 方程式の DNS により得られる乱流中で鉛直重力の働く慣性粒子の運動を追跡し、乱流中の慣性粒子の運動に対する鉛直重力の影響について解析した。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 (乱流中の典型的な加速度 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。ここで η はコルモゴロフ長 (乱流中の最小渦のスケール) である。最大格子点数 512^3 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 (RDF) を調べたところ、乱流の影響を受けて $r/\eta < 10$ のスケールで集まりやすい $St = O(1)$ の粒子も重力の影響が強くなる ($Fr < 0.1$) とその集中が妨げられることが分かった。他の影響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](#)

P233a 電磁流体乱流の直接数値シミュレーションによる原始惑星系円盤内の粒子運動の解析

高橋 良輔、江野畑 圭、岡本 直也、芳松 克則、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、電磁流体 (MHD) 乱流中の微粒子の運動の理解が重要である。円盤内では、流れに対する磁場の強さを表す指標である磁気プラントル数 P_M が幅広い値をとる。近年のスーパーコンピュータの発展により、MHD の基礎方程式をモデル化することなく解き、かつ微細な構造まで捉える事の出来る直接数値シミュレーション (DNS) が可能になってきた。過去の研究により、磁場の影響のない乱流中には、チューブ状の渦構造が存在し、ある範囲の慣性をもつ粒子はチューブ構造から弾き出され、周囲の領域に集まる事が DNS により明らかにされている。一方、MHD に対しては、 $P_M = 1$ の MHD 乱流の DNS が行われ、渦構造がシート状であることや、渦構造と慣性粒子の分布の関係が調べられている。しかし、慣性粒子の分布が P_M および磁気レイノルズ数 R_M によってどのような変化をするのかは未だ知られていない。我々の研究では、さまざまな P_M の MHD 乱流中において、粒子の慣性の依存性を調べることで、微惑星形成過程における MHD 乱流の役割を解明することを目的とする。MHD 乱流の DNS には空間離散化にフーリエスペクトル法、時間離散化に 4 段 4 次ルンゲクッタ法を用いる。講演では、さまざまな P_M の MHD 乱流において、得られた粒子の位置情報から動径分布関数を求め解析した結果などを発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P234a 微惑星形成過程解明のための乱流の直接数値計算と粒子追跡

江野畑 圭, 石原 卓, 白石賢二 (名古屋大学), 森下浩二 (神戸大学), 中本泰史 (東京工業大学), 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は、乱流状態にあるガス中の微粒子の運動、および、衝突・合体・成長のメカニズムが未解明である。従来、乱流は粒子の衝突・合体を妨げるものと考えられていたが、近年、乱流にはむしろ衝突・合体を促進する働きがあるとして着目されている (Pan et al., *Astrophys. J.* 2011)。しかし、先行研究では、粘性を入れたナビエ・ストークス (NS) 方程式を解くのではなく、数値拡散によって粘性を模擬したモデル化を行っているため、慣性領域から散逸領域に至る乱流の振る舞いを正確に計算できているかどうかは定かではない。近年のスーパーコンピュータの著しい発達により、NS 方程式をモデル化せず高精度に解き微細な渦の動きまで解像する、乱流の大規模な直接数値計算 (DNS) が実施され、高 Re 乱流の理解が進んでいる。本研究の目的は、外力のある NS 方程式の DNS により得られる乱流中で慣性粒子の運動を追跡し、乱流と慣性粒子の運動の統計的性質を調べ、微惑星形成過程における乱流の役割を理解することである。これまでに、乱流 DNS の並列コードへの 3 次スプライン補間に基づく粒子追跡コードの組み込み、外力のある非圧縮 NS 方程式の DNS (最大格子点数 1024^3 , $Re = 6710$) による乱流場中で 128^3 個の粒子追跡を行った。得られた粒子の位置情報から動径分布関数 (RDF) を求め解析したところ、Pan et al. (2011) の圧縮性乱流の数値計算と同様に、距離 $r < \eta$ (η はコルモゴロフ長) で RDF が r のべき則に従って r が小さいほど大きくなることが分かった。これは、乱流による粒子の衝突の促進を示唆するが、乱流 DNS ではその傾向がより顕著であった。また、乱流 DNS による慣性の大きい粒子の RDF は Pan et al. (2011) の結果より小さいが Re の増加関数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](#)

P235a 微惑星衝突問題への拡張：ゴドノフ SPH 法の張力優勢領域での安定化

杉浦圭祐（名古屋大学）、犬塚修一郎（名古屋大学）

固体惑星は天体衝突の繰り返しによる合体成長で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及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) 法という流体の数値計算方法を弾性体に応用することで行われている。また一般に広く使われている SPH 法は標準 SPH 法と呼ばれている。しかし標準 SPH 法には、固体が引き伸ばされた時に生じる張力を表す負の圧力の状態において、Tensile Instability という粒子同士がくっつく不安定性が存在する (Swegle et al. 1995)。この解決を試みた先行研究はいくつか存在するが (e.g., Monaghan 2000)、人工的な項を付加しているなどの問題点を抱えており、不安定になる場合があるという報告もある。従って天体の衝突計算を行うにあたって、より自然で堅牢な計算法を開発することが望まれている。

標準 SPH 法では離散化をする際に荒い近似を使用しているため、一般の粒子配置では空間 1 次精度すら達成できない。一方でゴドノフ SPH 法 (Inutsuka 2002) では離散化を数学的に厳密に定式化し、空間 2 次精度を達成している。我々はこの高精度なゴドノフ SPH 法を用いて Tensile Instability を解決することに取り組んだ。本講演ではゴドノフ SPH 法の安定性を線形安定性解析で評価した結果を示し、ゴドノフ SPH 法を用いた Tensile Instability の自然で新しい解決方法を紹介する。またゴドノフ SPH 法による弾性体力学のテスト計算の結果も紹介し、この新しい方法の有効性についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P236a 惑星の大領域集積計算：ガス円盤内での惑星の外側への移動

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

本研究では微惑星集積について、アイスラインを含めた広い領域で、ガス抵抗とタイプ1惑星移動の効果をいれた、現実的な N 体計算を行った。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に限られてきた。本研究では、既に開発した並列 N 体計算コードにガス抵抗とタイプ1惑星移動の効果を導入した。ガス抵抗とタイプ1惑星移動は微惑星や原始惑星を中心星方向に落としてしまう効果として知られている。本研究で扱う微惑星の重力による惑星の外側への移動はそれらに対抗する効果となりうるのかを検証した。

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、微惑星の暴走成長は微惑星円盤の内縁だけでなくアイスラインのすぐ外側でも起こる可能性があり、その成長した物は周囲のガスをまとい、ガス惑星を形成する可能性がある。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りの微惑星は原始惑星に集積したものと仮定し、計算を行った。その結果、ガス抵抗により周囲の微惑星のランダム速度は減少し、微惑星の重力による惑星の外側への移動は助長されることがわかった。また、この外側への移動はタイプ1惑星移動の効果より強い場合があることもわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P237a その場で巨大衝突集積した惑星系における初期ランダム速度の影響

松本侑士, 小久保英一郎 (国立天文台)

近年の観測によって多数の地球型惑星が観測されてきている。この中で質量が30地球質量程度以下のものを、スーパーアースと呼ぶ。これらスーパーアースは中心星近傍(~ 0.1 AU)に多く発見されている。太陽系には惑星のない中心星近傍領域での地球型惑星の形成を説明すべく、その場での集積モデル(e.g., Hansen & Murray 2012; 2013)、外側で形成した惑星の軌道落下モデル(e.g., Cresswell & Nelson 2006)、軌道落下した微惑星や原始惑星がその場で集積したモデル(e.g., Ogihara & Ida 2009)が提案されている。これらのモデルではガス円盤の影響によって形成する惑星の離心率が変化するため、観測された系外惑星の離心率との比較による形成モデルの制約が考えられている(Ogihara et al., 2015)。巨大衝突段階のランダム速度の進化は、円盤ガスと微惑星の効果を考慮しない場合、散乱による上昇と衝突による減衰で決まる(Matsumoto et al., submitted)。衝突による離心率と傾斜角の減衰は初期の軌道間隔や離心率、傾斜角に依存するため、最終的な離心率・傾斜角は初期の値で特徴付けられている可能性がある。しかし、初期ランダム速度の形成される惑星系の構造への影響を系統的に調べた研究はこれまでにない。そこで本研究では初期ランダム速度を振った巨大衝突段階のN体計算を行い、最終的に形成する惑星系の離心率・傾斜角を調べた。計算の結果、最終的な惑星の離心率・傾斜角や惑星の個数などは初期離心率を大きく振っても変化しない一方で、初期傾斜角が大きいと形成される惑星の離心率・傾斜角が大きくなることがわかった。円盤ガス中では傾斜角は減衰するため、傾斜角の大きな地球型惑星系が観測された場合、傾斜角が初期に高い原始惑星系がその場で集積することによって形成をした可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P238a 巨大衝突による近接地球型惑星の形成 II. 惑星系の最小角運動量欠損

小久保英一郎 (国立天文台)、Ramon Brassier、井田茂 (東京工業大学)

近年、視線速度法やトランジット法の高精度化によって多数の小質量/小半径惑星が発見されている。その中で軌道周期が約 100 日以下で質量が約 30 地球質量以下の惑星を近接 (大型) 地球型惑星 (スーパーアース) とよぶ。これまでの観測によって、近接地球型惑星は過半数の恒星に存在し、そのほとんどが複数惑星系であることがわかってきた。このような惑星系の形成シナリオとして、大質量円盤からのその場形成や外側から移動してきた原始惑星からの形成が考えられている。どちらのシナリオも形成の最終段階は原始惑星どうしの巨大衝突となる。そこで恒星近傍領域での巨大衝突による惑星形成の素過程を多体シミュレーションによって調べている。恒星近傍領域では恒星重力が強く、原始惑星どうしの重力散乱の効果は弱い。また、ヒル半径が小さくなるため衝突断面積と重力散乱断面積の比が大きくなっている。このため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) には最小値が存在することがわかった。すなわち、原始惑星の相互重力によって軌道不安定になり巨大衝突を起こして形成される惑星の軌道離心率や傾斜角は一定値以上になる。また、これは形成される安定に存在可能な惑星数には角運動量欠損で決まる上限が存在することを意味する。本発表では、恒星近傍での巨大衝突によって形成される近接地球型惑星系の軌道構造がどのように決まるかを示し、その理由について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P239a M型星における地球型惑星の形成過程

押野翔一, 松本侑士, 小久保英一郎 (国立天文台)

Kepler 宇宙望遠鏡による系外惑星の探査の結果、現在数千個にのぼる惑星候補天体が発見されている。また、質量が決定されている惑星も 1900 個を超えている。その中で主に惑星が発見されているのは FGK 型星であり、M 型星については 100 個程度の惑星しか見つかっていない。これは M 型星の波長のピークが赤外域に存在するため、これまで行われてきた可視光によるサーベイでは観測が難しかったためである。しかし、近年すばる望遠鏡用に開発が進められている赤外ドップラー装置 (IRD) をはじめとする機器による系外惑星探査計画が複数進められており、今後 M 型星における惑星の発見が増加すると考えられる。M 型星では太陽型星に比べ中心星温度が低いためハビタブルゾーンが地球より中心星近くに位置する。内側に存在する惑星からのシグナルは外側より短い周期で確認できるため、ハビタブルプラネットの発見の可能性がより高くなると期待されている。

本研究では、中心星重力が異なる場合に出来る惑星系について、惑星形成の最終段階である巨大衝突段階について N 体シミュレーションを用いて調べた。中心星質量が小さくなる事により物理半径ヒル半径比は小さくなる。その結果、太陽型星に比べ M 型星は惑星に及ぼす重力が小さくなり、惑星の重力圏が広がる。そのため M 型星では惑星同士の間隔が太陽型星より広い惑星系になる結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P240a 黄道光の空間非軸対称性から推定するダストサイズ分布

植田高啓, 竹内拓 (東京工業大学), 小林浩 (名古屋大学)

惑星形成の主要モデルであるコア集積モデルでは、微惑星同士の衝突時に生じるダストの量やサイズによって惑星の成長できるサイズが決まるため、衝突破壊で生じるダストの量やサイズは重要なテーマの一つである。

太陽系内には、小惑星同士が衝突した際に生じたダストが漂っており、これらの太陽光散乱光は黄道光と呼ばれる。ダストは、太陽光の輻射エネルギーを吸収・再輻射することで徐々に角運動量を失い(ポインティング・ロバートソン効果)、太陽方向に落下する。落下してきたダストは、地球の共鳴軌道上の特徴的な位置に一定時間捕獲される。その位置はダストのサイズに依存する。これによって生じるダストの空間分布の非軸対称性が、黄道光の非軸対称性として観測される。

本研究では、ダストサイズをパラメータとして、太陽および地球の重力と太陽からの輻射を考慮してダストの三次元軌道計算を行い、ダストの空間分布とダストサイズの関係性を調べた。計算の際、ダストの離心率や軌道傾斜角の初期条件は、小惑星帯の離心率・軌道傾斜角分布をもとに乱数的に与えた。計算の結果、大きいダストほど軌道共鳴に捕獲されやすく、非軸対称性を作りやすいことがわかった。これは、大きいダストほど落下速度が遅いためである。赤外線天文衛星「あかり」などのデータからは、地球の進行方向前方に比べて、後方の方が放射強度が中間赤外域で3-4%程度強いと見積もられる。本発表では、ダストの軌道計算の結果について述べ、観測で見られるこのような放射強度差を説明できるようなダストサイズ分布について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P241a ガス円盤中での小天体の軌道進化

小林 浩 (名古屋大学)

惑星は原始惑星系円盤の中で天体が衝突合体をくりかえし、形成される。現在の太陽系でも、数多く観測されているキロメートル大かそれよりも大きな天体は微惑星と呼ばれ、原始惑星系円盤の中で惑星形成の材料となった。また、このような天体は惑星の周りを公転する衛星の起源ともなっていると考えられている。このような天体はケプラーの法則に従い楕円軌道で中心星の周りを公転しているが、円盤中ではガス抵抗を受けて軌道が変化する。つまり、これらの天体の軌道は軌道長半径 a 、軌道離心率 e 、軌道傾斜角 i で特徴付けられるが、ガス抵抗によってこれらの軌道要素の時間微分 (\dot{a} , \dot{e} , \dot{i}) が与えられている。ガス抵抗により軌道長半径は減衰する ($\dot{a} < 0$)。これは天体の中心星への落下を示し惑星の材料である固体の分布を決める。また、離心率や傾斜角は小天体と原始惑星の衝突断面積を決める。そのため、これらの正確な表式は惑星形成において非常に重要である。惑星形成前期では、天体の軌道は円軌道に近く ($e \ll 1$)、原始惑星系円盤の赤道面に非常に近い軌道面を持つ ($i \ll H/a$ 、ここで H は円盤のスケールハイト)。過去の研究では、このような状態の軌道進化率を求められている。しかし、惑星形成の後期では、惑星による摂動も大きいため、離心率と傾斜角は過去の研究で仮定されていた値よりも当然大きくなる。また、木星型惑星の不規則衛星は非常に傾斜角が大きく、周惑星円盤から受けるガス抵抗は過去の研究の結果からは見積もることはできない。本研究では、離心率や傾斜角が大きい天体がガス抵抗を受けたときの \dot{a} , \dot{e} , \dot{i} を解析的に導出した。この解析解を用いて、不規則衛星が周惑星円盤によって捕獲されるには周惑星系円盤は規則衛星を再現するのに最低限必要な円盤質量程度があればよいが、不規則衛星のような高い傾斜角を保つためには円盤の消失の直前 7000 年程度で捕獲される必要があると制限を置くことができた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P242a 捕獲された固体物質の周惑星円盤内での分布

末次竜、大槻圭史（神戸大学）

木星や土星などの巨大惑星の周りには、衛星が公転している。こうした衛星はほぼ円軌道で惑星の赤道面を公転している。そのため巨大惑星の形成過程において惑星周りに形成された周惑星円盤内で衛星は誕生したと考えられている。現在の衛星形成モデルでは、周惑星円盤に降着するガス流とともに流入してくるダストサイズの固体物質が衛星の主な材料物質と考えられている。ところが、最近の軌道計算を用いた固体物質の周惑星円盤への供給過程を調べた研究から、衛星の材料となった固体物質は従来のダストサイズのものだけでなく、比較的大きな固体物質(10m-1km)も、周惑星円盤に供給されることが明らかになった。しかしながら、周惑星円盤に供給された固体物質の円盤内での空間分布は、衛星の形成や軌道進化に大きな影響を与えるにも関わらず、ほとんど解明されていない。そこで本研究では周惑星円盤からのガス抵抗によって捕獲された固体物質の周惑星円盤内での空間分布を軌道計算を用いて調べた。計算の結果、周惑星円盤内にある固体物質は、ガス抵抗によって捕獲され順行方向に公転するもの、逆行方向に公転するもの、そして捕獲されず円盤を通過していくものの三種類に分類できることが明らかとなった。それらの面数密度を求めた結果、現在の木星のガリレオ衛星が公転している領域において捕獲された固体物質が分布することがわかった。また惑星軌道近傍の固体物質のギャップによる非一様分布を考慮した場合、周惑星円盤内の面数密度はギャップの拡大とともに減少していく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](#)

P243a 土星の環の自己重力ウェイク構造の傾き角

道越秀吾, 小久保英一郎 (国立天文台)

土星の環は氷の粒子で構成されており、粒子間の自己重力によって、塊を形成しようとする。一方で、差動回転によって構造は破壊される。この2つの過程の競合により、自己重力ウェイク構造とよばれる空間パターンが形成されると考えられている。自己重力ウェイク構造の空間スケールは非常に小さく、現在でも直接観測は成功していない。しかし、土星の環の輝度の方位角方向の依存性とシミュレーションで見られる空間パターンの詳細な比較検討により、自己重力ウェイク構造が存在することが確かめられている。

これまでに N 体シミュレーションによって自己重力ウェイク構造が調べられてきた。しかし、自己重力ウェイク構造の特性が土星の環の各種パラメータにどのように依存するか、完全には理解されていない。そこで、様々なパラメータを用いて N 体シミュレーションを行い、土星の環の構造がそれらにどのように依存するか、そしてその依存性がどのような物理機構によって説明されるかを調べる研究を計画している。

まず研究の第一歩として、自己重力ウェイク構造を特徴付ける量の1つであるピッチ角に着目した。ピッチ角は方位角方向とウェイク構造のなす角度のことである。土星の環の面密度、土星中心からの距離、衝突係数、サイズ分布に対するピッチ角の依存性を調べた。

その結果、自己重力ウェイク構造の低密度部分は、パラメータによらずおよそ 10° 程度であることが分かった。一方で、高密度部分では、土星からの距離が遠ざかるほど、そして粒子のサイズ分布の幅が広がるほど、ピッチ角は大きくなる。これらの結果は、観測によるピッチ角の推定値と無矛盾である。講演ではこれらの依存性が生じる原因について簡単なモデルから議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P244a ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星探査

中村良介(産総研)、森治、矢野創、岩田隆浩、岡田達明、(JAXA)、松浦周二(関西学院大)、
癸生川陽子(横国大)、青木順(大阪大)、臼井文彦(東京大学)、木下大輔(台湾中央大)、パトリック
リカフィカ(近畿大)、津村耕司(東北大)

木星のラグランジュ点付近に存在するトロヤ群小惑星の起源については、以下のようなふたつの仮説が提唱されている (A) 木星が形成された時に周囲の微惑星が捕獲された (B) 太陽系形成から数億年経過した後に、木星以遠の惑星が大規模な移動を経験し、その時に海王星以遠にいた天体がトラップされた (NICE モデル)。 Snow line 以遠では、水よりも揮発性の低い CO, CO₂, CH₄, NH₃, N₂ と言った揮発性の高い物質も凝結して固体となるため、その混合比および炭素・水素・窒素・酸素の同位体比も大きく変化する。A のシナリオでは、トロヤ群の組成は木星付近での原始惑星系円盤の組成を反映しており、小惑星帯外縁部の組成と連続しているはずである。一方 B のシナリオでは、海王星以遠に存在するカイパーベルト天体や短周期彗星と同じ起源・組成を持つことになる。小惑星帯に存在する C 型の小惑星では、液体の水が無水鉱物と反応し含水鉱物が形成されている。これに対して彗星では、氷と無水のケイ酸塩が共存している。そこで我々は、(1) 種々の氷・含水鉱物・有機物が特徴的な吸収を持つ赤外域 (とくに 2500~5000 nm の波長域) でトロヤ群小惑星のイメージング分光を行う母機 (2) 小惑星表面に降り立ち揮発性の高い炭素・水素・窒素・酸素などの同位体比をその場測定する子機、から成るソーラー電力セイル探査機の検討をすすめている。2020 年代に打ち上げるために進行中の、ミッション設計・探査候補天体のサーベイ・搭載機器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](#)

【Q. 星間現象】

9月10日(木) 午後(13:30-15:30) [F会場]

Q01a	13:30	グリシン前駆体、CH ₂ NH が豊富な天体の物理的特徴 鈴木大輝 (総合研究大学院大学)
Q02a	13:42	VLT/ISAAC infrared spectroscopy of embedded high-mass YSOs in the Large Magellanic Cloud: Methanol and the 3.47 μm band 下西隆 (東北大学)
Q03a	13:54	Diffuse interstellar bands の同定に向けたフェノキシラジカルの実験室分光 荒木光典 (東京理科大学)
Q04b	14:06	低質量星形成領域 L1527 における 42-44GHz 帯の炭素鎖分子ラインサーベイ 荒木光典 (東京理科大学)
Q05b	14:06	WINERED を用いた Cyg OB2 association の赤外線高分散分光観測 –DIB の環境依存性– 濱野哲史 (京都産業大学)
Q06b	14:06	Infrared absorption spectra of LIME olivine and its detection feasibility in observations 茅原弘毅 (大阪産業大学)
Q07a	14:18	国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙環境曝露実験 左近樹 (東京大学)
Q08b	14:30	高銀緯分子雲 MBM 30 と MBM 20 の可視偏光とサブミリ波データとの比較: 星間塵粒子の整列機構の考察 松村雅文 (香川大学)
Q09b	14:30	AKARI and AME: A look at microwave dust emission via the Infrared Aaron C. Bell (University of Tokyo)
Q10b	14:30	高銀緯領域における近赤外線 1 – 5 μm 銀河拡散光の測定 佐野圭 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
Q11a	14:42	ALMA Calibrator Source を用いた銀河系内分子吸収線系の検出とその物理化学状態の考察 安藤亮 (東京大学)
Q12a	14:54	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 2014 年度進捗 梅本智文 (国立天文台)
Q13a	15:06	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: JCMT と野辺山 45m 望遠鏡を用いたコンパクト HII 領域の CO 輝線観測 河野樹人 (名古屋大学)
Q14b	15:18	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 銀河系外縁部 2 松尾光洋 (鹿児島大学)
Q15b	15:18	大阪府立大学 1.85m 電波望遠鏡による銀河系内分子雲の広域観測: 2014 年度進捗 徳田一起 (大阪府立大学)

9月11日(金) 午前(09:30-11:30) [F会場]

Q16a	09:30	Do stars destroy their gaseous nurseries? Elizabeth Tasker (Hokkaido Univ.)
Q17a	09:42	温度非等方な非一様プラズマ中に励起されるワイベル不安定性 富田沙羅 (青山学院大学)
Q18a	09:54	宇宙線を考慮した磁気流体方程式の新たな数値解法 工藤祐己 (千葉大学)
Q19b	10:06	光蒸発の流体中での化学反応への依存性 本山 一隆 (国立情報学研究所)
Q20b	10:06	非一様媒質と相互作用する超新星残骸衝撃波での宇宙線加速効率についての理論研究 霜田治朗 (青山学院大学)
Q21b	10:06	Synchrotron 放射における輻射反作用を考慮した相対論的衝撃波による粒子加速シミュレーション 野上雅弘 (青山学院大学)
Q22c		Three-dimensional MHD Simulations of the Parker Instability with Cooling/Heating Effects Chih-Han Peng (Chiba Univ.)
Q23a	10:18	スーパーバブル 30 Doradus C の X 線データ詳細解析 馬場崎康敬 (名古屋大学)
Q24b	10:30	スーパーバブル 30 Doradus C における星間ガスと高エネルギー放射 佐野栄俊 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

Q25b	10:30	Magnetic Field Strength in the Sagittarius A Molecular Cloud Complex	坪井昌人 (宇宙航空研究開発機構)
Q26b	10:30	銀河系中心からのプラズマアウトフローの観測	中島真也 (宇宙航空研究開発機構)
Q27a	10:42	銀河系中心における拡散 X 線放射と星数密度分布との違いについて	西山正吾 (宮城教育大学)
Q28a	10:54	銀河リッジ X 線放射の 6.4 keV 輝線	信川久実子 (京都大学)
Q29a	11:06	星フレアの銀河リッジ X 線放射への寄与	松岡勝 (理化学研究所)
Q30a	11:18	かに星雲のガンマ線フレアの物理的制約	寺木悠人 (理化学研究所)

9月11日 (金) 午後 (13:30-15:30) [F 会場]

Q31a	13:30	速度分散を持つ中性水素クランプとジェットの相互作用シミュレーション	朝比奈雄太 (国立天文台)
Q32a	13:42	21cm 線スペクトルを使った中性水素原子の定量: 数値シミュレーションとの比較	早川貴敬 (名古屋大学)
Q33a	13:54	銀河面に衝突する中間的速度 HI 雲 (IVC) の発見	丸山将平 (名古屋大学)
Q34a	14:06	分子雲衝突によって誘発された大質量星形成: JCMT ^{12}CO J=3-2 輝線を用いたコンパクト HII 領域に付随する分子雲	大浜晶生 (名古屋大学)
Q35a	14:18	Mopra 望遠鏡と ASTE 望遠鏡による Spitzer Bubble S145(RCW79) に対する CO 輝線詳細観測	長谷川敬亮 (名古屋大学)
Q36a	14:30	Spitzer バブル S36 に対する分子雲観測: 分子雲衝突による大質量星形成	鳥居和史 (名古屋大学)
Q37a	14:42	複合的バブル領域 S116, S117, S118 における分子雲衝突	服部有祐 (名古屋大学)
Q38a	14:54	IRSF・「すざく」・「あかり」で探る超新星残骸 IC443 における鉄輝線の起源	國生拓摩 (名古屋大学)
Q39a	15:06	大小マゼラン雲における超新星残骸周辺の分子ガスサーベイ観測	藤井浩介 (東京大学)

Q01a グリシン前駆体、 CH_2NH が豊富な天体の物理的特徴

鈴木大輝 (総合研究大学院大学), 大石雅寿 (国立天文台), 斎藤正雄 (国立天文台), 廣田朋也 (国立天文台)

近年、大型干渉計 ALMA によって、最も単純なアミノ酸であるグリシンが星間空間で初検出されることが期待されている。一方でグリシン前駆体と考えられる分子の化学進化の理解は十分に進んでいない。実験・理論的に提案されているグリシン前駆体分子を複数の星形成領域で探査し前駆体の豊富な天体の特徴を理解することで、生体分子の化学進化の理解を進めるとともに将来的なグリシン探査を行う有力なヒントを得ることができる。実験的・理論的には星間塵の表面で HCN に水素が付加して CH_2NH や CH_3NH_2 が形成され、 CO_2 と CH_3NH_2 が反応してグリシンが形成されると提案されている。しかし、実際の星間空間での化学進化は CH_2NH と CH_3NH_2 の観測例が少ないため理解されてこなかった。

そこでこれまで、我々はこれらの前駆体分子 CH_2NH と CH_3NH_2 の多天体探査を行ってきた。その結果、 CH_2NH は 8 つの大型星形成領域で検出され (Suzuki et al.(2015) in prep)、 CH_3NH_2 はそのうちの 2 天体で検出された (Ohishi et al.(2015) in prep)。特に、 CH_2NH の存在量は豊富な天体と最も低い天体の間では 2 桁近く異なっていることが分かった。今回の講演では、 CH_2NH の存在量がなぜこれほど大きく異なっているのかを議論した結果を報告する。 CH_2NH の存在量に最も大きな影響を与えている天体の特徴を理解するために、天体までの距離、温度、進化段階という 3 つの視点から CH_2NH の存在量との関連を調査した。その結果、HII 領域が発達していない早期の進化段階にある天体ではダストから蒸発した CH_2NH の紫外線による破壊が少ないため存在量が高い、という仮説が有力であるという結論に至った。講演では上記仮説に至るまでの過程を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a **VLT/ISAAC infrared spectroscopy of embedded high-mass YSOs in the Large Magellanic Cloud: Methanol and the 3.47 μm band**

下西隆 (東北大学)、E. Dartois (IAS/Paris-Sud University)、尾中敬 (東京大学)、F. Boulanger (IAS/Paris-Sud University)

We report the results of 3–4 μm spectroscopic observations towards eleven embedded high-mass young stellar objects (YSOs) in the Large Magellanic Cloud (LMC) with the ISAAC at the Very Large Telescope. Absorption bands due to solid H_2O and CH_3OH as well as the 3.47 μm band are detected, and the properties of these bands are investigated based on comparisons with Galactic embedded sources. We found that the 3.53 μm CH_3OH ice absorption band for the LMC high-mass YSOs is absent or very weak compared to those seen toward Galactic counterparts. We propose that grain surface reactions at relatively high dust temperature (warm ice chemistry) are responsible for the low abundance of solid CH_3OH in the LMC. The 3.47 μm absorption band, which is generally seen in Galactic embedded sources, is detected toward six out of eleven LMC YSOs. In contrast to the CH_3OH ice band, strength ratios of the 3.47 μm band and water ice band are found to be similar between the LMC and Galactic samples. Although the carrier of the band is still under debate, our result suggests that the lower metallicity and different interstellar environment of the LMC have little effect on the abundance ratio of the 3.47 μm band carrier and water ice. In this presentation, we are going to discuss the characteristics of the infrared C–H stretching region spectrum in low metallicity environments.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q03a **Diffuse interstellar bands の同定に向けたフェノキシラジカルの実験室
分光**

荒木光典, 松下友樹, 築山光一

未同定の星間分子が、可視光領域の吸収線 Diffuse interstellar bands として Diffuse clouds の中で 600 本程度観測されている。これらは希薄な分子雲が明るい恒星の手前に存在するときに、その恒星を光源として得られる Diffuse clouds の吸収スペクトルの中に観測されている。発見以来 90 年以上が経過するが、未だにその原因となる物質が同定されていない。これを同定するため、実験室において、放電による星間分子の生成と分光器による測定を行っている。生成にはホロカソード放電を用い、測定には近年開発した Cavity ring down 分光器を用いていた。これら装置により、星間分子候補のフェノキシラジカル (C₆H₅O) の高分解能吸収スペクトルを測定した。同時に量子化学計算も行い、分子構造と振動周波数を決定した。これらの情報から、スペクトルの振動構造を解析しスペクトルの帰属を行った。その帰属を用いて、低温の星間空間におけるフェノキシラジカルのスペクトルを予測した。さらに、メチル基置換体についても、量子化学計算をもとにスペクトルを予想した。これらの情報から、HD204827 方向で観測されているの Diffuse interstellar bands との比較検討を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04b 低質量星形成領域 L1527 における 42-44GHz 帯の炭素鎖分子ラインサーベイ

荒木光典, 高野秀路, 坂井奈美, 山本智, 小山貴裕, 久世信彦, 築山光一

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ている。その炭素鎖分子は、これまで暗黒星雲、特におうし座分子雲 TMC-1 で多く発見されてきた。そして近年、暗黒星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。しかし、長い炭素鎖分子については、L1527 での検出は TMC-1 より遅れている。そこで、今回、L1527 での長い炭素鎖分子の存在量調査を行なった。本調査は、GBT 100m 望遠鏡を用いて、42-44 GHz 帯にて行なわれた。その結果、これまで TMC-1 でしか見つかっていなかった CH₃C₄H を L1527 で初めて検出できた。その柱密度は、励起温度を 13.9 K と仮定し、7E12 cm⁻² であった。すでに検出されている CH₃C₂H より一桁少ない量であった。一方で、L1527 でも C₅H がこれまで検出されているにもかかわらず、C₇H は未検出であった。また、HC₅N もこれまで検出されているが、HC₄NC は未検出であった。さらに、l-C₆H₂ のこの帯域の遷移を追加検出することができた。短い炭素鎖分子 HC₃N については、すべての同位体 (D, ¹³C, ¹⁵N) の同時観測ができた。これらの結果から、各炭素鎖分子の存在量を見積り、TMC-1 と比較検討を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q05b **WINEREDを用いた Cyg OB2 associationの赤外線高分散分光観測 – DIBの環境依存性 –**

濱野哲史, 河北秀世, 近藤荘平, 池田優二, 鮫島寛明, 中西賢之, 川西崇史, 中岡哲弥, 大坪翔悟, 北野綺華 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之, 安井千香子, 福江慧, 泉奈都子, 水本岬希, 山本遼, 三戸洋之 (東京大学), 木下将臣 (名古屋大学)

背景星のスペクトル上に検出される幅の太い吸収線である diffuse interstellar band (DIB) は、星間有機分子による電子遷移と考えられているがそのキャリアは未だに同定されていない。われわれは従来の可視光観測では星間減光で観測されてこなかった多様な領域で DIB の性質を調べるべく、神山天文台の荒木 1.3m 望遠鏡に搭載されている近赤外高分散分光器「WINERED」を用いた「赤外線 DIB」の観測的研究を推進している。WINERED のカバーする波長域 ($0.9 - 1.35 \mu\text{m}$) においては 5 本の DIB しか知られていなかったが、WINERED の高い波長分解能 ($R = 28,000$) と感度を活かす事で新たに 15 本の DIB を発見することに成功している (Hamano et al., 2015, ApJ, 800, 137, 2015 年春期年会 Q21a 濱野ほか)。

本年会では、非常に強い DIB が検出される視線として知られている Cyg OB2 association に含まれる早期型星 7 天体の観測結果について報告する。われわれは赤外線 DIB 計 20 本を全天体について検出し、高い精度で等価幅を測定することに成功した。同星団は視線上のガス雲中の小さいサイズの分子 (e.g., H_3^+ , C_2 , CN) が吸収線で観測されており、複雑な密度構造を持つことが知られている。また、視線上のガス雲は多数の早期型星による強い UV フラックスにさらされていることが示唆されている。本講演では、本観測によって見いだされた DIB の環境依存性について報告し、またそこから示唆される DIB キャリアの性質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](#)

Q06b **Infrared absorption spectra of LIME olivine and its detection feasibility in observations**

Hiroki Chihara (Osaka Sangyo Univ.), Kento Ando(Osaka Univ.), Chiyoe Koike (Ritsumeikan Univ.) and Akira Tsuchiyama (Kyoto Univ.)

From the view point of Solar abundance, common chemical composition of olivine in meteorites is expected as solid-solution between Mg_2SiO_4 and Fe_2SiO_4 . The abundance of Mn is expected 2 orders less than those of Mg and Fe in the primitive solar nebular. However, Mn enriched but Fe depleted olivine and pyroxene were discovered in unequilibrated ordinary chondrites, IDPs (Interplanetary Dust Particles) (Klöck et al. 1989) and also *Stardust mission* samples from Comet 81/Wild2 (Zolensky et al. 2006). These silicates with peculiar chemistry are called LIME (*Low-Iron, Manganese-Enriched*) olivine and pyroxene. These LIME silicates may indicate a link between the origin and history of IDPs and the matrix materials of primitive meteorites. However, its origin and evolution processes are almost unknown, because reports on LIME silicates are scarcely in literature. In this work, we synthesized LIME olivine with wide chemical range of Mn-Mg solid-solution $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{SiO}_4$, and measured Infrared absorption spectra between 8 and 100 μm and examined detection feasibility in observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙環境曝露実験

左近 樹, 尾中 敬 (東京大学), 木村誠二, 和田節子 (電気通信大学), 木村勇氣 (北海道大学), 中村正人 (日本大学), 市村淳 (ISAS/JAXA), 小川奈々子, 大河内直彦 (JAMSTEC), 稲富裕光 (ISAS/JAXA), 渡辺英幸, 赤城弘樹, 杉 紀夫 (JAXA)

国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した研究テーマ「炭素質ナノ粒子の宇宙風化と星間有機物進化の実証研究 (略称 QCC)」は、実験室で合成した急冷炭素質物質や窒素含有炭素質物質など約 40 種の実験試料を、約 1 年間高度 400km の ISS 軌道上の宇宙環境に曝露し、その後回収して、曝露前後での物性変化を定量的に調べる基礎研究である。本実験では、主として晩期型巨星星周で形成されたダストが星間空間に到達するまでの間に被る物理 / 化学変性を理解し、星間ダストの素性を調べることを目的とする。特に、宇宙環境曝露前後の物質の赤外分光特性の変化とそれに対応する物性変化の要因を特定することによって、次世代赤外衛星ミッションでもたらされる星間物質の赤外スペクトルを正しく解釈するための実験的根拠を得る事を狙う。日本天文学会 2015 年春季年会では、フライト実験準備移行審査、安全審査・出荷前審査を完了したことを報告した。その後、搭載サンプルは 2015 年 4 月 15 日 (日本時間) に米国スペース X 社の「ドラゴン」補給船運用 6 号機で宇宙ステーションに向けて打ち上げられた。2015 年 5 月 14 日にきぼう実験棟船内で ExHAM 1 号機に取り付けられた後、2015 年 5 月 26 日に船外の設置予定場所に取り付けられ、船外曝露実験を開始した。講演では、本宇宙曝露実験プロジェクトについて、比較の為にこれまでに実施した地上対照実験 (原子状酸素照射実験、紫外線照射実験、電子ビーム照射実験等) の結果とともに、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](#)

Q08b 高銀緯分子雲 MBM 30 と MBM 20 の可視偏光とサブミリ波データとの比較：星間塵粒子の整列機構の考察

松村雅文, 下谷梨恵 (香川大学), 関 宗蔵 (東北大学)

本研究では、高銀緯分子雲 MBM 30 と MBM 20 で観測された可視の直線偏光と、2015年2月にリリースされたプランク衛星による星間塵粒子に関するサブミリ波全天マップ (フラックス及び偏光) を比較し、塵粒子の整列機構を考察した。

遠方の恒星の光に観測される偏光は、塵粒子が整列していることを示すが、その整列機構は、充分には説明されていない。現在の定説では、輻射トルクにより塵粒子がスピナップして整列するとされ (例えば Draine & Weingartner 1996)、多くの観測が説明されている (例えば Matsumura et al. 2011)。しかし、輻射トルクによる整列は小さな塵粒子には有効でなく、紫外域で観測される星間偏光を説明するには、常磁性緩和の整列 (Davis-Greenstein 機構) も必要であるという指摘がある (Hoang & Lazarian 2014)。

ここでは、MBM 30 と MBM 20 方向の計 12 星で観測された可視偏光データ (Seki 1990, Seki & Matsumura 1996) と、サブミリ波データとを比較した。この結果、可視とサブミリ波の偏光の位置角は、ほぼ直行しており、どちらの偏光も同じ塵粒子によると考えて矛盾しないことを示した。また、MBM 30 方向にある A 型星 SAO 14889 の可視偏光では、偏光が最大になる波長 λ_{\max} が他より顕著に小さい ($\lambda_{\max} \sim 0.43\mu\text{m}$)。もし塵粒子が輻射トルクのみで整列しているなら、小さい λ_{\max} を実現 (つまり小さい塵粒子も整列) するには、塵粒子周囲の輻射強度が大きく、塵粒子からのサブミリ波強度も大きいはずである。しかし、プランク衛星のデータでは、そのようなことは見られない。このことは、輻射トルク以外の働きで小さい塵粒子が整列していることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09b **AKARI and AME: A look at microwave dust emission via the Infrared**

Aaron Bell, Takashi Onaka, Itsuki Sakon, Yasuo Doi, Fumihiko Usui, Ronin Wu, Mark Hammonds, Tamami Mori, Ryou Ohsawa (University of Tokyo), Daisuke Ishihara, Hidehiro Kaneda (Nagoya University), Frederic Galliano (IAS), Martin Giard (IRAP) of Tokyo, Ho-Gyu Lee (KASI)

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. Due to the overlap between the CMB and the galactic foreground, this topic is requiring cosmologists to consider the ISM with more care. Tiny dust grains, possibly polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), are one suspect for the AME carrier, due to their size and abundance. We present data from AKARI/Infrared Camera (IRC) 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 estimate the optical depth of thermal dust at 250 μm , and compare to AME parameters. We also show plots of each band's average intensity for all 98 regions vs. AME parameters. We find a positive trend between the optical depth and AME. In general, the MIR correlates less strongly with AME than the FIR. We cannot offer strong support of a spinning dust model, however the results highlight a need for better understanding of PAH band emission and magnetic dipole emission from dust.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10b 高銀緯領域における近赤外線 $1 - 5 \mu\text{m}$ 銀河拡散光の測定

佐野圭, 片ざ宏一 (東京大学/宇宙航空研究開発機構), 松浦周二 (関西学院大学), 松岡良樹 (国立天文台), 新井俊明, 津村耕司 (東北大学), 白籟麻衣 (国立天文台), 大西陽介 (東京工業大学), Timothy D. Brandt (プリンストン高等研究所)

銀河拡散光 (Diffuse Galactic Light : DGL) とは星間ダストによる星光散乱 ($\lambda \lesssim 2 \mu\text{m}$)、熱放射 ($\lambda \gtrsim 2 \mu\text{m}$) 成分であり、星間輻射場やダストのサイズ分布に制限を与える上で重要である。また、系外背景光の測定において、DGL は前景放射となるため除去する必要がある (本年会佐野講演 1 参照)。可視光では DGL の測定例があったが、輝度が微弱な近赤外線 DGL を抽出するのは、他の強い前景光 (黄道光と星光) が妨げとなり困難だった。

そこで、我々は COBE (Cosmic Background Explorer) 衛星に搭載された観測装置である Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE : ダービー) の全天データを用い、黄道光の成分分離と同時に、DGL の検出を試みた。星光を精確に評価するために Two Micron All-Sky Survey (2MASS) や Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) による全天ソースカタログを用いた。その結果、高銀緯 ($|b| > 35^\circ$) 1.25 、 2.2 、 3.5 、 $4.9 \mu\text{m}$ の波長域において、DGL とそれをトレースする星間 $100 \mu\text{m}$ 放射が一次相関することが初めて確認された。

本研究で得られた DGL の散乱成分のスペクトルは Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) によって得られた小さい領域の測定結果とおおよそ一致し、その青いスペクトルから小さいダストによる散乱が主であることが示唆される。また、 $3.5 \mu\text{m}$ における DGL は polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) 放射の寄与が支配的であり、本研究で得られた値は AKARI による低銀緯 ($5^\circ < |b| < 15^\circ$) における結果と同程度であるため、PAH の量と星間輻射場の強度には大きな銀緯依存性は無いことが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11a **ALMA Calibrator Source を用いた銀河系内分子吸収線系の検出とその物理化学状態の考察**

安藤亮, 河野孝太郎, 田村陽一, 泉拓磨, 梅畑豪紀 (東京大学), 永井洋 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大学), 濤崎智佳 (上越教育大学)

遠方のクエーサーを背景光源として、手前に存在する星間物質による分子吸収を生じている分子吸収線系は、星間物質の化学的性質や進化を探求する上での強力なツールである。このうち銀河系内の分子吸収線系観測からは、輝線では検出困難である希薄な星間ガスの物理化学状態が明らかになりつつある。その反面、吸収線の検出には強い背景光源が必要であることから、現在知られている分子吸収線系の数は限られている。

新たな分子吸収線系を探索する対象として、我々は過去に ALMA で観測されている膨大な数の位相較正用電波天体 (ALMA Calibrator Source) に着目した。ALMA の高感度・高速度分解能によって、短時間の積分でも何らかの分子吸収線を検出しているケースがあることを期待し、ALMA アーカイブデータに含まれる較正天体 36 個のスペクトル解析を行った。その結果、J1717-337 など 4 天体の方向で銀河系内の星間物質由来の分子吸収線を検出することに成功し、このうち 3 天体は過去に研究されていない新たな銀河系内吸収線系であった。また 2 天体においては HCO ラジカルの吸収線を検出したが、銀河系内の希薄なガスにおける HCO 吸収線は過去に 2 例しか報告されておらず、本研究はそのサンプル数を倍増させた。さらに HCO が PDR (光解離領域) のトレーサーであることから、観測された希薄なガスが PDR 的な環境にあり、何らかの熱源による光解離が生じていることが示唆される。本講演では、検出された新たな分子吸収線系について報告し、各分子の吸収線の解析結果を用いて銀河系内のガスの化学的性質を議論するとともに、分子吸収線系探索における ALMA の較正天体の有用性を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12a NRO 銀河面サーベイプロジェクト：2014 年度進捗

梅本智文, 南谷哲宏, 西村淳, 水野範和, 本間希樹, 井上剛志, 廣田明彦, 諸隈佳菜, Chibueze, J. (国立天文台), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 半田利弘, 面高俊宏, 中西裕之, 新永浩子, 松尾光洋, 小澤武揚 (鹿児島大), 松本尚子 (山口大), 大西利和, 徳田一起, 高橋諒 (大阪府大), 濤崎智佳, 小林幸典 (上越教育大), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大), 立原研悟, 鳥居和史, 佐野栄俊, 服部有祐, 吉池智史, 河野樹人 (名古屋大), 樋口あや (茨城大), 大朝由美子 (埼玉大), 亀谷和久 (東京理科大), 大橋聡史, 桑原翔, 祖父江義明 (東京大), 坪井昌人 (ISAS)

我々は、NRO レガシープロジェクトとして、野辺山宇宙電波観測所 45 m 鏡に搭載された新マルチビーム受信機 FOREST を用いた銀河面の CO サーベイ観測を進めている。45 m 鏡を用いることで、これまでの CO 輝線による銀河面サーベイとしては、最も高い角分解能を達成していると同時に、広帯域の 2SB 受信機である FOREST を使用した、世界初の $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ の 3 輝線同時観測である。CO の 3 輝線のデータを用いて、星間ガスの進化と銀河系の構造に関する研究を進めることが目的である (2014 年秋季年会 Q30a)。

我々は、銀河系の棒状構造・渦状腕を含む銀経 $10^\circ - 50^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ の領域と、銀河系の外側の渦状腕を含む銀経 $198^\circ - 236^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ の領域の大規模マッピングを計画しているが、2014 年度シーズンは合計 220 時間を用いて、それぞれ 15 平方度と 10 平方度、合計 25 平方度の CO 3 輝線のデータを得ることができた。2013 年度のデータと合わせると 48 平方度 (全体の 30 % 以上) 観測点数にして約 276 万点となる。この観測により、これまでの銀河面サーベイでは知られていなかった、さらに広範囲にわたる分子雲の極めて詳細な構造が明らかになった。本講演では、今シーズン行った観測の詳細、および来シーズン以降の観測計画等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q13a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト：JCMT と野辺山 45m 望遠鏡を用いたコンパクト HII 領域の CO 輝線観測**

河野樹人, 大濱晶生, 鳥居和史, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 梅本智文, 南谷哲宏, 西村淳 (国立天文台), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大), 津田裕也 (明星大), 銀河面サーベイチーム

大質量星の形成過程は、現代天文学の最も重要な課題の1つである。近年我々は、NANTEN2 望遠鏡による分子雲の観測から、分子雲同士の衝突による大質量星の誘発的生成モデルを提案している (Furukawa et al. 2009; Fukui et al. 2014)。分子雲同士の衝突による大質量星形成初期には、サイズが 0.1-0.5 pc のコンパクト HII 領域が形成され、やがて膨張し通常の HII 領域になると考えられている (Kurtz 2002)。したがって、コンパクト HII 領域とその周辺を取り巻く分子雲は、分子雲衝突の痕跡が残されていると考えられ、分子雲衝突による大質量星形成のプロセスを解明する上で非常に重要である。本研究では大質量星形成領域 W33 の解析を実施した。W33 は、距離 2.9 kpc にあるコンパクト HII 領域を伴った大質量星形成領域である (Urquhart et al. 2013)。観測データは、ハワイにある JCMT 望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(3-2)$ と、NRO 45m 銀河面サーベイプロジェクトで得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ を使用した。解析の結果、W33 の水メーザーと同じ、視線速度 35 km/s の成分と、Scutum arm に対応する 45 km/s の成分の2つの分子雲を検出した。35 km/s、45 km/s の速度成分はそれぞれ 5pc、2pc の広がりを持つことがわかった。W33 は付随する水メーザーの年周視差観測による距離測定から、Scutum arm に存在することが示唆されている (Immer et al. 2013)。したがって、W33 は速度の異なる分子雲同士の衝突によって形成された可能性が考えられる。本講演では、W33 領域のコンパクト HII 領域に付随するこれらの分子雲の性質と衝突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](#)

Q14b NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 銀河系外縁部 2

松尾光洋, 中西裕之 (鹿児島大), 梅本智文, 南谷哲宏, 西村淳 (NAOJ), 瀧崎智佳 (上越教育大), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 津田裕也 (明星大), 銀河面サーベイチーム

我々は、NRO レガシー銀河面サーベイの一環として、野辺山 45m 電波望遠鏡と FOur-beam REceiver System on the 45-m Telescope (FOREST) を用いた高分解能かつ ^{12}CO ($J = 1-0$), ^{13}CO ($J = 1-0$), C^{18}O ($J = 1-0$) の 3 輝線同時観測で銀河系外縁部の銀河面サーベイを行っている。

Outer Arm より遠方の分子雲の検出や (Digel et al. 1994, Sun et al. 2015)、Kiso Outer Galaxy Survey による遠方での OB 型星の存在が示唆されている (Nakanishi et al. 2008) にも関わらず、銀河系外縁部における分子ガスサーベイは少なく、特に銀河系第三象限での我々と同程度の高分解能かつ広範囲銀河面分子ガスサーベイはない。また、銀河系内縁部と比較すると金属量が少なく、宇宙初期の環境と似ていることから銀河の進化を研究する上でも重要な領域である。

我々は 2015 年 4 月 3 日から 5 月 31 日の間に計 91 時間の観測を行い、合計 10 平方度の領域を観測することができた。CfA1.2m 鏡による CO サーベイ (Dame et al. 1987, 2001) で比較的明るい領域を観測した昨年に対し、今年は比較的遠方まで分子ガスが検出されている領域を重点的に観測した。解析の結果、典型的なノイズレベルは ^{12}CO で $\sim 0.5 \text{ K} (T_A^*)$ であり、clumpfind を用いると Local Arm, Perseus Arm, Outer Arm に付随すると考えられる 1 pc 程度の clump が数多く検出された。本講演では今年の観測報告とともに、過去のデータと合わせて、分子雲の物理的性質について銀河系半径方向または渦状腕毎に対する特徴の違いを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15b 大阪府立大学 1.85m 電波望遠鏡による銀河系内分子雲の広域観測：2014年度進捗

徳田一起, 原田僚平, 切通僚介, 松本貴雄, 森岡祐貴, 長谷川豊, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 秦野義子, 下井倉ともみ, 土橋一仁 (東京学芸大学), 西村淳 (NAOJ), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 1.85m 鏡グループ

我々は、銀河系内分子雲の CO($J = 2-1$) 広域探査を目的に口径 1.85m の電波望遠鏡を開発し (Onishi et al. 2013)、2010 年度より運用を行っている。本望遠鏡は、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O を 2.7 分角の角度分解能 ($\sim 0.1 \text{ pc}@140 \text{ pc}$) で同時観測し、CO($J = 1-0$) 輝線等との比較から、分子雲の運動温度や密度といった物理量を広域で精度良く決定できることなどが特徴である。我々はこれまで Orion(A,B) 領域で *Spitzer* により得られた YSO の分布と、CO 観測より得られた物理量とを比較し、星形成効率がガスの柱密度および密度と相関があることや、運動温度が星形成率と関係している事などを見いだしてきた (Nisimura et al. 2015)。また、 C^{18}O 輝線による分子雲コアの無バイアスサーベイを実施し (Taurus 領域:大崎ほか 2014 年度秋季年会)、大口径望遠でフォローアップ観測を行うほか、分子雲衝突によって誘発された星団形成を示唆する (W43:切通ほか 2014 年度秋季年会, 春季年会) など、星間空間の多様なスケールの現象にアプローチしている。

2014 年度の観測では、銀河系第 1 象限の銀緯方向への観測範囲拡大 ($B \geq |1^\circ|$) および、第 2 象限の $B \leq |1^\circ|$ の観測等を勢力的に行い、これまでの観測と合わせて合計約 1500 平方度の観測を完了させた。典型的な感度は 0.8 K(速度分解能= 0.1 km s^{-1}) である。本発表では、これまでの近傍分子雲観測や、銀河面サーベイ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](#)

Q16a **Do stars destroy their gaseous nurseries?**

Elizabeth Tasker (Hokkaido), James Wadsley (McMaster), Ralph Pudritz (McMaster)

Stars are born within dense molecular gas clouds that form the coldest phase of the interstellar medium (ISM). The properties of these clouds such as their mass, radius and velocity dispersion, are the first environment a star feels. It is therefore these clouds that control the stellar birth rate. Yet once a star is born, it will also affect the cloud. Gas is removed to form the star which then releases heat into its surrounding gaseous nursery. How this relationship plays out is not clear. Does the star destroy the cloud which is unable to go on forming stars? Or is the cloud's evolution predominantly governed by external forces such as interactions with other clouds?

In this work, we compare four simulations of a Milky Way galaxy disc. The simulations were performed with the adaptive mesh refinement (AMR) code, Enzo, and resolve the gas to < 10 pc. The first simulation has only gravity, the second includes star formation but no feedback, the third adds in a radius-dependent photoelectric heating term and the fourth includes local thermal feedback from supernovae. The properties of the clouds are analysed in each simulation, comparing how the roles of gravity, localised and non-localised feedback affects the cloud population. We conclude that localised thermal feedback (supernovae) suppresses the star formation but does not destroy the cloud. In contrast, gravitational interactions between the clouds are frequent, occurring multiple times per orbital period. These likely have a strong impact on cloud (and therefore star formation) evolution.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17a 温度非等方な非一様プラズマ中に励起されるワイベル不安定性

富田沙羅 (青山学院大学)

ワイベル不安定性は粒子加速と相対論的衝撃波での磁場を生成するのに、重要だと考えられている。しかしワイベル不安定性によって作られる磁場は、すぐに減衰してしまうため、空間的に大きなスケールで増幅しない。(大きな領域を占めることができない。) これまで、ワイベル不安定性の非線形発展は、一様プラズマまたは一様プラズマ中を伝播する衝撃波において研究されてきた。そこで本研究は、非一様な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PICシミュレーションを行った。そして、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、磁場揺らぎがワイベル不安定性によって励起される、ということがわかった。非一様プラズマ中を伝播する相対論的衝撃波は、衝撃波下流で、このような非等方な密度構造を作り出すと、期待されている。これより、ワイベル不安定性によって生成された磁場は、先行研究の結果よりも、大きな領域を占めることができる。もしそうであるならば、加速粒子の最大エネルギーは、今まで考えられてきた値より、さらに大きくなるだろうと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18a 宇宙線を考慮した磁気流体方程式の新たな数値解法

工藤祐己, 花輪知幸, 松元亮治 (千葉大学)

星間ガスにおいて、宇宙線は磁場と同程度のエネルギー密度であるため、宇宙線の圧力として磁気流体のダイナミクスに及ぼす影響を考慮することは重要である。宇宙線を考慮した(磁気)流体シミュレーションでは、宇宙線圧の時間発展方程式は流体近似によって記述された移流拡散方程式が用いられている。しかしこれまでは、宇宙線圧の方程式によって衝撃波面や宇宙線圧とガス圧の比が変化する領域から発生する不自然な振動が見られた。我々はこの振動を取り除くため、衝撃波の Rankine-Hugoniot 関係式と Riemann 解を求め、これらを元に新しい数値解法を開発した。

まず我々は磁気流体方程式と宇宙線方程式を保存形へ書き改めた。従来の方程式は宇宙線エネルギーの保存を記していたが、新しい方程式は宇宙線粒子数 $\rho_{cr} \equiv P_{cr}^{1/\gamma_{cr}}$ の保存を記す。この形ではガスと宇宙線の数密度の比が衝撃波面前後で等しいことが明らかとなり、Rankine-Hugoniot 関係式が導かれる。また従来の方程式系に残っていた移流項がないため、Roe の近似 Riemann 解を用いて数値流束を求めると衝撃波面から発生していた振動が消える。しかし宇宙線圧とガス圧の和が一定でその比だけが変化する圧力平衡モード (Webb et al. 1995) からはまだ不自然な振動が発生する。これは宇宙線が粒子数を保ちながら数値拡散すると宇宙線のエネルギーが減少するからである。圧力平衡モードに関しては、宇宙線粒子数保存ではなくエネルギー保存を解くことにより、この振動が消える。Fast 波や Slow 波に現れる音速が宇宙線により速くなる効果も取り込まれる。Alfvén 波と接触不連続面には宇宙線の影響は表れない。具体的な計算手順と 1 次元衝撃波管テストの結果は講演で発表する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q19b 光蒸発の流体中での化学反応への依存性

本山一隆 (国立情報学研究所), Oscar Morata, Hsien Shang, 長谷川 辰彦, Ruben Krasnopolsky (ASIAA)

星間ガスが強い輻射を受けて加熱されると、星間ガス表面のガスが急激に膨張し、蒸発流として流出する。このような流れは光蒸発と呼ばれ、様々な天体現象で重要な役割を果たしている。例えば、原始惑星系円盤では、中心星や近傍の星などからの紫外線を受けるため、光蒸発によるガスの散逸が起きる。これは惑星系の形成とも関わる重要な過程である。また、大質量星の近傍では、大質量星からの強い紫外線により周囲の分子雲で光蒸発が起きる。蒸発流の反作用で生じた衝撃波は分子雲を圧縮し、星形成を誘発すると考えられている。

蒸発流の速度は、ガスがどれだけ加熱されるかに依存する。ガスの温度を正確に計算するためには、流体中での化学反応を解き、冷却や加熱に寄与する分子やイオンの存在量を求める必要がある。しかし、これまでの光蒸発の研究では、流体中の化学反応については近似的な取り扱いしかなされてこなかった。そのため、光蒸発流の速度、蒸発率、駆動される衝撃波の速度などが、流体中の化学反応にどの程度依存しているかは明らかになっていない。

本研究では、流体中で起きる化学反応も同時に解くことができる輻射流体計算コードを用いて、光蒸発流のシミュレーションを行なった。化学反応はUMISTデータベースに登録されている気相反応を用い、最大で約6000本の化学反応を解いた。計算に含む化学反応式の数を増やすほど、蒸発流の温度が上がり速度も大きくなる傾向が見られた。また、流体中の電子の存在量は、蒸発流の温度や速度に大きく影響することがわかった。これは、ダストの光電効果による加熱効率が電子の存在量に強く依存しているためである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q20b 非一様媒質と相互作用する超新星残骸衝撃波での宇宙線加速効率についての理論研究

霜田治朗, 大平豊, 山崎了, 馬場彩 (青山学院大学), 井上剛志 (国立天文台), Jacco Vink (GRAPPA)

宇宙線加速の現場と考えられている超新星残骸 (SNR) では, $H\alpha$ 放射フィラメントの固有運動と1次元の衝撃波接続条件が予言する下流の温度と実際の下流の温度を比較して宇宙線加速効率が調べられており, SNR での高効率宇宙線加速が示唆されている。一方で, 最近の多次元磁気流体シミュレーションによって, SNR の衝撃波は星間媒質がもつ密度揺らぎとの相互作用によって波打ち, ほとんどの領域で斜め衝撃波となることが示されている。このとき, 下流の温度は1次元の衝撃波接続条件の予言よりも低くなるので, 宇宙線加速効率は大きく見積もられる可能性がある。

我々は3次元磁気流体シミュレーションを用いて, SNR での $H\alpha$ 輝線放射の固有運動と衝撃波接続条件から見積もられる宇宙線加速効率が大きく見積もられうることを明らかにした (Shimoda et al. 2015)。さらに, 宇宙線加速効率を準解析的に評価したところ, 加速効率は上流の密度揺らぎの振幅程度の不定性を持ち, 数値計算の結果と大まかに一致した。しかしながら先行研究では衝撃波上流の密度揺らぎの振幅は, 典型的な星間媒質で期待される程度の場合でしか計算していない。本研究では, 密度揺らぎの振幅が典型的な星間媒質のものより小さい場合の計算結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21b Synchrotron 放射における輻射反作用を考慮した相対論的衝撃波による粒子加速シミュレーション

野上雅弘 (青山学院大学)

1912年にV.F.Hessによって宇宙線が発見された。その発見から約100年にわたり宇宙線についての多くの研究がなされてきたが未だに宇宙線の起源や加速機構は未解決のままである。一般に宇宙線のスペクトルは 10^8 eVから 10^{20} eVとエネルギーの範囲が広く、ベキ乗分布であることが知られている。 10^{18} eV以上の高エネルギー宇宙線の起源としてAGNやGRBなどの高エネルギー天体が考えられている。そこではローレンツ因子が1000にもおよぶ相対論的な衝撃波が存在しており、それにより宇宙線が加速されていると考えられている。

相対論的衝撃波では衝撃波面静止系において衝撃波面の法線に対して垂直な磁場成分がローレンツ因子倍されるため、ほとんどが準垂直衝撃波となっており、磁場の向きが流れに対して垂直となる。また下流の速度も相対論的であるため、下流へ流れた粒子は上流へ戻りづらくなる。そのため相対論的衝撃波では衝撃波面の近傍で粒子がジャイロ運動をすることにより加速を行う。

衝撃波中で加速された粒子はsynchrotron放射により光子を放出し、輻射反作用によって粒子の運動に影響を与える。そのため粒子運動における輻射反作用によるエネルギーの散逸が重要になってくる。

本研究では、synchrotron放射による輻射反作用を考慮した相対論的衝撃波における粒子加速についてtest粒子によるSimulationを行った。このSimulationでは、衝撃波によるjump conditionを設定し、相対論的衝撃波中でのtest粒子の運動方程式を解くことによってtest粒子がどのような振る舞いをするのかについて調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22c **Three-dimensional MHD Simulations of the Parker Instability with Cooling/Heating Effects**

Chih-Han Peng, Yuki Kudoh, Ryoji Matsumoto(Graduate School of Science, Chiba Univ.)

We performed three-dimensional numerical simulations of Parker instability taking into account the cooling/heating functions (Inoue et al. 2006) of the interstellar medium. In our two-dimensional simulation, when magnetic field is strong ($P_{\text{gas}}/P_{\text{mag}}$ smaller than 1), dense filamentary clouds are formed at the valley of magnetic field lines where the interstellar gas sliding down along the undulating magnetic field accumulates. In three-dimension, the dense cloud may drop down toward Galactic plane due to magnetic Rayleigh-Taylor instability and pull magnetic field lines into vertical direction. We expect that dense cold clouds are formed below thin nonthermal filaments where electrons are accelerated at shock waves formed between dense vertical filaments and supersonically infalling gas. This model may explain the nonthermal filaments observed at Galactic center region where the magnetic field line are vertical to the Galactic plane.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q23a スーパーバブル 30 Doradus C の X 線データ詳細解析

馬場崎康敬、三石郁之、伊藤万記生、佐野栄俊、吉池智史、福田達哉、丸山将平、藤井浩介、福井康雄、田原謙、松本浩典、立原研悟、犬塚修一郎 (名古屋大学)、藤井浩介、水野範和、河村晶子、井上剛志 (国立天文台)、大西利和 (大阪府立大学)、馬場彩 (青山学院大学)、Miroslav Filipovic (University of Western Sydney)、Gavin Rowell (The University of Adelaide)、Felix Aharonian (Max-Planck-Institut für Kernphysik)

宇宙線の加速機構の解明は宇宙物理学の重要課題の一つである。 $10^{15.5}$ eV までの宇宙線は超新星残骸 (SNR) で加速されると考えられ、TeV γ 線や非熱的 X 線を伴う。 γ 線の起源にはハドロン起源とレプトン起源がある。

30 Doradus C は大マゼラン雲に存在する複数の SNR が連なった視直径 ~ 6 分角 (直径 ~ 80 pc) の X 線シェル構造をもつスーパーバブルであり、明るい非熱的 X 線放射が知られる (e.g. Bamba et al. ApJ 2004)。最近では TeV γ 線が検出されて、シェル構造との相互作用が伺われ、 $10^{15.5}$ eV に迫る宇宙線加速現場の候補として注目されている (Abramowski et al. Science 2015)。

今回我々は、過去 10 年における X 線天文衛星 *XMM-Newton* の 30 Doradus C の豊富なアーカイブデータを用いて、そのシェルの空間的なスペクトル詳細解析 (grid size; 1 辺 0.7 分角 = 9.8 pc) を行った。その結果、非熱的 X 線の強度は $(0.6-8.0) \times 10^{-7}$ erg/s/cm²、光子指数は 2.0-3.5 の範囲で変化し、東側から西側に行くにつれ、非熱的 X 線が明るくなり、光子指数がハードになることが明らかになった。これらは西側ほど効率の良い宇宙線電子加速がおきていることを示唆する。本講演では以上の結果を踏まえ、30 Doradus C の宇宙線加速についてハドロン起源とレプトン起源寄与を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q24b

スーパーバブル 30 Doradus C における星間ガスと高エネルギー放射

佐野栄俊, 伊藤万記生, 吉池智史, 福田達哉, 丸山将平, 馬場崎康敬, 三石郁之, 立原研悟, 犬塚修一郎, 福井康雄 (名古屋大学), 藤井浩介, 水野範和, 河村晶子, 井上剛志 (NAOJ), 大西利和 (大阪府立大学), 馬場彩 (青山学院大学), Miroslav Filipovic (University of Western Sydney), Gavin Rowell (The University of Adelaide), Felix Aharonian (MPIK)

超新星残骸 (SNR) の衝撃波面は、宇宙線の主要な加速源であると広く考えられている。特に、宇宙線起源の X 線やガンマ線で明るい SNR は、 $10^{15.5}$ eV に迫る粒子加速現場として注目されている。一方、これらの SNR で加速可能な宇宙線の最高エネルギーはどの程度か、何によって決まっているかはわかっておらず問題だった。我々はこれまで SNR 周辺環境に着目した研究を行い、星間ガスと SNR 衝撃波の相互作用が、高エネルギー放射や宇宙線加速に本質的な影響を与えていることを明らかにしてきた (e.g., Fukui et al. 2012; Sano et al. 2013, 2015)。さらなる研究対象の拡大、普遍性の理解が求められている。

30 Doradus C は、大マゼラン雲 (LMC) にあるスーパーバブルであり、複数の SNR により形成された天体である。TeV ガンマ線と X 線で極めて明るく輝くことから、宇宙線加速のメカニズムを探るうえで適している。ところが、周辺環境の研究はほとんど行われておらず、衝撃波とガスの相互作用などの検証はなされていない。

今回我々は、Mopra 22-m 電波望遠鏡による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測、および ATCA & Parkes HI 公開データの解析を通して、30 Dor C 方向の星間ガスを精査した。結果として、X 線シェルに沿った分子雲を同定、HI の膨張構造を発見し、30 Doradus C に付随する星間ガスを特定した。本講演では、これらの結果をもとに、スーパーバブル 30 Doradus C における星間ガスと高エネルギー放射の関係、ならびに宇宙線加速について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25b **Magnetic Field Strength in the Sagittarius A Molecular Cloud Complex**

Masato Tsuboi (ISAS), Kenta Uehara, Soichi Ishikawa(Univ. Tokyo), Atsushi Miyazaki(Hosei Univ.)

The Galactic center region is the nearest galactic center of normal barred spiral galaxy. The proximity makes possible to observe peculiar phenomena of galactic centers using existing telescopes. One of them is the enigmatic magnetic field in the region. The large scale magnetic field in the inter-cloud region is poloidal and extending up to ± 150 pc perpendicular to the Galactic plane, which was found as Non-thermal Filaments and Polarized Plumes by radio observations. On the other hand, the structure of the magnetic field in giant molecular clouds of the region, is explored mainly by polarimetry in sub-millimeter wavelength. The large scale structure seems to be toroidal, which suggests that the magnetic field is stretched by a strong shear motion in the molecular clouds. Although the strength of the magnetic field is measured using a spectroscopic method based on Zeeman effect of molecules in the disk molecular clouds, it is difficult to determine the strength in the Sagittarius A molecular cloud complex by this method because the line velocity width of the emission line is ten times wider than that of the disk molecular clouds. We derived the magnetic field strength in the cloud complex, based on the Chandrasekhar-Fermi method using archive data of sub-millimeter polarization and our previous molecular line observation. The magnetic field strength is as strong as 2 – 12 mGauss. We also found a tendency that the magnetic field strength increases with approaching to Sagittarius A*.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25b **Magnetic Field Strength in the Sagittarius A Molecular Cloud Complex**

Masato Tsuboi (ISAS), Kenta Uehara, Soichi Ishikawa(Univ. Tokyo), Atsushi Miyazaki(Hosei Univ.)

The Galactic center region is the nearest galactic center of normal barred spiral galaxy. The proximity makes possible to observe peculiar phenomena of galactic centers using existing telescopes. One of them is the enigmatic magnetic field in the region. The large scale magnetic field in the inter-cloud region is poloidal and extending up to ± 150 pc perpendicular to the Galactic plane, which was found as Non-thermal Filaments and Polarized Plumes by radio observations. On the other hand, the structure of the magnetic field in giant molecular clouds of the region, is explored mainly by polarimetry in sub-millimeter wavelength. The large scale structure seems to be toroidal, which suggests that the magnetic field is stretched by a strong shear motion in the molecular clouds. Although the strength of the magnetic field is measured using a spectroscopic method based on Zeeman effect of molecules in the disk molecular clouds, it is difficult to determine the strength in the Sagittarius A molecular cloud complex by this method because the line velocity width of the emission line is ten times wider than that of the disk molecular clouds. We derived the magnetic field strength in the cloud complex, based on the Chandrasekhar-Fermi method using archive data of sub-millimeter polarization and our previous molecular line observation. The magnetic field strength is as strong as 2 – 12 mGauss. We also found a tendency that the magnetic field strength increases with approaching to Sagittarius A*.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26b 銀河系中心からのプラズマアウトフローの観測

中島真也 (宇宙科学研究所)、信川正順、鶴剛、小山勝二 (京都大学)、内山秀樹 (静岡大学)

現在の銀河系中心は、活動銀河核などと比べて静穏であると考えられている。しかし、近年の X 線・ガンマ線観測により、過去には銀河系中心も激しい活動をしていた兆候が明らかになってきた。銀河系中心付近の巨大分子雲から放射される強い鉄の蛍光 X 線は数年スケールでの時間変動を示しており、100–1000 年前の射手座 A* フレアのエコーであるという描像が確立している (e.g., Ryu et al. 2013)。フェルミ衛星は銀河円盤と垂直方向に 10 kpc にも広がるガンマ線バブル構造 (フェルミバブル) を発見し、1000 万年前にはより激しく活動が起きて、多量の宇宙線を生成していたと考えられる (Su et al. 2010, Tahara et al. 2015)。これに加えて、我々はすざく衛星を用いた銀河系中心領域の X 線サーベイ観測から、 $l = 0^\circ$, $b = -1^\circ.5$ の方向に、 $\sim 1^\circ$ 角の広がりを持つ高温プラズマを発見した。その電子温度は 0.5 keV と銀河系ハローの典型的なプラズマ温度 (~ 0.2 keV) よりも有為が高く、しかも電子温度と比べて電離が進んでいる「再結合優勢」プラズマであった。再結合のタイムスケールからプラズマの年齢は ~ 10 万年と見積もられ、10 万年前の銀河系中心からの小規模アウトフローの可能性が高い (Nakashima et al. 2013)。アウトフローであることを決定づける証拠として、銀河系中心を挟んで反対側 ($l = 0^\circ$, $b = +1^\circ.0$) の方向にも広がった高温プラズマ放射の兆候を得ていたが、観測点が放射領域全体をカバーしておらず、そのサイズやプラズマ電離状態などが不明だった。今年の春にすざく衛星を用いてこの領域を追観測し、放射領域全体をカバーする高統計のデータを得た。本講演では、そ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](#)

Q26b 銀河系中心からのプラズマアウトフローの観測

中島真也 (宇宙科学研究所)、信川正順、鶴剛、小山勝二 (京都大学)、内山秀樹 (静岡大学)

現在の銀河系中心は、活動銀河核などと比べて静穏であると考えられている。しかし、近年の X 線・ガンマ線観測により、過去には銀河系中心も激しい活動をしていた兆候が明らかになってきた。銀河系中心付近の巨大分子雲から放射される強い鉄の蛍光 X 線は数年スケールでの時間変動を示しており、100–1000 年前の射手座 A* フレアのエコーであるという描像が確立している (e.g., Ryu et al. 2013)。フェルミ衛星は銀河円盤と垂直方向に 10 kpc にも広がるガンマ線バブル構造 (フェルミバブル) を発見し、1000 万年前にはより激しく活動が起きて、多量の宇宙線を生成していたと考えられる (Su et al. 2010, Tahara et al. 2015)。これに加えて、我々はすざく衛星を用いた銀河系中心領域の X 線サーベイ観測から、 $l = 0^\circ$, $b = -1^\circ.5$ の方向に、 $\sim 1^\circ$ 角の広がりを持つ高温プラズマを発見した。その電子温度は 0.5 keV と銀河系ハローの典型的なプラズマ温度 (~ 0.2 keV) よりも有為が高く、しかも電子温度と比べて電離が進んでいる「再結合優勢」プラズマであった。再結合のタイムスケールからプラズマの年齢は ~ 10 万年と見積もられ、10 万年前の銀河系中心からの小規模アウトフローの可能性が高い (Nakashima et al. 2013)。アウトフローであることを決定づける証拠として、銀河系中心を挟んで反対側 ($l = 0^\circ$, $b = +1^\circ.0$) の方向にも広がった高温プラズマ放射の兆候を得ていたが、観測点が放射領域全体をカバーしておらず、そのサイズやプラズマ電離状態などが不明だった。今年の春にすざく衛星を用いてこの領域を追観測し、放射領域全体をカバーする高統計のデータを得た。本講演では、そ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](#)

Q27a 銀河系中心における拡散 X 線放射と星数密度分布との違いについて

西山正吾 (宮城教育大学), 長田哲也, 長友竣 (京都大), 田村元秀 (東京大/国立天文台)

銀河系の中心領域には、広がった X 線放射が存在する。1980 年代の発見以降 (Koyama et al. 1989)、この放射の起源を探る研究が続けられてきた。私たちは南アフリカにある 1.4m 望遠鏡 IRSF を用いた近赤外線観測により、中心 $6^\circ \times 2^\circ$ の星数密度分布を作成し、拡散 X 線放射の空間分布との比較を行った。その結果、中心の $-1^\circ < l < 1^\circ$ の領域では、星数密度に対して X 線の分布が超過成分を持つことが分かった (Nishiyama et al. 2013, Yasui et al. submitted to PASJ)。私たちはさらに観測領域を広げ、銀経 $+8^\circ$ の領域の観測を行い、 $1^\circ < l < 8^\circ$ の範囲における X 線と星数密度分布の一致を示唆する結果を得た (長友竣、2015 年春季年会 R19a)。

本議論ではまず、拡散 X 線放射の起源が分解できていない X 線点源 (点源説) と仮定する。すると、中心 $-1^\circ < l < 1^\circ$ の X 線の超過は、この領域の赤外線点源、つまり星の性質が他の領域と異なっていることを意味する。超過を生じさせる要因として考えられるのは、(1) 初期質量関数、(2) 星形成率、(3) 連星の割合、(4) 星の金属量、の違いである。これらの要因が X 線の超過を生みうるのか考察し、点源説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](#)

Q28a 銀河リッジ X 線放射の 6.4 keV 輝線

信川久実子, 信川正順, 鶴剛, 小山勝二 (京都大学), 山内茂雄 (奈良女子大学)

銀河系では、広がった X 線が銀河面に沿って存在しており、Galactic Ridge X-ray Emission (GRXE) と呼ばれている (e.g. Cooke et al. 1969)。その最大の特徴は付随する 3 つの鉄輝線であり、それぞれ中性鉄 ($E = 6.4$ keV) と高階電離鉄 ($E = 6.7, 7.0$ keV) からの特性 X 線である (Koyama et al. 1996)。発見から 40 年以上経つが、その起源については「拡散成分説」、「微弱な X 線点源の重ね合わせ説」の論争が続いていた 2008 年のチャンドラによる $(l, b) = (0^\circ.0, -1^\circ.4)$ の観測により、鉄輝線放射の約 80% が点源に分解され、主成分は暗い点源であることが示唆された (Revnivtsev et al. 2009)。しかしこの観測結果では、3 つの鉄輝線は分離できていない。さらに観測位置は銀河面から外れている。そこで我々はすざくによる $|l| < 4^\circ$ の銀河面上のサーベイ観測を行い、3 つの鉄輝線を分離して、銀河面に沿った強度分布を求めた。その結果、高階電離鉄輝線は東西で対称の強度分布であるのに対し、中性鉄輝線は東側の方が西側よりも 2 倍程度強いことを発見した。これは、東西対称に分布する点源だけでは説明できない。我々は、東側の超過分が、分子雲の密度に比例することを明らかにした。したがってその起源は、高エネルギー粒子 (X 線、宇宙線) による、分子雲中の鉄原子の衝突電離だろう。我々はスペクトル解析から、衝突粒子が MeV 陽子である可能性が高いことを突き止めた (2014 年秋季年会)。すざくの銀河面観測をさらに外側へ広げると、 $l = 20^\circ - 30^\circ$ にも中性鉄輝線の超過があることを発見した。これも宇宙線由来である可能性がある。本講演では、この領域のスペクトルを解析し、中性鉄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](#)

Q29a 星フレアの銀河リッジX線放射への寄与

松岡勝 (理研), 三原建弘 (理研), 坪井陽子 (中央大), 兼藤聡一郎 (中央大)

銀河リッジX線放射 (GRXE) (2-10 keV) の主な起源は、活動性の高い星 (RS CVn, CV, dMe, Algol, YSO 等) の集まりと考えられている。これまで、RXTE, Chandra, XMM 等のデータでこの説を強く支持する結果が得られている (e.g.: Revnivtsev et al 2009; Warwick 2014)。しかし、その詳細については解らない点もある。

一方、MAXI は星フレアを多数検出してきた。そこで、我々は、星フレアが GRXE に重要な役割を果たすと言う考えを提案した (Matsuoka et al 2012)。しかし、MAXI の観測では大きなフレアしか得られないため、小さいフレアの量を仮定せざるを得なかった。その後の検討で、MAXI で検出されるような大きなフレアの GRXE への寄与は、星のコロナの寄与の 1 割程度であることが解ってきた。しかし、MAXI で検出できない小さいフレアの寄与は観測的には依然として未定である。また、RS CVn 等のコロナの平均的な温度は 1-3 keV で太陽コロナより 1 桁以上に高い。さらに、太陽コロナも含め、コロナの加熱機構は、十分には解明されていない。

この講演では星コロナやその加熱機構が小さなフレア (マイクロフレア) の可能性もあるため、結局、GRXE は星フレアが重要な役割を果たしていることを述べる。フレアは高エネルギー粒子 (低エネルギー宇宙線) も生成し、6.4 keV の鉄輝線の放射にも有利に働くことも注意したい。なお、この講演では過去に行った星フレアの GRXE への寄与の講演の一部訂正 (大きな星フレアの GRXE への寄与は少なくなったこと) も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30a かに星雲のガンマ線フレアの物理的制約

寺木悠人 (理化学研究所)

近年、かに星雲から 100MeV 以上のエネルギー領域でのフレアが Fermi や AGILE で観測された。このフレアは、いわゆるシンクロトロン臨界振動数を超えていて標準的なパルサー星雲の描像では理解できない。衝撃波粒子加速機構にさえも変更を迫る可能性を秘めており、相対論的プラズマのエネルギー変換機構を理解するという一般的な問題に対しても重要な鍵となりうる現象である。多数のモデルが提出されたが、理解には未だ至っていない。本研究では先行研究とは異なったアプローチでかに星雲のフレアの理解を試みた。先行研究では特定の物理モデルを作成し、フレアの再現を考えていたが、これらとは逆にフレアを起こすための必要条件を洗い出すことを目的とした。一連のフレアは高い放射エネルギー以外にもいくつかの注目すべき性質がある。それは数時間程度という短い変動時間に対してピークの 1% という大きすぎるフラックスである。この観測的制限から放射領域に対するいくつかの条件が導き出される。

磁気リコネクションシナリオに代表される、非相対論的な放射領域からのガンマ線でフレアを再現する場合には、非常に大きな非等方性をもったパルサー風が要求される。具体的には、放射領域には単位立体角あたりにパルサー磁気圏から放出されるルミノシティを (スピンドアウンルミノシティ)/ 4π を単位として、 10^4 が要求される。これは明らかにパルサー風の流体シミュレーションでは見られない非等方性の値である。また、相対論的な放射領域によってフレアを再現する場合には、放射領域の位置とローレンツ因子の組み合わせが制限を受ける。許される範囲は狭く、ローレンツ因子が $O(10)$ 、位置は 0.01pc 程度と標準モデルの終端衝撃波近傍でやや内側である。発表時には提出されているモデルの妥当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](#)

Q31a 速度分散を持つ中性水素クランプとジェットの相互作用シミュレーション

朝比奈雄太（国立天文台）、松元亮治（千葉大学）

NANTEN2 と Mopra 望遠鏡によって、Westerlund 2 星団方向に直線状に伸びた分子雲と円弧状の分子雲が観測されている。直線状に伸びた分子雲の延長線上には TeV γ 線源 HESS J1023-575 が存在しており、TeV γ 線源を挟んで反対側に円弧状の分子雲が分布している。我々はこれらの分子雲がジェットと星間中性水素 (HI) 雲との相互作用によって形成されたのではないかと考え、星間ガスの加熱・冷却過程を考慮したジェットと星間ガス相互作用の磁気流体シミュレーションを実施してきた。ジェットの衝撃波によって圧縮された HI 雲は密度上昇による冷却率の上昇によって温度が下がり、結果的にジェットの周囲に低温高密度な領域が形成されることを示した。また、分子雲形状は星間ガスの密度分布によって変化するので HI 雲のフィリングファクターを変えた計算を実施することにより、フィリングファクターが大きい場合には円弧状の分布に近づき、小さい場合には広がった分布になることを示してきた。

しかし、これらの計算では観測で得られている視線速度幅を説明することはできていなかった。分子雲の視線速度にはジェットの速度や星間 HI 雲の速度分散等が影響していると考えられる。本研究では星間 HI 雲の速度分散に着目し、星間 HI 雲の速度分散を考慮したジェットと星間ガス相互作用の計算を実施した。今回の発表では HI 雲のフィリングファクターや速度分散がジェットとの相互作用によって形成される低温高密度領域の分布や視線速度、ジェットの構造に与える影響について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a **21cm 線スペクトルを使った中性水素原子の定量: 数値シミュレーションとの比較**

早川貴敬, 鳥居和史, 岡本竜治, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 井上剛志 (国立天文台), 他 NANTEN2 メンバー

水素は星間物質中で最も支配的な元素であり、精確な定量が宇宙、銀河、星間現象を理解する上で重要である。私たちは、HI 21cm 線と Planck/IRAS ダスト放射を併せて、中性水素原子のスピン温度、光学的厚みを推定する手法を確立してきた (例えば早川他 2014 年春季年会講演; Fukui et al. 2015)。この手法を使った観測データの解析から、一般的に光学的に薄いとされる伝統的な描像とは異なり、光学的に厚く ($\tau_{\text{HI}} > 1$) 低温 ($T_s < 100$ K) の HI ガスが支配的であること、いわゆる「ダークガス」問題は光学的に厚い HI ガスで説明し得ること等を示してきた。

今回新たに、(1) Inoue and Inutsuka 2012 の 3 次元 HI ガスモデルを用い、輻射輸送方程式を計算して HI スペクトルを再現する、(2) 再現されたスペクトルを上記手法で解析し、得られた結果をモデル HI ガスの物理量と比較することによって、上記手法の妥当性について検証を行ったので、報告する。

主な結果は、以下の通りである。積分強度と柱密度の比較から、光学的厚みによる HI スペクトルのサチュレーションが再現され、積分強度に一定の係数を乗じる伝統的な手法では柱密度を過小評価することを確認した。同一視線上に単一成分のみが存在する場合は、スペクトルの解析から推定したスピン温度が、モデル HI ガスのスピン温度をほぼ再現することを確認した (複数成分が重なる場合については、なお検討を要する)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a 銀河面に衝突する中間的速度 HI 雲 (IVC) の発見

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)

高速度雲よりも速度が小さい (100 km s^{-1} 以下)、中間的速度 HI 雲 (intermediate velocity cloud = IVC) の存在が知られている (Kuntz & Danly 1996)。その起源については、銀河規模の Fountain Model 等が議論されてきたが、距離の不定性が大きく不明の点が多い。今回、 $(l, b) = (85 \text{ 度}, -38 \text{ 度})$ にピークを持つ IVC の一つ (以下では IVC と呼ぶ) に注目し、GALFA による HI 21 cm スペクトルのデータを解析した。その結果、 -40 km s^{-1} と -15 km s^{-1} の成分が空間的に相補的な分布を示すことを見いだした。これは、両者の密度分布が、衝突相互作用によって反相関を示すことを示唆する。 -15 km s^{-1} 成分は距離 150 pc であることから、同 IVC も同じ距離にあると見られる。これによって IVC の質量は少なくとも 6×10^3 太陽質量 (銀経 80–160 度の範囲) と見積もられる。また、IVC は高銀緯側に角度で 60 度程度にわたり直線的に伸びたフィラメント状成分を持つ。以上の結果から、我々は、同 IVC が kpc 規模の銀河面外から落下し、現在銀河面と衝突しつつあるという描像を提案する。衝突自体の時間スケールは 1 万年程度である。同分子雲方向の早期型星の吸収から、重元素量が太陽近傍の値よりも小さいことが示されており (Fitzpatrick & Spitzer 1997)、IVC は銀河系外に起源を持つ可能性がある。講演では、可能な軌道等の IVC の詳細と、本成果の意義を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q34a 分子雲衝突によって誘発された大質量星形成：JCMT $^{12}\text{CO } J=3-2$ 輝線を用いたコンパクト HII 領域に付随する分子雲

大濱晶生、河野樹人、鳥居和史、長谷川敬亮、服部有祐、山本宏昭、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学理)、水野範和 (国立天文台)

大質量星の形成過程は、星形成における重要な課題である。Spitzer バブル (Churchwell et al. 2006) は、分子雲衝突により誘発された結果が報告されている (鳥居他 2015 年会等)。Habe and Ohta (1992) が、小さく高密度な分子雲と大きく低密度な分子雲の衝突による大質量星形成について数値シミュレーションを示した。この描像によれば衝突のさらに初期の段階はより小型の HII 領域を伴っていると予想される。我々は、コンパクト HII 領域 (以下、CHII R) が Spitzer バブルの前段階であると仮説を立てた。CHII R は、質量 $1 M_{\odot}$ 、サイズ $0.1-1 \text{ pc}$ を持つ HII 領域である (Kurtz 2002)。ATLASGAL サーベイ (Urquhart et al. 2014) は、 $280^{\circ} < l < 350^{\circ}$ 、 $10^{\circ} < b < 60^{\circ}$ 、 $|b| < 1.5^{\circ}$ の領域にある約 1130 個の CHII R を検出した。

本研究は、JCMT 望遠鏡のアーカイブデータにより $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線の解析を 175 個の CHII R に対して行い、速度 $10 \text{ km/s} - 30 \text{ km/s}$ にまたがる 2 個の分子雲が CHII R 方向に存在することを見出した。分子雲の空間分布はウィングラス状構造を示し、そのウィングラス状構造の底に CHII R が位置している。 10 km/s 以上の速度幅は重力的に束縛できず、2 個の分子雲が衝突し、形成した大質量星が CHII R に埋もれていると解釈される。以上の特徴は、これまで報告されている分子雲衝突 (Wd2 Furukawa et al. 2009; NGC3603 Fukui et al. 2014; RCW120 Torii et al. 2015) と共通する。講演では、CHII R と CO の空間分布と位置速度図を示し、CHII R に付随している分子雲の物理量を明らかにし、統計的な議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a **Mopra 望遠鏡と ASTE 望遠鏡による Spitzer Bubble S145(RCW79) に対する CO 輝線詳細観測**

長谷川敬亮, 鳥居和史, 服部有祐, 大濱晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 水野範和 (国立天文台)

Spitzer Bubble S145 は HII 領域 RCW79 としてよく知られており、太陽系からおよそ 4.2kpc (Russeil+98) の位置にある直径約 15pc の比較的大きなリング状星雲である。内部に 12 個ほどの O 型星を持ち、年齢は 2.5Myr 程度と見積もられている (Martins+10)。これまで S145 について Mopra 望遠鏡を用いた CO($J = 1 - 0$) 回転遷移輝線の観測により天体上方部に異なる視線速度のフィラメント状分子雲を同定した。またそれらが反相関を示している事から S145 が分子雲衝突によって形成されたと提案している (2014 年度秋期年会 長谷川, 2015 年度春期年会 長谷川)。

今回この部分においてさらに ASTE 望遠鏡により $^{12}\text{CO}(J = 3 - 2)$ 回転遷移輝線観測を行ったのでこの結果を報告する。 $^{12}\text{CO}(J = 3 - 2)$ 輝線はより高い温度と密度の分子雲に反応するため輝線強度比を調べることで励起星に加熱された分子雲を直接同定できる。本観測により S145 上方部のフィラメント状分子雲は共に $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)/^{12}\text{CO}(J = 3 - 2)$ 輝線強度比が 0.6-0.8 程度と高い値を示している。このことは異なる視線速度の分子雲が共に励起星に付随していることを示し分子雲衝突シナリオを支持するものである。

また S145 はその形状や分子雲の分布が RCW120 とよく類似している。RCW120 は分子雲衝突が強く示唆されている天体である (Torii et al.2015)。本講演では S145 のフィラメント状分子雲の反相関や輝線強度比から明らかになった付随関係、そして S145 と RCW120 の類似点からどのような分子雲衝突が起きたのか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36a **Spitzer バブル S36 に対する分子雲観測：分子雲衝突による大質量星形成**

鳥居和史, 服部有祐, 長谷川敬亮, 大濱晶生, 佐野英俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 水野範和 (国立天文台), 大西利和 (大阪府立大学)

Spitzer バブルとして知られる赤外線で輝くリング状構造は天の川銀河全域で数千個分布していると考えられ、多くが1個~数個の大質量星と HII 領域を伴う (Churchwell et al. 2006 他)。従来、Spitzer バブルのリング構造は、HII 領域が作り出す膨張構造として解釈されてきた (Deharveng et al. 2010)。これに対し、我々は Spitzer バブル RCW120 に対する詳細な分子雲輝線観測を実施し、モデルから期待される膨張構造を持たないこと、速度差 20km/s の2個の分子雲が共に RCW120 に付随していることを明らかにし、新たに分子雲衝突が誘発する励起星とリング状構造の形成モデルを提案した (Torii et al. 2015, ApJ, 806, 7)。今回、新たに NANTEN2, Mopra, ASTE を用いた CO $J=1-0$ および $J=3-2$ 観測を、Spitzer バブル S36 に対して実施したので、その結果を報告する。S36 は距離およそ 3 kpc に位置するサイズ 4 pc ほどの HII 領域を伴うリング状構造で、特に西のリム部に、ダスト連続波観測から柱密度が $7 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ に達するクランプの存在が報告されている (AGAL337.916-00.477, Urqhart et al. 2014)。本観測の結果は以下のようにまとめられる。(1) 速度 -40 km/s 付近にリング構造に一致する分子雲を同定。(2) 速度 -20 km/s 付近にリング構造の外側に沿った分子雲を同定。(3) 両分子雲はリング付近で CO $J=3-2/1-0$ 輝線強度比の上昇が見られ、S36 への付随が示される。(4) 分子雲の速度分布には膨張構造は見られない。(5) AGAL337.916-00.477 に一致する bipolar outflow を検出。以上の結果は、RCW120 で構築した分子雲衝突モデルと良い一致を示す。衝突のタイムスケールは 0.2 Myr され、特に分子雲クランプ AGAL337.916-00.477 は分子雲衝突による大質量星のごく初期段階に位置すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q37a 複合的バブル領域 S116,S117,S118 における分子雲衝突

服部有祐, 長谷川敬亮, 鳥居和史, 大濱晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋 大学), 水野範和 (国立天文台), 大西利和 (大阪府立大 学)

Spitzer Bubble S116 は $(l, b) = (314^\circ, 0.47^\circ)$ に位置しており、近傍に S117 と S118 を伴う複合的バブル領域である。各バブルは視直径が $2' - 8'$ のサイズを持ち、それらが約 $20'$ に渡って直線的に分布している。この複合的バブルの周囲では、NANTEN2 による CO($J=1-0$) 観測が行われ、視線速度が -64 km/s の小さな分子雲と -58 km/s の広がった分子雲の 2 つの分子雲が確認されている (2012 年度秋季年会、曾我講演)。これらの分子雲についてさらに詳細な分布を確認するべく、我々は Mopra 望遠鏡を用いて S116-S118 をカバーする $15' \times 15'$ の範囲にわたり CO($J=1-0$) 分子輝線による OTF 観測を行った。その結果、視線速度が 58 km/s の広がった分子雲が 3 つのバブルの赤外線 $8\mu\text{m}$ の輪郭に沿って CO 分子輝線の強度が高くなっており、S117 近傍にリング状の空洞を持つことが分かった。また、視線速度が -64 km/s の小さな分子雲にフィラメント状の構造を発見した。さらに ASTE 望遠鏡を用いて S117 とリング構造をカバーするように $7' \times 7'$ の範囲にわたって $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 分子輝線による OTF 観測を行った。Mopra 望遠鏡と ASTE 望遠鏡の観測結果から、CO($J=3-2$) 輝線と CO($J=1-0$) 輝線の強度比 $R_{3-2/1-0}$ が赤外線 $8\mu\text{m}$ の輪郭に沿うように上昇することを確認した。さらに -58 km/s 成分の分子雲は S117 の近傍にリング状の空洞をもつが、HII 領域や超新星爆発による膨張の痕跡は見られず、位置速度図においても星風膨張モデルでは説明できない構造を持っていることが分かった。以上のことから我々は、複合バブル領域の分子雲衝突による形成を提案する。2 個の分子雲が衝突し、 -58 km/s 成分の分子雲の外縁部で複合バブル領域が形成されたと考えられる。これはリング構造内部に HII 領域が存在しないことと一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a **IRSF・「すざく」・「あかり」で探る超新星残骸 IC443 における鉄輝線の起源**

國生拓摩, 金田英宏, 石原大助 (名古屋大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), Ho-Gyu Lee (KASI), 尾中敬 (東京大学)

IC443 は距離 1.5 kpc、年齢が $\sim 10^4$ 年の超新星残骸で、衝撃波と周囲の星間物質が強く相互作用していることが知られている。2MASS による観測から、IC443 の北東領域では J、H バンドで明るいシェル状の放射が確認されており、これは衝撃波による星間ダスト破壊がもたらした、気相の鉄が放射する [FeII] 輝線と考えられている。

IC443 におけるダスト破壊の過程を詳細に調べるため、我々は南アフリカ望遠鏡 IRSF に狭帯域フィルターを搭載し、IC443 の広域 ($30' \times 35'$) に渡って [FeII] (波長 1.257、1.644 μm) と $\text{Pa}\beta$ の輝線マッピング観測を行った。その結果、観測視野の全域からフィラメント状の [FeII] と $\text{Pa}\beta$ 輝線を検出し、その輝線強度比 [FeII]/ $\text{Pa}\beta$ は検出領域に渡って一定であった。また、「あかり」の観測結果から、IC443 のシェル領域ではダスト放射と [FeII] 輝線が共に強い一方で、中央領域ではダスト放射が弱く、[FeII] 輝線だけが強いことが分かった。以上の結果から、[FeII] 輝線は星間ダスト破壊を起源とし、中央の領域ではダスト破壊が特に進行していると解釈できる。

本研究ではさらに、「すざく」の観測結果を用いて X 線スペクトルマッピング解析を行い、IC443 における 6.7 keV 高階電離鉄輝線のマップを新たに得た。その結果、高階電離鉄は IC443 の中央領域に集中しており、ダスト破壊が進行していることから、この領域では鉄と X 線プラズマが十分に相互作用していることが示唆される。しかし、この領域では一階電離鉄からの [FeII] 輝線も検出されており、上記の観測結果と矛盾するよう見える。本講演では、この [FeII] 輝線の起源について、ダスト組成や IC443 周囲の星間環境の観点から議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a 大小マゼラン雲における超新星残骸周辺の分子ガスサーベイ観測

藤井浩介(東京大学), 佐野栄俊, 吉池智史, 福田達哉, 福井康雄(名古屋大), Erik Muller, 水野範和(国立天文台), 大西利和(大阪府大), J. Dawson(Macquarie University), M. Filipovic(University of Western Sydney)

超新星残骸(Supernova Remnant; SNR)周辺の高密度星間ガス雲の観測は、TeVを超える宇宙線加速の起源や、超新星残骸での熱的/非熱的X線の起源を探る上で大変重要な手がかりを与える(e.g., Fukui et al. 2003, Sano et al. 2010, 2013)。SNRに対する分子ガスの観測は系内でも行われてきたが、一方で銀河面方向の観測困難から、銀河全体に渡る統計的な性質を議論した研究は行われてこなかった。

大小マゼラン雲は最近傍に位置する系外銀河であり、銀河面がほぼ視線に垂直であるため、前背面の天体による影響や距離の不定性に悩まされることなく銀河全体にわたって比較研究を行うことが可能な天体である。我々は大小マゼラン雲の28のSNR(大マゼラン雲26天体、小マゼラン雲2天体)に対し、Mopra望遠鏡を用いたCO($J=1-0$)輝線による空間分解能11pcの網羅的な観測を行った。2013年7月から2015年5月にかけての観測より、計21天体においてSNR周囲でCOを検出した(ノイズレベルの 3σ 以上)。特に顕著なCOの検出(5σ 以上)が見られた天体は、その大半が大質量星起源を示唆するCore-Collapseタイプであり、巨大分子雲の近傍に分布している(100pc程度以内)傾向が見られた。また、COが検出されなかった天体は、周辺に巨大分子雲のないHI柱密度が低い($< 3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$)領域に分布している傾向が見られた。これは、SNRの形成母体である巨大分子雲の近傍や、周囲の柱密度が高い環境であるほどSNRと分子雲が相互作用する可能性が高まるという予測と一致する結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

9月9日(水) 午前(11:00-13:00) [H会場]

R01a	11:00	Dust Cores around Sagittarius A* detected with ALMA	坪井昌人(宇宙航空研究開発機構)
R02c		Search for Time Lag of Sgr A* IDV with KVN	宮崎敦史(法政大学)
R03a	11:12	What is a Giant Molecular Cloud? Are Observers and Simulators Discussing the Same Star-forming Clouds?	Hsi-An Pan (Hokkaido Univ.)
R04a	11:24	The origin of the broad feature at 22 μ m and its association with the molecular clouds of the Great Nebula in Carina.	Ronin Wu (Department of Astronomy, the University of Tokyo)
R05a	11:36	低重元素量の銀河 IC 10 にある分子雲の 3 mm 帯ラインサーベイ	西村優里(東京大学)
R06a	11:48	近傍銀河で観測される分子雲スケールの化学組成の意味	渡邊祥正(東京大学)
R07a	12:00	超新星爆発の影響を考慮した棒渦巻銀河における分子雲形成・進化	藤本裕輔(北海道大学)
R08a	12:12	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)
R09b	12:24	ALMA による衝突銀河 NGC1614 の CO 分子観測	安藤未彩希(総合研究大学院大学/国立天文台)
R10b	12:24	渦巻銀河 M 101 のディスク外縁部の星形成領域における CO($J=1-0$) 輝線観測	岸田望美(北海道大学)
R11b	12:24	Schmidt-Kennicutt 則の傾きと高密度ガス質量の割合の関係	諸隈佳菜(国立天文台)
R12a	12:36	ALMA による赤外線銀河 IRAS20551-4250 の赤外線放射励起の研究	今西昌俊(国立天文台)
R13a	12:48	多波長測光データで探る中近傍銀河の星形成と活動銀河核の関係	小山舜平(東京工業大学、ISAS/JAXA)

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [H会場]

R14a	15:00	NRO レガシープロジェクト COMING (1): プロジェクトの概要	徂徠和夫(北海道大学)
R15b	15:12	NRO レガシープロジェクト COMING (2): 棒渦巻銀河 NGC2903 の CO($J=1-0$) 多輝線撮像観測	柳谷和希(大阪府立大学)
R16b	15:12	NRO レガシープロジェクト COMING (3): 棒渦巻銀河 NGC 2903 における分子ガスの物理状態診断	武田美保(大阪府立大学)
R17b	15:12	NRO レガシープロジェクト COMING (4): 近傍矮小銀河 NGC2976 の分子ガス観測	畠山拓也(筑波大学)
R18b	15:24	NRO レガシープロジェクト COMING(5): 近傍銀河 NGC 3079 の CO 観測	宮本祐介(国立天文台)
R19b	15:24	Suprime-Cam を用いた Ursa Minor 矮小楕円体銀河の測光解析	佐々木花(東北大学)
R20b	15:24	矮小銀河の化学進化における重元素の選択的な流出	本間英智(東北大学)
R21a	15:36	異なる質量の矮小銀河における r プロセス元素分布	平居悠(東京大学/国立天文台)
R22a	15:48	M31 に衝突した矮小銀河の形態とダークマター分布の時間進化	桐原崇亘(筑波大学)
R23a	16:00	「あかり」衛星によるヒクソン・コンパクト銀河群の赤外線観測	池内綾人(東京大学)
R24b	16:12	「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状(6)	山村一誠(宇宙航空研究開発機構)
R25b	16:12	Catalog of the Akari-, Spitzer-, and, Herschel-Inspected Nearby Galaxies (CASHING)	Ronin Wu (Department of Astronomy, the University of Tokyo)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

R26b	16:12	渦状腕理論の新たな観測的診断法の提案：arm-gas offset 法 馬場淳一（東京工業大学）
R27a	16:24	近傍渦巻銀河 M51 における腕構造の進化 江草英実（国立天文台）
R28a	16:36	Structure and dynamics of perturbed galactic discs Alex Pettitt（Hokkaido Univ.）
R29a	16:48	銀河の多成分力学平衡分布生成コードの開発 三木洋平（筑波大学）
9月10日（木）午前（09:30-11:30）[H会場]		
R30a	09:30	FDPS(Framework for Developing Particle Simulator): 大規模分散メモリー環境下での粒子系シミュレーション用フレームワークの開発 岩澤全規（理化学研究所）
R31c		銀河の重力コラプスの位相空間における進化：N 体法と Vlasov 法の比較 穂積俊輔（滋賀大学）
R32c		銀河中心部の大質量天体と球状星団系の性質の関係 隈井泰樹（熊本学園大学）
R33a	09:42	銀河面からの軟 X 線背景放射 (3) 中道蓮（名古屋大学）
R34a	09:54	Jitter radiation origin of the Galactic microwave Haze emission 服部誠（東北大学）
R35a	10:06	すざく衛星による渦巻銀河 M101 の観測 山内茂雄（奈良女子大学）
R36c		鉄輝線放射率から探る銀河系拡散 X 線放射の放射源 長友竣（京都大学）

R01a **Dust Cores around Sagittarius A* detected with ALMA**

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura(ISAS), Makoto Miyoshi(NAOJ), Takahiro Tsutsumi(NRAO),
Atsushi Miyazaki(Hosei Univ.), Kenta Uehara, Soichi Ishikawa(Univ. Tokyo)

The Galactic center region (GC) is the nucleus of the nearest spiral galaxy; the Milky Way. Sagittarius A* (Sgr A*) is a compact source from radio to X-ray located near the dynamical center, and associated with the central supermassive black hole of the galaxy. The Central cluster, which was discovered by IR observations, is centered at Sgr A* and extends up to $r \sim 0.5$ pc. The cluster contains 100 OB and WR stars. The tidal force of Sgr A* has a serious effect on the star formation in the GC. In addition, the strong Lyman continuum radiation from the cluster ionizes the ISM. It is an open question whether such massive stars can form in the vicinity of Sgr A* or not. Thus, we have analyzed the Cy.0 data of Sgr A* at 100, 250, and 350 GHz in the ALMA archive. Since the original observation aimed for the measurement of the time variation of Sgr A*, the time span of the observation is longer than 7 hrs. The good UV coverage and “ self-calibration ”, which is popular in VLBI data reduction, give us to obtain dynamic range of over 2×10^4 in the resultant maps at 350 GHz. The high dynamic range is unprecedented in sub-millimeter wave and the angular resolution attains to $0.44'' \times 0.38''$ at 350 GHz. Since the continuum emission is thought to mainly come from dust, we have identified “dust cores” using the clumpfind algorithm. Although a few cores are associated with the stars, many cores correspond to IR dark area rather than the stars. Therefore, the dust cores are most likely star-forming ones in the vicinity of Sgr A*. The CMF is $dN/dM \propto M^{-0.5}$. This slope is consistent with the top-heavy IMF of the cluster.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02c **Search for Time Lag of Sgr A* IDV with KVN**

Atsushi Miyazaki (Hosei Univ.), S.-S. Lee, B.-W. Sohn, T. Jung (KASI, South Korea)

Sagittarius A* (Sgr A*) is a compact source with emissions from radio to X-ray, and it is associated with the Galactic center black hole (GCBH). The temporal flux variations of Sgr A* were reported from the observations at many wavelengths, and especially the intra-day variability (IDV) was detected in the mm- and submm-wavelengths. The time lags between the IDV flare peaks at 22 and 43 GHz have been reported by VLA, and they suggested that the flare emissions come from adiabatically expanding plasma blobs ejected close to the GCBH (Yusef-Zadeh et al. 2006). However such significant time lag could not be found in the search for the time lag between light curves at 90 and 102 GHz with the Nobeyama Millimeter Array (Miyazaki et al. 2013).

In order to search for the time lag of Sgr A* IDV flare, we are performing observations of Sgr A* in the 22, 43, 86, and 129 GHz bands using the Korean VLBI Network (KVN) from the winter of 2013. Because the receiver system of KVN can observe Sgr A* at these multi-frequencies simultaneously, the KVN is very useful to detect the time lag of Sgr A* flare. In some KVN observations, the moderate intra-day flux variation about 20-30% were probably detected, but time lag between the IDVs at the observed bands was not clear. We would like to report the recent result of the KVN observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a **What is a Giant Molecular Cloud? Are Observers and Simulators Discussing the Same Star-forming Clouds?**

Hsi-An Pan, Elizabeth Tasker, and Yusuke Fujimoto (Hokkaido University)

Observations and simulations have now reached the point where the giant molecular cloud (GMCs) populations can be studied over a whole galaxy. This is immensely helpful for understanding star formation, since the cloud properties set the conditions for new star birth. Yet, are these two groups really comparing the same objects? While simulators work in position-position-position (PPP) space, observers see projected properties along the line of sight, identifying clouds in position-position-velocity (PPV) space. If these methods do not identify the same objects, then the interpretation and comparisons between the data sets may be highly misleading.

In this research we generated PPV and PPP data for a high-resolution simulated galaxy and compared the identified cloud properties in both data sets. Results show that the physical properties of molecular clouds in the individual galactic environments (bar, spiral, and outer disk) are highly similar among the two data structures. About 70% of clouds have single counterpart in each dataset, and their cloud properties scatter mostly within a factor of two. Therefore, comparing the simulated and observed GMCs are practical, and it will be the trend in the ALMA era. Simulations of GMCs observations based on the ALMA Cycle 3 capabilities will be presented.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04a **The origin of the broad feature at $22\ \mu\text{m}$ 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)

In this presentation, we show 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 in 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. A broad emission feature at $22\ \mu\text{m}$ has been found previously to show a spatial variation in this region. The carrier(s) of this broad feature may be associated with the newly-formed dust grains post supernova explosion, however its origin is yet unclear.

We compare the spatial variation of this feature with the physical properties of molecular gas, indicated by the CO and ^{13}CO . 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](#)

R05a 低重元素量の銀河 IC 10 にある分子雲の 3 mm 帯ラインサーベイ

西村優里 (東京大学), 下西隆 (東北大学), 渡邊祥正 (東京大学), 坂井南美 (理研), 相川祐理 (筑波大学), 河村晶子 (国立天文台), 山本智 (東京大学)

重元素量の低い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、重元素量が太陽系近傍の $1/2 - 1/3$ 程度の大マゼラン雲 (LMC) にある 7 つの分子雲を対象に 3 mm 帯の観測を行った。7 つの分子雲は星形成の程度が大きく異なるにもかかわらず、得られたスペクトルは互いに類似していることから、分子雲スケール (10 pc スケール) の化学組成は星形成活動の影響を顕著には受けていないことを見出した (西村ほか、2014 年春季年会)。銀河系内の分子雲などとの比較では、各分子雲での HCN/HCO⁺ 比は N/O の元素存在比とほぼ比例する一方、CCH/HCO⁺ 比は C/O 比とは比例せず、重元素量の少ない LMC で、特徴的に高い値を示すことがわかった (西村ほか、2015 年春季年会)。

これらの特徴が重元素量の低い銀河の分子雲で一般に見られるか検証するため、今回、我々は重元素量が太陽系近傍の $1/5$ 程度と低い銀河 IC 10 ($d \sim 950$ kpc) の化学組成を調べた。Leroy et al. (2006) で CO の輝線が最も強く観測された領域を選び、野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて 3 mm 帯ラインサーベイを行った。55 時間の観測の結果、¹²CO, ¹³CO に加え、*c*-C₃H₂, CCH, HCN, HCO⁺, HNC, CS, SO の輝線を検出した。これをもとに HCN, HNC や CCH の存在量比を見積もると、上述のような LMC の特徴と同じ傾向を示すことがわかった。この特徴は、星間塵が少ないため光解離領域が分子雲の中まで広がることに起因すると考えられる。本講演では、こうした低重元素量環境を特徴づける化学組成について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06a 近傍銀河で観測される分子雲スケールの化学組成の意味

渡邊祥正 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 徂徠和夫 (北海道大学), 山本智 (東京大学)

銀河スケールから GMC(~ 10 pc) スケールの分子ガスの化学組成の理解は、GMC の形成・進化からその内部での星形成に至る過程を、銀河スケールの環境やガスダイナミクスとの関連から理解する上で重要である。さらに、AGN や Starburst などの極限環境下における化学組成の理解の基礎になるものである。一方で、この大きさの分子ガスの化学組成の理解は手つかずのままである。GMC は希薄な分子ガスから星形成領域まで様々な構造を内包する複雑系であるため、化学進化モデルを用いたアプローチは困難である。そこで我々は、M51 や NGC 3627 などの近傍の銀河に対して、1 kpc から 300 pc 程度の空間分解能での分子輝線観測を推進してきた。

M51 では渦状腕にある星形成活動性の異なる 2 点を観測し、化学組成に大きな違いが見られないことを示した。NGC 3627 の観測でも、渦状腕とバーエンド領域で比較したところ、バーエンド領域で若干の特徴的組成が見られるものの、両方で大きな違いはなかった。このことから、1 kpc スケールの化学組成は広がった分子ガスの平均した化学組成を反映しており、個々の領域の星形成の活動性との関連は見られない。これらのスケールで観測されるスペクトルパターンは、銀河系内の W51 分子雲全体を平均してみたときのスペクトルパターンと比較的よく一致する。従って、M51 や NGC 3627 の渦状腕で観測されるスペクトルパターンは、1 kpc スケールで見たときのスペクトルパターンの標準指標とみなすことができ、これをもとに AGN や Starburst の効果を評価することができる。一方で、1 kpc 以下のスケールでは、CN、 CH_3OH や HNCO などの分子で領域毎の違いが見え始めている。この違いは、個々の領域の星形成活動性や銀河スケールのガスダイナミクスなどを反映している可能性が考えられるが、その検証にはさらに解像度を高め、GMC スケールを分解した観測が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07a 超新星爆発の影響を考慮した棒渦巻銀河における分子雲形成・進化

藤本裕輔, Elizabeth J. Tasker, 羽部朝男 (北海道大学), Greg L. Bryan (コロンビア大学)

分子雲（低温高密度な星間ガスの集合体）は星形成の母体であるため、銀河内の分子雲形成・進化を理解することは銀河における星形成を解明する上で非常に重要である。観測と理論両面の研究により、渦巻銀河や棒渦巻銀河における渦状腕や棒状構造などの銀河構造は分子雲形成・進化に影響を及ぼすことが明らかになってきている。我々は昨年度、棒渦巻銀河の高分解能星間ガスシミュレーションを行い、銀河構造によって分子雲の性質と進化が大きく影響を受けることを明らかにした (Fujimoto et al. 2014a)。分子雲形成・進化に大きな影響を与えるもうひとつの重要な物理過程として超新星爆発がある。分子雲の中で生まれた星のうち太陽の約8倍以上の質量を持つ大質量星が引き起こす超新星爆発はその母体である分子雲を破壊し新たな星形成を抑制する。また、衝撃波を引き起こすことによって高密度領域を作り新たな星形成も引き起こす。そこで我々は、星形成とそれによる超新星爆発を組み込んだ棒渦巻銀河の星間ガスシミュレーションを行い、銀河構造と超新星爆発の両方の影響を考慮して分子雲形成・進化を調べた。

超新星爆発は分子雲のガスを星間中に散逸させ星間ガスの密度を高めること、そしてその比較的高密度な星間ガス中で重力的な束縛が弱い短寿命の分子雲が多く形成されることを明らかにした。また、分子雲間の星間ガスの密度が高くなることによって分子雲に働く流体抵抗が大きくなり、大質量分子雲が角運動量を失い銀河中心方向へ落下することも明らかにした。このガス供給により、銀河中心領域で星形成率が高く維持されている。本講演では、形成された分子雲を3種類に分類することにより上述の詳細を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08a **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)、山下拓時 (宇宙研)、植田準子 (国立天文台)、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)

銀河と銀河の衝突は宇宙で頻繁に起こっている。衝突が進んだ銀河は赤外線で見える銀河 Ultra/Luminous Infrared Galaxies (U/LIRGs: $L_{\text{FIR}} > 10^{12} L_{\odot}$, $L_{\text{FIR}} > 10^{11} L_{\odot}$) に分類されている。これは、銀河衝突によって星形成活動が誘発されているからだと考えられている。したがって、銀河進化を理解する上で、銀河衝突の研究は重要であるといえる。

また、衝突していない渦巻銀河と衝突して爆発的星形成を起こしている U/LIRGs は異なる分子ガス質量と星形成率の関係 (Kennicutt-Schmidt 関係) を示すことが観測的に明らかになっている。理論シミュレーションではこれらの違いが衝突による星形成効率 ($\text{SFE} = \Sigma\text{SFR} / \Sigma\text{GAS}$) の進化に起因していると主張している。しかし、観測的な証拠は得られていない。というのも、衝突銀河の分子ガスの観測は衝突が進んだ赤外線で見える銀河に偏っており、衝突初期段階の銀河の観測がこれまで行われていなかったからである。

そこで、衝突初期段階の銀河を 12 天体 (6 ペア) ASTE 望遠鏡を用いて 2014 年 11 月に CO(3-2) 輝線を観測した。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。本観測から星形成効率が銀河衝突で進化することを示す結果が暫定的ではあるが得られた。しかし、観測銀河の数を増やす必要がある。そこで、2015 年 6 月に衝突銀河 60 個について同様の観測を行う予定である。最新の観測結果も踏まえて、銀河衝突における星形成効率の振る舞いを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09b ALMA による衝突銀河 NGC1614 の CO 分子観測

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), 齊藤俊貴 (東大), 植田準子 (国立天文台), 道山知成 (総研大/国立天文台)

銀河の進化過程において銀河は衝突を繰り返しながら成長してきたと考えられており、衝突銀河の研究は銀河の形成を考える上で重要である。衝突の影響によってガスが圧縮されて星形成が活発になるということがシミュレーションから示されており、その様子が観測からも明らかにされている。また、近年の ALMA による高感度、高分解能の観測では、多くのスターバースト銀河でアウトフローの証拠が発見されている。

本研究で扱う NGC1614 は、衝突の後期段階にあるスターバースト銀河 ($SFR \ 50M_{\odot}/yr$) であり、最近では CO(1-0) による観測からアウトフローの存在も示唆されている。我々は ALMA cycle2 のモザイク観測によって得られた CO(2-1)、CO(1-0)、 $^{13}CO(2-1)$ 、 $^{13}CO(1-0)$ の 4 輝線の CO 分子ガスデータを用いて低温分子ガスの分布と運動を調べており、本講演ではその初期成果を紹介する。また、non-LTE 解析を行うことで、温度や密度の分布を導出し、星間物質の詳細な物理状態の検証を行う予定である。既存の他の分子ガスデータや他波長データと比較することでより詳しい物理状態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](#)

R10b 渦巻銀河 M 101 のディスク外縁部の星形成領域における CO($J = 1 - 0$) 輝線観測

岸田望美, 徂徠和夫 (北海道大学)

我々は、渦巻銀河のディスク外縁部に存在する活発な星形成領域における星形成メカニズムを調べることを目的として、近傍の渦巻銀河 M 101 (NGC 5457) の外側領域 ($> 0.5R_{25}$) に存在する 4 つの星形成領域 (NGC 5447, NGC 5455, NGC 5462, NGC 5471) に対して国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡/TZ 受信機を用いた $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ 輝線観測を行った。その結果、NGC 5455 を除く 3 つの星形成領域で同輝線を有意に検出した。放射強度から分子雲の面密度を導出し、Nobeyama CO Atlas (Kuno et al., 2007) で得られた内側の渦状腕領域と比較した。

得られた結果は主に以下の 3 点である。(1) 今回の観測点における中性水素ガスの総質量面密度 ($\Sigma_{\text{HI}} + \Sigma_{\text{H}_2}$) は内側の渦状腕領域と同様の値を示した ($10^1 - 10^2 M_{\odot}/\text{pc}^2$)。 (2) 水素分子面密度 (Σ_{H_2}) と星形成率面密度 (Σ_{SFR}) の関係は冪乗則に則るが、内側における冪指数は > 2 であるのに対し、今回の観測点における冪指数は ~ 1 であった。これはスターバースト銀河における冪指数と同等の値であり (Kennicutt, 1998)、ディスク外縁部で局所的にバースト的な星形成活動が起こっていることを示す。(3) IRAM 30m 望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ の値 (Leroy et al., 2009) を用いて $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ と $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ の積分強度比を求め、星形成効率 (SFE; $\Sigma_{\text{SFR}} / \Sigma_{\text{HI}+\text{H}_2}$) との関係調べたところ、内側において両者の関係はべき乗則に則るが、外縁部の観測領域はその関係から外れることが分かった。内側の渦状腕と外側の星形成領域で、簡単な励起計算により求めた物理状態に顕著な違いは見られないことから、後者における高い SFE は高密度ガスの割合がディスクの内側と外側で異なる可能性を示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](#)

R11b Schmidt-Kennicutt 則の傾きと高密度ガス質量の割合の関係

諸隈 佳菜 (国立天文台), 馬場 淳一 (東京工業大学)

本研究の目的は、ガスの表面密度 (Σ_{gas}) と星形成率の表面密度 (Σ_{SFR}) の関係 (Schmidt-Kennicutt 則、以降 KS 則) の傾きと全低温ガスに対する高密度ガス質量の割合 (f_{dense}) との関係を明らかにすることである。星形成の物理は完全には理解されておらず、多くの銀河形成・進化に関する理論研究では、KS 則を仮定している。観測的には、KS 則の横軸は CO(1-0)・HI 輝線でトレースされる分子・原子ガスを合わせた全低温ガスの表面密度を取ることが理想的であるが、1) $\Sigma_{\text{gas}} > 10 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ の範囲では、分子ガスが低温ガスの大半を占めること、2) 現状の装置で HI 輝線が検出されているのは $z < 0.3$ の近傍銀河に限られること (e.g. Fernandez et al. 2013) から、遠方銀河を含む KS 則の研究では、横軸を分子ガスの表面密度 (Σ_{H_2}) に取ることが多い。このような背景から、 $\Sigma_{\text{H}_2} - \Sigma_{\text{SFR}}$ 関係を使い、KS 則の傾きが調べられてきた。ところがその傾きは研究ごとで異なり、1–1.5 の幅を持つ (e.g. Leroy et al. 2013; Kennicutt et al. 2007)。一方で、HCN などの高密度ガストレーサーと星形成率の関係は、多くの研究で傾きが ~ 1 になることが示されている (e.g. Gao & Solomon 2004)。

そこで、我々は円盤銀河ポテンシャル中の数値流体シミュレーションを行い、 f_{dense} と KS 則の傾きの関係を調べた。シミュレーションには、ガスの自己重力、輻射冷却 ($20 < T < 10^8 \text{K}$)、遠紫外線 (FUV) 加熱、分子生成、星形成 (Schmidt 則)、超新星・HII 領域フィードバックが考慮されている。その結果、 f_{dense} の値ごとの KS 則は、全体の KS 則と比べて緩い傾きを示すことが明らかになった。このことは、観測される KS 則の傾きの多様性の起源が、観測データに含まれるサンプルの f_{dense} の多様性の違いである可能性を示唆している。本講演では、仮定する局所的な星形成則や、星間 FUV の異なる場合の計算結果も合わせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R12a ALMA による赤外線銀河 IRAS20551-4250 の赤外線放射励起の研究

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

赤外線銀河は、ガスに富む銀河の合体で生成され、塵の奥深くに埋もれたエネルギー源 (星生成、活動銀河中心核 AGN) によって暖められた塵の熱放射によって明るく輝いている天体である。これらのエネルギー源、特に AGN は塵の奥深くに埋もれているため、その役割を正しく理解するには、塵吸収の影響の小さな波長での観測が必要である。(サブ)ミリ波帯に観測される分子ガスの輝線強度比は、強力な手段になり得ると考えられている。

観測的には、星生成銀河に比べて、AGN で HCN の回転準位 (J) の輝線強度が強いという傾向が見つかっており、その説明として、衝突励起に加えて赤外線放射励起が効いているとする説、具体的には、AGN に暖められた高温の塵から強く放射される波長 $14\mu\text{m}$ の赤外線光子を吸収することによって HCN が振動励起され、その後のカスケード過程で、HCN の振動基底状態での回転準位の光度が増えるという説が提唱されている。しかし、他の高密度分子ガストレーサーである HCO^+ や HNC も、それぞれ $12\mu\text{m}$ や $21.5\mu\text{m}$ にラインを持ち、同じように赤外線放射励起され得る。分子ガス輝線強度比への赤外線放射励起の影響を議論するには、これらの分子の振動励起準位での輝線強度を比較することが必要である。我々は、塵に隠された AGN を持つ赤外線銀河 IRAS 20551-4250 での HCN/HNC/HCO⁺ の振動基底/励起準位での J=3-2 の輝線の光度を、ALMA Cycle 2 の観測から求めた。Spitzer IRS 分光による赤外線スペクトルを用いて、赤外線振動励起で期待される光度の計算と比べた所、HCN の組成比が HCO^+ や HNC に比べて大きく超過しているという示唆を得た。また、見積もられた振動励起温度から、赤外線放射励起が分子ガスの回転準位の決定に大きく影響し得ることが確認された。AGN 周囲の分子ガス輝線を理解するためには、従来の衝突励起だけでなく、赤外線放射励起をきちんと理解することが重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13a 多波長測光データで探る中近傍銀河の星形成と活動銀河核の関係

小山舜平 (東京工業大学、ISAS/JAXA)、松原英雄 (ISAS/JAXA)、後藤友嗣 (National Tsing Hua Univ.)、大藪進喜 (名古屋大学)

銀河質量についての観測的研究から、大質量銀河 ($M_{\text{star}} \gtrsim 10^{11} M_{\odot}$) の密度は予想される値より小さいことが知られている。この原因としては、大質量銀河では活動銀河核 (AGN) が活発化することで星形成の抑制が起き、それ以上銀河が成長できなくなることが考えられている。しかし、AGN による星形成の抑制の理解は未だ不十分であり、AGN による星形成の抑制がどのような銀河に起きるのか、などは観測的に明らかになっていない。

そこで本研究では、AGN による星形成の抑制が中近傍銀河に見られるかを調査するため、中近傍銀河の星形成率、星質量、AGN の有無の探査を行った。ここで、星質量と星形成率の推定には「あかり」、WISE、SDSS、GALEX による UV-FIR の多波長測光データを用いた SED フィッティング、AGN の有無は SDSS による可視の輝線比から推定した。その結果、 $z=0.006-0.48$ において約 4000 天体について物理量の推定を行うことができた。これら物理量間の関係から、星質量が大きくなるにつれて、AGN をもつ銀河の割合が増え、また、AGN をもたない銀河と比較して比星形成率 (星形成率/星質量) が小さくなることを確認した。本講演では、これら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](#)

R14a **NRO レガシープロジェクト COMING (1) : プロジェクトの概要**

徂徠和夫 (1), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (3), 中井直正 (2), 宮本祐介 (4), 金子紘之 (4), 諸隈佳菜 (4), 松本尚子 (5, 4), 武田美保 (3), 柳谷和希 (3), 畠山拓也 (2), 岸田望美 (1), Dragan SALAK(6), 他 COMING メンバー (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: 大阪府立大学, 4: 国立天文台, 5: 山口大学, 6: 関西学院大学)

銀河における星生成の理解は、銀河の進化を解明する上で不可欠であり、星の生まれるもととなる分子ガスの銀河における分布や運動、密度や温度などの物理状態を明らかにすることが重要な情報を与える。しかし、可視光や赤外線などで膨大な数の銀河の撮像観測がなされているのに対して、ミリ波の分子スペクトル線撮像観測がなされている銀河は圧倒的に少ない。このため、銀河を空間分解した kpc スケールでの分子ガスに関する普遍的な知見を得るに至っていない。このような状況を打破するために、私たちの研究グループは、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡に新規に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を使った近傍銀河の大規模な分子ガス撮像観測 (CO Multi-lines Imaging of Nearby Galaxies = *COMING*) を同観測所の大学主導レガシープロジェクトとして立ち上げた。対象は遠赤外線フラックスを基準に 238 銀河を選定しており、 R_{25} で定義した可視光の銀河半径の 70% について、オンザフライ (OTF) によるマッピング観測を行う。また、受信システムの広い帯域を活かし、 $^{12}\text{CO } J=1-0$ 輝線に加えて、 ^{13}CO と C^{18}O の輝線も同時に観測する。多数の銀河について、銀河のほぼ全域に渡って、3 つの輝線を同時に系統的に撮像することで、例えば銀河の形態の違いと銀河内部の分子ガスの性質や星生成の関係を明らかにすることを目指す。本講演では、プロジェクトの概要を示し、本年 4 月に開始したばかり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](#)

R15b **NRO レガシープロジェクト COMING (2) : 棒渦巻銀河 NGC2903 の CO(J=1-0) 多輝線撮像観測**

柳谷和希, 武田美保, 村岡和幸 (大阪府立大学), 岸田望美, 徂徠和夫 (北海道大学), 畠山拓也, 久野成夫, 中井直正 (筑波大学), 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜 (NAOJ), 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

銀河の多様性やその進化を理解するためには、星の誕生メカニズムと、銀河中の分子ガスの量やその分布、物理状態との関係などを調べるのが重要である。そこで、我々は野辺山 45-m 鏡と FOREST 受信機を用いた、近傍銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 輝線の撮像観測プロジェクト (CO Multi-lines Imaging of Nearby Galaxies:COMING) を推進している (徂徠ほか、本年会)。2015 年 4 月から 5 月にかけて、棒渦巻銀河 NGC2903 の CO(J=1-0) 多輝線撮像観測を行った。観測は全て On-The-Fly モードで行い、実効的な角度分解能 $18 - 19''$ で $4' \times 8'$ ($10.4 \text{ kpc} \times 20.8 \text{ kpc}$) のマップを取得した。気象条件の良くない時期にも関わらず約 14 時間という短い時間の観測で、115GHz 帯 (^{12}CO) では $1\sigma \sim 47 \text{ mK}$ 、110GHz 帯 (^{13}CO と C^{18}O) では $1\sigma \sim 39 \text{ mK}$ という CO マップとしては非常に深いノイズレベル (in T_{MB}) を達成した (速度分解能はともに 10 km/s)。同銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ については、過去に野辺山 45m 鏡/BEARS 受信機を用いた観測 (Kuno et al. 2007, PASJ 59, 117) で得られたマップと同じ感度を達成しており、積分強度やその空間分布も先行研究をよく再現した。また、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ では、銀河中心や bar-end など様々な領域で有意な輝線を検出し、初めての空間分布を得た。 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ は残念ながら有意な輝線を検出するには至っていないが、近傍銀河の高速かつ高感度な CO 多輝線撮像観測を実施する上で、野辺山 45-m 鏡/FOREST 受信機が非常に強力な観測装置となることを確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R16b NRO レガシープロジェクト COMING (3) : 棒渦巻銀河 NGC 2903 における分子ガスの物理状態診断

武田美保, 柳谷和希, 村岡和幸 (大阪府立大学), 岸田望美, 徂徠和夫 (北海道大学), 畠山拓也, 久野成夫, 中井直正 (筑波大学), 宮本祐介, 金子紘之, 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、銀河の形態や構造、進化、星形成の活発さなどの多様性を分子ガスの諸性質 (運動、質量、物理状態等) から理解するために、野辺山 45-m 鏡/FOREST 受信機を用いた近傍銀河における CO 多輝線観測 (CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies:COMING) を推進している (徂徠他, 本年会)。2014 年度の観測では、棒渦巻銀河 NGC 2903 における CO 多輝線同時観測に成功した (柳谷他, 本年会)。この観測によって得られた NGC 2903 の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線マップと、IRAM 30-m 鏡で得られた $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線マップを組み合わせる事で、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 比 ($R_{13/12}$) と、 $^{12}\text{CO}(J=2-1)/^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 比 ($R_{2-1/1-0}$) の空間分布を調べた。すると中心領域において $R_{2-1/1-0} \sim 0.94$, $R_{13/12} \sim 0.10$ 、bar-end においては北側の領域で $R_{2-1/1-0} \sim 0.77$, $R_{13/12} \sim 0.14$ 、南側の領域で $R_{2-1/1-0} \sim 0.74$, $R_{13/12} \sim 0.06$ を得た。さらに、これらの輝線強度比に対して Large Velocity Gradient (LVG) 近似を用いることで、各領域における分子ガスの温度と密度を見積もった。この結果、bar-end において分子ガスの温度は南北どちらも 10-15 K と低温だが、分子ガス密度は北側で $2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 、南側で $1 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ と 2 倍の違いがあることがわかった。また、中心領域では分子ガスの温度が 30 K 以上、密度が $8 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ で、温度・密度ともに bar-end よりも高いことがわかった。こうした高温高密度ガスの存在は、銀河中心部で激しい星形成が起きているとする先行研究と合致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17b NRO レガシープロジェクト COMING (4) : 近傍矮小銀河 NGC2976 の分子ガス観測

畠山拓也, 久野成夫, 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), 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、一酸化炭素の 3 輝線 ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$) での近傍銀河のサーベイプロジェクト、COMING を推進している。本講演では、その初年度の成果の一部である NGC2976 の観測結果について報告する。

NGC2976 は、距離がおよそ 3Mpc 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、棒状構造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。今回の観測から以下のようなことがわかった。星形成の材料となる分子ガスも星形成領域と同様に棒状構造の両端に多く存在し、次に銀河中心に多く分布している。この分子ガスの分布は、水素原子ガスの分布 (棒状構造の両端にピークがあるが銀河中心にはほとんど存在しない) と少し異なる。また、棒状構造の両端、および銀河中心の $R_{31}(=^{12}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=1-0))$ はおよそ 0.2-0.4 で、棒状構造の両端より中心部の方がやや高くなっている。この値は、近傍銀河 28 天体について調べられた値 0.2-0.7 (Mauersberger et al. 1999) や、JCMT でのサーベイの値 0.2-0.8 (Wilson et al. 2009) の範囲内であるが、NGC2976 では、中心領域も含めて銀河全体にわたって、比較的 R_{31} が低く、高温高密度ガスの割合が小さいことが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18b **NRO レガシープロジェクト COMING(5): 近傍銀河 NGC 3079 の CO 観測**

宮本祐介 (1)、徂徠和夫 (2)、幸田仁 (3)、Dragan SALAK(4)、中井直正 (5)、久野成夫 (5)、村岡和幸 (6)、金子紘之 (1)、諸隈佳菜 (1)、松本尚子 (7)、岸田望美 (2)、畠山拓也 (5)、武田美保 (6)、柳谷和希 (6)、他 COMING メンバー (1: 国立天文台、2: 北海道大学、3: Stony Brook Univ.、4: 関西学院大学、5: 筑波大学、6: 大阪府立大学、7: 山口大学/国立天文台)

国立天文台野辺山 45 m 電波望遠鏡に新規に搭載された 4 ビーム・両偏波・2SB 受信機 (FOUR beam REceiver System on 45m-Telescope: FOREST) によって ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 輝線の高感度・高効率、同時マッピング観測が可能になった。我々は野辺山観測所のレガシープロジェクトとして FOREST 受信機を用いた近傍銀河の CO 多輝線撮像観測 (CO Multi-lines Imaging of Nearby Galaxies: *COMING*) を推進している (徂徠他、本年会)。本講演では、*COMING* 初期成果の一部である近傍銀河 NGC 3079 の観測結果について報告する。

NGC 3079 は距離 19.7 Mpc にある edge-on の Seyfert 2/LINER 銀河で、銀河中心から銀河円盤に垂直に数 kpc のスーパーバブルが存在することが、電波から X 線に渡る様々な波長帯で報告されている。今回、FOREST を用いた NGC 3079 の CO マッピング観測の結果、 ^{12}CO は銀河円盤だけでなくスーパーバブルに沿って 2–3 kpc に渡り、広く分布する傾向が見えてきた。中心領域の分子ガスの分布と運動を詳細に調べるため CARMA ミリ波干渉計を用いて ^{12}CO 、 ^{13}CO 同時観測を行った。その結果、 ^{12}CO は広域に分布している一方で、 ^{13}CO は中心領域 (半径 < 1 kpc) に集中し、特に $\text{H}\alpha$ + $[\text{NII}]$ 輝線がトレースするイオンガスアウトフローの壁に沿って分布していることが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R19b **Suprime-Camを用いた Ursa Minor 矮小楕円体銀河の測光解析**

佐々木花 (東北大学), 小宮山裕 (国立天文台), 八木雅文 (国立天文台)

コールドダークマター理論に基づく構造形成理論に従うと、銀河はより小さなものが集まってより大きなものへと進化していくと考えられている。実際に、アンドロメダ銀河や天の川銀河等の巨大銀河の周辺では、小さな銀河が集積、合体していく様子が恒星ストリーム等として観測されている。しかし、矮小銀河では今のところこうした substructure の存在が明確には確認されていない。そこで我々は、2つの substructure の存在が後退速度分布の解析によって示唆されている (Pace et al. 2014) Ursa Minor 矮小楕円体銀河 (UMi dSph) について、すばる望遠鏡 Suprime-Cam によって得られた撮像データの解析・測光を行った。

較正の結果、点光源の限界等級は $V \sim 25.5\text{mag}$ まで到達しており、UMi dSph の星の転向点 ($V \sim 23\text{mag}$) も十分にカバーしている。本研究では、UMi dSph を5つの領域 (中心部、北西部、南東部、substructure が示唆されている2つの領域) に分割し、各領域と UMi dSph 全体について色等級図を作成して、RGB-bump の解析から金属量の推定、転向点付近の解析から年齢分布の推定を行い、各領域の比較を行った。解析の結果、中心部、南東部の年齢分布はよく似ており、年齢分布における古い星の割合が高かったが、その他の領域、特に北西部は比較的若い星の割合が高い年齢分布を持つことがわかった。また、金属量を比較したところ、2つの substructure 候補の領域の金属量は、他の領域より低い値となることがわかった。以上の結果は、substructure 候補の領域に存在する星の多くは、銀河本体とは別の起源である可能性を示唆していると考えられる。本発表では、UMi dSph 全体と分割した5つの領域の詳細な解析結果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20b 矮小銀河の化学進化における重元素の選択的な流出

本間英智, 村山卓 (東北大学), 小林正和, 谷口義明 (愛媛大学)

大型望遠鏡による矮小銀河の撮像・分光観測により、矮小銀河の星の色等級図と金属量が測定できるようになってきた。我々はこれまで、色等級図と金属量を同時に説明することを目的として、色等級図から導かれた星生成史に従って化学進化を計算するモデルを作成し、矮小銀河の金属量分布の解析を行ってきた。そして、矮小銀河の星生成史と金属量分布を同時に説明するためには、矮小銀河で合成された重元素の大部分が銀河外へ流出する必要があることが分かってきた。矮小銀河からいつ、どのようにして重元素が流出するかは、矮小銀河だけでなく銀河間ガスの化学進化にも影響する重要な物理過程である。

そこで本研究では、超新星から放出された重元素と星間ガスとの混合、および流出するガスの金属量との関係に着目した化学進化モデルを作成し、4つの矮小楕円体銀河 (dSph) と3つの矮小不規則銀河 (dIrr) の金属量分布を解析した。その結果、超新星ガスが星間ガスと十分に混合する場合は、矮小銀河の星生成史と金属量分布を説明するために、星生成率の10–100倍のガス流出率が必要になることが分かった。これは、実際のdIrrで観測されるガスの流出率 (星生成率と同程度) より大きく、現実的な流出過程とは考えにくい。一方で、超新星ガスの大部分が星間ガスと十分に混合せずに流出する場合は、必要なガスの流出率は小さくなることが分かった。そのため、矮小銀河の観測から得た星生成史、金属量分布、ガスの流出率を説明するためには、超新星から放出された重元素の大部分は、星間ガスと混合せず選択的に流出していると考えられる。本講演では、各dSphとdIrrのモデル計算結果を報告し、重元素の選択的な流出が矮小銀河の化学進化に与える影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R21a 異なる質量の矮小銀河における r プロセス元素分布

平居悠 (東京大学, 国立天文台), 石丸友里 (国際基督教大学, IAP), 斎藤貴之 (東京工業大学), 藤井通子 (国立天文台), 日高潤 (明星大学, 国立天文台), 梶野敏貴 (国立天文台, 東京大学)

連星中性子星合体は、 r プロセスの有力な起源候補天体である。近年の高分散分光観測により、局所銀河群中の矮小銀河の r プロセス元素組成比が明らかになりつつある。矮小銀河では、銀河系同様、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ の星の r プロセス元素組成比に大きな分散がある。前回の年会では、星質量 $\sim 10^7 M_{\odot}$ の矮小銀河モデルにおいて、 r プロセス元素が連星中性子星合体により放出された場合、観測値を再現できることを報告した。しかし、 r プロセス元素は、星質量 $\sim 10^5 M_{\odot}$ 程度の矮小銀河においても観測されており、こうした質量の小さい矮小銀河で r プロセス元素組成比を連星中性子星合体により説明できるかは未だ明らかではない。そこで本研究では、 N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics コード、ASURA を用いて、最終的な星質量が、 $10^5 - 10^7 M_{\odot}$ の矮小銀河において、連星中性子星合体で r プロセス元素を放出した場合の r プロセス元素組成比の進化を計算した。その結果、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ にみられる r プロセス元素組成比の分散は、銀河の質量にあまり依存しないことが示された。これは、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ では、銀河中の金属の空間分布が不均一で、金属量は、銀河の質量に依存しない、個々の超新星爆発により決定されるためである。一方、質量の小さい銀河ほど、重力ポテンシャルが浅く、ガスを失いやすいため、最終的な金属量は質量の小さい銀河ほど低くなることが確認された。本研究により、質量の小さい矮小銀河の r プロセス元素組成比も連星中性子星合体フィードバックによって説明できる可能性が示唆された。さらに、矮小銀河形成初期の化学進化は、矮小銀河の質量に依存せず、似たような進化をしたことが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a M31 に衝突した矮小銀河の形態とダークマター分布の時間進化

桐原崇亘 (筑波大学), 三木洋平 (筑波大学), 森正夫 (筑波大学), 川口俊宏 (札幌医科大学)

近年の高精度な観測により、アンドロメダ銀河 (M31) のハロー領域には、未だに力学的に緩和していない数多くの構造が発見されてきた (Ibata et al. 2001 他)。特に、アンドロメダストリームと呼ばれる M31 中心から南東方向 100 kpc に渡って帯状に伸びる巨大な星の構造は、その空間構造・視線速度構造等が観測されてきた。詳細な銀河衝突の N 体シミュレーションにより、このような構造は、約 1 Gyr 前に M31 に衝突した質量 $10^9 M_{\odot}$ 程度の矮小銀河のモデルでよく再現されることが示されてきた (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008; Miki et al. 2014 他)。ただし、その多くは球対称な矮小銀河を仮定していた。

一方で、M31 に衝突した矮小銀河として想定する質量レンジにある近傍の矮小銀河の多くは、回転成分を持つ矮小楕円銀河や不規則銀河である (Davies et al. 1983; McConnachie 2012)。さらに、観測されたアンドロメダストリームに直行する方向に輝度分布を解析すると、これまで用いられてきた球対称な矮小銀河では再現できない顕著な非対称構造が見られた。本研究では、衝突した矮小銀河のモデルとして回転成分を持つ円盤銀河を用いて、円盤の inclination や scale height、rotation velocity をパラメータにとった大規模なサーベイを行った。観測データとの詳細な比較を行うことで、ストリームの非対称な構造を再現する矮小円盤銀河の内部構造に制限をつけた。矮小円盤銀河を構成していた恒星系とダークマターハローの空間分布の時間進化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](#)

R23a 「あかり」衛星によるヒクソン・コンパクト銀河群の赤外線観測

池内綾人, 左近樹, 臼井文彦, 尾中敬 (東京大学)

ヒクソン・コンパクト銀河群 (HCGs) は、せいぜい数十個以下の構成銀河からなる通常の銀河団よりコンパクトな構成の銀河集団であり、構成銀河間の速度分散は小さく銀河団より強い重力相互作用下に有ると考えられている。実際に、各銀河群を構成する銀河のうちの約 43 %において相互作用によると考えられる形状が見られている。従って、HCGs は銀河間の強い重力相互作用が銀河自身の進化にどのような影響を与えるか調べる上で格好の対象である。各構成銀河の進化段階を調べる上で、銀河の星間ダストの赤外放射は極めて有用な情報を提供する。特に、中間赤外波長域に見られる未同定赤外バンドは、銀河の潮汐作用に誘発された星形成活動の度合いを図る上で重要であり、また遠赤外域の古典的ダストの放射は銀河を駆動するエネルギー源を調べる上で有用な情報を提供する。我々は、「あかり」衛星の近・中間赤外線カメラ (IRC) および遠赤外サーベイヤー (FIS) を用いて、複数の HCGs の観測を行なった。本講演では近赤外遠赤外までのデータ取得に成功した HCG56 及び 92 の観測結果を扱う。IRC を用いたスリットレス分光観測では、10 分角の視野内に含まれる構成銀河のスペクトルを一度に効率よく取得することができるが、特に分散方向上に位置する天体との重なり等が問題となる。我々は構成する各銀河に対して、分散方向上に重なる銀河のスペクトルの分離や個々の銀河の広がりを考慮した慎重なデータ解析を行い、各構成銀河の近・中間赤外線スペクトルを得る事に成功した。講演では、中間赤外、遠赤外の測光結果と併せて、各構成銀河の赤外ダスト放射の性質を示し、銀河間の強い重力相互作用が銀河進化に与える影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R24b 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (6)

山村一誠 (ISAS/JAXA)、「あかり」チーム

赤外線天文衛星「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、われわれは衛星運用終了後もデータ処理・解析・アーカイブ活動を継続している。2013年4月より「あかりデータ処理・解析チーム」が活動し、今年度末までに全天サーベイに加えて指向観測データについても、できる限り多くの観測について“Science Ready”データを作成・公開することを目指している。

2015年春季年会においては、遠赤外線全天イメージの公開(土井他、Q20A)、近・中間赤外線撮像データの公開(江草他、W212a)を報告し、またデータ利用に関する説明会を実施した。現在、今年10月の公開を目指して、遠赤外線点源天体カタログ Ver.2 と遠赤外線フーリエ分光データの作成・検証・評価作業が大詰めを迎えている。また、中間赤外線全天イメージ、近赤外線分光データおよび撮像データ、遠赤外線指向観測データについても年度末の公開に向けてデータ解析・処理を進めている。これらの進捗状況、予定されているデータの内容について紹介する。

我々は、「あかり」データの科学的価値を高めるため、データに興味を持つ研究者の、データ作成・評価・アーカイブ活動への参加を歓迎します。また、独自の視点で大規模な系統的解析を行ったユーザーが作成したデータを収集し、アーカイブすることも行っています。お気軽に iris_help@ir.isas.jaxa.jp までご連絡ください。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R25b **Catalog of the Akari-, Spitzer-, and, Herschel-Inspected Nearby Galaxies (CASHING)**

Ronin Wu, Tamami I. Mori, Takashi Onaka, Fumihiko Usui, Itsuki Sakon (U. of Tokyo)

This presentation shows the spectral data from the Catalog of the Akari-, Spitzer-, and, Herschel-Inspected Nearby Galaxies (CASHING). This catalog contains nearby galaxies of various types, including starburst dwarf, elliptical, and spiral galaxies. We aim to combine the spectral data of wavelength ranges continuously from $2.5\ \mu\text{m}$ to $40\ \mu\text{m}$ and from $57\ \mu\text{m}$ to $700\ \mu\text{m}$. The broad coverage of the spectral range will allow us to study multiple phases of the interstellar medium in various nearby extragalactic environments. In the near future, we also aim to combine the photometric data to perform modeling of the spectral energy distributions (SED). In this poster, we present the preliminary spectral data from the CASHING and discuss our project goals.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R26b 渦状腕理論の新たな観測的診断法の提案：arm-gas offset 法

馬場淳一 (東京工業大学地球生命研究所), 江草英実, 諸隈佳菜 (国立天文台チリ観測所)

円盤銀河の表面に存在する恒星系渦状腕 (以下, 渦状腕 または arm) の起源として, 現在大きく二つの説が提唱されている. 一つが「準定常密度波仮説」である (Lin & Shu 1964). この仮説では, 渦状腕を数銀河回転周期 (>1 Gyr) に渡り剛体回転的に伝播する波動現象と解釈している. 一方, N 体シミュレーションにより, 渦状腕は銀河の差動回転に伴い巻き込まれながら, 銀河回転周期 (~ 100 Myr) で合体・分裂を繰り返す「動的平衡状態」にある非定常構造であることが示唆されている (Baba et al. 2009; Fujii, Baba et al. 2011; Baba et al. 2013). しかし, これらの渦状腕理論の観測的検証は十分になされておらず, その検証法の考案が重要な課題となっている.

そこで我々は両者の渦状腕モデルに基づく流体シミュレーションを行い, 渦状腕周辺での星間ガスの空間分布の違いを調べた. その結果, 準定常密度波モデルでは銀河衝撃波理論 (Fujimoto 1968; Roberts 1969) が予想するように, 星間ガスが渦状腕周辺で衝撃波を経験し, 方位角方向に系統的にずれた位置に高密度部分を形成するのに対し, 動的渦状腕モデルでは星間ガスの高密度部分が渦状腕にほぼ沿うようにランダムに分布することがわかった. これは, 観測される銀河の恒星系渦状腕と高密度ガス (分子ガスやダストレーン) の方位角の差の動径分布が, 渦状腕構造の起源の診断材料の一つになることを示唆する (arm-gas offset 法; Baba, Morokuma-Matsui, & Egusa 2015, PASJ). ただし, 本講演で提唱する「arm-gas offset 法」は, 渦状腕が剛体回転的か差動回転的かの診断材料にはなるが, 回転角速度 (パターン速度) の定量的な値を算出できるわけではない. その評価には CO-H α offset 法 (Egusa et al. 2009) などが有効であり, 渦状腕構造の起源の理解には様々な方法による多角的な観測的診断が不可欠である. なお, 近傍渦巻銀河 M51 に適用した結果は, 本年会の江草他講演で報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R27a 近傍渦巻銀河 M51 における腕構造の進化

江草芙実 (国立天文台), Erin Mentuch Cooper, 幸田仁 (Stony Brook University), 馬場淳一 (東京工業大学)

銀河円盤内の渦巻腕構造の起源と維持機構については諸説が提唱されているが、1Gyr 程度パターンの変化がない “quasi-stationary” な密度波理論 (Lin & Shu 1964) と、相互作用による励起 (Toomre 1969) や再帰的な腕構造 (Fujii et al. 2011) など、より変化の速い “dynamic” なモデルに大別される (c.f. Dobbs and Baba 2014)。密度波ポテンシャルを仮定した星間ガスの計算では、腕付近で衝撃波 (銀河衝撃波) が立つと予測されていて (Fujimoto 1968; Roberts 1969)、その位置が銀河中心からの距離 (r) や自己重力の強さ (α) に依存すると示唆されている (e.g. Baba, Morokuma-Matsui, & Egusa 2015; Lee 2014)。

そこで我々は、近傍渦巻銀河 M51 について、星間ガスと星質量の密度分布を用いて上記理論モデルの検証を行った。星間ガスの密度分布は CO 輝線 (Koda et al. 2009) と HI 輝線 (Walter et al. 2008) データから求め、星の質量分布は可視から近赤外までの画像に対し SED モデルをフィットして求めた (c.f. Mentuch Cooper et al. 2011)。そして衝撃波面の相対的位置として、腕でのガスと星のピーク位置のずれを $r = 30''\text{--}240''$ の範囲で測定した。その結果、ずれは 0 を中心にほぼランダムに分布し、理論モデルから予測される r や α との相関は見られなかった。これは、M51 の腕構造が銀河衝撃波モデルで仮定されているほど長寿命 (\sim Gyr) ではないことを示唆している。

一方、同様の手法で測定された CO と H α のピーク位置のずれは、M51 の 2 本の腕で分布が異なっている (Egusa et al. 2009; Louie et al. 2013)。これらの結果から、arm1 は数 100Myr の時間スケールで腕が巻き込まれる slowly-winding arm、arm2 はそれよりも巻き込みの速い rapidly-winding (or corotating) arm 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](#)

R28a **Structure and dynamics of perturbed galactic discs**

Alex Pettitt (Hokkaido University, Japan), Elizabeth Tasker (Hokkaido University, Japan),
James Wadsley (McMaster University, Canada)

The nature of the spiral structure of disc galaxies is still somewhat of an open question. A number of different mechanisms have been suggested to underpin spiral features; density waves, swing amplified transient spirals, bar driven arms and tidal encounters. The regimes where each of these mechanisms becomes dominant is an unknown, when does an interaction between a galaxy and a companion become strong enough to drown out the structure formed in isolation? We present the results of an investigation into the various morphologies created in the interaction between a disc galaxy and minor companion using numerous numerical simulations with stars, dark matter and gas. The primary goal of which is to discern the sensitivity of disc galaxies to tidal spiral structure. For what orbital paths, mass and velocity limits does the galaxy cease to feel the companion, and therefore any spiral generation is left to the galaxy itself? This also includes comparisons to transient spiral arm structures, those generated in simulations of isolated discs, and how the longevity, morphology and gas structure differs between the two mechanisms. We then proceed to identify the likely mechanisms driving a variety of 2-armed galaxies seen in the night's sky, and the likely properties of small mass companions that may be driving the observed spiral structure. By understanding the mechanisms driving different spiral morphologies we can better assess the origin of structure in external galaxies and the Milky Way.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R29a 銀河の多成分力学平衡分布生成コードの開発

三木 洋平, 梅村 雅之 (筑波大学)

銀河どうしの衝突・合体や銀河円盤中の渦状腕の形成などの銀河の力学進化過程を詳細に調べるために、 N 体シミュレーションを用いた研究が精力的に進められている。こうした計算を行うためには適切な初期条件を生成する必要がある。しかしながら、一般に銀河はバルジ・ハロー・円盤からなる多成分系であり、これを力学平衡な粒子分布として表現することは容易ではなく、現在も初期条件の生成方法に関する研究が続けられている。さらに、銀河の質量やサイズ、各成分の質量分布に対する依存性を調べるためには、これらを手軽に変更できることも重要であるが、こうした望ましい性質を全て備えた初期条件生成コードは存在しない。例えば、代表的な初期条件生成コードである GalactICS (Kuijken & Dubinski 1995; Widrow et al. 2003) では、バルジ+ハロー+円盤からなる粒子系を力学平衡系として表現できるが、球対称成分の密度プロファイルを変更することはできない。

得られた粒子分布は観測データのフィッティングやガス入りの計算にも利用可能であるが、特にフィッティングに用いるためには手軽に粒子分布を変更できる必要がある。そこで我々は、複数の球対称成分と軸対称成分を粒子系として表現する初期条件生成コードを開発している。球対称成分については、等方的な速度分布を仮定し Eddington formula を用い分布関数を作成、この分布関数に従う粒子分布を生成することで、Burkert, Einasto, Hernquist, King, Moore, NFW, Plummer model などの多様なモデルやその重ね合わせを力学平衡な粒子分布として表現できる。また、円盤成分については GalactICS にならった実装であるが、天の川銀河のように厚い円盤と薄い円盤が共存する系を念頭に、厚さの異なる複数の円盤成分を持った粒子系を生成できるような拡張も施している。講演においてはこうした実装の詳細や、生成された粒子分布の長時間の安定性について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R30a **FDPS(Framework for Developing Particle Simulator): 大規模分散メモリー環境下での粒子系シミュレーション用フレームワークの開発**

岩澤全規 (理研)、谷川衝 (理研)、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天文学の幅広い分野で広く使われており、使用されるアルゴリズムも似ている。しかし、今までのソフトウェアは各分野で独立に開発されており、分野間で共用する事は難しかった。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。そこで、本研究では、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アプリケーションプログラムの開発を行うことが出来る。我々は、実際にFDPSを使ったいくつかのアプリケーションプログラムの開発も行い、「京」や「XC30」などのスパコンで実行した。その結果、アプリケーション・プログラムが数百行で書け、また非常に高い実行効率が出る事を確認した。本発表では、FDPSの概要といくつかのアプリケーション・プログラムのパフォーマンス等を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R31c 銀河の重力コラプスの位相空間における進化：N体法とVlasov法の比較

穂積俊輔 (滋賀大学), 吉川耕司 (筑波大学), 吉田直紀 (東京大学)

現在、2013年に打ち上げられた位置天文衛星 Gaia によるサーベイ観測によって、可視光で 20 等級までの 10 億個以上の恒星の高精度なアストロメトリ計画が進行している。このような観測は、私たちの銀河系の位相空間情報を与える。一方、銀河のシミュレーションでは、銀河を多くの粒子で表し、個々の粒子の軌道を追跡する N 体計算によって銀河の力学進化を求めることが多い。そのため、粒子の配置空間での情報が主となっている。Gaia による位相空間情報が得られる時代を迎えて、数値計算においても速度空間を含む位相空間の記述が重要となる。

一般に、位相空間での力学進化を記述するためには、Vlasov (無衝突 Boltzmann) 方程式を解く必要がある。Yoshikawa et al. (2013, ApJ, 762, 116) は、実際に 6 次元位相空間での Vlasov 方程式を解く計算コードを完成させている。しかし、位置と速度の 6 次元空間を扱うためには大規模数値計算が必要となる。一方、Hozumi (1997, ApJ, 487, 617) は、N 体計算の一種である Self-Consistent Field (SCF) 法を使い、Liouville の定理にしたがって必要な粒子の軌道を $t = 0$ まで追跡することで、ある時刻での位相空間を再現することに成功している。ただし、球対称系の重力コラプスを扱ったため、軌道計算には個々の粒子の角運動量が保存することが使えるので、精度よく軌道を計算できた結果として位相空間が再現されたとも言える。

そこで、SCF 法によって一般の対称性のない系での位相空間が再現できるのかを調べるとともに、そもそも Vlasov シミュレーションによる位相空間の時間進化はどの程度正しく計算されているのかを調べるために、SCF 法と Vlasov シミュレーションで球状系の 3 次元重力コラプスを計算し、適当な時刻での特定の 2 次元位相空間を作成した。年会では、両者の計算結果の詳細な比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R32c 銀河中心部の大質量天体と球状星団系の性質の関係

隈井泰樹 (熊本学園大学)

銀河の球状星団系 (GCS) は、その形成や進化の過程を通じて銀河中心部の中心核星団 (NSC) や大質量ブラックホール (SMBH) などの大質量天体 (CMOs) の形成・進化に多大な影響を及ぼすことが理論的に提唱されて来ている。しかしながら、観測的見地から GCS と CMO のそれぞれの性質の関係を解明しようとする試みはいまだあまり多くはない。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 GCS と CMOs の基本的性質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) 楕円銀河に関して、SMBH の質量が大きい銀河ほど、球状星団の総質量と星の総質量の比 (および球状星団の specific frequency S_N) が大きいという顕著な相関がある。また、球状星団の総質量と親銀河の力学的質量の比に対しても同様な相関が見られ、さらに、SMBH と親銀河の力学的質量の比が大きい銀河ほど S_N が大きいという傾向がある。対照的に、S0 銀河では上記のどの相関も見られない。

(2) 円盤銀河では NSC の質量が大きい銀河ほど S_N の値が小さい。楕円銀河、特に矮小楕円銀河ではこの相関は見られないが、大質量の NSC を持ち、かつ大きな S_N の値を示す銀河は稀である、という傾向がある。また、どのタイプの銀河でも、小さな S_N の値を示すものはすべて面密度の高い NSC を持っている。

(3) 乙女座銀河団の早期型銀河の球状星団を blue/red (metal-poor/metal-rich) に二分した時、NSC の質量は、blue cluster だけで計算した S_N と負の相関を示す。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、これらの新知見に基づいて、GCS の形成・進化の過程が CMOs の形成・進化に及ぼす影響について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R33a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (3)

中道蓮, 三石郁之, 佐治重孝, 松本浩典, 田原譲 (名古屋大学)

X 線天文衛星 ROSAT による全天サーベイの結果、点源や局所的な構造を除けば軟 X 線 (0.44 - 1 keV) で見る宇宙は一様に光っていることが観測的に示された (Snowden et al. 1997)。これは軟 X 線背景放射と呼ばれ、空間構造やその起源が議論されてきた (e.g., Yoshino et al. 2009, Yoshitake et al. 2013)。銀河系外由来の成分については銀河面上では濃い中性物質により吸収されてしまうため、観測された一様性を説明するには銀河面特有の未知の放射の存在が必要となる (e.g., McCammon & Sanders 1990)。これまで、軟 X 線領域にて高い感度を誇るすざく衛星を用いてこの未知の成分を調べてきた。その結果、0.9 keV 付近をピークとする bump 状の”超過”成分を持つ 24 領域を検出した (三石他 2013 年秋季年会、中道他 2015 年春季年会 等)。

bump 成分の起源については予想される空間密度や観測された flux などを考慮し、星が候補として挙げられている (Masui et al. 2009)。今回我々は、すざく衛星によって bump 成分の検出された領域をカバーする XMM-Newton のデータを用いて初めての点源解析を行なった。結果、着目する領域からは 44 個の点源が検出され、得られた点源のスペクトルを足し上げ分光解析を行ったところ、bump 成分が支配的な 0.5-2 keV では $\sim 2 \times 10^{-13} \text{erg/s/cm}^2$ となっていた。本講演では観測された bump 成分の中で点源の寄与がどの程度かを定量的に評価し、X 線分光特性や多波長データを組み合わせてその起源についても議論を進めていく。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R34a **Jitter radiation origin of the Galactic microwave Haze emission**

服部 誠、藤木和城（東北大理天文）

マイクロ波ヘイズ放射は、WMAPの全天強度分布マップから銀河系内シンクロトロン放射、制動放射、ダスト放射のテンプレートを差し引くことで発見された銀河中心部付近で銀河面を挟んで銀緯 $\pm 30^{\text{deg}}$ に渡って広がるマイクロ波放射源である。スペクトルは、同じ周波数域でのシンクロトロン放射より硬く、制動放射より柔らかい。その後、マイクロ波ヘイズ放射の線カウンターパートとして Fermi bubbles が数 GeV-100GeV の銀河面を跨いで $\pm 50^{\text{deg}}$ に渡って広がった線放射源として銀河中心方向に発見された。これらを統一的に説明するモデルとして、レプトニックモデルと言われるモデルが提案されているが、このモデルでは、マイクロ波ヘイズ放射と Fermi bubbles の空間的広がりの違いを説明できない。もう一つのモデルとして Fermi bubbles は、宇宙線と星間物質の相互作用で発生する線であるとするハドロニックモデルがある。

本講演では、Fermi bubbles のハドロニックモデルに基づきマイクロ波ヘイズ放射の発生機構を説明する新しいモデルを提案する。銀河中心付近では銀河面を挟んで $\pm 30^{\text{deg}}$ に渡って 10^5K 程度のプラズマが存在すると仮定する。更にこのプラズマは、シンチレーション等の観測により星間プラズマ中の存在が確立されている電子密度の揺らぎで満ちていると仮定する。この揺らぎの伴う電子温度の揺らぎがプラズマ運動論的不安定性を引き起こし、磁場を伴うプラズマ波が励起されることを線形解析から示した。この波の中を相対論的電子が運動することで発生するジッター放射の放射公式を解析的に求めた。マイクロ波ヘイズ放射の電波域での観測と比較する事で同じ領域から観測されているシンクロトロン放射とマイクロ波ヘイズ放射のスペクトルを同時に説明出来る事を示した。本講演では、我々のモデルの観測的テスト方法についても言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R35a すざく衛星による渦巻銀河 M101 の観測

山内茂雄（奈良女子大学）

X線望遠鏡を搭載した Einstein 衛星の登場以降、系外銀河に位置する天体を分離することが可能となり、点源以外に広がった X 線放射が存在することが明らかにされた。それらの温度は 1 千万度程度以下と見積もられている。一方、銀河の中心付近で爆発的に星形成がおこっているスターバースト銀河では、中心付近から高銀緯方向に大きく広がった、高階電離した鉄からの 6.7 keV 輝線を伴う X 線放射が見つかっている。この輝線は温度が数千万度のプラズマガスに起因するものであるため、そのような高温のプラズマガスが存在していることを示している。これらは、活動的な星形成や、それに伴っておこる多くの超新星などによって形成されたものと考えられている。

スターバースト活動を伴わない通常の渦巻銀河にも、同様の高温プラズマガス成分は存在しているのだろうか。存在するのであれば、その特徴はどのようなものだろうか。この疑問に答えるために、すざく衛星で観測した近傍の渦巻銀河 M101 のデータを解析した。その結果、中心部半径 5 分角（半径 9.9kpc に相当）の領域から集積したスペクトルに 6.7 keV の輝線を発見した。このことは M101 銀河に数千万度の温度の高温ガス成分が存在していることを示す。講演では、解析結果と強い鉄輝線の起源についての検討結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R36c 鉄輝線放射率から探る銀河系拡散 X 線放射の放射源

長友 俊, 長田 哲也 (京都大学), 西山 正吾 (宮城教育大学), 永山 貴宏 (鹿児島大学)

銀河面では点源に分解できていない広がった X 線が観測されている。その放射源については点源説と広がった高温プラズマ説とで議論があったが、強度分布が銀河系の大部分で赤外線的面輝度分布に従うことから、中心部以外では点源説が有力である。しかし、点源の詳しい性質についてはまだわかっていない。一方銀河系中心部 $|l| \lesssim 1^\circ$ の領域においては、X 線強度の赤外線面輝度分布からの超過が観測されている。これは点源以外の寄与を示唆するものであるが、赤外線面輝度分布には減光補正や若い星からの寄与の不定性が残っていた。

我々は、拡散 X 線の 6.7 keV (Fe XXV) 輝線の強度分布と近赤外線による M 型巨星の星数密度分布を比較し、鉄輝線強度を M 型巨星の数密度で割った値 (以後、鉄輝線放射率) の分布を求めた。この値は、ある方向における M 型巨星と X 線点源の存在比と、X 線点源 1 個あたりの鉄輝線放射強度の積である。結果、銀経 8° では鉄輝線放射率が $(1.09 \pm 0.13) \times 10^{-8}$ photons $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であったのに対し、銀経 $0^\circ.1$ の領域ではその 2.5 倍であることが分かった (Nishiyama et al. 2013, Yasui et al. submitted, 長友 2015 年春季年会 R19a)。Sazonov et al. (2006) によれば、太陽近傍にある X 線点源の総 X 線光度は 2 – 10keV で $(3.0 \pm 0.3) \times 10^{27}$ erg s^{-1} である。太陽近傍の M 型巨星の数密度と典型的な鉄輝線等価幅を仮定すると、鉄輝線放射率は $(1.32 \pm 0.13) \times 10^{-8}$ photons $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ となった。この値は銀経 8° での放射率と近い値であるが、中心部の放射率より有意に小さい。このことから、銀河面の拡散 X 線は太陽近傍の X 線点源と鉄輝線放射率が近い点源による放射であり、中心部は太陽近傍とは異なる鉄輝線放射率の天体が放射源であると考えられる。本講演では上記に加え、銀河系中心部での鉄輝線放射率の変化から、中心部の放射の拡がり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](#)

【S. 活動銀河核】

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [F会場]

S01a	15:00	EVN 及び VLBA を用いた M87 ジェットにおける活動的ノット HST-1 の長期運動モニター 秦和弘 (国立天文台)
S02a	15:12	GENJI プログラム : VLBI モニター観測により明らかになった電波銀河 3C 84 における新たな電波ローブの形成 千田華 (東海大学/国立天文台)
S03a	15:24	宇宙で最大級の電波銀河 3C 236 のジェットの活動 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)
S04a	15:36	ブレーザージェットの系統的な偏光変動探査 伊藤亮介 (広島大学)
S05a	15:48	電波銀河 NGC1275 と M87 の X線とガンマ線の同期した変動 深沢泰司 (広島大学)
S06a	16:00	広輝線電波銀河 3C 111 のガンマ線・電波観測によるガンマ線放射位置とガンマ線放射機構の推定 志岐健成 (広島大学)
S07a	16:12	Ultra-fast outflow を持つ活動銀河核からのガンマ線探査 友野弥生 (東海大学)
S08a	16:24	乱流二次加速による FSRQ 3C 279 のガンマ線フレアモデル 浅野勝晃 (東京大学)
S09a	16:36	硬い放射スペクトルのブレーザーと非熱的電子の 2 次フェルミ加速機構 格和純 (広島大学)
S10a	16:48	超高エネルギー宇宙線加速源候補天体の加速可能領域についての調査 加賀谷美佳 (茨城大学)

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [F会場]

S11b	09:30	ブレーザー OJ 287 のガンマ線増光と電波ジェット成分生成 澤田-佐藤聡子 (茨城大学)
S12b	09:30	ダブルピーク広輝線を持つ電波銀河 3C332 の JVN による高分解能観測 中島大貴 (北海道大学)
S13b	09:30	「すざく」による電波銀河 Centaurus A ローブの X線観測 瀬田裕美 (首都大学東京)
S14c		AGN ジェットの構造と放射スペクトル 岩本弘一 (日本大学)
S15a	09:42	銀河系中心 Sgr A* の時間変動の解析 上原顕太 (東京大学)
S16a	09:54	ガス雲と相互作用する巨大ブラックホール高温降着流 : 3次元 MHD シミュレーションから予測する観測的特徴 川島朋尚 (国立天文台)
S17a	10:06	活動銀河核トーラス内縁部の輻射流体計算 行方大輔 (筑波大学)
S18a	10:18	「すざく」による低光度活動銀河核の広帯域 X線スペクトルとそのトーラス構造の理解 (II) 川室太希 (京都大学)
S19a	10:30	非負値行列因子分解 (NMF) を用いたセイファート銀河の X線エネルギースペクトル変動の解釈 海老沢研 (宇宙航空研究開発機構)
S20a	10:42	活動銀河におけるサブミリ波帯 H ₂ O メーザー探査 II 萩原喜昭 (東洋大学)
S21a	10:54	近傍 Seyfert 銀河中心の分子ガス円盤と巨大ブラックホールの共進化 泉拓磨 (東京大学)
S22a	11:06	近傍 2 型 AGN における遠赤外線光度と AGN 光度の関係性 松岡健太 (京都大学)
S23b	11:18	一酸化炭素吸収バンドから探る AGN 中心核付近の温かいガスの分布 馬場俊介 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S24b	11:18	circum nuclear disk が超大質量ブラックホール成長史に与える影響についての準解析的モデルを用いた研究 白方光 (北海道大学)
S25b	11:18	準解析的銀河・AGN 形成モデルによる AGN 自己相関関数 大木平 (文教大学)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

S26b 11:30 可視光輝線診断による低金属量 AGN 探査 川崎光太 (愛媛大学)

S27c 分光モニター観測によるクエーサーアウトフローガスの調査 堀内貴史 (信州大学)

S28c クエーサー紫外-可視域多バンド光度曲線から得られる Inhomogeneous Accretion Disk Model への制限 小久保充 (東京大学)

S01a **EVN 及び VLBA を用いた M87 ジェットにおける活動的ノット HST-1 の長期運動モニター**

秦和弘 (NAOJ), M. Giroletti, G. Giovannini(INAF-IRA), C. Casadio, J. L. Gomez(IAA), C. C. Cheung(NRL), 紀基樹 (KASI), 永井洋 (NAOJ), 土居明広 (JAXA)

活動銀河核 (AGN) ジェットにおける相対論的運動を詳しく調査することは、その加速や収束、更には γ 線フレアに至る高エネルギー放射の発生機構を解明する上で重要である。M87はおとめ座銀河団の中心に位置する最近傍の電波銀河であり、AGN ジェット研究の重要天体として電波から γ 線に渡り活発に観測が行われている。とりわけ、中心核から ~ 120 pcの距離に位置する極めて活動的なノット「HST-1」では超光速運動や巨大X線バーストが観測され、更にはTeV γ 線フレアとの関連も示唆されるなど、ジェットの内部構造を紐解く手がかりを与える成分として近年大きな注目が寄せられている。

しかしながら、そのミリ秒角スケールでの構造や詳細な運動学的性質については未だ十分なコンセンサスが得られていない。これまでVLBIによる幾つかの先行研究が行われているが (Cheung et al. 2007; Chang et al. 2010; Giroletti et al. 2012 等)、それぞれに異なる形状や速度が報告されており、その原因が大きな議論となっていた。

そこで我々は欧州 VLBI 観測網 (EVN) と米国 VLBI 観測網 (VLBA) を用いて過去約 10 年という長期に渡る HST-1 の VLBI データを統合し、かつてないほど詳細な HST-1 のモニター調査を実施した。これにより、HST-1 の構造や運動・軌道について非常に詳細な時間進化の様子を明らかにすることができた。また、HST-1 の上流側において、新たなノット成分が度々、かつ毎回ほぼ同一の地点から出現することがわかった。本講演ではこれらの結果に基づいて HST-1 の内部構造や運動の起源、更には高エネルギー放射との関連について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a

GENJI プログラム：VLBI モニター観測により明らかになった電波銀河 3C 84 における新たな電波ローブの形成

千田華 (東海大学, 国立天文台), 永井洋 (国立天文台), 紀基樹 (KASI), 秋山和徳 (MIT), 日浦皓一朗 (北海道大学) 本間希樹 (国立天文台), 西嶋恭司 (東海大学), ほか GENJI プログラムメンバー

本研究では電波銀河 3C 84 の電波コアから出現した新成分 (C3) の物理的性質を、sub-pc スケールにおけるフラックス密度や構造の時間変化から明らかにするために、GENJI プログラムを通して高頻度なモニター観測を行い、新成分が進化の初期段階の電波ローブであることを明らかにした。

この新成分は 2002 年の VLBI 観測により電波コアからの噴出が確認されている (Suzuki et al. 2012)。2014 春季年会 (千田他) の講演では、約 6 年間のモニター観測で明らかになった C3 のフラックス密度の増光から、一般的なジェットとは異なる振る舞いについて議論した。本講演では、C3 の力学的進化及び VLBA の 15、43 GHz 帯のアーカイブデータを用いて 2008 年から 2013 年まで 1 年毎に測定した C3 のスペクトルについて報告する。

我々は観測結果から 2007 年から 2012 年の間、C3 が増光と同時に膨張している事を明らかにした。この時期の C3 の電波スペクトル指数は 15-22、22-43 GHz 間でそれぞれ -0.23 ± 0.13 、 -1.16 ± 0.09 となり、光学的に薄い状態を示していた。一般に光学的に薄いプラズマの断熱膨張では高エネルギー電子は冷却されフラックス密度は減少するが、C3 では増光が起きており、電波ローブ先端のホットスポットに見られる粒子加速が C3 内部で発生している事が示唆される。また C3 の見かけの速度は $\beta_{app} = 0.267 \pm 0.007$ であり、若い電波銀河における典型的なホットスポット及び電波ローブの進行速度と一致した。以上から C3 は進化の初期段階にある電波ローブであると考えられ、電波銀河における電波ローブが超巨大ブラックホール近傍で形成されているという証拠を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S03a 宇宙で最大級の電波銀河 3C 236 のジェットの活動

磯部 直樹 (宇宙科学研究所), 小山 翔子 (Max-Planck-Institut für Radioastronomie)

電波銀河の中でも、端から端までの長さが 1 Mpc を超すまでに成長したものを巨大電波銀河と呼ぶ。シンクロトロンエイジングの手法により、巨大電波銀河は典型的な年齢が 10 Myr を大きく超える年老いた銀河であることが分かっている。このような年老いた電波銀河のジェットの特性の研究は、いまだあまり進んでいない。特に我々は、巨大電波銀河のジェットはいったいどの程度の期間にわたって活動を続けるのだろうか、に注目している。

最近、数個の巨大電波銀河のローブについて「すざく」衛星による系統的な X 線観測が行われ、ローブに溜まった電子と磁場のエネルギーが評価されている (Isobe et al., 2009, 2011a, 2011b)。その結果を 1 Mpc より小さく活動的なジェットをもつ電波銀河と比較することで、巨大電波銀河のジェットはもはやローブにはエネルギーを供給していない、という可能性が指摘されている。この描像を確立するには、より大きくより年老いた巨大電波銀河を観測するのが、都合が良い。

そこで我々は、巨大電波銀河 3C 236 の西ローブを「すざく」で観測した。3C 236 は、大きさが 4 Mpc にも達し、これまでに知られた巨大電波銀河の中でも 2 番目に巨大である。また、年齢が 98 Myr と推定される非常に年老いた天体である。このような特徴にもかかわらず、「すざく」による観測で推定した 3C 236 の西ローブの電子と磁場のエネルギーは、3C 236 のジェットがローブへのエネルギー供給を続けていることを示唆するという、驚くべき結果を得た (Isobe et al. 2015)。この結果を様々な電波観測の情報と組み合わせ、3C 236 のジェットの活動史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](#)

S04a **ブレーザージェットの系統的な偏光変動探査**

伊藤亮介, 深澤泰史, 田中康之, 植村誠, 川端弘治, 秋田谷洋, 吉田道利, 宇井崇紘, 高木勝俊, 中岡竜也, 川端美穂, 神田優花, 高田紘司, 志岐健成 (広島大学), Krzysztof Nalewajko, Grzegorz Madejski(SLAC), 笹田真人 (Boston Univ.), 森谷友由希 (カブリ IPMU), 山中雅之 (甲南大学)

ジェットを伴う活動銀河核は粒子をほぼ光速まで加速する、地上では現実不可能な規模の大加速器実験施設であり、その加速機構や形成機構の解明は宇宙物理学における大きな課題である。ブレーザー天体とはジェットを伴う活動銀河核のうち、そのジェットを正面から観測していると考えられる天体である。これらジェットからの放射はビーミング効果によって他放射成分より強まって観測されるため、ブレーザー天体は相対論ジェットの放射メカニズム解明の上で重要な天体であると言える。しかし、活動銀河核ジェットに対する多くの研究がなされたにもかかわらず、その形成機構や変動機構はいまだ明らかではない。これらの解明には、様々なタイムスケールでの多波長同時観測が重要である。

我々は約 50 個のブレーザー天体に対し、6 年以上に亘る可視光度偏光度のモニター観測を実施し、世界的に見ても非常に稀な可視偏光の、日スケールから年スケールに亘る観測サンプルを得た。これまで我々のグループでは、個々のブレーザー天体のフレアに対し、ジェットにおける放射機構やその周辺環境解明に対する成果を上げてきた (e.g., Sasada et al. 2014, Itoh et al. 2015)。今回、6 年間の観測によって得られた結果を元に、ブレーザージェットにおける普遍的なジェット放射メカニズムを解明するため、系統的調査を実施した。その結果、最大可視偏光度がその可視光度ではなく、ガンマ線光度に相関することなどを明らかにした。本講演では、これらブレーザーの系統的な調査の結果を報告するとともに、ブレーザー種族ごとの放射機構の違いについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a 電波銀河 NGC1275 と M87 の X 線とガンマ線の同期した変動

深沢泰司、志岐健成、田中康之、伊藤亮介、高橋弘充（広大理）、Lukasz Stawarz（Jagiellonian 大学）

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡は、10 を超える電波銀河から GeV ガンマ線を検出し、電波銀河は GeV ガンマ線天体として確立した。また、明るい電波銀河 NGC1275, M87, Cen A からは、TeV ガンマ線も観測されており、将来の CTA 観測のターゲットとしても興味深い。しかし、それらのジェット放射の多波長スペクトルは、電波とガンマ線領域を除いては、あまりよくわかっていないのが現状である。最近になって、可視光でもジェット由来の放射が識別されるようになってきた。一方、X線帯域はシンクロトロン放射か逆コンプトン散乱のどちらかが検出されれば、多波長スペクトルに大きな制限がつくが、これまでは降着円盤に付随した放射との切り分けや銀河団成分との分離が難しく、ジェット成分の X 線スペクトルや時間変動についての情報が乏しかった。

我々は、すざく衛星で半年ごとに観測される NGC1275 のデータを用いて X 線変動を追っているが、ガンマ線で 2013 年以降明るくなったことに伴って X 線も増光していることがわかった。これは、X 線とガンマ線の同期した変動として初めての結果である。さらに、Swift/XRT のデータ解析を行なった結果、ガンマ線でフレアした時期には X 線でも flux が数倍以上になっていることが確認できた。また、2006 年 11 月のすざく衛星の M87 のデータを解析したところ、数 10000 秒スケールでの変動を発見した。この時期は 1 日以下のタイムスケールの TeV フレアが観測されている時期で、Chandra 衛星により、中心コアから 120pc 以上離れたノット HST-1 からの放射が X 線帯域では支配的であることから、この数 10000 秒の変動は HST-1 に由来すると考えられ、TeV ガンマ線との関連で興味深い。講演では、これらについて結果を紹介するとともに、議論を行なう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06a 広輝線電波銀河 3C 111 のガンマ線・電波観測によるガンマ線放射位置とガンマ線放射機構の推定

志岐健成, 深澤泰司, 田中康之, 伊藤亮介, 植村誠, 神田優花 (広大理), 土居明広, 井上芳幸 (ISAS/JAXA)

電波銀河の強い電波放射はジェットで加速された高エネルギー電子のシンクロトロン放射によるものと理解されている。特に、フェルミ衛星によってガンマ線が検出されている広輝線電波銀河 3C 120 では、降着円盤由来の X 線減光後に、電波コアからのノット放出が観測されている。これは降着円盤の最内縁部のガスがブラックホールに吸い込まれ、一部がジェットとして放出されていると考えられ、相対論的ジェット形成の理解に重要な示唆を与えている (e.g., Marscher et al. 2002)。さらに 3C 120 についてはガンマ線の増光後に電波ノットの放出が確認されており、ノットの出現時期とガンマ線領域の増光時期の時間差からガンマ線放射領域の位置の推定が行われて、相対論的ジェットのエネルギー散逸領域および散逸機構の理解も大きく進んでいる (Tanaka et al. 2015)。

我々は 3C 120 と同様に、フェルミ衛星で検出されている広輝線電波銀河 3C 111 の約 6 年のガンマ線フラックス変動をフェルミ衛星を用いて探査し、電波コアやノットとの関係を調べた。2008 年に観測を開始したフェルミ衛星に搭載されている Large Area Telescope (LAT) 検出器は 0.1-300GeV の高エネルギーガンマ線を検出し、3 時間ごとの全天サーベイ観測を行なっているため、天体の短期・長期光度変動を同時に追うことが可能である。これらのデータから数ヶ月に渡って継続するガンマ線帯域の増光と電波コアのフラックスおよびノットの間に関係が見られる期間を複数発見した。本講演ではこれらの結果を報告するとともに、3C 111 におけるガンマ線放射位置と放射機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S07a **Ultra-fast outflow を持つ活動銀河核からのガンマ線探査**

友野弥生 (東海大理), 林田将明 (東大宇宙線研) for the Fermi-LAT collaboration, 井上進 (理研), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大理)

近年の活動銀河核 (AGN) の X 線観測により、ultra-fast outflow (UFO) と呼ばれる光速の数 10% にも達するアウトフローが観測されている。例えば、Tombesi et al. 2010 では、42 天体の radio-quiet な Seyfert 銀河に対して観測を行い、その半数近くから UFO を発見している。このような活発な観測が X 線で進められる中、UFO と AGN 周辺に存在する物質との相互作用、または UFO 内部の速度揺らぎを起因として衝撃波が生成され、陽子・電子が高エネルギーにまで加速されるアイデアも議論されており (2014 年春季大会、井上講演)、宇宙線起源の天体である可能性も期待される。そこで我々は、Tombesi et al. 2010 にて観測された radio-quiet な天体を基本に、UFO を持つ天体からのガンマ線放射の検出を試みた。解析に用いたのは、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡の LAT 検出器の 100 MeV 以上、6 年を超える観測データである。

その結果、今回解析を行った天体からの有意なガンマ線放射は検出されなかった。そこで、信頼水準 95% におけるガンマ線の積分 photon flux の上限値と 100 MeV-100 GeV でのガンマ線光度の上限値を見積もったところ、積分 photon flux の上限値の中央値は $\sim 3 \times 10^{-9}$ photons cm⁻² s⁻¹、全解析天体の光度の上限値範囲は 10⁴⁰-10⁴⁴ erg s⁻¹ であった。ガンマ線光度の上限値を、それぞれの天体の電波や赤外線光度、また、UFO を特徴付ける物理量であるアウトフローの質量放出率と運動エネルギー率との比較を行った。特に、ガンマ線光度の上限値とアウトフローの運動エネルギー率の比は、 $\sim 10^{-3}$ 以下に達する天体も見られた。本講演では、ガンマ線データ解析の詳細結果を報告し、多波長データとの比較から理論的に予測される放射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](#)

S08a 乱流二次加速による FSRQ 3C 279 のガンマ線フレアモデル

浅野勝晃, 林田将明 (東大宇宙線研)

2013年12月に著名なFSRQである3C 279から、非常に明るいガンマ線フレアがフェルミ衛星によって検出された (Hayashida et al. 2015)。ガンマ線の光度曲線はわずか数時間での変動を見せ、時間的に非対称なプロファイルとなっていた。GeV帯域において光子指数1.7という非常に硬いスペクトルを見せる一方、可視光ではほとんど変動が見られなかった。こうした硬いスペクトルは、電子注入時のスペクトルも通常の衝撃波加速理論の予測よりも硬いベキであることを示唆している。

我々は衝撃波加速に代わるモデルとして、相対論的ジェット中の乱流によって電子がゆっくりと加速 (フェルミ二次加速) されるモデルを提案する。二次加速モデルでは、電子分布のベキを衝撃波加速よりも硬くすることが可能である。我々は電子の乱流加速、放射冷却の時間発展をシミュレーションした。このモデルはMrk421のようなBL Lac天体の定常放射スペクトルを説明することに既に成功している (Asano et al. 2014)。まず手始めに、我々は2009年の明るい時期のスペクトルデータ (Hayashida et al. 2012) に基づき、赤外からガンマ線にいたる定常放射モデルを構築した。次に、この際に得られたモデルパラメータの一部を動かすことで、2013年のフレアを再現することを試みた。その結果、放射半径や拡散係数 (乱流加速効率を表すパラメータ) などをほとんど動かすことなく、磁場の値のみを大幅に下げることによって、ガンマ線のスペクトルと光度曲線を再現することに成功した。これは可視光でフレアが起きていないことと無矛盾な結果である。このような弱い磁場と光度曲線が示唆する小さな放射半径は、磁場によるジェットの加速モデルに強い制限を与えることとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S09a 硬い放射スペクトルのブレーザーと非熱的電子の2次フェルミ加速機構

格和 純 (広島大学)

ブレーザー天体は活動銀河核からの相対論的ジェットを正面付近から観測した天体である。電波からガンマ線まで広帯域に渡るジェットからの放射は、非熱的な電子(陽電子)からのシンクロトロン放射と逆コンプトン放射を考慮した放射モデルで数多く解釈されてきたが、スペクトルフィットから得られる非熱的電子のエネルギースペクトルの起源、粒子加速機構については明らかではない。

近年、非熱的電子の加速機構に関わるいくつかの観測的示唆、特に比較的硬い非熱的電子スペクトルが示唆される場合に働いている加速機構として2次フェルミ加速機構が検証されており、放射スペクトルなどの再現に成功したとする例がいくつか報告されている。これらの計算では共通して被加速粒子がテスト粒子として扱われているが、その妥当性に関する議論はまだない。講演ではまず、非熱的電子が加速のエネルギー源である乱流場を減衰する影響が無視されてきたことの妥当性について評価する。次に、その減衰を陽に考慮したモデルで、被加速電子、光子、乱流場の3成分のエネルギースペクトルを解き、その放射スペクトルへの影響について示す。具体的には、これまでに先行研究によってしばしば言及されている Alfvén 波によるジャイロ共鳴加速を考える。減衰が有意な場合であっても尚、比較的硬い放射スペクトルを得ることができるが、減衰を無視した場合ほど硬くはならない。硬い放射スペクトルの観測とこの加速モデルを詳細に比較する場合には注意がいる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10a 超高エネルギー宇宙線加速源候補天体の加速可能領域についての調査

加賀谷美佳, 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学)

宇宙線は、未だその起源や発生メカニズムが解明されていない宇宙物理学上の問題の一つである。宇宙線は地球に到来するまでに銀河磁場によって進路が曲がるため、地球近傍で観測された宇宙線の方向から宇宙線源の方向を特定することは難しい。 10^{18} eV 以上ものエネルギーを持つ超高エネルギー宇宙線 (UHECRs) はある程度進路を曲げられずに地球に到来する。最近の観測結果から UHECRs の到来方向と近傍の活動銀河核 (AGN) との間に有意な空間的相関があることが報告された。しかし、空間的な相関だけでは対応天体が実際に粒子加速しているかは明らかではない。AGN は幅広い波長帯で電磁波を放出しており、特にガンマ線は天体で粒子加速を起こしている直接的な証拠となる。そこで我々はフェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡によって観測されたガンマ線天体のカタログに着目し、UHECRs の分布と空間相関の見られる AGN を選出した。さらに我々は選出した天体の中から、 z が 0.1 以下の天体を選出した。 z が 0.1 以上である場合、UHECRs は地球までの伝播過程で背景光子と反応して強い吸収を受け、地球に到来することができないため、UHECRs の起源である可能性を棄却することができる。我々は最終的に 5 つの AGN が加速源候補として得られた。AGN のエネルギースペクトル分布は低エネルギー側のシンクロトロン放射によるピークと高エネルギー側の逆コンプトン散乱によるピークを持つのが特徴であるが、Lobe et al. (2012) により、この 2 つのピークフラックスの比から UHECRs が AGN のコアで加速可能か、また、ローブで加速されたとする場合、加速可能なサイズはどの程度かといった条件に制限を付けることができる。

本発表では、選出した 5 つの AGN における UHECRs の加速可能条件についての調査結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11b **ブレーザー OJ 287 のガンマ線増光と電波ジェット成分生成**

澤田-佐藤 聡子 (茨城大学), 秋山和徳, 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 新沼浩太郎 (山口大学), 紀基樹 (韓国天文研究院), Filippo D'Ammando, Monica Orienti (INAF), 小山翔子 (MPIfR), 他 GENJI プログラムメンバー

ブレーザー天体 OJ 287 は、電波からガンマ線に到る広い波長領域において頻繁な時間変動が知られる。Fermi ガンマ線望遠鏡によるモニター観測により、OJ 287 では 2009 年頃からしばしばガンマ線の増光が報告されている。ジェットにおける高エネルギー粒子加速機構の解明にはガンマ線放射領域の特定が重要であり、VLBI による高頻度モニター観測はガンマ線放射領域のサイズに肉薄する高角分解能でこの命題に取り組むことが出来る。我々は VERA 22 GHz 帯ガンマ線活動銀河核のモニター観測 GENJI プログラムにより 2010 年 11 月から OJ 287 を 1ヶ月に 1, 2 回の頻度で観測してきた。その結果、2011 年 10 月と 2012 年 3 月に電波とガンマ線でフレアが検出されると共に、22 GHz 電波画像では OJ 287 のジェット成分の相対的逆行運動が観測された (2013 年秋季年会 s17b 講演, 2014 年秋季年会 s17b 講演)。本講演では更に、22 GHz 電波データとガンマ線データに加え、2011 年 7 月から 2012 年 12 月までの VLBA による 43 GHz 帯 VLBI 観測データの解析結果との比較を報告する。22 GHz 帯 GENJI/VERA の電波画像より 4 倍の高分解能の 43 GHz 帯 VLBA 電波画像では、中心部で更に細かく中心およびジェット成分数個に分解され、電波およびガンマ線増光時に中心成分が増光する様子が捉えられた。また 43 GHz 帯 VLBA による電波画像を 22 GHz 帯 GENJI/VERA 電波画像と同じ空間分解能にならしたところ、43 GHz 帯においてもジェット成分の相対的逆行運動を検出した。その逆行運動の速度は 22 GHz 帯と 43 GHz 帯でそれぞれ $-4 \pm c$ および $-7 \pm c$ であり、誤差の範囲で一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S12b

ダブルピーク広輝線を持つ電波銀河 3C332 の JVN による高分解能観測

中島大貴、西川由恭、徂徠和夫、日浦皓一郎 (北海道大)、新沼浩太郎、藤沢健太 (山口大)、米倉覚則 (茨城大)、中井直正、永井誠 (筑波大)、村田泰宏 (JAXA)、河野裕介、小山友明 (NAOJ)

銀河におけるバルジの速度分散と超大質量ブラックホール (SMBH) 質量の間の相関が発見されて以降、銀河と SMBH の間の共進化についての研究が進められており、我々はこの共進化の過程を明らかにする上で、銀河の衝突・合体に注目している。具体的には、高い空間分解能で行う銀河中心領域の観測から、1つの銀河において複数の SMBH を探すことで、過去における銀河の衝突・合体の証拠を得ることを目指している。しかし、従来の可視光観測ではこれを実施するための空間分解能が足りないことから、我々のグループでは大学 VLBI 連携観測網 (JVN) を用いた高空間分解能サーベイ観測を実施し、近傍から遠方までの銀河中心を系統的に調べることで、複数の AGN が存在する銀河の数を調べ、衝突・合体の頻度を推定することを試みている。本講演では、このサーベイの一環として行われた電波銀河 3C332 ($z=0.15$) の JVN 観測の結果について発表する。電波銀河 3C332 は $H\alpha$ 輝線の広輝線が2つのピークを持つものとして知られ、この成因の1つとして中心核が2つ存在する可能性が挙げられている。JVN 4局を用いて行った本観測では、観測周波数 8 GHz で分解能 10 ミリ秒角 ($z=0.15$ で実距離 22 pc に相当) で1成分の電波コアを検出した。この1成分の電波コアについては先行研究で得られている X 線強度を用い、ブラックホール質量-X 線強度-電波強度の間の基本平面から、核が検出された1成分のみであった時の電波銀河 3C332 の SMBH の質量を 4.0×10^7 太陽質量と見積もることができた。この質量の値は単一もしくは複数であっても SMBH であることを示しているが、本観測では1成分のみの検出であり、(1)すでに合体済み、(2)2つの核が 20 pc よりも近づいている、(3)一方の核が電波で明るくない、という可能性が残されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S13b 「すざく」による電波銀河 Centaurus A ロープのX線観測

瀬田裕美 (首都大), 田代信 (埼玉大), 井上進 (理研)

活動銀河核から噴出するジェットは、母銀河をもつきぬけ、しばしば数 10 kpc から数 Mpc もの巨大なローブを形成する。これまでローブは、非熱的な放射源と考えられ、X線では、ジェットで加速された非熱的電子による CMB 放射の逆コンプトン放射が観測されていた。しかし、2013 年になって、ローブからの熱的放射の検出を示唆する観測結果が次々と現れてきた (Stawarz et al. 2013, O'Sullivan et al. 2013, Seta et al. 2013)。

我々は電波銀河 Fornax A のローブにおいて、「すざく」を用いて 500 ks のマッピング観測を行ない、従来から知られていた温度 $\sim 1\text{keV}$ の熱的放射が東西両方のローブに付随していることを発見した (2014 年春期年会発表)。さらに、西ローブでは、その空間分布を評価し、一様球分布で矛盾がないことを示した。熱的放射の放射強度と体積から、熱的プラズマの質量が $10^{10} M_{\text{sun}}$ 、すなわち、ブラックホールの 100 倍で、母銀河のガス質量と同等であることを明らかにした (Seta et al. 2013)。これは活動銀河核ジェットが母銀河もしくは銀河団に対して強い AGN feedback 効果を起こしていることを示している。

そこで、我々は、このローブ内の熱的放射をより系統的に調べるため、地球に最も近く、見かけの大きさが全天で最大のローブをもつ Centaurus A を次の目標とした。南ローブではすでに熱的放射を示唆する報告がされている (Stawarz et al. 2013)。そこで、我々は、北ローブを「すざく」を用いて、ローブ領域・バックグラウンド領域あわせて、観測時間 250ks のマッピング観測を行った。スペクトル解析の結果、バックグラウンド領域の放射を有意に超過する放射は、ローブ領域から見つからなかった。本講演では、Centaurus A の南北のローブ及び、Fornax A との相違点なども議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S14c AGN ジェットの構造と放射スペクトル

岩本弘一，齋藤陽香，岡田勝志，高岡悠太

ブラックホール質量降着天体からの相対論的ジェットについては，降着円盤とジェットそれぞれに起因するとみられる放射のあいだに相関が発見されており，ブラックホール近傍の降着円盤の状態がジェットの起源に密接にかかわっていると考えられる．活動銀河核（AGN）ジェットの場合，相対論的放射流体の方程式に基づくアウトフローの定常解より，標準降着円盤の内縁付近と同程度の温度のプラズマを起源とする放射優勢の流れで，終端ローレンツ因子 5 程度までのジェットを説明できることが示されている (Nakada & Iwamoto 2015)．本研究では，Nakada & Iwamoto (2015) と同じく，開き角が一定の球対称定常な流れを考え，流体の運動方程式と放射輸送モーメント方程式を解いて動径方向のジェットの構造を求めた．Eddington 印因子は放射輸送方程式を解いて求めた．降着円盤の状態としては，標準円盤のみでなく RIAF などの高温状態の場合についても調べた．また，高エネルギー粒子の成分を加えて放射スペクトルを計算し，典型的なブレーザーの観測との比較を行った．

参考文献 Nakada & Iwamoto, 天文学会 2015 年春季年会予稿集 (J105b)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S15a 銀河系中心 Sgr A* の時間変動の解析

上原顕太 (東京大学), 坪井昌人 (宇宙科学研究所), 三好真 (国立天文台), 堤貴弘 (NRAO)

Sagittarius A* (Sgr A*) は銀河系中心の大質量ブラックホール (GCBH) に対応したコンパクトな天体で、電波から X 線の領域で観測することができる。サブミリ波領域では数 10 分 – 数時間のスケールで変化する成分がある。一方、赤外、X 線領域では、そのフレア時には、ある周期で強度変動が起きる準周期的振動 (QPO) が検出されている。サブミリ波の領域では常に明るく (350GHz で $\sim 2 - 3\text{Jy}$)、常に観測することができる天体であるので、今回は ALMA cycle0 のアーカイブデータを用いてこの領域でも QPO が存在するかという探査を行なった。この QPO を引き起こす機構の最も有力なモデルとして、共鳴円盤振動モデルというものがある。このモデルは、共鳴条件を明記したとき、ある中心の BH 質量とスピンパラメーターに対して共鳴周波数と共鳴半径を一意的に決定することができるというもので、観測によって中心の BH と共鳴周波数を得ることができれば、BH の基本パラメーターであるスピンパラメーターを計測することができる。GCBH の質量に関しては周辺の星の運動から求められているので、QPO の周波数が分かれば GCBH のスピンパラメーターを求めることができる。この探査の最大の意義はこの点にある。

解析では ALMA のデータをセルフキャリブレーション法で処理し、 $\sim 350\text{GHz}$ における光度曲線をプロットしたところ、激しい時間変動を確認することができた。この光度曲線に対してピリオドグラムを作成し周期性の有無を調べた。その結果、多数の周期ピークが現れたので、これらの周期の優位性について、モンテカルロシミュレーションなどによって判定をしたところ、優位な変動周期ではないということが分かった。本講演では、今回行なった解析とその結果について詳しく述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S16a **ガス雲と相互作用する巨大ブラックホール高温降着流:3次元MHDシミュレーションから予測する観測的特徴**

川島朋尚 (国立天文台), 松本洋介 (千葉大学), 秋山和徳 (国立天文台), 紀基樹 (KASI), 松元亮治 (千葉大学)

銀河系中心ブラックホール Sgr A* に向かって運動する放射源 G2 が 2012 年に発見され、その後の観測で G2 は 2014 年の前半に巨大ブラックホールまで約 2000 シュバルツシルト半径の距離にまで近づくことが見積もられた (Gillessen et al. 2013)。G2 は中心に星を持つ可能性が高いことが指摘されているが、Br- γ 輝線の観測からはブラックホールの重力場によりガスが潮汐破壊される様子が観測されており、G2 の中心星の有無に関わらず潮汐破壊を受けつつあるガス雲が銀河系中心ブラックホールに接近していると考えられる。したがってブラックホールへのガス雲接近に伴い増光が期待できるはずだが、依然として G2 接近に伴う増光は観測されていない。

われわれは、G2 の通過が及ぼしたであろう降着流への影響が将来的に現れるかどうかを明らかにするために、輻射冷却を考慮した 3 次元磁気流体シミュレーションを実施してガス雲と高温降着流の相互作用を調べた。その結果、磁場はガス雲の通過後にダイナモ機構によって約 10 年の時間スケールで有意に増幅されるため、電波では約 10 年後に増光が期待されることがわかった。この増幅磁場によるマクスウェル応力で角運動量輸送が効率的に働くため、質量降着率は約 10 年後に再増加する。また、増幅磁場のエネルギーがブラックホール近傍で解放されると通常よりも大規模な X 線フレアが観測される可能性がある。本発表では、降着流の軌道傾斜角や G2 の質量が磁場の増幅量や増幅時期に与える影響や rotation measure の時間発展についても報告し、近い将来に銀河系中心で期待される観測量の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](#)

S17a 活動銀河核トーラス内縁部の輻射流体計算

行方大輔, 梅村雅之 (筑波大学)

活動銀河核 (AGN) は銀河の形成・進化に多大な影響を与えてきたと目され、AGN の活動性の理解は銀河形成論において重要な課題の1つである。活動性を理解するためには、AGN 降着円盤と降着円盤へのガス供給過程に関する詳細な理解が必要不可欠である。後者においては、まさに降着円盤へのガス供給を起こす AGN トーラス内縁部の構造・物理状態を明らかにすることが重要である。とりわけ、トーラスからのアウトフロー率とガスの垂直構造は、ガス供給率との関係や観測との比較という点で重要である。我々は輻射流体計算によって可能な限り第一原理的に AGN トーラス内縁部のダイナミクスを解明することを目指している。この目的のため、我々はトーラス内縁部を扱う上で重要な物理過程、(1) ガスの自己重力、(2) ガスの光電離・光解離反応、(3) ダストからの赤外線再放射、(4) ガスとダストへの輻射圧、を考慮した化学反応-輻射流体計算コードを開発した。本発表では計算コードの詳細について発表するとともに、この計算コードを用いた計算例 ($M_{\text{BH}} = 10^7 [M_{\odot}]$ 、Eddington 比=1) についても報告する。この計算例の場合、次の結果が得られた: (i) Krolik(2007) で提唱されているダスト再放射のみで厚みのあるトーラス構造を作るのは難しいこと、(ii) ダスト再放射による輻射圧はトーラス内縁部をわずかに膨らませることでアウトフロー率の上昇に寄与すること、(iii) その結果、アウトフロー率は Eddington 質量降着率 (エネルギー変換効率 0.1 を仮定) に匹敵しうること。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S18a 「すざく」による低光度活動銀河核の広帯域 X 線スペクトルとそのトーラス構造の理解 (II)

川室太希、上田佳宏 (京都大学), 田崎文得 (国立天文台), 寺島雄一 (愛媛大学), Richard Mushotzky (メリーランド大学)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) の中心エンジンを取り囲むダストトーラスは、ブラックホールへの降着質量の供給源と考えられ、その性質と AGN 活動性との関係性を調べることは興味深い課題である。一般に、AGN 光度が大きいほど、トーラスの中心核を覆う立体角が小さくなる。この事実は、光度の増加に伴ってトーラス内縁半径が後退する描像と定性的に一致する。しかし、近年の *Swift*/BAT の硬 X 線全天探査によると、低光度 AGN ($L_{15-55\text{keV}} < 10^{42}$ erg/s) では、これと逆の相関が示された (Burlon et al. 2011)。つまり、低光度側では、光度依存の描像が必ずしも成立せず、光度以外の物理量が重要である可能性がある。

前講演 (2014 年度春季年会 S18b、川室ら) に続き、我々は、*Swift*/BAT で検出された 8 個の低光度 AGN の X 線スペクトルを「すざく」で取得し、ダストトーラス構造の系統的調査を行った。まず、Eddington 比が最も小さい ($\lesssim 3 \times 10^{-4}$) 2 天体で、ダストトーラス由来の鉄 K 輝線が有意に検出されなかった。他の天体においては、有意に検出された鉄 K 輝線の等価幅と数値モデル (Ikeda et al. 2009) の予測値との比較により、反射成分の強度 $R \equiv \Omega/2\pi > 0.34$ (ここで、 Ω は反射体の立体) または、水素柱密度が $\log N_{\text{H}} > 22.7$ という制限を得た。この値は、トーラスが十分に発達していることを意味する。結果、低光度 AGN では、Eddington 比がトーラス構造を決定する重要な物理量だと示唆された。本講演では以上をもとに、低光度 AGN の中心核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](#)

S19a 非負値行列因子分解 (NMF) を用いたセイファート銀河の X 線エネルギー スペクトル変動の解釈

海老沢研 (宇宙航空研究開発機構), 森井幹雄 (統計数理研), 池田思朗 (統計数理研), 水本岬希 (東京大学)

X 線天文学の伝統的な解析手法では、入射スペクトルモデルを仮定し、それがデータにフィットするようにモデルパラメーターを調整する。フィットできればモデルが妥当だと判断され、天体のパラメーターが見積もられる。しかし、この方法では、原理的にモデル依存した結果しか得られない。今回、我々は、X 線スペクトル変動を利用することによって、モデルを仮定せずに対象天体の特徴を抽出することができないかどうかを検討した。その際、科学に限らず、社会やビジネスの分野でも広く用いられているデータサイエンスの手法を参考にした。検討の結果、非負値行列因子分解 (Nonnegative Matrix Factorization) が、X 線天文学においても有用な手法になりうると考えている。この手法では、観測された非負値の時系列エネルギースペクトルを二次元行列で表現し、それを (チャンネル数 $\times k$) の行列と ($k \times$ 時系列数) の行列に分解する。ここで k は独立に変動するスペクトル成分の数で、前者の行列はそれらのスペクトル成分を、後者の行列は各スペクトル成分の強度変動を表す。Kojonen (2015) は、NMF を GX339-4 に適用し、そのスペクトル変化が独立に変動する 2 つの成分 (ディスク成分とベキ成分と考えられる) の和で表されることを示した。我々は NMF を 1H0707-495 等のセイファート銀河に適用し、スペクトル変動の特徴を引き出すことを試みている。たとえば、時系列エネルギースペクトルが、ほとんど変動しないスペクトル成分と大きく変動するスペクトル成分の積で表されたとしたら、それは、AGN 自身の光度変化は少なく、観測されるフラックス変動は主に X 線が吸収される割合の変化によるものであることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20a 活動銀河におけるサブミリ波帯 H₂O メーザー探査 II

萩原喜昭 (東洋大), 堀内真司 (CSIRO Astronomy and Space Science), 土居明広 (宇宙航空研究開発機構), 三好真 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) にはセンチ波帯で励起される H₂O メーザー (22.235 GHz) の存在が知られ、主にその中心から 1 パーセク程度離れた領域に分布する高密度ガスの幾何学構造のプローブとして利用されてきた。我々は AGN の中心エンジンに更に近い領域の高密度ガスの物理状態や分布を調べるため、サブミリ波帯で励起される H₂O メーザーを AGN に探査する研究を進めてきた。その成果として我々は近傍の 2 型セイファート銀河である Circinus 銀河からサブミリ波帯の H₂O メーザー (321.226 GHz) を ALMA-Cycle0 観測により検出した (日本天文学会 2013 年春季年会講演)。

同観測のデータ解析をさらに進めたところ、edge-on 渦巻銀河の 2 型セイファート銀河 NGC 4945 から 321GHz 帯の H₂O メーザーが検出されていることが分かった。検出された H₂O 輝線の速度範囲は、同銀河中の 22GHz の H₂O メーザーの赤方偏移した速度成分の一部とほぼ一致している。H₂O 輝線の構造は約 0.6 秒の空間分解能では分解できず、かつ線幅は狭く (0.45 km/s 以下)、321GHz 輝線はメーザーであると思われる。今回の観測結果は、サブミリ波帯の系外水メーザーがより多くの活動銀河に存在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](#)

S21a 近傍 Seyfert 銀河中心の分子ガス円盤と巨大ブラックホールの共進化

泉拓磨, 河野孝太郎 (東京大学), 川勝望 (呉高専)

活動銀河核 (AGN) の莫大なエネルギーの放射機構は, 巨大ブラックホールへの質量降着だと考えられている。しかし, 一体どのようにして降着物質 (ここでは分子ガスを考える) の角運動量を取り除くのか, その物理的な機構は依然として未解明の問題である。ここで, 近年の高分解能赤外線観測により提唱されている, <100 pc での星形成率と, ブラックホールへの質量降着率との相関関係を取り上げる (e.g., Esquej et al. 2014, ApJ, 780, 86)。これは, 理論的にも提唱されている AGN–Starburst connection (e.g., Kawakatu & Wada 2008, ApJ, 681, 73; KW08 モデル) の一端と思われるが, より詳細な議論を行なうためには, 星形成の母体であり, かつ, ブラックホールへの降着物質でもある分子ガスの観測を, 中心 100 pc スケールで行なうことが不可欠である。

そこで, 今回我々は, 近傍 Seyfert 銀河の中心部の高密度ガス円盤 (Circumnuclear disk = CND) を電波干渉計で観測した, 50–500pc 程度の分解能のデータを, 文献や各種アーカイブから集めて解析した。本研究では, 典型的な高密度分子ガスのトレーサーである HCN(1-0) 輝線を用いた。ただし, 現段階では CND を十分に空間分解するには至っていない。解析の結果, “CND の分子ガス質量 (HCN 輝線光度から推定) とブラックホール質量の比” と, “ブラックホールへの質量降着率 (AGN の X 線光度から推定)” の間に相関関係を見出した。これは, KW08 モデルで想定されている, CND 内で発達した乱流 (超新星爆発等の星形成活動に起因) により分子ガスの角運動量が効率よく引き抜かれて降着するという描像と整合する結果である。ただし, 同様な相関は, 母銀河スケールの分子ガスにおいては全く見られなかった。これは, ブラックホールへの直接的質量供給源としての CND の重要性を示唆する結果である。本講演では, 上記の内容と, ALMA を用いた今後の高分解能観測の戦略を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S22a

近傍2型AGNにおける遠赤外線光度とAGN光度の関係性

松岡 健太 (京都大学), Jong-Hak Woo (ソウル国立大学)

これまでの研究によって、銀河進化とその中心に存在する巨大ブラックホールの成長は密接に関係していることが明らかにされてきている（銀河と巨大ブラックホールの共進化）。銀河が宇宙の基本構成要素であることを考慮すると、銀河と巨大ブラックホールの共進化は宇宙の歴史を理解する上で非常に重要な課題の一つであるといえる。この共進化を理解する上で重要な鍵となるのが、巨大ブラックホールへの質量降着現象とその周りにおける星生成（SF）活動の関係であり、近年の研究によってその関係性が注目されてきている。そこで、我々はこの巨大ブラックホールへの質量降着と母銀河のSF活動の関係を理解するために、近傍宇宙における2型活動銀河核（AGN）天体のAGN光度とSF光度の関係について調査を行なった。

本研究において、我々はSloan Digital Sky Surveyで得られた近傍銀河（ $z < 0.2$ ）で、輝線診断によって2型AGNに分類される天体に着目した。さらに、この天体のうちAKARIまたはHerschelによる遠赤外線（FIR）サーベイで検出された492天体に対してAGN光度、及びSF光度（すなわちFIR光度 $\sim 100\mu\text{m}$ ）を求めた。これらの光度を比較した結果、我々は幅広い光度範囲（ $L_{\text{AGN}} \sim 10^{42-46} \text{ erg/s}$ ）においてAGN光度とFIR光度の間に明瞭な正の相関があることを確認した。これは最近の研究で示唆されている、低光度AGNにおいてAGN光度とSF光度の間に相関が見られないという結果と矛盾するものである。本講演では今回得られたAGNとSF活動の関係における結果、及び現在のFIRサーベイが抱えた本調査における観測的制約について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S23b 一酸化炭素吸収バンドから探る AGN 中心核付近の温かいガスの分布

馬場俊介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄, 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 白旗麻衣 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) の周囲には、トーラス型の分子雲 (分子トーラス) が存在していると考えられている。しかし、物理的に小さい (~ 数 pc) ため空間分解は困難であり、その物理状態と構造は良く分かっていない。我々は、分子トーラスの物理状態と構造を解明するため、近赤外領域における一酸化炭素 (CO) の回転振動遷移 ($\Delta v = 1$, $\Delta J = \pm 1$, $4.7 \mu\text{m}$) を利用した。分子雲が中心核の手前にあれば、中心核周辺からの熱放射を吸収する。吸収線観測のため母銀河からの寄与を受けず、背景光源がコンパクトなため実効的に高い空間分解能で観測できる。また、CO 回転振動遷移では異なる回転励起レベルの吸収線が狭い波長範囲に集まり、温度を精度良く決定できる。

前回の年会 (2015 年春季年会 S35a) では、「あかり」と Spitzer の近赤外線分光観測によってダストに埋もれた AGN 7 天体の CO 吸収バンドを解析した結果、CO ガスの典型的な柱密度が 10^{19} cm^{-2} (水素分子換算 10^{23} cm^{-2})、温度が数百 K であったことを報告した。この解析では、背景光源と温かい吸収ガスが同じ見かけの大きさであると仮定し、吸収ガス自身からの放射を無視していた。しかし、背景光はダスト昇華層からの温度 1500 K 程度の熱放射と考えられており、吸収ガスとの温度の違いは数倍程度しかない。そのため、特に温かい吸収ガスが背景光源に比べて見かけ上広がっている場合には、吸収ガス自身からの放射を無視できなくなる。我々は、このような放射の寄与が短波長側の R 枝に比べ長波長側の P 枝で大きく、CO 吸収バンドを「非対称」な形に歪めることに着目した。このことから、CO 吸収バンドの歪みの大きさを調べることで、空間分解が困難な狭い領域内であっても、背景光源に対する温かい吸収ガスの広がりを見積もれると期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S24b **circum nuclear disk が超大質量ブラックホール成長史に与える影響についての準解析的モデルを用いた研究**

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 榎 基宏 (東京経済大学), 長島 雅裕, 大木 平 (文教大学), 小林 正和 (愛媛大学), 石山 智明 (千葉大学), 真喜屋 龍 (東京大学)

我々は準解析的銀河形成モデル *New Numerical Galaxy Catalogue* (ν^2 GC; Makiya et al. in prep) 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 は *Numerical Galaxy Catalogue* (ν GC; Nagashima et al. 2005) をベースに SMBH の形成進化史や活動銀河核 (AGN) によるフィードバック効果等の物理過程を改良し, 世界最高レベルの解像度・計算体積を誇る N 体計算 (Ishiyama et al. 2015) により求めたダークハローの分布を用いた新しいモデルであり, その初期成果は 2014 年秋季年会 (X07a, X08a, X09a, X10a, X11a, & X12c) や 2015 年春季年会 (X11b, X29a, B12a, & B13a) にて報告した。これまで我々が用いてきたモデルでは, SMBH の母銀河が major merger を起こして爆発的星形成活動が開始されると同時に SMBH へのガス降着が生じ, AGN として明るく光るという仮定をしていた。この仮定の下では $z < 0.5$ で SMBH にガスを落とすすぎであり, feedback model の調整では観測されている銀河と SMBH の性質を説明できないことが問題となっていた。本研究では, 100pc スケールの circum nuclear disk (CND) に母銀河から降着したガスが一度溜まり, CND の状態によって SMBH への質量降着が制御されるモデルを導入した。CND についてはその性質がシミュレーションを用いて詳細に議論されており, 準解析的モデルにも組み込みやすいモデル化がされている, Kawakatu & Wada (2008) のモデルを用いた。この CND が SMBH 成長史に与える影響を調べた結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S25b 準解析的銀河・AGN形成モデルによるAGN自己相関関数

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)

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、クェ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 (Ishiyama et al. 2015) 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を再現するとともに、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ェーサー/AGN の自己相関関数を求め、さらにクェーサー/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、我々のモデルはクェ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。しかしながら、 $z > 3$ で観測されるクェーサー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、モデルから求められるクェーサー/AGN の自己相関関数を観測結果と直接比較し、上記の結果を示す。また、 $z > 3$ でのクェーサーバイアスを再現する為に求められる 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](#)

S26b 可視光輝線診断による低金属量 AGN 探査

川崎光太, 長尾透, 鳥羽儀樹 (愛媛大学)

狭輝線領域 (NLR) の金属量が低い活動銀河核 (AGN) は進化の初期段階にあると考えられ、非常に興味深い天体である。しかし、NLR の金属量が低い AGN は非常に稀である (e.g., Nagao et al. 2006; Matsuoka et al. 2009)。こうした低金属量 AGN を選択するために BPT 図と呼ばれる可視光輝線診断図 ($[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ vs. $[\text{O III}]/\text{H}\alpha$) を用いる方法がある (Groves et al. 2006)。BPT 図内では、左上から右下にかけて星形成銀河が、また右上部分に AGN が多く分布し、星形成銀河と AGN を切り分けることができる (Baldwin et al. 1981)。理論モデルによると、NLR の金属量が太陽程度以下である低金属量 AGN は、天体がほとんど存在しない『BPT 図の谷』にくることが示唆されている。しかし、高い電子密度や電離パラメータをもつ AGN、あるいは高い電子密度・電離パラメータ・ハードな電離光子スペクトルをもつ星形成銀河も BPT 図の谷にくるため (e.g., Nagao et al. 2001; Kewley et al. 2013)、BPT 図の谷にくる天体が必ずしも低金属量 AGN だけではないという問題がある。

本研究では BPT 図の谷に来る天体の可視輝線スペクトルを調査し、BPT 図の谷にいる天体が低金属量 AGN なのかどうかを検討する。SDSS DR7 から選んだ低赤方偏移の輝線銀河 ~213,000 天体から、BPT 図の谷にくる 70 天体を選択した。それらの天体のスペクトルに微弱な広輝線か He II が見られる 46 天体を AGN であると判断した。この AGN サンプルに対して、電子密度は $[\text{S II}]$ 輝線比、電離パラメータは $[\text{O III}]/[\text{O II}]$ 輝線比を用いて診断を行った。その結果、電子密度や電離パラメータの効果で BPT 図の谷に位置する AGN はほとんど存在しないことが分かった。以上の解析から、BPT 図の谷に来る天体のうち少なくとも 65% は低金属量の NLR を持つ AGN であることが明らかになった。本講演では、解析の詳細および結果の意義について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S27c 分光モニター観測によるクェーサーアウトフローガスの調査

堀内 貴史, 三澤 透, 小山田 涼香, 高橋 一馬, 和田 久 (信州大学), 諸隈 智貴 (東京大学)

クェーサーの降着円盤から放出されるアウトフローガスは、円盤から角運動量を持ち去ることによって更なる質量降着を促進するため、クェーサーの成長に不可欠な要素である。従来、アウトフローは幅の広い吸収線 (BAL; $\Delta v \geq 2,000\text{km/s}$) としてクェーサーのスペクトル上に検出されてきた。近年は幅の狭い吸収線 (NAL; $\Delta v \leq 500\text{km/s}$) や、それらの吸収線の中間的な線幅をもつ mini-BAL もアウトフローに由来する吸収線として注目されている。頻繁に時間変動を示す BAL と異なり、NAL, mini-BAL の変動傾向については不明な点が多く、特に短い時間スケールではほとんど調べられていないのが現状である。

そこで本研究では、NAL および mini-BAL をもつクェーサー 5 天体に対する分光モニター観測を行い、アウトフローの詳細な内部構造と物理環境の調査を試みた。観測は岡山 188cm 望遠鏡/KOOLS を用い、3ヶ月に1度の頻度で3年以上にわたって現在も継続中である。その結果、mini-BAL についてのみ明らかな時間変動が認められた。一方、すべての NAL は今回の観測期間内においては時間変動を示さなかった。この結果は、NAL, mini-BAL に対する数年スケールのモニター観測を行った先行研究と一致する。時間変動の原因がイオンの再結合によるものであると仮定すると、その再結合時間から変動の時間スケールを見積もることができる。更に適当な電離状態を仮定することによって光源距離を見積もることも可能である。mini-BAL でみられ変動の時間スケール (クェーサーの静止系で 0.7 年程度) からは、先行研究と同程度のガス密度に対する下限値が得られた。一方、NAL に対しては時間変動が確認されなかったことから、NAL をもたらす吸収体は mini-BAL の吸収体に比べて、ガス密度が 8 倍程度小さく、背景光源から 3 倍以上遠いことを示唆することが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S28c クエーサー紫外-可視域多バンド光度曲線から得られる Inhomogeneous Accretion Disk Model への制限

小久保充 (東京大学)

クエーサーの紫外-可視域放射が光度変動を示すことはよく知られているが、変動を引き起こす物理機構の詳細は明らかになっていない。Dexter & Agol (2011) は、近年の磁気流体シミュレーションの結果を元に、標準降着円盤の表面温度分布に対して局所的かつ大きな温度ゆらぎが加わることでクエーサー光度変動が引き起こされる、とするモデル (Inhomogeneous Accretion Disk Model; 以下 IAD モデル) を提唱した。彼らのモデルはクエーサー光度変動の振幅を定量的に説明できるだけでなく、クエーサーマイクロレンズ観測によって得られている降着円盤サイズの制限や、クエーサーの FUV-可視域スペクトルの形状など、これまで標準円盤モデルでは説明できないとされてきた観測的性質を説明可能であるため、クエーサー降着円盤のモデルとして有力視されている。

本研究では、IAD モデルのクエーサー光度変動モデルとしての妥当性を、紫外-可視域光度変動の 2 バンド相関という観点から再検討した。SDSS Stripe 82 領域に含まれる約 9000 個のクエーサーの 5 バンド光度曲線観測データと、IAD モデルによるモデル光度曲線それぞれに対して、光度変動の 2 バンド間相関の強さを “magnitude-magnitude plot 上での線形相関からの scatter σ_{int} ” として定量化することで、観測とモデルの比較を定量的に行った。その結果、Dexter & Agol の IAD モデルでは、クエーサーで観測される光度変動の強い 2 バンド間相関を説明できないことがわかった。この結果は、IAD モデルで仮定されているような降着円盤上の局所的な温度ゆらぎはクエーサー光度変動の主要因ではあり得ず、より大域的なスケールで降着円盤の温度がほぼ同時に変化していることを示唆している (Kokubo 2015, MNRAS, 449, 94)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[F会場]

T01a	11:00	X線天文衛星「すざく」「XMM-Newton」を用いた楕円銀河高温ガスで起こる鉄輝線共鳴散乱の影響の評価 寺前拓人（広島大学）
T02a	11:12	偏波解消・ファラデーモグラフィを用いた衝突銀河団 Abell 2256 の電波レリック方向の磁場構造推定 小澤武揚（鹿児島大学）
T03a	11:24	X線天文衛星すざくを用いた衝突銀河群探査(3) 三石郁之（名古屋大学）
T04a	11:36	衝突銀河団 Abell 85 のガス運動と相互作用 一戸悠人（東京大学/宇宙航空研究開発機構）
T05a	11:48	すざく衛星による Coma 銀河団の西部に位置する衝撃波の発見 内田悠介（宇宙航空研究開発機構）
T06a	12:00	衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の衝撃波付近における鉄原子の電離状態 加藤佑一（東京大学）
T07a	12:12	「すざく」衛星で観測されたピリアル半径までの Abell 262 銀河団の鉄質量-銀河光度比 菅野祐（東京理科大学）
T08a	12:24	Abell 3391 と Abell 3395 の連結領域の高温ガスの性質 菅原悠宇紀（山形大学）
T09a	12:36	「すざく」衛星による Abell2163 銀河団による銀河団外縁部までの観測 伊東雅史（東京理科大学）
T10a	12:48	銀河団の重力レンズ質量密度プロファイルの普遍性の検出 新倉広子（東京大学）
T11a	13:00	かみのけ座銀河団の弱い重力レンズサブハロー周辺の温度構造 佐々木亨（東京理科大学）
T12b	13:12	Hyper Suprime-Cam による重力レンズ銀河団の検出とその性質 宮崎聡（国立天文台）

T01a X線天文衛星「すざく」「XMM-Newton」を用いた楕円銀河高温ガスで起こる鉄輝線共鳴散乱の影響の評価

寺前拓人、深澤泰司（広島大学）

楕円銀河はX線で明るい高温ガスを有することで知られ、そのため数々の楕円銀河に対してX線観測が行われてきた。そして2002年、楕円銀河NGC4636において、銀河中心から放射される Fe^{16+} の0.826keVの輝線が共鳴散乱の影響を受けていることが「XMM-Newton」RGSのデータを用いた解析により明らかにされ(Xu et al,2002)、後に「すざく」XISのデータを用いた解析からも確認された(Hayashi et al,2008)。共鳴散乱が銀河中心で起こっている時、その影響で地球に届く輝線の強度が減少し、共鳴散乱断面積は振動子強度 f に依存する。故に銀河中心から放射される Fe^{16+} の0.727keV($f=0.12$)の輝線と0.826keV($f=2.73$)の輝線の強度比を取ると、モデルから導き出した理論値に比べて実際のデータの強度比が減少する。共鳴散乱の影響を知ることによって銀河中心で起こる乱流の影響を知ることが出来、乱流は銀河中心へのジェットの衝突が発生原因の一つとして挙げられているため、最終的に銀河中心に衝突したジェットの情報を得ることが期待できる。故に本研究では多種楕円銀河に対して共鳴散乱の影響の評価を行った。解析には「すざく」XIS、「XMM-Newton」RGSのデータを用い、計12個の楕円銀河に対し解析を行った。その結果、XIS、RGSのデータ解析結果は概ね同じ傾向を示し、誤差を考慮しても、先行研究(Werner et al,2009)で共鳴散乱の存在が発見されていたNGC4636を始めとする4天体に加え、新たにNGC5846を始めとする5天体から共鳴散乱の兆候が確認できた。またXISデータから、中心から2-4分角の領域の解析も行ったところ、共鳴散乱の兆候は確認されなかった。本講演では、上の結果について報告すると共に、共鳴散乱の影響の度合いと温度、中心密度等との相関、また中心の光学的厚み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](#)

T02a **偏波解消・ファラデートモグラフィーを用いた衝突銀河団 Abell 2256 の電波レリック方向の磁場構造推定**

小澤武揚, 中西裕之, 赤堀卓也, 安楽健太 (鹿児島大学), 滝沢元和, 高橋育美 (山形大学), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大学), 祖父江義明 (東京大学)

本講演では偏波解消とファラデートモグラフィーを使った衝突銀河団 Abell 2256 の電波レリック方向の磁場構造推定について報告する。銀河団中心部で見られる電波ハローや外縁部で見られる電波レリックと呼ばれる広がったシンクロトロン放射の観測から、銀河団はその内部に磁場を持つことが知られている。銀河団磁場の調査には cm・m 波帯でのファラデー回転測度 (RM) の測定が特に有効であり、銀河団内部・背景の偏波源を利用した RM の測定が行われてきた。しかし RM は視線距離の積分量であるため磁力線の視線上の分布を推測することは容易ではなく、我々は偏波解消・ファラデートモグラフィーといった方法に注目している。

我々は Abell 2256 の磁場構造を調査するために 2013 年 8 月に JVLA S 帯 (2-4 GHz)、X 帯 (8-10 GHz) で偏波観測を実施した。解析の結果、電波レリック方向の偏波率は 3-3.5 GHz で最大 ~ 35% から低周波数に向けて減少し、1.3-3 GHz では ~ 20% 程度であった。さらに WSRT の観測から 0.35 GHz での偏波率が 1% 以下であることから、電波レリック方向の偏波率は 0.35-1.3 GHz の間と 3GHz 付近で 2 回変化している。しかし Burn 則として知られる視線上に 1 成分の偏波解消成分を考えた解析的式では 2 回の偏波率の変化を説明できない。そこで視線方向に 2 つの偏波解消成分を配置した偏波解消の数値計算モデルを作成した結果、観測された電波レリックの偏波率をよく再現出来た。ファラデートモグラフィーからも視線上に 2 成分存在することが示唆され、2 つの偏波解消成分は電波レリック内部の磁場とその手前の銀河団媒質中の磁場を表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](#)

T03a X線天文衛星すざくを用いた衝突銀河群探査 (3)

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), 佐々木伸 (首都大学東京), 山崎典子 (ISAS/JAXA)

宇宙の大規模構造形成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、その詳細理解を目指してきた。

衝突銀河群は衝突銀河団システムと比較すると X 線で暗いため、サンプル数が限られている。よって系統的な観測的研究を進めるため、まず我々は新たな衝突銀河群システムの検出を試みた。その検出には広がった低輝度 X 線に高い感度を持つすざく衛星を用いた。観測領域としては、活発な構造形成が期待される銀河フィラメントの交差点近傍、および、中心銀河を含む銀河同士の相互作用が示唆されている 4 つの可視光同定銀河群 (McIntosh et al. 2008) を選定した。我々はこれまで、特に、複雑な X 線 morphology を有する 2 つの新たな衝突銀河群システムを中心に、そのイメージ・分光解析結果を報告してきた (三石他 2014 年秋季年会、2015 年春季年会)。

今回我々は、検出された全 X 線ソースに対し、X 線分光解析や可視光・電波イメージ、および天体データベース情報を併せることで、その起源を議論した。結果、2 つの衝突銀河群の他、2 つの銀河群や複数の QSO 等の点源を初めて X 線にて同定することに成功した。本講演では、可視光同定銀河群に対する銀河群スケールの X 線ハローの検出の有無についても考察し、銀河群の力学進化について議論を展開していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a 衝突銀河団 Abell 85 のガス運動と相互作用

一戸悠人 (東大、ISAS/JAXA), N. Werner (KIPAC, Stanford), A. Simionescu (ISAS/JAXA), S. W. Allen (KIPAC, Stanford), R. E. A. Canning (KIPAC, Stanford), S. Ehlert (MIT), F. Mernier (SRON, Lieden Observatory), 高橋忠幸 (東大、ISAS/JAXA)

衝突中の銀河団には、衝突により様々なガスの運動や非一様性が引き起こされているため、銀河団ガスを理解するためのヒントが多く潜むと考えられる。明るい衝突銀河団 Abell 85 ($z = 0.055$) を、現在運用中の全ての X 線衛星、Chandra・XMM-Newton・「すざく」を用いて観測した研究により、以下の結果を得た。(1) 過去の衝突の強い証拠である、600 kpc にも及ぶ大スケールのガス渦運動 (Gas Sloshing) を同システム内に発見した。(2) ガスの平均自由行程より短い境界面と、折れ曲がったような特異な形態を、現在落ち込んでいる副銀河団中に発見した。これらの一見無関係な現象は、Gas Sloshing により引き起こされるガス運動の速度場・磁場と、落ち込む副銀河団ガスが相互作用していると考えることによりシンプルな描像で説明できる。

本講演では主に、これまであまり考えてこられなかったガス構造同士の相互作用という観点から、以上の結果について報告する。同システム内にはこの他にも、落ち込む副銀河団により銀河団ガスの非一様性が生み出されている可能性を示す兆候や、衝突で壊されないとされている銀河団のクールコアがほとんど壊されている兆候など、興味深い観測結果が存在するため、それらについても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05a すざく衛星による Coma 銀河団の西部に位置する衝撃波の発見

内田 悠介 (東大, ISAS/JAXA) , Aurora Simionescu (ISAS/JAXA), 高橋 忠幸 (東大, ISAS/JAXA)

X線で見える銀河団である Coma 銀河団 ($z = 0.00231$) は、その中心部には Mpc スケールの電波ハローが存在している。電波ハローは銀河団同士の衝突の際に生じる乱流や、衝撃波により相対論的な加速粒子による放射とされているが、その成り立ちについては未だ議論が続いている。Coma 銀河団は過去に衝突合体をしたとされており、Planck 衛星と XMM-Newton 衛星を使用し、銀河団の西南西の SZ 効果による圧力分布と、X線による温度分布を求める事で、電波ハローの端の位置に不連続面あることが報告されている (Planck collaboration et al. (2013))。衝撃波の規模を示すマッハ数はおよそ 2 であった。この衝撃波波面がどのような形状をしているかを理解できれば、電波ハローの成り立ちを理解する上で、重要な結果となる。

我々は新たに、すざく衛星を用いて Coma 銀河団の西北西のおよそ 0.5 ~ 1.6 Mpc を観測した。銀河団の動径方向にそつてもとめた温度分布から、銀河団中心からおよそ 1 Mpc はなれた位置に温度の不連続面が存在することがわかり、その温度変化は内側から、 $kT = 11.16_{-1.52}^{+2.20}$ (keV)、 $4.32_{-0.57}^{+0.86}$ (keV) と変化していた。衝撃波である事を仮定し、マッハ数を求めると $M = 2.36_{-0.53}^{+0.58}$ となった。この結果と Planck Collaboration et al. (2013) を合わせると、この銀河団の西部では、電波ハローに沿った長い衝撃波波面が存在すると考えられる。さらに表面輝度から求めた密度分布によると、不連続面があることが判明したが、温度の不連続面の位置とずれがある事が明らかになった。本講演では、電波、Planck 衛星による衝撃波波面と電波ハローの関係を元に、すざく衛星による新たな観測結果の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T06a 衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の衝撃波付近における鉄原子の電離状態

加藤佑一、中澤知洋、(東大理)、Gu Lyli (SRON Netherlands Institute for Space Research)、
赤堀卓也 (鹿児島理)、滝沢元和 (山形理)、藤田裕 (大阪理)、牧島一夫 (東大理、理研)

銀河団ガスがイオン化平衡に達するためには、その密度から典型的には $3 \times 10^{7-8}$ yr の時間を要する。銀河団の進化のタイムスケールはこれに比べて十分に長いため、銀河団ガスは基本的にイオン化平衡に達していると考えられる。ところが、銀河団同士が衝突することにより衝撃波が発生すると、その描像は変わることになる。銀河団ガスを衝撃波が通過すると、まずイオンの運動学的な温度が上昇し、そこから波動粒子相互作用などで電子が加熱されると考えられる。加熱された電子に叩かれて、イオンの電離度が電子温度に追従して上がるには、先に述べた通りに時間を要するために、銀河団ガスが過渡的にイオン化非平衡状態となる可能性がある。これを検知するには、X線連続成分の傾きで決まる電子温度と、イオンの輝線比で決まる電離温度とを比較すれば良い。

我々は、衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の衝撃波付近における H-like と He-like の鉄輝線の強度比からイオン化非平衡が起きているかどうかを調べた。本天体は、2013 秋、2014 秋、2015 春の学会で報告している通り、2つの銀河団とそれらを結んだ領域が明るく輝き、その中程に衝撃波が発生している。これらは、本天体が衝突初期という希有な例であることを示唆し、衝撃波は密度の高い銀河団の中心付近 ($n_e \sim 10^{-3} \text{ cm}^3$) に形成されているために明るい。そのため、イオン化非平衡が発生可能な、衝撃波の経過から 6×10^7 yr 内の領域 (130 kpc \sim 1.5') で鉄の輝線比を「すざく」で求めることができた。その結果、衝撃波の前後で電子温度はそれぞれ 7.1 ± 0.6 keV および 9.3 ± 0.8 keV であり、電離温度は 8 ± 2 keV および 13 ± 6 keV と求まった。イオン化状態が非平衡か否かは、誤差の範囲内では決まらなかったが、ASTRO-H を用いることにより有意な結果を得られると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T07a 「すざく」衛星で観測されたビリアル半径までの Abell 262 銀河団の鉄質量-銀河光度比

菅野祐、松下恭子、佐々木亨、佐藤浩介 (東京理科大学)、一戸悠人 (ISAS/JAXA)

銀河団ガス中の鉄元素は銀河で合成され銀河団ガスへ供給されたため、銀河団ガスの鉄質量-銀河光度比から重元素供給史を調べることができる。銀河群は銀河団に比べて、ガス質量-銀河光度比と鉄質量-銀河光度比が系統的に小さいことが報告されてきた (Makishima et al. 2001, Zhang et al. 2011 等)。大きな系ほどガス質量に対する星の生成数が少ないと考え、ガスの少ない銀河群では重元素も少なくなるはずであるが、Sasaki et al. (2014) は、ガス質量-銀河光度比の小さな銀河群では、鉄質量-銀河光度比も小さいものの、重力加熱のみによるエントロピー予測値からの超過が大きく、活動銀河核などによりガスが加熱され、ガスが重力収縮しづらかったのではないかと議論した。ただし、これまでの研究は主に $r_{500} \sim 0.5 r_{180}$ 以内の観測に限られ、ビリアル半径までガス質量、星質量が観測されたのは未だ数天体である。Abell 262 銀河団 (~ 2 keV) は銀河団と銀河群の境界にあり、これらをつなぐ天体としても重要である。

我々は、「すざく」衛星で Abell 262 銀河団のフィラメント方向 (北東) とほぼ垂直な方向 (東) を $\sim 1.3 r_{180}$ まで新たに観測し、銀河団ガス中の鉄のアバundance、ガス質量、鉄質量を初めてビリアル半径まで求めた。二つの方向を比較すると、北東方向の方がやや密度が高い傾向があった。アバundanceは銀河団中心から減少し、 $\sim 0.5 r_{180}$ で 0.2 solar 程度であった。また、星の質量を反映する K-band での構成銀河の光度を用いて、鉄質量-銀河光度比を計算した。これを「すざく」によりビリアル半径まで観測された Perseus 銀河団や Centaurs 銀河団の結果と比較すると、Perseus 銀河団より小さく、Centaurs 銀河団と同様の鉄質量-銀河光度比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](#)

T08a **Abell 3391 と Abell 3395 の連結領域の高温ガスの性質**

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、その過程を理解することは銀河団形成史の解明上、大変重要である。特に、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大変興味深い。

今回我々は、Abell 3391 と Abell 3395 の連結領域の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。この領域は Planck 衛星の観測により、SZ 効果が銀河団間で確認された 2 つの天体のうちの 1 つである。この連結領域は既に銀河団衝突による相互作用が始まっていると考えられ、衝突初期段階での銀河団ガスの進化を論じるに適した領域である。フィラメント領域のスペクトル解析を行った結果、温度を $kT = 3.22^{+0.21+0.36+0.40}_{-0.20-0.27-0.32}$ keV (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) と決定し、銀河団ガス起源の放射を有意に検出した。Burns et al. (2010) などの力学的に緩和した銀河団の温度プロファイルモデルと比較すると、この結果は 30 %程度高い値を示唆しており、衝突初期段階でのガスの加熱を示唆する。また、アバンダンスの上限を $8.66 \times 10^{-2} Z_{\odot}$ と求めた。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, Urban et al. 2014) 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ものとして興味深い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T09a 「すざく」衛星による Abell2163 銀河団による銀河団外縁部までの観測

伊東雅史、松下恭子、佐藤浩介 (東京理科大学)、太田直美 (奈良女子大学)

重力による加熱のみを考慮した数値シミュレーションでは、銀河団の加熱指標となるエントロピーは銀河団中心からの距離の 1.1 乗に比例して増加する。しかし X 線観測衛星「すざく」による観測結果によると、十数個の銀河団において、エントロピーは銀河団中心から r_{500} までしか上昇せず、銀河団外縁部でほぼ一定の値となることが確認された (e.g., Kawaharada et al. 2010)。X 線放射はガス密度の 2 乗に比例するに対し SZ 効果はガスの圧力に比例するため相補的である。A478、A1689、Coma 銀河団では「Planck」衛星により SZ 効果から測定された圧力と「すざく」の結果に矛盾はない (Mochizuki et al. submitted; Simionescu et al. 2013)。一方、Eckert et al. (2013) は「Planck」による圧力と X 線観測衛星「ROSAT」によるガス密度からエントロピーは「すざく」の結果とは異なり銀河団外縁部でも上昇を続けると報告した。

今回我々は、「すざく」衛星による Abell2163 銀河団 ($kT = 13.40\text{keV}$, $z = 0.203$) の公開データに 2015 年度春の観測を加え、6ヶ所、計 330 ks 以上の観測データの解析を行いヴィリアル半径までの X 線放射を検出した。この銀河団はもっとも高温の銀河団の一つであり、そのため SZ 効果のシグナルの誤差が小さく、「Planck」によりもっとも精度のよい圧力分布が得られている。そのため「すざく」衛星の結果の信頼性を評価するのに最適の天体である。Abell2163 銀河団のガス温度は銀河団外縁部において ~ 3 keV まで降下することがわかった。また電波観測衛星「Planck」による圧力と「すざく」衛星のガス圧力を比較するとおおよそ一致することがわかった。 r_{500} より外側では、エントロピーの上昇は見られず、理論予測より低い結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T10a 銀河団の重力レンズ質量密度プロファイルの普遍性の検出

新倉広子 (東京大学), 高田昌広 (カブリIPMU), 岡部信広 (広島大学), Rossella Martino (IRFU), 高橋龍一 (弘前大学)

銀河団の質量密度プロファイルは宇宙構造形成の情報を含み、その性質は冷たい暗黒物質 (CDM) のモデルに基づいた N 体シミュレーションで詳しく調べられている。N 体ハローが示唆する重要な性質として、ハローの質量密度プロファイルが普遍的な関数形 (NFW モデル) でよく表されるという性質が知られている。このモデルは、銀河団の質量密度プロファイルが質量の大小に関わらず、適切にスケール変換するとパラメータに依存しない形で表される事を示唆している。

質量プロファイルの観測的検証には弱い重力レンズ効果のデータが有効である (Okabe et al. 2013)。弱い重力レンズ効果は銀河団の暗黒物質の空間分布を調べる強力な手法であるが、復元される銀河団の質量プロファイルはノイズが大きい。そのため従来の手法では、複数の銀河団の情報をスタックした平均的な質量分布を調べるに留まり、質量の大小による普遍性は検証することが出来なかった。

本研究では、重力レンズ効果を用いて復元した銀河団の質量プロファイルに対して NFW モデルに基づいたスケール変換を試行する事で、「銀河団の質量プロファイルの普遍性」を調べる新たな手法を考案した。すばる望遠鏡の Suprime-Cam の重力レンズデータと X 線の質量データを組み合わせて、X 線光度で最も明るい、最大質量級の 50 個の銀河団 ($z \simeq 0.23$) に対して手法の検証を行った。検証の結果、50 銀河団に対して質量の大小に関わらず、 $4-6\sigma$ レベルで普遍的な NFW プロファイルが検出された。講演ではこれら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](#)

T11a かみのけ座銀河団の弱い重力レンズサブハロー周辺の温度構造

佐々木亨, 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大学), 岡部信広 (広島大学)

弱い重力レンズサーベイによって、かみのけ座銀河団のサブハローの質量が測定された (Okabe et al., 2014)。我々はサブハローのうち、最も重い4つのサブハロー周辺を「すざく」で観測した。3つのサブハローについては2014年秋季年会 (T07a) で報告したように、2つのサブハローから X 線放射を優位に検出した。サブハローに付随する高温ガスは周囲の高温ガスに比べて低く、ガス質量比が普通の銀河群・銀河団に比べて一桁以上小さかった。サブハローが元々は普通の銀河群だったとすると、高温ガスの大半が剥ぎ取られたことを意味する。

今回、我々は NGC 4839 銀河群に付随するサブハローを「すざく」で観測した結果を報告する。NGC 4839 銀河群はかみのけ座銀河団の南西に位置し、かみのけ座銀河団に落下中の銀河群である。XMM-Newton 衛星の観測から、銀河群に付随する高温ガスがラム圧によって剥ぎ取られている様子が見つかっている (Neumann et al., 2001)。また、NGC 4839 銀河群からさらに南西に電波レリックが見つかっており、「すざく」の観測から電波レリックの前後で衝撃波が見つかっている (Akamatsu et al., 2013)。サブハローの質量分布と X 線輝度分布を比較したところ、質量分布の中心は X 線輝度の中心に比べて先行してかみのけ座銀河団中心に向かっている様子が見られた。また、NGC 4839 銀河群周辺の温度構造は、X 線輝度の中心部と南西に伸びる剥ぎ取られたガスの温度は 5 keV 程度だったが、北側のサブハロー境界で 10 keV 程度に温度が急激に上昇していた。本講演ではサブハロー周辺の温度構造の詳細を述べるとともに、温度の境界面についてコールドフロントと衝撃波の有無を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T12b Hyper Suprime-Cam による重力レンズ銀河団の検出とその性質

宮崎聡 (国立天文台)、大栗真宗 (東京大学)、浜名崇、田中賢幸 (国立天文台)、他 DLS 探査 G 一同

Hyper Suprime-Cam の観測初期に取得された 2.3 平方度のデータを用いて、重力レンズ解析をしたところ、9 個の銀河団規模のダークマターの集中が検出された。多色のデータが存在する領域については、光の情報を用いて銀河団を検出したが、その領域に入る重力レンズ天体 8 個全てについて、対応する銀河団が存在することが分かった。銀河団数を計算機シミュレーションの予測と比較したところ、WMAP3 の宇宙論パラメータセットの予測よりはるかに多く、最近の Planck のパラメータセットを強く支持することが分かった。しかし、Planck の値を採用しても、2.3 平方度の観測領域に 9 個の重力レンズ源が観測される確率は依然 3.7 % と高くなく、より広い天域での観測結果が待たれる。

一方、光の情報から、その銀河団に含まれる星の総重量 (M_s) が推定できる。一方、重力レンズ効果を用いた観測から銀河団の総質量 (M_h) が推定できる。この比、 M_s/M_h は宇宙に存在するバリオンのうち、どの程度の割合が星に転換したかと関係しており、宇宙の総バリオン量を観測する上で、重要な量である。これまで、様々な方法で、 M_s/M_h が計測されてきているは、計測誤差が大きかった。今回我々は、重力レンズ効果を用いて、より直接的に銀河団の総質量を求めた。まだ観測視野が狭く、非常に強い制限にはならないものの、これまでの観測の中でも低い値を示す結果群と近い値を得た。これは、高い値を示し、ミッシングバリオン問題は存在しない、とする観測結果の反証のひとつとなった。

Hyper Suprime-Cam により、高分解能なダークマターマップが広範囲にわたり作成ができるようになり、このような観測が可能になった。現在 1400 平方度の観測が進行中で、それから期待される成果についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[C会場]

U01a	11:00	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR による重力レンズ起源 <i>B</i> -mode 偏光観測の現状 茅根裕司（カリフォルニア大学バークレー校）
U02a	11:12	21cm バイスpekトルを用いた輝度温度場解析 島袋隼士（名古屋大学）
U03a	11:24	バリオン-ダークマター間の超音速相対速度が宇宙論的観測に与える影響 浅羽信介（名古屋大学）
U04a	11:36	kSZ 効果の理論モデルの構築 杉山尚徳（Kavli IPMU）
U05a	11:48	ダークマターの速度分散の成長とハローの自己相似的進化 須藤大地（東京大学）
U06a	12:00	弱重力レンズピーク統計による宇宙モデルの検証-全天シミュレーションと理論モデルの比較 白崎正人（国立天文台）
U07a	12:12	Hyper Suprime-Cam データを用いた超銀河団 CL0016 の弱い重力レンズ解析 桜井準也（総合研究大学院大学）
U08a	12:24	サブミリレンズ銀河 SDP.81 におけるダークマター小構造の痕跡 井上開輝（近畿大学）
U09c		Topos Quantum Theory on Selected Contexts 中山薫二（龍谷大学）
U10a*	12:36	宇宙膨張論の検証 X X V 空間膨張宇宙ならば (6) 宇宙外天体から見れば 阿武靖彦
U11a*	12:48	高エネルギー加速器で観測されるクォークと見做されるものは何か。 小堀しづ
U12b*	13:00	質量はどのようにできたか。「質量を作るための定数」はいくらか。 小堀しづ
U13c*		もし、宇宙の素粒子の中で原子に成ることができた物が 4%であり、96%がダークマターであるとするなら、陽子のラプの集団の爆発により、どのように原子はできたか。 小堀しづ

※電子版予稿なし

U01a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR による重力レンズ
起源 *B*-mode 偏光観測の現状

茅根裕司 (カリフォルニア大学バークレー校), 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 実験は南米チリのアタカマ砂漠標高 5,200m で、2012 年初頭から 150 GHz 帯での CMB 偏光の観測を行っている。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、世界最高感度での原始重力波起源 *B*-mode 偏光 (大角度スケール)、および重力レンズ起源 *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。初年度からの 2 年間、小角度スケールに特化した deep survey 観測を実施し、現在は原始重力波起源 *B*-mode 偏光の測定を目的とした wide survey 観測を実施している。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た。本発表では、この初年度と 2 年目の deep survey 観測全てを併せた解析の現状を報告する。また、wide survey の現状と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](#)

U02a **21cm バイスpekトルを用いた輝度温度場解析**

島袋隼士（名古屋大学）、吉浦伸太郎（熊本大学）、高橋慶太郎（熊本大学）、横山修一郎（立教大学）、市來淨與（名古屋大学）

宇宙暗黒時代、再電離期の銀河間ガスの状態や温度進化を探る方法として、中性水素の超微細構造による 21cm 線電波がある。実際の観測量として、21cm 線輝度温度場の揺らぎのパワースpekトルがあり、これまで、21cm 線のパワースpekトルを用いて銀河間ガスの情報や、再電離のプロセスを探る研究が行われてきた。

しかし、輝度温度場の揺らぎは天体物理学的効果によって、非ガウス分布に従うと予想される。そこで、パワースpekトルよりも高次統計量である、バイspekトルに注目し、パワースpekトルで手に入る情報との比較を行った。その結果、バイspekトルを計算する際の三角形の形によって、輝度温度場を構成する要素の分離が行うことができ、ガスの温度情報、イオン化率や密度揺らぎの情報をそれぞれ取得できる可能性を示したので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U03a **バリオン-ダークマター間の超音速相対速度が宇宙論的観測に与える影響**

浅羽信介, 田代寛之, 市来淨與 (名古屋大学)

現在計画中である次世代電波干渉計の目的として、高赤方変移にある中性水素の観測がある。この中性水素の空間分布に含まれる情報によって、どのように初代天体が形成され宇宙再電離が起きたのかという宇宙論に残された問題を解決することができる期待されている。その一方で、宇宙の晴れ上がり以前にバリオンと光子がトムソン散乱によって強く結合していたことによるバリオン-ダークマター間の相対速度が高赤方偏移の中性水素の構造に影響することが知られている。この相対速度が構造形成に与える影響を定性的に見積もることは初代天体形成や宇宙再電離について議論する上で重要である。

本研究では、球対称崩壊モデルを応用することによりバリオン-ダークマター間の相対速度がある場合の小スケールの構造形成が遅れについて調べた。ハローの崩壊時刻の変化を見積もることで、 $z \sim 20$ で $M \simeq 10^5 M_\odot$ のハローの数密度が半分程度になることがわかった。また、崩壊時刻の変化はハロー中のバリオン質量の割合の減少によって説明できることを示した。このバリオン質量の減少は宇宙論的な観測に影響すると考えられるため、本講演ではバリオン-ダークマター間の相対速度が観測量に与える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](#)

U04a kSZ 効果の理論モデルの構築

杉山尚徳 (Kavli IPMU)

宇宙を加速膨張させる原因となる、ダークエネルギーと呼ばれる未知のエネルギーの正体は、現在の宇宙論における最大の謎の一つとして知られている。宇宙大規模構造における、個々の銀河の速度の時間進化を追うことによって、ダークエネルギーへの制限に大きく寄与することができる。実際に、観測された銀河分布における赤方偏移歪みを通じて、速度関連の情報を得ようという試みが盛んに行われている。本研究では、Hand et.al (2012) において、世界で始めて検出された kinetic Sunyaev-Zel'dovich (kSZ) 効果に注目する。kSZ 効果は、宇宙マイクロ背景放射がクラスターを通る際に、クラスターの特異速度のドップラー効果によってフォトンの温度を変える効果である。その温度変化は、クラスターの特異速度に比例することが知られているため、kSZ 効果の検出は、より直接的な宇宙大規模構造の速度分布の進化の研究に繋がると期待される。

このような背景において、本研究では観測された kSZ 効果による速度相関関数を説明する解析的な理論モデルを構築した。特に、銀河分布は赤方偏移空間で観測されるため、赤方偏移歪みを含んだ理論モデルを考案し、赤方偏移歪み特有の小スケールにおける速度相関の符号の変化を説明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a

ダークマターの速度分散の成長とハローの自己相似的進化

須藤大地, 大里健 (東京大学), 北山哲 (東邦大学), 佐々木伸 (首都大学東京), 須藤靖 (東京大学)

球対称崩壊モデルは宇宙の構造形成理論において最も簡単かつ基礎的なモデルであるが、精密宇宙論の時代においては、このモデルがダークマターハローの進化について何をどの程度正確に記述できるのか定量的に知る必要がある。そのために本研究では宇宙論的シミュレーション中のハローの進化と、モデルの予言とを比較した。

その結果のひとつとして、シミュレーション中のハローがモデルの予言に比べて転回する時刻が遅く、そのときの半径が大きくなること、およびその主原因が粒子の速度分散にあることは前回の年会で示した。

本講演では粒子の位相空間での分布に着目し、ハローの中心で粒子の速度分散が大きくなる領域と、中心に落ち込む前の粒子が成す領域に明瞭な境界が存在することを示す。また、このような境界を表す半径と、Adhikari et al. (2014, JCAP, 11, 19) によって導入された splashback 半径 (粒子が一度中心に落ち込んだ後、2度目の転回をする半径) や、従来のように overdensity によって定義された半径との関係を調べ、物理的により意味のあるハローのサイズの定義について議論する。

加えて、ひとつのハロー中の異なる質量を含む球が自己相似的な進化をすることも紹介する。特に、それぞれの球の半径が転回した後に特徴的な振動を示すことに着目する。球対称崩壊モデルではハローの崩壊後、半径は一定値になるとし、これがピリアル半径として広く用いられている。しかし、ハローは決して静的な状態ではなく、動的な振る舞いをするのである。これは、実際の銀河団の観測において特定の密度で定義されたハローのサイズが、実は時間変化しており、同質量、同サイズのハローでもこのような半径にばらつきが生じるという可能性を示唆する。講演ではこのような振動の、ハローによらない性質の有無とモデル化の可能性まで議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U06a 弱重力レンズピーク統計による宇宙モデルの検証—全天シミュレーションと理論モデルの比較

白崎正人, 浜名崇 (国立天文台), 吉田直紀 (東京大学, カブリ数物連携宇宙研究機構)

弱重力レンズ現象とは、前景に位置する重力源によって背景天体の像が歪められる一般相対論的な効果である。多数の遠方銀河像の歪み度合いを統計的に処理することで前景の物質分布を明らかにする手法は、弱重力レンズ解析と呼ばれ、銀河撮像観測の大規模化により盛んに研究されてきた。これまで、すばる望遠鏡 Suprime-Cam, Canada-France-Hawaii Telescope Lensing Survey, Dark Energy Survey などが、10-100 平方度程度の領域にわたって前景の物質分布を弱重力レンズ解析により明らかにしており、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) による現在進行中の銀河撮像観測でも同様の解析が行われている。

重力レンズ解析によって得られる物質分布 (レンズマスマップ) から、宇宙論的な情報を引き出す方法論の一つにピーク統計がある。本研究では、HSC 観測におけるレンズマスマップの再構築とピーク統計の有用性を調査するため、宇宙論的 N 体計算を利用した全天重力レンズシミュレーションを行った。このシミュレーションから、HSC 観測固有の観測領域の形状やマスク領域を加味した 200 回の HSC 模擬観測を行い、レンズマスマップのピークの統計的な性質を調査した。ピークと暗黒物質ハローの対応関係は、銀河形状測定に起因するノイズを含めても、構造形成理論とガウシアンピーク理論の枠組みでよく説明できることを明らかにした。さらに、200 回の HSC 模擬観測で得られたピークの統計的な性質は、ノイズやマスクなどの複雑な観測効果を含めても、我々の理論モデルと整合的であることを示した。最後に、ピークの数密度だけでなくピークの空間的相関を組み合わせた宇宙モデル検証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](#)

U07a **Hyper Suprime-Cam データを用いた超銀河団 CL0016 の弱い重力レンズ解析**

桜井準也 (総合研究大学院大学), 宮崎聡, 浜名崇, 田中賢幸, 樋口裕一 (国立天文台), 内海洋輔 (広島大学)

宇宙の大規模構造は、銀河がほとんど存在しないボイドとそれらを取り囲むフィラメント状の構造によって形成されており、銀河の多くはフィラメント状の構造が交差するところに銀河団という密集した形で存在していると考えられている。現代の標準的な構造形成理論によれば、銀河団は初期宇宙において密度ゆらぎの振幅が大きかった領域が成長したものであり、特に銀河団が密集した超銀河団領域ではその構造の大きさから推測するに初期宇宙の十分早い時期から成長が始まったことが期待される。本研究では、この超銀河団領域を探索し、こうした巨大構造に含まれる銀河団と孤立した銀河団とで構造形成に違いがあるかを調査することにした。

2014年より、Hyper Suprime-Camの本観測が始まり、そのGTO時間を使って超銀河団領域の一つであるCL0016を観測した。CL0016には、分光同定された構造が多数存在しており、X線観測からもいくつかの構造の存在が確認されている (Tanaka et al. 2009)。今回我々が取得したデータは、Hyper Suprime-Camの広視野を活かし、CL0016を中心としてその周辺部に至るまで非常に広い領域にわたっている。このような領域で、大質量を持つ構造に感度の高い弱い重力レンズ解析を行えば、まだ確認されていないものも含めて多くの構造の検出が期待できる。我々の弱い重力レンズ解析の結果、得られた質量分布図から少なくとも3つの構造について銀河団銀河と考えられる赤い早期型銀河の分布とよく一致することを確認した。発表では、CL0016の弱い重力レンズ解析の結果と検出された構造の質量の評価を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a **サブミリレンズ銀河 SDP.81 におけるダークマター小構造の痕跡**

井上 開輝 (近畿大), 峰崎 岳夫 (東京大), 松下 聡樹 (ASIAA), 千葉 柁司 (東北大)

光源が手前の銀河ハローによって4重に像が分裂して観測される4重像銀河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 $O(0.1\%)$ の精度でフィットできるがフラックス比が $O(10\%)$ 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。その原因として従来レンズ銀河のサブハローによる摂動が考えられてきたが、近年、視線方向のダークマター小構造による摂動によっても、そのような異常が説明できる可能性が高いことが指摘されている。今回、我々はサブミリレンズ銀河 SDP.81 の ALMA science verification data を用いてなめらかなポテンシャルによる重力レンズモデルを構築し、ソース面内に引き戻したレンズ像を相互比較することにより「フラックス比異常」の有無を調べ、イメージシフトの摂動を測定した。その結果、波長 1mm のダスト連続光の重力レンズ像に対し、ソース面上アパーチャ内フラックス比に $O(10\%)$ のずれ(約 3σ)があり、CO(8-7)の輝線において $O(0.01'')$ のイメージシフトがみられることが判明した。これらのずれの大きさは視線方向のコールドダークマター小構造による摂動によって説明できるが、銀河レンズ内のサブハローの寄与も考えられる。今後両者の切り分けを観測的および理論的に行っていくことが重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09c Topos Quantum Theory on Selected Contexts

中山薫二 (龍谷大)

トポス理論的量子論は、量子宇宙論や量子重力理論の枠組みの提供を目指してはいるが、まずは通常の量子系へ適用できなければならない。しかしこの方面での進展はほとんど見られない。その理由は、ひとつには理論の道具立てがあまりに一般的で扱いに点にある。例えば Doering & Isham の前層トポス上の量子論は、すべての文脈 (Hilbert 空間上の可換な部分 von Neumann 環) を同時に用いるため、巨大な真理値空間を扱う必要がある。この傾向は Hilbert 空間のテンソル積を用いる多粒子系の場合に殊更に顕著になり、例えばエンタングルメント等、その系に関する特定の問題にのみ関心を絞りたい場合の障害となる。

本ポスターの主題は、縮減された真理値空間を持つ、より応用の容易なトポス量子論である。理論自体は、目的に応じて必要な文脈を選択する関手 \flat を公理的に定義し、それが誘導する層トポス上で、Nakayama による量子化層トポスの手法により構成できる。問題はむしろ、命題空間の疎視化による、理論の表現力の低下である。すなわち、関手 \flat による文脈の制限によって、前層理論では区別されていた様々な物理的命題が、縮減された理論においては同一視される。したがって、理論が実際的应用に必要な表現力を持つか否か明確にする必要がある。

この点への解答を含む、以下の肯定的な主張が主要な結果となる。1. \flat によって選択された物理量に関して、射影作用素で与えられる物理的命題はスペクトル層の部分層として faithful に表現される。2. スペクトル層上に測度が定義でき、それは層トポス内の射として内部化され、真理対象を自然に誘導する。3. 任意の密度行列はスペクトル層上の測度を誘導し、その測度は選択された物理量に関する物理的命題の量子論的確率を正確に与える。4. 任意のスペクトル層上の測度に対し、それを再構成できるスペクトル前層上の測度が存在する。

[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（電波）】

9月9日（水）午前（11:00-13:00）[I会場]

V101a	11:00	230GHz 国内 VLBI 実験報告 藤沢健太（山口大学）
V102a	11:12	中国 VLBI と東アジアネットワーク 川口則幸（国立天文台）
V103a	11:24	超小型衛星によるスペース電波干渉計の基礎実験 西尾正則（愛知工科大学）
V104a	11:36	きゃらぼん・サブミリと日本・東アジア主体の mm/sub-mm VLBI 三好真（国立天文台）
V105a	11:48	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）
V106a	12:00	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VI 永田竜（高エネルギー加速器研究機構）
V107a	12:12	CMB 観測衛星 LiteBIRD 搭載広視野光学系の開発 井上将徳（大阪府立大学）
V108b	12:24	LiteBIRD 衛星光学系の 1/3 スケールモデルの開発および光学評価 木村公洋（大阪府立大学）
V109b	12:24	電波合成型ミリ波アンテナの設計 3（新たな結合伝送系について） 春日隆（法政大学）
V110b	12:24	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (12) 米倉覚則（茨城大学）
V111a	12:36	NICT 新太陽電波望遠鏡の開発 岩井一正（情報通信研究機構）
V112a	12:48	電波観測技術を応用した雲発生予測システムの開発 - 18-32GHz 帯試作機による大気水蒸気量観測試験 長崎岳人（高エネルギー加速器研究機構）
V113a	13:00	RedPitaya を用いた世界一安い MKID 読み出し回路の構築 富田望（東京大学）
V114c		大学 VLBI 連携の将来計画 藤沢健太（山口大学）
V115c		少数基線を用いた高感度 VLBI 観測によるサイエンス 新沼浩太郎（山口大学）
V116c		気球 VLBI ミッションの検討 V 土居明広（宇宙航空研究開発機構）
V117c		気球 VLBI の基線変動 河野裕介（国立天文台）
V118c		空気シャワーから放射されるマイクロ波の探索 IV 大田泉（甲南大学）

9月9日（水）午後（15:00-17:00）[I会場]

V119a	15:00	ALMA の運用 (7) と拡張計画 (1) 井口聖（国立天文台）
V120a	15:12	ALMA 偏波観測機能の科学評価活動報告 (6) 広視野偏波観測性能 亀野誠二（国立天文台）
V121a	15:24	ALMA 偏波観測機能の科学評価活動報告 (7) polarization calibrator 中西康一郎（国立天文台）
V122a	15:36	ALMA パイプラインの現状 4Cycle3 からの運用へ向けて 三浦理絵（国立天文台）
V123a	15:48	ALMA サイクル 3 に向けた ALMA データ解析パイプラインの開発 杉本香菜子（国立天文台）
V124a	16:00	ALMA データ解析ソフトウェア CASA の開発 8 中里剛（国立天文台）
V125b	16:12	ALMA 単一鏡データ解析パイプラインの信号検出アルゴリズム改善 小杉城治（国立天文台）

（次頁に続く）

【V1. 観測機器（電波）】

V126b	16:12	デジタル分光計の閾値電圧非一様性が及ぼす系統誤差 亀野誠二（国立天文台）
V127b	16:12	超広帯域ヘテロダイン同時受信技術構築に向けた周波数分波器の設計 小嶋崇文（国立天文台）
V128a	16:24	テラヘルツ超伝導ミキサの検討状況 小嶋崇文（国立天文台）
V129a	16:36	サブミリ波帯校正用人工電波源 木内等（国立天文台）
V130b	16:48	TRL 校正法によるマイクロ波帯デバイス特性評価方法の構築 高橋宏明（電気通信大学）
V131b	16:48	300-500 GHz 広帯域直交偏波分離器 (OMT) の開発 高橋諒（大阪府立大学）
V132b	16:48	1.9 THz 帯導波管型超伝導 HEB ミキサ検出素子のホーン/光学設計 齊藤滉介（大阪府立大学）
9月10日（木）午前（09:30-11:30）[I会場]		
V133a	09:30	LMT50m 鏡用 2 ミリ受信機システムと爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 川邊良平（国立天文台）
V134b	09:42	NANTEN2 100GHz 帯マルチビーム受信機の光学系設計 加藤千晴（名古屋大学）
V135b	09:42	NANTEN2 望遠鏡 115GHz 帯シングルビーム両偏波 SSB 受信機の開発 古賀真沙子（名古屋大学）
V136b	09:42	NANTEN2 望遠鏡 230 GHz 帯シングルビーム両偏波 2SB 受信機の開発 大浜晶生（名古屋大学）
V137b	09:54	GaAs 系低雑音ミリ波受信機の低温環境での性能測定 亀谷和久（東京理科大学）
V138b	09:54	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 (2) 長谷川豊（大阪府立大学）
V139b	09:54	野辺山宇宙電波観測所の運用：2 科学運用 齊藤正雄（国立天文台）
V140a	10:06	「FOREST」搭載 IF 広帯域化 100 GHz 帯 SIS ミキサの開発 3 上月雄人（大阪府立大学）
V141a	10:18	NRO 45m 望遠鏡搭載 100 GHz 帯ヘテロダインカメラ受信機の開発 長谷川豊（大阪府立大学）
V142b	10:30	南極 30 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡の指向性能の改善 栗木美香（筑波大学）
V143b	10:30	一般のアンテナにおける実効開口面積と開口能率について 永井誠（筑波大学）
V144b	10:30	収差と開口能率の関係 今田大皓（筑波大学）
V145a	10:42	幾何光学の応用による広視野電波望遠鏡の効率的な光学設計 今田大皓（筑波大学）
V146c		野辺山 45m 搭載 新マルチビーム受信機「FOREST」の開発進捗 10 南谷哲宏（国立天文台）
V147c		ASTE10 m 望遠鏡 THz 受信機の開発 相馬達也（東京大学）
V148c		Large Submillimeter Telescope (LST): 2) Specification, Operation Conditions, and Optics Kotaro Kohno (The University of Tokyo)
V149c		Large Submillimeter Telescope (LST): 1) Concept and Science Case Ryohei Kawabe (NAOJ)

V101a **230GHz 国内 VLBI 実験報告**

藤沢健太 (山口大学), ほかミリ波 VLBI 実験チーム (国立天文台, 宇宙科学研究所, 大阪府立大学, 情報通信研究機構, 山口大学, 茨城大学, 京都大学)

ALMA を用いた VLBI 実験が成功し、また JCMT を東アジアで運用する時代となった。また、ミリ波 VLBI によってブラックホール・シャドウを撮像することが真剣に議論されている。このような背景を踏まえ、230GHz 帯でミリ波 VLBI の技術実験を行い、研究計画を進めるべきとの機運が、日本の VLBI 研究グループにおいて高まっている。

今回、ミリ波 VLBI 実験観測の第一歩として、国立天文台野辺山宇宙電波観測所にある 2 台のミリ波電波望遠鏡 (1.85m 電波望遠鏡、SPART 望遠鏡) を用いた 230GHz の VLBI 実験を実施した。今回の実験に参加した研究機関は、ミリ波 VLBI 研究拠点である国立天文台と宇宙科学研究所、望遠鏡を所有・運用する大阪府立大学、VLBI 技術開発に実績のある NICT、大学 VLBI 連携から山口大学と茨城大学、そして理論的なアドバイザーとして京都大学である。実験の目標は 230GHz 帯のフリンジ検出とした。

実験は 2015 年 4 月 27 日に行われた。参加機関が所有する周波数標準、VLBI ターミナル、周辺機器を持ち寄って 2 台の望遠鏡に VLBI 観測システムを構築し、観測直後にデータを持ち寄ってソフトウェア相関処理を行った。十分な S/N を確保するため、観測対象は月の縁とした。観測および相関処理の結果、所期のフリンジを検出することに成功した。これは国内初の 230GHz での VLBI 観測である。この成功を踏み台として、次は国際的な実験観測および科学観測へと研究を発展させる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102a 中国 VLBI と東アジアネットワーク

川口則幸 (国立天文台)

中国上海天文台では2012年に直径6.5mの電波望遠鏡(天馬6.5m鏡)を建設し、現在パルサーなど低周波数帯での単一鏡観測を行っている。VLBI観測も開始しており、月面探査計画(チャンウープロジェクト)で月面上のローバーの位置計測や月周回衛星の精密軌道決定観測などを2/8GHz帯で行っている。8GHz帯では電波天文目的のVLBI観測も行っている。

本講演では、上海天文台における電波天文研究や装置開発の現状を紹介するとともに中国の他の観測局(ウルムチ、クンミン、ベキン)の現状についても簡単に紹介する。シンチャン天文台(ウルムチ)のナンシャン観測局に稼働している2.5m鏡は、主副鏡の交換によって直径2.6mの望遠鏡に改修中で、2.2GHz帯でより高い感度が期待されているほか、4.3GHz帯での観測も可能になることが期待されている。8GHz帯のVLBI観測の現状として、中国国内VLBIで行われたM81銀河の観測について報告する。中心核ジェットの位置角についての計測結果を述べその変動について考察する。M81銀河中心核の活動度はあまり高くなく、ジェットも微弱であるが、天馬6.5m鏡の大集光力を活用すること、また同じ余山地区の2.5m鏡と組み合わせ得られる疑似巡回振幅法を用いてジェットの検出と位置角の計測に成功した。この手法の有用性について詳しく述べる。

中国の電波天文観測の将来計画、チタイ110m鏡、FAST500m鏡について簡単に紹介するとともに、東アジアVLBI計画についても言及する。現在、日韓共同VLBI(KaVA)が共同利用に供されているが、中国局を含めた東アジアVLBI観測網への期待を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a 超小型衛星によるスペース電波干渉計の基礎実験

西尾正則 (愛知工科大学), 森田大貴, 中野大, 山下朋也 (鹿児島大学)

はじめに これまでに HALCA や RadioAstron といった宇宙電波望遠鏡が打ち上げられ、地上に設置された電波望遠鏡との間で超長基線電波干渉計を構成し、高解像度の電波天体観測に成功している。今後、高解像度、高ダイナミックレンジの電波天体画像を得るためには、宇宙空間に多数の電波望遠鏡衛星を配置することが考えられる。その際、それぞれの衛星間で信号の位相同期をできるだけ簡便に行うことが望ましい。本年会では、超小型衛星 KSAT2 を用いて行った地上 - 衛星間の位相同期運転実験の結果について報告する。

衛星概要 KSAT2 は 1 辺が 10 センチの立方体、いわゆるキューブサットである。衛星は、2014 年 2 月に全球降水観測計画の主衛星 GPM の相乗り小型副衛星として、高度約 380km、軌道傾斜角約 60 度の円軌道に投入され、約 80 日間地球を周回した。KSAT2 は、位相同期運転が可能な S 帯受信および Ku 帯送信機を搭載していた。

実験方法 地上から高い周波数安定度を持つ S 帯電波を衛星に向けて送り、衛星側で S 帯電波に位相同期した内部信号を生成した。この内部信号をもとに 13.275 GHz、送信電力 1 mW のキャリア信号を生成し、地上に送信した。Ku 帯の電波を地上で受信し、位相同期させた場合と、同期させていない場合とでドップラー周波数の時間変化を比較した。

実験結果 同期させていない場合に比べ、同期させた場合にドップラーシフト量が大きく (約 2 倍) になっていた。同期させた場合、衛星から地上に向かう電波が受けるドップラーシフトに、地上から衛星に向かう電波が受けるドップラーシフトが付加され、同期させていた場合に比べてドップラーシフト量は増加する。実験結果より、少なくとも地上と衛星間で周波数が同期して動いてい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](#)

V104a きゃらばん・サブミリと日本・東アジア主体の mm/sub-mm VLBI

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、1 ~ 2 千 km の短基線 VLBI (230GHz 帯) を実現し、ブラックホールの撮像・メーザ観測を行う。技術として最も重要なことは 230GHz 帯での観測機器のコヒーレンスを確立してフリッジ検出することであった。藤沢講演にあるように、国立天文台野辺山において 2015 年 4 月末に 230GHz 帯の VLBI 実験に成功、高周波数 VLBI の世界タイ記録を得た。同実験は急造での一時構成装置によるものであり、これにより、移動型 VLBI 「きゃらばん・サブミリ計画」における技術的妥当性はほぼ確認できたともいえる。きゃらばん電波望遠鏡では軽量化・コストダウンを目指しているがその進展もあった。安価なへら絞り法によって面精度 15 μ m r.m.s. の鏡面作成の成功、低損失導波管による複数鏡面受信電波の合成法の考案 (春日講演)、NICT/ NAOJ 開発の VLBI 高速記録系などを鑑みると、急速にその具体的実現性は高まった。

また東アジア天文台によるハワイ JCMT15m 鏡の運営、先行する ASIAA のグリーンランド望遠鏡建設、低地であるが 230GHz での VLBI 観測が可能と証明された野辺山など、アジアには 230GHz 帯 VLBI に適した複数の装置がある。これらときゃらばん、さらに共同利用 ALMA を用いると日本・アジア主体/先導のブラックホール撮像探査が可能になる。この構想についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105a 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一同

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 50-320GHz 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 年度前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](#)

V106a

CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VI

西城邦俊、松村知岳 (JAXA) 鈴木有春、堀泰斗 (UC Berkeley/LBNL) 石野宏和 (岡山大) 永田竜、羽澄昌史、服部香里 (KEK) 菅井肇 (Kavli IPMU) 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指して現在進行中の計画である。

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、ワーキンググループによる系統誤差評価の現状報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107a CMB 観測衛星 LiteBIRD 搭載広視野光学系の開発

井上将徳, 木村公洋, 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 ワーキンググループ一同

我々は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測結果からインフレーションが生じた際に存在した可能性がある原始重力波の痕跡を検出するために多周波数かつ高感度での CMB 全天観測を行う LiteBIRD 衛星の開発を進めている。本衛星が運用期間内に全天観測を行いミッションを達成するために、約 2000 素子の超伝導検出器を搭載し、視野角 ± 10 度を確保することが要求されている。そのためにはコンパクトかつ非常に広い焦点面を持つ光学系が必須となる。このような要求を満たす光学系の一つとして、クロスドラゴン方式が検討されている。本方式はコンパクトかつ広い焦点面を確保可能という利点の反面、主鏡と副鏡が近接しているため多重反射により、指向方向以外の多方向に強い検出感度を持ってしまう。

そこで我々は、設計仕様案として本衛星の検出周波数の中で最も回折の影響がある 60GHz で 1st ~ 3rd サイドローレベルが -20dB 以下、それ以降では -50dB 以下になるようなクロスドラゴン光学系の設計を進めている。光学系の設計には物理光学手法を用いており、多重反射の経路を 7 通り設定してアンテナビームの計算を行っている。本講演ではアンテナビーム特性の評価に加え、多重反射の影響とその対策、迷光を防ぐための開口部分に設置するフードの設計、焦点面の評価 (視野角の評価)、計算と並行して行っているスケールモデル実験など中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108b **LiteBIRD 衛星光学系の1/3スケールモデルの開発および光学評価**

木村 公洋, 井上 将徳, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府立大学), 松村 知岳, 西堀 俊幸 (JAXA), 鹿島 伸悟, 関本 裕太郎, 稲谷 順司 (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 ワーキンググループ

私たちは、インフレーションモデルの検証を目的としたマイクロ波宇宙背景放射観測衛星 LiteBIRD の開発を進めている (羽澄他、本年会)。この衛星光学系には、クロスドラゴン型を中心に検討が進められている。クロスドラゴン型の特徴は、広い視野を持ち、光学素子 (副鏡、主鏡、焦点面) がコンパクトにまとまっており衛星搭載には有利である。しかし、光学素子が近接している為、多重反射によって指向方向以外に感度が高かったり、ビーム伝送途中に迷光を防ぐ為のバッフルの設置が困難であったり、迷光防止用にアンテナ開口にフードを設置する必要があったり等、設計には細心の注意がいる。これらの注意点を踏まえ、幾何光学や物理光学を用いた光学設計を進めている (井上他、本年会)。しかし、光学素子が近接している等の為に計算だけで設計するには限界がある。

そこで、現在検討しているクロスドラゴン型アンテナの1/3サイズスケールモデルの製作を進める。このモデルを実測することで、計算だけでは困難なバッフルの設計等にフィードバックする。スケールモデル実験を検討するにあたり、コストが安く、ハンドリングが容易であること (ミラー大きさが約 30cm 四方)、鏡面加工精度やミラー設置精度が十分得られること、測定周波数のスケール化が容易であることの点から 1/3 サイズに決定した。測定には、LiteBIRD 観測周波数帯である波長 5mm 帯の 1/3 である波長 1.5mm (200GHz 帯) を用いる。

現在、スケールモデルの鏡面を製造し、三次元測定での鏡面評価を進めている。また、近傍界測定 (フェイズリトリバブル法) を用いたビームパターン測定、同測定系を用いたバッフルやフード等の遮光部分の設計を進める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109b 電波合成型ミリ波アンテナの設計 3 (新たな結合伝送系について)

春日隆 (法政大学), 三好真 (国立天文台), 岡田則夫 (国立天文台), 三ツ井健司 (国立天文台), イシツカ ホセ (ペルー IGP)

銀河中心 BH 観測を目的とするキャラバン (アンデスプロジェクト) は、精細画像取得を目的としたミリ波 VLBI システムであり、移動型望遠鏡による UV の密なカバーがキーとなる。望遠鏡は、観測波長 1.3mm、有効口径 4 m、VLBI に特化したものであり、2m パラボラ鏡、伝送系で構成したユニットを 4 個を複合し、電波を合成する。ユニットはすべて同一で、ユニットの分離・組付が容易な構造とする。前回まで、絞り加工によるユニットパラボラの性能が目的を達することは報告した。結合用伝送系として、一般に準光学つまり複数鏡の組み合わせが考えられる。複合鏡でこれを採用することは可能であるが、その設定は高精度を必要とし、提案の可搬型で迅速かつ高精度のくみ上げが出来るかについて、解決の目処はなかった。また、伝送後の結合器 (極低温) への導入法も未解決であった。この伝送系として、常温オーバーサイズコルゲート導波管を提案する。本導波管は、現在、核融合試験炉のミリ波加熱用高電力を伝送するのに用いられている。その損失は、2-300GHz でも 0.01dB/10m を遙かに切る超低損失である。またベンド、真空窓等も実証済みである。そしてその端面は本質的にコルゲートホーンであり、空間モードとのカップリングも最高である。鏡による準光学では、その設計自由度がはなはだ制限されるのに対し、これを用いれば、常温部に自由な長さの伝送路を導入する事ができ、また偏波等への対処も容易である。導波管出力を空間ガウスビームとして放射し、真空デュワー内の冷却結合鏡に導入すれば、容易にフィゾー型結合器となる。導波管であるので、その設置精度の達成は容易であり、また変形も受容する。今回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](#)

V110b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (12)

米倉 覚則, 齋藤 悠, 沖本 有, 加古 琳一, 永瀬 桂, 安井 靖堯, 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), 近藤 哲朗, 関戸 衛 (情報通信研究機構) 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 素子干渉計などの形態で、6.7 GHz (メタノールレーザー)、8.4 GHz (連続波)、22 GHz (水レーザー、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ってきた。2012 年度末までに改造作業がほぼ完了し、2013 年度より本格的な科学運用を開始した。2015 年度前半には、主に以下の進捗があった。

(1) 国内 VLBI 観測を年間 300 時間程度着実に実行中である。2014 年度末でテープ記録方式の運用を終了し、2015 年度はハードディスク記録方式のみの運用となっている。(2) 高萩と日立の 2 台のアンテナを用いた 2 素子干渉計の立ち上げを行っている。K5/VSSP32 サンプラーを用いた試験では、同サンプラーの相関処理ソフトが測地観測用、つまり連続波源用に開発されたため、メタノールレーザーのような強度の強い輝線の相関処理に対応していなかった事が明らかになり、修正を行った。また、リアルタイム相関処理が可能な専用相関器を用いた試験観測を開始した。(3) 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 (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) が発生し、2015 年 6 月の時点で運用停止中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V111a NICT 新太陽電波望遠鏡の開発

岩井一正, 久保勇樹, 巨慎一, 石橋弘光, 石井守 (情報通信研究機構)

太陽ではフレアに代表される爆発現象が絶えず起きている。この爆発現象に伴い、高エネルギーな放射線粒子や、1000km/s を越える高速のプラズマ雲の噴出現象が発生する。これらの一部は地球にも到来し、人工衛星の運用や電波通信に影響を与えることがある。太陽の爆発現象では突発的な電波が放射される(太陽電波バースト)。よって太陽からの電波放射を常時モニタすることは、宇宙天気の前報にとって極めて有効である。

NICT では太陽活動を監視することを目的に茨城県平磯にて太陽の電波観測を行ってきた。今回、より高性能な太陽電波の広帯域分光観測を目指し、観測場所を NICT の山川電波観測施設(鹿児島県指宿市)に移転するとともに、新しい太陽電波望遠鏡の開発を行った。本望遠鏡は、口径 8メートルのパラボラアンテナからなる。太陽電波バーストはメートル波からマイクロ波にかけて発生する広帯域の連続波放射である。本望遠鏡は焦点に 2種類の広帯域アンテナを用いることで、0.07GHz から 9.0GHz までを 1 台のアンテナでカバーしている。太陽の視直径は約 0.5 度あり、太陽フレアはどこで発生するか事前の前報が難しいため、望遠鏡は太陽全面の視野を持つ必要がある。そこで高周波側のアンテナ位置をデフォーカスすることで、観測する全帯域で太陽全面の視野を確保した。受信信号は受信機内で分割され、FPGA を用いたデジタル分光計に供給される。本望遠鏡に開発されたデジタル分光計は帯域幅 2GHz、分光点数 4096 点と帯域幅 1GHz、分光点数 32768 点の 2種類があり、合計 10 台で 9GHz の帯域幅の両円偏波同時観測を実現した。分光計はデッドタイム無く連続的に分光可能で、スペクトルは内部で積算され、8ms 毎に積算スペクトルを記録することで、高時間分解観測を可能とした。本装置のような広帯域高分解スペクトル観測系は、太陽のみならず幅広い電波天文観測で応用可能と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112a 電波観測技術を応用した雲発生予測システムの開発 - 18-32GHz 帯試作機による大気水蒸気量観測試験

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), 小南欽一郎 (野村證券)

新たな気象予測の手法として、大気中の水蒸気量の観測によるゲリラ豪雨や竜巻等の突発的気象現象の発生予測が検討されている。これは、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て、いち早く雲が形成されることを予測する。この『雲発生予測』は、雲を対象とするレーダー観測に先立つ早期予測として期待される。我々は水蒸気分子からの放射輝線が存在する 18-32GHz 帯、ならびに酸素分子の放射輝線付近の 50-60GHz を同時に観測する広帯域・高感度マルチバンド観測システム、“KUMODES”を開発している。これは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。高感度化により、市販品のラジオメータ等の低感度な常温受信機に対して大幅な観測時間の削減が可能となる。また、装置較正を頻繁かつ短時間で行うために、クライオスタット内に冷却した基準信号黒体を設置し、ワイヤーグリッドを用いた信号経路選択システムを採用する。観測システムはコンパクトであり、既存の建物屋上や船の甲板等に設置可能である。

これまでにプロトタイプ冷却受信機を開発し、18-32 GHz にわたり大気水蒸気量の観測試験をつくば市にて行い、大気水蒸気量の測定性能を評価した。さらに、10 キロメートル南に位置する気象庁高層気象台で 1 日 2 回行われているラジオゾンデによる測定結果と比較した。本講演では、システムの概要ならびに上記の試験観測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](#)

V113a RedPitaya を用いた世界一安い MKID 読み出し回路の構築

富田望 (東京大), Hoyong Jeong, Jihoon Choi (コリア大), 石塚光 (総研大), 美馬寛 (理研), 長崎岳人, 小栗秀悟, 田島治 (KEK)

MKID(Microwave Kinetic Inductance Detector) は超伝導型検出器の一種である。構造がシンプルで製造時の歩留まりがよく、ノイズ・帯域の特性も良好で、かつ大規模な多重化が容易であるなど数多く利点を備えている。そのため MKID は天文学や天文学物理学、素粒子実験における次世代の検出器として、数多くのグループから注目されている。

MKID は以前の超伝導検出器製造設備を用いて容易に作成することが出来るが、読み出し用の回路は新たに用意しなくてはならない。現在のところ、標準的な読み出し回路として低コストなものは存在しない。

このため、初期開発に用いる読み出し系として、RedPitaya を用いたものを提案する。RedPitaya は名刺サイズ、オープンソースの小型計測ボードであり、安価 (5 万円程度) で入手することが出来る。セットアップも容易である。

RedPitaya は帯域 50MHz の ADC(アナログ-デジタル変換) と DAC(デジタル-アナログ変換) を 2 チャンネルずつ備えており、それらは FPGA とデュアルコアの CPU により制御される。このため容易に高周波入出力を容易に実現する。例えばネットワークアナライザに似たシステムが容易に構築出来る。つまり、局部発振器とミキサーを用いたアップコンバージョン・ダウンコンバージョン回路と組み合わせると、MKID の読み出し系が安価に構築出来る。本講演ではこの読み出し系と MKID を用いたデモンストレーションについて講演する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114c 大学 VLBI 連携の将来計画

藤沢健太 (山口大学), ほか大学 VLBI 連携グループ (国立天文台, 北海道大学, 茨城大学, 筑波大学, 岐阜大学, 大阪府立大学, 山口大学, 鹿児島大学)

大学 VLBI 連携観測事業 (以下、大学連携) は、研究開始から 10 年が経過した。大学連携の観測網 JVN は 6.7 / 8 / 22 GHz で観測を行っており、メタノール・メーザの観測、8 GHz の高感度観測に特色がある。年間の VLBI 観測時間は 300 - 400 時間で、その他の時間は VLBI と相補的な単一鏡観測が各局で行われている。JVN を用いた観測結果の論文はこれまでに約 20 編、大学連携に関連する論文まで含めると 1 年間に 10 編程度発表されている。日本天文学会 2014 年秋季年会での企画セッション (光・赤外線の間連携と合同企画)、PASJ の特集号 (2016 年発行予定) など、成果発表は充実している。また、大学間の研究・教育交流にも取り組み、様々なセミナーや共同研究企画を実施している。

将来計画の第一歩として、大学連携の観測形態を次の 2 つとする計画を進めている。第 1 は茨城・山口の高感度基線のみ利用して、高輝度温度天体を抽出・検出することに特化した観測形態である (つくば 32 m、鹿児島 34 m の参加もあり得る)。イメージングを行えないが、観測時間を長く使えるという点を利用して研究の特色とする。研究対象は、ガンマ線天体の大規模サーベイ、形成中の恒星の連続波放射、銀河面コンパクト天体のサーベイなど、様々なものが提案されている。第 2 は従来の観測形態に近い、画像観測である。

もう一つの将来計画は、2013 年から始まった東アジア VLBI 観測網の推進である。JVN はマイクロ波帯での EAVN の中核的観測網である。また KaVA (KVN and VERA Array) およびミリ波 VLBI 観測にも、大学連携としてかかわることを検討している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115c 少数基線を用いた高感度 VLBI 観測によるサイエンス

新沼浩太郎 (山口大学), ほか大学 VLBI 連携グループ

大学 VLBI 連携 (JVN) では昨年秋より国立天文台が開発した 2Gbps での記録が可能な OCTAVE システムによる観測に移行した。これにより従来に比べ 16 倍広い観測帯域を記録可能になったため感度が大幅に向上した。主力となる 30m クラスの電波望遠鏡を用いた X 帯での JVN 観測では、最長基線が約 800km と短いため角度分解能という観点で見ると世界の VLBI アレイに対し見劣りする感は否めない。しかしながら基線感度においては例えば VLBA に比べても遜色無い性能を持つことができた。特に、つくば局・茨城局・山口局で構成される 3 基線はコヒーレンス時間以内 (~ 6 分) での積分による検出感度が 10 mJy 程度 (雑音レベルの 7 \sim 10 倍) であり、それぞれ輝度温度に換算すると $\sim 1.7 \times 10^4$ K (つくば局-茨城局基線: $\theta \sim 100$ ミリ秒角), $\sim 1.7 \times 10^6$ K (山口局-茨城局基線: $\theta \sim 10$ ミリ秒角) に相当する。

少数基線であるため詳細なイメージングを行うことは難しいが、中・高輝度のコンパクトな電波天体を無バイアスでサーベイするといったような、VLBI ではこれまで実施が難しかった研究や萌芽的な研究に観測時間を投資することで新たなサイエンスの芽が出ることを期待している。これまでも暗いブレーザーのサーベイ、未同定ガンマ線源のサーベイ、近傍電波銀河における複数活動銀河核サーベイ、電波放射を伴う恒星のサーベイなど、バラエティに富んだ提案がされているが、これらはどれも 1 \sim 3 (時には臼田局を含めた 4 局 6 基線) の少数基線で数十時間をかけ、数百から 1000 近い天体を観測するような提案である。本講演ではこのように少数基線の高感度 VLBI によるサイエンスケースについて紹介するとともに、少数基線で VLBI 観測を行う意義や目指すべきサイエンスについても検討する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V116c 気球 VLBI ミッションの検討 V

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、秋山和徳（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）、荻芳郎（東京大学）、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。技術的なフィージビリティの検証のために、実験機を北海道広尾郡大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場から放球し、22 GHz 帯で地上 VLBI 局とのフリンジを検出することを目指している。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、ゴンドラシステムをクレーンで吊り下げ状態にしておこなった姿勢制御試験およびその状態での VLBI 観測試験とその実験データの分析、制御システムを1気圧封入するための気密容器の製作、受信機システムの搭載仕様化、スタートラッカーの開発、運用シーケンスの検討、摩擦を劇的に低減する仰角駆動機構の開発、真空冷却実験を伴った搭載電源システムの開発、230 GHz 地上 VLBI 実験による水晶発振器の VLBI 応用の実証、将来の飛翔体搭載高精度アンテナの予備開発実験などをおこなっている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117c 気球 VLBI の基線変動

河野裕介 (国立天文台), 土居明広, 馬場満久, 村田泰弘 (JAXA), 山下一芳, 金口政弘, 鈴木駿策, 小山友明, 松本尚子 (国立天文台), 松本尚子 (山口大学) 木村公洋, 岡田望 (大阪府立大), 気球 VLBI 検討チーム

高周波数の VLBI 観測は高分解能の天体の情報を得る電波天文学の手法の一つである。高い周波数は大気による減衰とコヒーレンスの劣化が大きいため地上では高地など観測場所が限られている。地上以外で大気による減衰が少ない場所の一つが成層圏であり、成層圏による VLBI 観測はこれまで実現されておらず、気球に VLBI 観測装置を成層圏滞在させ高周波数の VLBI 観測ができた場合には、新たな高周波数 VLBI 観測の可能性を切り開くことができる。

気球 VLBI を実現するための技術的課題の一つが、振り子や姿勢変動によるアンテナ位置の変動による干渉計基線変動である。例えば振幅 0.1 度の振り子による基線の変動は 10cm 程度が予想され、波長の 100 倍程度にも達する。したがって姿勢センサや加速度計などを用いて、基線の変動を計測し、相関データに補正を与える必要がある。ここでは、基線の変動と姿勢、加速度の関係を明らかにする。また JAXA 相模原キャンパスで行った初号機フライトモデルを用いた振り子 VLBI 実験を行い、フリッジ位相、姿勢データ、地上に設置された測距計による基線変動データ等が得られた。これらの関係性について議論し、フライトに必要なセンサの構成について示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118c 空気シャワーから放射されるマイクロ波の探索 IV

山本常夏, 大田 泉 (甲南大), 池田大輔, 佐川宏行, 福島正己 (東大宇宙線研), 荻尾彰一 (大阪市大), Romain Gaio, 間瀬圭一, 吉田滋, 石原安野, Matthew Relich, 桑原孝夫, 上山俊佑 (千葉大), Bokkyun Shin(Hanyang Univ), Gordon Thomson(University of Utah), John N. Matthews(University of Utah), 柴田達伸 (KEK)

携帯電話や衛星通信などマイクロ波検出器の普及に伴い、マイクロ波を使った最高エネルギー宇宙線や高エネルギーニュートリノの観測が検討されている。宇宙線が大気や物質中で生じる高エネルギー荷電粒子は Askaryan 効果によるチェレンコフ光、地磁気によるシンクロトロン放射、大気分子の電離から生じる低エネルギー電子プラズマによる分子制動輻射、プラズマによる外部電波反射など様々な過程を経てマイクロ波を放出する。これらのマイクロ波を観測に応用することにより検出面積を広げたり、観測精度を上げたりすることができる可能性がある。

この宇宙線のマイクロ波による観測の検証実験は、宇宙線を制御することができないため電子加速器を使って行われている。アメリカ・ユタ州にある Telescope Array 観測所には宇宙線観測装置に対する性能評価のために 40MeV の電子を 6 億個含んだパルスビームを大気中に放出する電子加速器が設置されている。この電子加速器を使ってマイクロ波検出器による宇宙線観測方法の検証のため、電子ビームに外部電波をあて反射を測定する、分子制動輻射による等方的なマイクロ波放射、ビームを氷にあて Askaryan 効果によるマイクロ波を検出する、など様々な実験が行われている。これらの実験によりビームの出口から強く偏光したマイクロ波の広角放射が検出された。この放射は電界の急激な変化に起因すると考えられている。この検出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](#)

V119a ALMA の運用 (7) と拡張計画 (1)

○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。

評価：単一鏡観測、Band 10 干渉計観測、偏波観測、太陽観測、長基線観測等、いくつか実現しなければならない課題が残っており、合同アルマ観測所 (チリ) がシステム評価試験および科学評価試験を実施中である。さらに、VLBI 機能の追加についても検討が行われ、位相合成 (Phase up) 試験に成功した。

運用：Cycle 3 の観測提案を受付けた。そして、Cycle 2 の観測を完了し、Cycle3 の観測を開始する。Cycle 0 および Cycle 1 の観測成果が続々と出てきており、さらにはアーカイブデータを使った成果も出てきている。

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、2020-2030 における ALMA 科学観測を想定した将来拡張計画についての議論も開始し、日米欧で協力して報告書をまとめた。

さらに、最新の観測結果に加え、科学評価試験状況および今後の科学機能拡張について紹介する。また、Cycle 3 の観測提案審査結果についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120a

ALMA 偏波観測機能の科学評価活動報告 (6) 広視野偏波観測性能

亀野誠二, 中西康一郎, Paulo Cortes, Anthony Remijan (Joint ALMA Observatory), Chat Hull (CfA), ALMA polarization commissioning team

We report ALMA's performance of wide field-of-view polarization imaging. ALMA has offered continuum polarization capabilities in Cycle 1 and 2, and spectroscopic polarization in Cycle 3. To expand the field of view to allow mosaicing polarimetry for extended sources, it is required to evaluate the polarization characteristics, especially the leakage terms (a.k.a. D-terms), outside the FWHM ($60''$ at 90 GHz). Since D-terms get increased at off-axis of the primary beam (Nagai et al. ASJ2013b, V104b), it is necessary to characterize the D-terms up to $\sqrt{2}\times\text{FWHM}$. This report addresses results of astrophotography scans toward strongly polarized (3C 279) and weakly polarized (1517 – 243) continuum sources to determine the D-term distribution within each primary beam of each antenna. We used more than 30 antennas and divided them into two groups of reference and scanning antennas. The latter radially scanned with 15° -stepped $2\times\text{FWHM}$ excursions with respect to the target source. These observations allowed us to measure the polarization characteristics with the angular resolution of $\text{FWHM}/10$. We confirmed that accuracies of linear and circular polarizations were better than 1% and 2% within the FOVs of FWHM and $\sqrt{2}\times\text{FWHM}$, respectively, even if we apply a uniform D-term value. We will report improvements when we apply the D-term distribution within the beam.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V121a **ALMA 偏波観測機能の科学評価活動報告 (7) polarization calibrator**

中西康一郎, Paulo Cortes, Ed Fomalont, Ruediger Kneissl, 亀野誠二, Anthony Remijan (JAO), 永井洋 (国立天文台), ALMA polarization commissioning team

Basic calibration of radio interferometer data is done by observing a compact and bright radio source, and a radio bright active galactic nucleus is employed as a calibrator for most situations. Not only finding good calibrators but also monitoring properties of them are crucial to achieve accurate calibration, because almost all of the calibrators flux densities are time variable. This situation is even serious in polarization observation. Interferometric polarization data calibration requires a calibrator which is bright in total flux density, and, at the same time, is highly polarized to do specific calibrations (e.g. instrumental polarization calibration). However, calibrator polarization characteristics have not been well known in millimeter and sub-millimeter.

The Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) is the most powerful polarization imager ever built, and arranging a list of good polarization calibrators is one of the fundamental steps to realize sensitive polarization observation with ALMA. We, ALMA polarization commissioning team, have been working for polarization calibrator survey and characterization as a part of our commissioning activity. We searched for bright and highly polarized calibrators (fractional linear polarization $P > 2\%$), and found more than 20 polarization calibrator candidates to date. Monitoring observations of those calibrators have been carried out, and it turned out that more than half of the calibrator candidates were modestly stable in linear polarization ($|\Delta P/P| < 0.3$) over a few months.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V122a ALMA パイプラインの現状 4Cycle3 からの運用へ向けて

三浦理絵, 秋山永治, Erik Muller, 諸隈佳菜, 杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治 (国立天文台), ALMA Pipeline Team

ALMA のデータ解析には, データ解析ソフト CASA の他に, 自動的に最適のパラメータを選んでデータ処理を行う ALMA パイプラインが使われる. ALMA パイプラインには, 干渉計パイプラインと単一鏡パイプラインがあり, そのうち干渉計パイプラインは, 2014 年 9 月から一部 (キャリブレーションまで) 運用を開始しており, 2015 年 5 月まで 670 個以上のプロジェクトがパイプラインで処理され, そのうち 80% 以上はデータ処理に成功している. 2015 年 10 月から開始される Cycle3 観測からは, これまでパイプライン処理の対象外だった信号対雑音比の低いキャリブレーションを含むデータの処理や, サイエンス天体のイメージング (簡単な CLEAN を含む) も干渉計パイプラインに組み込まれる予定である. 一方, 単一鏡パイプラインは, Cycle3 観測から新たに運用を開始する予定であり, 観測所で定義される標準観測モードの単一鏡データに対して, キャリブレーションおよびイメージングを行う. 単一鏡データは将来, 干渉計データとコンバインすることを想定しているため, パイプラインは, 別に求められた Jy/Kelvin 変換係数をパイプライン内で適用し, サイエンス天体のデータに対しては Jy の単位の FITS 画像が生成される仕様になっている. 現在, Cycle3 観測開始に向けて, 国立天文台 ALMA の東アジア地域センターを筆頭に, ALMA パイプラインチーム全体で, Cycle3 用単一鏡パイプラインの試験を行っている. これまでに, Cycle3 用単一鏡パイプラインで処理された ALMA Band3~8 に渡る 41 個のプロジェクトのうち, 約 9 割のデータが問題なく処理されている. 本講演では, Cycle3 用 ALMA パイプラインの試験状況や結果, Cycle3 までの課題について報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123a ALMA サイクル3に向けたALMAデータ解析パイプラインの開発

杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治, 三浦理絵, 秋山永治, Erik Muller, 諸隈佳菜 (国立天文台), ALMA PIPELINE チーム

ALMAデータ解析パイプライン (PIPELINE) は、ALMA望遠鏡で観測したデータを自動的に処理するソフトウェアである。観測設定やデータに応じて適切な処理手順と処理パラメータを自動的に決定し、観測データをキャリブレーション、イメージングする機能を有する。これまでに、ALMAの干渉計データのキャリブレーションで、PIPELINEが実用化されている。PIPELINEの開発は、国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および、ヨーロッパ南天天文台 (ESO) を中心とした国際協力により進められている。中でも我々国立天文台の開発チームは、主にALMAの単一鏡観測データの処理・解析機能の開発、及び、試験を担当している。2015年10月より始まるALMA望遠鏡のサイクル3観測では、単一鏡観測データの処理でもPIPELINEの実用化を目指しており、現在、それに向けた開発と観測所による受け入れ試験を進めている。これまでの試験では、PIPELINEが既存のALMAの単一鏡観測データの多くをエラーなく処理できることが確認された (三浦ほか2015年秋季年会)。一方で、複雑な輝線プロファイルを自動検出するアルゴリズムの改善 (小杉ほか2015年秋季年会) や、データ処理効率の向上が必要であることが明らかになった。本講演では、サイクル3でのPIPELINEによる単一鏡観測データ処理に向けた準備状況、受け入れ試験で見つかった問題への対応状況と、将来のALMAの機能拡張に対応するための開発の展望を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124a ALMA データ解析ソフトウェア CASA の開発 8

中里剛, 杉本香菜子, 川崎渉, 國吉雅也, Renaud Miel, 中村光志, 小杉城治, 前川淳 (国立天文台),
ほか CASA 開発チーム一同

Common Astronomy Software Applications (CASA) は干渉計、単一鏡いずれにも対応した電波観測データの解析ソフトウェアである。CASA は ALMA、EVLA のデータ解析とともに、日本の開発チーム主導で野辺山 45m 鏡や ASTE のデータ解析への対応も進めている。

ALMA では 2015 年 4 月にサイクル 3 観測の観測提案を募り、10 月に観測を開始する予定である。サイクル 3 では単一鏡のデータ解析パイプラインが本格的に稼働し始めるため、CASA における単一鏡データの解析機能の重要性はこれまで以上に増している。サイクル 3 に向けて CASA は 2015 年 6 月に CASA 4.4 をリリースし、さらに観測開始直前の 9 月に CASA 4.5 をリリースする予定である。これらのリリースではサイクル 3 観測データの解析をサポートすることに加え、膨大なデータをより効率的に処理するための様々な改善や機能拡張が行われる。我々日本の開発グループは単一鏡データ解析機能の開発を主導しており、CASA 4.4 および 4.5 の開発においては、干渉計と単一鏡のデータ形式を統一することによるデータ入出力の効率化（杉本ほか、2015 年春季年会）と Sakura ライブラリの活用による解析処理の高速化（中里ほか、2015 年春季年会）を二つの柱に据えて開発を進めている。また、サイクル 4 以降に公開される予定の単一鏡 fast scan 観測モードについて、データのキャリブレーション手法の検討とプロトタイプ作成も同時に行っている。

本講演では、CASA 4.4 および 4.5 の機能を概観し、上記の単一鏡データ解析機能の開発について、前回の報告以降の進捗状況について詳しく述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125b ALMA 単一鏡データ解析パイプラインの信号検出アルゴリズム改善

小杉城治、中里剛、杉本香菜子、三浦理絵（国立天文台）

ALMAの単一鏡（Single Dish）観測データの解析パイプライン（以降SD Pipeline）の開発、及び、観測所による受け入れ試験が進められている（杉本ほか、及び、三浦ほか2015秋期年会）。SD Pipelineは、ALMAの単一鏡観測データに対して、観測設定やデータに応じた適切な処理手順と処理パラメータを自動的に決定しながら解析処理を進めるソフトウェアである。現時点でのALMAの単一鏡観測には、On-The-Fly(OTF)ラスタースキャン（目標天体を含む矩形領域を昔のブラウン管テレビの走査線のように望遠鏡を動かしながら、それぞれの場所で分光データを取得）が使われる。SD Pipelineは、そのような波長方向一次元の時系列データ（時間とともに空間位置が移動）を扱う。主要な観測モードである輝線観測の場合には、天体起源の信号がない場所（OFF点）で取得したデータを使ったキャリブレーション、異常データの検出、輝線以外の成分の除去（Baseline除去）、強度較正、データ合成によるデータキューブ化（波長1次元空間2次元）がおこなわれる。特に自動化が難しい部分はBaseline除去処理で、信号が波長・空間上どこに存在するのかを前もって高い精度で検出しなければならない。そうでないと、必要な輝線情報（の一部）も含めて除去されてしまう恐れがある。強度の異なる多数の輝線がスペクトル内に混在する場合、K-meanクラスタリングを輝線の検定に利用した従来のSD PipelineではBaseline除去に難があったが、階層化クラスタリングを利用した新しいアルゴリズムによって、このようなケースにおいても十分な確度で自動的にBaseline除去が可能となる見通しがついた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V126b デジタル分光計の閾値電圧非一様性が及ぼす系統誤差

亀野誠二 (Joint ALMA Observatory), 鎌崎剛, 渡辺学 (国立天文台)

ALMA では干渉計観測特有のミッシングフラックス (輝度分布のうち空間周波数が 0 の成分を失うこと) を回復するために、4 台の 12m アンテナと ACA 相関器による単一鏡観測を行う。受信信号は 3-bit で量子化された後にデジタル分光処理を経るため、量子化損失と振幅の非線形歪みの影響を受ける。ALMA の要求仕様である 3% のフラックス密度計測精度を実現するには、量子化に伴う非線形性の補正が必要である。干渉計観測では非線形性補正は量子化損失係数で割るだけで済むのに対し、自己相関処理を行う単一鏡観測では入力信号レベルに応じた補正曲線を適用する必要がある。このため ACA 相関器に 2015 年 2 月よりデジタルパワーメーターによる入力信号レベル計測と補正曲線を適用する機能を加え、アナログ検出器に対して $\pm 3\%$ 程度で一致する事を確認できた。しかし一方で、3-bit 量子化の閾値電圧間隔が一定ではないために、新たな非線形性が派生することが分かった。閾値電圧 V_{th} の非一様性 ΔV_{th} は A/D 変換器ごとに個性があり、機器によっては $\Delta V_{th}/V_{th}$ は 20% を超える。この結果パワー計測において平均で 2.1%, 最大 9.6% の系統誤差をもたらすことが分かった。一方、閾値電圧は長時間にわたって安定であることも分かったため、適切な補正を施すことで系統誤差を抑制できる。本講演では 3-bit 量子化補正の精度検証結果を示すとともに、ビット分布の統計を用いた閾値電圧の計測方法と、補正方法について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V127b 超広帯域ヘテロダイン同時受信技術構築に向けた周波数分波器の設計

小嶋崇文、Alvaro Gonzalez、Matthias Kroug、浅山信一郎 (国立天文台)、鶴澤 佳徳 (情報通信研究機構)

電波天文観測において超広帯域ヘテロダイン同時受信技術は今後構築すべき課題の一つである。天文観測をはじめとする微弱信号の分光計測が必要な分野にとって、現象を大局的かつ正確に理解するためには周波数軸上の情報をより多く、高感度かつ同時に検出できることが望ましい。計測中の条件に変動が懸念される場合や対象物自体が時間変化する場合などは特に重要な技術である。しかしながら、例えば ALMA Band 8 (RF: 385-500 GHz) では1偏波で同時受信できる帯域幅は最大8 GHzであり、RF周波数帯域幅に対してわずか7%である。これは、受信機を構成するIFアンプの帯域がボトルネックとなっているためである。非常に広帯域な低雑音アンプも開発されつつあるが、現状では量子雑音限界の感度を確保したまま全RF帯域をカバーすることは難しい。

今回、同時受信帯域の広帯域化にむけて、マルチバンド型受信機の可能性について検討した。当受信機は、次のようなシステムを想定している。(a)周波数分波器(マルチプレクサ)を用いて Δf 間隔でRFを分割。(b) Δf 間隔で並んだLO電力を発生させマルチプレクサで周波数分割。(c)RF信号とLO電力を結合させ各々のチャンネルのSISミキサに入力。(d)個々のRF帯域幅 Δf と同程度の帯域幅を持つIFアンプを各チャンネルに実装し、ダウンコンバートされた全信号を同時に増幅。今回385-500 GHz帯において20 GHz間隔で分割するRFマルチプレクサを設計した。ハイブリッド結合型オンチップマルチプレクサを採用し、現在までに導波管型に比べて小型で、チャンネル間に周波数ギャップがなく入力信号の周波数情報損失が生じない設計解を見出している。

本講演では、当受信機の実現可能性や生じうる課題など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](#)

V128a テラヘルツ超伝導ミキサの検討状況

小嶋崇文、Matthias Kroug、Alvaro Gonzalez、藤井泰範、金子慶子、菊池健一、浅山信一郎、野口卓(国立天文台)、池谷瑞基、酒井剛(電気通信大学)、牧瀬圭正、寺井弘高、鵜澤佳徳(情報通信研究機構)、相馬達也、山本智(東京大学)

1 THz を超えるヘテロダイン低雑音受信機の開発に向けて、最も重要な開発課題である超伝導ミキサを中心に検討を行っている。当開発にはミキサをはじめ、多くの技術的課題があり基礎検討を多角的に進めている。新材料や新しい方式のテストには、これまでに構築したファシリティを最大限活用し、スケールモデル実験としての検討を実施している。一方、これまでミリ波・サブミリ波で十分に確立されている技術については、1.5 THz 帯での動作実証とともに高性能化を目指してその評価系の整備を進めている。

・SIS ミキサについては、接合材料と臨界電流密度、サイズ、同調回路方式およびその材料などの検討を進めていく必要がある。現在、テラヘルツ帯で必須の高臨界電流密度接合の開発を進めている。これまでに AlN 絶縁層を用いて 20 kA/cm^2 を超える Nb 接合の作製に成功している。当接合作製技術を用いた SIS ミキサを設計し、スケール実験として 400 GHz 帯での評価を実施する予定である。

・HEB ミキサにおいては、課題である IF 広帯域化を解決するためミキサアンプモジュールの検討を進めてきた。これまでに市販の SiGe HBT(Heterojunction Bipolar Transistor) を用いた 0.5-5 GHz アンプを開発し、10 K 以下の性能を達成している。また、当アンプを用いたミキサモジュールを 900 GHz 帯において評価した結果、雑音温度は 2000 K であるが IF 帯域幅 4.5 GHz(0.5-5 GHz) でフラットな雑音特性を得ている。

現在 1.5 THz 帯において評価実験を進めており、本講演では検討状況や今後の開発計画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](#)

V129a サブミリ波帯校正用人工電波源

木内等, 浅山信一郎, 阪本 成一 (国立天文台), Richard Hills(University of Cambridge)

サブミリ波帯校正用人工電波源の開発を行っているので報告する。ALMA 干渉計では、観測サイトにおける干渉計素子としてのアンテナおよび受信系の校正が測定精度を決定する重要な要素である。現在 5000m の観測サイトでは、アンテナ・受信系の校正は星からの信号を用いて行っているが、ALMA でターゲットとしている高周波帯では、信号源となる電波星も少ない上、電波強度も弱くキャリブレーションに必要な SNR を得るために長時間処理を余儀なくされている。このため、貴重な観測時間の目減りの可能性も否定できない。ALMA project scientist より、高周波、広帯域信号発生が可能な Photonic 技術を用いた 5000 m 観測サイトで運用可能なキャリブレーション用人工電波源の要望があり製作を行っている。人工電波源は、Comb 信号と広帯域雑音の 2 種類から構成されており偏波制御が可能である。人工電波源は低周波用と高周波用に分かれており、現在高周波 (Band-6/7: 211-373 GHz, goal: 500 GHz) 対応の性能試験を行っている。サブミリ波帯信号の位相安定性も含めた現在の状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130b **TRL 校正法によるマイクロ波帯デバイス特性評価方法の構築**

高橋宏明 (電気通信大学)、小嶋崇文 (国立天文台)、酒井剛 (電気通信大学)

ミリ波-テラヘルツ帯ヘテロダイン受信機の開発課題の1つとされるIF系の広帯域化に向けて、マイクロ波帯デバイス評価系の整備・拡張を行っている。一般に、ヘテロダイン受信機に用いられる超伝導ミキサの出力部およびIFアンプの入力部のインピーダンスは高周波標準インピーダンスとされる50Ωとは異なっている。そのため、アイソレータを用いて疑似的に整合を取ることが多いが、オクターブ以上のIF帯域幅を確保することは困難である。したがって、アイソレータを取り去り、ミキサ-アンプ間を50Ω系にとらわれず、双方の特性を見込んで整合を取ることが広帯域化に必要な不可欠である。そのためには各々のデバイスの正確な特性付けが重要である。

今回、デバイス評価方法としてTRL(Thru-Reflect-Line)校正法について検討した。ネットワークアナライザを用いた測定の際、複数の標準器を用いて校正することによって系統誤差を取り除くことが可能である。一般に2ポートで広く利用されているSOLT(Short-Open-Load-Thru)校正法では、校正時の基準面がケーブルの先端となるので被測定物が基板実装タイプであった場合、コネクタおよび基板部分の誤差の影響が大きく出てしまう。この問題を解決したのがTRL校正法である。本校正法では基準面がTHRU標準の中央となるため、コネクタおよび基板部分で生じる誤差も取り除くことができ、より純粋なデバイスの特性を測定することができる。今回、市販のトランジスタをTRL校正に基づいて評価した。必要な標準器は設計・自作し、同一のコネクタ・基板ペアを使うことによって誤差が最小化されるようにした。12GHzまで測定したところ、メーカー評価値とよく一致する結果を得ており、SOLT法と比べても優位な校正方法であることが明らかとなった。

本講演では、冷却特性評価系の整備状況とデバイスの評価結果等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131b 300-500 GHz 広帯域直交偏波分離器 (OMT) の開発

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)

現在、世界各国にて ALMA の将来開発が進められている。その開発案の一つに更なる広帯域化・低雑音化の実現が挙げられている。そこで、我々は 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検討している。本受信機では、CO J=3-2 輝線のある 345 GHz 帯、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。

私はこれに用いるための 300-500 GHz 帯の直交偏波分離器 (OMT) の設計を進めている。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。従来の広帯域な OMT では、高周波領域での共振を打ち消すために double-ridge 部、直行偏波 junction 部などに複雑な構造をもつものが多い。本 OMT では junction 部後から偏波結合部直前までの経路で導波管サイズを小さくしたままとし、矩形導波管における高次モードのカットオフ特性を利用することで、構造全体をシンプルに保ちつつ共振を抑制している。シミュレーションで十分な最適化を行う必要があるが、構造がシンプルであるため加工誤差の影響の抑制を期待できる。既に反射損失 -18dB は達成しており、設計目標の -20dB を満たすために更なる最適化を進めている。本講演では主にこの設計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](#)

V132b 1.9 THz 帯導波管型超伝導 HEB ミキサ検出素子のホーン/光学設計

齊藤滉介、井上将徳、長谷川豊、木村公洋、前澤裕之(大府大)、相馬達也、山本智(東大)

テラヘルツ帯は未開拓波長領域と呼ばれ、1.8-2 THz 帯には炭素イオンや酸素原子等の基本的な原子・イオン・分子、それらの高励起線等、星間ガスや星形成・進化過程を探る上で重要な輝線が多く分布している。また、最近では、国際宇宙ステーションにおける JEM/SMILES の後継ミッション (SMILES-2) の検討も始まっており、大気の酸化反応の中樞を担う OH ラジカルのスペクトル線を含むこの波長域の分光観測は、地球のみならず太陽系地球型惑星の大気化学反応過程を究明する上で重要な役割を果たすと期待される。

こうした科学的背景を踏まえ、我々は超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2 THz 帯導波管/ホーン型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミキサ検出素子の開発を推進している。ここでは東京大学の ASTE 搭載用 1.5 THz 帯導波管/ホーン型 HEB 素子の高感度性能の成果を受け (椎野他 2013 年春季年会)、さらなる微細加工に挑戦する。すでに 1.9 THz 帯用 HEB 素子の設計・微細加工試験は完了しており (厚み: $18\mu\text{m}$ 、幅: $35\mu\text{m}$ 幅)、チップのハンドリングも十分可能であることを確認済である (齊藤他 2015 年春季年会)。ホーンアンテナとしては、最終的にはコルゲート型が望ましいが、現時点ではまだ微細加工が難しい為、ダイアゴナル型を採用した。設計では、解析モデルと、有限要素法による高周波電磁界シミュレーション (HFSS)、双方で同様の結果を得ることができ (E/H 面のサイドローレベルは -18dB 以下)、光学伝送系の要求も考慮してホーンのパラメータ (ホーン長さ、開口) を最終決定した。また、THz 帯プラズマ分光装置に実装する伝送系の設計も進めており、本講演では、これら 1.9THz 帯 HEB 受信機のホーン/光学伝送系の設計について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133a **LMT50m 鏡用 2 ミリ受信機システムと爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究**

川邊良平 (NAOJ), 酒井剛 (電気通信大), 田村陽一, 河野孝太郎 (東大), 徂徠和夫 (北大), 松原英雄 (ISAS/JAXA), 奥村幸子 (日本女子大), 大西利和 (大阪府立大), 大島泰, 野口卓, 高橋敏一 (NAOJ/ATC)

メキシコの標高 4600m サイトに建設された Large Millimeter Telescope(LMT) 50m 鏡に波長 2 ミリ波帯のヘテロダイン受信機システムを搭載し、単一鏡としては世界最高感度の 2 ミリ波帯観測を実現する計画を推進している。この受信機と既存の 3 ミリ波帯受信機と組み合わせて、1) 厳選した赤方偏移 $z > 4 - 5$ 候補のサブミリ波銀河で、CO 輝線のブラインド探査により赤方偏移を決定し、遠方サブミリ波銀河サンプルを格段に増やすこと、2) より J の大きい CO 輝線まで検出し、CO 輝線強度分布 (“CO-SLED”) による原始 QSO の探査、3) ALMA での follow-up を計画している。また、この受信機システムには、周波数変調 LO(FMLO) を組み込みベースラインの安定化や観測効率の向上を目指す。さらには、XFITS 分光計も組み合わせる予定である。分子輝線が豊富で重水素化物の貴重な輝線を含む 2 ミリ波帯での近傍星形成領域や近傍銀河、銀河中心核での分子線サーベイなども計画している。この計画の装置概要、目指すサイエンス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](#)

V134b NANTEN2 100GHz 帯マルチビーム受信機の光学系設計

加藤千晴、大浜晶生、山本宏昭、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学理)、中島拓、水野亮 (名古屋大学 STE)、木村公洋、小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、4 m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて、一酸化炭素分子の回転遷移輝線 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O ($J = 2 - 1$ 、 $1 - 0$) の観測を行なっている。空間分解能はそれぞれ 2.6 分角と 1.3 分角に相当し、広範囲な観測データを用いた様々な星間現象の解明が進められている。現在 NANTEN2 ではシングルビーム観測を行なっているが、小口径の NANTEN2 でマルチビーム観測が可能になれば、さらに効率よく広範囲を観測することができる。全天の約 70% を観測する超広域 CO 観測 (NASCO: NAnten2 Super CO survey) 計画を実現するために、NANTEN2 用のマルチビーム受信機に対応した光学系の設計・開発が急務である。

マルチビーム受信機の仕様は、3 ビーム以上の 115GHz 帯両偏波 SSB 受信機と 1 ビーム以上の 230GHz 帯両偏波 2SB 受信機の各周波数同時受信を目標としている。これに対応するため、ピラミッド型ミラーを用いてビームを 4 つに分離する光学系の開発が行われてきた。しかしこの設計では、ビーム間隔が結果的に広がることになり、既存の鏡面に収まることができず開口能率が 50% に低下してしまうことが判明した。この問題を解決するために、冷却ミラーを用いることでビームがコンパクトに並ぶようにし、1 つのビームが光軸中心となるような光学系を考えている。各ビームが開口能率 70 % とエッジレベル -30 dB を達成することを目標としている。本ポスター発表では、新マルチビーム受信機向けの光学系開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135b NANTEN2 望遠鏡 115GHz 帯シングルビーム両偏波SSB受信機の開発

古賀真沙子、大浜晶生、伊藤万記生、漆原宏亮、山本宏昭、立原研悟、福井康雄(名古屋大学理)、中島拓、水野亮(名古屋大学STE)、上月雄人、長谷川豊、小川英夫(大阪府立大学)

我々は、4 m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて全天の 70% をカバーする超広域 CO 観測 (NASCO: NAnten2 Super CO survey) を計画している。この NASCO を効率良く進めるために、115GHz 帯の安定した高感度受信機が必要となる。

現在、上記の目的を達成するため 115GHz 帯両偏波 SSB 受信機の開発を行っている。この受信機は導波管型のポーライザーと SSB フィルター (大阪府立大学長谷川ら製作) からなる。天体の信号は両偏波成分に分離され、それぞれ導波管型の SSB フィルター (大阪府立大学長谷川ら製作) を用い、1 ビーム \times 2 偏波 \times 2 中間周波数帯 = 4 系統の出力がデジタル分光計へと導かれる。さらに 115GHz 帯ミキサ用素子として新しく設計し、現在三鷹のクリーンルームで製作中の SIS 素子 (大阪府立大学上月設計) を用いることで IF の広帯域化も図る。この広帯域化した IF (帯域幅 = 8 GHz; $f_{IF} = 4 - 12$ GHz) を増幅し、各出力に対して中間周波数帯を 2 つに分離し、デジタル分光計 (チャンネル 2.5 GHz のバンド幅、88.5kHz の分解能) を組み合わせることで、USB あるいは LSB のみで ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J = 1 - 0)$ を同時に受信する。本ポスターでは、115GHz 帯受信機の全体像に加え、115 GHz 帯 SIS 素子の評価結果について示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136b NANTEN2 望遠鏡 230 GHz 帯シングルビーム両偏波 2SB 受信機の開発

大浜晶生、伊藤万記生、横山景子、漆原宏亮、古賀真沙子、山本宏昭、立原研悟、福井康雄
(名古屋大学理)、中島拓、水野亮(名古屋大学STE)、長谷川豊、小川英夫(大阪府立大学)

我々は、大質量星、超新星残骸、高銀緯分子雲、銀河系中心の様々な星間現象を解明するため、NANTEN2を用いて一酸化炭素分子 CO($J = 2 - 1, 1 - 0$) 輝線を観測している。現在、受信機の構成は片偏波 DSB ミクサであり、受信機雑音温度約 30 K の SIS 素子が搭載されている。中間周波数帯で ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O ($J = 2 - 1$) に分けられ、その 3 つの輝線から 2 つの輝線を選択し、それらの信号がデジタル分光計へ入力される。

現在、観測効率を上げるため新たに 230GHz 帯両偏波 2SB 受信機を開発を進めている。2SB 受信機システムでは、導波管型のポーライザーによって両偏波成分に分離し、さらに両偏波に対してそれぞれ導波管型の 2SB フィルター(大阪府立大学長谷川ら製作)を用いる。各 2SB フィルターに 4 つの DSB ミクサを取り付ける。受信機雑音温度は 30K を目標としている。IF は(帯域幅 = 4 GHz ; $f_{IF} = 4 - 8$ GHz)を増幅させ、デジタル分光計(チャンネル 2.5 GHz のバンド幅、88.5kHz の分解能)を組み合わせることで、 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O ($J = 2 - 1$)を同時に受信する。本ポスターでは、上記の内容の詳細に加え、現在 NANTEN2 に搭載されている 230 GHz 帯シングルビーム受信機の性能と 230 GHz 帯 SIS 素子の評価結果について示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V137b GaAs系低雑音ミリ波受信機の低温環境での性能測定

亀谷和久(東京理科大), 坪井昌人(JAXA/ISAS)

ミリ波帯において高感度の天体観測を実現するためには、電波受信機の雑音温度を低減して運用することが不可欠である。地上においてはこれに加えて大気による雑音が無視できないが、特に宇宙機においては、これが望遠鏡全体の性能を決める主要な要因となる。高電子移動トランジスタ (HEMT) のモノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) を用いた低雑音増幅器 (LNA) を受信機として利用する場合、動作時の物理温度に依存して受信機雑音温度が連続的に低減していくことが知られている。実際、我々が以前測定した ASTRO-G 衛星のエンジニアリングモデル (EM) として開発された LNA でも、常温から軌道上での運用温度 (30K) まで冷却するに従い受信機雑音温度がほぼ線形に低減することが測定されている (亀谷他、2009年春季年会)。従って、さらに物理温度を冷却することにより、さらに受信機雑音温度を低減することが期待できる。

そこで、今回我々は、上記衛星の BBM として開発された GaAs 系 HEMT を用いた 22GHz 帯および 43GHz 帯の LNA (設計は上記 EM と同じ) について、4K-GM 式冷凍機により 20K 未満まで冷却し、性能測定を行なった。測定は液体窒素と常温の 2 温度を用いた Y-factor 法により受信機雑音温度を評価した。その結果、両周波数帯ともに上記衛星 EM の測定時よりも低い受信機雑音温度を計測した。これは上述の受信機雑音温度の温度依存性を延長する結果となり、さらに低温まで冷却すればより低雑音を実現できる可能性を示唆している。講演では、本測定の方法と結果および理論との比較等の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V138b 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 (2)

長谷川 豊, 木村 公洋, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府立大学), 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おり、我々はこれに搭載する 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 2013,2014 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 (2 偏波 x 2 サイドバンド = 4 系統とも) , 5. $T_{RX-SSB} < 100K$

前回発表から今回にかけて、本受信機を GLT 搭載前に観測試験するために、我々の研究室で開発・運用している府大 1.85m 望遠鏡への搭載と 1 シーズンの科学観測運用を行った。この結果は従来のもと同様であり、本受信機は十分に科学運用に用いることが出来る事が実証された。また、ASIAA 側からの仕様変更要請に従い、カートリッジ構造・常温部とのインターフェース部を完全に ALMA 準拠として WCA (ALMA 常温カートリッジユニット) を利用できるようにしたため 4K ステージ上の冷却受信機をアセンブリできなくなり、各コンポーネントの支持機構・配線法などを根本から再設計した。

現在は、再設計した本受信機に必要なコンポーネントの納品待ち状態であり、これらが到着次第組み立て・冷却試験評価を進める所存である。本講演ではこれら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](#)

V139b 野辺山宇宙電波観測所の運用：2 科学運用

齋藤正雄、梅本智文、南谷哲宏（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、新しい機能の追加、現機能の改良が進行中または計画中である。また、今年度より旧野辺山太陽電波観測所が運用した偏波強度計の運用を引き継いだ。そうした中、野辺山宇宙電波観測所は次の 2、3 年に 45m 鏡がどのような科学要求を満たすべきか、そしてどのような科学運用をすべきかを見直している。本講演ではシリーズの講演の 2 番目のものとして、45m 鏡の科学運用案を紹介する。科学運用を定める理由は 3 つある。1 つめは科学要求にもとづいた運用を実施することである。2 つめは観測所がユーザーへ科学運用のやり方を提示し、スムーズに共同利用を進めることである。3 つめは科学運用計画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、これに、優先順位をつけて集中投資を行うことができる。科学運用の内容はどのような共同利用サービスが提供できるシナリオなのかにはじまり、ウェブによる情報提供、科学運用ソフトウェア、ヘルプデスク、マニュアルに関してより詳細を決める初の試みである。太陽偏波強度計の運用についてもこの議論の一部になる予定である。春の学会で発表した科学要求と合わせ、本公演で報告する科学運用は野辺山宇宙電波観測所を特徴づけるものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140a 「FOREST」搭載 IF 広帯域化 100 GHz 帯 SIS ミクサの開発 3

上月雄人, 長谷川豊, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 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, 野口卓 (国立天文台), 中島拓, 加藤智隼, 伊藤万記生, 大浜晶生, 藤井由美, 山本宏昭, 水野亮 (名古屋大学)

近年の RF/IF コンポーネントの広帯域化に対して現在の超伝導 SIS ミクサの帯域性能は追従できていない。そこで 50%超の RF 比帯域を持ち、12 GHz 以上の IF 帯域においても ALMA 受信機同様の低雑音性能を実現する超広帯域 SIS ミクサ及びこれを搭載した超広帯域ヘテロダイン受信機の開発に取り組んでいる。これらの目標比帯域は ALMA 受信機の約 2 倍に匹敵する。

フィードホーンや導波管回路などの前置回路については有限要素法等による広帯域設計が概ね完了しており、超広帯域ミクサ開発が超広帯域受信機の実現に残された最後の開発案件である。SIS ミクサにとっての最も低い RF 領域にあたる 100 GHz 帯では IF 帯域 4–12GHz で信号間の周波数の接近が無視できなくなってきており、高周波 IF 信号の雑音特性劣化が特に顕著である。この解決のために高周波回路を RF/IF 双方を考慮した回路に刷新した超広帯域 100 GHz 帯 SIS ミクサの開発を計画している。まずは既存素子を再設計した改良素子の製作と評価を行っており、これを通して IF 広帯域化に関する諸特性の把握に努めている。これ以外にも、ミクサ内の電磁界解析モデルの見直しや性能測定系の改良など本開発が扱う箇所は多岐にわたっている。本件の SIS ミクサは野辺山 45m 電波望遠鏡の FOREST 受信機への搭載を予定している。

本講演では広帯域 SIS ミクサ開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141a NRO 45m 望遠鏡搭載 100 GHz 帯ヘテロダインカメラ受信機の開発

長谷川 豊, 木村 公洋, 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府大), 南谷 哲宏, 齋藤 正雄 (NAOJ)

ALMA における mm/submm 波帯ヘテロダイン受信機の開発成果により、受信機雑音温度等の特性は既に限界に近いレベルに達しつつある。そのため近年 NRAO / GBT 100m を始めとする世界中の機関にて、非常に多くのビーム数を持つ多ピクセルヘテロダイン受信機の開発が進められている。このような世界情勢の中で我々は、野辺山宇宙電波観測所 (NRO) 45m 電波望遠鏡への搭載などを念頭に置いた、CO 分子輝線での掃天観測に特化した新たな 100 GHz 帯多ビーム受信機の開発を鋭意検討・提案中である。

本受信機の提案仕様は、まずビーム数を $7 \times 7 = 49$ ビームとし、RF 周波数は ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O , $J = 1-0$ 輝線を含む 109-117 GHz、OMT または 円偏波ポーラライザによる 2 偏波分離観測、導波管周波数分離フィルタによる SSB 化といった内容で検討しており、20 dB を超える極めて高く安定したイメージバンド抑圧比にて、計 98 IF 出力という「ヘテロダインカメラ」と呼べるほどのビーム数を実現する。ただし 98 もの出力に対してそれぞれ 8 GHz 幅での分光を行う事は現実的ではないため、CO 輝線のみを取り出していくつかの出力を合成する事で、必要となる分光幅を減らすような IF 系を構築する方向で検討している。本発表では、現在検討中の光学系・冷却受信機的设计進捗について主に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V142b 南極 30 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡の指向性能の改善

栗木美香 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 永井誠, 今田大皓, 朝倉健, 中井直正, 久野成夫 (筑波大学), 石井峻 (東京大学), 宮本祐介, 南谷哲宏, 荒井均 (国立天文台), 長崎岳人 (KEK 素核研), 南極天文コンソーシアム

我々は 500 GHz 帯銀河面サーベイを目的とした可搬型サブミリ波望遠鏡を開発している。経緯台に 30 cm クーデ式オフセットカセグレン鏡を搭載し、ビーム幅は約 $9'$ である。指向方向は CCD カメラを用いた光学ポインティングの後、電波ポインティングを行うことで較正している。2012 年までの南米チリでの運用では、全天に対して光学ポインティングの残差は約 $0'.4$ を達成したが、電波ポインティングでは $2'$ 程度あり、天体毎に補正を必要としていた。残差が大きい原因として、方位角軸の鉛直度 (設置誤差)、ポインティングモデルの精度、温度変動による変形の影響等が考えられた。また、設置時に伝送光学系のアライメント基準プレートと受信機ホーン間のアライメント調整が必要となる (2013 年春季年会 V37b) ため、伝送光学系-受信機間の組立誤差の可能性もあった。

指向性誤差の原因を特定するために、野辺山で 230 GHz 帯受信機を搭載し太陽や月の観測を行った。組立誤差と設置誤差をチリ運用時より抑えた結果 (< 0.2 mm, $0^\circ.05$)、従来の 1 次までの電波ポインティングモデルで残差が十分に小さくなることが確認された。これを踏まえシミュレーションを行った結果、チリ運用時は設置誤差が指向性能低下の主要因となっていた可能性が高いこと、組立誤差と設置誤差を抑えれば十分な指向性能が得られることがわかった。チリでの結果を再解析すると、組立誤差は 1 次の効果まで、設置誤差は 2 次の効果 (2015 年春季年会 V117b) までが寄与することがわかった。これにより、組立誤差と設置誤差を減らすアライメントの十分な調整と、2 次の効果まで考慮した補正により、要求される指向性能 ($< 1'$) を達成する見通しが立った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V143b 一般のアンテナにおける実効開口面積と開口能率について

永井 誠、今田 大皓 (筑波大学)

開口能率は、電波望遠鏡の性能評価に使われる重要な特性の1つである。ガウス型ビームを基本として理想的な状況において、開口能率と照射パターンやビームパターンとの関係はよく理解されている。しかし、広視野化・高周波数化・広帯域化していく次世代電波望遠鏡の開発においては、より一般の状況で開口能率の振る舞いを理解し設計に反映させていくことが望まれる。

この動機の下、一般のアンテナの特性を記述する量について考察した。次の事実が基礎となる。(1) 受信アンテナの特性は、入射平面波に対する応答を表す実効開口面積で表される。(2) 送信アンテナの特性は、放射される電磁波の偏波分布と指向性利得と損失で表される。(3) アンテナは、伝送線路からなる等価回路と見做せる。これらの事実は、損失がある場合にも、共振アンテナと開口アンテナのいずれにも、適用される。まず、線形で受動的なアンテナでは相反定理が成立し、送受信で偏波分布とビームパターンが一致することがわかる。方向依存性を積分してしまうと、線形で受動的なアンテナの特性を記述する量は、損失、ビーム方向の実効開口面積、ビーム立体角の3つになる。アンテナが輻射場を含めて熱平衡状態にある状況を考えると、これらの量の間任意の周波数で成り立つ関係式が得られる。

さらに、開口アンテナにおいては、物理的な開口面積と実効開口面積の比として開口能率が定義される。損失には、幾何学的要因に因るもの(スピルオーバー等)と、それ以外(抵抗損失等)に因るものが含まれる。ビーム立体角は照射パターンと関係する。この知見により、伝統的な教科書では曖昧だった、相反定理の適用範囲、開口能率の定義が明確になるとともに、損失があるアンテナにおける実効開口面積の正しい関係式が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V144b 収差と開口能率の関係

今田 大皓, 永井 誠 (筑波大学)

従来の電波望遠鏡はガウシアンビームを使って光学設計を行なうことが多いが、実際に望遠鏡内を伝搬する電磁波は平面波として入射する。電場分布は常に変化し、円形開口の場合に焦点面でエアリーディスクになる。エアリーディスクはガウス型の分布ではないから、結合できない成分が発生し、入射エネルギーの一部が検出器に入る。検出したエネルギーと入射エネルギーの比として開口能率は定義される。より厳密には損失や幾何学など様々な要因によって定まる(本年会 永井と今田、b講演)。光学系の収差も幾何学的要因の一つである。今後、望遠鏡光学系の広視野化が進む中で、収差と開口能率との関係を明らかにすることは重要である。

収差を持つ望遠鏡に平面波が入射し、ガウシアンビームで検出器と結合する場合を考える。物理的な意味を考えれば、焦点面上にできる電場分布と検出器の感度分布の結合定数が開口能率そのものであることがわかる。結合定数はガウシアンビームのパラメータと収差の関数とみなせる。収差は波面誤差に起因するため、さらに検出器位置、平面波の入射方向の関数とみなせる。したがって、ビームパラメータ、検出器位置、入射方向の3つが開口能率のパラメータとなる。従来の開口能率の議論では、検出器は光軸上のしかるべき位置にあり、平面波の入射方向も光軸上であることを前提とした、ある種の特殊な場合のみを考えていた。本研究は3つのパラメータの依存性を明示的に書き下した。具体的には、波面誤差をゼルニケ多項式(各項は各種の収差に対応)で展開し、同時に検出器の感度分布をガウシアンビームのモードで展開して結合定数を計算した。結果、ゼルニケ多項式の係数の大きさの関数、つまり、収差の関数として、開口能率を計算する式の導出に成功した。さらに、球面収差やコマ収差による開口能率への影響を打ち消す条件も導くことができた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V145a 幾何光学の応用による広視野電波望遠鏡の効率的な光学設計

今田 大皓, 永井 誠 (筑波大学)

電波望遠鏡は可干渉性の強い電波を扱うため、準光学を用いて設計されてきた。準光学は視野中心のビームを評価するツールとして非常に重要かつ強力なものである。一方、視野中心以外を通るビームについては計算コストの高い物理光学 (PO) による数値計算に頼るのが現状である。近年、検出器の多素子化が急速に進んでおり、PO によって全てのビームを評価するのは現実的でない。望遠鏡の広視野化は不可避であるが、効率よく設計評価する手法が確立しているとは言い難い。本講演では幾何光学を利用した電波望遠鏡の光学設計を提案する。

電波望遠鏡光学系に要求される条件は様々あるが、広い周波数帯域にわたって高い開口能率を保つことと要約できるであろう。さらに「空間方向にも高い開口能率を保つ (広視野)」という条件が加わる。つまり、周波数に依らない像の位置と、横方向に検出器を移動させたときの開口能率の変化の2つを考察すればよい。周波数に依らない位置の条件は明らかになっており、例えば、瞳同士は周波数に依らず相似形を保つ (Imada et al. (2015))。開口能率はビームや光学系の幾何学と損失の2つの要因で決まり (本年会 永井と今田、b 講演)、幾何学で決まる部分は波面誤差を求めることで見積もることができる (本年会 今田と永井、b 講演)。波面誤差は既存の光線追跡プログラムで数分足らずで簡単に得られる。実際に簡単な系で計算した結果、数%の精度で開口能率を見積もることができた。光学設計に必要な作業は幾何光学に従って光学系を設計すること、瞳の位置と波面誤差の大きさを調べることの2つであり、光線追跡プログラムによって PO に比べ短時間に実行できる。

この手法は非常に汎用性がある。意図した向きにビームを出す検出器の位置やビームパターンの予測、不規則な波面誤差を扱えるように拡張すれば、鏡面粗さや大気ゆらぎ (シーイング) の影響の評価にも応用できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V146c

野辺山 45m 搭載 新マルチビーム受信機「FOREST」の開発進捗 10

南谷哲宏, 西村淳, 金子紘之, 宮本祐介, 岩下浩幸, 宮澤千栄子, 和田拓也, 西谷洋之, 諸隈佳菜, 前川淳, 藤井泰範, 高橋敏一, 飯塚吉三, 松本尚子, 梅本智文, 中村文隆, 神澤富雄, 御子柴廣, 齋藤正雄 (NAOJ), 上月雄人, 松本貴雄, 長谷川豊, 武田美保, 柳谷和希, 木村公洋, 村岡和幸, 小川英夫 (大阪府立大), 松尾光洋 (鹿児島大/NAOJ), 藤田真司, 畠山拓也, 久野成夫 (筑波大), 岸田望美, 徂徠和夫 (北大), 河野樹人, 佐野栄俊, 中島拓 (名大), 津田裕也, 小野寺幸子 (明星大), 秦野義子, 下井倉ともみ, 土橋一仁 (東京学芸大), 大橋聡, 原千穂美, 桑原翔 (東大/NAOJ), Dragan SALAK (関西学院大), 亀谷和久 (東京理科大), 高野秀路 (日本大学)

野辺山 45m 電波望遠鏡搭載用 4 ビーム・両偏波・2SB 受信機「FOREST」の、今シーズンにおける試験観測等の結果、及び、次シーズンからの共同利用観測に向けた取り組みについて報告する。

今シーズンは、新たなデュアを用いた冷却部分のモジュール化、全 IF 系の広帯域 (4-12GHz) 化、モニタ・制御システムの Linux 化等を行い、1 月から 3 月末にかけて、全てのレガシープロジェクトからメンバーを募り、全 38 項目にも及ぶ立ち上げ・評価測定を実施 (南谷他、2015 年春季年会)。4 月から 5 月末には、追加の評価測定・試験観測と、3 つのレガシープロジェクトによる観測とを行った。広帯域観測時の Baseline ripple、冷却アンプの配線接触不良といった問題もあったものの、その他の FOREST に起因するトラブルは非常に少なく、比較的安定した性能でデータ取得、観測を行うことができた。

次シーズンには、一部機能制限付きではあるが、共同利用観測に提供するため、現在、上記問題の解消、更なるシステムの安定化や性能の改善等、各種整備を行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V147c **ASTE10 m 望遠鏡 THz 受信機の開発**

相馬 達也, 渡邊 祥正, 吉田 健人, 海老澤 勇治 (東京大学), 酒井 剛 (電気通信大学), 小嶋 崇文, Alvaro Gonzalez(国立天文台), 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、受信機の開発を進めている。

開発している受信機は ASTE 望遠鏡に搭載するための ALMA カートリッジ受信機である。直交偏波をワイヤーグリッドで分離し、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 Hot Electron Bolometer Mixer を用いている。特に、1.3 - 1.5 THz 帯のミキサについては、新しく設計した広帯域ミキサを採用している (山本他、2015 日本天文学会春年会 V119c)。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、局部発振器の最終逓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。搭載に向けて受信機雑音性能や出力安定性の測定を進めており、実際に冷凍機振動に起因する出力の不安定性が、局部発振信号をデュワーの外から準光学的に入力した場合と比べて、大幅に改善していることを確認した。発表では、それらの詳細を報告する。また、0.9, 1.3-1.5 THz それぞれのビームパターンの測定も予定している。これらを踏まえ、2015 年秋に ASTE10 m 望遠鏡に搭載し、星形成領域の分子スペクトル線観測を行うことを予定している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V148c

Large Submillimeter Telescope (LST): 2) Specification, Operation Conditions, and Optics

K. Kohno, Y. Tamura, S. Ishii (UTokyo), T. Takakoshi, T. Oshima, H. Arai, J. Inatani, M. Honma, T. Kamazaki, Y. Asaki, M. Saito, T. Minamidani, R. Kawabe (NAOJ), K. Sorai (Hokkaido U), M. Momose (Ibaraki U), N. Kuno (Tsukuba U), S. Yamamoto, T. Totani (UTokyo), T. Kitayama (Toho U), H. Matsuhara (ISAS/JAXA), K. Tachihara (Nagoya U), T. Onishi, H. Ogawa, H. Maezawa (Osaka Pref. U) and LST Working Group

We report on the specifications and optics of the Large Submillimeter Telescope (LST), a large aperture ($D = 50\text{m}$) single-dish telescope optimized for wide area imaging and spectroscopic surveys in a frequency range of $70 - 420\text{ GHz}$. The surface should have an accuracy of $45\ \mu\text{m}$ (rms) in total or better under a normal nighttime operation condition (when a wind velocity is less than $10\ \text{m/s}$). Ritchey-Chretien optics will be essential in order to achieve a wide field of view of $0.5\ \text{deg}^2$ (up to $1\ \text{deg}^2$) which is required to conduct extremely large area ($> \text{a few } 100 - 1000\ \text{deg}^2$) cosmological deep surveys. The LST will have 3 receiver cabins, i.e., 2 Nasmyth foci and a Cassegrain focus, to accommodate a couple of the proposed state-of-the-art instruments, including wide-field multi-band continuum camera utilizing TES and/or MKID technologies under development in NAOJ and other institutes, large format heterodyne receiver arrays based on the experience of ALMA receiver development in NAOJ, and ultra wide-band multi-object spectrograph whose concept is being tested by DESHIMA and MOSAIC proposed by Delft University of Technology and SRON.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V149c

Large Submillimeter Telescope (LST): 1) Concept and Science Case

R. Kawabe (NAOJ), K. Kohno, Y. Tamura, S. Ishii (UTokyo), T. Takakoshi, T. Oshima, H. Arai, J. Inatani, M. Honma, T. Kamazaki, Y. Asaki, M. Saito, T. Minamidani (NAOJ), K. Sorai (Hokkaido U), M. Momose (Ibaraki U), N. Kuno (Tsukuba U), S. Yamamoto, T. Totani (UTokyo), T. Kitayama (Toho U), H. Matsuhara (ISAS/JAXA), K. Tachihara (Nagoya U), T. Onishi, H. Ogawa, H. Maezawa (Osaka Pref. U), H. Nakanishi (Kagoshima U), E. Komatsu (MPI), and LST Working Group

Here we report on the conceptual design of a 50m class millimeter and submillimeter single dish telescope, the Large Submillimeter Telescope (LST). The main observing frequency of the LST is 70 to 420 GHz, which just covers main atmospheric windows at millimeter and submillimeter wavelengths in good observing sites such as the ALMA site in Chile. We are also aiming at observations at higher frequency up to 1 THz with the limited use of the antenna surface, e.g., with the under-illumination of the surface. One of the major science goals is unveiling the large-scale structure of high- z universe in 3D and cosmic star formation history with the wide area spectroscopic surveys of dusty starbursts in [CII] and CO lines as well as continuum surveys. With exploiting synergy with ALMA and possibly TMT/SPICA, LST can contribute to the breadth of astronomy and astrophysics; e.g., astrochemistry, star formation in the Galaxy and galaxies, evolution of clusters via the SZ effect, millimeter and submillimeter VLBI, and time-domain science for transients such as GRBs.

[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（光赤外・その他）】

9月10日（木）午前（09:30-11:30）[H会場]

V201a	10:18	SuMIRe-PFS[2] – プロジェクトの概要と進捗状況 2015 田村直之（東京大学）
V202b	10:30	SuMIRe-PFS [3] 観測制御システム進捗 – ソフトウェア開発と観測の流れ 下農淳司（東京大学）
V203b	10:30	SuMIRe-PFS [4] – Expected Sensitivity and Data Reduction Pipeline Kiyoto Yabe (Univ. of Tokyo, Kavli IPMU)
V204b	10:30	SuMIRe-PFS [5]—試験観測計画の概要と一部より：主焦点装置の位置決め手順について 森谷友由希（東京大学）
V205a	10:42	すばる HSC で得られた可視光突発天体の選別 森井幹雄（統計数理研究所）
V206b	10:54	HSC 大規模画像データの PSF 測光 小宮山裕（国立天文台）
V207b	10:54	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の開発 – 基本設計の完了 酒向重行（東京大学）
V208b	10:54	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のバックエンドデータ転送システムの設計と評価 大澤亮（東京大学）
V209a	11:06	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のイメージセンサ評価試験 菊池勇輝（東京大学）
V210a	11:18	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e による TNO 掩蔽現象の搜索 有松亘（国立天文台）

9月10日（木）午後（13:30-15:30）[H会場]

V211a	13:30	TMT 計画 – 進捗報告 白田知史（国立天文台）
V212b	13:42	TMT 第一期観測装置 WFOS 開発へ向けた多結晶蛍石の研磨試験 尾崎忍夫（国立天文台）
V213b	13:42	TMT 搭載中間赤外線観測装置における冷却チョッピングの検討 毛利清（東京大学）
V214b	13:42	3 波長同時偏光撮像装置の開発 潮田和俊（埼玉大学）
V215b	13:54	可視面分光装置 Kyoto3DII の CCD システムアップグレード 満田和真（東京大学）
V216b	13:54	可視光ファブリ・ペロー分光撮像装置 LISS の開発：西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡への搭載 小久保充（東京大学）
V217b	13:54	sCMOS カメラによる太陽全面 H α 観測 花岡庸一郎（国立天文台）
V218a	14:06	RAVEN プロジェクト延長の結果 大屋真（国立天文台）
V219b	14:18	RAVEN:多天体補償光学を用いた場合の視野内での PSF の一様性の評価 大野良人（東北大学）
V220b	14:18	木星面模様を利用した波面測定実験 合田周平（北海道大学）
V221b	14:18	太陽補償光学系の開発と補償効果のシミュレーション（2） 三浦則明（北見工業大学）
V222c		飛騨天文台における多層共役補償光学系の開発 三浦則明（北見工業大学）
V223c		西はりま VTOS によるスペckル観測とデータ処理 桑村進（北見工業大学）
V224a	14:30	WFIRST-AFTA コロナグラフ用偏光補正デバイスの設計 村上尚史（北海道大学）
V225a	14:42	サバル板横シヤリングナル干渉計による原始惑星系円盤観測の計算機シミュレーション 米田謙太（北海道大学）

（次頁に続く）

【V2. 観測機器（光赤外・その他）】

V226a	14:54	Low-contrast Pre-Coronagraph(LPC) と Speckle Area Nulling(SAN)	西川淳 (国立天文台)
V227a	15:06	瞳再配置型光学系による位相マスクコロナグラフの実証実験	赤岩夏海 (北海道大学)
V228b	15:18	OASES: TNO 掩蔽同時検出プロジェクト	有松亘 (国立天文台)
V229b	15:18	FITE:スターカメラ用星像中心検出プログラムの高速化	伊藤哲司 (大阪大学)
V230b	15:18	宇宙赤外線背景放射の観測ロケット実験 CIBER-2	新井俊明 (東北大学)
V231b	15:30	JVO ポータル開発の進捗: 第一版の現状と第二版の試用版の公開	白崎裕治 (国立天文台)
V232b	15:30	JVO ALMA アーカイブの天体同定 (I)	江口智士 (福岡大学)
V233b	15:30	DARTS/AKARI データの恒久アーカイブ化と利用促進	吉野彰 (宇宙航空研究開発機構)

9月11日(金) 午前(09:30-11:30) [H会場]

V234a	09:30	近赤外線高分散分光器 WINERED: high-blazed echelle grating を用いた超高分散化	大坪翔悟 (京都産業大学)
V235a	09:42	国産の市販 InGaAs 近赤外線イメージセンサー冷却評価試験	中屋秀彦 (国立天文台)
V236a	09:54	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: 10	小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
V237a	10:06	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)
V238a	10:18	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告	端山和大 (大阪市立大学)
V239a	10:30	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VI	阿久津智忠 (国立天文台)
V240a	10:42	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における懸架系の開発	藤井善範 (東京大学)
V241a	10:54	重力波望遠鏡 KAGRA における multi-messenger 観測への対応	正田亜八香 (国立天文台)
V242a	11:06	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全般的進捗状況	郷田直輝 (国立天文台)
V243b	11:18	小型 JASMINE による巨大ブラックホール進化の解明のための解析手法	矢野太平 (国立天文台)
V244b	11:18	小型 JASMINE 光学系の詳細な熱歪み解析 3	鹿島伸悟 (国立天文台)
V245b	11:18	小型 JASMINE 衛星の検出器ボックスの熱環境実証試験	白旗麻衣 (国立天文台)
V246a	11:30	Nano-JASMINE データ解析の end to end 試験	山田良透 (京都大学)

9月11日(金) 午後(13:30-15:30) [H会場]

V247a	13:30	東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡の建設進捗	吉井讓 (東京大学)
V248a	13:42	近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発進捗と運用計画	小西真広 (東京大学)
V249a	13:54	中間赤外線二視野同時撮像分光装置 MIMIZUKU の開発進捗と運用計画	上塚貴史 (東京大学)
V250a	14:06	超広視野初期宇宙探査衛星 WISH 計画	山田亨 (東北大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器（光赤外・その他）】

V251a	14:18	惑星間ダスト雲外からの宇宙赤外線背景放射観測-EXZIT/ソーラー電力セイル計画の現状-	松浦周二（関西学院大学）
V252a	14:30	次世代赤外線天文衛星 SPICA：プロジェクト再定義	芝井広（大阪大学）
V253a	14:42	次世代赤外線天文衛星 SPICA：システム技術検討	中川貴雄（宇宙航空研究開発機構）
V254a	14:54	SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI：プロジェクト再定義への対応	金田英宏（名古屋大学）
V255a	15:06	Grating-SAFARI – A SPICA far-IR spectrometer with improved capabilities	土井靖生（東京大学）
V256a	15:18	Development of ultra-low noise TESs onboard SPICA/SAFARI	鈴木仁研（SRON）
V257c		次世代赤外線天文衛星 SPICA：望遠鏡と焦点面観測装置	片坐宏一（宇宙航空研究開発機構）

V201a SuMIRe-PFS[2] – プロジェクトの概要と進捗状況 2015

田村直之, 村山斉, 高田昌広, 下農淳司, 森谷友由希, 矢部清人, 石塚由紀 (東京大学), 高遠徳尚, 上田暁俊, 坂本健 (国立天文台), 他 PFS collaboration

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野ファイバー多天体分光器である。すばる主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーに天体や空からの光を導入し、3つのカメラからなる分光器システムで 380nm から 1260nm の波長範囲に及ぶスペクトルを一度に取得する。PFS と、すでに稼働中の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は SuMIRe 計画 (“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts) の両輪であり、遠方銀河と星の広域巨大統計から、ダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成、進化の物理過程を理解することが目的である。

PFS の開発は、東京大学 Kavli IPMU を中心した 6 か国 11 研究機関による国際協力により、2018 年前半試験観測開始、2019 年後半科学運用開始を目指し進められている。現在は、各部の最終設計をかためつつ、進捗に応じて順次製作、統合、試験が開始されている状況である。本発表では、装置の概要、開発の現状、スケジュール等をまとめるとともに、試から観測計画立案や、科学運用形態の策定、すばる戦略枠観測提案に向けた活動など、昨年秋季年会での発表からのアップデートを紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V202b SuMIRe-PFS [3] 観測制御システム進捗 – ソフトウェア開発と観測の流れ

下農淳司, 田村直之, 村山斉, 高田昌広, 森谷友由希, 矢部清人 (東京大学), 高遠徳尚, 美濃和陽典 (国立天文台), 他 PFS collaboration

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡向け次期観測装置の一つとして開発が進められている主焦点超広視野ファイバー多天体分光器である。主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された自動制御モーターに取り付けられた約 2400 本のファイバーへ天体や空を導入し、それぞれ 2 台の CCD カメラ、1 台の近赤外カメラからなる分光器システム 4 台にファイバーで導光することで、380nm から 1260nm の波長範囲にわたる約 2400 本のスペクトルを一度に取得する。

PFS の開発は、東京大学 Kavli IPMU を中心とした 6ヶ国 11 機関の国際協力により進められており、サブシステムの各部分の制御については各機関において、サブシステム間連携及びすばる望遠鏡観測制御システムからの統合制御については Kavli IPMU が中心となって検討・開発を進めている。

本発表では、分光器機械制御と CCD・赤外線検出器の連携や、複数部分に分散した多様な制約を持つデバイスを連携してのファイバー配置など、多数のサブシステムをメッセージ交換サーバを経由して接続する形式での装置制御の設計・開発の現状、および観測準備や観測制御の流れについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V203b **SuMIRe-PFS [4] – Expected Sensitivity and Data Reduction Pipeline**

Kiyoto Yabe, Yuki Moritani, Naoyuki Tamura, Atsushi Shimono, Masahiro Takada, Naoki Yasuda, Nao Suzuki, Miho Ishigaki, Kohei Hayashi (Kavli IPMU), Jim Gunn, Robert Lupton, Andreas Ritter, Craig Loomis (Princeton Univ.), and PFS collaboration

The Prime Focus Spectrograph (PFS) is a next-generation, fiber-fed, multi-object spectrograph of the Subaru Telescope, which is expected to start science operations in 2019. Thanks to its wide field-of-view ($\sim 1.3 \text{ deg}^2$ diameter), high multiplicity (~ 2400 fibers), and wide wavelength coverage (from 3800 \AA to $1.26 \mu\text{m}$), PFS is expected to be a powerful survey instrument of the Subaru Telescope to cover a wide range of science cases such as Cosmology, Galaxy Formation and Evolution, and Galactic Archaeology.

The sensitivity calculation and the data simulation are important to plan future large surveys with PFS. The estimation of the expected sensitivity of PFS is now ongoing with implementing more realistic assumption including updated instrument throughputs and sky/moon conditions. On the other hand, accurate sky subtraction is a key to achieve high spectral quality, and studies on the data reduction method are now in progress. In this presentation, we report the expected sensitivity and the current status of the data simulation and data reduction pipeline as well.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V204b **SuMIRe-PFS [5]—試験観測計画の概要と一部より：主焦点装置の位置決め手順について**

森谷友由希、矢部清人、田村直之、下農淳司 (kavli IPMU)、高遠徳尚、田中陽子 (国立天文台)、Jim Gunn (Princeton Univ.)、他 PFS collaboration

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野多天体分光器である。主焦点の直径 1.3 度の視野内に 2394 本のファイバーを配置し、380nm から 1260nm の波長範囲に渡る中分散スペクトルを同時に取得することができる。PFS の開発は東京大学 Kavli IPMU を中心とした 6 か国 11 研究機関による国際協力により進められており、2018 年前半の試験観測開始、2019 年後半の科学運用開始を目指している。

PFS は、広視野光学補正系 WFC (Hyper Suprime-Cam と共有) とファイバー配置要素から構成される主焦点装置、ファイバー位置を確認するメトロロジカメラ、可視・近赤外計 3 つのカメラを持つ分光器システム、そして主焦点装置から分光器システムまでを繋ぐファイバーケーブルから構成される。2017 年より各システムが順次すばる望遠鏡に到着し、統合、試験観測を進めていく予定であるが、その試験観測計画・性能評価方法の準備を進めている。本講演では、PFS 試験観測計画の概要とその立案状況、並びに試験観測プロセスの一部を紹介する。

試験観測の初期段階で、主鏡に対する WFC 及び主焦点装置のアラインメントを最適化する必要がある。主焦点装置の焦点面位置の検出を、主焦点装置の視野端に取り付けられた 6 つの AG (Acquisition & Guidance) カメラを用いて行う。一方で、主鏡の光軸に対する WFC の光軸のずれを補正する為に、AG カメラに結像したデフォーカス像を用いて移動量と傾き量を検出する。これらの具体的なエラー検出・補正方法を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205a すばる HSC で得られた可視光突発天体の選別

森井幹雄, 池田思朗 (統数研), 田中雅臣 (国立天文台), 富永望 (甲南大), 諸隈智貴, 安田直樹 (東大)

すばる望遠鏡の主焦点に取り付けられている超広視野カメラ「Hyper Suprime-Cam(HSC)」による大規模サーベイ観測が始まった。HSC を用いて 2014 年からの 5 年間で 300 夜の観測が行われる予定である。この計画では、同じ領域を複数回観測するため、超新星爆発などの可視光突発天体も多数検出されることが期待されている。しかしながら、偽の候補天体もそれ以上に大量に検出されるため、機械的に突発天体を選び出す必要がある。

本研究では、突発天体を選別するために機械学習の手法を用いた。まず、HSC で取得した 2 晩のイメージの差分を取ることで、突発天体の候補を選び出し、それぞれの候補に対し、天体の形状などの特徴量を抽出する。一方、天文学者が目視により、本物の突発天体であるかどうかの判定を行う。このデータセットを教師データとして判別機械に学習させることで、今後得られるデータに対する判別を機械的に行うことができる。

機械学習には様々な方法があるが、統計数理研究所の小森理氏が開発した AUC Boosting を用いた。Boosting 法は、弱学習機械を組み合わせることにより高い判別性能を獲得する方法であるが、この方法は、識別性能の指標である AUC(Area under the ROC curve) を最大化する点で優れている。またすべての突発天体候補に対しスコア値を得ることができるため、高いスコア値の天体から順に判別結果の確認作業ができるという運用上の利点もある。

実際、2014 年 7 月に 2 晩連続して取得された HSC 7 視野分 (約 12 平方度) のデータ (正例: 61、負例: 16339) について、AUC Boosting を用いた判別を行った。True Positive Rate = 90% で、False Positive Rate ~ 10% の性能が出ることが確認できた。引続き、追加データの判別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](#)

V206b HSC 大規模画像データの PSF 測光

小宮山裕 (国立天文台)

本来は点光源である恒星からやってくる光は、大気の揺らぎや望遠鏡光学系の収差により焦点面検出器上で広がった輝度分布関数 (PSF: Point Spread Function) として観測される。PSF はある空間スケール・時間スケール内でほぼ一定とみなしてよいいため、明るいものから精度良く求めた PSF を各天体の輝度分布と比較することによって PSF との一致度や天体の明るさを求める「PSF 測光」を実行することが可能である。PSF 測光は、恒星などの点光源については、天体同士や宇宙線などが重なった場合にも精度良い測光値が得られる、限界等級が深くなることから、近傍銀河などの混雑した領域でよく用いられている測光法である。一方、PSF と輝度分布を比較 (フィッティング) する必要があるため、PSF 測光には相応の計算機パワーが必要となっている。

すばる望遠鏡に取り付けられた超広視野 CCD カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は、すばる望遠鏡の高解像力をもって、直径 1.5 度角もの視野を一気に観測することが可能であり、見かけの大きさが大きく、銀河を個々の恒星に分離して観測することができる近傍銀河の研究には最適な観測装置である。一方、HSC 一視野の画像データは $\sim 10^9$ ピクセルを持ち $\sim 10^{6-7}$ もの天体が検出される大規模データである。PSF 測光は相応の手間と計算時間がかかるため、HSC 画像データに適用するには最適な測光手法を確立することが必須である。本研究では 3 つの PSF 測光ソフトウェア (DAOphot, PSFEx, hscPipe) をシミュレーション画像・実画像に適用することによって到達限界等級、測光精度、Completeness など各々の特性を明らかにする。また混雑領域への適用度、計算スピードなどの観点から各々の限界についても比較・考慮し、HSC による近傍銀河の研究に最適な PSF 測光手法を導く。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207b 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の開発 - 基本設計の完了

酒向重行, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 高橋英則, 大澤亮, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 三戸洋之, 中田好一, 菊池勇輝, 谷口由貴, 松永典之, 臼井文彦 (東京大学), 田中雅臣, 渡部潤一, 前原裕之, 有松亘 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹, 花上拓海, 岩崎仁美 (東北大学), 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, 近藤莊平 (京都産業大学), 谷川衝 (理化学研究所)

Tomo-e は東京大学木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡の全視野 (9 度) を 84 チップの常温駆動 CMOS センサで覆い, 計 20 平方度の視野を最大 2Hz で観測できる超広視野高速カメラである. Tomo-e の開発は, 要素技術開発フェーズと基本設計フェーズが完了し, 現在, 技術実証機の開発フェーズにある. 本講演では, これまで 1.5 年かけて構築した Tomo-e の基本設計を中心に開発の進捗を報告する. 84 チップの CMOS センサは, 主焦点の球面上に配置される. 各チップは上面が斜めにカットされた金属支柱を介して基準平板の上に固定される. また, 各チップは熱伝導両面テープにて金属支柱に固定される. あらかじめ測定したチップと平板の製作誤差を考慮しながら金属支柱を高精度に製作することで, 角度の微調整を行わずに, センサを $\pm 70 \mu\text{m}$ 以下の精度で配置する. センサ部は常温常圧の筐体内に納められる. センサの発熱 (総量約 20W) は, 基準平板に設置された強制空冷機構付き放熱板を介して筐体内の空気に放熱された後, 筐体外へ排出される. センサの温度は一定に制御せず, 外気温に追従させる. このような従来の天文観測装置の常識にとられない設計コンセプトを採用することで, 50cm の焦点面を覆う超広視野カメラでありながら, 総重量 30kg 以下の軽量設計を実現している. 本講演では, Tomo-e が生成する 27TB/夜の動画ビッグデータの高速処理システムや, これから実施する技術実証機の開発計画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](#)

V208b

木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のバックエンドデータ転送システムの設計と評価

大澤亮, 酒向重行, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 中田好一, 菊池勇輝, 谷口由貴, 猿楽祐樹, 松永典之, 臼井文彦 (東京大学), 田中雅臣, 有松亘, 渡部潤一, 前原裕之 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹, 花上拓海, 岩崎仁美 (東北大学), 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, 近藤莊平 (京都産業大学), 谷川衝 (理化学研究所)

東京大学木曾観測所で開発している超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e は 84 枚の CMOS センサを用いて約 20 deg^2 の領域を最大 2 Hz で読み出す能力を有する. Tomo-e のデータレートは最大で 760 MB/s に達し, 一晩の観測でデータ総量は約 27 TByte/night となる. 高速 CMOS カメラとしての Tomo-e のパフォーマンスを最大限引き出すためには, データの取得と同時に解析を遂行する必要がある. Tomo-e のバックエンド解析システムには, データ処理およびシステム間のデータ転送に関して 760 MB/s を超える処理速度が要求される. 既に 2015 年春季年会 (V217b) において, 我々は新たに開発したバックエンド解析システムのデータ処理速度が要求性能を満たしていることを報告した. データ転送システムとしては冗長性を保ちつつ生成レートよりも高速にデータを輸送することが要求される. 我々はカメラを駆動するマシンと解析を担当するワークステーションの間にバッファとなるストレージを配置することで, 解析速度の変動に左右されずに, 安定してデータを処理できるシステムを設計した. また, 各ユニットが最高の性能を出すために理想的なネットワークの構成について考察した. 本発表ではシステムの構成と計測したパフォーマンスについて紹介する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のイメージセンサ評価試験

菊池勇輝, 酒向重行, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 高橋英則, 大澤亮, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 中田好一, 松永典之, 臼井文彦, 猿楽祐樹, 谷口由貴 (東京大学), 田中雅臣, 渡部潤一, 前原裕之, 有松亘 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹, 花上拓海, 岩崎仁美 (東北大学) 浦川聖太郎 (日本スヘースカート協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世, 近藤莊平 (京都産業大学), 谷川衝 (理化学研究所)

東京大学木曾観測所では 105 cm シュミット望遠鏡用の超広視野高速カメラ Tomo-e 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 の視野を最大 2 Hz で撮像することかてきる。本装置では真空冷却装置を用いず、強制排気にてセンサを冷却することで軽量化を実現する。そのため、低消費電力でのセンサの駆動が不可欠である。本講演では、2014 年度に開発したコンパクトかつ低消費電力の読み出しシステムを用いたセンサの評価試験について報告する。Tomo-e に搭載する CMOS センサは内部回路のゲインと駆動電流をデジタル的に変更することができる。本実験ではセンサのゲインおよび駆動電流に対する読み出しノイズ、暗電流、線形性、フルウェルの依存性を評価した。また、駆動クロックパターンを低電流設定に最適化することで、センサ 1 枚あたり約 230mW の低発熱での駆動に成功した。駆動電流量の低減に伴い、読み出しノイズは仕様値 $2.3 e^-$ から $2 e^-$ 以下に改善された。本講演では量子効率の温度依存性の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](#)

V210a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e による TNO 掩蔽現象の搜索

有松亘, 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之 (国立天文台), 臼井文彦, 猿楽祐樹, 大坪貴文, 大澤亮, 酒向重行, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 中田好一, 菊池勇輝, 谷口由貴, 松永典之 (東京大学), 和田武彦 (宇宙科学研究所), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹, 花上拓海, 岩崎仁美 (東北大学), 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, 近藤莊平 (京都産業大学), 谷川衝 (理化学研究所)

東京大学木曾観測所で開発している超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e は、キロメートルサイズの太陽系外縁天体 (TNO) による恒星掩蔽現象の搜索を非常に高い効率で可能にする。こうした TNO による恒星掩蔽現象は、掩蔽の継続時間が短い (1 秒未満) うえに、発生頻度が極めて稀である (恒星 1 個につき 10^{-2}yr^{-1} 未満) ことが予想される。本研究では、Tomo-e が有する極めて広い視野 ($\sim 20\text{deg}^2$)、高感度、そして高速な読み出しというユニークな特性を活用する。多数の恒星を非常に早いフレームレート (15 Hz 以上) で同時モニタ観測し、恒星掩蔽現象を検出することで、巨大望遠鏡を用いても直接検出が不可能なキロメートルサイズの TNO の存在を明らかにすることが可能になる。我々は 2013 年 12 月に木曾観測所で実施された、CMOS センサーを用いたテスト観測によって得られたデータを、掩蔽観測専用に関発したパイプラインを用いて解析した。解析によって得られた恒星の光度曲線と TNO 掩蔽現象で予想される光度曲線とを比較し、Tomo-e を用いたモニタ観測による掩蔽現象の検出可能性を評価した。本講演では解析プログラムの構成を紹介し、実テスト観測データの解析で得られた TNO 掩蔽現象の検出性能を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 家正則, 青木和光, チャップマン純子, 神津昭仁, 山下卓也, 柏川伸成, 宮下隆明, 高見英樹 他 (国立天文台 TMT 推進室), Henry Yang, Edward Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Ernie Seaquist 他 (TMT Project)

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。昨年 12 月にインド、4 月にカナダが署名を行い TMT 国際天文台 (TIO) の正式メンバーとなった。各国で担当箇所の開発や設計・製作が進んでいる。TIO は 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。しかし、3 月下旬より建設反対派の抗議行動が活発化したため、4 月 6 日の週より建設作業を一時停止している。国立天文台では 4 月より渡部副台長を委員長とした TMT 建設対応本部を設立した。ハワイ現地での事態の改善に向けては、TIO 評議員会の Henry Yang 議長が 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てきた。5 月 26 日には、ハワイ州の David Ige 知事の声明として、TMT は建設を進める法的権利を有しハワイ州は TMT 建設を支援すること、およびマウナケアの今後に対するいくつかの指針が発表された。また、6 月 1 日にはハワイ大学の David Lassner 学長とヒロ校の Donald Straney 学長から、知事の指針に沿って対応する旨と今後の予定について声明が発表されている。

日本国内の TMT 計画の進捗状況としては、2015 年度は建設 3 年目にあたり、望遠鏡本体構造および制御系の詳細設計、主鏡の量産 (鏡材製作、研削・研磨)、第一期観測装置 (IRIS, WFOS) の設計・検討作業を進めている。また、全国各地での一般講演会や、TMT の可動式模型や主鏡分割鏡の試作品を用いた展示、完成予想動画を作成など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](#)

V212b TMT 第一期観測装置 WFOS 開発へ向けた多結晶蛍石の研磨試験

尾崎忍夫、宮崎聡、田中陽子（国立天文台）

広視野可視撮像分光装置 Wide Field Optical Spectrograph (WFOS) は次世代超巨大望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) のファーストライト期に揃えられる3つの観測装置の一つである。WFOSは幅広いサイエンスをカバーするために、撮像・ロングスリット分光・マルチスリット分光モードに加え、多天体に対して可視域全域のスペクトルを一度の露出で得ることができる多天体エシェレット分光モードも備えている。この装置はアメリカ、日本、中国、インドの国際協力で推進されており、現在は概念検討段階である。国立天文台ではカメラシステム部の検討を行っている。広い視野・高い波長分解能を目指しているため、WFOSは非常に巨大な装置となり、カメラレンズに用いられるレンズも大口径（ ~ 400 mm）となる。一方で310 nmという短波長を含む観測波長において高い透過率を確保しながら収差を抑えるためには複数の蛍石レンズを使用しなければならない。しかし、これほど大口径となると単結晶蛍石を手に入れるのは難しく、多結晶蛍石を使用しなければならない可能性がある。研磨速度は結晶方位に依存するので、多結晶蛍石を用いた場合には研磨誤差が大きくなる可能性が懸念される。そこで小さな多結晶蛍石（ ϕ 70 mm）を用いた研磨試験を行ったところ、やはり異なる結晶方位を持つ領域の境界付近で形状誤差（139 nm PV、26 nm RMS）が生じることを確認した。表面粗さも測定したが、異なる結晶領域で大きく異なることはなかった（1 nm R_a 以下）。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213b TMT 搭載中間赤外線観測装置における冷却チョッピングの検討

毛利清, 宮田隆志, 上塚貴史, 高橋英則 (東京大学), 本田充彦 (神奈川大学), 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史 (東京大学)

中間赤外線の地上観測は大気の放射が非常に大きくこれを取り除く必要がある。放射を取り除くために副鏡を動かす「副鏡チョッピング」と呼ばれる技術が用いられてきたが、Thirty Meter Telescope (TMT) では副鏡が大きすぎるため副鏡チョッピングは不可能である。代替案として、光学的に副鏡と共役な位置にあたる冷却された装置内の鏡を動かすことにより、副鏡を動かした際と同じ効果を得る「冷却チョッピング」という手法が考案されているが、TMT 搭載中間赤外線観測装置 MICHl の冷却チョッパーに要求される、2.5 mm のストロークを 0.1 W 以下の低発熱で 10 ms の駆動時間のうちに動かすことを実現できる装置はまだ存在しない。

本研究では、MICHl の冷却チョッパー実現をめざし、必要となるアクチュエーターの仕様を詳しく検討した。結果、アクチュエーターは 100 m/s^2 の加速度が必要であることが分かった。そして、この加速度を実現できる機構としてボイスコイルモータ (VCM) に着目し、VCM に使用する線材の電気抵抗率が $10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ 未満となれば、0.1 W 以下の低発熱でこの加速度を実現できることが判明した。さらに、発熱を最低限まで抑えられる超伝導 VCM が、この加速度を満たすチョッパーの動力として使用できることを見出した。現在超伝導 VCM を試作しており、動特性を得るための実験を計画している。講演では、MICHl における冷却チョッピングの検討と、要求を満たす超伝導 VCM の設計について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V214b 3 波長同時偏光撮像装置の開発

潮田和俊, 大朝由美子, 柴田吉輝, 窪田悠 (埼玉大学), 石橋遥子 (埼玉大学/小倉クラッチ株式会社), 居倉聖 (埼玉大学/法務省 保護観察所), 木野勝 (京都大学)

埼玉大学望遠鏡 SaCRA は 55cm 光学望遠鏡であり、主焦点とカセグレン焦点の 2 つの焦点を有する。望遠鏡の設置場所の埼玉大学は都市部近郊に立地し空は明るい、快晴率が国内でも非常に良く、冬期のシーイングが 1 秒台である。現在我々は、光・赤外線天文学大学間連携事業 (OISTER) や系外惑星などの観測を鑑みて、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色同時偏光撮像を目的とした新たな観測装置の開発を進めている。

本装置の基本的な光学系は、2 枚のダイクロイックミラーと 3 枚の広帯域フィルターである。カセグレン焦点部 (F6.5) に対しての光路シミュレーションを行い、ダイクロイックミラーの挿入角度を 45° とし、収差補正にはウェッジ加工を施すことを採用した。観測波長帯は、光害の影響や長波長観測の有用性などを考慮して SDSS 準拠の r, i, z とした。検出器は、長波長の z バンドにおける CCD の高い量子効率から、E2V の深空乏層型のチップを用いた CCD を 3 台使用する。筐体は偏光ユニットを独立させ、他の望遠鏡にも接続できるようにコンパクト ($40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 30\text{cm}$ 、約 10kg) に設計した。現在までに装置の組み上げと SaCRA に搭載した試験観測を実施した。3 波長同時撮像の機能は達成できたが、星像がやや伸びていることから設計値以上の収差の可能性がある。また、CCD3 台同時制御のプログラムなどいくつかの課題が挙げられる。本講演では装置の概要と性能評価、及び望遠鏡の姿勢の違いによる CCD や光学系の位置ずれなどの種々の試験観測結果に基づく課題を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215b 可視面分光装置 Kyoto3DII の CCD システムアップグレード

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, 下農敦司 (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 Kyoto3DII(K3DII) の CCD システム、すなわち CCD・真空冷却デューワー・読み出し系のアップグレードを行った。K3DII 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。

AO188 を用いた観測では波長 6400\AA 以下の光は波面センサー側に送られるため、観測波長域は 6400\AA 以上である。さらに、AO はより長い波長で効果が高いため長波長側が重要である。ところが、これまで本装置に搭載されていた CCD は短波長側を得意としており、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 を長波長側で量子効率の高い浜松ホトニクス社 $2k\times 4k$ 完全空乏型 CCD に入れ替えた。

本アップグレードでは新しい CCD を搭載する真空冷却デューワーの設計・製作、デューワー単体での性能試験を行った後、すばる望遠鏡における K3DII 本体への搭載、画像読み出し試験、較正用光源を用いた光学性能試験等を 2015 年 5 月初頭に完了した。これにより K3DII 本体搭載時の性能に問題がないことが確認された。2015 年 9 月には試験観測を行う。

今回、CCD のアップグレードに伴い長波長側での感度が上昇し、特に波長 7500\AA から長波長側ではトータルシステム効率で 2 倍となる。また、冷凍機と読み出し系も更新されたため、読み出しノイズが減少した。新 CCD の読み出し系では 6 回のマルチサンプリングを行うことにより、 $3.2\text{--}3.4e^-$ r.m.s. の読み出しノイズを達成した。本講演では、新 CCD システムの性能と新 CCD 搭載時の K3DII の性能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](#)

V216b 可視光ファブリ・ペロー分光撮像装置 LISS の開発：西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡への搭載

小久保充, 橋場康人, 満田和真, 酒向重行, 諸隈智貴, 土居守 (東京大学), Hanindy Kuncarayakti (チリ大学), 森鼻久美子, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 新井彰 (京都産業大学)

我々は、ファブリ・ペロー撮像 ($R\sim 200$; $6000\text{-}9000\text{\AA}$)、低分散グリズム分光 ($R\sim 100$; $4000\text{-}10000\text{\AA}$)、および広/狭帯域フィルター撮像の3つの観測モードを搭載した可視光分光撮像装置 LISS (Line Imager and Slit Spectrograph) の開発を行っている (Hashiba et al. 2014, SPIE, 9147, 2)。長波長側で感度の高い浜松ホトニクス社 $2k\times 1k$ 完全空乏型 CCD の特性を活かした、ファブリ・ペローエタロンや狭帯域フィルターを用いた近傍銀河の輝線の撮像観測、グリズムによる超新星・クエーサーの分光観測などを主な目的として設計されている。

本装置は、2012年、2013年の北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡におけるファブリ・ペローモードと低分散分光モードの立ち上げを経て、2014年7月からは兵庫県立大学西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡 (カセグレン焦点) に搭載し、科学観測を開始している。科学成果としてすでに4天体の超新星候補 (Kiso Supernova Survey; KISS) の分光同定に成功しており、特に2015年5月の観測で同定された Ia 型超新星 KISS15q ($g\sim 20.5\text{mag}$; Morokuma et al. 2015, ATel, 7562, 1) は、日本の望遠鏡で分光同定された突発天体としては最も暗い天体である。さらに、科学観測と並行する形で、観測モードの設定やオートガイダーの操作などを統合した GUI の整備、測光フィルターの拡充、中分散グリズム ($R\sim 400$; $4000\text{-}8000\text{\AA}$) と波長校正ランプの追加搭載等を行ってきた。

LISS は現在、日本国内で使用できる可視分光器としては最も高感度の装置であり、PI 装置として西はりま天文台公募観測に供されている。本講演では、なゆた望遠鏡搭載時の LISS の性能等について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217b sCMOS カメラによる太陽全面 H α 観測

花岡庸一郎、森田諭、大辻賢一（国立天文台）

宇宙天気現象のモニターの中で、H α 線での太陽全面像観測は彩層における活動現象をとらえる上で重要である。さらに波長をずらしての撮像に基づく視線速度の情報も加わると太陽表面で噴出したフィラメントなどが太陽系へ飛び出していくのを 3 次元的にとらえることができ、地球への影響を把握する上でも意味が大きい。そこで我々は宇宙天気研究への貢献を目的として、国立天文台三鷹で、それまでの簡易的 H α モニターに加え、高解像度で H α 線中心及びその周辺 5 波長での太陽全面モニターを 2011 年から開始した（口径 12.5cm 望遠鏡 + Zeiss リオフィルター）。撮像のための条件、すなわちシーイングの影響を受けにくく高解像度を実現するとともにディスク上の構造から低輝度のプロミネンスなどまで幅広く十分な S/N での撮像ができる、といったことをバランス良く実現できる 2k \times 2k のインターライン CCD のカメラを使用してきたが、スミアやブルーミングの問題があり、定量解析において精度を上げる上で限界があった。

最近、sCMOS カメラという低ノイズで高速のカメラが実用化され、CCD カメラの欠点の無い形での撮像が可能になった。そこで我々はさらに高い質のデータを取得することを目的に、太陽全面 H α 観測に同じ 2k \times 2k の sCMOS カメラ (Andor Zyla) を導入した。その長所を生かしたデータ取得が可能になり、特に低輝度部分の撮像におけるノイズの改善において進歩があった。一方、sCMOS カメラ特有と思われる入射光量に対する応答の部分的な非線形性も見られ、定量解析においてはやはり注意すべき点もある。

年会では、sCMOS カメラの導入による改善点の学問的意義とともに、その出力信号の特質と問題点について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218a RAVEN プロジェクト延長の結果

大屋真(国立天文台)、大野良人、秋山正幸(東北大学)、寺田宏、早野裕、高遠徳尚(国立天文台)、伊藤周(金沢高専)、鈴木元気(東北大学)、Olivier Lardière, Colin Bardley (University of Victoria)、David Andersen (NRC Herzberg Astronomy and Astrophysics)、ほか RAVEN メンバー

RAVEN は多天体補償光学装置 (MOAO: Multi-Object Adaptive Optics) のオンスカイ実証試験機である。日本のすばる望遠鏡と東北大学の協力のもと、カナダの University of Victoria (UVic)、NRC Herzberg Astronomy and Astrophysics (HAA) が開発を行い、プロジェクトを進めてきた。すばる望遠鏡では持ち込み装置として受け入れ、IRCS と組み合わせる観測技術実証に加えて科学的成果を挙げることを目指す。

MOAO は広視野 AO 方式の一つであり、数分角にわたる視野内の複数天体を個別にピックアップして同時観測を行う。望遠鏡口径が大きい程ピックアップ可能な視野が広がるので、30m 望遠鏡での実用化が望まれる方式である。各ピックアップごとに可変形鏡 (DM) があり、観測天体の周囲数秒角内の大気ゆらぎを補正する。大気ゆらぎは、暗い観測天体とは別の明るい波面参照星 (ガイド星) を波面センサ (WFS) で観測して測定される。DM がある観測天体方向の波面は、複数のガイド星の波面から推定する。試験装置である RAVEN の場合は、3 つの自然ガイド星と1つのレーザーガイド星が利用可能であり、2 つの天体の同時観測が可能である。

2014 年中の 2 回の試験観測の成功を経て、2015 年までプロジェクトを延長することになった。2015 年 6 月 26 日から 7 月 1 日までの期間に試験観測と共同利用観測が割り当てられている。これらの観測やそのため行った準備に関して報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V219b RAVEN:多天体補償光学を用いた場合の視野内でのPSFの一様性の評価

大野良人, 秋山正幸 (東北大学), 大屋真 (国立天文台), Olivier Ladiere (University of Victoria)

多天体補償光学は複数のガイド星を用いて大気揺らぎの影響を3次元的に推定し、広い視野内の複数の天体に対して同時に大気揺らぎの影響を補償することができる広視野補償光学の一つの方式である。一つのガイド星を用いる従来の補償光学と比べて、この多天体補償光学を用いることで観測効率の向上が期待される。一方で、広い視野内で正確な photometry を行うためには視野内の PSF の一様性が重要になる。特に、「開ループ制御」や「トモグラフィ」といった従来の補償光学とは異なる技術を用いるため、これらの PSF の形への影響を評価することが必要である。そこで、本研究ではすばる望遠鏡で稼働している多天体補償光学の試験装置である「RAVEN」を用いて、多天体補償光学の視野内での PSF の一様性の評価を進めている。

RAVEN を想定した多天体補償光学の数値シミュレーションから、視野内の PSF の形はガイド星、大気揺らぎの高さ分布、風速・風向に依存していることがわかった。また、従来の補償光学と比較すると、多天体補償光学を用いた方が視野内での PSF の一様性が高いという結果が得られた。このシミュレーションには光学的な収差の影響は含まれていないので、RAVEN を用いた多天体補償光学の光学実験から得られた PSF とシミュレーションで得られた結果を比較することで、PSF の一様性における光学的な収差の影響を評価する。さらに、2015年6月の終わりに予定されているすばる望遠鏡での試験観測では、星の多い領域を RAVEN で観測し、on-sky で視野内での PSF の一様性について評価する予定である。本講演では数値シミュレーションと光学実験の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](#)

V220b 木星面模様を利用した波面測定実験

合田周平, 渡辺誠 (北海道大学), 大屋真 (国立天文台)

北海道大学では、北海道名寄市に設置した北大 1.6m プリカ望遠鏡に搭載するための太陽系惑星観測用大気ゆらぎ補償光学系を開発している。本補償光学系では、木星サイズ程度の視野 (50 秒角) に渡り、可視光 $0.5\mu\text{m}$ よりも長波長側で 0.4 秒角程度の分解能の達成をするために、多層共役補償光学系 (MCAO) の構成を検討している (渡辺他: 2015 年春季天文学会)。従来の天文用の補償光学系では、波面参照光源として観測対象のごく近傍に恒星や衛星のような点状光源が必要になるので、衛星を利用して惑星の補正を行っている。しかし惑星と衛星の位置が都合の良い配置となる条件は限られるので、観測時間に制限がかかってしまい補償光学装置を使った惑星のモニター観測は困難である。そこで本補償光学系では惑星本体を波面測定の参照光源とすることで、惑星の常時高分解能観測を目指している。

木星に関しては、波面測定法として木星模様を利用した Correlation Tracking 法を検討している。そこでプリカ望遠鏡のマルチスペクトル撮像装置 MSI で撮像された木星画像を使い木星模様の大きさとコントラストを調べているが、シーイングサイズ 2 秒角程度の模様は確認できていない。この結果から、2 秒角よりも大きい比較的コントラストの大きい (RMS コントラスト:1-5%) 模様を参照源として使うことを考えている。

よって木星最大の模様である大赤斑 (14 秒角) が入る視野を確保した、視野 15 秒角のシャックハルトマン波面センサーを製作した。2015 年 8 月には波面センサーをプリカ望遠鏡に搭載して、性能測定試験を実施する予定である。本公演では、製作した波面センサーの詳細と試験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V221b 太陽補償光学系の開発と補償効果のシミュレーション(2)

三浦則明、大石明、桑村進(北見工大)、馬場直志(室蘭工大)、花岡庸一郎(国立天文台)、北井礼三郎(佛教大)、上野悟、仲谷善一、一本潔(京大理)

我々は飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 2F に常設補償光学系(AO)の設置を進めている。これと並行して、AO補償効果を向上させることを目的として計算機シミュレーションによるAO装置の特性解析を行っている。昨年実施した解析では、波面展開の際にゼルニケ多項式の代わりに Karhunen-loeve(KL) 関数系を使用すると、開口周辺部の誤差を抑制でき、より多数の項を利用できるようになるため、大幅に波面推定精度の向上が可能であることを見出した。この成果については2014年秋季年会で報告した。その後、実際にAO装置にKL関数系での波面展開を導入し、観測によって補償効果を確認した。

さらに補償性能を上げるために、引き続きシミュレーションを行っている。昨年までは可変形鏡のアクチュエータが鏡面形状に与える影響(influence関数)をガウス関数と仮定してシミュレーションを実行していた。実際は中心ピークの横に負の部分が存在する複雑な形状をしているため、今回これを4次多項式で近似して使用することにした。また、計測して得られた波面形状に最も合致した鏡面形状を構成するため、アクチュエータに印加する電圧値を最小自乗法によって決定するようにした。現時点では、これにより鏡面再構成時の誤差を3割程度削減できている。

当日は太陽観測の結果と、昨年以降実施したシミュレーションの結果をまとめて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222c 飛騨天文台における多層共役補償光学系の開発

大石明、清信功之介、三浦則明、桑村進（北見工大）、馬場直志（室蘭工大）、上野悟、仲谷善一、一本潔（京大理）

補償光学系（AO）には、特に可視での使用において、補償の有効範囲が狭いという問題がある。我々は飛騨天文台での太陽観測において、isoplanatic 領域を超えた広視野でのゆらぎ補償を実現するため、多層共役 AO（MCAO）の開発を行っている。2014 年秋季年会においてその最初の結果を報告した。

我々の MCAO 装置では、太陽像の局所的な伸縮の時間変化を計測することで直接上空波面の位相ゆらぎを求めるといふ、独自に開発した簡便な上空波面センシング法を使っている。光学系は 1 F の垂直分光器直前に設置した。これは飛騨天文台の常設 AO の下流に位置しており、両者は独立して動作するようにしてある。このため、AO と MCAO を同時に動作させる実験だけでなく、AO 光学系を通さず MCAO だけの動作実験も可能である。開発した MCAO 装置を用いて 2014 年 9 月に観測を実施した結果、MCAO を使用することで、黒点間距離の時間変動を抑制していることを確認できるデータもあった。

また 2015 年 5 月には、将来トモグラフィーの原理に基づいて上空波面センシングを行うことを想定して、その開発に必要なデータを取得した。飛騨天文台の 1 F テーブル上に Shack-Hartmann 型の波面センサー光学系を設置し、高速カメラを用いて画像取得を実施した。このとき、12x12 アレイを用い、個々のサブアパーチャの視野を 54 秒角と広視野に設定した。視野中の複数点を参照点として波面計測を実施することで、異なる角度からの波面情報を取得し、トモグラフィー計測を可能にする。当日はこの結果も併せて報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223c 西はりま VTOS によるスペックル観測とデータ処理

桑村進, 三浦則明 (北見工大), 圓谷文明 (西はりま天文台), 馬場直志 (室工大)

天体スペックル像再生法は、大気揺らぎで劣化した多数枚の短時間露光像 (スペックル像) から望遠鏡の回折限界像を再生する方法で、補償光学では難しい可視域の高空間分解能結像法として威力を発揮する。これまでスペックル像再生のための様々な手法が提案されてきたが、これら複数の異なる手法を同一データに適用したとき、互いに矛盾しない結果が得られるよう手法の改良を重ね、信頼できる天文学的情報を引き出せるようにすることが重要になってくる。西はりま天文台なゆた望遠鏡 (口径 2m、F/12) に設置されている VTOS (visible target observation system) は可視光における高空間分解能イメージングを目的として開発された観測装置であるが、我々は 2006 年以来、上記目的のため本装置を利用し、データの処理結果を本年会に於いて報告してきた。今回の講演では、2013 年 10 月 29 日から 11 月 1 日のスペックル観測で得られたデータの処理結果を中心に報告する。装置構成および観測条件は前回報告 (2013 年度秋季年会) の時と同様である: 観測波長 600nm、露光時間 15 から 30msec、使用カメラ EMCCD (electron multiplying CCD)、取得フレーム数 500 から 1000 枚。また、雑音バイアス補正のため遮光フレームと一様照明スクリーン像を補助データとして取得した。データ処理の手法として、前回報告時に使用したパワースペクトル法と shift-and-add (SAA) 法に加え、パワースペクトル法と反復 blind deconvolution (IBD) 法を採用した。パワースペクトル法における雑音バイアス補正では、単光子に対するカメラの点応答関数を求める必要があるが、今回、補助データに SAA 法を適用してこれを求めた。これにより、連星の強度比 (等級差に相当) の再生値が幾分改善された。また、SAA 法と IBD 法によってイオのデータ処理を行い、複数の異なる時刻に於ける再生像からイオの自転検出を試みた。本講演ではこれらの結果も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224a WFIRST-AFTA コロナグラフ用偏光補正デバイスの設計

村上尚史 (北海道大), Wesley A. Traub, John T. Trauger, Hong Tang (Jet Propulsion Laboratory), 田村元秀 (東京大/国立天文台), WACO ワーキンググループ

NASA の将来計画である口径 2.4m の WFIRST-AFTA は、系外惑星研究のための重要な役割を果たすことが期待されている。WFIRST-AFTA 計画では、可変形鏡による波面補償光学システムとコロナグラフの搭載が検討されており、従来のスペースミッションでは到達できなかった 10^9 - 10^{10} という極限高コントラストを、広い波長域で実現することを目指している。これにより期待される科学技術目標としては、(1) 10 個以上の比較的小さな (4-15 地球半径) 系外惑星の直接検出、(2) 数十個の既知の系外惑星の面分光観測、(3) 太陽近傍の残骸円盤の内側の地球型惑星形成領域の観測、(4) 波面補償光学利用コロナグラフの技術実証、が挙げられる。

極限高コントラストの実現における問題点として、主鏡や副鏡を含む装置内のミラー面反射により発生する装置偏光が考えられる。この装置偏光は、直交する 2 偏光成分で異なる波面収差 (polarization-differential wavefront aberration、以後 PDWA とする) を生む。PDWA は可変形鏡によって補正することができないため、結果として片方の偏光成分のコントラストが劣化してしまう。したがって、広い波長域で極限高コントラストを実現するためには、この PDWA をアクロマティックに補正しなければならない。

我々はこの問題を解決するため、厚みが空間的に変化する複屈折板 2 枚で構成される偏光補正デバイスを提案した。数値計算の結果、2 種類の複屈折材質 (例えば、方解石と水晶) の厚みプロファイルを最適化することで、430-980 nm の広い波長域で PDWA を大きく低減できる可能性があることが示唆された。本講演では、WFIRST-AFTA コロナグラフ用の偏光補正デバイスの初期設計と、期待される補正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](#)

V225a サバール板横シヤリングナル干渉計による原始惑星系円盤観測の計算機シミュレーション

米田謙太, 村上尚史 (北海道大), 武藤恭之 (工学院大), 河原創 (東京大), 松尾太郎 (京都大), 小谷隆行 (国立天文台), 馬場直志 (室蘭工業大), 田村元秀 (東京大/国立天文台)

TMT などの超大型望遠鏡に高コントラスト観測システムを導入することで、太陽系外惑星の直接撮像の大きな進展が期待される。TMT に向けた高コントラスト観測システムとして、SEIT が提案されている (松尾他, 2011 年秋季年会 P88a、小谷他, 同 V104a)。我々は、SEIT へのサバール板横シヤリングナル干渉計 SPLINE の搭載を目指している (村上他, 2010 年秋季年会 V36b)。SPLINE とは、サバール板を直交する 2 枚の偏光子で挟んだシンプルな構造のコロナグラフである。SEIT 実現に向けた重要なステップとして、京大 3.8m 望遠鏡における惑星探査計画 SEICA への、SPLINE 搭載が検討されている (松尾他, 2014 年秋季年会 B17b)。

SEICA における系外惑星以外の興味深い観測対象として、原始惑星系円盤が挙げられる。原始惑星系円盤の直接撮像観測から、円盤の物理状態、ひいては円盤形成に関する示唆を得ることができる。さらに、原始惑星系円盤のコントラストは、多くの場合、系外惑星よりも小さい。したがって、原始惑星系円盤は、特に計画の初期段階における観測ターゲットとして有用である。しかし、SPLINE は系外惑星のような点光源の観測を目的として提案された手法であり、原始惑星系円盤のような広がった天体は想定していなかった。そこで、原始惑星系円盤観測に SPLINE が有用であるかを検証するため、単純な構造である一様円盤などを観測対象として、SEICA の観測パラメータで計算機シミュレーションを行った。本講演では、その計算機シミュレーションの結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226a **Low-contrast Pre-Coronagraph(LPC) と Speckle Area Nulling(SAN)**

西川 淳(国立天文台, 総研大, Astrobiology Center(ABC)), 大矢正人(日大 理工, 国立天文台), 村上尚史(北大 工), 田村元秀(東大 理, 国立天文台, ABC), 黒川隆志(東京農工大, 国立天文台), 田中洋介(東京農工大), 堀江正明, 熊谷紫麻見(日大 理工), 小谷隆行(ABC, 国立天文台)

地球型系外惑星は主星との小さい離角で大きな強度比(可視、近赤外で9桁前後)があり、直接観測には、主星の回折光を除去するコロナグラフと、スペックルノイズを抑える $\lambda/10000\text{rms}$ の波面制御が必要である。Low-contrast Pre-Coronagraph(LPC)法は、我々の発明した非対称ナル干渉(UNI)法の発展形を指す。可変形鏡1(DM1)、LPC、可変形鏡2(DM2)、メインコロナグラフ(MC)、最終焦点面検出器、の順で構成し、LPCのコロナグラフマスクは(High-contrast/Low-contrast)を、MCのマスクは(無し/有り)を切替えて2段階のダークホール制御を行い、相乗効果によってLPC無しでの限界より高いコントラストを狙う。波面センサーは不要で、ほぼWFIRSTのコロナグラフ光学系に近い配置で設置でき、搭載機器としての適合性も良い(2014年秋季年会 W210b、投稿中)。ダークホール制御では、米国で多用されているElectric Field Conjugation(EFC)法と一線を描くSpeckle Area Nulling(SAN)法を開発した(投稿準備中)。光学モデルによる数値の補助なしで、DM変調による強度測定値のみに基づいて広範囲で速い消光を行える唯一の方法である。その際に用いる厳密な連立方程式の解も求めた。また、数値実験で、ダークホール法のコントラストが底打ちする原因をダークホール外周の明るいピクセルに見出し、解決策としてGradual Area Reduction(GAR)法を開発した。DM2+MCの光学実験ではSANで $\log I = -6.45$ 、SAN+GARで -6.58 を得て実証は成功しているが、DMのアクチュエーター数による制限を受けている。LPC法の実験は準備中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227a 瞳再配置型光学系による位相マスクコロナグラフの実証実験

赤岩夏海, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大), 田村元秀 (東京大/国立天文台), 馬場直志 (室蘭工業大)

太陽系外惑星を直接観測するためには、主星光と惑星光の莫大な強度比を解消しなければならない。そのための高コントラスト撮像装置の開発が求められる。その有力な手法の一つとして、焦点面に4分割や8分割位相マスクあるいは光渦マスクを置く、「位相マスクコロナグラフ」が提案されている。入射瞳が円形ならば理論上完全に軸上光を消光することができ、主星近傍で非常に高いコントラストが得られる。しかし実観測においては、望遠鏡瞳に陰る副鏡やスパイダの影が位相マスクコロナグラフの消光性能を劣化させてしまうという問題がある。

そこで我々は、副鏡とスパイダの影響を低減するため、「瞳再配置型位相マスクコロナグラフ」を提案した(村上他、2015年春季年会、W216 a)。この手法では、まず円形の入射瞳を取り出すために、入射瞳面に副鏡とスパイダの影を避けて4個の円形サブ開口を設置する。しかしながら隣接するサブ開口から多くの主星光が漏れこんでしまうため、このままでは高いコントラストを得ることはできない。そこで、サブ開口間の距離を離すため、瞳再配置光学系を設置する。瞳再配置光学系により主星光の漏れこみが小さくなり、飛躍的なコントラストの向上が期待される。

我々は、位相マスクとしてフォトニック結晶光渦マスクを用いて実証実験を行った。その結果、瞳再配置光学系の導入により、コントラストが改善されることを実証した。本講演では、実証実験の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228b OASES: TNO 掩蔽同時検出プロジェクト

有松亘 (国立天文台), 臼井文彦, 猿楽祐樹, 大坪貴文 (東京大学), 和田武彦 (宇宙科学研究所)

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES) は、小口径のカメラシステムを複数台用いて、可視波長域にて短いタイムスケール (数秒未満) で突発的に発生する天文現象を探索する観測的研究プロジェクトである。本計画では特に、海王星軌道以遠に位置する未知の太陽系外縁天体 (TNO) による恒星の掩蔽現象を、史上初めて複数台の観測装置で同時検出することを目標としている。本研究では、アマチュア用に市販されている有効口径約 30cm の Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph 光学系の主焦点に民生品の低ノイズ CMOS センサーを配置した、小型高視野カメラシステムを 3 台以上作成する。作成したカメラシステムを広範囲 (約 20km 四方) に配置し、同一視野を 15Hz 以上のフレームレートで撮像する同時モニタ観測を実施する。得られた観測データを専用のプログラムを用いて解析することで、恒星掩蔽現象の同時検出を目指す。掩蔽現象の発生頻度と各々のカメラでとらえられた光度曲線の情報から、カイパーベルト (軌道長半径 30 – 50AU) からオールト雲 (軌道長半径数 100AU 以遠) にかけて大量 ($\sim 10^{10-12}$ 個) に分布していると推定される、半径 1-10km 程度の TNO の個数密度や空間分布に制約を与える。本講演では、OASES プロジェクトの概要を紹介するとともに、沖縄県宮古島市で今夏に実施する、OASES カメラシステム試作零号機 (OASES-0) を用いた試験観測の結果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](#)

V229b FITE:スターカメラ用星像中心検出プログラムの高速化

伊藤 哲司, 芝井 広, 佐々木彩奈, 中道みのり, 大山 照平, 谷 貴人, 桑田 嘉大, 小西美穂子, 須藤 淳, 住 貴宏 (大阪大), 山本 広大 (京都大), 成田 正直 (宇宙研/JAXA)

気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE における、望遠鏡構体の比較的粗い姿勢決定には、広視野スターカメラ (視野 4.4°) の画像情報を用いる。しかし、通信レートの制限から、画像情報をそのまま地上に送ることはせず、恒星の画像上での位置と明るさの数値データのみを地上におくり、そこで姿勢決定を行う。FITE は、2 Hz 程度でこの姿勢決定を行うことを要求しているため、与えられた環境 (CPU クロック周波数 1.33GHz) 下において、画像情報から恒星の位置と明るさの数値を最低 500ms 以内で取り出すプログラムが要求される。その処理は大きく 2 つの段階に分けられ、それぞれ、(A) バックグラウンド成分と高周波ノイズの除去、(B) 閾値 (与えた有意度に応じて決まる) を超えたピクセルの中からの極大点探査、となる。(A) は適当なメキシカンハット関数と画像の相関をとれば良いが、これは、 1024×1024 pixel の処理だと、360ms 程度を要する。残りの時間で、(B) を高速で行うために次の新しい方法を実現したので報告する。

まず、 1024×1024 pixel の中から、 8×8 pixel (星像の広がり程度のスケール) の集合を 128×128 個とって各々をセルとよび、仮定「あるセル内の明るさが敷居を超えたピクセルの数より、上下左右のセル内の明るさが敷居を超えたピクセルの数が小さいとき、そのセルに星像の中心がある。」によって星像中心があるとされたセル内の明るさ重心の座標をとる。次にその周囲 15×15 pixel での明るさ重心の座標をとることを 2 回繰り返した結果の座標を星像中心と見なす。この処理は 90ms 程度で済む。また、2 重に検出される星の星像中心座標が 0.1pixel の桁までは一致しており、視野中心領域で 0.1pixel 程度 ($1.5''$ 程度) までの位置決定精度はあると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230b 宇宙赤外線背景放射の観測ロケット実験 CIBER-2

新井俊明、津村耕司(東北大学)、松浦周二(関西学院大学)、白旗麻衣(国立天文台)、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 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 EBL(Extra-Galactic Background Light) 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28.5cmのリッチー・クレアン式のカセグレン望遠鏡である。CIBERより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EBLの観測を行う。望遠鏡全体を液体窒素冷却することから、熱収縮によるひずみを最小に抑えるため、全てアルミニウムを用いて制作する。EBLの観測に重要な波長0.5-2.0 μm における広視野撮像装置を搭載し、ビームスプリッターを用いて3つの光学系モジュールが視野を共有する。この光学系モジュールと測光フィルタとを組み合わせることで、一挙に6バンドでの宇宙赤外線背景放射のゆらぎ観測が可能であることに加え、視野の一部にLVFフィルタ(Linear Variable Filter)を追加することで、宇宙赤外線背景放射のスペクトル観測も行うことができる。

我々は主鏡の試験モデルを作成し、干渉計を用いて表面形状を測定した。この結果、主鏡を支えるためのフレクチャー機構や光学台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、この結果を踏まえ、非点収差を打ち消す形状となる主鏡のフライトモデルを作成中である。望遠鏡の性能を評価するため、常温下で表面形状や、望遠鏡により結像された像の形状を測定する。本講演では、これらの評価結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231b JVO ポータル開発の進捗：第一版の現状と第二版の試用版の公開

白崎裕治, 大石雅寿, 水本好彦, ザパート クリストファー (国立天文台), 川口俊宏 (札幌医科大学), 石原康秀, 山田久仁, 檜山貴博 (富士通)

Japanese Virtual Observatory (JVO) 開発グループでは様々な天文データへのポータルサイト、JVO ポータルの開発を進めてきた。本サービスは <http://jvo.nao.ac.jp/portal> において誰でも利用可能である。国立天文台が取得した主要な観測データであるすばる望遠鏡のデータや、ALMA 望遠鏡のデータの配信に加え、世界各国の天文データセンターが国際標準仕様に従って公開している天文データサービス (VO) への一元的なアクセス機能を提供している。2013 年度より検索インターフェイスの見直しを開始し、より利用しやすくなるようデザイン・レイアウトの共通化などを取り入れた第二版の開発を進めてきた。2014 年度の開発では基本的な検索機能である、大規模カタログ高速検索¹⁾、VO 基本検索²⁾、VO 並列検索³⁾、JVOQL 検索⁴⁾ が新たなユーザーインターフェイスにより実行可能となった。検索機能に加え、検索結果表示機能 (VOTableViewer) やユーザーデータの一覧表示機能 (JVOSpace) についてもユーザーインターフェイスが刷新された。第二版の開発と平行し、第一版において提供されている ALMA データ検索システムや JVOSky 等の更新も行った。ALMA データ検索システムでは、データ登録日で検索する機能などが追加され、JVOSky についてはこれまでの Google Sky を利用したシステムから Aladin Lite⁵⁾ を利用したシステムへと移行を行った。本講演では以上の開発成果について報告を行う。

¹⁾ 複数の大規模カタログを一度に座標検索する機能。²⁾ VO サービスを一つ選択し条件指定をして検索する機能。³⁾ 全 VO サービスに対して一括して座標検索する機能。⁴⁾ JVO portal 用に SQL を拡張した検索言語による検索機能。⁵⁾ <http://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/>

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232b JVO ALMA アーカイブの天体同定 (I)

江口智士 (福岡大学), 白崎裕治, ザパート・クリストファー, 大石雅寿, 水本好彦, 川崎渉, 小林剛志, 小杉城治 (国立天文台)

ALMA 望遠鏡は公募に基づいて観測が行われており, 観測提案者の占有期間が過ぎた観測データは日米欧にある地域センターから一般公開される. しかしながら, 最も扱いやすい標準較正済みの画像 FITS (3次元または4次元のデータキューブ) を閲覧するには, 複数の巨大な tar ファイルをダウンロードする必要がある. 国立天文台 Japanese Virtual Observatory (JVO) プロジェクトでは, ダウンロード不要でウェブブラウザのみで簡単に公開データを閲覧・解析できるサービスを世界で初めて公開した. この裏側では, 各データキューブに対して一意の Dataset ID を割り当て, 観測の中心座標と周波数範囲および「天体名」とともにデータベースに登録している. この「天体名」は, NGC 番号等のこともあれば, 便宜的な連番 (AGN1, AGN2, ...) の場合もある. そのため, 「原始星の観測データにはどんなものがあるだろう?」といった素朴な疑問に答えることができなかった.

そこで我々は, ALMA アーカイブ中の各 Dataset ID を CDS が提供する天体データベース SIMBAD と対応づける作業を行った. ALMA データキューブの中心から半径 $20''$ (一部 $60''$) 以内にある候補天体のうち, 1) 天体名が合致するもの, 2) 観測提案書の内容を満たすもの, の順に同定を行った. その結果, 全 Dataset ID 3,478 個 (5月末時点) のうち, 3,025 個について SIMBAD の対応天体が見つかり, 810 天体について ALMA で独立した観測が行われていることが判明した. このデータを用いることにより, 「静止系で特定の周波数 (輝線・吸収線) を含むデータ」のような, 世界でも類を見ない新しい切り口でデータを検索することが可能となる. 本発表では, SIMBAD 対応天体を決定する作業およびそ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](#)

V233b

DARTS/AKARI データの恒久アーカイブ化と利用促進

吉野 彰, 稲田 久里子, 松崎 恵一, 山村 一誠 (宇宙航空研究開発機構)

科学衛星による観測データは、一部研究者だけの所有物ではなく未来に伝えるべき人類の資産であり、それを散逸しないよう整理・保管・公開することは、その衛星プロジェクトチームとデータセンターが協力して成し遂げなければならない責務である。2006年から2011年まで全天サーベイと指向観測を行った赤外線天文衛星「あかり」の貴重にして膨大な観測データは、運用終了後も「あかりデータ処理・解析チーム」によって、外部研究者がすぐ研究に利用可能なレベルになるまで処理されてきている。それらのデータは、その内容を説明する文書を添付したうえで最終的にDARTS(<http://darts.jaxa.jp/>)に受け渡され、恒久的に保存される。我々はその受け入れにあたり、今後収蔵予定のデータも考慮して、階層構造の深層化を極力避けた、内容を判別しやすい名称の収蔵用ディレクトリと、Web ページ上のデータ一覧表を整備した。

さらにデータの利用促進の観点からは、膨大なデータの中から簡単な操作によって必要なデータだけを取り出せる検索機能や、複数種別のデータを結び付けて比較閲覧できるような便利な機能もアーカイブには求められる。反面、多様なデータへ個別対応しながら高度な機能を実現するにはプログラムが複雑になり、長期安定運用を困難にする。我々は長期的な運用を目指し、「あかり」のカタログと画像という異なる種別のデータに対し統一的な構成で設計したデータベース、広く普及しているプログラミング言語、可読性の高いコードを用いて検索機能を実装した。また中期的に維持可能なサービスとして、CDSのAladin Lite(JavaScript)を利用した単純なWeb I/Fによって、「あかり」の3種類のデータ(カタログ、全天マップの早見画像とFITSデータ)をリンクさせ、さらに他の全天サーベイ(WISE, IRIS, 2MASS, DSS2)の同一天域の早見画像を同時に閲覧・取得できるようにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234a **近赤外線高分散分光器 WINERED: high-blazed echelle grating を用いた超高分散化**

大坪翔悟 (1), 池田優二 (1,2), 小林尚人 (3), 助川隆 (4), 近藤莊平, 濱野哲史, 鮫島寛明, 中西賢之, 中岡哲弥, 渡瀬彩華, 竹中慶一, 朝野彰, 新井彰, 河北秀世 (1), 松永典之, 安井千香子, 福江慧, 泉奈都子, 三戸洋之 (3), 吉川智裕 (5); (1). 京都産業大学, (2). フォトコーディング, (3). 東京大学, (4). キヤノン株式会社, (5). エデックス

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 1.3m 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、波長分解能 $R \sim 28,000$ でありながら、z, Y, J バンド ($0.9\text{--}1.35\mu\text{m}$) を同時にカバーすることができ、なおかつ比類のない高感度 (スループット $\sim 50\%$) を達成している点に最大の特徴である。観測ターゲットは多岐に渡り、恒星の化学組成と運動、星周領域のダイナミクス、星間分子吸収などを主テーマとしている (小林他: 2014 年秋季年会など)。

現在、より微弱もしくは細かな速度成分を持つ輝線 / 吸収線を捉えることができる超高分散モード ($R \sim 80,000$) のインストールを進めている。キヤノン株式会社によって製作された“high-blazed echelle grating”を用い、2つのグレーティングをモザイク配置するデザインを採用している。グレーティングの製作はほぼ完了し、回折限界を満たす小さな波面エラーと理論限界に近い回折効率が確認できている。目的の波長分解能を達成するためには、2つのグレーティングをサブミクロンの精度でアライメントする技術も必須である。本講演では、それらの保持機構と調整方法および、WINERED に搭載して得られたスペクトルの評価結果を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235a 国産の市販 InGaAs 近赤外線イメージセンサー冷却評価試験

中屋秀彦, 小宮山裕, 柏川伸成 (国立天文台), 内田智久 (高エネルギー加速器研究機構), 吉田道利 (広島大学)

天文観測に用いられる近赤外線イメージセンサーは米国 2 社による HgCdTe イメージセンサーが多く使われている。このセンサーは非常に高性能であるが、輸入に手間と時間がかかり価格も非常に高価であるため、可視光センサーのように手軽に使用することができないほか、超広視野カメラなど多数のセンサーを使用する観測装置の実現も困難となっている。

国産の市販 InGaAs 近赤外線イメージセンサーについて、天文観測に用いることができるか調べるため、メーカーでは行われない低温での評価試験を行った。InGaAs センサーは室温でおよそ 1-1.7 μm に感度を持つ近赤外線センサーであり、InGaAs フォトダイオードがインジウムバンプで読み出し IC と接続されているハイブリッド構造となっている。民生・工業用として、これまでに海外の複数の会社から比較的安価に市販されている近赤外線イメージセンサーである。

今回試験したイメージセンサーは浜松ホトニクス社製で、画素サイズ 20 μm 、フォーマットは 128 × 128 のものである。読み出しノイズ、リニアリティ、画素内感度分布などはセンサー温度 140K で測定を行い、暗電流は室温から 80K まで、波長感度特性は室温から 140K までの範囲で、温度依存性も調べた。

これらの冷却読み出し試験の結果、このイメージセンサーを天文観測用として使うには、十分に冷却しても読み出しノイズと暗電流の性能が不十分であることがわかった。一方で、リニアリティ、波長感度特性、画素内感度分布については、大きな問題がないことを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a 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: 10

小谷隆行, 周藤浩士 (アストロバイオロジーセンター (ABC)/国立天文台), 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, 成田憲保, 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(国立天文台), 田村元秀 (東大/国立天文台), 西川淳, 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行 (国立天文台/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 (国立天文台/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, 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

近年の Kepler 衛星などの観測から、地球質量惑星は普遍的存在である可能性が高くなっているが、我々は太陽近傍に 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指している。そのために我々は、すばる望遠鏡用の赤外線高分散分光器 Infrared Doppler (IRD) を開発中であり、2016 年からの近傍 M 型星に対する高精度視線速度サーベイにより、ハビタブルゾーンにある 1 地球質量惑星の検出を含む、様々な惑星の発見が期待される。本講演では IRD のサイエンスケースの紹介と、装置開発の現状について述べる。装置は現在、分光器システムと波長基準となるレーザー周波数コムを組み合わせた性能評価試験を実施している。赤外線では視線速度測定精度に大きな影響があるモーダルノイズを低減するためのスクランブラー開発、光学系性能評価試験の結果についても述べる。レーザー周波数コムの安定性・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](#)

V237a IR ドップラー観測用光周波数コムの特性評価

森貴宏, 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 (Astrobiology Center(ABC), 国立天文台), 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 0.7 MHz (1 m/s) 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 、帯域 $1030\text{-}1750 \text{ nm}$ の広帯域なコム光の生成に成功している。コムスペクトルの微細形状や周波数安定性を評価するために、参照光源に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: 0.1 MHz 以下) を用いて光ヘテロダイン測定を行った。その結果、コムモード1本のSN比は 40 dB 以上あることが確認された。また 140 時間連続測定の結果、周波数安定度は 0.2 MHz 以下であった。コム強度スペクトルは最大と最小の差が 40 dB ほどあり、所定の測定精度を得るためにはスペクトルの平坦化が必須である。そこで、FBG フィルタや干渉フィルタを用いてスペクトル整形を行ったところ、 10 dB 程度に平坦化することができた。今後は、コム光の無偏光化、広帯域な可変減衰などにより、星光と特性を合わせて分光器へ導入するための検討を進める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V238a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

端山和大 (大阪市立大学), KAGRA 共同研究者

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構、自然科学研究機構・国立天文台を共同推進機関として、国内外あわせて 60 以上の大学、研究機関の協力のもとに推進されている。重力波はアインシュタインによる一般相対性理論によって予言された時空のひずみが波動として伝播する現象で、KAGRA はそれを直接検出し、強重力場での重力理論を検証するとともに、ダイナミックな時空の変化を調べることで連星合体やブラックホール生成過程、超新星爆発といった高エネルギー天体現象の詳細を明らかにすることが目的の一つである。重力波は極めて微弱な信号であり、あらゆる雑音源を想定した対策が必要となる。KAGRA では地上に比べて地面振動が 1/100 ほどの低振動環境を実現するために、岐阜県飛騨市神岡町池の山の地下約 200m の深度に設置する。光学系を多段の振り子で防振することにより、外乱を避ける設計となっている。また、鏡の熱雑音を避けるため干渉計の 3km 腕を構成する鏡とその懸架系を 20K 程度にまで冷却する。さらにデジタル制御を用いた安定運転を行うことで、長期に渡る雑音の少ない高品質な観測データの取得を目指す。2014 年 3 月にトンネル掘削が完了し、2015 年 5 月には鏡冷却用クライオスタットの設置、干渉計の両腕の真空ダクトの設置・接続完了、クリーンブースの設置と、インストールが進んでいる。中間のステップとして、2015 年の終盤を目処に iKAGRA フェーズという設定で試験運用と短期重力波観測を行う予定である。その後、2017-2018 年から国際重力波望遠鏡ネットワークの主要な拠点として本格的な観測を開始し、年に数回の頻度で重力波イベントの検出、新しい天体現象の発見等、重力波天文学を推進していく。本講演では、上記のほか、様々なサブグループの進行状況を交えながら、KAGRA 計画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](#)

V239a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VI

阿久津 智忠 (国立天文台), 齋藤 芳男 (KEK, 東大宇宙線研), Simon Zeidler, 鳥居 泰男, 麻生 洋一, Raffaele Flaminio, 大淵 喜之, 浦口 史寛, 池之上 文吾, 都築 俊宏, 齊藤 栄, 福嶋 美津広 (国立天文台), 関口貴令, 宮川治, 上泉眞裕 (東大宇宙線研)

大型低温重力波望遠鏡 かぐら (KAGRA) は、基線長 3km のレーザー干渉計を岐阜県神岡の地下に建設するプロジェクトである。一般に、重力波は極めて微弱な信号であり、これを地上の検出器でとらえるためには、あらゆる雑音源を想定して対策をほどこさなければならない。たとえば、干渉計を構成する鏡の地面振動によるゆらぎも重力波検出器にとっては雑音源であり、これには干渉計を地面振動の静かな場所 (神岡地下) に設置し、かつ多段の防振系を用いることで対策しようとしている。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも問題となりうることから、これを避けるために、KAGRA ではメインの鏡を 20K まで冷却する予定である。この他、観測にかかるほどの大きな重力波イベントは稀であることから、これを逃さぬよう、重力波検出器は長期的に安定に運転する必要がある。たとえ干渉計の状態が悪化しても即座に復帰できるようにすることが求められる。

KAGRA 補助光学系では、干渉計内の迷光による雑音の対策や、長期安定稼働の実現に必要なサブシステムを担当している。迷光対策としては、光学バッフルやダンパの設計、製造を行っており、これらの大部分はすでに 3 km アームにインストールされている。また、長期安定稼働のためには、干渉計の光軸や個々のミラーの姿勢を安定かつ低雑音に監視し、この情報をメインの干渉計へ feedback する必要があるが、この目的で、3km 光軸に対して透過光モニター用の大型望遠鏡を用意する予定である。本講演では、これらの設計開発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](#)

V240a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における懸架系の開発

藤井善範, 関口貴令 (東京大学), 高橋竜太郎, 正田亜八香, Fabian Pena Arellano, Mark Barton, 阿久津智忠, 平田直篤, 石崎秀晴, 大石奈緒子, 麻生 洋一 (国立天文台), 奥富弘基 (総研大), 宮本昂拓 (東京大学), Ettore Majorana (INFN Rome), Joris van Heijningen (NIKHEF), Riccardo DeSalvo (Univ. Sannio), 宮川治, 上泉眞裕, 石塚秀喜, 内山隆 (東大宇宙線研), Raffaele Flaminio (国立天文台)

重力波は光速で伝播する時空の歪みであり、超新星爆発や中性子星連星の衝突合体といった激しい天体現象が起こった際に多く放出されると考えられている。現在に至るまで重力波の直接検出は成されていないが、その重力波を捉えるため基線長 3km のレーザー干渉計から成る大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設が、現在岐阜県の神岡鉱山地下にて進んでいる。KAGRA における目標は 200 Mpc 離れた 1.4 倍の太陽質量を持つ中性子星連星合体からの重力波を SN 比 8 以上で検出することである。検出原理は、重力波の到来によって時空が歪むと鏡の位置が変化するため、これに伴うレーザー光の位相の変化を干渉計から読み取る仕組みである。ただし一般に重力波により生じる時空の歪みは非常に小さいため、レーザー干渉計を構成する鏡自体が地面振動などの外乱を受けてしまうと重力波を検出することはできない。そこで KAGRA ではこの地面振動からの雑音を低減するために、レーザー干渉計を構成する鏡を防振装置より懸架し、制御を加えることで外乱による振動の鏡への伝達を抑える。KAGRA で用いる防振装置の性能を評価するため国立天文台の TAMA300 において KAGRA 用防振装置のプロトタイプを組み上げ、制御試験を行った。本講演ではその防振装置の概要の説明と、試験結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a 重力波望遠鏡 KAGRA における multi-messenger 観測への対応

正田亜八香, 大石奈緒子 (国立天文台), 藤井善範 (東大理), Raffaele Flaminio (国立天文台), 有馬司, 端山和大, 神田展行, 金山雅人, 宮本晃伸, 中尾隼人, 成川達也, 田越秀行, 田中一幸, 上野昂, 山本尚弘, 横澤孝章, 譲原 浩貴 (阪市大理), 枝和成, 伊藤洋介, 横山順一 (東大理), 廣林茂樹, 三宅恭平, 中野将也 (富山大工), 酒井一樹, 佐々木幸次, 高橋弘毅, 植木聡史 (長岡技科大), 平沼悠太, 大原謙一, 諏訪部宙, 若松剛司 (新潟大自然), 間野修平 (統数研), Jeongcho Kim, Hyung Won Lee (Inje Univ.), Chunglee Kim (Kyung Hee Univ.)

重力波は、光速で伝搬する時空の歪みであり、中性子連星合体や超新星爆発などといった激しい天体現象から多く放出されると考えられている。重力波の信号は非常に微弱なため未だ直接検出には至っていないが、現在建設が進められている大型低温重力波望遠鏡 KAGRA などによってこれらの検出が可能になると期待されている。一方、重力波だけではなく電磁波やニュートリノなど様々な手段によって同じ天体現象を同時観測すること (multi-messenger 観測) によって、ガンマ線バーストのメカニズムの特定や、中性子星の状態方程式、その合体時における元素合成過程の詳細などが明らかになり、より多様な重力波天文学が展開できると期待されている。

他国の重力波検出器 LIGO や Virgo では既に Gamma-ray Coordinate Network (GCN) を用いた multi-messenger 観測システムが試験されているが、KAGRA でも LIGO や Virgo などと協力して重力波信号のパラメータ決定を行い、これらの情報を他の望遠鏡にいち早く送信することが必要不可欠である。特に 2015 年末には、簡易的な干渉計 iKAGRA を用いたオペレーションにおいて multi-messenger 観測に必要なシステムのテストを行う予定である。本講演では、これらのシステムや multi-messenger 観測の今後の展望について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V242a

Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全般的進捗状況

郷田直輝, 小林行泰, 辻本拓司, 矢野太平, 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), 對木淳夫, 野田篤司, 歌島昌由 (SE 推進室/JAXA), 安田 進 (研究開発本部/JAXA), 石村康生, 坂井真一郎, 小川博之, 福田盛介 (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位置天文測定を行えることから、Gaia データの validation や明るい星に対する科学的成果に対して、Gaia チームをはじめコミュニティからの期待も大きい。組み立てが完了している衛星の打ち上げ実機 (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は順調に進んでいる。打ち上げ時期は国際情勢にも左右されており、不定要因があるが、新たな打ち上げ機会の可能性も出てきている。一方、小型 JASMINE は、「天の川銀河の中心に潜む巨大ブラックホールの生い立ち (形成) と未来 (銀河系中心での爆発) を星の運動 (動力学) を用いて知る。」ことをミッション要求に直結する主たる科学目的としている。そのために、年周視差を $10 \sim 20 \mu$ 秒角の精度 (固有運動は $10 \sim 50 \mu$ 秒角/年) 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) に対しても位置天文観測を行う。JAXA 宇宙研のイプシロン搭載宇宙科学ミッションの次期公募を目指し、達成目標とその成功基準やミッション要求とシステム要求の精査、さらに、重要な技術要素である衛星の熱環境設計と熱構造安定性の実証実験を精力的に進めている。以上の進捗状況の概要を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243b 小型JASMINEによる巨大ブラックホール進化の解明のための解析手法

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

次期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。今年度予定されている 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を目指し、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系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 小型JASMINE 光学系の詳細な熱歪み解析 3

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、そのためには各光学素子の温度環境に依存する変形も非常に厳しく押さえる必要がある。像の歪みに最も影響の大きい、瞳から最遠の最後の平面ミラーに関しては、短時間刻みの変形量を計算し、像歪みを十分小さく補正可能なことは確認済みであったが、構造も含めた全体の詳細な温度解析及びそれによって決まる熱歪みに関する検討は十分にはなされていなかった。

構造設計もほぼ Fix したため、全体を細かいメッシュに切って、周回軌道上の 5 点で温度分布を計算し、そこから各光学素子の熱歪みを詳細に求めた。その変形を CodeV(光学解析ソフト)上で Zernike 面としてフィッティングすることで、各温度状態での光学系を再現し、詳細な性能解析を行った。

本発表では、軌道上の 5 点の選び方や温度解析・熱歪み解析の手法を概説し、得られた各光学素子の変形と偏心データを取り込んで再現する手法、その結果として、ミラーの熱歪みは結像性能に全く影響がないこと、また若干傾きが大きいミラーもあったが、それも性能に影響しないことが明らかになったため、これら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](#)

V245b 小型 JASMINE 衛星の検出器ボックスの熱環境実証試験

白旗 麻衣、小林 行泰、上田 暁俊、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

小型 JASMINE 計画は、日本が主導する次期位置天文観測衛星であり、銀河系中心領域の星の年周視差を $10\text{--}20\ \mu$ 秒角の精度、固有運動を $10\text{--}50\ \mu$ 秒角/年の精度で決定することを目標としている。銀河系中心領域に多く含まれるガスによる吸収の影響を低減させるため、観測波長帯は近赤外線 H α バンド ($1.1\text{--}1.7\ \mu\text{m}$) とした。衛星軌道として高度 550 km の太陽同期軌道を想定しており、季節や観測対象によって衛星の熱環境が変化してしまうことが予想される。 $10\ \mu$ 秒角という位置決定精度を達成するため、観測装置の熱安定性が重要な技術課題となっている。

小型 JASMINE 衛星には、アストロメトリ用に $4\text{K}\times 4\text{K}$ の HgCdTe HAWAII-4RG アレイ、測光用に $1\text{K}\times 1\text{K}$ の HgCdTe HAWAII-RG を 2 個、搭載する。観測運用中、検出器は放射冷却とペルチェを組み合わせて、検出器の熱電流が許容範囲以下となる 180 K 以下にまで冷却し、0.7 K 以下の温度安定性を達成させる。このような熱環境を実現させるため、また常温から低温への温度変化によって生じる材料による熱収縮率の違いが検出器アライメントに影響を与えることがないように、我々は多層断熱材 MLI を巻い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。現在、検出器ボックスの熱環境性能試験モデルを製作し、チャンバー内において衛星運用時の温度環境を模擬したうえで、検出器ボックスの熱環境実証実験を行っている。本講演では、熱安定性の鍵となる多層断熱材 MLI の実効輻射率の測定結果を示すとともに、検出器ボックスの構造を紹介し、熱環境実証実験の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246a Nano-JASMINE データ解析の end to end 試験

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)

Nano-JASMINE は、2015 年末打ち上げ予定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。AGIS の Nano-JASMINE 適用性は、既に確認済みである。Nano-JASMINE の解析においては、7 月に運用訓練を行う予定となっており、IDT 部分の処理を中心に解析システム全体の動作の確認を行う。本講演では、その結果を中心にデータ解析準備の進捗状況全般を報告する。

打ち上げまでの継続的開発課題として、現状の姿勢系モデルでどの程度の姿勢 fitting が可能かを、姿勢系の様々な挙動を想定しながら引き続き検討を続けることにしている。また、データの fitting 手法やデータに含まれるノイズの取り扱いについては、IT 企業、統計数理研究所等複数の研究パートナーと検討を進めている。Hiapprosos 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](#)

V247a 東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡の建設進捗

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)

東京大学では現在、南米チリ/アタカマ高地にあるチャナントール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を建設する東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画を推進している。2012 年度に措置された補正予算により、望遠鏡および付帯設備の製造が本格的に開始された。本講演ではその現状を報告する。

主鏡、副鏡、第 3 鏡およびこれらのミラーセルは、アリゾナ大学・ミラーラボで設計・製作が完了している。現在、高地サイトに対応した主鏡アクチュエータの製作・試験や主鏡セル制御システムソフトウェアの詳細設計が行われている。望遠鏡本体、自動追尾・波面測定装置については西村製作所、京都虹光房にて設計・製作され、本体主要構成部分については組立調整が進められている。望遠鏡制御ソフトウェアについても主鏡セル制御システムに組み合わせる形で設計が進められた。

望遠鏡建設サイトであるチャナントール山山頂については利用計画を策定した。望遠鏡エンクロージャも設計を完了、基本構造の製造も終えている。また大規模な非定常数値風況シミュレーションを実施し、望遠鏡エンクロージャー内外に発生する複雑な気流の変化を高解像度で予測することに成功した。今後、建物形状や指向方向を変えたいいくつかの解析結果をもとに最終設計への修正を図る。

各種鏡の蒸着を山頂で行うための蒸着設備については、基礎実験および設計を終えている。このうち主鏡運搬用移動昇降台車と旧膜の剥離・洗浄装置は先行して製造を行い、設計値通りの性能を有していることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a 近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発進捗と運用計画

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ナントル山山頂 (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。検出器や冷却駆動系等の各コンポーネントに関しては、観測運用からの要求性能を満たしている事をこれまでに報告してきた。現在は、機能試験観測および初期科学観測をすばる望遠鏡を用いて行うために、2015 年度内のハワイ観測所への装置輸送を目指して、システムとしての動作安定性の評価と制御ソフトウェアの構築を進めている。5 月に実施した試験では、観測時と同様の環境 (冷却状態で装置が傾いた姿勢) において駆動系が正常に動作することを確認した。本講演では、光学系を搭載した結像試験等の結果も含め、総合試験から期待される観測性能のアップデートと今後の観測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](#)

V249a 中間赤外線二視野同時撮像分光装置 MIMIZUKU の開発進捗と運用計画

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, 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, 北川祐太郎, 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)

中間赤外線観測装置 MIMIZUKU は、東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5 m 赤外線望遠鏡に搭載予定の第一期観測装置の一つとして開発が進められている。本装置は二視野同時観測を実現するフィールドスタッカー機構を備える事で、地上中間赤外線観測では難しい標準星と観測天体の同時観測を実現し、リアルタイムな大気透過率の較正を行う事で測光・分光精度を向上させ、時間変動を切り口に天体周囲のダストの形成・破壊・変性過程に迫る観測を計画している。

本装置は現在、光学系の調整、検出器制御システムの開発、および装置全体の制御システムの構築を進めている。光学系の調整は過去に報告した光学系内部の鏡の白濁現象からの復旧作業であり、鏡の再製作を全て終え、アライメント作業の最終段階にある。検出器制御システムの開発では、常温・冷却部に置く回路の設計・製作を終え、これらのつなぎ込み試験を進めている。また、本装置の特徴であるフィールドスタッカー機構については、駆動時のケーブル巻き取り機構に動作不良が確認され、現在その改善作業を進めている。

これらの開発項目を今年度中に終了し、その後はすばる望遠鏡における初期科学観測運用を予定している。本格的な科学観測運用は 2017 年度を目指しており、その際に期待される観測性能の算定と観測計画についても現在更新を進めている。本講演では開発の現状と最新の装置スペック、および観測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](#)

V250a 超広視野初期宇宙探査衛星 WISH 計画

山田亨（東北大学）、岩田生、柏川伸成、児玉忠恭、田中賢幸、利川潤（国立天文台）、井上昭雄、馬渡健（大阪産業大学）、大内正己、久保真理子、鈴木尚孝、矢部清人、石垣真史、播金優一（東京大学）、太田耕司（京都大学）、河合誠之（東京工業大学）、杉田寛之、岡本篤、佐藤洋一、安藤麻紀子（宇宙航空研究開発機構）、WISH チーム

超広視野初期宇宙探査衛星 WISH は、スペースからの観測ではじめて達成可能な高感度・高解像度で広視野の近赤外線深宇宙探査を行う計画である。主たる目的として宇宙年齢が数億年の時代に相当する赤方偏移 $z=8-15$ の銀河を多数検出し、これらの天体の形成過程や宇宙再電離過程を解明することを目指す。とくに、赤方偏移 $z=10$ を越える時代の「初代銀河」と呼ぶことのできる天体の観測は、このミッションではじめて本格的な研究を進めることができる課題である。これに加えて宇宙の標準光源である Ia 型超新星の系統的な観測から宇宙の加速膨張と暗黒エネルギーの性質の解明にも挑み、これまでにない高感度の広視野赤外線撮像データを取得することで広範な天文学研究を推進することも目的とする。このための基本的なミッションとして、波長 1-5 ミクロンの近赤外線 AB 等級約 28 等の深さで 100 平方度の視野を少なくとも 6 色のフィルタで撮像する広視野かつ高感度・高解像度の観測を実現することを目指すものである。WISH 計画は、2008 年 9 月に JAXA 宇宙科学研究所・理学委員会ワーキンググループとして開始され、2015 年 2 月において、2021-2022 年の打上を目指す、JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型ミッションの公募において提案された。公募提案に際しては、合計で 220 名を超える国内・国外の研究者からのサポートレターを得た。本学会講演においては提案計画の内容について、基本的科学目標、システム検討、プロジェクト検討を紹介するとともに、WISH 計画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](#)

V251a 惑星間ダスト雲外からの宇宙赤外線背景放射観測-EXZIT/ソーラー電力セイル計画の現状-

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、臼井文彦、大坪貴文（東京大学）、大西陽介（東京工業大学）、中村良介（産総研）、森治、矢野創、岩田隆浩、川田光伸、和田武彦（JAXA）、他 EXZIT 検討チーム、ソーラーセイルWG

宇宙赤外線背景放射は、宇宙初期から現在までの天体放射の赤方偏移積分からなる。その観測により、点源観測では見落とす可能性のある空間的に広がった放射を含む天体の形成と進化を包括的に研究することができる。我々が近地球軌道の衛星や観測ロケットにより近赤外線の宇宙背景放射の観測を行なった結果、銀河系外に起源をもつと見られる背景放射成分は、既知の光源である系外銀河の足し合わせだけでは説明できないほど明るいことがわかってきた。この超過の成因について、赤方偏移 $z \sim 10$ の宇宙再電離期の放射や近傍銀河ハローの星々の可能性が議論されている。しかし、これらの解釈を検証しうる観測精度を達成するには、宇宙背景放射の約10倍の明るさをもつ黄道光（太陽光の惑星間ダストによる散乱）に由来する系統誤差の大幅な低減が必要である。

そこで、我々は、惑星間ダストが希薄な小惑星帯以遠の惑星間空間を航行する惑星探査機に望遠鏡を搭載し、宇宙赤外線背景放射を観測する EXZIT（EXo-Zodiacal Infrared Telescope）を計画している（2010年秋季年会 松浦ほか）。現在、木星トロヤ群小惑星の探査を目的とするソーラー電力セイル探査機（本年会 中村ほか）に搭載する EXZIT 観測装置、小惑星到達までの航行期間における観測計画、および、銀河系外に加えて系内や太陽系のサイエンス等を検討している。本講演では、これらの検討内容と計画の現状を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V252a 次世代赤外線天文衛星 SPICA：プロジェクト再定義

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), 他 SPICA チーム

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、「あかり」の成功を受けて実行をめざ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圧倒的な高感度を達成し、JWST と ALMA の間の波長帯での超高感度観測で、豊かで多様な宇宙をもたらした重元素に関わる天体・現象に焦点を当てた研究を実現することが目的である。当初計画が変更を余儀なくされたため、日欧の研究者チームと JAXA、ESA (ヨーロッパ宇宙機関) の共同作業で、実現性を高めるための詳細検討なされ、おおむね実現可能なミッション規模を定めることができた (2015 年春季年会 W213a)。この結果を受けて日欧の研究者チームで科学的意義を含めて検討し、口径 2.5m、望遠鏡温度 8K 以下、波長 17-230 ミクロンの中間赤外線、遠赤外線をカバーする高感度の分光機能を持つデザインをベースラインとすることとし、JAXA 各部から参加を得て新しいチーム体制で、技術検討を進めた。これに並行して日欧を中心とするコア・サイエンス検討メンバーにより、科学的意義の検討をさらに深めた。夏から秋にかけて、科学的意義の国際的評価、技術的実現性の JAXA 内評価などを得て、ESA に再提案する計画である。打ち上げは 2027-2028 年を予定している。打ち上げ後は 3 年間以上運用し、計画観測と公募観測の組み合わせによって、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。冷却システム、焦点面観測装置、および日本が担当する中間赤外線装置 (SMI) については別の講演参照のこと。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V253a 次世代赤外線天文衛星 SPICA : システム技術検討

中川貴雄 (JAXA), 芝井広 (大阪大), 小川博之, 松原英雄, 川田光伸, 片ざ宏一, 山村一誠, 塩谷圭吾, 和田武彦, 村田泰宏, 磯部直樹, 浅野健太郎, 船木一幸, 後藤健, 竹内伸介, 上野宗孝, 杉田寛之, 篠崎慶亮, 佐藤洋一, 山脇敏彦, 水谷忠均, 巳谷真司 (JAXA), 尾中敬, 河野孝太郎, 土井靖生, 左近樹 (東大), 金田英宏, 大藪進喜, 石原大助 (名古屋大), 津村耕司 (東北大), 松浦周二 (関学), SPICA Cosmic Vision M5 対応チーム

次世代赤外線天文衛星 SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) の再定義活動 (芝井等による講演を参照) の一環として行っているシステム技術検討の概要を報告する。

新しく定義された SPICA では、昨年から今年にかけて ESA CDF (Concurrent Design Facility) で行われた口径 2m、温度 6K の次世代冷却赤外線望遠鏡の総合的な技術検討結果を活用しつつ、科学目的に合致するように、望遠鏡を口径 2.5m へとやや大型化し、温度要求を 8K 以下とすることをベースラインとしている。

SPICA は日欧を軸とする国際協力で進められるが、日本担当部分の中で技術的に最も多くの検討を要するのが、科学観測機器の冷却機構である。SPICA においては、「あかり」等の冷却赤外望遠鏡で用いられてきた液体ヘリウムによる冷却は用いず、効率的な放射冷却機構と機械式冷凍機の組み合わせにより、極低温冷却を実現しようとしている。このうち、放射冷却機構については、従来の SPICA 案からデザインを大きく変更し、欧州のプランク衛星で実績のある V-grooves 構造をベースラインとする方向で検討を進めている。機械式冷凍機については、日本が戦略的に開発を進めてきた高効率の宇宙用冷凍機をベースラインとしている。

これらの技術検討により、技術的・予算的に実現性の高いミッションの構築を目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V254a **SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI : プロジェクト再定義への対応**

金田 英宏、石原 大助、大藪 進喜 (名古屋大学)、和田 武彦、川田 光伸、磯部 直樹、浅野 健太郎 (ISAS/JAXA)、左近 樹 (東京大学)、津村 耕司 (東北大学)、芝井 広 (大阪大学)、SMI コンソーシアム、SPICA プリプロジェクトチーム

SPICA 衛星プロジェクトの再定義が検討された結果、望遠鏡口径 2.5 m、望遠鏡温度 8 K 以下を、計画提案のベースラインとすることになった。この衛星プロジェクト再定義へ対応すべく、日欧間で科学的議論を繰り返し行い、中間赤外線観測装置 SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) の仕様変更を、慎重に進めてきた。前回の報告 (2015 年春季年会 W214a) からの主な変更点は、従来の中分散分光の機能の一部を制限して (波長チャンネルを 2 つから 1 つにし、視野を縮小)、新たに高分散分光の機能を追加したことである。その結果、SMI は、広視野低分散 (比波長分解能 $R = 50$; 波長 $17 - 37 \mu\text{m}$)、高感度中分散 ($R = 1000$; 波長 $18 - 36 \mu\text{m}$)、高感度高分散 ($R = 25000$; 波長 $12 - 18 \mu\text{m}$) の 3 つの特徴的な機能を有する観測装置として再規定された。この装置仕様で、今後の JAXA 内評価、および、ESA 提案に臨む。なお、中分散分光の視野を確保するための beam-steering mirror や、高分散分光の高感度検出器は、欧州の他観測装置チームの協力を得て実現する計画である。

この仕様変更によって、従来の SMI の主科学テーマ「PAH バンドなどを用いた、星生成銀河の成長史の全容を解明」に加え、「水素分子や水分子ガス輝線、鉱物や氷バンドを用いた、惑星系形成過程の理解」も主要な科学テーマとなる。本講演では、上記の新しい仕様に基づく装置設計の検討状況を報告するとともに、新しい科学テーマの一部を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V255a Grating-SAFARI – A SPICA far-IR spectrometer with improved capabilities

土井 靖生 (東大総文), Peter R. Roelfsema and the SAFARI consortium

The primary goal of the SPICA mission is to reveal the main drivers of galaxy evolution from the early universe to the present. To achieve this goal, it is important to make a systematic observation of galaxies up to $z=3$, not only the tip of the bright end but the whole galaxy populations including main-stream galaxies, and characterise their physical properties.

SAFARI (SpicA FAR-infrared Instrument) is a powerful spectrum mapping machine that covers 34–210 μm , where we can observe many important gas diagnostic lines, with a high sensitivity of $< 5 \times 10^{-20} [\text{Wm}^{-2}]$ and can observe a large number of galaxies to achieve sufficient statistical samples within a reasonable observation time. According to the revisit of the satellite configuration (Shibai et al., this meeting) and a strategic target selection by combination with the mid-infrared instrument on-board SPICA (Kaneda et al., this meeting), we plan to make SAFARI as a grating spectrometer ($R \sim 300$) with ultra-low noise ($\text{NEP} < 2 \times 10^{-19} [\text{W}/\sqrt{\text{Hz}}]$) TES detector arrays to maximise the instrument capability within the limited resources of the satellite system. SAFARI is also efficient to observe spatially extended sources (e.g., nearby galaxies) by having a beam-steering mirror to map $\sim 2' \times 2'$ with a fixed satellite attitude. A higher spectral resolution ($R \sim 3000$) is achieved by inserting a Fabry-Pérot into the optical path for observations of protoplanetary discs and so on.

We present the current technology development status and the planned activities for the ESA M5 proposal.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V256a **Development of ultra-low noise TESs onboard SPICA/SAFARI**

Toyoaki Suzuki, Pourya Khosropanah, Marcel Ridder, Richard A. Hijmering, Hiroki Akamatsu, Luciano Gottardi, Jan van der Kuur, Jian-Rong Gao and Brian Jackson (SRON)

We have been developing ultra low noise Transition Edge Sensors (TESs) based on a superconducting TiAu bilayer on a suspended silicon nitride (SiN) membrane with narrow, thin and long SiN legs. Our TESs will be used in the SAFARI instrument onboard SPICA, which has continuous spectroscopic capability in the wavelength range from 34 to 230 μm . SAFARI/TESs are required to have an electrical Noise Equivalent Power (NEP) of $\leq 3 \times 10^{-19} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ to make natural background-limited observations.

Previously, we have reported NEPs of $4 \times 10^{-19} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ for TESs fabricated by wet etching. To achieve the required NEP, further reduction of thermal conductance should be realized and thus the fabrication of narrower ($< 1 \mu\text{m}$), thinner ($< 0.25 \mu\text{m}$) and longer ($> 400 \mu\text{m}$) SiN legs is essential. Furthermore, our TESs have shown an excess noise with respect to the phonon noise that is the intrinsic noise of TESs. Based on studies of origins of the excess noise, to reduce it, we need to fabricate TESs with lighter SiN legs and membrane.

In order to realize TESs with ultra-low and phonon-noise limited NEPs, we replaced wet etching of a Si substrate by Deep Reactive Ion Etching (DRIE). With DRIE, we fabricated a large variety of TESs with very narrow ($\leq 0.6 \mu\text{m}$) and thin ($\sim 0.20 \mu\text{m}$) SiN legs and with a very thin ($\sim 0.20 \mu\text{m}$) SiN membrane. As a result, we achieved phonon-noise limited NEPs $< 2 \times 10^{-19} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$, which are below the SAFARI requirement. The lowest NEP can make the new version of SAFARI with a grating spectrometer feasible.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V257c 次世代赤外線天文衛星 SPICA : 望遠鏡と焦点面観測装置

片坐 宏一, 村田 泰宏, 浅野 健太郎 (ISAS/JAXA) 他 SPICA チーム

スペース大型極低温冷却赤外線望遠鏡である SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、当初計画が変更を余儀なくされたが、おおむね実現可能なミッションとして再定義され、口径 2.5m、望遠鏡温度 8K 以下、波長 17-230 ミクロンの中間赤外線、遠赤外線をカバーする装置を持つことをベースラインとすることになった。

望遠鏡の口径縮小を含む光学系の大幅な変更、そして科学的意義の検討の深化に伴う観測装置の仕様変更に伴って、望遠鏡光学系の再検討と観測装置の搭載構造の再検討が技術的実現可能性を示す上で重要である。また、望遠鏡口径の縮小があっても、観測装置の要求する体積には大きな変化は望めない。さらに望遠鏡の指向方向がロケット打ち上げ方向とほぼ一致する縦置き構造から、指向方向が横向きになる構造に全体構造を変えたことで観測装置の搭載場所の条件は大きく変わった。そこで、我々は技術的実現性を確かめるために望遠鏡及び焦点面観測装置の配置・マウント構造の再検討を実施している。

この検討を基にして、科学的意義の国際的評価、技術的実現性の JAXA 内評価などを得て、ESA に再提案する計画である

本講演では、この実現可能性を示すために検討中の望遠鏡光学系と観測装置のマウント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](#)

【V3. 観測機器 (X線・ γ 線)】

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [I会場]

V301a	10:54	硬 X 線偏光検出器 PoGOLite の読み出し回路の改良 大橋礼恵 (広島大学)
V302b	11:06	すざく衛星搭載 CCD カメラ XIS 検出器の高エネルギー帯域における較正精度の評価 楠絵莉子 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V303b	11:06	すざく衛星搭載 CCD カメラ XIS 検出器に生じた電荷漏れの影響と対策 水本岬希 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V304b	11:06	すざく天体カタログの開発 II 山崎廣樹 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
V305b	11:18	SPring-8 におけるマイクロパターンガス偏光計の性能評価 早藤麻美 (理化学研究所)
V306b	11:18	ISS 搭載用 GRB 偏光度検出器の開発と性能評価試験 岸川達哉 (山形大学)
V307b	11:18	PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発: 新構造モデルの製作 Kim Juyong (大阪大学)

9月10日(木) 午後(13:30-15:30) [I会場]

V308a	13:30	有限要素熱解析による Cu/Bi 多層膜吸収体を用いた超電導遷移端型マイクロカロリメータのパルス波形の検証 野田博文 (理化学研究所)
V309a	13:42	超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (2) 山田真也 (首都大学東京)
V310a	13:54	ダークバリオン探査ミッション DIOS 開発の進展状況 山崎典子 (宇宙航空研究開発機構)
V311a	14:06	汎用 4 回反射型 X 線望遠鏡の提案 田原譲 (名古屋大学)
V312b	14:18	小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡開発の現状 馬場崎康敬 (名古屋大学)
V313b	14:18	次世代 X 線望遠鏡のための CFRP ミラーフォイルの開発 IV 杉田聡司 (愛媛大学)
V314b	14:18	Ir レプリカ X 線反射鏡製作と Ni トップレイヤーの性能評価 吉川駿 (名古屋大学)
V315a	14:30	ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の現状 中嶋大 (大阪大学)
V316a	14:42	軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 NGHXT の現状 (2) 森浩二 (宮崎大学)
V317b	14:54	ASTRO-H 衛星搭載軟 X 線撮像検出器 SXI における電荷転送効率の評価とその補正結果 森浩二 (宮崎大学)
V318b	14:54	ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラの応答関数の構築 井上翔太 (大阪大学)
V319b	14:54	ASTRO-H 搭載用 X 線 CCD カメラ (SXI) の Si-K edge 前後のレスポンスの研究 丹野憧磨 (東京理科大学)
V320b	15:06	ASTRO-H 衛星搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の検出効率測定 内田裕之 (京都大学)
V321b	15:06	X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD (SXI) 用のコンタミネーション防止膜 (CBF) の開発 吉野祐馬 (東京理科大学)
V322b	15:06	NGHXT 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた多層膜成膜について 佐治重孝 (名古屋大学)
V323c		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 (2) 鶴 剛 (京都大学)
V324a	15:18	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 11: 基本性能の温度依存性について 玉澤晃希 (東京理科大学)
V325a	15:30	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 12: 開発の現状 松村英晃 (京都大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器 (X線・ γ 線)】

9月11日(金) 午前(09:30-11:30) [I会場]

V326a	09:30	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XIV	辻本匡弘 (宇宙航空研究開発機構)
V327a	09:42	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS 用ヘリウム排気系の開発現状	石川久美 (理化学研究所)
V328a	09:54	Ray-tracing による ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡の結像性能の再現	佐藤寿紀 (首都大学東京)
V329a	10:06	ASTRO-H SXT 用反射鏡の M 吸収端付近の反射率測定	倉嶋翔 (首都大学東京)
V330a	10:18	ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状打上げに向けて	中澤知洋 (東京大学)
V331a	10:30	ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器の現状と解析ソフトウェアについて	高橋弘充 (広島大学)
V332a	10:42	軟ガンマ線検出器環境試験データにおけるフラグ等を用いた動作検証	幅田翔 (広島大学)
V333a	10:54	ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線軟ガンマ線検出器における BGO アクティブシールドの応答関数の構築	大野雅功 (広島大学)
V334a	11:06	小型科学衛星 HiZ-GUNDAM 搭載を目指した X 線撮像検出器の開発 (3)	吉田和輝 (金沢大学)
V335a	11:18	初期宇宙探査 HiZ-GUNDAM 搭載へ向けた X 線撮像検出器の開発	米徳大輔 (金沢大学)
V336a	11:30	MPPC を用いた新型偏光検出器の開発と性能評価	河合謙太郎 (金沢大学)

9月11日(金) 午後(13:30-15:30) [I会場]

V337a	13:30	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (9)	窪秀利 (京都大学)
V338a	13:42	CTA 大口径望遠鏡初号機の光学系開発状況と性能評価	林田将明 (東京大学)
V339a	13:54	CTA 大口径望遠鏡 カメラの開発状況	山本常夏 (甲南大学)
V340a	14:06	CTA 大口径望遠鏡 焦点面検出器のキャリブレーションシステム開発	猪目祐介 (甲南大学)
V341a	14:18	CTA 大口径望遠鏡初号機搭載読み出し回路の開発	武田淳希 (山形大学)
V342a	14:30	GRAINE 計画:2015 年豪州気球実験報告	高橋覚 (神戸大学)
V343a	14:42	GRAINE 2015 年度豪州気球実験多段シフター解析	水谷深志 (神戸大学)
V344a	14:54	皮膜に網をかぶせた長時間飛行用スーパープレッシャー気球の開発 (NPB5-1)	斎藤芳隆 (宇宙航空研究開発機構)
V345a	15:06	電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) による Point Spread Function の設定 と感度算出法	谷森達 (京都大学)

V301a 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite の読み出し回路の改良

大橋礼恵, 高橋弘充, 河野貴文, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 PoGO-Lite チーム

ブラックホール近くの降着円盤の構造や、パルサーの放射機構を解明するためには、X 線、ガンマ線帯域における偏光観測が重要な役割を果たすと考えられているが、検出器の構造が複雑になるため、未だに観測例は少数に限られる。PoGOLite(Polarized Gamma-ray Observer-Light version) は、今までに偏光観測が行われてこなかった 25-80 keV の帯域をターゲットにした硬 X 線偏光観測ミッションである。PoGOLite の検出器は、61 本の主検出部とそれを取り囲む BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) のアクティブシールドで構成されている。主検出部は 3 種類のシンチレータの信号を 1 つの光電子増倍管で読み出す井戸型フォススイッチ型が採用されている。

PoGOLite は 2013 年 7 月にスウェーデンから約 2 週間のフライトを行い、バックグラウンドは高速中性子が非弾性散乱するイベントが支配的であることがわかった。また、読み出し回路は限られたスペースに収められたため、排熱の効率が悪く、フライト中に検出器の電源をオフしなくてはならない場面があった。PoGOLite は 2016 年夏季に再フライトを予定しており、上記の 2 点を改良するために、読み出し回路の改良を検討している。硬 X 線と中性子は蛍光の時定数の差から、アナログ回路部の積分出力波形の立ち上がり差が見られることが示唆されている。現状の ADC のサンプリングレート (37.5 MHz) では、その立ち上がり差をはっきりと見ることはできないが、100 MHz に上げることで波形弁別を目指す。また、ボード 1 枚あたりの処理チャンネル数を 2 倍してボードの枚数を減らし、風通しを良くすると共に、消費電力が少ない FPGA を使用して発熱を抑える。本講演では、ADC とアナログ回路部のテストボードで行った試験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302b **すざく衛星搭載 CCD カメラ XIS 検出器の高エネルギー帯域における較正精度の評価**

楠絵莉子, 辻本匡弘, 和田師也, 水本岬希 (ISAS/JAXA), 他 XIS チーム

すざく衛星に搭載されている軟 X 線検出器 XIS (X-ray Imaging Spectrometer) は、撮像と分光を同時に行うことのできる X 線 CCD カメラである。機器性能としてのエネルギー帯域は 0.2–12 keV であるが、これまで 10 keV 以上のデータに対しては較正精度の評価が不十分であった。そのため、多くの場合でこの帯域のデータは科学解析に使用されてこなかった。

そこで今回、我々は XIS の高エネルギー帯域データの使用可能性を検証するため、まず 10–14 keV の帯域における較正精度の現状を確認した。次に、3–79 keV に感度をもつ NuSTAR 衛星との同時観測データを解析し、スペクトルを比較した。その結果、10 keV 以上の高エネルギー帯域においても、XIS のデータは NuSTAR の結果と整合性が取れており、科学的に使用可能であると判断することができた。本講演では、今回行った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](#)

V303b **すざく衛星搭載 CCD カメラ XIS 検出器に生じた電荷漏れの影響と対策**

水本岬希, 辻本匡弘 (宇宙科学研究所), 村上弘志 (東北学院大学), 勝田哲, 中島真也, 和田師也, 堂谷忠靖 (宇宙科学研究所), 林田清 (大阪大学), 森浩二 (宮崎大学), 信川正順 (京都大学), Eric D. Miller (MIT), 他 XIS チーム

すざく衛星搭載 X 線 CCD カメラ XIS (X-ray Imaging Spectrometer) は、2005 年の打ち上げからおよそ 10 年近くにわたって軌道上で運用されてきた。XIS の性能は時間とともに変化しており、特に、微小隕石の衝突が原因だと考えられる電荷漏れの発生が大きな影響を与えている。この電荷漏れによって、2006 年 11 月には XIS2 のほぼ全領域で、2009 年 6 月には XIS0 の一部領域で、観測が行えない欠損領域が生じていた。

2015 年 3 月に、XIS0 の欠損領域が新たに拡大していることが確認された。また、それとほぼ同時期から、電荷漏れをしていない領域でも XIS0 のデータの一部が抜け落ちている現象がたびたび発生した。これは、テレメトリが飽和していることが直接的な原因であり、電荷転送効率の低下を防ぐための charge injection の電荷が何らかの理由のより漏れだしたことに起因すると推測されている。加えて、2015 年 4 月に XIS3 でも電荷漏れと思われる領域が発生していることが確認された。本講演では、これらの現象の詳細について報告するとともに、実際の観測データ解析に与える影響について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304b すざく天体カタログの開発 II

山崎廣樹 (東京大学,ISAS/JAXA), 海老沢研 (東京大学,ISAS/JAXA)

2005年7月に打ち上げられた X 線天文衛星「すざく」は、これまでに 3,000 回以上の指向観測を行ってきた。「すざく」に搭載されている X 線 CCD カメラ、XIS (X-ray Imaging Spectrometer) は、 $17' \times 17'$ の視野、約 $1'$ の点源応答関数を持ち、 $0.5 - 10$ keV で撮像観測を行う。観測目的天体は視野の中心近くに配置されるが、視野内に存在する他の天体も観測される。「すざく」の観測データはアーカイブ化されており、そのアーカイブから XIS の視野内のソース情報をまとめたカタログを作成できる。XIS の感度は XMM や Chandra の X 線 CCD カメラよりも劣るが、それらが観測していない天域では「すざく」アーカイブから新たな X 線天体が発見される可能性がある。また、X 線天体の中には大きな時間変動を示すものが多く、Chandra や XMM が観測した領域でも突発天体が発見されたり、既知の天体の時間変動を調べられる可能性がある。我々はこれらの可能性に科学的価値を見出し、「すざく天体カタログ」の開発を始めた。カタログ作成では、まず天体の自動検出が必要である。我々は、2015 年春季年会にて、ウェーブレット変換を用いた検出アルゴリズムを実装した Chandra の標準ツール “wavdetect” を「すざく」に対して利用可能であることを発表した。その後の解析により、Chandra では点源応答関数の位置依存性が大きいことが天体検出に影響してくるが、「すざく」ではその位置依存性は小さいので、天体検出に影響しないことを確認した。次に、検出器の応答関数を考慮し、イメージフィッティングを用いてデータから物理的なフラックスを見積る手法を確立した。本発表では、科学的に利用価値の高いカタログの作成方針について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305b SPring-8 におけるマイクロパターンガス偏光計の性能評価

早藤 麻美 (理研), 北口 貴雄 (広島大), 岩切 渉, 玉川 徹 (理研), 窪田 恵, 西田 和樹, 武内 陽子 (理科大/理研), 榎戸 輝揚 (京大), 武井 大, 高山 裕貴 (理研)

ブラックホールや中性子星などの天体から放射される X 線の直線偏光は、天体の強重力場、強磁場における物理状態を探る強力なプローブとなり得る。そこで我々は、天体からの X 線の偏光を検出するため、NASA/GSFC と共同で衛星に搭載するための X 線偏光計を開発してきた。この X 線偏光計はガス検出器の一種で、2–10keV に感度を持ち、121 μm ピッチ \times 128 チャンネルのストリップでイベント毎に光電子の飛跡を取得することができる。取得した光電子のイメージから、それらの放出方向分布を求め偏光度/偏光方向を測定する。

昨年我々は、偏光計のキャリブレーションや、NASA で製作したフライト相当品では行うことができない多様な試験への利用を目的として、理研にて同型の X 線偏光計を立ち上げた。新しい偏光計のデザインは NASA で製作した偏光計をベースとしている。ただし信号読み出しは、128 ch アナログ ASIC (APV25) までは共通なもの、新しい偏光計ではその後段に CERN/RD51 が開発し販売している Scalable Readout System を採用した。また、シンクロトロン放射光施設 SPring-8 のビームライン BL32B2 を利用し、立ち上げた偏光計の初期性能評価試験を行った。まずは NASA で製作した偏光計と同等の性能であることを確認し (北口 2015 春季年会)、さらに偏光感度の角度依存性、ガス圧と偏光測定精度の関係、0.5 keV 刻みのエネルギースキャンなど、これまで精査されてこなかった試験も行ったのでその最新結果を報告する。またビームラインを利用した測定以外にも、X 線発生装置の輝線を利用した無偏光の X 線に対する偏光計の検出器応答、その再現性などについて詳しく調査したので合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306b ISS 搭載用 GRB 偏光度検出器の開発と性能評価試験

岸川達哉, 郡司修一, 中森健之, 老川由馬, 上田達也, 高倉美華 (山形大), Brian Ramsey, Jessica Gaskin, Colleen Wilson-Hodge, Stephen Daigle (NASA/MSFC), Robert D.Preece (UAH), 米徳大輔 (金沢大), 三原建弘 (理研), 林田清 (大阪大), 岸本祐二 (KEK), 高橋弘充 (広島大), 谷津陽一 (東工大), 當真賢二 (東北大)

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) のエネルギー輻射メカニズムを解明するためには、GRB モデルの推定を行うことが重要だとわかった。現在有力な GRB の輻射メカニズムモデルが2つ考えられている。一つは電子が磁場に巻きつくことでシンクロトロン放射が生じ、高い偏光度が観測される確率が高い synchrotron モデル。もう一つは膨張する黒体表面から光子が散乱され、前者より低い偏光度が観測される確率が高い photosphere モデルがある。我々の目的は、GRB の有意な偏光観測例を飛躍的に増やし、統計的にモデルを検証することである。このために NASA/MSFC と共同で、Large Effective Area Polarimeter for Gamma-ray Bursts (LEAP) project を始動した。開発している偏光度検出器は、30–500 keV に感度を持ち、コンプトン散乱の異方性を利用した検出器である。検出器の基礎的性能を明らかにするために、現在のデザインの 1/4 サイズを再現したブレッドボードモデル (BBM) を製作した。そしてこの BBM をテストベンチとして使用し、回路ノイズを低減するケーブリング方法の模索や回路ゲインの最適化を進めている。また検出器の中で最も振動に弱いと考えられるマルチアノード光電子増倍管 (MAPMT) を保護するため、緩衝材の配置、種類、厚みを決定するための振動試験も行っている。以上のテスト結果を基に、現在エンジニアリングモデル (EM) を設計している。本講演では BBM で行われたテストや EM の設計について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V307b **PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発：新構造モデルの製作**

Kim Juyong, 林田清, 吉永圭吾, 上司文善, 穴吹直久, 常深博 (大阪大), 郡司修一, 中森健之 (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、10keV 以上の硬 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。これまで、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モデル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。この新モデルを動作検証の結果とともに紹介する。また、このモデルを使用して低エネルギー X 線入射の場合の反跳電子の検出効率を決めている要因を実験的に再検証し、以前のシミュレーションで仮定した各種パラメータ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](#)

V308a 有限要素熱解析による Cu/Bi 多層膜吸収体を用いた超電導遷移端型マイクロカロリメータのパルス波形の検証

野田博文 (理研)、林佑、山崎典子、満田和久 (ISAS/JAXA)

我々は、次世代 X 線天文衛星への搭載を目指し、高い検出効率とエネルギー分解能を両立できる多層膜吸収体を用いた超電導遷移端温度計 (TES) 型マイクロカロリメータを開発している。X 線検出効率の高い Bi ($\sim 120 \times 120 \times 1 \mu\text{m}^3$) の下に、熱拡散を助ける Cu ($\sim 120 \times 120 \times 1 \mu\text{m}^3$) を電析で成膜し、TES ($\sim 180 \times 180 \times 0.3 \mu\text{m}^3$) の上に多層膜吸収体を制作した (林+15)。6 keV の X 線照射試験の結果、 $\Delta E = 23.91 \pm 1.26 \text{ eV}$ (林+15) というエネルギー分解能が得られたが、パルスの立ち上がり時間が平均の $\sim 0.2 \mu\text{秒}$ から、RMS にして $0.1 \mu\text{秒}$ 程度ばらつくことが確認された。この原因を突き止め、抑えることができれば、エネルギー分解能をさらに向上できる。

我々はパルス波形のばらつきの原因を突き止めるため、Bi と Cu を $6 \times 6 \times 3$ ノード、TES を $9 \times 9 \times 1$ ノードに分割し、Bi と Cu の間および Cu と TES の間にある熱伝達率で接続した熱数学モデルを構築した。そして有限要素熱解析により、Bi の様々な位置に 6 keV の光子が入射した場合の TES の温度変化を 1×10^{-8} 秒刻みで計算し、抵抗値の変化からパルス波形をシミュレートした。Bi と Cu の間および Cu と TES の間の熱伝達率の合成値 K を、均一なまま様々に変えてパルス波形を調べたところ、 $K \sim 25 \text{ W/K/m}^2$ の時、試験で得た波形を概ね再現できた。しかし、光子の入射位置が変わっても、立ち上がり時間の違いは 1×10^{-8} 秒未満となり、波形のばらつきは再現しなかった。そこで K を、Bi および Cu の半分の面積で $\sim 25 \text{ W/K/m}^2$ のまま、残りの半分の面積を $\sim 27.5 \text{ W/K/m}^2$ と 10% 大きくすると、光子の入射位置によって立ち上がり時間に $\sim 0.1 \mu\text{秒}$ の違いが生じた。パルス波形のばらつきは、Bi と Cu または Cu と TES の熱接触が面内で不均一であることに由来する可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309a **超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (2)**

山田真也 (首都大理工), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 岡田信二, 橋本直, 野田博文 (理研), 竜野秀行 (KEK/NIST), 石元茂 (KEK), HEATES チーム

我々は、K 中間子原子からの X 線を TES カロリメータで精密分光測定し、強い相互作用と K 中間子質量の精密測定により、中性子星の内部を探るべく、宇宙と原子核の共同実験プロジェクト (HEATES) を進めている。超伝導 TES カロリメータは、ASTRO-H 衛星に搭載される半導体カロリよりも高いエネルギー分解能と多素子化を可能にし、将来のダークバリオン探査衛星 (DIOS) や 2020 年後半に期待されているヨーロッパの大型衛星 ATHENA など搭載予定の検出器である。ASTRO-H 衛星の半導体カロリメータは、JFET で信号増幅するのに対して、TES カロリメータは SQUID でマルチプレクスで読み出すなど、ハードウェア的に異なる部分があるため、ATHENA 衛星のような大型衛星で使われる前に、十分な地上実証、宇宙実証が不可欠である。

2013 年 9 月に 160 pixel の TES を用いた検出器の性能テストを NIST で行い、2014 年 10 月にスイスの加速器 (PSI) にて、TES カロリメータを用いてパイ中間子原子からの X 線の精密分光に成功した。240pixel のうち 220pixel が正常に動作し、時間分解能は $1.4\mu\text{s}$ 、エネルギー分解能は高いエネルギーに感度を持たせるために $4\mu\text{m}$ のビスマスを用いたにも関わらず全ピクセル平均で 5 eV (@6keV) を達成でき、 $\pi\text{-C}$ の 4-3 遷移からの X 線を精度よく測定することに成功した。このような原子核実験に TES カロリメータを導入したのは世界初であり、高い放射線環境化で正常に動作することが確認できたことで、宇宙応用に向けても大きく前進した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310a ダークバリオン探査ミッション DIOS 開発の進展状況

山崎典子、満田和久、竹井 洋 (ISAS/JAXA)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也 (首都大)、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。2020 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。現在は具体的なミッション提案に向け、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おり、角度分解能の向上とエネルギー範囲の最適化のために試作、測定を続けている。TES カロリメータについては、大規模アレイの製作と平行して、周波数分割による多重化読み出しの確立を行っている。また、現状での応答関数に基づき、観測シミュレーションによるサイエンスの検討をしている。特に、高速姿勢制御によって、ガンマ線バーストを背景光源として遠方宇宙でのダークバリオンによる吸収線の検出は、サイエンスと衛星リソースの最適化が必要である。国際協力も含めた実現性を高めようとしており、それらの状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311a 汎用4回反射型X線望遠鏡の提案

田原譲, 馬場崎康敬, 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) 観測用望遠鏡として開発されてきた。一方鉄K輝線を含む 10 keV 程度までのエネルギーのX線観測用に開発された望遠鏡は数メートルの焦点距離を仮定するとその有効面積は数 100cm^2 にとどまっている (例えば ASTRO-H SXT は焦点距離 6 m で 6 keV での有効面積は約 500cm^2)。しかし数メートルの焦点距離の望遠鏡に4回反射光学系を導入すると単一望遠鏡でこれまでの数倍の有効面積を期待することができる。我々はこの可能性を確認するために焦点距離 6 m を仮定し4回反射型望遠鏡の設計を行い、光線追跡法によるシミュレーションによりその有効面積を評価した。その結果 6 keV での有効面積として約 3000cm^2 が得られることがわかった。この結果はX線マイクロカロリメータの利用が本格化する ASTRO-H 以後のX線天文学にとって、精密分光の成果を最大限に引き出せる単一望遠鏡として4回反射光学系が有効なことを示している。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、重量などの機械特性を含め、従来の2回反射光学系との比較を含め議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312b 小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡開発の現状

馬場崎康敬、中道蓮、萬代絢子、田原譲、三石郁之、桜井郁也、鳥居龍晴、立花健二、叶 哲生
(名古屋大学)

銀河間物質からの面輝度が低く広がった X 線放射を観測する次世代小型衛星 DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) には、大有効面積、広視野を持つ X 線望遠鏡が必要である。DIOS の観測要求を満たす望遠鏡として、4 回反射型 X 線望遠鏡 FXT (Four-stage X-ray Telescope) が開発されている (馬場崎他 2015 年春季年会など)。FXT は、円錐近似した薄い反射鏡を多数同心円状に配置する薄板多重望遠鏡構造を持つ。

本研究では 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 FXT (ベースライン) を口径 1020 mm、焦点距離 1200 mm に拡張した望遠鏡を設計した。光線追跡シミュレータを用いて、この望遠鏡の広がった天体に対する感度 (有効面積 × 視野) のエネルギー依存性を調べた。その結果、例えば、3 keV の X 線では拡張 FXT はベースライン FXT の ~5 倍の感度を達成した。また、X 線天文学において重要な鉄輝線のエネルギー帯 (6-7 keV) においても次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載用の軟 X 線望遠鏡の ~2 倍の感度が得られ、高エネルギー側まで感度を伸ばすことに成功した。本講演では拡張 DIOS/FXT の詳細検討について言及するとともに、反射鏡開発の現状についても報告し今後の望遠鏡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](#)

V313b 次世代 X 線望遠鏡のための CFRP ミラーフォイルの開発 IV

杉田聡司, 粟木久光, 吉岡賢哉, 横田翼, 黄木景二 (愛媛大学), 松本 浩典, 宮澤拓也, 前島将人, 島直究, 國枝 秀世, 石川隆司, (名古屋大学), 浜田高嘉, 石田直樹 (玉川エンジニアリング), 秋山浩庸, 岸本 和昭 (MHI), 宇都宮真, 神谷友祐 (JAXA)

次世代 X 線観測衛星が要求する大口径・高結像性能の X 線望遠鏡を実現するため、我々は炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を基板に用いた X 線ミラーの開発を行っている。CFRP は成形に自由度があり比強度がアルミの 7 倍程度高くまた熱膨張係数も小さいため、高精度の成形に適した素材である。これまでの多重薄板型望遠鏡のミラーにはアルミ基板が用いられてきたが、これを二段一体 Walter-I 型 CFRP 基板に置き換えることによって大有効面積を保ちつつ結像性能の向上が期待できる。また CFRP は金属やガラスに比べて軽量のため望遠鏡の大型化という観点からも有望な素材である。

我々はレプリカ法を用いて二段一体型 CFRP 基板でのミラー制作を行っており、2014 年 12 月に行われた SPring-8 での実験では X 線スポットビームの反射像として、部分的ではあるが Half Power Diameter で 0.3 分角が得られた (2015 春季年会前島講演)。ミラー全体でこの性能を達成するため基板形状の更なる高精度化を試みており、成形金型の素材をアルミから熱膨張係数の小さいスーパーインバーに変更することで、加熱硬化後の降温時に発生する歪みをより小さくした基板の製作を進めている。また CFRP 基板の課題として吸湿による形状や性質の経年変化が上げられるが、基板制作時に金属箔や薄膜バリアフィルムを同時硬化することで吸湿率を大きく低減させることに成功した。本講演では CFRP を用いたミラーフォイルの開発状況と基板の吸湿試験の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314b

Ir レプリカ X 線反射鏡製作と Ni トップレイヤーの性能評価

吉川駿, 田村啓輔, 松本浩典, 田原譲, 山下広順, 宮澤拓也, 三石郁之, 佐治重孝, 小林洋明 (名古屋大学), 松本竜弦, 豊田光紀, 柳原美広 (東北大・多元研)

本研究は多層膜反射鏡を用いて鉄輝線を含む 6keV 付近に大有効面積を持つ X 線望遠鏡の開発を目的としている。数 eV のエネルギー分解能を持つ X 線マイクロカロリメーターの性能を発揮するには十分な光子数が必要であり、望遠鏡の大有効面積化が必須となる。単層膜を利用している望遠鏡では大有効面積化のために口径のみ大きくすると径の外側に位置する反射鏡では入射角が臨界角を超えるため X 線をほとんど反射しない。そこで重元素と軽元素を交互に積層することで Bragg 反射を利用し臨界角を超える入射角で十分な反射率を得られる多層膜を反射鏡に用いる。Ir/C 多層膜を用いると焦点距離 6m、口径 110cm の望遠鏡で ASTRO-H 軟 X 線望遠鏡の 6 倍以上である 2500cm^2 (@6.7keV) 以上の有効面積を見込める。望遠鏡の設計は多重薄板型を採用している。多重薄板型望遠鏡はガラスマンドレルへ反射鏡を成膜し Al-foil 基板へ転写するレプリカ法により製作されている。Ir 単層膜、Ir/C 多層膜反射鏡をレプリカ法に適応できるか試験するためフロートガラスへ成膜を行い試行したところ転写できることがわかった。そこで我々は実際の望遠鏡に使われる Al-foil 基板の Ir/C 多層膜反射鏡製作を試みたので報告する。また、Ni をトップレイヤーとすることで Ir の M 吸収端による反射率低下の抑制を試みた。名古屋大学の DC マグネトロンスパッタ装置では Ni の成膜が難しいため NiV を Pt/C 多層膜へ成膜すると 2.5 倍 (@2.6keV) の反射率上昇を確認しトップレイヤーの有用性を確認した。今回、東北大学多元物質科学研究所の協力により Ir 単層膜、Ir/C 多層膜へ Ni の成膜を行った。今回は Ni、NiV 成膜の性能比較を反射率の角度依存性、エネルギー依存性を測定、調査したので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V315a ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の現状

中嶋大、常深博、林田清、穴吹直久、薙野綾（大阪大学）、堂谷忠靖、尾崎正伸、富田洋、夏苺権、木村公、上田周太郎（ISAS/JAXA）、鶴剛、田中孝明、内田裕之、信川正順（京都大学）、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）、平賀純子（関西学院大学）、John Doty (Noqsi Aerospace)、他 SXI チーム

我々は 2015 年度打ち上げ予定の ASTRO-H 衛星に搭載される軟 X 線撮像検出器 (Soft X-ray Imager : SXI) を開発している。SXI は空乏層厚 $200 \mu\text{m}$ を有する裏面照射型 CCD 素子を採用し、 $0.4 - 12 \text{ keV}$ と広いエネルギー帯域の撮像・分光を実現する。また大面積素子を 2×2 の田の字型に配置することで、有効撮像領域は $62 \text{ mm} \times 62 \text{ mm}$ となり、X 線望遠鏡と組み合わせて、 $38' \times 38'$ の広視野を実現する。

2015 年 3 月までにサブシステムとしての機能性能試験が完了し、4 月に FM センサが衛星に組み付けられた。その後、衛星サイドパネルが閉じた状態で電気試験を行い、雑音性能の健全性や、他のサブシステムとの間の電氣的干渉が機能性能に影響しないことを確認した。並行して昨夏行われた FM 較正試験データの解析を進めており、較正データベースが揃いつつある。また年会時点までには衛星熱真空試験も終了しており、CCD を冷却した状態での分光性能を測定しているため、その試験結果の詳細も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316a

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 (2)

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), 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, 信川正順, 武田彩希 (京都), 常深博, 中嶋大, 穴吹直久 (大阪), 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。この 10 keV 以上の硬X線帯域におけ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」を探索し、それをプローブとすることで宇宙の進化を解明することにある。ミッション機器は、高角度分解能を有するX線スーパーミラーと、軟X線から硬X線を1台でカバーする広帯域X線撮像検出器から構成される。現時点で2020年代に世界に確定した硬X線ミッションは存在せず、NuSTAR, 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、設計検討の結果を中心に、開発の現状を報告する。また、NGHXTの特徴を活かすことで実現する超新星残骸や銀河団のサイエンス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](#)

V317b **ASTRO-H 衛星搭載軟X線撮像検出器 SXI における電荷転送効率の評価とその補正結果**

森浩二, 磯田依里, 武吉司, 坂田美穂, 矢野公大, 山本璃菜子, 西岡祐介, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎), 信川正順, 信川久美子, 内田裕之, 鷲野遼作, 鶴剛, 田中孝明 (京都), 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 薙野綾, 井上翔太 (大阪), 村上弘志 (東北学院), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 幸村孝由 (東京理科), 平賀純子 (関西学院), 馬場彩 (青山学院), 他 SXI チーム

ASTRO-H 衛星搭載軟X線撮像検出器 Soft X-ray Imager (SXI) は、完全空乏化型裏面照射 P チャンネル CCD を 4 素子モザイク状に配置した X 線 CCD カメラである。我々は SXI のフライト用カメラに F, Mn, Ge の X 線を照射し、CCD 素子の電荷転送効率の評価を行った。X 線 CCD 素子の電荷転送効率は、転送方向に沿って後方のピクセルに漏れる電荷量を示す「電荷トレイル」と、一回の転送で電荷を失う割合を示す「電荷転送非効率 (CTI)」を測定し定量化する。電荷トレイルと CTI により失われる電荷量は転送回数に比例して増えるが、それに加えて電荷転送効率を向上させるために周期的に注入している人工電荷の影響で、局所的な構造が見られることも確認した。これらの構造は「入射 X 線のエネルギー」「読み出し方法 (window option の有無)」「素子」に依存するが、それらを適切にモデル化し補正をおこなう必要がある。本講演では、上記の SXI における電荷転送効率の評価とその補正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 ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラの応答関数の構築

井上翔太, 林田清, 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, 信川正順 (京都大学), 森浩二 (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) の開発を行っている。SXI は、4 つの CCD 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 は空乏層厚 $200 \mu\text{m}$ の 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、その CCD 固有の確率分布に従う。この確率分布は入射 X 線のエネルギーに依存し、これを関数で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。

我々は、これまでに大阪大学・スクリーニングシステムと京都大学・回転型 X 線発生装置を用いて、SXI のフライトモデルの較正実験を行った。また、FM と性能が同等のエンジニアリングモデルを用いて、高エネルギー加速器機構 (KEK) にて較正実験を行った。これらの較正実験で取得されたデータを用いて、SXI フライトモデルの応答関数を構築した。各成分のパラメータのエネルギー依存性は、簡単な物理モデルを立て、測定値を再現できるように関数化している。この過程で、従来考慮していなかった電荷トラップ層が表面付近に必要であることがわかった。また、実験で照射した入射 X 線を単純なデルタ関数で近似するのも不適當であることも認識された。本講演では、以上のようにして構築した 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](#)

V319b

ASTRO-H 搭載用 X 線 CCD カメラ (SXI) の Si-K edge 前後のレスポンスの研究

丹野憧磨, 玉澤晃希, 吉野祐馬, 近野貴博, 幸村孝由 (東京理科大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 薙野綾, 穴吹直久, 上田周太郎, 片田修平, 井上翔太, Kim Juyong, 今谷律子 (大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 信川正順 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 近藤恵介 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大学), 森浩二 (宮崎大学), ASTRO-H SXI team

X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載する X 線 CCD カメラ (SXI) は、空乏層の厚みが 200 μm の P チャネル裏面照射型 CCD で、0.2-15keV の軟 X 線の広いエネルギー帯域の観測を行う。

Suzaku 衛星搭載 X 線 CCD カメラ (XIS) では Si-K 吸収端前後のレスポンス測定が十分に行われていなかったため、解析時に Si-K 吸収端前後のデータを省くなど、性能を十分には生かし切れていない。そこで、SXI の地上の較正実験では Si K 吸収端前後のレスポンスを詳細に求めることを重要課題としている。これまでに我々は高エネルギー加速器研究機構の放射光施設のビームライン BL-11A と 11B の 2 本のビームラインを利用し、Si-K 吸収端前後のエネルギー帯域を重点的に、0.3-3.7keV の軟 X 線帯域のレスポンスの測定を行っている。

これまでに、Si-K edge より低いエネルギー帯域では 2 つのガウシアン (メインピーク、サブピーク) と定数成分の計 3 成分、Si-K 吸収端より高いエネルギー帯域では Si-escape 成分も含めた計 4 成分でレスポンスが近似できることが分かっている。さらに詳細な解析で、Si-K 吸収端を挟み、吸収端よりエネルギーが高い帯域は、低い帯域に比べ、定数成分が不連続に増加することなどが分かり、その結果を SXI の応答関数へ取り込んでいる。本報告では、Si-K edge 付近のレスポンスの測定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](#)

V320b

ASTRO-H 衛星搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の検出効率測定

内田裕之, 河畠久実子, 鷲野遼作, 信川正順, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 森浩二, 西岡祐介, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 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, 木村公, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 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2015年度打ち上げ予定のASTRO-H衛星に搭載される軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager : SXI) の開発を進めている。CCDは空乏層厚 $200\ \mu\text{m}$ のPチャンネル裏面照射型であり、 $0.4\text{--}12\ \text{keV}$ の広いエネルギー帯域で撮像・分光を実現する。CCD素子はX線入射面に可視光を遮断するOBL (Optical blocking layer) を持つため、軟X線帯域の検出効率は100%ではない。そこで我々はSXIのフライトモデルの検出効率の測定を行った。

我々は2014年8-9月、京都大学においてSXIのフライトモデル較正試験を行った。この試験では京都大学が開発した回転型X線発生装置 (2013年度秋季年会で発表) を用いて素子の検出効率測定や応答関数構築を行った。本試験では、主にF-K α ($0.68\ \text{keV}$)、Mn-K α ($5.9\ \text{keV}$)、Ge-K α ($9.9\ \text{keV}$)の3つのエネルギーの異なる輝線をSXIに照射した。これは機上で較正線源として用いる ^{55}Fe およびその低エネルギー側、高エネルギー側の各1点ずつのデータ取得を企図したものである。回転型X線発生装置からのX線強度を予め検出効率が既知のAmptek社製SDD (Silicon Drift Detector) で測定し、これをリファレンスとしてフライトモデルの検出効率を導出した。本発表では、このX線発生装置の概要とそれを利用した較正試験の結果、および素子の検出効率測定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](#)

V321b X線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X線 CCD(SXI) 用のコンタミネーション防止膜 (CBF) の開発

吉野祐馬, 幸村孝由, 玉澤晃希, 丹野憧磨, 近野貴博 (東京理科大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 近藤恵介 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 薙野綾, 今谷律子, Kim Juyong (大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 信川正順 (京都大学), 森浩二 (宮崎大学), 佐藤雄太 (名古屋大学), ASTRO-H SXI team

X線天文衛星に搭載するX線観測機器は、衛星内部の有機物から放出されるアウトガスによるコンタミネーションによって、検出効率等の性能低下を引き起こす。特にX線CCDのように-110程度まで冷却する検出器は、アウトガスが吸着しやすくコンタミネーションの影響が大きい。今年度打ち上げ予定のX線天文衛星ASTRO-Hに搭載するX線CCD(SXI)は、コンタミネーション防護用のCBF(Contamination Blocking Filter)と呼ぶフィルターを装備する。

SXIのCBFの役割は、コンタミネーションの防護に加えて、地球大気が放射する紫外線や、天体が放射する可視光を遮光する役割もある。CBFは厚み200nmのポリイミドの両面に厚みがそれぞれ40nmと80nmのアルミニウムを蒸着したもので、ポリイミドで紫外線を、アルミニウムで可視光を遮光する。

これまでに、フライト品のCBFは音響試験で損傷がないことを確認し、X線・紫外線・可視光透過率の測定を終えた。X線・紫外線透過率の測定はKEK-PFにおいて実施し、炭素、窒素、酸素、アルミニウムのK吸収端付近のX線吸収微細構造(XAFS)を含めたX線透過率を測定することができ、O-Kで50%以上の透過率を持つことが分かった。本公演では、CBFのX線・紫外線・可視光透過率の測定結果と音響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](#)

V322b NGHXT 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた多層膜成膜について

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) 以上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、この変形を抑える方法を明らかにするために、短冊状 (30 mm × 70 mm、0.21 mm 厚) の薄板ガラス平板を用いた膜の性質調査を行ってきた。本調査では、薄板ガラスを片持ち梁にて固定し、成膜前後でのたわみ量を比較して膜の内部応力を推定した。例えば DC マグネトロンスパッタリング装置で成膜した 200 Å の Pt 単層膜では 0.63 ± 0.02 GPa、400 Å では 0.73 ± 0.06 GPa の圧縮応力が生じ、成膜面が凸に変形した。また、Ni 90 % + V 10 % の合金では 0.39 ± 0.03 GPa の引張応力で成膜面が凹に変形した。

この他に、NASA の Goddard Space Flight Center で製作された 0.4 mm 厚のガラス基板 (高さ 200 mm、 $\phi 285$ mm の 1/12 円周分の円筒形) にも 200 Å の Pt 単層膜を成膜した。製膜後の形状は、成膜前と比較して母線方向は成膜面が凹に、円周方向は成膜面が凸に変形した。成膜による結像性能の変化は 4.8 秒角相当であった。

本講演では、これまでに明らかにした反射膜の性質を報告し、反射膜の成膜、およびそれによる基板の形状変化に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323c 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 (2)

鶴剛, 武田彩希, 田中孝明 (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。これまでの検討により得られた WHXI への基本要件は下記の通りである。(1) エネルギーバンド 1-80keV, (2) ASTRO-H HXI と同等の検出器バックグランド, (3) エネルギー分解能 300eV (FWHM) 6keV, (4) 画素サイズ $100\mu\text{m}$ (2 秒角), (5) 撮像領域サイズ $20 \times 20\text{mm}^2$ (7 分角)。これを満たすための現在の最有力候補は, 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である。WHXI の開発は同じ形式を持つ ASTRO-H 衛星 HXI の設計を十二分に活かす。さらに, 軟 X 線までを同時に観測するために, ASTRO-H 衛星 SXI (CCD カメラ) の開発で得られた知見を投入する。これをベースのコンセプトに, 現在以下の項目について概念設計を行っている。(a) 読み出しシステムの構成, (b) X 線 SOIPIX 用の検出器トレイの構造 (c) その他。講演では概念設計を中心に, それぞれの検出器素子の開発の現状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](#)

V324a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 11: 基本性能の温度依存性について

玉澤晃希, 吉野佑馬, 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。

そこで我々は、より正確にXRPIXの性能を評価するために、XRPIX1とXRPIX2b_CZの2種類を用いて、基本性能の温度依存性について評価実験を行った。ただし、この実験ではバックバイアスは5Vに固定、素子温度は常温から-80度まで変更して行っている。実験結果から、読み出しノイズ、リーク電流、エネルギー分解能は、いずれも動作温度に依存しており、動作温度を-80度まで下げることにより、XRPIX1では、1.08 keV FWHM@5.95 keV(エネルギー分解能)、6.76 $e^-/\text{ms}/\text{pixel}$ (リーク電流)、110 e^- (読み出しノイズ)、XRPIX2b_CZでは、630 eV FWHM@5.95 keV、41.6 $e^-/\text{ms}/\text{pixel}$ 、52 e^- となることが分かった。また、読み出しノイズを、リーク電流起源のノイズと回路起源のノイズに切り分け、回路起源のノイズの評価も行った。解析結果より、回路起源のノイズは、温度の1/2乗に比例することが分かった。

本講演では、XRPIX1/2bとXRPIX3bの、基本性能の温度依存性の実験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a **SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発12: 開発の現状**

松村英晃, 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 伊藤真音, 大村峻一 (京大理), 森浩二, 西岡祐介, 竹中亮太 (宮崎大工), 玉澤晃希, 吉野祐馬, 近野貴博, 幸村孝由 (東理大理工), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静岡大電子工学研究所)

我々はX線CCDに代わる次世代のX線天文衛星用検出器として、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた、検出部・読み出し回路一体型のCMOSセンサー、XRPIXを開発している。XRPIXはシリコンのピクセル検出器であり、良いエネルギー分解能と位置分解能が期待できる。さらに、各ピクセルにX線入射のタイミングを判定するトリガー機能を備え、X線が入射したピクセルのみを読み出し良い時間分解能 ($\leq 10 \mu\text{sec}$) を達成する。XRPIXを取り囲むアクティブシールドを導入することで、宇宙線による非X線バックグラウンドを大幅に減らし、広いエネルギー帯域 (0.5–40 keV) の観測が可能となる。

これまでに撮像サイズ 4.5 mm 角、ピクセルサイズ 30 μm 角の素子を試作し、時間分解能 5 μsec によるイベント駆動読み出し、500 μm の空乏層の厚み、エネルギー分解能 ($E/\Delta E = 6 \text{ keV}/300 \text{ eV}$)、読み出しノイズ 35 e(rms) を実現した。現在取り組んでいる課題は、(1) 低エネルギーX線に対しても高い感度を得るため、異なる裏面処理法を用いて開発した二種類の裏面照射型素子の評価、(2) センサー部と読み出し回路の干渉を切るために導入した、酸化膜層内シリコン層 (Double SOI層) を持つ素子の評価、(3) 実観測に使用可能なサイズを持つ素子の試作である。本講演では、開発の現状とこれらの評価結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a

ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XIV

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, 小波さおり, 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), 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、サブ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。打上げを今年度に控え、今年からいよいよ衛星総合試験に突入した。本講演では、衛星組付け後の試験結果について報告する。まず、5月に1週間の電気試験を行い、衛星上他機器 (主に姿勢系アクチュエータ) との電磁的干渉を再確認、イベントしきい値を上げることでセンサーの分光性能を損なわずに対応できることを実証した。また、6-7月に3週間行う予定の熱真空試験の結果もまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327a ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS 用ヘリウム排気系の開発現状

石川久美 (理研), 江副祐一郎, 大橋隆哉 (首都大), 三石郁之 (名古屋大), 藤本龍一 (金沢大), 満田和久 (ISAS/JAXA), 村上正秀 (筑波大), 金尾憲一, 吉田誠至, 恒松正二 (住友重機械), Michael DiPiro, Peter Shirron (NASA/GSFC), 他 SXS チーム

Astro-H 衛星に搭載される軟 X 線分光装置 SXS (Soft X-ray Spectrometer) は 50 mK の極低温で動作させることで、5.9 keV で半値幅 7 eV 以下のエネルギー分解能を実現する。極低温を保つための冷媒として約 30 L の超流動 He が使用され、冗長系として機械式冷凍機が搭載される。これまでの実績から He による冷却が確実に、安心であるため、液体 He の寿命の要求は約 3 年、目標は約 5 年と容積のわりに長い。そのため He 蒸発量を 28.5 $\mu\text{g/s}$ まで抑えなければならない。これは液体 He を使った過去の宇宙ミッションの中で最も小さな値であるため、超流動 He が配管壁を伝って流出する、フィルムフローの存在が無視できず、確実に抑える必要がある。

そこで我々は「すざく」XRS (X-Ray Spectrometer) の経験を基に、porous plug と film flow killer (orifice, heat exchanger, knife edge device) から成るシステムを採用した。porous plug は無重力下における液相と気相の分離を行い、液体 He の流出を防ぎつつガスの排気を行う。ただし、微量のフィルムフローが流出するため、後の film flow killer システムでフィルムの流出を $<2 \mu\text{g/s}$ まで抑える。過去の年会で要求を満たすシステムデザイン選定に目処がついたことを報告した。その後、我々はフライトモデルの単体試験まで進み、He 蒸発量およびフィルムフローを測定した。さらに、検出器や機械式冷凍機など、全ての機器をフライトデューワーに設置後、振動試験を行い、その前後で He 蒸発量の測定を行った。これらの試験の結果、porous plug およびフィルムフロー流出抑制システムが適切に機能し、打ち上げ時の機械環境にも耐えられることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328a Ray-tracing による ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡の結像性能の再現

佐藤寿紀 (首都大学東京), 飯塚亮, 林多佳由, 前田良知, 石田學 (ISAS), 古澤彰浩 (名古屋大), 森英之 (GSFC), 菊地直道, 倉島翔, 中庭望 (首都大学東京), 岡島崇, Peter J. Serlemittos, Yang Soong, Lorella Angelini, Tahir Yaqoob (GSFC), 他 the ASTRO-H SXT team

ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡 (SXT) は 10keV 以下の X 線の集光・結像を担う望遠鏡であり、X 線 CCD (SXI) とカロリメータ (SXS) のそれぞれを焦点面検出器とする SXT-I、SXT-S の二台が搭載される。我々はこれまで、宇宙科学研究所 X 線ビームラインにおいて、これらの望遠鏡の地上較正試験を行い、この測定結果をもとに、望遠鏡特性を記述した「応答関数」の構築を行っている。実際に、測定から得られた性能を、応答関数に組み込むためには、Ray-tracing プログラムを用いる。Ray-tracing はモンテカルロシミュレータであり、計算機内で仮想的な望遠鏡を構築し、その望遠鏡に光子を降らせることによって、望遠鏡の性能を再現できる。特に結像性能を再現するには、Ray-tracing に組み込む反射鏡のパラメータとして、各ミラーによって反射された X 線の強度の角度分布とミラーの設置位置のズレの 2 つが必要となる。地上較正試験では、SXT のこれらのパラメータは望遠鏡への X 線入射位置で異なる事が分かっている (2013 年秋季、2014 年秋季天文学会 佐藤発表)。つまり、正確な性能の再現にはこれらの局所的性能を応答関数に組み込む事が必要である。そこで我々は、SXT の入射面を計 224 領域に分け、局所的領域での反射鏡パラメータの見積もりを試みた。また、そのパラメータを Ray-tracing に組み込み、シミュレーションも行った。結果として、実際の測定における結像性能 (HPD) が SXT-I、S それぞれで 1.26'、1.21' (測定誤差 0.05' 程度) であったのに対し、Ray-tracing では 1.31'、1.17' と測定誤差程度で再現する事ができた。また、これまで再現できなかった結像イメージの非対称性までも再現できるようになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V329a ASTRO-H SXT用反射鏡のM吸収端付近の反射率測定

倉嶋翔 (首都大学東京), 古澤彰浩 (名古屋大学), 佐藤寿紀, 菊地直道 (首都大学東京), 前田良知, 石田學, 飯塚亮 (ISAS), 岡島崇, 森英之 (NASA/GSFC), 松本浩典, 田村啓輔, 石橋和紀, 林多佳由, 宮澤拓也, 岩瀬敏博, 前島将人, 吉川駿 (名古屋大学)

次期 X 線天文衛星 ASTRO-H には軟 X 線帯 (0.1-10 keV) の X 線を集光する軟 X 線望遠鏡 (SXT) が 2 台搭載される。SXT はレプリカ法によって製作した金の単層膜反射鏡による全反射を用いて集光を行う。従って SXT の応答関数は、金の反射率が M 吸収端 (2-4 keV) で急激に変化する。SXT の焦点面検出器の 1 つであり、6 keV の X 線を 7 eV 以下という過去最高のエネルギー分解能で分光する軟 X 線分光器 (SXS) の性能をフルに発揮させるためにも、M 吸収端付近の反射率の複雑な構造を詳細に把握する必要がある。そこで、高輝度で安定した X 線が供給され、高分解能の二結晶分光器で X 線の単色化を行うことができる高エネルギー加速器研究機構 Photon factory BL-11B に反射鏡サンプルを持ち込み、反射鏡の M 吸収端付近の反射率のエネルギー依存性を測定した。測定は、X 線の入射角を金の臨界角周辺の 5 点で固定した 2100-4100 eV のエネルギー領域の 2 eV ピッチでのエネルギースキャン、さらに吸収の深い金の M-IV, M-V 吸収端付近 (2200-2350 eV) の 0.25 eV ピッチという細かいエネルギーピッチでのエネルギースキャンである。また応答関数へ組み込むパラメーターである光学定数のエネルギー依存性を、測定で得られた反射率曲線に Model fit を行うことで算出した。Model fit では横軸を入射角、縦軸を反射率とした角度反射率曲線のモデルを、測定を行った各エネルギーごとにフィッティングすることで M 吸収端付近での光学定数のエネルギー依存性を得た。反射鏡は単層膜であるため基板と薄膜との多重反射干渉の効果を考慮したモデルを用いた。また、測定で得た光学定数とすざくで用いられた光学定数との比較を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330a

ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状打上げに向けて

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、牧島一夫 (東大理)、田島宏康、山岡和貴 (名大 STEL)、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、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

ASTRO-H 衛星に搭載される硬 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により、5–80 keV の硬 X 線帯域で撮像分光観測を実現し、 9×9 分角の視野で角度分解能 ~ 2 分角 (HPD)、エネルギー分解能 1–2 keV (FWHM) を達成する。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) 半導体で構成されており、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 は、衛星搭載品 (Flight Model: FM) が完成し、昨年度末に衛星に搭載された。現在、2015 年度内の打ち上げへ向けて、衛星と接続された状態で、地上での衛星総合試験を実施している。また、これらの試験と平行して、解析ソフトウェアの開発と検出器応答関数の構築も着実に進んでいる。本講演では、低温での熱真空試験を含む衛星総合試験の結果、特にそこで確認された検出器性能と、解析ソフトウェアや応答関数の準備状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V331a **ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器の現状と解析ソフトウェアについて**

高橋弘充 (広大理)、田島宏康 (名大 STE 研)、深沢泰司 (広大理)、渡辺伸 (ISAS/JAXA、東大理)、大野雅功、北口貴雄、田中康之、水野恒史 (広大理)、太田方之、小高裕和、国分紀秀、佐藤悟朗、佐藤理江、武田伸一郎、林克洋、原山淳、森國城 (ISAS/JAXA)、高橋忠幸 (ISAS/JAXA、東大理)、中澤知洋、牧島一夫 (東大理)、田中孝明 (京大理)、榎戸輝揚 (理研)、片岡淳 (早大理)、谷津陽一 (東工大理)、内山泰伸 (立教大)、内山秀樹 (静岡大)、中森健之 (山形大)、山岡和貴 (名大 STE 研)、Roger Blandford, Grzegorz Madejski (Stanford 大)、田代信、寺田幸功 (埼大理)、山田真也 (首都大理工)、湯浅孝行 (理研)、米徳大輔 (金沢大)、Philippe Laurent, Olivier Limousin, Francois Lebrun (CEA Saclay), 他 SGD チーム

次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載の軟ガンマ線検出器 (SGD) は、40 keV から 600 keV において、徹底した低バックグラウンド化により、従来より 10 倍良い感度での観測を目指している。これは、(1)BGO シンチレータを用いたアクティブシールドとファインコリメータにより、光子の入射角を制限、さらに (2) シリコンとテルル化カドミウム半導体検出器を多層に重ねた主検出部で、コンプトン運動学により光子の入射方向を決定、という 2 機能を組み合わせた狭視野コンプトンカメラという独自のコンセプトにより達成される。

SGD は、昨年度のうち衛星に搭載する 2 台の検出器の製作が完了し、検出器単体での低温および熱真空試験を実施した。現在は衛星に組み上げた最終状態での衛星総合試験が行われている。検出器の試験とあわせて、観測されたデータを解析するためのソフトウェア開発も、日米共同で着々と準備されている。本講演では、SGD 検出器の現状を報告し、解析ソフトウェア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](#)

V332a 軟ガンマ線検出器環境試験データにおけるフラグ等を用いた動作検証

幅田翔, 河野貴文, 枝廣育実, 白川裕章, 北口貴雄, 大野雅功, 高橋弘充, 水野恒史, 深澤泰司 (広島大)、一戸悠人, 内田悠介, 米田浩基, 林克洋, 武田伸一郎, 渡辺伸, 高橋忠幸 (ISAS/JAXA)、山岡和貴, 田島宏康 (名大/STEL)、湯浅孝行 (RIKEN)

2015年度打ち上げ予定のX線天文衛星ASTRO-Hには、広エネルギー帯域観測を担うための軟ガンマ線検出器(SGD)が2台搭載されている。SGDには、Si/CdTeで構成される多層半導体検出器コンプトンカメラ(CC)が3台ずつ搭載されており、コンプトン運動学を利用して光子の到来方向を制限することで、徹底した低バックグラウンドを目指している。SGDは衛星搭載品の作成が現在完了しており、低温試験や熱真空試験といった各種地上動作検証、較正試験も全て完了し正常に動作していることが確認された。一方で、エネルギー較正情報や各層でのイベントデータ処理など、SGD環境試験により得られたデータの健全性をより詳細に検証する必要がある。

そこで本研究では検証の一環として、これまで取得したCC単体での低温試験及び熱真空試験のデータから宇宙線イベントの抽出を行い、殆どのイベントについて反同時係数フラグが付いていることを確認した。また、各層でのエネルギーデポジットが宇宙線の通過する際に予想される値と矛盾のないことも確認し、SGD環境試験で取得されたデータの健全性を確認することができた。この他、各種フラグを用いたバックグラウンド特性の調査も進めている。本講演では以上について、6月末に行われるASTRO-H衛星搭載上での熱真空試験で得られるデータも含めて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a

ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線軟ガンマ線検出器における BGO アクティブシールドの応答関数の構築

大野 雅功, 河野 貴文, 枝廣 育実, 白川 裕章, 大橋 礼恵, 岡田 千穂, 幅田 翔, 勝田 隼一郎, 田中 康之, 高橋 弘充, 水野恒史, 深沢 泰司 (広島大), 村上 浩章, 小林 翔悟, 三宅 克馬, 小野 光, 室田 優紀, 中澤 知洋, 牧島 一夫 (東京大学), 三村 健人, 片岡 淳 (早稲田理工), 一戸 悠人, 内田 悠介, 桂川 美穂, 米田 浩基, 武田 伸一郎, 佐藤 悟朗, 佐藤 理江, 川原田 円, 原山 淳, 小高 浩和, 林 克洋, 太田 方之, 渡辺 伸, 国分 紀秀, 高橋 忠幸 (ISAS/JAXA), 木下 将臣, 山岡 和貴, 田島宏康 (名大/STEL), 谷津 陽一 (東工大), 内山 秀樹 (静岡大), 斉藤 新也 (立教大), 湯浅 孝行 (RIKEN), 他 HXI/SGD チーム

ASTRO-H 衛星に搭載される硬 X 線撮像検出器及び軟ガンマ線検出器は、主検出器を BGO アクティブシールドで取り囲むことで徹底的にバックグラウンドを除去し、過去最高感度の観測を実現する。これまでで、衛星搭載品を用いて、低温、熱真空環境下における地上較正試験を行うことでアクティブシールドとしての性能が設計通りであることが確認できた。次のステップとして、各種較正試験で取得した実測データに基づいて、アクティブシールドだけでなく自身の全天モニタとしての機能を再現するための応答関数を構築する必要がある。現状で、エネルギー分解能やゲイン、エネルギースレシヨールドといった一般的なガンマ線応答情報を取り込んだモンテカルロシミュレーターを用いて、光電吸収に対応したガンマ線応答を 10%ほどの精度で再現することに成功した。本講演では、ガンマ線反応位置に対応した光量の変化やトリガー生成効率など、我々の BGO アクティブシールド特有の応答を取り込むことでより精度のよいガンマ線応答の構築を行った結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334a 小型科学衛星 HiZ-GUNDAM 搭載を目指した X 線撮像検出器の開発 (3)

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達也, 加川保昭, 伊奈正雄, HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) は、初期宇宙を探るための光源として利用されている。我々は、GRB を利用して赤方偏移 $z > 7$ で起きた宇宙再電離や重元素合成、星形成歴などの現代宇宙論の重要課題に挑戦するため、小型科学衛星 HiZ-GUNDAM を計画している。

金沢大学ではこれまで、数 keV の X 線で輝く高赤方偏移 GRB を検出し、その到来方向を決定するための広視野 X 線撮像検出器の開発を行ってきた。方向決定には広い視野で角度分解能が良いコーデッドマスクを用いる。1-20keV の X 線読み出しを実現する検出器として、1次元のストリップ状に電極が配置されたシリコン半導体検出器 (SSD) とその読み出しに特化した信号増幅率の高い集積回路 (ASIC) を用いている。現在、2014 年度に行った ASIC 初号機の性能評価を考慮して開発した、ASIC 二号機の動作試験・性能評価を行っている。二号機は回路シミュレーションによってアナログ信号の積分時定数が最適化されており、2keV 以上の X 線しか読み出せなかった初号機に比べ、より低いエネルギーの X 線読み出しが期待できる。また、新たに5つの DAC を内蔵するなど回路機能を拡張している。

本講演では、この ASIC 二号機の開発状況とこれまで若狭湾エネルギー研究センターで行ってきた ASIC に対する粒子線照射実験について報告する。プロトン照射試験では軌道上 7.2 年分の照射に対して、性能の劣化は見られなかった。炭素イオン照射では、放射線によるレジスタのビット反転が起きるシングルイベントアップセット (SEU) が軌道上 260 万年分の照射で 2 回発生、断面積にして $2.2 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{carbon}/\text{chip}$ であった。いずれの結果においても、衛星上で十分に動作可能であることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a 初期宇宙探査 HiZ-GUNDAM 搭載へ向けた X 線撮像検出器の開発

澤野達哉, 米徳大輔, 吉田和輝, 加川保昭, 伊奈正雄 (金沢大学), ほか HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

我々は、宇宙再電離の変遷や最初の元素合成など初期宇宙の化学進化の解明を目的とした人工衛星計画 HiZ-GUNDAM 計画を進めている。HiZ-GUNDAM はガンマ線バースト (GRB) を初期宇宙探査のプロープとして用い、広視野 X 線撮像検出器と近赤外線望遠鏡を小型衛星に搭載する。宇宙論的赤方偏移を強く受け X 線帯域で輝く GRB の初期放射を広視野 X 線撮像検出器で 10 分角程度の精度で捉え、近赤外線望遠鏡による残光の測光観測で高赤方偏移 GRB であるかどうかを判別、15 分以内にアラート情報を出す。

広視野 X 線撮像検出器として、現在 1 次元シリコンストリップ検出器 (SSD) とタンゲステンマスク、および信号読み出しに金沢大学で開発中の ASIC を組み合わせたコーデッドマスク撮像検出器の開発を行っている。昨年度、 $300\ \mu\text{m}$ の電極ピッチをもち $3.2\ \text{cm} \times 2\ \text{cm}$ の幾何面積をもつ小型の SSD 素子を用いてミニチュアカメラモデルを制作し、1 度の角度分解能を達成した。今回、マスクとセンサーの距離を従来 of 10 倍近く離し角度分解能が十数分角となる幾何学的セットアップでの原理実証撮像試験を行った。また、制作した SSD の電荷収集効率について評価を行った。本講演では、X 線撮像検出器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](#)

V336a MPPC を用いた新型偏光検出器の開発と性能評価

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 億光年以上遠方の宇宙で発生する爆発現象である。数秒～数十秒という短時間に大量のガンマ線を放出し、その総エネルギーは 10^{52} erg にも達する。GRB の標準理論となっている火の玉モデルによると、GRB の放射は、衝撃波により加速された電子が強磁場中で曲げられ発生するシンクロトロン放射によるものと考えられている。シンクロトロン放射で輝くならば、偏光が観測されるはずである。我々の研究目的は、偏光観測によって GRB 内部の磁場構造や、放射メカニズムを解明することである。2010 年に打ち上げられた IKAROS に搭載した検出器 GAP により強い偏光が検出されており、今後はより詳細な偏光観測が望まれる。

我々は 2020 年代前半の打ち上げを目標に計画されている木星圏探査用ソーラーセイルへの搭載を目指して、次世代の偏光検出器の研究開発を行っている。散乱体として 36 本のプラスチックシンチレータ、吸収体として 28 本の CsI シンチレータを MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) で読み出す、マトリクス型偏光検出器を開発した。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、小型、軽量、低電圧動作といった利点を持ち、衛星搭載に適している。

本講演では、検出器の製作および、高エネルギー加速器研究機構にて高い偏光度を持ったビームを照射する偏光観測実験を行い、実験とシミュレーションを比較し性能評価を行った結果を報告する。GAP と比較してモジュレーションファクタで 2 倍程度の向上が確認できている。また、数 keV の低エネルギーからの検出を目指し、MPPC の読み出し回路の改善を検討しているため、その進捗を交えた開発の現状を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告（9）

窪秀利（京都大学），手嶋政廣，戸谷友則，林田将明，吉越貴紀（東京大学），井岡邦仁（KEK），田島宏康（名古屋大学），山本常夏（甲南大学），吉田龍生（茨城大学），他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による天体観測は、大口径・ステレオ化した大気チェレンコフ望遠鏡アレイ (HESS、MAGIC、VERITAS、CANGAROO) によって飛躍的に発展し、検出天体数は、銀河系内外合わせて160を超え、天文学の新たな一分野を形成した。さらに発展すべく、我々は、日欧米を中心に29か国の国際共同により、次世代超高エネルギーガンマ線天文台 CTA (Cherenkov Telescope Array) の建設へ向けて準備を進めている。CTA 計画では、大 (23 m)・中 (10-12 m)・小 (4 m) 口径の望遠鏡計約100台からなる、世界で一つの大規模チェレンコフ望遠鏡アレイを南・北半球に建設し、現状より一桁以上高い感度 (かに星雲強度の0.1%)、広いエネルギー領域 (20 GeV から 100 TeV 以上)、高い角度分解能 (1 TeV で2分角:従来の3倍) で全天を観測する。CTA によって、銀河系内外から1000を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体現象 (活動銀河核、スターバースト銀河、ガンマ線バースト、超新星残骸、パルサー・星雲、コンパクト連星、銀河中心、拡散ガンマ線など) のガンマ線放射機構および高エネルギー粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、銀河間空間でのガンマ線吸収を用いた赤外可視背景放射測定による星形成史の研究、ダークマターの探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論、基礎物理までその研究の範囲は広がる。現在、プロトタイプ望遠鏡の建設及び系内外サーベイを含めた長時間観測計画の詳細検討が進んでおり、本講演で CTA 計画全体の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V338a

CTA 大口径望遠鏡初号機の光学系開発状況と性能評価

林田将明、稲田知大、岩村由樹、加藤翔、手嶋政廣、中島大輔、花畑義隆、深見哲志 (東大宇宙線研)、小野祥弥、加賀谷美佳、片桐秀明、重中茜、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)、奥村暁 (名大STE研、MPIK)、野田浩司 (MPI for Physics) 他 CTA-Japan Consortium

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は、主鏡口径の異なった複数の種類の撮像型大気チェレンコフ望遠鏡数十台を array 状に配置し、20 GeV から 100 TeV 以上の帯域にて現状より一桁以上優れた感度を持つ観測装置完成を目指して、全世界 1000 人以上が参加する国際共同研究である。日本は、20 GeV からの観測実現に必要な主鏡口径 23 m を持つ大口径望遠鏡 (Large Size Telescope: LST) の開発を主導している。スペイン、カナリア諸島ラパルマ島にて 2016 年度中の LST プロトタイプ (初号機) 建設完了を目指し、各エレメントの生産・性能評価が急ピッチで進んでいる。LST 光学系は日本が開発を担当している。主鏡には辺辺が 1.51m の六角形の分割球面鏡約 200 枚が焦点距離 28 m の放物面状に配置されるが、我々と「三光精衡所」が共同で開発した日本製の分割鏡が採用される。これまで数十枚の鏡が生産され、鏡面精度試験、屋外使用に対する表面膜 (反射率) 耐候性試験、環境試験 (温度、振動) 等の性能評価を実施している。また、望遠鏡の構造体はカーボンファイバーチューブを用いた軽量柔構造であるため構造体のたわみにより分割鏡の光軸にずれが生じる。そのため、構造体と繋がる分割鏡背面の連結部にアクチュエータを搭載し、個々の分割鏡の向きを観測中に能動的に補正するシステム『Active Mirror Control』を備えている。本講演では、LST の光学系デザインを紹介し、LST プロトタイプ建設に向けた日本の光学系開発状況とその成果・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](#)

V339a CTA 大口径望遠鏡 カメラの開発状況

山本常夏, 猪目祐介, 掃部寛隆 (甲南大), 大岡秀行, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明 (東大宇宙線研), 窪秀利, 今野裕介, 斎藤隆行, 土屋優吾, 畑中謙一郎, 増田周 (京大理), 寺田幸功, 松岡俊介, 永吉勤 (埼玉大理), 郡司修一, 武田淳希, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大理), 澤田真理, 坪根善雄, 馬場彩 (青山大理), 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明 (茨木大理), 梅津陽平, 櫛田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 他 CTA-Japan Consortium

ガンマ線や宇宙線など高エネルギー粒子が地球大気に突入すると大気分子と衝突して多数の電子からなる空気シャワーを生成する。空気シャワー中の電子は大気中でチェレンコフ光と呼ばれる紫外線を放射する。チェレンコフ光は、厚さ数 ns 程度、直径約 100 m の円盤状になり地上に到達する。この円盤状の紫外線を集光し地上から宇宙をガンマ線で観測する装置をチェレンコフ望遠鏡と呼ぶ。CTA 計画で開発が進む大口径チェレンコフ望遠鏡は宇宙で起こっている高エネルギー現象を高精度で観測するために 23m 口径の紫外線反射鏡を備えている。この大口径望遠鏡を 4 台配置し、さらに小型のチェレンコフ望遠鏡を数 10 台従え観測を行う計画である。例えば、数 GeV のガンマ線から生成される空気シャワーを測定した場合、焦点面に届くチェレンコフ光子数は 23m 口径の鏡を使っても 100 個を超える程度である。パルス状で届く光なので露光時間を長くしても夜光によるノイズが増えるだけで感度が上がらない。そのため大口径チェレンコフ望遠鏡に搭載するカメラは正確な光学系、紫外線光子に対する高い検出効率 (波長 400nm の紫外線に対し約 40%)、それに 1 GHz の高速撮像能力を備えている。また鏡を含め風雨にさらされた状態に置かれるため、カメラは密閉構造で効率的に熱を排出するシステムを持つ。本公演ではこの大口径チェレンコフ望遠鏡のカメラ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](#)

V340a

CTA 大口径望遠鏡 焦点面検出器のキャリブレーションシステム開発

猪目祐介, 掃部寛隆, 山本常夏 (甲南大理), 石尾一馬, 大岡秀行, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 林田将明 (東大宇宙線研), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 寺田幸功, 松岡俊介, 永吉勤 (埼玉理), 梅津陽平, 櫛田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明, (茨城大理), 窪秀利, 増田周 (京大理), 郡司修一 (山形大理), 澤田真理, 馬場彩 (青山大理), 他 CTA-Japan Consortium

高エネルギー宇宙物理学の更なる発展を目指して現在、Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画が国際共同実験として進行している。この計画は異なる口径を持つ3種類のチェレンコフ望遠鏡を複数設置して高エネルギーガンマ線を観測する計画である。日本グループはその中でも大口径望遠鏡 (LST) の開発に大きく関わっており、LST用焦点面検出器の開発を行っている。この焦点面検出器にはLST 一台あたり約2000本の光電子増倍管 (PMT) が検出素子として搭載される予定であり、このPMTには厳しい要求性能が課されている。我々はこの全PMTについて動作試験および性能評価を行うための測定装置を開発し、試験及び評価結果のデータベース化を行ってきた。この結果はLST用焦点面検出器に搭載する各PMTの配置を最適化するために用いられる。本講演では、PMTの試験及び評価結果から得られた特性分布を中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341a CTA 大口径望遠鏡初号機搭載読み出し回路の開発

武田淳希, 中森健之, 郡司修一 (山形大), 窪秀利, 齋藤隆之, 増田周, 今野裕介, 畑中謙一郎, 谷川俊介 (京都大), 石尾一馬, 大岡秀行, 中嶋大輔, Daniela Hadasch, 林田将明, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 手嶋政廣 (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 折戸玲子 (徳島大), 片桐秀明 (茨城大), 田中真伸 (KEK 素核研), 山本常夏 (甲南大), 他 CTA-Japan Consortium, 池野正弘, 内田智久 (Open-It)

宇宙線の起源や粒子加速機構の解明などを目指し、Cherenkov Telescope Array (CTA) という超高エネルギーガンマ線天文台の開発が国際協力が進められている。CTA 計画は、北半球・南半球の両サイトに約 100 台の大小の望遠鏡を建設し、20 GeV から 100 TeV 以上のガンマ線を従来の 10 倍高い感度で全天観測を行う。日本のグループは、主に大口径望遠鏡の設計に大きく関わっている。CTA を構成する望遠鏡は、ガンマ線空気シャワーからのチェレンコフ光を測定する。夜光に埋もれたチェレンコフ光量を精度よく測定をするために、GHz の非常に高速で光電子増倍管の波形をサンプリングする読み出し回路基板を我々は開発してきた。そして今年度より大型望遠鏡初号機の建設が始まる。初号機に使用される回路基板は 200 枚を超える。望遠鏡の性能を担保するためには基板の全てが要求性能を満たしていることを確認する必要がある。我々は読み出し回路に搭載されたテストパルス生成機能を用いた、回路基板単体での全数受け入れ試験を行っている。ここではゲインやノイズレベルの評価に加え、部品の不具合やはんだ不良などの初期不良品の検知を目的としている。本講演では受け入れ試験の結果と進捗状況を中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V342a

GRAINE 計画:2015 年豪州気球実験報告

高橋 寛, 青木 茂樹, 尾崎 圭太, 小坂 哲矢, 柴山 恵美, 鈴木 州, 立石 友里恵, 田輪 周一, 原 俊雄, 水谷 深志, 山田 恭平 (神戸大学), 児玉 康一 (愛知教育大学), 斎藤 芳隆, 田村 啓輔, 濱田 要, 吉田 哲也 (ISAS/JAXA), 佐藤 禎宏, 手塚 郁夫 (宇都宮大学), 伊代野 淳 (岡山理科大学), 石黒 勝己, 大塚 直登, 河原 宏晃, 北川 暢子, 駒谷 良輔, 小松 雅宏, さこ 隆志, 佐藤 修, 中 竜大, 中塚 祐司, 長縄 直崇, 中野 敏行, 中村 光廣, 丹羽 公雄, 宮西 基明, 森島 邦博, 吉本 雅浩, 六條 宏紀 (名古屋大学)

宇宙高エネルギーガンマ線の観測は、宇宙における高エネルギー現象に対して直接的な知見をもたらす。現在、フェルミ衛星 LAT 検出器によって、宇宙高エネルギーガンマ線観測は大きく進展している。これまでに 3000 以上のガンマ線源が検出されており、そこから多くの知見が得られている。また一方で、新たな課題も浮かび上がってきている。天体観測において決定的に重要な性能のひとつである角度分解能や、これまで未観測である偏光感度の改善は、この帯域における観測を新たなステージへと導く。我々は、優れた角度分解能 ($0.08\text{deg}@1\text{-}2\text{GeV}$)、及びガンマ線直線偏光に感度を持つ、大受光面積 ($\sim 10\text{m}^2$) のエマルジョンガンマ線望遠鏡により、長時間気球フライト ($\sim 7\text{days}$) を繰り返し、宇宙高エネルギーガンマ線観測 ($10\text{MeV}\text{-}100\text{MeV}$) を目指す (GRAINE 計画)。2015 年 5 月に、アリススプリングス気球放球基地にて、日豪での JAXA 大気球実験をおこない、受光面積 3600cm^2 で、14.4 時間の気球フライトに成功した。本実験において、実際に既知の明るいガンマ線天体である Vela パルサーを撮像観測し、望遠鏡のオーバーオールでの性能実証を目指すとともに、最高解像度での観測開始を目指す。本講演では GRAINE 計画の概要および現状、そして 2015 年気球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](#)

V343a

GRAINE 2015 年度豪州気球実験多段シフター解析

水谷 深志, 青木茂樹, 尾崎圭太, 小坂哲矢, 柴山恵美, 鈴木州, 高橋覚, 立石友里恵, 田輪周一, 原俊雄, 山田恭平 (神戸大学), 児玉 康一 (愛知教育大学), 斉藤 芳隆, 田村 啓輔, 濱田 要, 吉田 哲也 (ISAS/JAXA), 佐藤 禎宏, 手塚 郁夫 (宇都宮大学), 伊代野 淳 (岡山理科大), 石黒 勝己, 河原宏晃, 北川暢子, 駒谷良輔, 小松雅宏, さこ隆志, 佐藤修, 鈴木和也, 中竜大, 中塚祐司, 長縄 直崇, 中野敏行, 中村光廣, 丹羽公雄, 宮西基明, 森島邦博, 吉本雅浩, 六條宏紀 (名古屋大学)

宇宙ガンマ線の観測は宇宙で起こる高エネルギー現象に関する情報を我々に与える。現在、宇宙ガンマ線の観測をリードしている Fermi-LAT は4年間の観測で3000を超えるガンマ線天体を検出し、宇宙ガンマ線の観測をガンマ線天文学と呼ぶにふさわしい段階へと発展させた。一方で、発見された天体の約3割が他波長との対応がとれない未同定天体であることなど多くの課題が浮かび上がっている。そこで我々は最も高い空間分解能を有する原子核乾板からなるエマルジョン望遠鏡による宇宙ガンマ線の精密観測・偏光観測を目指す気球実験を GRAINE として進めている。エマルジョン望遠鏡のユニークな機構として多段シフターがある。多段シフターは本来時間情報を持たない原子核乾板に時間情報を与えるために開発された機構である。複数のステージをアナログ時計の時針・分針・秒針のように異なる周期で動かすことで、時刻毎に独立なステージの位置関係を構成する。解析時にはステージに貼付けた原子核乾板に記録された飛跡情報から飛跡記録時のステージの位置関係を再構成し、飛跡に時間情報を与える。GRAINE は2015年5月12日にオーストラリアにおいて2度目の気球実験を行った。本実験ではガンマ線で最も明るい天体である Vela pulsar の結像、エマルジョン望遠鏡の性能実証、Vela pulsar の位相分解などを目的とした。本講演では豪州実験に用いた多段シフターの解析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](#)

V344a 皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の開発 (NPB5-1)

齋藤芳隆, 後藤健 (ISAS/JAXA), 中篠恭一 (東海大), 秋田大輔 (東工大), 田村啓輔 (名大), 大谷章夫 (岐阜大), 松嶋清穂, 田中茂樹, 橋本紘幸 (藤倉航装 (株)), 島津繁之 (ナカダ産業 (株))

現状の気球実験においては飛翔時間が長くても数日程度に限られているが、その制限を越え、数カ月程度、飛翔できるスーパープレッシャー気球 (SP 気球) の開発を進めている。最終目標は、重量 1 トンの観測装置を搭載し、高度 37 km を飛翔できる体積 300,000 m³ の SP 気球を実現することである。SP 気球の概念自体は気球発祥時まで遡るが、大型気球の実用化には至っておらず、開発途上の気球である。また、これまでに開発が進められてきた SP 気球は、同体積のゼロプレッシャー気球 (ZP 気球) と比較すると 1.6 倍程度重く、飛翔高度 37 km を実現するには巨大な気球が必要となり、硬 X 線観測や宇宙線観測には不向きである。我々は、2010 年に高張力繊維でできた菱形の目の網を薄いフィルム製の気球皮膜にかぶせるという新しい方法を見出し、理論的には軽量で高耐圧の気球が実現できることを示した。以後、体積 10 m³ の気球試作から順次、気球の大型化を進め、地上膨張試験により手法の実証、具現化方法の確立を進めている。2012 年には体積 3,000 m³ の SP 気球と体積 15,000 m³ の ZP 気球とのタンデム気球システムを飛翔させ、400 Pa の耐圧性能を実証した。2013 年には体積 10 m³ の気球を飛翔させ、最大差圧 6,230 Pa に耐えることを実証し、フィルムの安全率 63 倍、網の安全率 1.6 倍が確保されていることを確認した。本講演ではこれまでの開発の経緯を報告すると共に、体積 5,000 m³ の SP 気球の地上膨張試験結果、および、今後の開発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](#)

V345a **電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) による Point Spread Function
の設定 と感度算出法**

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 MeV ガンマ線天文学の開拓を目的にガスを用いた電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡を開発してきた。今年コンプトン散乱電子飛跡の方向決定精度が大きく改善、普通の望遠鏡と同じように Point Spread Function (PSF) が定義出来るようになり、コンプトンカメラで広く用いられた画像最適化アルゴリズム MLEM 法を用いずに数度以下の PSF が実現できることがわかった。これにより有効面積と PSF から一般の望遠鏡と同じく信頼度の高い感度が決定出来る。さらに現在の ETCC 技術を発展させれば 1mCrab(10^6 秒) の感度の実現の可能性が高いことを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【X. 銀河形成】

9月9日(水) 午前(11:00-13:00) [E会場]

X01a	11:48	3次元輻射流体計算による非等方背景輻射場中の球状星団形成過程の研究 安部牧人(筑波大学)
X02a	12:00	COBE/DIRBEによる近赤外線1-5 μm 系外背景光の再測定 佐野圭(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
X03a	12:12	Noise-based galaxy detection and segmentation Mohammad Akhlaghi(Tohoku Univ.)
X04a	12:24	HSC photometry test using red-sequence galaxies 西澤淳(名古屋大学)
X05b	12:36	The Bright-End of the Galaxy UV Luminosity Function Revealed by the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey 小野宜昭(東京大学)
X06b	12:36	Lyman Break 銀河スペクトル中に発見された赤方偏移3.3のDamped Ly α system 馬渡健(大阪産業大学)
X07b	12:36	キューサー吸収線で探る $z=3$ 原始銀河団内の中性水素と重元素ガス 向江志朗(東京大学)
X08c		レンズキューサーを用いた多視線分光観測によるCGMの空間分布調査 小山田涼香(信州大学)

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [E会場]

X09a	15:00	非平衡化学反応を考慮した銀河シミュレーションによる多相星間ガスの性質 馬場淳一(東京工業大学)
X10a	15:12	4000 Å ブレイクの強さと星質量に対する分子ガスの割合との関係 II 諸隈佳菜(国立天文台)
X11a	15:24	The FMOS-COSMOS survey: Exploring the ISM properties of high- z active galaxies 柏野大地(名古屋大学)
X12a	15:36	$z \sim 0.9$ のAKARI-FMOS赤外線銀河の星質量-金属量-星形成率関係 大井渚(宇宙航空研究開発機構)
X13a	15:48	階層的化学進化モデルによる r 過程元素の中性子星連星起源説の検証 小宮悠(東京大学)
X14b	16:00	銀河形成モデルで探る星間ガスの宇宙論的進化史 真喜屋龍(東京大学)
X15b	16:00	化学進化シミュレーション用ライブラリ CELibの開発 斎藤貴之(東京工業大学)
X16b	16:00	星の年齢-速度分散関係に対するシミュレーション分解能の影響 熊本淳(東北大学)
X17a	16:12	AGN feedback to low-mass galaxy formation at high redshift 菊田智史(総合研究大学院大学)
X18a	16:24	JVNによる複数銀河核の高空間分解能探査観測: 低赤方偏移の電波銀河 日浦皓一郎(北海道大学)
X19a	16:36	$z \sim 3$ のQSO9天体で探る超巨大ブラックホールと母銀河の共進化 濟藤祐理子(総合研究大学院大学/国立天文台)

9月10日(木) 午前(09:30-11:30) [E会場]

X20a	09:30	Cold dark matter モデルにおける cusp-core 問題と too-big-to-fail 問題の関連性 加藤一輝(筑波大学)
X21a	09:42	ダークハロー面密度の普遍性とダークマター理論への制限 林航平(東京大学)
X22a	09:54	Connecting dark matter halos with massive galaxies in the BOSS survey 斎藤俊(東京大学)
X23b	10:06	$z \sim 4$ における銀河サイズとダークハローの関係 岡村拓(東京大学)
X24b	10:06	すばる/HSCとハッブル望遠鏡で探る $z \sim 4-7$ の銀河・ダークハロー関係 播金優一(東京大学)
X25b	10:06	4つのHubble Frontier Fields銀河団の質量分布モデルの構築 川俣良太(東京大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X26a	10:18	ダストサイズ分布の進化の統計的予言とその減光曲線進化への応用	平下博之 (台湾中央研究院)
X27a	10:30	ダストのサイズ分布を考慮した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)
X28a	10:42	ダスト存在下での輻射性フィードバックにおける輻射圧と光電離の役割	一色翔平 (北海道大学)
X29a	10:54	大質量銀河における低質量星によるダスト加熱と受動的進化	鍛冶澤賢 (愛媛大学)
X30a	11:06	$z \sim 0-3$ の星形成銀河のダストジオメトリー: 新しい紫外減光モデル	日下部晴香 (東京大学)
9月10日 (木) 午後 (13:30-15:30) [E会場]			
X31a	13:30	北黄極ディープサーベイ領域の Dust Obscured Galaxies の物理的性質	松原英雄 (宇宙航空研究開発機構)
X32a	13:42	WISE と SDSS を併用した Extremely IR luminous Dust Obscured Galaxies 探査	鳥羽儀樹 (愛媛大学)
X33a	13:54	SXDF-ALMA 1.5 arcmin ² deep survey. A compact dusty star-forming galaxy at $z=2.5$.	但木謙一 (Max-Planck-Institut fuer extraterrestrische Physik)
X34a	14:06	ALMA による SDP.81 の高分解能観測 I. - 30 ミリ秒角画像でさぐる重力レンズ銀河の中心質量分布	田村陽一 (東京大学)
X35a	14:18	ALMA による SDP.81 の高分解能観測 II. - 重力レンズされた $z = 3.042$ サブミリ波銀河の分子ガスクランプの性質	廿日出文洋 (国立天文台)
X36a	14:30	SMGs with extremely red optical/near-infrared colors revealed by ALMA	Soh Ikarashi (Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen)
X37b	14:42	<i>Herschel</i> 宇宙望遠鏡分光データの stacking 解析によるサブミリ波銀河の物理化学状態の制限	山口裕貴 (東京大学)
X38b	14:42	ALMA で迫る遠方星形成銀河のダスト放射性質	藤本征史 (東京大学)
X39b	14:42	遠方銀河の星形成史: Second (or more) star-burst の銀河を調べる手法	日下部晴香 (東京大学)
X40b	14:54	SPH-based Ly α 輻射輸送コードの開発	鈴木裕行 (筑波大学)
X41b	14:54	A Close Comparison between Observed and Modeled Ly α Lines for $z \sim 2.2$ Lyman Alpha Emitters	橋本拓也 (CRAL - Observatoire de Lyon)
X42b	14:54	赤方偏移 9 を超える重力レンズ銀河候補からの CIII]1909 輝線強度予想	井上昭雄 (大阪産業大学)
X43a	15:06	SSA22 領域における Large EW(Ly α) LAE の staller component	大塚拓也 (東北大学)
X44a	15:18	Diffuse Ly α Halos around High- z Star-Forming Galaxies	百瀬莉恵子 (国立天文台)
9月11日 (金) 午前 (09:30-11:30) [E会場]			
X45a	09:30	100 億光年かなたの宇宙に死にゆく銀河を発見	谷口義明 (愛媛大学)
X46a	09:42	Morphological Properties of Lyman α Emitters at $z = 4.86$ in the COSMOS Field	小林正和 (愛媛大学)
X47a	09:54	The ALMA Patchy Deep Survey: A blind search for [CII] emitters at $z \sim 4.5$	松田有一 (国立天文台)
X48a	10:06	多波長データ解析による $z \sim 3-4$ Ly α Blob 周辺環境の解明	斎藤智樹 (国立天文台)
X49a	10:18	MOIRCS による $z=2.3$ 原始銀河団 HS1700 領域の [OIII] 輝線天体探査	田中壺 (国立天文台)
X50a	10:30	赤方偏移 3 から 6 にわたる無バイアスな原始銀河団探査	利川潤 (国立天文台)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X51a 10:42 Hubble Legacy Data で探る $z = 0 - 10$ 銀河形態進化 澁谷隆俊 (東京大学)

X52a 10:54 クランピー銀河の割合の環境依存性 村田勝寛 (名古屋大学)

X01a 3次元輻射流体計算による非等方背景輻射場中の球状星団形成過程の研究

安部牧人、梅村雅之（筑波大学）、長谷川賢二（名古屋大学）

球状星団は階層的構造形成の早い時期に形成された天体である可能性が指摘されているが（e.g., Moore et al. 2006）、球状星団の速度分散光度関係は $\sigma \propto L^{1/2}$ と他の矮小銀河とは異なる振る舞いを示すことから、何らかの特殊な形成過程を経たことが示唆される。最近の研究から、宇宙は赤方偏移 $z \sim 10$ で再電離していることが分かっており、球状星団の形成時期には強い電離光源の存在が想定される。背景輻射場が存在する場合、天体は紫外線から自己遮蔽した領域で形成されるため、形成される天体のダイナミクスは自己遮蔽に至るまでの過程によることになる。特にこれまでの3次元輻射流体力学計算から、ガス雲の大半が電離されるような強い背景輻射場中においては、輻射場の非等方性によらずガスが高温状態で収縮し、運動エネルギーが散逸した状態で自己遮蔽に至るために、背景輻射が弱い場合に比べてコンパクトな星団が形成されることが分かっている。本講演では、これまでに得られた非等方背景輻射場中の星団形成モデルによって、階層的構造形成の初期段階における球状星団形成の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a COBE/DIRBE による近赤外線 $1 - 5 \mu\text{m}$ 系外背景光の再測定

佐野圭, 片ざ宏一 (東京大学/宇宙航空研究開発機構), 松浦周二 (関西学院大学), 松岡良樹 (国立天文台), 新井俊明, 津村耕司 (東北大学), 白籟麻衣 (国立天文台), 大西陽介 (東京工業大学), Timothy D. Brandt (プリンストン高等研究所)

近赤外線の系外背景光には既知の銀河からの光をはじめとして、宇宙初期から現在までに放射されたすべての光が含まれており、その測定は宇宙の星形成史や未知の放射源を探るために重要である。今まで COBE (Cosmic Background Explorer) 衛星に搭載された観測装置である Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE : ダービー) の撮像データを用いて系外背景光の検出が試みられてきたが、その前景放射となりうる銀河拡散光の寄与を評価していないという問題点があった。そこで我々は DIRBE の全天データを再解析し、銀河拡散光を評価した上で系外背景光の再測定を試みた。また、星の光も強い前景放射なので、それを精確に評価するため、Two Micron All-Sky Survey (2MASS) に加え、Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) による深いソースカタログを利用した。

結果として、高銀緯領域の 1.25 、 2.2 、 3.5 、 $4.9 \mu\text{m}$ の波長域において、今まで検出されなかった銀河拡散光が検出された (本年会佐野講演 2 参照)。それを差し引いても、先行研究と同様に、系外背景光の輝度は $1 - 2 \mu\text{m}$ 付近で系外銀河の積算光から $2 - 5$ 倍も超過していることが示された。また、黄道光の差し引きに起因する系統誤差を除けば、 1.25 、 $2.2 \mu\text{m}$ では超過成分が $\pm 10\%$ 以内で等方的であることを示した。現在のところ超過成分の成因は不明だが、解析範囲を全天に拡張した本研究により、なんらかの未知の等方的な放射が存在することが確定的となった。今後、等方的な成分の放射源を特定する観測技術、手法を確立する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a Noise-based galaxy detection and segmentation

Mohammad Akhlaghi, Takashi Ichikawa (Tohoku University)

Because of the rich dynamic history of internal and external processes, galaxies display a very diverse variety of shapes or morphologies. Added with their low surface brightness (particularly for high-redshift galaxies) this diversity can cause various systematic biases in their detection and photometry. We introduce a new noise-based method to detect and segment galaxies deeply drowned in noise (Akhlaghi and Ichikawa 2015, arXiv:1505.01664, ApJS in press). It imposes statistically negligible constraints on the to-be-detected targets. We are able apply a sub-sky threshold (-0.5σ) to the image for the first time. This allows for very accurate non-parametric detection of the low surface brightness structure in the outer wings of bright galaxies or the intrinsically faint objects that remain below the commonly used thresholds ($> 1\sigma$). Both these targets play a crucial role in our understanding of galaxy formation. The false detections are identified and removed using the ambient noise as a reference, thereby achieving a purity (fraction of true to the total number of detections) of 0.86 as compared to 0.27 for SExtractor when completeness (fraction of true to total number of mock profiles) is 1 for a sample of extremely faint and diffuse identical mock galaxy profiles. The dispersion in their measured magnitudes is less by one magnitude. By defining the accuracy of detection as the difference of the measured sky with a known background of mock images, an order of magnitude less biased sky measurement is achieved. Contrary to the existing signal-based approach to detection, in its various implementations, signal-related parameters such as the image point spread function or known object shapes and models are irrelevant here.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X04a **HSC photometry test using red-sequence galaxies**

西澤淳, 星野華子 (名古屋大学), 高田昌広, Alexie Leauthaud, Surhud More, Kevin Bundy, Song Huang, Claire Lackner (Kavli IPMU), 大栗正宗 (東大), Hironao Miyatake, Michael Strauss (Princeton), Yen-Ting Lin (ASIAA), HSC collaboration

Hyper Suprime Cam (HSC) サーベイは、一年目の観測を終え、COSMOS や XMM 領域などの重要な領域を含む約 50 平方度の領域に渡って g, r, i, z, Y の 5 バンドの撮像データを取得している。撮像観測データの品質の優劣を決める要素の一つとして、測光精度が挙げられる。点源の測光精度に関しては、星により評価することができるが、銀河を用いたサイエンスでは、extended source についての測光精度を評価する必要がある。そこで我々は、銀河団のメンバー銀河の主要な成分を占める red-sequence という銀河に着目する。red-sequence 銀河は色-等級図において、非常に狭い領域に局在しており、赤方偏移方向にもタイトな関係を保ちながら進化することが知られている。

色-等級図における分散は、intrinsic な red-sequence のばらつきと photometric error によるばらつきの双方に依存する。HSC のパイプラインに実装されている複数の測光測定方法による red-sequence の分散を測定することで、測定方法毎の精度を評価することが可能となる。本講演では、red-sequence を用いた測光精度評価の手法を紹介し、本手法を HSC の 1 年目のデータに適用した結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X05b

The Bright-End of the Galaxy UV Luminosity Function Revealed by the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey

Yoshiaki Ono (Tokyo), Masami Ouchi (Tokyo), Yuichi Harikane (Tokyo), Jun Toshikawa (NAOJ), Jean Coupon (Tohoku), Sebastien Foucaud (SJTU), Ryosuke Goto (Tokyo), Masafumi Ishigaki (Tokyo), Ikuru Iwata (NAOJ), Nobunari Kashikawa (NAOJ), Lihwai Lin (ASIAA), Surhud More (IPMU), Kimihiko Nakajima (Geneva), Takatoshi Shibuya (Tokyo), Kazuhiro Shimasaku (Tokyo), Michael Strauss (Princeton), Hiroko Tamazawa (Tokyo)

Galaxy luminosity functions (LFs) are important measurements to understand galaxy formation. Particularly, the bright end of the UV LF is sensitive to feedback in quenching star formation in massive galaxies. It is also predicted that gravitational lensing magnification bias can change the bright end of the UV LF. Contributions of quasars also need to be considered. The Subaru strategic program with Hyper Suprime-Cam wide-field survey will enable us to cover an unprecedentedly large cosmic volume at $z > 4$ and to investigate very rare bright sources that reside at the bright end of the UV LF. From early survey data products, we identify $z \sim 5$ r -dropout galaxy candidates in the XMM field. The effective survey area is $\sim 20 \text{ deg}^2$, which is more than 5 times larger than previous studies for $z \sim 4-5$ bright galaxies. We find very rare luminous dropout candidates in the magnitude regime of $-24 < M_{UV} < -23$ that is poorly explored by previous studies. Our LF measurements in this magnitude regime show an excess above the extrapolation of the best-fit Schechter function determined in $-23 < M_{UV} < -16.5$. We will discuss possible reasons for the LF excess.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X06b **Lyman Break 銀河スペクトル中に発見された赤方偏移 3.3 の Damped Ly α system**

馬渡健 (大阪産業大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 林野友紀 (東北大学), 松田有一 (国立天文台), 山田亨 (東北大学), Ryan Cooke (UCSC), Xavier Prochaska (UCSC)

我々はこれまでに SSA22 領域において、大規模な Lyman Break 銀河分光サーベイを展開してきた (Hayashino et al., in prep.). その中の赤方偏移 3.6 の Lyman Break 銀河 1 天体において、スペクトル中に赤方偏移 3.3 の Damped Ly α system による吸収 (DLA) を発見した。この DLA 吸収を Voigt プロファイルフィッティングして中性水素柱密度を見積もった所、 $\log(N_{\text{HI}}/\text{cm}^2) = 21.7 - 22.2$ と大きい値になった。対応天体をわれわれが作成した測光的赤方偏移カタログ中で探したが、半径 50kpc 以内には吸収体と同じ赤方偏移 ($z = 3.3$) の銀河は見つからなかった。これは、強い DLA 吸収体に付随する銀河は静止系 FUV で暗い、即ち星形成が不活発であるということを示唆しており、DLA 天体の性質に知見を与える結果である。QSO スペクトルでなく銀河スペクトル中で発見された DLA というのはこれまでに報告例がほとんどない非常に珍しいサンプルであり、本講演ではこの DLA 天体についてこれまでに得られた結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07b **クエーサー吸収線で探る $z=3$ 原始銀河団内の中性水素と重元素ガス**

向江志朗, 大内正己, 小野宜昭 (東京大学), 山田亨 (東北大学), 鈴木尚孝 (Kavli IPMU), 松田有一 (国立天文台), 澁谷隆俊 (東京大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

$z \gtrsim 2$ において、銀河密度に超過が見られる領域は原始銀河団と呼ばれ、形成過程にある銀河団だと考えられている。原始銀河団に対する観測研究は盛んに行われ、その諸性質が明らかにされつつある。一方で、従来の研究は原始銀河団を構成する銀河の性質を調べたものであり、主な構成要素と考えられる銀河団内ガス (ICM) とそれを供給する周辺の銀河間ガス (IGM) の観測研究はほとんどなされてこなかった。そこで我々は $z=3.09$ の SSA22 原始銀河団領域において、背景クエーサーのスペクトルにみられる吸収線を用いて原始銀河団の ICM と周辺の IGM を調べた。まず、Magellan/IMACS 観測から 131 個の銀河を分光同定し、SSA22 原始銀河団領域の銀河分布を得た。次に、原始銀河団領域の背景にある 4 つの SDSS-III クエーサーの分光データを調べた。これらのクエーサーの吸収線に、銀河の寄与と考えられる DLA 吸収が無いことを確認して、中性水素 $\text{Ly}\alpha$ の赤方偏移分布とその光学的厚み τ を求めた。その結果、銀河密度が最も高い領域に存在する 1 つのクエーサーの視線上の $z \simeq 3.09 - 3.10$ の比較的幅広い赤方偏移に、 3σ 以上の有意性で中性水素ガスがもたらす強い吸収 ($\tau \gtrsim 3$) を検出した。さらに、このクエーサーに対して、より感度が高い Keck/DEIMOS データを調べた結果、中性水素ガスの吸収を確認すると共に、 $\simeq 4\sigma$ の有意性で C IV 1548,1550 doublet の吸収を見つけた。本講演ではこれらの中性水素および重元素ガスの吸収の起源と ICM および IGM 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](#)

X08c レンズクエーサーを用いた多視線分光観測による CGM の空間分布調査

小山田涼香, 三澤透 (信州大学), 稲田直久 (奈良工専), 大栗真宗 (東京大学), 柏川伸成 (国立天文台)

銀河形成と進化の歴史を追ううえで、銀河周辺物質 (Circum-Galactic Medium; CGM) の理解は欠かせない。CGM は星形成活動を促進するガスを銀河に供給すると同時に、銀河進化に伴うフィードバック効果を直接的に受けているため、銀河とは密接な関係にあるといえる。一方で、CGM の直接検出は困難であり、特に遠方銀河の CGM についてはクエーサー吸収線を用いた観測に頼らざるを得ない状況にある。背後にあるクエーサーのスペクトル上に、CGM を吸収線として検出するこの手法は一定の成果を収めたものの、肝心の CGM の起源についてはいくつかの可能性 (星間物質、高速度雲、銀河相互作用の残骸、銀河からのアウトフロー、銀河へのインフォールなど) を提示したに過ぎない。その絞り込みは未だ途上段階にあるといえる。

そこで我々は、吸収体のサイズを見積もることを目的とした「レンズクエーサーを用いた多視線分光観測」の可能性を検証している。CGM を複数の視線で捉えることにより、対応する吸収体のサイズや分布といった空間情報が取得できる。これは CGM の正体を特定するうえで重要な情報となる。過去に取得されたレンズクエーサー 13 天体の分光データを詳細に調査したところ、約 280 本の CGM による吸収線を検出することに成功した。視線間実距離 D と等価幅変動値 dEW の分布についての傾向を統計的に調査したところ、過去の研究で指摘されている高電離吸収体と低電離吸収体のサイズの違いを確認することができた。また単純な等価幅分布を持つガス球を仮定して、そこから期待される dEW 分布を観測と比較することにより、吸収体に要求される、サイズ、最大等価幅、等価幅分布関数、などに対して一定の制限を加えることに成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09a 非平衡化学反応を考慮した銀河シミュレーションによる多相星間ガスの性質

馬場淳一，斎藤貴之（東京工業大学地球生命研究所），諸隈佳菜（国立天文台チリ観測所）

近年の可視・近赤外線サーベイにより、 $z \gtrsim 1$ の星形成銀河の多くが現在とは異なりクランピーな形態を示すこと (e.g., Murata et al. 2014) や、その電離ガス成分 ($H\alpha$ 輝線観測) は非常に激しい乱流状態にあることも明らかになった (e.g., Forster Schreiber et al. 2009) . さらに、最近では ALMA などによる $z \sim 1 - 3$ の星形成銀河の分子ガス輝線やダスト連続光の観測も急速に進み、これらの銀河は大量のガス成分を含むことが明らかになりつつある (e.g., Tacconi et al. 2013; Soville et al. 2014) . 一方で、理論シミュレーションも空間・質量分解能が向上し、星間ガス (ISM) の詳細な構造や運動を調べることが可能になりつつあるが、今後観測が期待される低温ガスの性質はまだ十分に研究が進んでいないのが現状である .

そこで我々は、 N 体/SPH シミュレーションコード ASURA-2 に、Wolfire et al. (1995) に基づく ISM の主要な電離/再結合・分子形成/解離の非平衡化学反応と、それに伴う加熱/冷却過程 (e.g., 衝突電離・励起冷却, 再電離冷却, $[CII]158\mu m/[OI]63\mu m$ 微細構造線冷却, 光電離加熱, 光解離加熱, 光電効果加熱など) を組み込んだ . このコードでは、化学反応の硬い常微分方程式を時間刻みにサブサイクルを実装し、LSODA ライブラリを用いて解いている . また、化学反応に重要な星間遠紫外線を、銀河内の星からの寄与を Sobolev 的近似 (Gnedin et al. 2009) により評価し、その空間的・時間的変動を考慮している . このコードを用いた近傍星形成銀河モデル (天の川銀河) のシミュレーションにより多相 ISM の観測的性質 (面密度-分子ガス比関係, 星形成率-速度分散関係など) の再現に成功した . さらに、遠方星形成銀河モデル (ガス質量割合が 50% の円盤銀河) のシミュレーションを行い、多相 ISM の熱的・運動学的性質を調べた . 今回は、これらの初期成果及び今後の展望について講演する .

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X10a

4000 Å ブレイクの強さと星質量に対する分子ガスの割合との関係 II

諸隈 佳菜 (NAOJ), 馬場 淳一 (東京工業大学), 諸隈 智貴 (東京大学), Grace Telford (Univ. of Washington)

銀河における星質量に対するガス質量の割合には、その時点までの銀河合体・銀河へのガス降着・銀河風によるガスの損失などの質量獲得史に加え、星形成や化学進化の情報が含まれている。そのためガス質量の割合を観測的に調べることは銀河進化を理解する上で重要な手がかりを与える。しかし銀河の星質量の測定と比べてガス質量の測定には膨大な観測時間を要するため、ガス質量の測定されている銀河の数は不十分であり、現状では銀河の基本的な性質を示すパラメタ空間 (星質量・星形成率・金属量・環境) でサンプルを分けた統計的議論が難しい。

我々は、 $z = 0 - 0.2$ の通常銀河の観測データを使用し、分子ガスの割合 ($f_{\text{mol}} = \frac{M_{\text{mol}}}{M_{\text{mol}} + M_{\star}}$, M_{mol} : 分子ガス質量, M_{\star} : 星質量) と可視波長域における 4000 Å ブレイクの強さ ($D_n(4000)$, 銀河を構成する星の平均的な年齢の指標として使われる) の間の反相関関係を発見した (Morokuma-Matsui et al. 2015 PASJ; 諸隈ほか, 2015 年春季年会 R07a)。 $D_n(4000)$ は、測定が比較的簡単である上に、使用する波長範囲が狭い (~ 300 Å) ため、ダスト減光の影響を受けにくいという利点があり、既に多くの大規模銀河サーベイデータに対して計算されている。そのため、 $D_n(4000)$ から容易に分子ガスの割合を推定することが可能である。

本講演では、既に分子ガスの測定が行われている $z \sim 1 - 2$ のガスリッチ銀河 (Tacconi et al. 2013)、 $z = 0 - 0.2$ の (U)LIRGs (Solomon et al. 1997; Chung et al. 2009) の $D_n(4000)$ を測定し、 $z = 0 - 0.2$ の通常銀河で得た $D_n(4000) - f_{\text{mol}}$ 関係と比較した。その結果、AGN 成分の卓越していない銀河は、どの銀河も同じ関係に乗ることを明らかにした。このことは、少なくとも $z < 1$ における $D_n(4000) - f_{\text{mol}}$ 関係の普遍性を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X11a The FMOS-COSMOS survey: Exploring the ISM properties of high- z active galaxies

柏野大地 (名古屋大学), John Silverman (Kavli IPMU), COSMOS team

銀河の星間物質、特に星形成領域の電離ガスの物理状態は、銀河進化を理解するための重要な鍵の一つである。これらは電離ガスが放射する輝線を分光観測し、それらのフラックス強度を測定することで調べることができる。近傍の銀河に対しては多くの研究により詳細な物理状態が明らかにされ、精度の良い経験則も確立されている。一方で、遠方銀河については、輝線のフラックスが弱く、また近赤外領域へ赤方偏移してしまうため分光が難しく、十分な研究がなされていない。本研究の目的は、宇宙の星形成史のピーク期 ($1 \lesssim z \lesssim 3$) において活発に星形成を行っている銀河の星間物質の詳細を明らかにし、近傍銀河に対して確立された経験則がこれらについても妥当であるかを検証することである。

我々はすばる望遠鏡のFMOSを用いてCOSMOS領域の $z \sim 1.6$ の星形成銀河の近赤外分光観測を行い、1000個以上の銀河について $H\alpha$ 輝線を検出することに成功した。同時に $[NII], H\beta, [OIII]$ といったガスの性質の重要なプローブとなる輝線も検出した。これらの輝線強度比を用いて、金属量、電離状態(いわゆるBPTダイアグラム)などを推定した。特に、近傍に比べてNの存在比(N/O)が典型的に大きいことを示唆する結果を得た。また、同じ波長帯には $[SiII]\lambda\lambda 6717, 6731$ の二重輝線も存在し、スペクトルをスタックすることで優位なS/Nで検出した。スタッキングの結果からこれらの銀河では平均的に $SiII$ の存在量が豊富、あるいは $[SiII]$ 輝線放射が発達していることを示唆する結果を得た。本講演ではこれらの結果を紹介し、遠方星形成銀河の星間物質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](#)

X12a $z \sim 0.9$ の AKARI-FMOS 赤外線銀河の星質量-金属量-星形成率関係

大井渚, 松原英雄 (宇宙航空研究開発機構), 後藤友嗣 (国立清華大), Matt Malkan (UCLA), Veronique Buat (LAM), 他 NEP 多波長ティーフサーヘイチーム

重元素は星内部で作られ超新星爆発などにより星間空間に戻ってくる。つまり重元素量は過去の星形成活動を反映しており、銀河形成史を理解する鍵となる物理量の一つである。ここ10年ほどで星質量とガス金属量の関係 (M_*-Z 関係) やその星形成率依存性 ($M_*-Z-SFR$ 関係; FMR) についての理解が進んできたが、これらの多くは紫外線や可視、近赤外線で選択された星形成銀河に対して行なわれている。最近の研究により高赤方偏移の宇宙 ($z \sim 1$) では多くの星形成活動のがちに隠されていることが明らかになったことから、高赤方偏移の宇宙での M_*-Z 関係や FMR を正確に理解するためには、ダストに覆われた領域で星形成活動を行っている赤外線銀河についても調べることが必要である。そこで本研究では「あかり」北黄極サーベイで見つかった $z \sim 0.9$ の赤外線銀河に対し、多波長 (X線～遠赤外線) 測光データと Subaru/FMOS で得られた $H\alpha$ と [NII] 輝線データを用いて M_*-Z 関係及び FMR について調べた。解析の結果、(1) [NII] 輝線が受かり金属量が個々に求められた天体の金属量は、近傍銀河と同程度まで化学進化が進んでいること、(2) スタッキング解析により得られた本サンプルの平均的な金属量は、似た赤方偏移 ($z \sim 0.78$) の主系列銀河と有意な違いが見られないこと、(3) しかし、 $H\alpha$ から得られた SFR の測定値を用いると、本サンプルは主系列銀河で見つかった FMR からずれてしまうことが確認された。この結果は、「あかり」で見つかった赤外線銀河は、現在何らかの原因で星形成活動が非常に活発なフェーズにいるが、そのフェーズにいる時間は短く、この時に作られた星質量や金属量は銀河全体の性質に強い影響を与えない (すなわち、銀河の性質を決めるのは長期的に行なわれている星形成活動である) と解釈される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a 階層的化学進化モデルによる r 過程元素の中性子星連星起源説の検証

小宮 悠、茂山俊和 (東京大学)、藤本正行 (北海学園大学)

金属欠乏星は宇宙黎明期に生まれた恒星の生き残りであり、銀河形成や初期宇宙を探る上でも重要な天体として注目されている。

我々は、金属欠乏星の元素組成を初期宇宙での銀河の進化と結び付けるために、銀河の階層的形成過程を取り入れた化学進化のモデルを構築し、研究を行ってきた。階層的形成の影響を取り入れることで、元となった銀河ごとの元素組成の違いや、銀河質量による進化の違いを考慮することができる。

金属欠乏星の元素組成において、特に興味深いのは r 過程元素である。金属欠乏星の r 過程元素組成は大きな多様性を示すことが知られている。また、r 過程元素の起源天体としては、かつては超新星が有力視されていたが、近年は中性子星連星の合体が有力とも言われており、いまだに決着がついていない。化学進化の観点からは、中性子星合体の場合、発生頻度が極めて低いため、観測で見られる以上のばらつきがあらわれるという問題が指摘されていた。特に低金属量では、r 過程元素を持たない星が多数になってしまう (Komiya et al. 2014)。

しかし近年、中性子星連星からの放出物は通常の超新星放出物より広い範囲に拡散することが指摘された (Tsujiimoto & Shigeyama 2014)。これは、中性子星合体からの放出物は極めて速度が大きく、周囲のガス物質と相互作用しにくいためである。これまでの研究においては、中性子星連星からの放出物のその後の進化も、超新星からの放出物と同様に扱われており、こうした拡散の仕方の違いは考慮されていなかった。今回はこうした違いも考慮し、改めて r 過程元素の中性子星連星起源説の検証を試みた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14b 銀河形成モデルで探る星間ガスの宇宙論的進化史

真喜屋龍 (東京大学)

近傍銀河の光度関数は暗い側でダークマターハローの質量関数に比べて平坦になっていることがよく知られている。これを説明するためには小質量ハローにおいて星形成を抑制する何らかの機構が必要となるが、現在の銀河形成理論では超新星によるガスの加熱機構を導入するのが一般的となっている(超新星フィードバック; see Benson et al. 2003 for review)。しかしながら超新星フィードバックのみで光度関数を説明するには物理的に不自然なほどの効率で星間ガスを加熱する必要があることがこれまでに指摘されている。また近年の研究によれば、超新星フィードバックでは星間ガスが吹き飛ばされすぎてしまい、観測された小質量銀河におけるガスの存在量や比星形成率を説明することが難しくなることも指摘されている (Makiya et al. in prep)。

このように、銀河形成史を正しく理解するためには銀河の星成分だけでなく、星間ガスの物理の理解も極めて重要であることは明らかである。今回我々は、我々のグループでこれまで開発してきた宇宙論的銀河形成モデル (Nagashima et al. 2005; Makiya et al. 2015) を用いて、星形成や星形成フィードバック、また宇宙再電離期における紫外線背景光によるガス加熱といった機構が、星間ガスの宇宙論的進化史にどのような影響を与えるか調べた。本講演ではその最新の結果について紹介しつつ、どのような観測がモデルに制限を与えうるか議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15b 化学進化シミュレーション用ライブラリ CELib の開発

斎藤貴之 (東京工業大学)

炭素、酸素、マグネシウム、鉄などの重元素は恒星の進化過程でつくられ星間ガスに還元される。したがって、銀河の化学進化は銀河がどのように形成されたかを明らかにする重要な手がかりとなる。そのためこれまでも化学進化を取り込んだ銀河形成シミュレーションが多数行われてきた。これらのシミュレーションでは、星粒子質量は良くても $10^3 M_{\odot}$ 程度であり、個別の恒星を分解できてはいない。そのため恒星進化や超新星爆発の研究で得られた星間ガスに還元される金属の種類と量をテーブルとして取り込み、Simple stellar population 近似の元で化学進化を解く。しかし、テーブルは十分大きく、様々なモデルパラメータがあり、また適宜更新・拡張が必要になるため、シミュレーションコードに直接取り込むのはメンテナンス性の観点から望ましくない。

そこで今回、化学進化に関わる部分をシミュレーションから切り離し、ライブラリ化した CELib (Chemical Evolution Library) を開発した。CELib では、代表的な初期質量関数 (Salpeter, Chabrier, など) とその質量範囲を自由に選択できる。Type II/Ia 超新星爆発、および AGB による質量損失のモデルも導入されており、それらのモデルをシミュレーションにあわせて選択できる。イールドテーブルも選択可能であり、Type II 超新星爆発時のイールドとしては、Poritnari et al. (1998) と Nomoto et al. (2013) が選択可能である。シミュレーションコードからは、星粒子の金属量や質量を API を通じてライブラリに送ることで、Type II/Ia 超新星爆発や AGB による質量損失を起こした場合の、放出質量やその中に含まれる金属量を得ることができる。講演ではこのライブラリを具体的な銀河シミュレーションに適用した結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16b 星の年齢-速度分散関係に対するシミュレーション分解能の影響

熊本淳 (東北大学), 馬場淳一, 斎藤貴之 (東京工業大学)

GAIA のデータのリリースに伴い、太陽近傍に留まらず銀河系の広域に渡る約 100 億の星の位置や運動に関する情報が得られると期待される。一方で、近年の宇宙論的銀河形成シミュレーションの空間・質量分解能はそれぞれ数百 pc, $10^{5-6} M_{\odot}$ 程度に達し、これにより個々の銀河の内部構造まである程度分解可能となりつつある (Vogelsberger et al. 2014; Schaye et al. 2015)。しかし、これらの分解能で銀河内のダイナミクスを再現できているかは自明ではなく、どの程度の分解能が必要か調べるのが重要な課題となっている。

そこで本研究では、星の年齢-速度分散関係 (Age-Velocity dispersion Relation; AVR) に着目し、その再現に必要な分解能を N 体/SPH シミュレーションにより調べた。シミュレーションは、ダークマターと恒星系円盤を定常外場として扱い、星間ガスの自己重力、輻射冷却 ($20\text{K} < T < 10^8\text{K}$)、星形成、超新星フィードバックを考慮してある。AVR の再現に対する分解能に影響を見るため、重力ソフトニング長を巨大分子雲 (GMC) サイズ ($\sim 10\text{pc}$) から近年の宇宙論的銀河形成シミュレーションの値 ($\sim 700\text{pc}$) まで系統的に変えて計算を行った。また、星形成条件も GMC からの場合 ($n > 100/\text{cc}$) と典型的な銀河形成シミュレーションの場合 ($n > 0.1/\text{cc}$) に変えた計算も行った。その結果、ソフトニング長や星形成条件が AVR に強く影響することが分かった。これは、ソフトニング長が長い場合に薄い円盤構造を再現できないことや、星形成密度閾値が小さい場合に重力的散乱を起こす GMC を再現できないためであると考えられる。これらの結果を用いて観測から得られる AVR の再現に必要な分解能について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X17a **AGN feedback to low-mass galaxy formation at high redshift**

菊田智史 (総研大/国立天文台)、今西昌俊、仲田史明 (国立天文台)、嶋作一大 (東京大学)

AGN がその母銀河へ与える影響 (フィードバック) に関しては、観測的にも理論的にも多く研究されているが、AGN が周囲の別の銀河に与えるフィードバック、特に光度の大きな AGN(=QSO) が周囲の低質量の銀河に与えるフィードバックに関しては、理論的にあるはすと定性的には言われているものの、定量的には、観測的にも理論的にも理解は十分進んでいない。そこで我々は、すはる望遠鏡の広視野可視光線カメラ Suprime-Cam ($34' \times 27'$ FoV) を用いて、赤方偏移 4.87 付近の明るい 2 つの QSO の周囲 (SDSS J080715.12+132804.8, SDSS J111358.32+025333.6) を、狭帯域フィルター NB711 および広帯域フィルター (R, i') で広くかつ低質量の銀河 (ここでは Ly α 輝線銀河、LAE) を観測できる深さまで撮像観測し、低質量銀河へのフィードバック効果を定量的に調へることを試みた。観測した QSO の z は MgII 輝線の近赤外分光観測から $z = 4.88, 4.87$ と精度よく ($\Delta z \ll 0.01$) 求まっており、NB711 ($z = 4.83-4.89$ の Ly α をカバー) で QSO と同じ z の LAE を確実に捉えることができる。また、広視野観測により QSO の影響のある部分とない部分を同時に捉え、比較することが可能となる。達成された深さは NB711 < 26mag, R < 27mag, i' < 26mag (すべて AB) であり、 $z \sim 5$ の LAE 光度関数が折れ曲がる光度より十分に暗い側に達している。2 つのフィールドで選択されたそれぞれ 65 個、186 個の LAE を、QSO の影響の強い近傍領域 (proximity, < physical 3 Mpc) と、影響のない一般領域に分け別々に光度関数を描き、暗い側での傾きを比較した結果、フィードバックがある場合に期待される QSO 近傍領域での光度関数の暗い側における flattening はクリアには見られなかった。本講演ではこれらの結果を示すとともに、それが銀河形成に与える示唆と今後のサーベイ等との連携について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X18a **JVN による複数銀河核の高空間分解能探査観測：低赤方偏移の電波銀河**

日浦皓一郎, 俣徠和夫, 中島大貴 (北海道大学), 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大学), 金子紘之 (国立天文台), 澤田佐藤聡子, 米倉覚則 (茨城大学), 河野裕介, 小山友明 (国立天文台)

銀河の楕円体成分の質量と超大質量ブラックホール (SMBH) の質量の間には相関があることが観測的に知られている。銀河は進化の過程で衝突合体を経験してきたと考えられており、この相関は SMBH を持つ銀河同士が合体するという SMBH と銀河の共進化シナリオで説明できると言われている。銀河が SMBH と共進化してきたのであれば、銀河合体の後期段階において銀河全体としては緩和したような系の中心部に、複数の SMBH を持つ銀河が存在する可能性がある。本研究は、緩和過程が進み、単一の銀河とみなされる合体後期段階にある銀河のより正確な存在割合を VLBI の高い空間分解能を活かして調べることで、銀河の衝突合体過程を明らかにすることを目的としている。観測には大学 VLBI 連携観測網 (JVN) を使い、効率よく探査するために、VLBI スケール (約 60–100 pc) の銀河核 (VLBI コア) の検出を目指した 1 基線観測を行い、電波放射が検出された天体について改めて複数局による撮像観測を実施する。多数の銀河を網羅的に観測する必要があるが、まずは比較的高い検出率が期待される低い赤方偏移 (0.3–0.5) にあり、結合型干渉計の VLA で検出されている電波で明るい 196 個の電波銀河を探査することを目指す。

本講演では探査の概要を紹介するとともに、現時点で 1 基線観測が実施されている 43 天体に対する観測結果を報告する。8 天体で有意に VLBI コアを検出でき、VLA で検出されている電波放射成分に対する VLBI コアのフラックス比は、検出天体 (0.3–3.9) と未検出天体 (上限値 0.5) とでは異なる分布を示した。このサンプルでは VLBI コアの活動性が低く、電波ローブやジェットといった広がった成分が卓越した天体が多いことがわかる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a $z \sim 3$ の QSO9 天体で探る超巨大ブラックホールと母銀河の共進化

濟藤 祐理子 (総合研究大学院大), 美濃和 陽典, 今西 昌俊 (国立天文台), 川口 俊宏 (札幌医科大), 諸隈 智貴, 峰崎 岳夫 (東京大), 長尾 透 (愛媛大), 大井 渚 (宇宙科学研究所), 川勝 望 (呉高専), 松岡 健太 (京都大), 鮫島 寛明 (京都産業大)

近傍宇宙では、銀河中心の超巨大ブラックホール質量 M_{BH} とその母銀河のバルジ質量 M_{bulge} との間に強い相関があり、両者が共進化してきたことを示唆する (e.g. Marconi & Hunt 2003)。理論的研究から、複数のモデルによって異なる $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ の赤方偏移進化が予想されているため、銀河と中心の超巨大ブラックホールの形成過程を明らかにするためには、観測による遠方銀河の $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ の見積もりが特に重要である。

我々は $z \sim 3.3$ の QSO の $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ を導出するため、以下のような観測を行った。近赤外分光観測を行い、28 天体の QSO について H β 広輝線 (4861Å) の FWHM と 5100Å の連続光光度を用いて M_{BH} の導出に成功した (濟藤 他, 2013 年春季年会講演, Saito+15 submitted)。また、 M_{bulge} の導出のため、 M_{BH} が求めた天体に対してすばる望遠鏡/IRCS+AO188 を用いた補償光学撮像観測を行い、これまでに 9 天体 (FWHM $\sim 0.15'' - 0.3''$) の撮像データを取得した。この時、質量/光度比の不定性を最小限に抑え、 M_{bulge} を精度良く決めるため、4000Å ブレイクを挟んだ 2 バンド (J, K') で撮像を行った。我々はこの撮像データについて QSO 母銀河の研究のための解析手法を確立し、 M_{bulge} を導出することに成功した (濟藤 他, 2015 年春季年会講演)。

以上の分光/撮像観測から、9 天体 (7 天体は J, K' の 2 バンド、2 天体は K' バンドのみで撮像) の $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ 比を導出した結果、近傍の値 (0.0015) と比較して進化は見られない傾向にあることが分かった。この場合、 $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ 比の赤方偏移進化において AGN アウトフローが大きな役割を担うと予測していたモデルを支持しない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20a **Cold dark matter モデルにおける cusp-core 問題と too-big-to-fail 問題の関連性**

加藤一輝, 森正夫 (筑波大学), 扇谷豪 (LMU,MPE)

Cold dark matter (CDM) モデルは大規模構造の統計的な性質を説明することに成功した (Tegmark et al. 2004) ために、現在の標準的な構造形成理論である。一方、銀河スケールの構造においていくつかの問題が存在する。その問題の中で、本研究では Burkert (1995) 等で報告された cusp-core 問題 (CDM モデルでは Dark matter halo (DMH) の中心質量密度が発散する cusp 構造を预言する (Navarro et al. 1996; Fukushige & Makino 1997) のに対して中心質量密度が一定となる core 構造が多数観測されている (Oh et al. 2011)) と Boylan-Kolchin et al. (2011, 2012) で報告された too-big-to-fail 問題 (CDM モデルで预言される、中心質量密度が高い DMH が天の川銀河の衛星銀河が見つからない) を取り上げた。本研究ではこの二つの問題を、DMH とバリオンの力学的相互作用に起因した問題として捉えて解析を行った。その結果、活発な星形成活動が発生する以前の原始銀河の DMH は cusp 構造を持っているが、銀河形成期に発生する周期的な超新星爆発フィードバックによって core 構造へと遷移する、cusp-core 遷移過程が重要な役割を果たすことを見出した。本発表では、cusp-core 遷移過程の発生によって too-big-to-fail 問題が解決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](#)

X21a ダークハロー面密度の普遍性とダークマター理論への制限

林航平 (東京大学カブリ IPMU), 千葉証司 (東北大学)

本研究では、矮小銀河や渦巻き銀河、楕円銀河などの様々な銀河の力学解析から導出されたダークハロー構造を用いて、「ダークハローの最大回転速度に対応する半径以内の平均面密度」を計算した。その結果、力学解析の手法や仮定したダークハローの密度プロファイルが異なっているにも関わらず、広い質量スケールにおいてダークハロー平均面密度は一定の値をとることがわかった。

さらにこの物理量は、ダークマター理論に基づく数値シミュレーションの結果から直接計算することが出来るという利点を持つ。よって、観測から得られたダークハロー平均面密度と理論的に予測されるそれとを比較することが可能になる。コールドダークマター理論と粒子質量が 2,3 keV のウォームダークマター理論から平均面密度を導出し、観測と比較した。すると質量の大きいスケールではどちらの理論も観測結果を自然に再現出来ることがわかった。しかし一方で、矮小銀河に対応する小さい質量スケールでは、両者の振る舞いが大きく異なり、特にウォームダークマター理論では観測結果を再現出来ない結果となった。

本講演では、これらの結果をより詳細に述べるとともに、大型シミュレーションである Illustris project の結果との比較についても加えて議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X22a **Connecting dark matter halos with massive galaxies in the BOSS survey**

斎藤 俊 (東京大学 カブリ IPMU), Alexie Leauthaud (東京大学 カブリ IPMU)

銀河がダークマターハローの中でどのように分布しているかを知ることは、銀河の星質量・ハロー質量関係に代表されるように、銀河形成・進化を理解する上で有用な情報である。本講演では、スローンデジタルスカイサーベイ第 III 期の Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) で観測された CMASS カタログのクラスタリング分布を用いて、CMASS 銀河とダークマターハローの関係を Subhalo Abundance and Age Matching という手法でモデル化する試みを議論する。BOSS CMASS 銀河カタログは、中赤方偏移 $z \sim 0.5$ の大質量銀河 (星質量 $M_* \gtrsim 10^{11} [M_\odot]$) で、10000 平方度に渡って数十万個観測されている大量のサンプルであり、数密度の小さい大質量銀河の統計的研究に適している。本講演ではまず、CMASS 銀河サンプルの複雑な観測選択条件を考慮に入れるために、より深い測光観測サンプルから得られた現実的な CMASS 銀河の星質量関数を用いて incompleteness を取り扱う方法について議論する。その上で、我々の方法で得られた擬似銀河カタログと CMASS 銀河の 3 次元クラスタリング分布 (さらにその色・赤方偏移依存性) を比較することによって、銀河とハローの質量の関係だけでなく、銀河の色とハローの形成に関する相関についても議論する。また我々の結果と従来の Halo Occupation Distribution (HOD) 法との結果を比較し、HOD 法の限界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](#)

X23b $z \sim 4$ における銀河サイズとダークハローの関係

岡村拓、嶋作一大、川俣良太 (東京大学)

遠方の星形成銀河のサイズ-光度関係には比較的大きな分散があることが知られている (ここでサイズとは、静止系紫外で測った半光度半径を指す)。この分散、すなわち、ある光度でのサイズのばらつきは、ダークマターハローのスピンパラメータのばらつきと同程度 (Shibuya et al. 2015) かそれ以上に大きい (Huang et al. 2013) 可能性がある。この大きな分散の原因を明らかにすることは、銀河円盤の形成過程を理解するために重要である。そこで我々は、 $z \sim 4$ の星形成銀河について、サイズとダークマターハロー質量 (M_{DH}) との関係をクラスタリング解析によって調べた。用いたデータは、3D-HST カタログのうちの、GOODS South 領域の約 100 平方分である。サイズによってサンプルを分けた解析の結果、同じ紫外光度を持つ銀河でも、サイズに応じて M_{DH} は 1 桁程度異なり、大きいサイズの銀河は重い M_{DH} を持つことが分かった。Halo Occupation Distribution などのモデリングでは、 M_{DH} と光度の関係は調べられているが、サイズとの関係は考慮されていない。今回の結果はこうしたモデルの改良に寄与するかもしれない。また、銀河円盤の形成メカニズム、とりわけ、ハローから銀河円盤への角運動量の移動を理解する上で重要な量である、銀河サイズ-ダークマターハロー半径比 ($r_{\text{disk}}/r_{\text{vir}}$) も調べた。Kawamata et al.(2015) では、 $\sim L^*$ という特定の光度の銀河について、赤方偏移によらずこの比が高い値で一定であるという結果を得ているが、今回の研究では、 M_{DH} に応じてこの比がどう変わるかを調べた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X24b すばる/HSC とハッブル望遠鏡で探る $z \sim 4-7$ の銀河・ダークハロー関係

播金優一、大内正己、小野宜昭、澁谷隆俊 (東京大学) HSC 戦略枠探査・プロジェクト 87 チーム

我々はすばる/Hyper-Suprime-Cam (HSC) の広視野撮像データとハッブル宇宙望遠鏡の深撮像データを用いて、赤方偏移 $z \sim 4-7$ の銀河とダークハローの関係を調べている。すばる/HSC の戦略枠探査とハッブル望遠鏡の過去の探査のデータを組み合わせることで、これまでの研究よりも質量範囲の広い Lyman break galaxy (LBG) のサンプルを構築した。構築した LBG サンプルを赤方偏移、等級のサブサンプルに分け、halo occupation distribution (HOD) モデルの予言とフィッティングを行うことでダークハロー質量を求めた。前回の講演 (2015 年春季年会 X13b) ではダークハロー質量や星形成 duty cycle の結果を提示した。今回の講演では stellar-to-halo mass ratio (SHMR) の進化を調べた結果を示す。SHMR は、銀河・ダークハロー関係を表す重要な物理量である。我々の求めた SHMR は赤方偏移進化を示しており、ハロー質量 $M_h \sim 10^{11} M_\odot$ の SHMR は $z \sim 0$ から $z \sim 4$ で減少、 $z \sim 4$ から $z \sim 7$ で増加していた。この SHMR の進化はクラスタリング解析を用いた手法では初めて確かめられたものであり、abundance matching を用いた Behroozi et al. (2013) の結果と無矛盾であった。講演ではこれらの結果から得られる遠方銀河の星形成やフィードバックへの示唆について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25b

4つのHubble Frontier Fields銀河団の質量分布モデルの構築

川俣良太, 大栗真宗, 石垣真史 (東京大学)

Hubble Frontier Fields (HFF; PI: J. Lotz) は、重力レンズ効果の強い6つの銀河団をHSTで深く撮像し、銀河団背後にある高赤方偏移銀河の探査を目的とした、現在進行中のプロジェクトである。大量のdirector's timeが投入され、我々の研究 (Ishigaki et al. 2015, Oguri 2015, Kawamata et al. 2015) を含めた多くの高赤方偏移銀河に関する研究の進展に貢献してきた。

HFFデータの解析では、重力レンズ効果の計算が必要であり、そのためには銀河団の質量分布モデルを構築しなければならない。我々は、新たに3つの銀河団の質量分布モデルを構築し、既に構築した1つ目の銀河団のそれもアップデートした。本ポスターでは、これら4つの質量分布モデルの作成法とその概要と、実際に検出された $z > 6$ の銀河の個数とそれぞれの増光率を報告する。また、昨年行われたコンペティションの結果、我々のグループは最も信頼度の高い質量分布モデルを作成するとの評価を受けている。この結果は今夏に論文として発表予定であり、この内容も合わせて報告したい。

HFFは、HST (ACS, WFC3/IR) に加えSpitzer (IRAC), Chandraの豊富なデータがあること、今後残り2つの銀河団の観測も控えていること、そして立て続けにデータが公開されたことで世界的に解析が追いついていないことなどから、これからの研究の進展の余地も十分にあると考えている。今回構築した質量分布モデルは、近いうち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](#)

X26a ダストサイズ分布の進化の統計的予言とその減光曲線進化への応用

平下博之、侯冠州 (台湾中央研究院)

銀河進化に於て、ダストは様々な物理過程、特に、星間輻射の吸収や表面化学反応等を通して重要な働きをする。それらの過程は、ダストの存在量(ダスト・ガス比)のみでなく、表面積を支配するサイズ分布にも大きく依存する。これまで我々はダスト量とサイズ分布の進化を統合的に解く枠組みを開発して来たが(Asano et al. 2013)、サイズ分布の進化は計算量が多く、one-zone的な詳細計算には適しているものの、多数の銀河を空間分解して扱う宇宙論的計算等に載せるのは重過ぎるという問題があった。

そこで我々は、大胆にダストサイズを大小の2サイズ(半径約 $0.03 \mu\text{m}$ を境界とする)で代表させることで、計算コストを余り喰わないダスト進化モデルを提案した(Hirashita 2015)。これは、ダストの進化を支配する物理過程(星からの供給、超新星による破壊、ダストの成長、ダストの破碎)が、大小のサイズに異なった作用を及ぼすことに物理的根拠を置いている。この簡便な方法は、Asano et al. (2013)のフルにサイズ分布を解いた結果をよく「模擬」することを確認した。

この「2サイズ近似」のパフォーマンスを調べるために、多数の試行が必要な計算の一例として、上記のダスト進化を支配する各物理過程の時間スケールを妥当な範囲でランダムに選ぶモンテカルロシミュレーションを行った。結果、近傍銀河で観測されるダスト・ガス比の進化を分散も含めてよく説明することができた。更に、ダストのサイズ進化の情報が良く反映される減光曲線についても統計的予言を行った。特に、銀河系、大小マゼラン雲の減光曲線を同一の理論的枠組みで統一的に説明できるかどうかを調べたので、その結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27a ダストのサイズ分布を考慮した銀河内でのダスト形成シミュレーション

青山尚平, 長峯健太郎, 清水一紘 (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、かつてない高解像度 $\mathcal{O}(100)$ pc を達成し、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を初期条件として、宇宙論的銀河形成過程や形態がいかなるものであったのかに迫りつつある。解像度が $\mathcal{O}(10)$ pc を達成するシミュレーションにおいては、銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED) などに関して現実的な予言が可能になると考えられる。

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。ダストは紫外線を吸収して赤外線を再放射する性質や、水素分子 (H_2) 分子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となっている。Hirashita(2015) では銀河のダストのサイズ分布を Large grain と small grain の2種類で代表させ、coagulation や 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、それらの総質量の時間進化方程式系を構築した。私たちは孤立系の銀河に着目し、それを構成する約 10^5 個のガス粒子の情報をもとに各粒子について Large/small grain の質量分布とその時間進化を計算して求めた。宇宙論的流体シミュレーションコードは GADGET-3 [Springel *et al.*(2005)] を用いた。

本発表では孤立系の銀河のシミュレーションの計算結果と one-zone 計算との比較を中心に研究成果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X28a **ダスト存在下での輻射性フィードバックにおける輻射圧と光電離の役割**
一色翔平, 岡本崇 (北海道大学)

大質量星からの輻射がアウトフローの加速に与える効果を知る事は、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、近年の研究では光電離由来の圧力差は輻射圧よりもずっと優勢であり、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、この研究では輻射圧を優勢にさせ得るダストの影響が考慮されていない。ダストが存在する場合、光電離を生じさせる紫外線がダストに吸収され、光電離を起こせない赤外線として再放射するために光電離の影響を減少させる。加えて、ダストによる散乱過程は輻射のエネルギーを効率良くガスの運動量に変換する。

こうした事から、本研究ではダストの影響を考慮した一次元数値シミュレーションコードを開発し、ダストが存在する場合、輻射圧の優劣は変化するかどうかを調べた。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ァイトを使用した。また、光源のスペクトルとしては 10^5 K の黒体放射、または PEGASE.2 (Floc & Rocca-Volmerange 1997, 1999) から得た星団のものを使用した。これらの条件を元に、散乱入りの一次元輻射流体シミュレーションを行った。

以上のシミュレーションからダストが含まれる時、光電離のみの影響を考えた場合と光電離と輻射圧の両方の影響を受ける場合で、両者の結果が大きく変わる場合がある、つまり先行研究と異なり輻射圧も重要となることが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29a 大質量銀河における低質量星によるダスト加熱と受動的進化

鍛冶澤賢 (愛媛大学), 森下貴弘 (東北大学), 谷口義明, 小林正和 (愛媛大学), 市川隆 (東北大学), 福井康雄 (名古屋大学)

これまでの研究から、星質量が大きい銀河ほどより早期に星形成を終えて受動的進化段階に入る傾向があることがよく知られている。その一方、星質量よりも表面星質量密度の方が銀河の星形成活動とより強く相関することがいくつかの研究で指摘されており、表面星質量密度が高い銀河では、 $z \lesssim 2$ のどの赤方偏移においても、星形成率が低く受動的に進化している銀河の割合が高いことが知られている。しかし、なぜ表面星質量密度が高い銀河では星形成が不活発なのか、その原因はよくわかっていない。

本研究では、表面星質量密度が高くなると低質量星からの放射場が強くなり、それによって大局的に diffuse ISM 中のダストの平衡温度が高くなって水素分子生成に影響を与える可能性について調べるため、CANDELS 領域の $z < 1$ の銀河について、星質量と近赤外線表面輝度プロファイルの情報からいくつかの単純化の仮定のもとで期待されるダスト温度を見積もった。その結果、表面星質量密度が高い銀河ほど期待されるダスト温度が高くなる傾向があり、ダスト温度が 20K を超えると受動的に進化する銀河の割合が急激に高くなることが分かった。一方で、diffuse ISM 中でのダストを触媒とする水素分子生成率は、ダスト温度が 20K を越えると急激に低下することがいくつかの地上実験から示唆されている。もし、diffuse ISM 中で水素分子生成が抑制され、水素分子の UV 遮蔽効果が効かないことが星形成の抑制につながるのであれば、この低質量星からの放射によってダスト温度が上昇する効果で銀河の表面星質量密度と星形成活動の相関関係を説明することが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](#)

X30a $z \sim 0 - 3$ の星形成銀河のダストジオメトリー: 新しい紫外減光モデル

日下部晴香、嶋作一大 (東京大学)、清水一紘 (大阪大学)

銀河の若い星から出る紫外 (UV) 放射の一部は、ダストに減光されて赤外線 (IR) で再放射され、減光されなかった残りの分が UV のまま抜けてくる。この割合を表す UV の脱出率 f_{UV}^{esc} は、銀河の Spectral Energy Distribution (SED) を決める重要な物理量である。しかし、これまで f_{UV}^{esc} がダストの質量や空間分布によってどのように決まるのかを近傍から遠方まで統一的に調べた研究はない。そのため、銀河進化の理論モデル (シミュレーションや準解析的モデル) では、観測的に裏付けられていない減光モデルが使われていることもしばしばある (e.g. 星とダストの平板状分布: Shimizu et al. 2014; Makiya et al. in prep)。理論モデルは紫外線光度関数の観測をよく再現できているが、個々のモデル銀河のダスト減光量が正しい保証はないため、減光前のトータルの SFR は数倍見誤っている可能性がある。私たちは、ダスト質量 M_d の求まっている $z \sim 0 - 3$ の星形成銀河計 140 個に着目し、 f_{UV}^{esc} がダストの柱密度 Σ_d と強く相関することを見いだした (2015 年春季年会 X15c 参照)。この相関関係は、上述の単純な平板分布の減光モデルでは再現できないが、私たちが提案する、ダストの動径方向の分布が星と同じ指数関数分布に従うとするモデルでよく再現できる。この減光モデルは、平板モデルよりも f_{UV}^{esc} が低く、 f_{UV}^{esc} に有限の下限値をもたない。本講演では、銀河進化の理論モデルにこの減光モデルを組み込むことで予想される改善についても議論する。また、この減光モデルから示唆されるダスト粒子の性質や ALMA で発見された暗いサブミリ銀河の性質についてもふれる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X31a 北黄極ディープサーベイ領域の Dust Obscured Galaxies の物理的性質

松原英雄, 大井渚, 和田武彦, 村田一心, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), Denis Burgarella, Veronique Buat (LAM), 後藤友嗣 (国立清華大), 宮地崇光 (UNAM), Matt Malkan (UCLA), Steve Serjeant (Open Univ.), Chris Pearson (RAL), 他 NEP 多波長ディープサーベイチーム

70~100 億年前の激動期宇宙における銀河の活動性の研究の中で、 $f_{\nu}(24)/f_{\nu}(R) \geq 1000$ ($f_{\nu}(24)$, $f_{\nu}(R)$ はそれぞれ 24 μm , R バンドでの flux density) で定義される Dust Obscured Galaxies (DOGs) は、厚いダストに覆われた巨大ブラックホールの成長活動と星形成活動が共進化中の種族として考えられ注目されてきた。我々は 2014 年度春季年会において「あかり」北黄極領域多波長ディープサーベイデータに基づき、北黄極領域の DOGs について赤外線光度に対する活動的銀河核 (AGN) の寄与等を報告した。本発表では、 $0.5 \leq z \leq 2.5$ の 92 天体の DOGs について静止系紫外～遠赤外線のスpekトルエネルギー分布 (SED) に、AGN も考慮した SED 進化モデルでフィットして得られた、星質量・星形成率・ダスト減光の関係を調べた結果を報告する。

対象とした DOGs は赤外線光度 (L_{IR}) が $10^{11} - 10^{13} L_{\odot}$ と LIRG/ULIRG に分類される。ダストに覆われた銀河一般に見られる特徴、即ち静止系 8 μm と 5 μm 光度の比が、比星形成率 (星形成率を星質量で除したもの) の増加につれて減少することや、ダスト減光が星質量が増えるに連れて増大することが確認された。特に ULIRG クラスの DOGs については、同じ星質量の LIRG クラスの DOGs に比べてダスト減光が小さい、という興味深い結果となったが、これは ULIRG クラスの DOGs には大規模なマージングでトリガーされた若いスターバースト銀河が多いためではないかと考える。これは大質量・大光度の DOGs の形成に関する理論シミュレーションから予想される描像である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32a WISEとSDSSを併用した Extremely IR luminous Dust Obscured Galaxies 探査

鳥羽 儀樹、長尾 透 (愛媛大学)

ダストに覆われた銀河 (Dust Obscured Galaxies, DOGs) とは可視光の千倍以上の強度で赤外線 (IR) を放射している銀河である (e.g., Dey et al. 2008)。これは銀河中に多量に存在するダストによる吸収のため可視光では非常に暗い一方で、吸収した可視光放射をダストが IR で再放射するため IR では明るいと解釈できる。特に超高赤外線光度 DOGs (Hyper IR-luminous DOGs: HDOGs) は銀河と超大質量ブラックホールの共進化途上期にあるシステムであると考えられており (e.g., Narayanan et al. 2010)、大規模探査の必要性が高い天体である。これまでに我々は、すばる戦略枠観測を通して得られた Hyper Supreme-Cam (HSC) 初期データに赤外線天文衛星 WISE の最新カタログを併用することで HDOGs を新たに 48 個発見し、その統計的性質を明らかにしてきた (Toba, Nagao et al. 2015)。しかし現状では探査面積の制約により、赤外線光度 (L_{IR}) が $10^{14} L_{\odot}$ を越えるような Extremely IR luminous DOGs (EDOGs) の発見には至っていない。

そこで我々は、SDSS の最新カタログと WISE を併用することで、約 1 万平方度にわたる過去最大規模の EDOGs 探査を遂行した。その結果 64 個の DOGs を発見し、見つかった DOGs の 22 ミクロン光度から経験則を用いて赤外線光度を見積もると、11 個が $L_{\text{IR}} > 10^{14} L_{\odot}$ (EDOGs) であった。このような極超高赤外線光度天体を探す手法として、WISE の color の情報を用いた手法が提案されているが (Eisenhardt et al. 2012)、本 EDOGs サンプルとの重複は 1.6 % に留まり、本探査手法が従来の手法とは独立に有効であることが分かった。本講演ではサンプル選出の詳細に加え、選ばれた EDOGs の統計的性質についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33a SXDF-ALMA 1.5 arcmin² deep survey. A compact dusty star-forming galaxy at z=2.5.

但木謙一 (MPE)、河野孝太郎 (東京大学)、児玉忠恭 (国立天文台)、五十嵐創 (Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen) SXDF-ALMA deep survey チーム

We present results from the SXDF-ALMA 1.5 arcmin² deep survey at 1.1 mm using Atacama Large Millimeter Array (ALMA). The map reaches a 3σ depth of $165 \mu\text{Jy}/\text{beam}$ and covers 11 H α -selected star-forming galaxies at $z = 2.53$ and one at $z = 2.19$. We have detected continuum emission from four of our H α -selected sample. They are all red and have stellar masses of $\log(M_*/M_\odot) > 10.9$ while the other blue, main-sequence galaxies with $\log(M_*/M_\odot) = 10.0-10.8$ are exceedingly faint, $< 280 \mu\text{Jy}$ (2σ upper limit), corresponding to a gas mass of $\log(M_{\text{gas}}/M_\odot) = 10.2$ at $z \sim 2.5$. The non-detection raises the possibility that a conversion factor from monochromatic submillimeter luminosity to gas mass is not universal.

The 1.1 mm-brightest galaxy is associated with a compact ($R_e < 1 \text{ kpc}$), dusty star-forming component. Given high gas fraction ($\sim 40\%$) and high star formation rate surface density ($250 M_\odot \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$), the centrally-concentrated starburst can within less than 80 Myr build up a stellar surface density within the core matching that of compact quiescent galaxies at $z \sim 2$, provided 20% of the total gas is converted into stars.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34a ALMA による SDP.81 の高分解能観測 I. – 30 ミリ秒角画像でさぐる重力レンズ銀河の中心質量分布

田村陽一, 大栗真宗 (東京大学), 伊王野大介, 廿日出文洋, 松田有一, 林将央 (国立天文台)

我々は、ALMA による高分解能 (30 mas) 観測で得られた銀河–銀河重力レンズシステム H-ATLAS J090311.6+003906 (SDP.81) の波長 1 mm イメージを用いて、前景 ($z = 0.2999$) に位置する楕円銀河の質量分布のモデリングを行った。この結果、 $z = 3.042$ に位置するサブミリ波銀河の重力レンズ多重像は、100 pc 未満の巨大分子雲 (複合体) が集合した $\lesssim 2$ kpc の円盤が、直径 ~ 400 pc のコアを持つ等温楕円体によって重力レンズされることで説明できることがわかった。このコア半径は、恒星の輝度分布からわかるコア半径と一致し、質量光度比は近傍の楕円銀河で見られるそれ ($\sim 2 M_{\odot} L_{\odot}^{-1}$) と同程度であることから、前景銀河の中心 1 kpc 以内の質量はバリオンが占めていることが示唆される。前景銀河の質量重心は、ALMA で検出された非熱的放射源の位置と 30 mas の精度で一致しているため、この非熱的放射源は前景銀河の活動銀河核だと思われる。一方で、中心に出現することが期待される背景のサブミリ波銀河の“奇数像”が検出されなかったことから、前景銀河の重力ポテンシャルを cuspy にする $> 3 \times 10^8 M_{\odot}$ の点状質量 (大質量ブラックホール) の存在が要請されることがわかった。この質量は、ブラックホール質量と母銀河の速度分散のあいだの相関から期待されるそれ ($\sim 1 \times 10^9 M_{\odot}$) と矛盾しない。このような ALMA を用いた重力レンズシステムの高空間分解能イメージングは、背景銀河の詳細な内部構造の理解だけでなく、楕円銀河の中心質量分布や大質量ブラックホールの理解においても強力である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X35a ALMA による SDP.81 の高分解能観測 II. – 重力レンズされた $z = 3.042$ サブミリ波銀河の分子ガスクランプの性質

廿日出文洋, 伊王野大介, 松田有一, 林将央 (国立天文台), 田村陽一, 大栗真宗 (東京大学)

サブミリ波銀河は激しい星形成活動 ($SFR \sim 10^2-10^3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) を行う遠方星形成銀河である。星形成の性質を探るには空間分解した分子ガス観測が不可欠であるが、既存の装置では感度や空間分解能に限られており難しい。

我々は、ALMA 望遠鏡で観測された $z = 3.042$ のサブミリ波銀河 H-ATLAS J090311. 6+003906 (SDP.81) の空間分解した分子ガス・星形成の性質を調べた。SDP.81 は手前 ($z = 0.2999$) の楕円銀河によって重力レンズされており、この観測により a few 100 pc スケールの分子ガスの性質を探ることが可能となった。我々は、取得された CO(5-4) 積分強度図で 14 個の分子ガスクランプを同定した。クランプの分子ガス面密度 (Σ_{H_2}) 及び星形成率面密度 (Σ_{SFR}) は、近傍渦巻銀河と比較して 3 桁以上高く、また $\Sigma_{\text{H}_2} - \Sigma_{\text{SFR}}$ の関係 (Schmidt-Kennicutt 則) ではバースト的な星形成活動を示すことがわかった。同時に、近傍銀河や天の川銀河分子雲から導出された Schmidt-Kennicutt 則を満たすことから、これらのクランプの星形成活動は近傍銀河と同様の性質を持つことが示唆される。重力レンズモデルを用いて分子ガスクランプ、ダストクランプ、星成分の光源面での分布を求めたところ、分子ガス・ダストクランプは ~ 2 kpc の領域に分布している一方、星成分は西側に離れて位置し、 ~ 6 kpc に渡って広く分布していることがわかった。分子ガスクランプは南北方向に速度勾配が見られ、回転運動を示唆する。SDP.81 の描像としては (a) 数 kpc に渡る回転円盤上に分子ガス・ダストクランプ・星成分が分布し、星成分は中心の星形成領域で大きく減光を受けている、(b) 銀河の衝突・合体によって誘発された星形成領域で分子ガス・ダストクランプが観測され、星成分はそれを取り囲むような tidal feature をトレースしている、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](#)

X36a

SMGs with extremely red optical/near-infrared colors revealed by ALMA

Soh Ikarashi, Karina I. Caputi (Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen), Rob J. Ivison, Hideki Umehata (ESO), Kotaro Kohno, Kentaro Motohara, Yoichi Tamura, Kiyoto Yabe, Takuma Izumi (University of Tokyo), Kouji Ohta (Kyoto University), Ryohei Kawabe, Daisuke Iono, Kouichiro Nakanishi, Bunyo Hatsukade (NAOJ), James S. Dunlop (ROE), David H. Hughes, Itziar Aretxaga (INAOE), Grant W. Wilson, Min S. Yun (UMASS)

We present studies of ALMA-identified submillimeter galaxies (SMGs) with star formation rate of 200–600 $M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ extremely faint in the optical/near-infrared (NIR) from our ALMA 1100- μm continuum imaging surveys towards 30 highest- z candidate SMGs. The targets are selected from AzTEC sources by faintness in *Herschel* and VLA 1.4 GHz bands. We find that 10 out of the 17 most significant ($\geq 10\sigma$) ALMA sources are mostly undetected in optical/NIR bands; the stacked magnitudes (AB) of B , z' , J , Ks , 3.6 and 4.5 μm are >29.5 (3σ), >27.3 , >26.3 , 25.7, 23.7 and 23.3. The stacked spectral energy distribution shows an extremely red color of $[Ks]-[3.6\mu\text{m}]=2.0$ which could be due to redshifted Balmer and/or 4000 \AA breaks at $z \sim 6$, although their stacked radio/millimeter color indicates $z \sim 4$. The millimeter brightest source among the ten, ASXDF1100.053.1 shows an unexpectedly red color of $[3.6\mu\text{m}]-[4.5\mu\text{m}]=1.8$. In order to estimate its redshift we have newly got a deep JVLA 6-GHz continuum image with a (preliminary) rms of 1.2 $\mu\text{Jy}/\text{beam}$. The radio/millimeter photo- z has turned out to be ~ 6 . Our results indicate that there should be dust-obscured massive starbursts at $z \gtrsim 4$ to be discovered by deep ALMA (sub)millimeter surveys.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X37b *Herschel* 宇宙望遠鏡分光データの stacking 解析によるサブミリ波銀河の物理化学状態の制限

山口裕貴，田村陽一，河野孝太郎 (東京大学)

本研究では，*Herschel*宇宙望遠鏡の SPIRE FTS によって得られたサブミリ波銀河 (SMG) 分光データの stacking 解析の結果を報告する．SMG のような dusty な天体において，星間ガスの物理化学状態を調べるためには，ダスト減光の影響を受けにくい遠赤外線の微細構造輝線が用いられる．ところが，このような微細構造線は，大気による吸収のため，地上からの観測が難しい．そこで本研究では，SMG における星間ガスの平均的な物理化学状態を制限するため，*Herschel* アーカイブに SPIRE FTS の分光データが公開されている，分光赤方偏移が既知の SMG 23 天体 ($z_{spec} = 1.027 - 3.634$) に対し，分光スペクトルの stacking 解析を行なうことで微細構造輝線の検出を目指した．今回解析したサンプルのほぼ全てが重力レンズによる増光を受けており， $\mu L_{FIR} \gtrsim 10^{13} L_{\odot}$ となっている．結果，本研究では [CII] 158 μm 輝線を検出した．遠赤外光度との比は， $L_{[CII]}/L_{FIR} = 1.8 \times 10^{-3}$ となり，過去の一般的な SMG に見られる観測値と同等である．また，[OI] 63 μm ，[OIII] 88 μm ，52 μm ，[NII] 205 μm ，122 μm 輝線に上限値を与えた ([CII] 158 μm で規格化したフラックスの 3σ 上限値はそれぞれ，0.36, 0.27, 0.85, 0.27, 0.19)．本研究では近傍の星形成銀河で多く検出されている [OIII] 88 μm 輝線が検出されていない．この輝線は電離領域から放射され，電離パラメータが大きくなるとともに強くなることが知られている．したがって，平均的な SMG においては近傍銀河に比べ，星間物質の電離が進んでいない可能性が示唆された．また，[NII] 205 μm /[CII] 158 μm 比により，SMG の金属量が太陽金属量程度以下になる可能性が示唆された．

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X38b ALMA で迫る遠方星形成銀河のダスト放射性質

藤本征史, 大内正己, 小野宣昭, 石垣真史 (東京大学), 百瀬莉恵子 (国立天文台)

ALMA により新たに暗いミリ波天体 (<1 mJy) が個別に検出されるようになった。多波長解析・クラスタリング解析の結果、これらのうち、約 50% は一般的な遠方星形成銀河 (e.g., LBG, BX/BM, sBzK) であることがわかった。一方で、残り約 50% の暗いミリ波は深いすばるやハッブルの撮像データを以てしても可視対応天体が見つからなかった。これらの差異を含め、暗いミリ波天体についての包括的理解はまだ始まったばかりなのである。本研究ではその手始めとして Fujimoto et al. (2015) で観測された暗いミリ波天体のうち、可視対応天体の赤方偏移が分光同定されている天体について IRX- β 関係を調べた。その結果、この暗いミリ波天体の赤外光度は UV slope に SMC のダスト吸収曲線を適用して推定される値に近いことがわかった。一方、測光赤方偏移が求まる天体では、SMC の推定値から大きく外れるものもあった。本講演ではそれら導出の不定性も加味しながら、この多様性に富む暗いミリ波天体のダスト放射性質について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X39b

遠方銀河の星形成史: Second (or more) star-burst の銀河を調べる手法

日下部晴香、嶋作一大 (東京大学)、中島王彦 (ジュネーブ天文台)、橋本拓也 (リヨン天文台)、後藤亮介、大内正己、小野宜昭 (東京大学)

銀河進化の理論や観測データの統計的な研究から、遠方銀河の星形成は episodic(時間において starburst を繰り返す) であると考えられている (e.g. Muratov et al. 2015; Jaacks et al. 2010; Stark et al. 2009) が、個々の遠方銀河の SED fit では、通常、単調な星形成史が仮定されている。しかし、単調な星形成史による SED fit では、測光データは再現できても、測光バンドへの H α などの輝線の寄与が誤っているため、分光データは矛盾する例が最近報告されている (e.g. Stark et al. 2014; Sobral et al. 2015)。測光と分光データの両方を再現するためには、episodic な星形成史の最も単純な近似の 1 つである、過去と最近の星形成を 2 成分で表すモデルが必要である。そして、SED fit における不定性 (e.g. 星質量では最大で一桁程度) を解消してパラメータを決めるには、分光観測が不可欠である。しかし、上記の例の銀河は偶然に見つかっているため、どのような銀河が 2 成分でよりよく近似され、どの程度 1 成分と異なる結果が得られるのかは不明である。そこで私たちは、効率よく分光追観測をするために、2 成分でよく表される銀河を測光データのみから選択する手法を開発した。若い成分 (最近の星形成) と古い成分 (過去の星形成) を持つ銀河では、紫外のスペクトルが折れ曲がる (スロープ β が変わる。以下 "double- β ") ことがあり、この特徴を用いる。実際、double- β は上記の先行研究のモデルスペクトルには見られるが、残念ながら天体が $z > 5$ にあるため折れ曲がりより長波長側には測光データがなく、確認できない。私たちは、紫外スロープの折れ曲がりの前後に測光データのある $z \sim 2$ の Ly α Emitters にこの手法を用い、double- β を持つものを発見した。本講演では、この新しい手法を検証し、2 成分の SED fitting の結果についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40b SPH-based Ly α 輻射輸送コードの開発

鈴木裕行(筑波大学), 長谷川賢二(名古屋大学), 梅村雅之(筑波大学), Benoit Semelin(Observatoire de Paris)

水素の Ly α 光子は、遠方銀河探査の強力なツールであり、これまで多くの LAE(Lyman Alpha Emitter) などの遠方銀河の探査がなされてきた。LAE は Ly α 光子を大量に放出する特徴的な原始銀河で、銀河進化の非情に早い段階を見ていると言われているが、LAE から放出される Ly α 光子の放出機構や内部構造などは未だにわかっていない事が多い。それらを詳細に調査するためには、Ly α 光子の輻射輸送を知ることがキーポイントとなるが、現存する Ly α 光子の輻射輸送コードは、メッシュに流体データを割り当てて Ly α 光子の伝搬を追うもので、SPH 法などといった粒子法にて計算されたデータをメッシュに割り当てる際に諸物理量が損なわれてしまう可能性がある。そこで我々は、SPH 法によって計算された粒子データをそのまま輻射輸送の計算グリッドとして用いた Ly α 光子の輻射輸送コードを開発した。開発したコードは、解析解がわかっているテスト問題 (Neufeld 1990) 等が示すスペクトルを十分に再現し、矛盾のない結果を示した。本講演ではテスト計算の結果に加え、実際にシミュレーションで得られた銀河を用いて輻射輸送を計算した結果も示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X41b **A Close Comparison between Observed and Modeled Ly α Lines for $z \sim 2.2$ Lyman Alpha Emitters**

T. Hashimoto (CRAL), M. Ouchi, K. Shimasaku, T. Shibuya, Y. Ono, R. Goto (Univ. of Tokyo), A. Verhamme, D. Schaerer, K. Nakajima (Geneva Observatory), and M. Rauch (OCIW)

We present the results of a Ly α profile analysis of 12 Ly α emitters (LAEs) at $z \sim 2.2$ with high-resolution Ly α spectra. We find that all 12 objects have a Ly α profile with the main peak redward of the systemic redshift defined by nebular lines, and five have a weak, secondary peak blueward of the systemic redshift (blue bump). The average velocity offset of the red main peak (the blue bump, if any) with respect to the systemic redshift is $\Delta v_{\text{Ly}\alpha, \text{r}} = 174 \pm 19 \text{ km s}^{-1}$ ($\Delta v_{\text{Ly}\alpha, \text{b}} = -316 \pm 45 \text{ km s}^{-1}$), which is smaller than (comparable to) that of Lyman-break galaxies (LBGs). The outflow velocities inferred from metal absorption lines in three individual and one stacked spectra are comparable to those of LBGs. The expanding shell model constructed by Verhamme et al. (2006) reproduces not only the Ly α profiles but also other observed quantities including the outflow velocity and the FWHM of nebular lines for the non-blue bump objects. On the other hand, the model predicts too high FWHMs of nebular lines for the blue bump objects. We show that the small $\Delta v_{\text{Ly}\alpha, \text{r}}$ values of our sample can be explained by low neutral-hydrogen column densities of $\langle \log(N_{\text{HI}}) \rangle = 18.9 \text{ cm}^{-2}$. This value is more than one order of magnitude lower than those of LBGs but is consistent with recent findings that LAEs have high ionization parameters and low HI gas masses. This result suggests that low N_{HI} values, giving reduced numbers of resonant scattering of Ly α photons, are the key to the strong Ly α emission of LAEs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X42b 赤方偏移 9 を超える重力レンズ銀河候補からの CIII]1909 輝線強度予想

井上昭雄 (大阪産業大学), 清水一紘 (大阪大学)

最高赤方偏移天体の探査と発見は、発見した天体を限られた宇宙年齢以内に形成させる必要が生じるため、初代天体形成論、特にバリオン物理過程への強い制限となる。高赤方偏移銀河については、赤方偏移 10 を超えるような候補天体が発見されている一方、分光的に赤方偏移が確定したものは $z < 8$ に止まっている。そこで本研究では、赤方偏移 9 を超える銀河候補の赤方偏移を既存の装置で分光的に確定させることができるかどうか調べた。

まずわれわれは大規模な数値流体銀河形成進化モデルに星雲輝線放射モデルを組み込んだ (Shimizu et al. 2015 年春季年会 X26a)。それにもとづき、銀河団重力レンズを利用した高赤方偏移銀河探査 CLASH および Hubble Frontier Field で発見された赤方偏移 9 を超える銀河候補からの輝線強度を予想した。結果として、いくつかの銀河候補からの CIII]1909 輝線は、既存の装置で検出可能なほど強いことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X43a SSA22 領域における Large EW(Ly α) LAE の staller component

大塚拓也, 山田亨 (東北大学), 久保真理子 (東京大学), 馬渡健 (大阪産業大学), 松田有一 (国立天文台), 林野友紀 (東北大学)

高赤方偏移で観測される Lyman Alpha Emitters(LAEs) の中には、Ly α 輝線の Equivalent Width(EW) の値が 240 Å 以上の、近傍の銀河の性質では説明できないほど大きな値を示すものがある。これらの LAEs がこれほど大きな EW(Ly α) を示す要因はいくつか可能性があるため、未だどの要因によるものなのかは明確にはわかっておらず、これを解明することは銀河の進化や宇宙史を理解する上で重要なことである。

我々はこの要因を解明するため、SSA22 領域内の LAEs を研究している。SSA22 領域とは $z=3.1$ の高密度領域であり、その領域で観測される LAEs の EW(Ly α) は、同じ赤方偏移の一般領域に比べて大きいことが、我々の研究でわかっている。また、我々が行った Keck/DEIMOS を用いた可視分光観測から、これらの LAEs が AGN である可能性が低いことが明らかとなった。

本研究では、これら LAEs の特徴をさらに明確にするために、EW(Ly α) が 300 Å 以上の LAE 1 天体に対して、Subaru/MORICS による近赤外分光観測を行った。その結果、[OIII]5007 輝線の検出に成功し、その flux は $3.65 \times 10^{-17} [erg/s/cm^2]$ で、輝線幅は 93[km/s] であった。またこの観測結果から、[OIII]5007 輝線と Ly α 輝線のピークのずれが 70[km/s] であり、先行研究で報告されている EW(Ly α) が比較的小さい LAEs のその値よりも小さいことがわかった。さらにこの天体に対して [OIII]5007 輝線を含めた SED fitting を行い、その結果から、1[Myr] という非常に若い星成分を用いたとしても、この天体の強い Ly α 輝線の flux を再現できないこと、この天体の SED を再現するには古い星成分が必要な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](#)

X44a **Diffuse Ly α Halos around High-z Star-Forming Galaxies**

百瀬莉恵子 (国立天文台), 大内正己 (東京大学), 中島王彦 (Univ. of Geneva), 小野宜昭, 澁谷隆俊, 嶋作一大 (東京大学), Yuma Suraphong (Mahidol University), 森正雄, 梅村雅之 (筑波大学)

近年、遠方星形成銀河の Ly α 輝線銀河 (LAE) やライマンブレイク銀河の狭帯域フィルター画像のスタッキング解析から、UV 連続光でトレースされる銀河の星成分よりも数倍以上広がった Ly α 輝線の構造が検出されている。銀河周囲で検出される、この淡く広がった Ly α 輝線の構造は Ly α ハローと呼ばれている。LAH の形状や密度等の物理状態は銀河のガス収支を反映しうるため、その形状・性質、そして起源を理解することは銀河進化の観点から重要である。これまで理論的には Ly α ハローの正体として、銀河の星形成領域由来の Ly α 光子による銀河周囲の HI ガスハローでの散乱光や (e.g. Zheng et al. 2011; Verhamme et al. 2012)、既存の装置では観測されないような satellite galaxy からの Ly α 輝線放射が提案されている (e.g. Lake et al. 2015)。一方観測的には、検出の難しさに起因した Ly α ハローの存在や普遍性の議論が先立ち、その起源や性質の解明にはほど遠いという問題があった。そこで我々は、すばる望遠鏡の Suprime-Cam により発見された $2 < z < 7$ にある 100 – 3500 個の LAE を用いてスタッキング解析を行い、Ly α ハローが赤方偏移によらず普遍的に存在することを示した (Momose et al. 2014)。また、Ly α ハローの scale-length (サイズ) の赤方偏移進化を調べ、 $2 < z < 6$ では無進化、 $6 < z < 7$ ではサイズが増加するという結果をえた。特に、 $6 < z < 7$ で得られた Ly α ハローのサイズ進化は、宇宙再電離期の銀河間空間中の HI ガスによる散乱光が起因している可能性を示唆している。本講演ではこの Momose et al. (2014) の結果に加え、現在行っている Ly α ハローの起源に関する研究 (Momose et al. 2015) 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](#)

X45a 100 億光年かなたの宇宙に死にゆく銀河を発見

谷口義明, 小林正和, 鍛冶澤賢, 長尾透, 塩谷泰広 (愛媛大学), Peter L. Capak, Nick Z. Scoville (Caltech) & COSMOS Team

ハッブル宇宙望遠鏡基幹プログラムである COSMOS プロジェクトの一環としてすばる望遠鏡 Suprime-Cam で取得した 12 枚の中帯域フィルターを用いて行われた撮像観測に基づき、約 6000 個の強輝線銀河を発見した。このうち約 600 個はライマン α 輝線銀河 (LAE) であるが、我々の大規模サーベイの結果、従来発見されていなかった大質量の LAE が含まれていることに気がついた。そこで以下の二つの選択基準を設け、この新種の LAE を MAESTLO と名付けた (MASSive Exremely STRong Ly α Object) : (1) $EW_0(\text{Ly}\alpha) \geq 100 \text{ \AA}$, 及び (2) $M_* \geq 10^{10.5} M_\odot$ 。今回のサーベイで 18 個の MAESTLOs が発見されたが、そのうち 12 個は AGN の兆候を示す。そこで、AGN の兆候を示さない 6 個の MAESTLOs の性質を調べた結果、以下の興味深い特徴が見つかった。(i) 静止系紫外から近赤外線のスpekトルエネルギー分布は、星形成からパッシブな進化段階へ移行しつつあることを示唆している、(ii) *HST*/ACS F814W バンドのイメージはコンパクトであるが、すばる望遠鏡の中帯域バンド (Ly α) のイメージは有意に広がっている (数 kpc)、(iii) 個数密度は極めて低く、MAESTLO フェーズのライフタイムは数 100 万年と推定される。(iv) MAESTLO は星生成率密度がピークを迎える赤方偏移 $z = 3$ に存在する。以上のことから、MAESTLO は大質量銀河が活発な星生成を終え、スーパーウインドで星生成を急速に止めて、パッシブなフェーズに移行する銀河であると結論できる。従来、 $z = 3$ 付近でなぜ銀河が急速に星生成を止めるのか大きな問題になっていたが (クエンチング問題)、大質量銀河の場合スーパーウインドによるセルフ・クエンチングであることが新たに示唆されたことになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X46a **Morphological Properties of Lyman α Emitters at $z = 4.86$ in the COSMOS Field**

小林正和 (愛媛大学), 村田勝寛 (名古屋大学), 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 村山卓 (東北大学), 谷口義明, 塩谷泰広, 長尾透 (愛媛大学), Anton M. Koekemoer (STScI), Nick Z. Scoville, & Peter L. Capak (Caltech)

高赤方偏移銀河の一種である Lyman α emitters (LAEs) は、弱い連続光に対して非常に強い Lyman α ($Ly\alpha$) 輝線を放つ天体である。その物理的性質の解明に向け、ハッブル宇宙望遠鏡 (*HST*) の ACS 画像を用いた静止系紫外域におけるサイズ・楕円率といった形態の測定や、それらの $Ly\alpha$ 光度・等価幅との関係の研究が、 $z = 2-6$ LAEs に対して進められてきた (e.g., Malhotra et al. 2012; Hagen et al. 2014; Shibuya et al. 2014)。

我々は、*HST* の最大観測天域 COSMOS 領域で選択された $z = 4.86$ LAEs (Shioya et al. 2009) のうち、ACS で観測された領域内の 61 LAEs に対して、ACS 対応天体の性質を調べた。SExtractor を用いて天体検出を行った結果、54 LAEs に ACS 対応天体を同定できた。そのうち 8 LAEs では、狭帯域フィルターで定義した LAE の位置から $1''$ 以内に 2 つの ACS 対応天体が検出された。これら 54 LAEs のサイズと楕円率を調べた結果、サイズや楕円率の値そのものは先行研究の結果と一致したが、サイズと楕円率の間に正の相関があることを新たに発見した。この相関の起源について、(1) 暗く小さい天体に対する PSF や shot noise の影響による見かけの相関か、(2) 非常に近い距離にいる 2 つの銀河が 1 つの天体として検出されることによる相関かを区別すべく、Monte Carlo simulation を行った。その結果、どちらの場合でも観測結果によく似た相関を生み出すが、(2) の場合のみ 2 つの対応天体を持つ LAE の特徴を再現できることが分かった。本講演では、これらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X47a **The ALMA Patchy Deep Survey: A blind search for [CII] emitters at $z \sim 4.5$**

松田有一 (国立天文台), 長尾透 (愛媛大学), 伊王野大介, 廿日出文洋 (国立天文台), 河野孝太郎, 田村陽一, 山口裕貴, 清水一紘 (東京大学)

本講演では ALMA Cycle 0 アーカイブデータを用いた $z \sim 4.5$ [CII] 158 μm 輝線天体探査について報告する。連続的な視野の探査ではないが、いろいろなターゲット天域で得られたアーカイブデータを用いた「ALMA Patchy Deep Survey」により、 $z > 4$ [CII] 光度関数を決めることで、これまでの静止系 UV 観測では捉えることが難しかったダストに隠された銀河を含む宇宙の星形成率密度を測ることができる。我々はすでにメインターゲットの観測成果が論文化されている、8つの系外銀河のプロジェクトの band7 データ (330-360 GHz、243 視野分、総積分時間 19.2 時間) を用いて、連続光成分を差し引きした後、50、100、300、500 km/s の 4 種類の周波数ビンニングしたデータキューブを作成した。このデータキューブを用いて、ターゲットの背景天域にある [CII] 輝線天体を探したが、 $6\text{-}\sigma$ を超える天体は見つからなかった。この未検出という結果から $z \sim 4.5$ の [CII] 光度関数について $L_{\text{[CII]}} \sim 10^8 - 10^{10} L_{\odot}$ (SFR $\sim 10\text{-}1000 M_{\odot}/\text{yr}$) の範囲で上限値を求めたところ、この上限値は $z \sim 4$ UV 光度関数や銀河形成数値シミュレーション等から推定される値に比べてまだ 2 桁高く意味のある制限にはならなかった。今後、Cycle 1+2 のアーカイブデータを用いることで、 $z > 4$ [CII] 光度関数を決め、宇宙の星形成率密度を測ることができるようになると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X48a **多波長データ解析による $z \sim 3 - 4$ Ly α Blob 周辺環境の解明**

斎藤智樹, 松田有一, 川邊良平, 児玉忠恭, 田中壺, 廿日出文洋 (NAOJ), Ian Smail, Cedric Lacey(Durham), 井上昭雄 (大阪産業大), Alvaro Orsi(PUC), 河野孝太郎, 田村陽一, 李民主 (東大), 山田亨, 林野友紀 (東北大), 太田耕司 (京大), Carlos De Breuck(ESO), 谷口義明 (愛媛大)

すばる・Suprime-Cam による Ly α 輝線銀河 (LAE) の探査によって、Ly α blob (LAB) が付随する $z \sim 4$ 電波銀河 (TNJ1338) が、平均の約3倍の銀河密度を持つ特異な環境にあることが明らかになった (Saito et al. 2015; 斎藤他 2013年秋季年会 X30a)。我々はさらに、Ly α 輝線では観測できない、塵に埋もれた星形成活動との関連性を探るべく、ASTE・AzTEC による 1.1mm 連続波撮像データの解析を行った。

結果、電波銀河周辺領域において、1.1mm 連続波源 (SMG) を27個同定し、それらの強度が既存の 1.2mm 連続波観測とも矛盾しないことを確認した。SMG は基本的には LAE を避けて存在していたものの、電波銀河を含む3天体に関しては、30" 以内で一致を示していた。それらはおおよそ LAE/SMG 双方でトレースされる大規模構造に沿って存在しており、高密度フィラメント内における爆発的星形成を示唆している。

これらを他天域と比較するため、同様な解析を $z \sim 3$ の LAB 3天体の周辺領域について行った。光度・等価幅を揃えた LAE サンプルと比較すると、SMG の付随する天体の周辺が TNJ1338 領域にもっとも近い銀河密度分布を示す一方、SMG・電波源共に付随しない天体の周辺は有意な密度超過がほとんど見られなかった。SMG や電波銀河の付随する天体周辺は、TNJ1338 同様、Ly α 光度関数の高光度側に超過の傾向が見られた。電波源・SMG の付随する LAB は明るい銀河の形成が加速される高密度領域のよい指標となる一方で、どちらも付随しない LAB は別の機構での銀河-周辺環境相互作用を反映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](#)

X49a MOIRCS による $z=2.3$ 原始銀河団 HS1700 領域の [OIII] 輝線天体探査

田中 堯 (国立天文台ハワイ観測所), 児玉忠恭, 林将央 (国立天文台), 小山佑世 (国立天文台ハワイ観測所), 但木謙一 (MPE), 鈴木智子, 嶋川里澄 (総合研究大学院大学)

赤方偏移 2.30 にある原始銀河団 HS1700+64 領域 (以降 HS1700) について、すばる望遠鏡による [OIII] 輝線天体探査を行ったので、その初期解析結果を紹介する。

HS1700 原始銀河団は 2005 年に Shapley et al. と Steidel et al. によって発見が報告されて以来、X 線から可視近赤外、サブミリ波に渡る豊富な観測データを背景として、現在知られている $z \sim 2$ 原始銀河団の中では最も詳細に性質が調べられているものの一つである。

今回我々は、MOIRCS に搭載されたナローバンド (NB) フィルタを用いて、この原始銀河団に属する [OIII] 輝線天体を探査した (S14A サービス観測)。観測視野として、Erb らによって 3 つの Ly α Blobs (LABs) が LAE の構造をトレースする様に並んでいる場所を選定した。我々が検出した約 20 個の輝線天体の分布は、期待通りこの LABs の分布に沿って緩く分布していることが分かった。しかし、彼らが検出した LAE や LAB と、今回我々の検出した NB 超過天体の 1 対 1 対応はあまり良くない。これは、interloper やフィルタ関数の違いで説明できるものもあるが、[OIII] emitter の無視できない割合が強い Ly α 輝線を出していない可能性を示唆している。我々の [OIII] 輝線天体候補サンプルは比較的大質量 ($> 10^{10} M_{\text{solar}}$) のものが多く、LAE 探査で検出されにくい、よりマッシブでかつ高い specific star-formation rate を持つ銀河や、AGN と言った銀河団メンバーを検出できた、と考えられる。我々は $z > 3$ で K バンド帯に来る [OIII] 輝線を利用して原始銀河団の星形成銀河探査を行う事を提案しているが、そうして選ばれた原始銀河団の銀河が持つであろうバイアス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](#)

X50a 赤方偏移3から6にわたる無バイアスな原始銀河団探査

利川潤、柏川伸成、田中賢幸、新納悠、古澤久徳（国立天文台）、Roderik Overzier（ブラジル国立観測所）、Matthew A. Malkan（カリフォルニア大学）、石川将吾、内山久和、尾上匡房（総合研究大学院大学）、太田一陽（ケンブリッジ大学）

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だけでなく、銀河進化に対する環境効果を理解する上でも重要である。原始銀河団は稀な天体であるため、高密度環境にバイアスされていると考えられている電波銀河やQSOを目印に使い、その天体の周辺でのみ原始銀河団探査を行う例がほとんどであった。しかし、電波銀河・QSOを含まない原始銀河団もいくつか発見されていることから、銀河団形成の全体像を理解するためには電波銀河・QSO領域以外での原始銀河団探査も不可欠である。そこで本研究では 4deg^2 の広視野領域であるCFHT Legacy Survey Deep Fieldsを用いることで、目印となる天体を使わずに無バイアスな原始銀河団探査を、赤方偏移3から6にわたって系統的に行った。理論モデルとの比較から、赤方偏移0でのダークマターハロー質量が $10^{14} M_{\odot}$ 以上になる確率が80%を越える原始銀河団候補を合計21領域同定した。そのうち赤方偏移3から6にわたって2領域ずつ計8領域を分光追観測し、赤方偏移3から4の原始銀河団を3つ発見した。特に赤方偏移3.67の原始銀河団については原始銀河団銀河を11天体同定することができ、原始銀河団の内部構造や銀河の性質について詳細な解析を行った。その結果、原始銀河団銀河の半数が中心領域に強く集中したコア構造を持つ分布をしており、フィールド銀河と比べると $\text{Ly}\alpha$ 等価幅が有意に小さいという特徴も見つかった。赤方偏移3.67という遠方においても銀河集積に伴い、環境による銀河の性質の違いが現れていると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X51a Hubble Legacy Data で探る $z = 0 - 10$ 銀河形態進化

澁谷隆俊, 大内正己, 播金優一, 久保真理子 (東京大学宇宙線研究所)

銀河の形態はその力学構造, フィードバックなど銀河の数々の性質を反映していると考えられ, 古くから研究が行われてきた. 近年ではハッブル宇宙望遠鏡 (*HST*) の深撮像観測により, $z \sim 7$ を超える銀河の形態調査が可能となった. しかし, 過去の多くの研究では サンプル毎の形態測定手法の差異・high- z 銀河サンプルが小さいことなどが原因で, 形態の進化を包括的に理解するには至っていなかった.

そこで我々は CANDELS/HUDF/HFF 領域から成る *HST* の主要な深撮像 legacy data を結集させ, $z = 0 - 10$ の銀河形態の進化に迫った. 銀河サンプルは ~ 19 万個の photo- z +Lyman break 銀河で構成されており, 角度分解能 $\lesssim 0''.1$ の観測が可能な 30m 望遠鏡+*JWST* 時代を前にした銀河形態研究の決定版にすることを目標とした.

この大サンプルにより, 様々な系統的な不定性 (e.g., 観測波長, 統計手法) を適切に評価すると共に, 銀河形態に関わる量 (e.g., サイズ, クランピー構造) を $z \lesssim 7 - 10$ の high- z まで高い統計精度で決定することができた. 銀河サイズ測定の結果, 星形成銀河は, $z \sim 0$ から (少なくとも) $z \lesssim 6$ で (1) 典型的な Sérsic index が $n \sim 1.5$, 有効半径 r_e の頻度分布が対数正規分布を持つ, (3) その分布の幅 $\sigma_{\ln r_e}$ が dark halo spin parameter のそれと概ね等しい, ことが分かった. このことから「広い赤方偏移範囲において, 星形成銀河の多くはディスク銀河に似た表面輝度構造 及び 力学構造を保持している」ことが明らかになった (Shibuya et al. 2015). その他にも, 星形成率表面密度の進化, UV slope β の r_e に対する依存性, など銀河サイズに関係する量の調査も行った. 本講演では, 主として銀河サイズ研究の結果を報告する. また, より細かな構造である銀河内クランプの形成過程・物理的描像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](#)

X52a クランピー銀河の割合の環境依存性

村田勝寛 (名古屋大学), 鍛冶澤賢, 谷口義明, 小林正和, 塩谷泰広 (愛媛大学)

ハッブル宇宙望遠鏡の高解像度観測により、遠方宇宙では巨大な星団（クランプ）を持つ銀河（クランピー銀河）が多く存在することが明らかになった。クランピー銀河は、現在の宇宙にはほとんど存在しないことから、現在の宇宙の銀河の祖先と考えられる。そのため、クランピー銀河のクランプ形成（クランピー形態の発生）過程やその後の進化は、現在の規則的な銀河形態がどのようにできたのかを理解する上で重要である。我々は、ハッブル宇宙望遠鏡の最大の観測天域である COSMOS 天域において、大規模なクランピー銀河サンプルを構築し、クランピー銀河の割合の系統的な研究を行ってきた。2013 年春季年会では、クランピー銀河の割合の時間進化と、比星形成率との関係について報告した。クランピー銀河の割合が現在に近づくにつれて減少すること、また、銀河の比星形成率が増加するほどクランピー銀河の割合が増加することを示し、これらの観測結果と先行研究の観測事実から、遠方宇宙ではガスが豊富な円盤において重力不安定によりクランプが形成され、現在に近づくにつれ銀河のガスが減少することで星形成とクランプ形成が抑制されクランピー銀河の割合が減少してきている可能性を指摘した。

本講演では、クランピー銀河の割合の環境依存性について報告する。環境指標は、COSMOS 天域の銀河個数密度マップ (Scoville et al. 2013) を用いた。結果として、クランピー銀河の割合は、フィールド環境ではほぼ一定であるが、銀河群程度の高密度環境では統計的に有意でないものの減少する傾向が見られた。これは高密度環境とフィールドでクランピー形態の主要な発生過程が異なる、もしくは、高密度環境の銀河はフィールド銀河に比べてガスが少なくクランプ形成が抑制され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](#)

【Y. 天文教育・その他】

9月9日(水) 午前(11:00-13:00) [B会場]

Y01a	11:00	CANDY ROCKET PROJECT とその教育普及効果 阪本成一(国立天文台)
Y02a	11:12	4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」 加藤恒彦(国立天文台)
Y03a	11:24	温室効果検出への挑戦. I. よくある誤解と室内実験の問題点 土橋一仁(東京学芸大学)
Y04a	11:36	温室効果検出への挑戦. II. 実験器の試作 下井倉ともみ(東京学芸大学)
Y05b	11:48	天体の日周運動と年周運動の理解を促進する教材の開発(3) 瀧崎智佳(上越教育大学)
Y06b	11:48	全天モニタ画像用座標校正ソフトウェアの開発 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y07c		アジアの星物語にもとづくプラネタリウム教育教材の製作 福田尚也(岡山理科大学)
Y08c		ブラックホールを題材にした天文教育ネットワーク 大西浩次(国立長野高専)
Y09b	11:48	アーティストインレジデンス in 国立天文台野辺山 衣笠健三(国立天文台)
Y10c		美術館の「宇宙をみる眼—アートと天文学のコラボレーション」企画に於けるアーティストインレジデンス in 国立天文台野辺山 大西浩次(国立長野高専)
Y11c		美術館でのアートと天文学のコラボレーション 大西浩次(国立長野高専)
Y12a	12:00	「銀河学校」と「もし天」、その他天文学実習の連携についての考察 三戸洋之(東京大学)
Y13a	12:12	多層な参加者の交流促進を目的としたポスターセッションの実践と分析 玉澤春史(京都大学)
Y14a	12:24	病院や社会福祉施設等における、「星空」を媒介としたコミュニケーションイベントの可能性 鈴木裕行(筑波大学)
Y15a	12:36	新聞にみる天文の表象 中村理(早稲田大学)
Y16b	12:48	大学生の銀河に対する認識の一例と国立天文台 4D2U プロジェクト映像による解決案 倉山智春(帝京科学大学)
Y17b	12:48	科学コミュニケーションの新たな可能性を探る試み～天文学と茶道～ 浅見奈緒子(日本教育大学院大学)
Y18b	12:48	地域連携を通じた教育普及・科学史調査 - 日本の宇宙開発発祥の地、国分寺市の場合 阪本成一(国立天文台)
Y19b	13:00	日本惑星協会の再発足について 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
Y20b	13:00	大阪市立科学館の天文展示の25年 渡部義弥(大阪市立科学館)

9月9日(水) 午後(15:00-17:00) [B会場]

Y21a	15:00	「天文教育・その他」の論文はどこに投稿すればよいのか?(III) 縣秀彦(国立天文台)
Y22a	15:12	キトラ古墳天文図の観測年代と観測地の推定 相馬充(国立天文台)
Y23a	15:24	赤色巨星は赤いのか!? 西本英里菜(大阪教育大学)
Y24a	15:36	高校地学で分かる食連星の物理量の考察 佐々井祐二(津山工業高等専門学校)
Y25a	15:48	ぐんま天文台における高等教育 橋本修(ぐんま天文台)

Y01a

CANDY ROCKET PROJECT とその教育普及効果

阪本 成一 (国立天文台), 和田 豊 (千葉工業大学), 秋山 演亮 (和歌山大学), 荻本 健二 (創機システムズ), 柳 貴男 (博報堂 DY メディアパートナーズ) ほか CANDY ROCKET PROJECT 実行委員会

キャンディロケットは高カロリー食品を燃料に用いた世界初のハイブリッドロケットである。ハイブリッドロケットは固体の燃料と液体の酸化剤を組み合わせた推進方式で、性能だけでなく安全面、環境面、費用面でも優れ、次世代のロケット推進方式として注目されているほか、大学等での研究・教育にも用いられている。燃料としては樹脂やゴムなどが一般的だが、ここではソフトキャンディを採用した。子どもたちがふだん口にする菓子を燃料にしてロケットが打ち上がることの意外性は圧倒的な教育普及効果をもつほか、将来的に有人宇宙船の緊急脱出用の燃料に食料を使う道を開くかもしれない。2012年夏の発案以来、ハイブリッドロケットや機体設計、射場運営に長けた専門家や学生からなる CANDY ROCKET PROJECT 実行委員会を組織し、地上燃焼試験等の開発試験を進めてきた。2年余りかけて開発された全長 1.8m、重量 8kg のロケットは 2015 年 3 月 7 日、わずか 20 粒のソフトキャンディを燃料として、子どもたちや報道関係者が大勢見守るなか、和歌山県のコスモパーク加太から 2 回打ち上げられ、いずれも成功してパラシュートで回収された。開発の経過も含めたこのプロジェクトのようすは <http://www.uha-mikakuto.co.jp/candyrocket/> から動画込みで閲覧できる。講演ではこのプロジェクトの経緯を紹介するとともに、得られた知見や教育普及面での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](#)

Y02a 4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」

加藤恒彦, 小久保英一郎, 縣秀彦, 榎崎弥生, 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は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。これまで2014年12月、2015年3月、6月にバージョンアップを行い、月の地形と地名の追加、VERAプロジェクトにより観測された天体の追加、月食の色の編集機能、土星の環に落ちる影の表示、冥王星探査機ニュー・ホライズンズなどの追加、銀河系中心の巨大ブラックホール周りの恒星系の追加、ブラックホールの重力レンズ効果のシミュレーション、最大スケールでの宇宙マイクロ波背景放射の表示、惑星や衛星の地形を眺めながら地表付近を飛び回る事ができるモードの追加、などを行った。また、ドームマスター(魚眼)表示機能の追加、バーチャルリアリティ用ヘッドマウントディスプレイ Oculus Rift DK2 への対応などを行い、様々な形態で Mitaka を見る事が可能になった。

講演では、Mitaka の概要、最近の開発状況やバージョンアップで追加した新機能の紹介、今後の開発予定などについてお話ししたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a 温室効果検出への挑戦. I. よくある誤解と室内実験の問題点

土橋一仁、下井倉ともみ（東京学芸大）、松本伸示（兵庫教育大）

地球温暖化は世界的に重要な関心事の一つであり、その解決は今や人類の喫緊の課題であると言える。地球温暖化の主な原因の一つとして、温室効果という言葉は世界中で知られるようになった。わが国でも、温室効果は高校「地学基礎」の教科書で1ページ程度の分量を割いて取り上げられている。しかし、教科書等では適切に説明されているにもかかわらず、温室効果の原理は一般には十分に理解されていない。小学校高校の大多数の児童・生徒はもちろんのこと、教員さえも誤解していることも多い。これまで温室効果を扱った数少ないモデル実験の例としては、二酸化炭素と窒素を封入した2つのペットボトルを赤外線ランプで温め、内部の気体の温度上昇を比較するというものがある。インターネットでも紹介されているこのような実験は、実は単に気体（二酸化炭素と窒素）の比熱の違いを測定しているに過ぎず、温室効果の原理を説明する実験としては、適切でないと言わざるをえない。

このような誤解が生じる原因は、温室効果の原理を分かり易く説明するための簡単なモデル実験が存在しないことである。しかし、地球スケールの現象である温室効果を限られたスペースしかない実験室で再現することは極めて困難である。我々の知る限り、信頼できる実験室での検出報告は、これまで皆無であるといってよい。

そこで我々は、ここ数年、科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究、課題番号 24650518）の資金的援助の下、温室効果を実験室で再現するための実験器の開発に取り組んできた。開発そのものは未だに成功に至っていないが、温室効果を実験室で検出する上での問題点は、かなり明らかになった。本講演では、温室効果のよくある誤解（実験例等）について紹介した後、温室効果を実験室で検出する上での問題点について、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](#)

Y04a 温室効果検出への挑戦. II. 実験器の試作

下井倉ともみ、土橋一仁（東京学芸大）、松本伸示（兵庫教育大）

本講演では、我々のもう1つの講演（土橋・下井倉・松本）で述べた温室効果実験器の設計と試作について、報告する。高校地学でも扱う温室効果は地球温暖化の原因の1つと考えられており、社会的な関心も年々高まっている。しかし、温室効果は地球スケールで起きている現象であり、小さな実験室で再現することは極めて困難である。そこで我々は、温室効果を再現するための実験器の開発にチャレンジした。上部に太陽を模した光源（白熱電球等）、下部に地球表面を模した黒塗りの銅板、その間に地球大気を模した気体（窒素または二酸化炭素）を封入した容器を設置した実験器を設計し、さまざまな検討を加えた。その結果、温室効果を再現するためには、以下の3つのモデル化を実現する必要があることが分かった。(1) 安定な太陽光：銅板の1 程度の温度変化として現れる温室効果を検出するためには、太陽のモデルである白熱電球の光出力を0.5%程度の高い精度で制御しなければならない。(2) 冷たい宇宙空間：僅かな黄道光等を除けば、地球大気の外側の光源は太陽しかない。しかし、実際の実験室では、白熱電球の傘や実験器の壁など、余計な中間赤外線を放射する光源が多くある。温室効果を再現するためには、そのような余計な中間赤外線を排除しなければならない。(3) 透明な地球大気：実験に使用する気体は何らかの容器に封入しなければならないが、その容器は可視光から中間赤外線にかけて透明でなくてはならない。

以上の(1)(3)を考慮して装置を試作し、実験を行った。特に上記(3)のモデル化が十分実現できないため、温室効果は未だに検出できていないが、どのような問題を解決すべきなのかは、かなり明らかになった。本講演では、試作した実験器と試験実験の結果、および、さらに解決すべき問題点について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y05b 天体の日周運動と年周運動の理解を促進する教材の開発(3)

瀧崎智佳, 斉藤美妃(上越教育大学), 落井裕子(福井県児童科学館)

平成24年度から完全実施されている学習指導要領では、小・中学校ともに観察が多用されており、重視されている。しかし、天文分野での観察・実験を行っている教員の割合は低く、指導の際に困難を感じている教員が多い。本研究では、それらを補い、太陽や星、月の日周運動の理解を促進する効果的な教育プログラム開発を目的として、高品質な全天画像が取得できるシステムの構築を行っている。システムの詳細とそれをを用いた教育プログラムについては、2014年春季年会(Y03c)及び2015年春季年会(Y12b)で報告済みである。

製作したシステムは、上越教育大学自然棟屋上に設置され、10分ごとに画像を取得し研究室で運用しているサーバーに転送、撮影された一日の観測画像をwebページで見ることができる。初期のwebページでは、静止画像をアニメーションgif化したものも含めて取得された画像データを一日ごとにまとめてあったが、日ごとのページ検索ができず、学習目的に適した記録を見つけるのは困難である等の問題が残っていた。また、データ揭示の機能のみであるため、授業等で利用する際も天体の動きについての考え方や見方は教師に委ねられ、その技量に大きく依存するという問題もあった。そこで、日付を選択し、その日の全天画像とアニメーションを見ることができるよう過去のデータをさかのぼって見られる機能を付加したページを作成した。また、全天画像は、2次元に投影された画像であり、生徒が慣れ親しむ実際の空で観察する日常の太陽の動きと結びつけることが困難だと考えられるため、全天画像と透明半球上での太陽の動きを組み合わせることで理解を深めることができるよう、全天画像のアニメーションでの太陽の動きに合わせて透明半球上で太陽が動く様子を示すアニメーションを追加した。

本講演ではこれらのwebページを紹介し、それをを用いた教育実践について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06b 全天モニタ画像用座標校正ソフトウェアの開発

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、みさと天文台において全天モニタ画像を取得している。全天モニタ画像は、天候判断など望遠鏡による観測の補助的な用途が主である。しかしデジタル一眼レフカメラの空間分解能や感度など性能の向上により、科学的な利用の意義が高まった。科学的な利用には、星の位置を精確に表すため座標の校正が必要である。投影法はレンズの仕様から既知であるが、機器設置や撮影時刻の誤差、風雨除けの透明半球による光学収差で画像上の星の位置を確定できない。さらに機器の交換や保守のため投影係数は数か月に一度の程度で変わる。

そこで我々は、全天モニタ画像上に写る星の位置を、精確に表現できる座標校正用の係数を、簡便に導き出すソフトウェアの開発を行った。

概要としては、観測地の座標や撮影日時、機器の仕様を初期値とし、恒星カタログによる星の位置を画像上に示した。また画像から検出される星の位置を示し、グラフィカルユーザインターフェイス（GUI）にてユーザが両者を同定した。同定された多数の星を用いて係数を統計処理にて求めた。ユーザの操作などGUIや画像に写る星の検出は、Java言語にて開発した。また座標校正の中心となる非線形最小二乗法の解法には、Levenberg-Marquardt法を用いて統計処理ソフトRにて行った。なお校正に用いる恒星カタログには、SAO-J2000を用いた。

本発表では、開発したソフトウェアについて紹介するとともに、校正された画像をご覧いただき、本ソフトウェアの機能について議論したいと考える。

なお、本研究はJSPS科研費25350330の助成を受けたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07c アジアの星物語にもとづくプラネタリウム教育教材の製作

福田尚也、阿辺倫子（岡山理科大学）

星・星座の神話として、一般的に知られているのはギリシャ神話だが、我々の住むアジア地域にも様々な神話が古くから伝えられている。2009年の世界天文年をきっかけに、国立天文台の海部宣男氏を中心として、アジア地域の神話・伝説を世界に紹介することを目指した「アジアの星プロジェクト」が立ち上げられた。その成果として、2014年2月にアジア13の国・地域の神話・伝説をまとめた書籍「アジアの星物語」が万葉舎から出版された。本研究では、この書籍を題材に我々の住むアジア地域にも数多くの魅力的な神話が存在しそれを伝えることと、アジア地域の神話を用いて天文教育を普及することを目指し、プラネタリウム教育教材を製作した。製作した教材のうちモンゴルの遊牧民の神話である「太陽と月」を、2015年2月15日に、岡山理科大学と協力体制にある岡山県生涯学習センター「人と科学の未来館サイピア」にて上映を行った。大学の高校生向けの恐竜講演会と共同実施し、プラネタリウム上映の際には、一般客にも入場していただいた。参加者に対して、星・星座の神話に関する簡単なアンケートを実施した。アジア（モンゴル）の神話は、プラネタリウムの一般客においては、多くの人に興味を持ってもらえることが分かった。また、ギリシャ神話と比較した場合は、どちらかというとギリシャ神話に興味を持つ人が多いことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08c ブラックホールを題材にした天文教育ネットワーク

大西浩次 (長野高専), 嶺重 慎 (京大), 高橋真聡 (愛教大)

2014年に、銀河系中心にある巨大ブラックホール Sgr A*のすぐ近傍を、ガス雲 G2が通過するとき、銀河系中心で何が起きるのか、理論・観測から数々の研究が行なわれた。残念ながら、Sgr A*に顕著な変動は起きなかったが、このことをきっかけに、銀河系中心に「巨大ブラックホールが実在する」証拠を得るための天文学的知見や研究手法を、学校の教育や科学リテラシーに反映させるプログラムを作る組織が作られた。メンバーは、ブラックホールを光学、電波、X線、理論などで研究する研究者と学校教育や科学館などで活躍する教育者である。

第1回目の研究会(2014年11月)では、ブラックホールに関する観測的・理論的取り組みなどのレビューと高校や大学の教育現場からの高校教育・大学教育での天文学の状況などの報告があり、これらを踏まえて総合討論を行なった。第2回目の研究会(2015年5月)では、VLBIで探る超巨大ブラックホール探査の最前線のレビューと共に、より具来的な、衛星データを使ったブラックホール教材や高校や大学の教育現場で使える教材製作の可能性などについて議論した。この2回の研究会のWEB集録は下記で見ることが出来る。

<http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/takahasi/GCF2014/index.html>

<http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/takahasi/GCF2015/index.html>

これらを踏まえて、実際に高校や大学の教育現場で使える教材を製作・評価をするためのワーキンググループを作ることになった。今後、この教材の開発を進めると同時に、研究者と教育者を連携させるプログラムを作る手法自体を研究し、このスタイルの科学教育の進め方をほかの分野にも広げたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b アーティストインレジデンス in 国立天文台野辺山

衣笠健三 (国立天文台)、鈴木幸野 (志賀高原ロマン美術館)、大西浩次 (長野高専)、西岡真木子、井出秀美、内藤誠一郎、斎藤正雄、ほか国立天文台野辺山スタッフ (国立天文台)

今年7月～10月に行われている長野県山ノ内町立志賀高原ロマン美術館の企画展「宇宙をみる眼—アートと天文学における“宇宙とはなにか”」のイベントとして、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 (以下、NRO) でのアーティストインレジデンス (以下、AIR) を、5月25-28日に実施した。企画展は地域振興とアートと天文学という領域にまたがる新しい企画としてすすめており、長野県ゆかりの若手アーティストを対象にしたNROでのAIR実施はまさにこの企画のコンセプトを具体化したものであるといえる。また、AIRの実施は国立天文台をはじめとした国内の天文研究機関では初めての試みである。

AIRとは、アーティストが実際に開催地などに数日から数ヶ月間滞在してそこでの体験からインスピレーションを受けた作品を制作するという企画である。アート業界においては頻繁に実施されており、日本では地方公共団体等が企画しているものもある。海外ではいくつかの天文研究機関で実施している例がある。

今回のAIRは志賀高原ロマン美術館主催、NROが協力する体制で実施し、出身や在住を含めた長野県ゆかりのアーティスト5名が参加した。NROでは45m電波望遠鏡の共同利用には影響を与えない範囲で、かつ、天文台として活動している現場を見てもらうことを意識した。また、制作活動に入るアーティストもいることも考慮し、活動場所とともに、自由時間を多く取るようスケジュールを組んだ。初めての試みであったため不安もあったが、参加者の方々から「いい時間で、たくさんのものを得られた」といったコメントが得られた。本講演では、天文台としてこの企画に協力した狙いや経緯の説明とともに、AIRの実際の様子など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](#)

Y10c 美術館の「宇宙をみる眼—アートと天文学のコラボレーション」企画に於けるアーティストインレジデンス in 国立天文台野辺山

鈴木幸野(志賀高原口マン美術館)、大西浩次(長野高専)、衣笠健三、西岡真木子、井出秀美、内藤誠一郎、斎藤正雄、ほか国立天文台野辺山スタッフ(国立天文台)

山ノ内町立志賀高原口マン美術館では、2015年度夏季企画展「宇宙をみる眼—アートと天文学のコラボレーション」のイベントとして、自然科学研究機構国立天文台野辺山宇宙電波観測所(以下、「国立天文台野辺山」)の協力のもと、長野県ゆかりの若手アーティストを対象にした「アーティスト・イン・レジデンス in 国立天文台野辺山(以下、AIR)」を、2015年5月25-28日に実施した。国立天文台でのアーティスト・イン・レジデンスは国内の天文研究機関として、初めての試みであった。

今回、AIRの公募に応募いただいた長野県ゆかりの若手アーティストから、青島左門(長野県大町市)、千田泰広(長野県安曇野市)、前沢知子(東京都世田谷区)、松本恭吾(東京都台東区)、山極満博(長野県坂城町)の5人が参加した。参加アーティストの皆さんは、国立天文台野辺山に実際に滞在し、プログラムを通じて天文学の最先端に触れることができた。

本発表では、この滞在前の天文学への印象や、滞在中の印象や滞在中に得たインスピレーションが作品となってゆく過程での宇宙観の変化などを、参加アーティストへのアンケートやインタビューから分析して紹介する。さらに、出来上がった作品などを通して、「アートと天文学」という一見、まったく違う分野がどのように出会い、どのように結びつくのか、その相互理解の現場と作品の生まれる過程を、評価し、今後のAIR活動への布石としたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11c 美術館でのアートと天文学のコラボレーション

大西浩次 (長野高専), 鈴木幸野 (志賀高原ロマン美術館)

天文学は宇宙をどのように見てきたか。21世紀になり、宇宙の起源や生命の起源、第二の地球探しなど、人間の持つ非常に根源的な疑問に答えることができる時代になりつつある。観測装置の高度化や観測結果の複雑のなかで、どのようにすれば、最新の天文学と人々の感覚を繋いで行くことができるであろうか。

この一つの試みとして、最新天文学と現代アートを融合させ、新しい表現を作る過程において、これまでに無いスタイルの天文教育が展開できる可能性がある。いま、長野県山ノ内町立「志賀高原ロマン美術館」では、2015年7月18日(土)~10月12日(月)まで、「宇宙を見る眼、アートと天文学のコラボレーション」展を行なっている。そこでは、宇宙とはなにか―「宇宙を見る眼」をコンセプトに、最新の科学技術からアート作品まで、さまざまな「眼」を通した宇宙像を提示することを目的としている。

展示内容として、天文学側から、長野県内の東大木曾観測所シュミット望遠鏡に使用された撮像装置や乾板プレート、国立天文台野辺山45m電波望遠鏡で使用された受信機やその発展としてのアルマの受信機などを展示する。同時に、プレイペンとして行なった、山ノ内町全小学校(4校)における、「天文学者(大西浩次)×アーティスト(山極満博)」のキャラバン・ワークショップ(2015年5月7,12日)や、国立天文台・野辺山アーティストレジデンス(2015年5月25日~28日)の公募により選ばれた長野県ゆかりの5人のアーティストにより制作された作品、さらに、長野県にゆかりのあるアーティストたちによる「宇宙」の展示など多角的な展示を示しながら、全体として現代の宇宙観を表現している。同時に、これらの企画の活動自体が、一つのアートであり、新しい天文教育の創造の場であるとも考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12a 「銀河学校」と「もし天」、その他天文学実習の連携についての考察

三戸洋之 (東京大学), 板由房, 田中幹人, 服部誠 (東北大学), 岩崎仁美 (仙台市天文台・東北大学)

「銀河学校」は、東京大学木曾観測所で1998年より行われている、全国の高校生を対象とした合宿型の天文学実習である。「もしも君が杜の都で天文学者になったら (略称: もし天)」は、東北大学天文学専攻と仙台市天文台で2010年より行われている天文学実習である。

銀河学校がはじまった1998年当時、高校生が大学の研究現場に行き、最先端の研究を体験する、という実習は少なかった。そのため、社会からの注目度も高く、応募者数が300名を超えるほどの反響があった。その後、2002年より日本学術振興会により、SPP(サイエンスパートナーシッププロジェクト)、SSH(スーパーサイエンススクール)といった施策が開始され、現在では、多くの機関で科学実習イベントが盛んにおこなわれるようになった。

このような状況となり、各機関が独立に実習を行っている現在の状況から、連携して実習を行う体制へと変えた場合の効果について考察した。例えば、連携する利点として、生徒が実習を選択する際の余地が広がることが挙げられる。これまで、実習に参加した生徒に聞くと、他の実習について知らない生徒が多く、近くで行われる実習を知らず、やむなく遠方から参加したという生徒も多くいた。また、この背後には、実習に行きたくても、開催地が遠方なので行けない、という生徒が多くいる可能性も考えられる。各機関が連携し、各実習の情報を発信することで、このような生徒への対応が実現される。このほかの利点としては、これらの教育活動の社会に対する可視化が進むことで、社会への認識が広まることも挙げられる。

今回の発表では、銀河学校ともし天の特色を比較し、その他の天文学実習も含めて、これらが連携した場合の効果について考察した結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13a 多層な参加者の交流促進を目的としたポスターセッションの実践と分析

玉澤春史，山下俊介，磯部洋明（京都大学）

科学コミュニケーションには研究者や市民，科学コミュニケーターなど，関わり方によって様々な参加者が存在するが，参加者間の相互交流・結びつきには役割などによって濃淡があり，結果として参加者自身，また参加者の役割の固定化につながり，新規性・積極性に歯止めがかかってしまう可能性がある．京都大学の宇宙総合学研究ユニットでは，2015年に実施したシンポジウムにおいて，それまでの講演とパネルディスカッションに加え，宇宙に関わる研究，教育，普及に関わる様々な個人や団体を並列に並べたポスターセッションを実施した．高校生から大学関係者，企業に至るまで同等に扱うことで，通常の活動では結びつきが薄い二者間にも交流を促す狙いであった．ポスター出展者と来場者の交流は好評だった一方，出展者同士の交流はもう少しあったという声もあり，主催者側のさらに積極的な仕掛けが必要であることが伺える．反省点を踏まえ，ポスターセッションは2016年の2月にも再び実施する予定である．本講演では実施と分析について，特に宇宙・天文に関する科学コミュニケーションに関する参加者層が互いに何を求めているかという観点から報告を行う．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14a 病院や社会福祉施設等における、「星空」を媒介としたコミュニケーションイベントの可能性

鈴木裕行 (筑波大学)

筑波大学の学生を中心として集まったボランティアグループ UNICO(ユニコ) は、「星空」や「宇宙」をテーマに社会貢献活動を行っているグループで、理学の学生だけでなく工学や芸術、看護、医学といった多くの分野の学生にて構成されている。現在は病院を中心に活動を展開しており、患者さんや職員さんと宇宙を媒介に直接コミュニケーションを取ることで、人々の「つながり」を作り、宇宙の壮大なスケールに驚きや感動に対して「きづき」を、また、それらを媒介とした「やすらぎ」を提供する事を目的として諸活動を行っている。筑波大学附属病院では、現在まで、天体観望会、星空のお話会、七夕をテーマとした院内のお祭りなど様々なイベントを開いてきた。多くの患者さんや職員さんに楽しんでもらい、活動の重要性を認識してきた。本講演では、諸イベントの実施報告に加え、病院以外での活動の報告、また、7月に筑波大学附属病院にて予定している「七夕星まつり」の実施報告も行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15a 新聞にみる天文の表象

中村理（早稲田大学）

本調査は、天文学と社会の関わりを考察することを目的に、「天文」という言葉が新聞にどう使われているのかを、計量テキスト分析を用いて明らかにするものである。天文がメディアにどう表象されるかは、天文学の広報と普及に重要なテーマである。しかし、過去の天文学会年会では、実証的にメディアを検証する報告に乏しいのが現状だ。そこでこの調査では、その隙間を埋めることに挑む。新聞を対象とするのは次の3つの理由による。すなわち、新聞はマスなメディアで世相の反映が期待できること、長期にわたって均質な内容を提供していること、記事データベースがあること、である。

調査は、全国紙の中でも発行部数のもっとも多い読売新聞と朝日新聞を対象にした。そして、1985年から2015年までの記事のうち、「天文」という言葉を含むものをすべて抽出し、計量テキスト分析をおこなった。計量テキスト分析の基本の一つは、記事中の言葉を数えることである。たとえば、単純に数え上げればよく使われた言葉が分かる。その結果、それら記事中にみられる頻出語の上位には「科学」「望遠鏡」「研究」「観測」「教授」などがあげられた。ここからは、天文が研究的な側面から語られていることがうかがえる。また、同じ記事中に使われることが多い言葉同士は、関係が深いものと類推される。これをもとに、使われた言葉を機械的にクラスター分析にかけることができる。その結果、天文は、研究/研究者、教育、日食や彗星等の観測体験など、いくつかの文脈で語られたであろうことが量的に示された。発表では以上を含め、計量テキスト分析からうかがえる、新聞の天文の語り方を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y16b 大学生の銀河に対する認識の一例と国立天文台 4D2U プロジェクト映像による解決案

倉山智春 (帝京科学大)

帝京科学大学の一般教養科目の1つとして、2013年度から天文学に関する講義「宇宙と天文学」を実施している。その初回の講義では、天文学が主に電磁波観測という受動的な事実をもとに構成されていることを説明した上で、次のような質問をしている。

「太陽を作る」のような実験は、通常実行できません。しかし、もしあなたが魔法使いでどんな実験でもできるとしたら、あなたはどんな実験をしてみたいですか。

初年度の2013年度は天文学といってもどうしても地球や生命に関する回答が多く(2013年は168件中35件)、銀河に関する回答はなかった。中学校までの教育課程で銀河に関する取り扱いがないことも原因の1つである可能性がある。

そこで2014年度にはこの質問をする前に国立天文台4D2Uプロジェクトのホームページにある動画「コズミック・ビュー」(地球から太陽系、恒星系、銀河系、宇宙の大規模構造へとどんどん縮尺を変える動画)を見せたところ、地球や月に関する内容が減少(168件中45件から208件中40件)し、宇宙全体・銀河に関する内容が増加した(168件中30件から208件中46件)。「見たことはあるが聞かれると答えられない」大学生の天文学に対する意識の一端が垣間見える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y17b 科学コミュニケーションの新たな可能性を探る試み～天文学と茶道～

浅見奈緒子 (日本教育大学院大学), 高梨直紘 (東京大学)

近年、科学コミュニケーション分野ではさまざまな対話活動が行われているが、その中でも、距離が遠いように思われる複数の視点を取り入れた企画が注目を集めている (e.g. 「子育てと天文学」「芸術と天文学」)。これらの異分野のコラボレーションは、互いの分野の理解を深め、両者の新たな関係を創造していると言える。

今回、私たちはこのふたつの視点の組み合わせとして「天文学」と「茶道」を選択し、それに基づいて実際にイベントを2回開催した。このイベントに合わせて行ったアンケート結果を元に、天文学と茶道に対して参加者が持っていたイメージがそれぞれどのように変化したか、人間の文化と自然との深い関わりを感じられたか等の分析を行ったので、その結果を報告する。

また、このような異分野のコラボレーション企画は、企画者-参加者間の関係の変化や、参加者らの自然科学・文化への興味関心への喚起などに対して、ポジティブな影響を与えていると考えている。天文学普及の観点からその意義を明らかにし、その評価方法についても、議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y18b 地域連携を通じた教育普及・科学史調査 – 日本の宇宙開発発祥の地、国分寺市の場合

阪本 成一 (国立天文台), 大川 拓也 (宇宙航空研究開発機構)

戦後まもなく再開した日本のロケット開発は今年で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。国分寺市ではイベントとして小惑星にkokubunjiと命名する提案申請(2014年10月)、「はやぶさ2」打ち上げパブリックビューイング(同年12月)、2015年2月に小惑星の命名を報じるリリース、そして4月11日に水ロケット水平発射大会、12日には記念式典と講演会を実施、11日から19日にかけての企画展「ペンシルロケット60年目の待ち合わせ in 国分寺」では、存在が確認されているペンシルロケット実機ほぼすべてをはじめ、「はやぶさ」カプセルやイトカワ微粒子の展示も行った。いまや国分寺市は「日本の宇宙開発発祥の地」であることをシティーセールスの軸の一つに据え、ふるさと納税でペンシルロケットレプリカを返礼品として用意するなど、市を挙げた取り組みに広がっている。企画展を機に発見されたペンシルロケットの一つは市に寄贈され、市内の教育現場で利用されることとなった。水平試射実験の地に建つ早稲田実業学校との連携を含め、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](#)

Y19b 日本惑星協会の再発足について

吉川真 (JAXA), 井本昭, 高岸敏雄 (日本惑星協会)

カール・セーガン氏らによって1980年に惑星協会というものが設立されたが、その活動を日本でも行おうと1999年に日本惑星協会が設立された。しかし、2011年に解散され、活動は停止していた。本年、新たなメンバーが中心となって、この活動を再開する方向で議論が進められている。本講演では、新しい日本惑星協会の活動内容を中心に紹介する。

新たに再開する日本惑星協会の活動の主目的は、現在行われてる太陽系探査について情報を分かりやすく発信することで、なるべく多くの人に太陽系探査というものに興味をもってもらうことである。日本での太陽系天体探査はもちろんであるが、米国、欧州そしてその他の国による探査について情報発信を行う。そのために、米国惑星協会をはじめとしてその他の組織と連携したり協力したりしながら、日本独自の活動を構築していく。

さらに、単に情報発信をするだけでなく、多くの人とのコミュニケーションができるような仕組みも構築していく予定である。講演会など直接対面して議論を行う機会に加えて、ネットワークを利用したコミュニケーションの場を作ることで、専門の研究者に限らず広く惑星科学や探査技術に関する議論ができる場を構築していきたいと考えている。このことを通して、アウトリーチだけでなく、より積極的に教育にも関与したいと考えている。

以上のように、日本惑星協会では太陽系天体というものを中心において科学や技術についての理解を深めていくことを行うが、天文学や宇宙、より広く科学や技術一般、さらには人類や文明という視点で活動を行っていきたい。多くの人にこの活動に参加していただければ幸いである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y20b 大阪市立科学館の天文展示の25年

渡部義弥（大阪市立科学館, 中之島科学研究所）, ほか大阪市立科学館天文担当学芸員

大阪市立科学館は3000平米の常設展示場をもつ。これは国内の理工系の博物館では大規模なものであり年間35万人の観覧者がある。館のテーマは「宇宙とエネルギー」であり、開館以来25年間、天文分野の展示を常に発案、展開してきた。その中には3次に渡る大規模改装も含まれる。ただし、天文分野の展示は、博物館で魅力あるものにするのが難しい。まず、博物館を特徴づける実物資料が隕石などをのぞき乏しい。また、理工系の博物館の魅力である実験装置も限界がある。コンピュータをつかった展示は故障が多くすぐに陳腐化する。写真パネルや映像もすぐに古びてしまう。なによりキレイという感想だけで終わり展示目的が果たされない危険性がある。他分野の展示に比べ、魅力的にするのが難しいのが実情である。これらを乗り越えるために、資料をいじって理解をふかめるハンズオン展示の試み、観測機器そのものの収集と展示、実物資料を天文的な位置づけしたもの、一枚の写真ではなく組み合わせパネルでの表示、オンラインネットワーク展示などを行ってきた。これら25年の取り組みを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y21a 「天文教育・その他」の論文はどこに投稿すればよいのか?(III)

縣 秀彦(国立天文台)、鴈野重之(九産大工)、松本直記(慶應高校)

2013年春季年会、2014年秋季年会において、年会での「天文教育・その他」セッションでの講演数の推移と講演数全体に占める割合が増えている一方、その講演の多くが学術論文としては完成していないことの問題点を指摘した。今回の講演では、前回の発表で十分に深めることが出来なかった、天文教育や広報・アウトリーチに関する過去の学術論文掲載先の調査結果を示し、関係者間で議論を深めたい。

天文教育普及研究会誌「天文教育」、日本地学教育学会「地学教育」、日本科学教育学会「科学教育研究」、日本理科教育学会「理科教育学研究」、日本教育工学会「日本教育工学会論文誌」、日本サイエンスコミュニケーション協会「サイエンスコミュニケーション」等の和文論文誌8誌への天文教育・普及に関する論文掲載数や引用数を調査した。現状として、日本においては天文教育・普及論文および関連する研究成果発表は分散して存在しており、この分野の研究者や関係者が相互に理解を深めることを強く阻害していることが分かった。このため、本講演では、天文教育や天文学に関する科学コミュニケーション活動に関する論文データベースの必要性と、論文をはじめとするオンライン上の研究関連コンテンツのオープンアクセス化について論じる。さらに、国際論文誌等への投稿状況の紹介と海外への情報発信についても議論したい。

参考文献：縣, 鴈野, 松本, 「学術研究としての天文教育・普及」, 天文月報, Vol.108(8), 2015

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a キトラ古墳天文図の観測年代と観測地の推定

相馬 充 (国立天文台)

奈良県明日香村にあるキトラ古墳には、その石室天井に精緻な天文図がある。そこには天の赤道、周極星などの範囲を示す内規と外規や黄道とともに約 350 の星が描かれ、それらの星々は朱線によって 68 の星座に配されている。天文図が発見されたのは 1998 年で、当時、古墳南側の盗掘口から挿入した超小型カメラでその画像が撮影された。その画像からは大まかな解析が行われ、その結果、キトラ古墳天文図の内規と天の赤道の半径の比から原図の観測地の緯度が北緯 38.4 度と得られ、朝鮮半島の平壤の緯度 (39.0 度) に近いが、日本の飛鳥 (34.5 度) や中国の長安 (34.2 度) や洛陽 (34.6 度) などは該当しないとされた。原図の観測年代については、赤経の平均自乗誤差が最小になる年として紀元前 65 年を得たと発表された。しかし、内規と天の赤道の半径比が正確に描かれたという保証はなく、年代推定でも赤緯を用いない理由がはっきりしないなどの問題点があった。

キトラ古墳石室内部の壁画と天文図は 2004 年に高精細デジタルカメラによりフォトマップ撮影が行われた。天文図については、その画像により、各星どうしや天の赤道・内規・外規との位置関係等を詳しく知ることができる。今回、この画像に基づいて、原図の観測年代と観測地緯度を推定するための解析を行った。

星の位置は必ずしも正確に描かれているとはいえないが、描かれている星々のうち、天の赤道の近くの 5 個の距星 (距星とは 28 あるおのおのの星宿の代表星で、5 個の距星は角, 室, 壁, 参, 星の 5 つの宿の距星) と内規の近くの 6 個の星 (文昌の 2 星と八穀の 4 星) はそれぞれ天の赤道と内規からの距離が比較的正確になるように描かれていることが判明した。それらを用いて得た結果は、観測年: 西暦 300 年 \pm 90 年, 観測地緯度: 33.9 度 \pm 0.7 度である。観測地としては、以前の研究で候補とされた朝鮮半島ではなく、中国の長安や洛陽が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Y23a 赤色巨星は赤いのか!?

西本 英里菜、福江 純 (大阪教育大)

天体や天体現象は、肉眼や望遠鏡で直接に観る機会が少なく、とくに遠方の星や天体は拡大して見ることも難しくなる。そのためしばしば、天体や天体現象を説明するためには、天体や天体現象を表す想像図が使われ、実際、アーティストが描いたCG画像などは非常に美しいものも少なくない。ただ、多くの場合は、科学者やアーティストの印象で着色しており、その画像の着色が天体や天体現象の真の姿になっているかは保証されない。

たとえば、アーティストが子どもの場合、しばしば真っ赤な太陽を描くだろうが、すでに随所で強調されているように、太陽の色は白である。また、研究が急発展している系外惑星も多くの想像図が描かれているが、母星がM型矮星だと、しばしば赤く描かれていたりする。赤色巨星についても、同様なことが言える。しかし、赤色矮星や赤色巨星は、間近で見たときに、本当に真っ赤に見えるのだろうか？

実は、「天体色彩学」を用いたRGB色の計算では、太陽はもちろん、赤色矮星も真っ赤にはならないことがわかっていて(2008年春季年会; 芝田たける、福江 純 2009『天文月報』102, 27)。では、赤色巨星の場合はどうなのだろうか。

そこで今回は、赤色巨星に対して、非常に簡単なモデルを設定して、見かけの光球の温度分布など観測的特徴を調べた(比較のために、太陽や赤色矮星についてもEddington modelで調べた)。赤色巨星の場合は外層大気が非常に広がっているので、見かけの光球面での温度変化が赤色矮星の場合よりもさらに大きい(周縁減光効果がさらに強い)。その結果、有効温度が3000Kの場合でも、見かけの光球面の中央部分では、4500K程度となることがわかった。講演では、実際の見え方やスペクトルなども示す予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y24a 高校地学で分かる食連星の物理量の考察

佐々井祐二（津山高専）

発表者の研究室では、3年自発的学習科目「チャレンジゼミナール」の生徒約10名と公開講座「天体観測会 - 君も未来のガリレオだ! - 」を年1、5回開催する他に、短周期型食連星の測光観測及び分光観測に取り組んでいる。2014年3月のジュニアセッションでは、生徒の一人が題目「短周期食変光星の測光観測」にて、V1191 CygとV0523 Casの観測と解析についての結果を報告した。

食連星の光度曲線から変光周期の他にどのような物理量が引き出せるのか？光度曲線の形状を説明するモデルを考える定性的な手法以外に基礎的な知識で何ができるのか？2014年度に調べていく内に、よく知られている内容なのかも知れないが、第38回国際物理オリンピックイラン大会のPink問題と出会った。そこには連星の測光観測及び分光観測、星の一般的特性から、変光周期、公転角速度、連星の温度比・半径比・軌道速度・質量比・重心からの距離・質量・輝度・地球からの距離・視差についての問題がある。これらの内容は高校地学の知識でほとんどカバーできるものである。

高校地学履修者が少ないことが危惧されて久しいが、大学入試センターによると、平成27年度センター試験受験者数530,257人の中で、物理基礎と物理の受験者合計142,482人、化学基礎と化学の受験者合計263,559人、生物基礎と生物の受験者合計184,927人に対し、地学選択者はかなり少なく、地学基礎と地学の受験者合計43,609人であった。かく言う発表者も、大学と大学院で物理系を専攻したにも関わらず、卒業した普通科高校では設定がないため、地学を学習していない。今、改めて地学の教科書を見ると大変興味深く、高校や高専の生徒も興味を持って学ぶのではないかと感じる。本発表では、高校地学の天文分野と食連星の物理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](#)

Y25a ぐんま天文台における高等教育

橋本修, 山野悟, 五十嵐章人 (ぐんま天文台)

ぐんま天文台では幅広い利用者に対する開かれた利用を目指しており、その望遠鏡や設備は、初等中等教育のみならず、大学や大学院などの高等教育に対する活動でも活用されている。高度な観測装置を備えた150cm望遠鏡をはじめとする設備は、学位取得を目的とした高い水準での研究活動に十分貢献しうるものである。この天文台での観測成果を用いてこれまでに博士号や修士号の学位を取得した大学院生の数は少なくない。その中には放送大学の学生も含まれており、一般の大学院教育に留まらない高度な生涯学習の実践としての性格も反映されている。また、近年では、大学間連携事業の枠組における大学院生の実習プログラムにも協力をしている。

学部教育においても、150cm望遠鏡と高分散分光器を活用した観測実習を研究者の養成を主目的とする天文学科の学生に実施してきた実績があるほか、中学や高校の教員養成を目的とした教育プログラムとしての観測実習も長年にわたって実施している。本格的な装置・機器を利用した観測を行い、観測現場の実際を体験し、教科書に記述されている事実が導き出される過程を身を持って体得するような機会としている。既に教員となって現場で活躍している元実習生もかなりの数にのぼる。

ぐんま天文台の施設・設備を活用すれば、様々な形態での高等教育の実践が可能であり、今後もこの種の教育活動を継続的に実施していく予定である。これまで利用実績のなかった大学等にも広く機会を提供したいと考えている。関東近隣にこの種の天文台施設は皆無でもあり、数多くの大学等からの積極的な利用を期待している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)