

2015年 春季年会

# 講演予稿集

電子版

於 大阪大学 豊中キャンパス

2015年3月18日(水) ~ 2015年3月21日(土)

## 春季年会会場 大阪大学豊中キャンパスのご案内



講演会場、受付はキャンパス北部、全学教育推進機構の建物です。石橋門が最寄りの出入り口となります。

### 会場へのアクセス

**JR 大阪駅、阪急梅田駅から：**

阪急電車宝塚線に乗り石橋駅（特急・急行も停車）で下車 東へ（石橋商店街、阪大坂を通り阪大石橋門を經由して）徒歩約 15 分

**大阪（伊丹）空港から：**

大阪空港駅から大阪モノレールに乗り、二駅目の柴原駅で下車 北へ（阪大正門あるいは阪大柴原口を經由して）徒歩約 15 分

**新大阪駅から：**

地下鉄御堂筋線（江坂駅より北は直通運転で北大阪急行線）の終点、千里中央駅で下車 大阪モノレールに乗り換えて柴原駅で下車 北へ（阪大正門あるいは阪大柴原口を經由して）徒歩約 15 分

大阪大学のページ

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

も参照ください。

## 大阪大学豊中キャンパスマップ



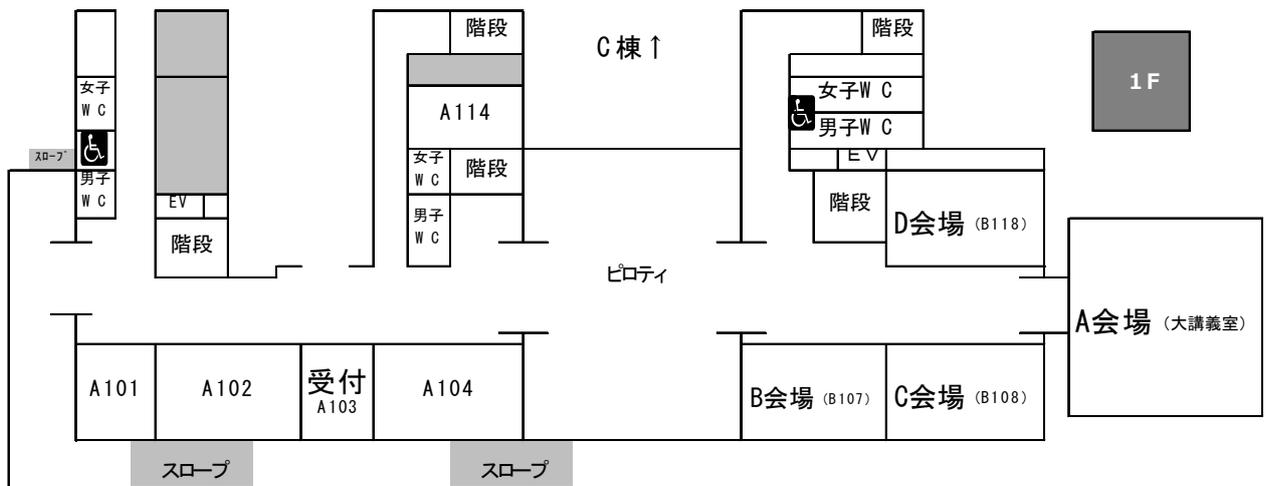
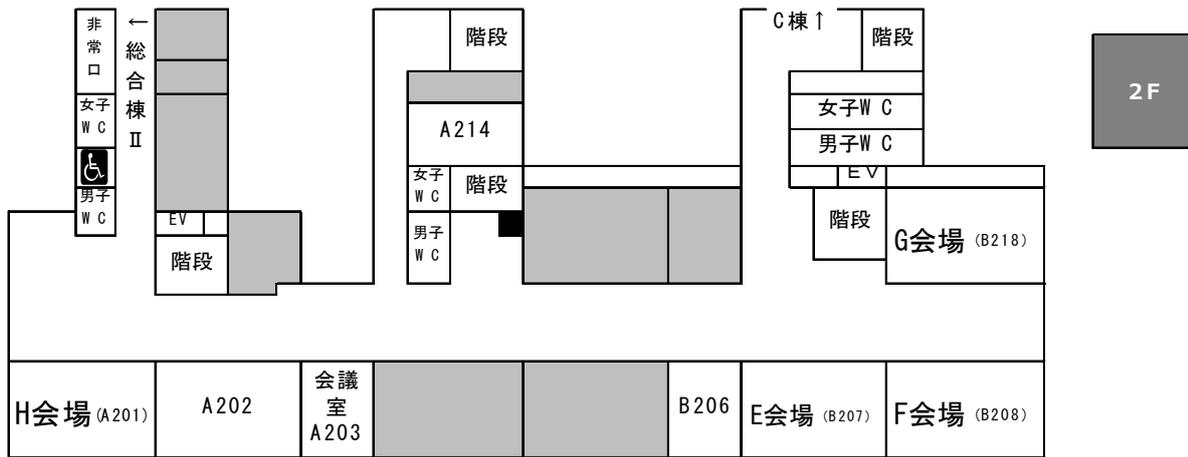
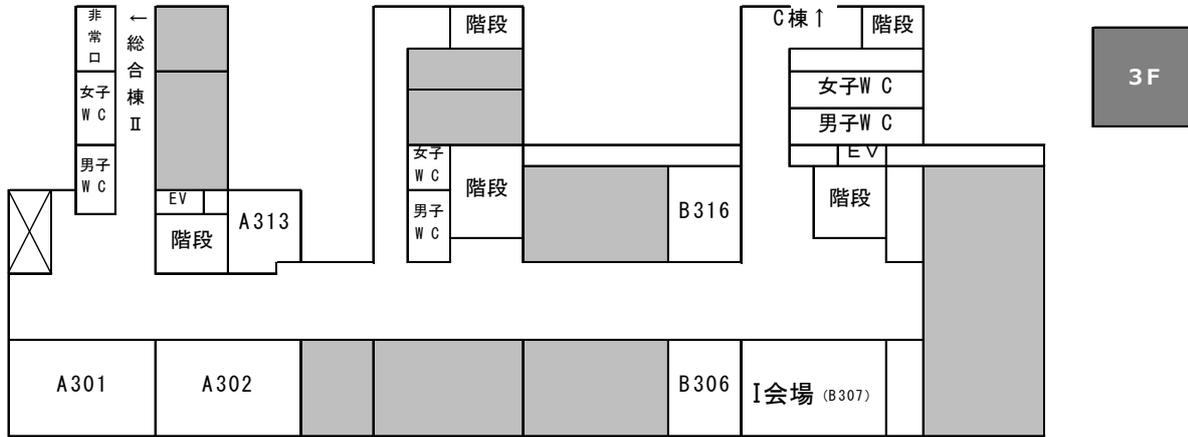
- ・豊中キャンパスの建物内は全面禁煙です。喫煙は屋外指定喫煙場所をお願いします。
- ・建物の中の広い範囲で（ただしつながりにくい部屋もあります）、阪大校内ネットワーク ODINSの無線 LAN が利用できます。使用する場合は、あらかじめ所属機関で Eduroam のアカウントを取得していただくか、受付で発行する ODINS ゲストアカウントを取得ください。
- ・3/21(祝) はキャンパス内の食堂のうち、カフェテリアらふおれのみ営業します。

# 会場案内図

全学教育講義A棟

全学教育講義B棟

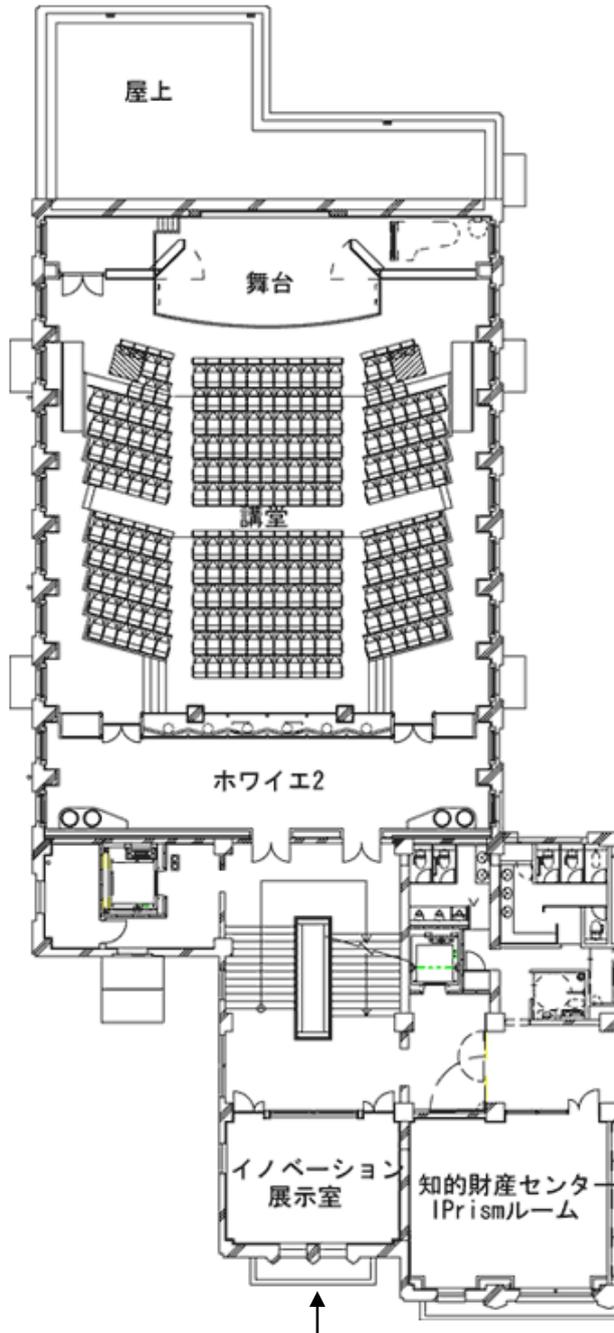
大講義室



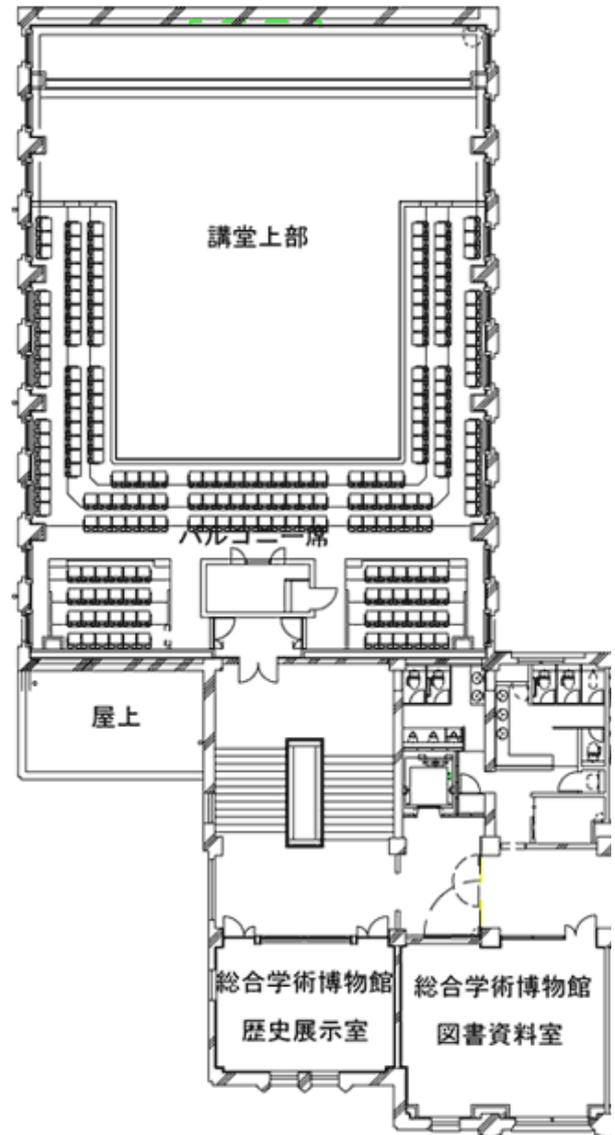
# 会場案内図

J会場

## 2F



## 3F



↑  
1階のこのあたりが建物入り口になります

口頭セッション 3月18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	【銀河】	【高密度星】	【恒星】	【太陽】	【銀河団】	【太陽系】	【星・惑星】	【超新星爆発】	【地上観】
13:00	R01a	J201a	N01a	M01a	T01a	L01a	P101a	K01a	V101a
13:12	R02a	J202a	N02a	M02a	T02a	L02a	P102a	K02a	V102a
13:24	R03a	J203a	N03a	M03a	T03a	L03a	P103a	K03a	V103a
13:36	R04a	J204a	N04a	M04a	T04a	L04b L07b L08b	P104a	K04a	V104a
13:48	R06a	J205a	N05a	M05a	T05a	L09a	P105a	K05a	V105a
14:00	R07a	J206a	N06a	M06a	T06a	L10a	P106a	K06a	V106a
14:12	R08a	J207a	N07a	M07a	T07a	L11a	P107a	K07a	V107b V108b V109b
14:24	R09a	J208a	N08a	M08a	T08a	L12a	P108a	K08a	V110b V111b V112b
14:36	R10b R11b R12b	J209a	N09a	M09a	T09a	L13a	P109a	K09a	V113b V114b V115b
14:48	R13b R14b R15b	J210b J211b J212b	N10a	M11a	T10a	L14b	P110b P111b P112b	K10a	V116b V117b V118b
15:00	-	-	-	M12a	T11b T12b	-	-	-	-
15:15	特別セッション (A 会場)								
17:30	天文教育フォーラム (A 会場)								
19:15	理事会 (会議室)								

口頭セッション 3月19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	【銀河】	【高密度星】	【恒星】	【太陽】	【宇宙論】	【教育・他】	【星・惑星】	【超新星爆発】 【飛翔観】	【地上観】
09:30	R19a	J213a	N11a	M13a	U01a	Y01a	P113a	K11a	V123a
09:42	R20a	J214a	N12a	M14b M15b M16b	U02a	Y02a	P114a	K12a	V124a
09:54	R21a	J215a	N13a	M17a	U03a	Y04a	P115a	K13a	V125a
10:06	R22a	J216a	N14a	M18a	U04a	Y05a	P116a	K14a	V126a
10:18	R23a	J217b J101b J102b	N15a	M19a	U05a	Y06a	P117a	K15a	V127a
10:30	R24a	J103b J104b J105b J106b	N16a	M20a	U06a	Y07a	P118a	K16a	V128a
10:42	R25a	J107b J108b	N17a	M21a	U07a	Y08a	P119a	K17b	V129a
10:54	R26a	J109b	N18a	M22a	U08a	Y09b Y10b Y11b Y12b	P120a	W201a	V130a
11:06	R27b R28b R29b	J111a	N19a	M23b M24b M25b	U09a	Y13b Y16b	P121a	W202a	V131a
11:18	R31b R32b	J112a	N20b N21b N22b	M26b M27b M28b	U10a	Y17a	P122b P123b P124b	W203a	V132a
11:30	-	-	N23b N24b N25b	-	-	-	-	W204b W205b W206b	-
11:42	-	-	-	-	-	-	-	W207b W210b	-
11:30	昼休み(代議員総会)(D 会場)								
12:30	ポスター								
開始時刻	【分子雲衝突】	【高密度星】	【星間現象】	【太陽】	【宇宙論】	【教育・他】	【星・惑星】	【飛翔観】	【地上観】
13:30	A01r      A08a	J113a	Q01a	M29a	U11a	Y19a	P127a	W211a	V133a
13:42		J114a	Q02a	M30a	U12a	Y21a	P128a	W212a	V134a
13:54		J115a	Q03a	M31a	U13a	Y22a	P129a	W213a	V135a
14:06		J116a	Q04a	M32a	U14a	Y23a	P130a	W214a	V201a
14:18		J117a	Q05a	M33a	U15a	Y24a	P131b P132b P133b	W215a	V202a
14:30		J118a	Q06a	M34a	U16a	Y25b Y26b Y28b	P201a	W216a	V203b V205b V206b
14:42		J119a	Q07a	M35a	U17a	Y29a	P202a	W217a	V207a
14:54		J120a	Q08b	M36a	U18a	Y30b Y31b	P203a	W218a	V208a
15:06		J121a	-	M37a	U19a	-	P204a	W219b W220b W221b	V209a
15:18		-	-	M38a	U20a	-	P205a	W223a	V210b V211b V212b
15:30	-	-	M39b M40b	U21b	-	-	W224b W226b	-	
15:45	会員全体集会(J 会場)								
16:45	受賞記念講演(J 会場)								

口頭セッション 3月20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	【分子雲衝突】	【高密度星】	【星間現象】	【太陽】	【銀河形成】	【活動銀河核】	【星・惑星】	【飛翔観】	【地上観】	
09:30	A09r	J122a	Q10a	M41a	X01a	S01a	P207a	W101a	V213a	
09:42		J123a	Q11a	M42a	X02a	S02a	P208a	W102a	V214a	
09:54		J124a	Q12a	M43a	X03a	S03a	P209a	W103a	V215a	
10:06		J125a	Q13a	M44a	X04a	S04a	P210a	W104a	V216b V217b V218b	
10:18		J126a	Q14a	M45b M46b M47b	X05a	S05a	P211a	W105a	V219a	
10:30		A19b	J127a	Q15a	M48a	X06a	S06a	P212a	W106a	V220a
10:42			J128a	Q16a	M49a	X07a	S07a	P213a	W107a	V221b V224b V226b
10:54			J129a	Q17b Q18b	M50a	X08b X09b X10b X11b X12b X13b	S08a	P214a	W108b W109b W110b W111b W112b W113b W114b W115b W116b	V227a
11:06			-	-	M51a	S09b S10b S11b S12b S13b S14b	P215b P216b P217b	W111b W112b W113b W114b W115b W116b	V228a	
11:18	-	-	-	M52a	-	P218b P219b	V229b V230b V232b			
11:30	-	-	-	-	-	S15b	-	W117b	-	
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
開始時刻	【HSC】	【高密度星】	【星間現象】	【太陽】	【銀河形成】	【活動銀河核】	【星・惑星】	【飛翔観】	【地上観】	
13:30	B01r	J130a	Q20a	M53a	X20a	S19a	P220a	W118a	V233a	
13:42		J131a	Q21a	M54a	X21a	S20a	P221a	W120a	V234a	
13:54		J132a	Q22a	M55a	X22a	S21a	P223a	W121a	V235a	
14:06		J133a	Q25a	M56a	X23a	S22a	P224a	W122a	V236a	
14:18		J134a	Q26a	M57a	X24a	S23a	P225a	W123a	V237a	
14:30		B06a	J135a	Q27a	M58a	X25a	S24a	P226a	W124a	V238a
14:42			J136a	Q28a	M59a	X26a	S25a	P227a	W125a	V239b V241b V242b
14:54			J137a	Q29a	M60a	X27a	S26a	P228a	W126a	V243a
15:06			J138a	Q30b Q31b Q32b	M61a	X28a	S27a	P229a	W127a	V244b V245b V246b
15:18	J139a	-	M62a	-	S28a	P230a	W128a	-		
15:30	-	-	-	M63a	-	S29a	-	-	-	
15:45	特別セッション (A 会場)									
17:15	懇親会 (カフェテリアらぶおれ)									

口頭セッション 3月21日(土)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場
開始時刻	【HSC】	【高密度星】	【星間現象】	【太陽】	【銀河形成】	【活動銀河核】	【星・惑星】	【飛翔観】	【地上観】
09:30	B07a 、 B16a	J140a	Q33a	M64a	X29a	S30a	P231a	W129a	V247a
09:42		J141a	Q34a	M65a	X30a	S31a	P232a	W130a	V248a
09:54		J142a	Q35a	M66a	X31a	S32a	P233a	W131a	V249a
10:06		J143a	Q36a	M67a	X32a	S33a	P234a	W132a	V250a
10:18		J144a	Q37a	M68a	X33a	S34a	P235a	W134a	V251a
10:30		J145a	Q38a	M69a	X34a	S35a	P236a	W135a	V252a
10:42		J146a	Q39a	M70a	X35a	S36a	P237a	W136a	V253a
10:54		J147a	Q40a	M71a	-	S37a	P238a	W137a	V254a
11:06		J148a	Q41a	M72a	-	S38a	-	W138a	V255a
11:18		J149a	-	M73a	-	S39a	-	-	-
11:30	-	-	-	M74a	-	S40a	-	-	-
11:30	ポスター								
12:30	昼休み								

ポスターセッション 3月18日(水) ~ 3月21日(土)

ポスター会場

【A. 分子雲衝突】(10)

A14b A15b A16b A17b A18b  
A19b A20c A21c A22c A23c

【J1. 高密度星】(10)

J101b J102b J103b J104b J105b  
J106b J107b J108b J109b J110c

【J2. 高密度星】(4)

J210b J211b J212b J217b

【K. 超新星爆発】(2)

K17b K18c

【L. 太陽系】(6)

L04b L05c L06c L07b L08b  
L14b

【M. 太陽】(15)

M10c M14b M15b M16b M23b  
M24b M25b M26b M27b M28b  
M39b M40b M45b M46b M47b

【N. 恒星】(7)

N20b N21b N22b N23b N24b  
N25b N26c

【P1. 星・惑星】(11)

P110b P111b P112b P122b P123b  
P124b P125c P126c P131b P132b  
P133b

【P2. 星・惑星】(7)

P206c P215b P216b P217b P218b  
P219b P222c

【Q. 星間現象】(10)

Q08b Q09c Q17b Q18b Q19c  
Q23c Q24c Q30b Q31b Q32b

【R. 銀河】(16)

R05c R10b R11b R12b R13b  
R14b R15b R16c R17c R18c  
R27b R28b R29b R30c R31b  
R32b

【S. 活動銀河核】(10)

S09b S10b S11b S12b S13b  
S14b S15b S16c S17c S18c

【T. 銀河団】(3)

T11b T12b T13c

ポスターセッション 3月18日(水) ~ 3月21日(土)

【U. 宇宙論】(2)

U21b U22c

【V1. 地上観測機器】(16)

V107b V108b V109b V110b V111b

V112b V113b V114b V115b V116b

V117b V118b V119c V120c V121c

V122c

【V2. 地上観測機器】(27)

V203b V204c V205b V206b V210b

V211b V212b V216b V217b V218b

V221b V222c V223c V224b V225c

V226b V229b V230b V231c V232b

V239b V240c V241b V242b V244b

V245b V246b

【W1. 飛翔体観測機器】(12)

W108b W109b W110b W111b W112b

W113b W114b W115b W116b W117b

W119c W133c

【W2. 飛翔体観測機器】(15)

W204b W205b W206b W207b W208c

W209c W210b W219b W220b W221b

W222c W224b W225c W226b W227c

【X. 銀河形成】(12)

X08b X09b X10b X11b X12b

X13b X14c X15c X16c X17c

X18c X19c

【Y. 天文教育・他】(17)

Y03c Y09b Y10b Y11b Y12b

Y13b Y14c Y15c Y16b Y18c

Y20c Y25b Y26b Y27c Y28b

Y30b Y31b

展示

Exelis VIS(株)

## 【A. 分子雲衝突と星形成】

3月19日(木)午後(13:30-15:30) [A会場]

A01r	13:30	分子雲衝突と銀河の星形成・(30)	羽部朝男(北海道大学)
A02r	14:00	分子雲衝突による大質量星形成の観測的研究・(30)	鳥居和史(名古屋大学)
A03a	14:30	W43における一酸化炭素輝線を用いた観測的研究:分子雲衝突と大質量星形成の関係2・(12)	切通僚介(大阪府立大学)
A04a	14:42	JCMT望遠鏡を用いたコンパクトHII領域に対するCO輝線観測:分子雲衝突による大質量星形成・(12)	大濱晶生(名古屋大学)
A05a	14:54	巨大星団形成における分子雲衝突の役割・(12)	福井康雄(名古屋大学)
A06a	15:06	分子雲衝突と星形成:Sgr B2領域から学ぶこと・(12)	長谷川哲夫(国立天文台)
A07a	15:18	Truncated Core Mass Function with Cloud-cloud Collision in the Central Molecular Zone・(12)	Masato Tsuboi(宇宙航空研究開発機構)
A08a	15:30	ALMA望遠鏡による大質量クランプG0.253 + 0.016の観測研究・(12)	樋口あや(茨城大学)

3月20日(金)午前(09:30-11:30) [A会場]

A09r	09:30	分子雲衝突による衝撃波の物理とコア形成・(24)	井上剛志(国立天文台)
A10r	09:54	大マゼラン雲のスーパージャイアントシェルが誘起する分子雲衝突・(24)	藤井浩介(東京大学)
A11a	10:18	ALMAによる大マゼラン雲の巨大分子雲N159の高空間分解能観測:フィラメント衝突による大質量星形成・(12)	大西利和(大阪府立大学)
A12a	10:30	分子雲衝突による星形成にフィードバックが与える影響のシミュレーション・(12)	島和宏(北海道大学)
A13a	10:42	銀河衝突における巨大分子雲衝突・(12)	金子紘之(筑波大学)
A14b	10:54	大質量星団[DBS2003]179方向の複数CO同位体輝線観測・(3)	桑原翔(東京大学)
A15b	10:57	分子雲衝突による超巨大星団の形成:NGC 3603について・(3)	大橋聡史(東京大学/国立天文台)
A16b	11:00	銀河系中心分子層中の衝突分子雲候補天体CO-0.30-0.07・(3)	田中邦彦(慶應義塾大学)
A17b	11:03	乱流と衝突をともなう高密度分子雲における集团的星形成II・(3)	松本倫明(法政大学)
A18b	11:06	NRO銀河面サーベイプロジェクト:巨大分子雲におけるフィラメントの性質とフィラメント衝突による分子雲コア形成の可能性・(3)	西村淳(国立天文台)
A19b	11:09	「あかり」を用いた分子雲衝突が示唆されるSpitzer bubbleの統計的研究・(3)	服部和生(名古屋大学)
A20c		CO輝線を用いたSpitzer Bubbleサーベイプロジェクト4:ASTE、Mopra、NANTEN2によるSpitzer Bubbleの観測結果	服部有祐(名古屋大学)
A21c		CO輝線を用いたSpitzer Bubbleサーベイプロジェクト3:Mopra望遠鏡によるSpitzer BubbleS145(RCW79)に対するCO輝線詳細観測	長谷川敬亮(名古屋大学)
A22c		銀河系渦状腕に付随する分子雲の衝突確率と大質量星形成	大濱晶生(名古屋大学)
A23c		Unravelling the dynamics of the unusual SMC nebula: N66	Erik Muller(National Astronomical Observatory of Japan)

## A01r 分子雲衝突と銀河の星形成

羽部朝男（北海道大学）

最近、大質量星形成における分子雲衝突の重要性を示す観測が多く報告されている。これらは、大質量星団形成、Spitzer bubble、衝突銀河の爆発的星形成、銀河系中心の高密度ガス雲などである。分子雲衝突は、短い時間で大量のガスを圧縮して質量の大きな高密度領域を形成し、大質量形成や大質量星団形成を引き起こす可能性が高く、銀河の星形成にとって重要であると考えられる。こうしたことから、数値モデルによる分子雲衝突、ガス filaments 衝突の研究も乱流、磁場、UV feed back を取り入れて進展している。本講演では、分子雲衝突が銀河の星形成における役割について概観し、おもに理論的な研究の現状について紹介する。銀河のグローバルなシミュレーションにおける分子雲形成と分子雲衝突、分子雲衝突シミュレーションと dense clump 形成や clump 質量関数、分子雲衝突で形成される星からのフィードバックの影響などの研究を概観し、今後の課題について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A02r 分子雲衝突による大質量星形成の観測的研究

鳥居和史（名古屋大学）

大質量星の形成過程の理解は天文学の長年の課題であるが、近年、分子雲同士の衝突による誘発的な大質量星・大質量星団の形成が注目されている。分子雲衝突が誘発的な役割を果たすというアイデアは古くから考えられていたが（Loren 1976; Habe & Ohta 1992 など）、観測的には、2009年のWesterlund 2での発見（Furukawa et al. 2009）以来、目覚ましい発展を遂げた。鍵となるのは、 $10\text{--}20\text{ km s}^{-1}$ におよぶ大きな速度差（衝突速度）と、より広範なデータを用いた俯瞰的なアプローチである。これまで発見された分子雲衝突によって形成された大質量星形成領域は主に3つに大別される。1つ目は、Westerlund 2とNGC 3603に代表される $1\text{ pc}^3$ の狭い範囲に $10^4$ 個もの星を含む巨大星団（Furukawa et al. 2009; Ohama et al. 2010; Fukui et al. 2014）。2つ目は、単一ないし少数のO型星からなる天体（M20およびSpitzerバブル; Torii et al. 2011, 2014）。これら2つは質量では2桁以上の差があるものの、ごく限られた狭い範囲に集中的に大質量星を作る点では共通している。それに対し3つ目は、100 pc以上の広い範囲にわたる大質量星形成領域（NGC6334とNGC6357、W43など; 2014年天文学会秋季年会での鳥居他講演、切通他講演）である。以上は、分子雲衝突による大質量星形成の、質量および分布・形状の幅広いバリエーションを示唆するものである。本講演では、以上の結果を概観すると共に、銀河系における分子雲衝突の果たす役割を論じ、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](#)

A03a **W43における一酸化炭素輝線を用いた観測的研究：分子雲衝突と大質量星形成の関係 2**

切通僚介, 徳田一起, 大崎茂樹, 村岡和幸, 前澤裕之, 小川英夫, 大西利和 (大阪府立大学), 西村淳 (国立天文台), 澤村将太郎, 土橋一仁 (東京学芸大学), 鳥居和史, 福井康雄 (名古屋大学)

W43は太陽系から距離約6 kpcに位置し、大質量星を含む星団を持つ活発な大質量星形成領域である。我々は大阪府立大学の1.85 m電波望遠鏡と名古屋大学のNANTEN2望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(J=1-0, 2-1)$ ,  $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線のデータを用いて、W43の2つの代表的な星形成領域W43-MainとW43-Southそれぞれにおいて、H II領域への付随が示唆される二つの異なる速度を持つ分子雲を同定した。これらは互いに反相関的な分布を示しており、H II領域とも相関、または反相関的な分布を示している。いずれの分子雲も $J=2-1/1-0$ 輝線強度比が高く、W43-Main, W43-Southそれぞれに存在する星団からの影響を受けていると考えられる(切通2014年秋季年会)。今回、 $^{13}\text{CO}(2-1)/^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線強度比、 $^{13}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(2-1)$ 輝線強度比を用い、同定した分子雲にLVG解析を行った結果、星団方向で相対的に温度が高くなっていることがわかった。さらに、IRAM 30 m鏡の高分解能な $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ のアーカイブデータ(P. Carlhoff et al. 2013)を用いて、同定した分子雲の分布を8  $\mu\text{m}$ の赤外線と比較すると、赤外線源の構造に沿った分布をしていることがわかった。これらの結果から我々は、同定した分子雲は互いに大きな速度差を持ちながらも、大質量星を含む星団に付随していると結論付けた。W43における今回の結果は最近報告されている大規模な分子雲衝突による大質量星形成(鳥居他2014年秋季年会)と類似しており、W43に存在する星団は分子雲衝突をトリガーとして形成された可能性が高い。本講演では昨年の秋季年会で講演した結果と合わせ、IRAM 30 m鏡のデータ解析やLVG解析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](#)

A04a **JCMT 望遠鏡を用いたコンパクト HII 領域に対する CO 輝線観測：分子雲衝突による大質量星形成**

大濱晶生、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)、水野範和(国立天文台)、大西利和(大阪府立大学)

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 2012 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  $0.1-1$  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 600 個の CHII R を検出した。しかし、CHII R に付随する分子雲は報告されていない。

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 232 個の CHII R に対して行い、少なくとも 20 個について速度  $10 \text{ km/s} - 30 \text{ km/s}$  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。これら 2 つの分子雲は、各々リング状と円状の分布を示し、リング状の分子雲は球状の分子雲を包むように分布している。CHII R は、CO 輝線の強度のピーク位置に存在している。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、巨大星団 Wd 2 (Furukawa et al. 2009) および NGC 3603 (Fukui et al. 2014)、Spitzer バブルにおいて報告された分子雲衝突と共通する。講演では、南天への探査の拡張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](#)

## A05a 巨大星団形成における分子雲衝突の役割

福井康雄（名大理）、井上剛志（国立天文台）、鳥居和史、大濱晶生（名大理）、他 NANTEN2 チーム

ここでは巨大星団（super star clusters）における分子雲衝突の役割を考察する。銀河系内の巨大星団は約 20 個が知られるが（Portegies Zwart+ 2010）、我々の系統的研究によってそのうちもっとも若い 4 個にのみ母体分子雲が付随することが明らかになった。注目すべきは 4 例全てにおいて分子雲が  $10\text{--}20\text{ km/s}$  の超音速の速度差を持つ 2 個の成分からなることである。この速度差は重力的には束縛できず、分子雲同士の偶然の衝突が起こり、境界面での強い圧縮によって巨大星団が形成されたと考えられる。巨大星団の性質として、総質量  $10^4$  太陽質量（内 O 型星 30 個程度）、年齢 200–300 万年以下、サイズ 1pc 以下であり、ごく若い星が中心に集中し、より進化した星が周辺に広がることが知られる（例 Harayama+ 2007）。

分子雲衝突では、境界面形成の時間スケールが  $10^4$  年程度であり、乱流と磁場が大きく増幅されて実効的音速が増加し、質量降着率が  $10^{-3}$  太陽質量/年程度に増加して大質量星形成が可能になる。NGC3603 の場合もっとも若い星の年齢の分布は  $10^5$  年以内の短時間に集中しており（Kudryavtseva+ 2012）、 $10^4$  年程度で星形成が起きたことと符号する。観測された母体分子雲は、2 個のいずれかが高密度ですでに衝突前に中小質量星を形成しており（1000 万年程度）、衝突によって大質量星が形成され（100 万年以内）、電離等によって分子雲が一気に散逸して星団が形成されたと見られる。この描像によって巨大星団の性質が統一的に理解できる。また、分子雲衝突は球状星団の形成機構としても十分適用できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A06a 分子雲衝突と星形成：Sgr B2 領域から学ぶこと

長谷川哲夫 (国立天文台)

Sgr B2 領域において分子スペクトル線が複数の速度成分を持つことは古くから知られていたが、Hasegawa et al. (1994) ApJ 429, L77 は、それぞれの速度成分の空間分布の間に見られる特徴的な相互関係から、それが二つの巨大分子雲の衝突によるものであることを示した。さらに Sato et al. (2000) ApJ 535, 857 で速度場のより詳細な解析を行い、位置-速度図上で衝突面と推定される場所に明確な速度の不連続を見いだした。これらの特徴をもつ Sgr B2 は、今でも分子雲衝突の最も説得力のあるケースと言える。

本講演では、これまでの Sgr B2 での観測結果を総合し、巨大分子雲の衝突が観測的にどのように証拠づけられるかを議論し、他の天体における分子雲衝突の判定に資することとしたい。あわせて、分子雲の衝突面における大質量分子雲コア形成のメカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

**A07a Truncated Core Mass Function with Cloud-cloud Collision in the Central Molecular Zone**

Masato Tsuboi (ISAS/JAXA), Kenta Uehara (Univ. Tokyo), and Atsushi Miyazaki (KASI)

The Central Molecular Zone (CMZ) is the counterpart of the central molecular cloud condensation often observed in nearby spiral galaxies. There are young and highly luminous star clusters in the CMZ, Arches cluster, Quintuplet cluster, Central cluster, etc.. However, it is hard to know observationally how the cradle molecular clouds produce such massive clusters because these clusters have already lost the surrounding molecular materials. Meanwhile, the  $50 \text{ km s}^{-1}$  molecular cloud is a most conspicuous molecular cloud in the CMZ and harbors an on-going star-forming site, which can be spatially resolved by radio observations. We found a half-circle feature with an emission line ratio of  $T(\text{SiO}_2-1)/T(\text{H}^{13}\text{CO}^+1-0) \sim 6-8$  in the  $50 \text{ km s}^{-1}$  cloud using the Nobeyama 45-m telescope. The high ratio indicates that the feature is made of shocked molecular gas. This feature is also identified as a half-circle feature in the position-velocity diagram. A convincing hypothesis of the origin is that a cloud-cloud collision made the feature. This has been reported in the previous ASJ annual meeting (March 2014). We re-analyzed the CS  $J = 1 - 0$  emission line data of the  $50 \text{ km s}^{-1}$  cloud using Nobeyama Millimeter Array to explore how the star formation is affected by the cloud-cloud collision. We made a core mass function (CMF) of the molecular cloud cores containing in the feature with new estimations of the excitation temperature and optical thickness of the CS emission line. The CMF has a flat slope and is probably truncated at  $\sim 300M_{\odot}$ . This may a sign to make a top-heavy CMF with cloud-cloud collision.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

A08a **ALMA 望遠鏡による大質量クランプ G0.253 + 0.016 の観測研究**

樋口あや (茨城大), James Chibueze(国立天文台), 羽部朝男, 高平謙 (北海道大), 高野秀路 (国立天文台、総研大)

銀河内の多くの星は星団として生まれることが知られているので、星形成の理解には星団形成領域の理解が不可欠であるが、既に星形成活動が進んだ星団の調査では形成過程を遡ることは難しい。また多くの星団のサイズは 1pc スケールであり、その母体となる分子雲クランプのサイズも同程度であることが観測から分かっている。しかし大質量な分子ガスを 1pc スケールに集めることは容易ではなく、そのメカニズムはよくわかっていない。以上を理解するには、星形成が進行していない大質量クランプを観測する必要がある。

G0.253+0.016 は銀河中心に分布する大質量クランプ (半径  $\sim 3$  pc; 質量  $\sim 10^5 M_{\odot}$ ) である。この天体は赤外線観測で暗い領域に大質量で高密度なクランプが付随していることから星団形成領域の初期状態だと考えられている。しかしこれまでに高空間、高速度分解能観測はされていなかった。そこで我々は ALMA 望遠鏡のアーカイブデータを用いクランプの内部構造を調査した。比較的高密度 ( $\sim 10^{3-4} \text{cm}^{-3}$ ) で活発な領域をトレースするのに適した SO 輝線データを解析したところ、分子雲内のシェル構造やそれに伴うフィラメント構造を明らかにし、シェルまわりに速度分散の大きなコアを同定した。またこのクランプ自体が大きな速度勾配 ( $\sim 20 \text{ km s}^{-1} \text{pc}^{-1}$ ) を持つことも明らかにした。この領域にはシェル構造を形成する元となる大質量星や超新星残骸などが見つからないことが分かっている。我々はこれらの結果を数値シミュレーションの結果と比較し、G0.253+0.016 がクランプの衝突で形成されたのではないかと考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A09r 分子雲衝突による衝撃波の物理とコア形成

井上剛志 (国立天文台)

ここ数年、星形成における分子雲衝突の重要性が大質量星団形成領域や Spitzer bubble の近傍分子雲の観測から次々と明らかになってきている。分子雲は典型的温度が 10K の低温ガスであるため、音速が 0.2km/s 程度と小さく、観測が示唆する数 km/s から数十 km/s にもなる分子雲同士の衝突は強い衝撃波を励起して分子雲を圧縮する。通常の断熱ガスとは異なり、冷却が有効な分子雲を伝搬する衝撃波は非常に高い圧縮率を持ち、その圧縮層の中で星形成が誘発されることは容易に想像される。本講演ではそのような分子雲中での磁気流体衝撃波の基本的特性について解説し、さらに最新のシミュレーション (例えば Inoue & Fukui 2013, ApJ, Chen & Ostriker 2014, ApJ) によって理解が進んできている、分子雲衝突で生成される分子雲コアの形成過程や質量等の物理的特性を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A10r 大マゼラン雲のスーパージャイアントシェルが誘起する分子雲衝突

藤井浩介 (東京大学)

大質量星団における数百もの超新星爆発は、スーパージャイアントシェル (SGS) と呼ばれる銀河スケールの巨大な膨張シェルを形成すると考えられており、星間ガスの掃き集めや圧縮によりその周囲で分子雲・星形成を誘発していることが観測されている。一方で、SGS 同士の衝突は星間空間に大局的なスケールの衝突流を生むため、衝突流による巨大分子雲の形成や、分子雲衝突による大質量星団の形成を誘発していると考えられる。特に渦状腕構造を持たない低質量の不規則銀河では、このような大局的な膨張シェルが星間空間中の衝突流の主な動力源と考えられ、銀河進化において重要な役割を担っている可能性がある。

本講演では大マゼラン雲 (LMC) に着目し、SGS が誘起する分子雲衝突について展望する。LMC は最近傍に位置する低質量の銀河であり、HI の観測から多数の SGS が同定されているため、SGS が銀河における分子雲・星形成や分子雲衝突に果たす役割を調べるのに適した天体である。過去の研究では、SGS の内側から外側へ向かう星形成史が観測されており、SGS の縁では巨大分子雲の柱密度の増加や分子ガス率の増加、若い星状天体の個数密度の増加が確認されている。一方、2つの SGS に挟まれた N48、N49 領域の巨大分子雲の観測からは、単一の SGS よりも2つの SGS の衝突がより活発な星形成を促進し得ることが明らかとなった。また同じく2つの SGS の境界領域に位置する N159 領域に対する ALMA を用いたサブパーセクスケールの分解能での観測からは、巨大分子雲中のフィラメント同士の衝突が大質量星の形成を誘起している様子が捉えられている。このように、大マゼラン雲において巨大膨張シェルを動力源とした分子雲衝突が実際に起きていることが示唆されており、今後の観測の拡張により普遍性が調査できると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A11a **ALMA による大マゼラン雲の巨大分子雲 N159 の高空間分解能観測：フィラメント衝突による大質量星形成**

大西利和 (大阪府大), 福井康雄, 鳥居和史 (名古屋大学), 原田遼平, 森岡祐貴, 徳田一起 (大阪府大), 河村晶子, 西合一矢, 水野範和, 南谷哲宏 (国立天文台), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia; NRAO), Suzanne Madden, Vianney Lebouteiller (CEA), Maud Galametz (ESO), Rosie Chen (MPIA), Marta Sewilo (Johns Hopkins Univ.), Margaret Meixner (STScI)

大マゼラン雲 (LMC) は、我々の銀河系と比較して星形成がより活発であり、現在においても散開星団より大規模な Populous Cluster が形成されている。N159 領域には LMC では最も大規模な  $10^7$  太陽質量を超える巨大分子雲が存在し、そこでは現在も複数の星団が形成されつつあることから、N159 領域は星団・大質量星の形成を探る上で非常に重要な天体であるといえる。我々は、この N159 領域の巨大分子雲の ALMA (Cycle 1) による高空間分解能観測を行った。Band 3, Band 6 の  $^{12}\text{CO}(2-1)$ ,  $^{13}\text{CO}(1-0, 2-1)$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(1-0, 2-1)$ ,  $\text{CS}(2-1)$  やダスト連続波等により観測を行い、空間分解能はそれぞれ 2.3 秒角 (0.56pc)、1.0 秒角 (0.24pc) である。 $^{12}\text{CO}$ 、 $^{13}\text{CO}$  スペクトルの空間分布は非常に複雑であり、多くのフィラメント、シェル状構造が巨大分子雲を構成していることが明らかになった。N159W では、幅 1pc、長さ 10pc を越える大規模なフィラメント構造も見られ、速度が異なる別のフィラメント状分子雲との交点で大質量星原始星が *Spitzer*, *Herschel* により同定された。これらの大質量星原始星方向では、系外銀河の観測では初めて、個々の原始星からのアウトフローと電波再結合線 ( $\text{H}30\alpha$ ,  $\text{H}40\alpha$ ) が検出され、大質量星形成の極めて若い段階にあることを示している。これらの結果は、巨大分子雲内部の大質量星形成に、フィラメント構造やその相互作用が重要な役割を果たしていることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A12a 分子雲衝突による星形成にフィードバックが与える影響のシミュレーション

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

分子雲衝突が大質量星形成の外的要因となっていることを示唆する観測結果が多数報告されており、シミュレーションでも衝突によって大質量コアが形成されるという結果が得られている。(Takahira et al., 2014; Inoue & Fukui, 2013) 小質量星に比べて大質量星は UV 輻射等の強力なフィードバック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、フィードバックによる影響を受けた分子雲のその後の進化を追うことも重要である。より具体的には Spitzer bubble、中でも RCW120 のような大質量星を取り囲む綺麗なリング構造や誘発的星形成が分子雲衝突のシミュレーションで再現できるか。今回はその前段階として、我々のグループで進めてきたある程度理想化された状況でのシミュレーション結果について話す。

AMR コードである Enzo を用いて、孤立した 2 つの Bonner-Ebert 球を衝突させる。UV フィードバックには非一様、非等方密度空間で電離を精度よく計算できる ray-tracing を使用している。これにより、衝突後の電離領域と分子雲の外見の進化や星形成が誘発されるか否かを知ることができる。発表では実際に星形成が誘発された結果と、それに伴う質量関数の変化を紹介する。また、観測との比較可能性、もしくは観測との比較のために今後必要なシミュレーションの条件について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A13a 銀河衝突における巨大分子雲衝突

金子紘之、久野成夫 (筑波大学)、斎藤貴之 (東京工業大学)

銀河同士の衝突により活発な星形成活動が励起されることは良く知られている。しかし、その詳細なメカニズムはまだ解明されていない。銀河衝突によって如何に活発な星形成が誘発されるか理解するうえで、銀河衝突初期において、星形成の原料である分子ガスの性質に生じる変化を調べることは非常に重要である。

NGC 4567/4568 銀河ペアは 16 Mpc と比較的近傍にあり、衝突が始まったばかりの相互作用銀河である。H $\alpha$  や 24  $\mu\text{m}$  などの星形成トレーサーから衝突領域に複数の巨大 HII 領域が存在していること、野辺山 45 m 鏡による分子ガスマッピングから同領域が高い星形成効率を持つことがわかっており、衝突によって星形成が誘発されている可能性がある。このことから、銀河衝突による活発な星形成を理解するのに最適な天体の一つである。

我々は ALMA Cycle 1 で  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  のモザイク観測を行い、広がった成分に感度がある ACA 7m アレイと高空間分解能の 12 m アレイのデータを取得した。このデータをコンバインすることにより、高空間分解能 (空間分解能  $2'' \times 2'' : 155 \text{ pc} \times 155 \text{ pc}$ ) を保ったまま、広がった成分にも感度のあるデータを生成した。得られたデータから、銀河の衝突領域に 1 kpc  $\times$  0.5 kpc 程度のフィラメント状で広がった構造を持つ巨大分子雲複合体 (GMA) が複数存在することが確認された。このうち、最大の GMA の端では数  $10 \text{ km s}^{-1}$  の広い速度分散を持つ領域があり、H $\alpha$  や 24  $\mu\text{m}$  との比較から大きな速度分散を持つ領域に近接して星形成領域があることも明らかになった。位置速度図によると速度幅が大きい領域に分子ガスが連続的に存在していることから、視線方向上でたまたま重なって見えているのではなく、銀河衝突によって銀河に存在していたガス雲同士も衝突を起こし、その結果  $\sim\text{kpc}$  スケールに広がった GMA が形成され、そのガス雲から星形成が誘発され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](#)

A14b **大質量星団 [DBS2003]179 方向の複数 CO 同位体輝線観測**

桑原 翔, 大橋聡史, 藤井浩介 (東京大学 / 国立天文台), 河村晶子, 水野範和 (国立天文台), 長谷川敬亮, 鳥居和史, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大学), 大西利和 (大阪府立大学)

[DBS2003]179 は距離 7.9 kpc に位置する星団で、その質量は  $2.5 \times 10^4 M_{\odot}$ 、年齢 2-5 Myr の重力的に束縛された Young Massive Cluster (YMC) である (Borissova et al. 2008, 2012)。我々は過去にこの星団の方向に対し、NANTEN2 による  $^{13}\text{CO}(1-0)$  の観測を実施、YMC 方向に 2 つの異なる速度成分 ( $-75 \text{ km s}^{-1}$  と  $-95 \text{ km s}^{-1}$ ) からなる分子雲を同定、これら分子雲同士の衝突によって [DBS2003]179 が誘発的に形成された可能性を指摘した (2012 年秋期年会 P159a 水野他)。さらに、Mopra 望遠鏡による  $^{12}\text{CO}(1-0)$ ,  $^{13}\text{CO}(1-0)$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$  の 3 輝線で高空間分解能観測を行った結果、以前同定していた 2 つの分子雲のうち  $-95 \text{ km s}^{-1}$  の速度成分は Spitzer Space Telescope による赤外線放射  $8\mu\text{m}$  の分布と非常に良い位置相関があり、この YMC に付随していることを強く示唆する結果が得られた。また、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ ,  $^{13}\text{CO}(1-0)$  の視線速度において  $-90 \text{ km s}^{-1}$  から  $-80 \text{ km s}^{-1}$  の速度で分子雲同士の衝突の痕跡と思われる 2 つの速度成分を繋ぐ速度構造もみられた他、 $-75 \text{ km s}^{-1}$  と  $-95 \text{ km s}^{-1}$  成分の空間分布が大局的に反相関を示している様子も明らかになった (2014 年秋期年会 Q45b 桑原他)。今回この領域に対して、2014 年 5 月から 6 月にかけて ASTE サブミリ波望遠鏡による  $^{12}\text{CO}(3-2)$  の観測を実施した。[DBS2003]179 に付随する分子雲の主要部をカバーするように  $0.4^{\circ} \times 0.4^{\circ}$  の観測を On-the-Fly 方式で実施した。本発表では、この ASTE 望遠鏡を用いて観測した  $^{12}\text{CO}(3-2)$  の結果も総合して、分子雲衝突による [DBS2003]179 の形成シナリオの検証を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A15b 分子雲衝突による超巨大星団の形成: NGC 3603 について

大橋聡史、藤井浩介、桑原翔（東京大学）、水野範和、河村晶子（国立天文台）、大西利和（大阪府大）、長谷川敬亮、大濱晶生、鳥居和史、福井康雄（名古屋大学）

大質量星を多く含む若い星団 (Young Massive Cluster : YMCs) は、銀河系でも非常に活発な星形成領域であり、その形成の理解は銀河系だけでなく銀河進化においても非常に重要な課題である。

近年、NANNTEN 2 などによる CO 分子ガスの観測から若い大質量星団に対して二つの速度が異なる分子雲を同定し、その物理状態から、これらの分子雲同士の衝突によって大質量星団が誘発的に形成された可能性が示唆されている (e.g., Furukawa et al. 2009, Ohama et al. 2010, Fukui et al. 2014)。

そこで我々は新たに Mopra 22m 電波望遠鏡と ASTE 10m 電波望遠鏡を用いて CO (1-0), CO(3-2),  $^{13}\text{CO}$  (1-0),  $\text{C}^{18}\text{O}$  (1-0) 分子輝線による NGC 3603 の高分解観測を行った。NGC 3603 は距離 7 kpc にありサイズ 0.8 pc 以内に 30 個以上の O 型星を含む、若い大質量星団の一つである。

その結果、先行研究である Fukui et al. (2014) と同様に 13 km/s 成分と 28 km/s 成分の二つの分子雲を同定した。さらにこれらの分子雲が Spitzer 衛星による  $24\ \mu\text{m}$  のダスト連続波と空間的に相関している様子が見られた。CO(3-2)/CO(1-0) の輝線強度比からは二つの分子雲が星団方向で高くなっており、これは星団によって暖められている可能性が考えられる。また星団付近での CO(3-2) 輝線による位置速度図からは、二つの分子雲が相互作用している様子が見られた。本講演では、以上の結果を総合し、分子雲衝突による NGC 3603 の形成シナリオの検証を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A16b 銀河系中心分子層中の衝突分子雲候補天体 CO-0.30-0.07

田中邦彦、岡朋治、竹川俊也 (慶應大)、亀谷和久 (東京理科大)、永井誠 (筑波大)

銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) の特徴の一つに、銀河系円盤部と比べて卓越した乱流状態がある。速度分散は円盤部の約 5 倍、Virial Parameter は 10 程度の値を系統的に示す。この強い乱流場は CMZ の特異な性質 (質量の集中、強磁場、高い星形成率) と密接に関わると同時に、星形成活動に直接の影響を与えているはずである。巨大分子雲の乱流速度は CMZ でも概ねサイズ-線幅関係に従うが、最近の ASTE 10m 望遠鏡による広域観測からは、サイズ-線幅関係から外れた広い速度幅 ( $50\text{--}100\text{ km s}^{-1}$ ) を持つコンパクトな ( $r \sim$  数 pc) 高密度クランプが非常に多く発見される。小スケールでの乱流供給源が多数分布することが推測されるが、これら高速度コンパクト雲 (High Velocity Compact Clouds; HVCCs) のほとんどは駆動源が未同定である。

本講演では、HVCC の典型例として CO-0.30-0.07 を取り上げ、ASTE と SMA で取得したサブミリ波帯イメージを元に、この分子雲が分子雲衝突によって形成された可能性を示し、星形成への影響について議論する。CO-0.30-0.07 は速度幅  $140\text{ km s}^{-1}$  にもなる高速度分子ガスで構成され、(1) 異なる視線速度にある二つの分子雲の境界上に位置する、(2) 高速度放射はその境界面を隔てて接する二つのフィラメント状成分に集中し、また二つのフィラメントは互いに空間-速度図上で明瞭な反相関を示す、等の特徴は分子雲衝突境界面に期待される構造によく合致する。また、境界面付近には、ホットコアに特徴的な分子輝線 (メタノール、 $\text{H}_2\text{CS}$ 、OCS) を伴う高密度 ( $n \sim 10^7\text{ cm}^{-3}$ ) のスポットが多数検出される。熱源が確認できないこと、CMZ 分子雲の特殊な化学組成を考慮すると、直ちに星形成コアであるという同定は困難であるが、磁場を考慮した重力束縛の密度条件 ( $n > 10^{6-7}\text{ cm}^{-3}$ ) を満たしており、衝撃波領域での分子雲コア形成の現場である可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## A17b 乱流と衝突をともなう高密度分子雲における集団的星形成 II

松本 倫明 (法政大学), 土橋 一仁, 下井倉ともみ (東京学芸大学)

集団的星形成の現場には、強い乱流が存在したり、近傍の OB 型星や超新星残骸からの影響があること示唆されている。そこではガスの大局的な流れによってガスが圧縮されたり、流れに乗ったフィラメント状分子雲が衝突することによって星形成を誘発すると考えられる。とくに高密度分子雲 Cyg OB7 はこのような環境にある星形成領域であると考えられている (Dobashi et al. 2015)。

そこで本研究では、大局的な流れが衝突するような状況下において、乱流を持った分子雲の星形成に関する大規模な数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションには適合格子細分化法 (AMR 法) を実装したコード SFUMATO (Matsumoto 2007) を用いて、高解像シミュレーションを遂行した。前回の年会 (2014 年秋季年会 P142a) では、観測されるべきチャンネルマップや確率密度関数 (PDF) などについて報告した。本年会では、形成された星団の性質を中心に報告する。

高密度な分子雲では、乱流が強いほど星形成が促進される。同様に大局的な衝突流が強いほど星形成が促進される。形成される質量分布は乱流の強さや衝突流の強さによらず釣鐘型を呈しており、大質量側の分布は古典的な Salpeter (1955) のべき分布 ( $N \propto M^{-1.35}$ ) と整合的である。集団的に形成される星の質量降着率は  $10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1} \lesssim \dot{M} \lesssim 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$  の広い範囲を分布しており、乱流の強さと衝突流の強さや対する傾向は認められない。星団の速度分布は、母体となる分子雲のガスの速度分布に近い。この結果は星形成領域における若い星の視線速度に関する多くの観測と整合的であり、本研究はこれらの観測と同様に Hartmann (2001) が提唱する「速い星形成」パラダイムを支持する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

A18b **NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 巨大分子雲におけるフィラメントの性質とフィラメント衝突による分子雲コア形成の可能性**

西村淳, 梅本智文, 南谷哲宏 (NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 松尾光洋 (鹿児島大), 津田裕也 (明星大), 大橋聡史 (東大/NAOJ), 銀河面サーベイチーム

最近の研究によると、フィラメント構造は分子雲に普遍的に存在しており (e.g., André et al. 2010)、また、星形成へと繋がる分子雲コアはフィラメントで形成されると考えられている。大質量星を形成するような大質量分子雲コアを形成するためには効率よく質量を集める必要があり、そのメカニズムとして、(1) コアから放射状に伸びる複数のフィラメントを伝った質量降着 (e.g., Peretto et al. 2012)、(2) フィラメント同士の衝突による質量の集中 (Nakamura et al. 2014) が考えられているが、大質量星形成領域を含むような巨大分子雲については観測例が少なく、特に輝線観測により速度方向を分解する事が個々のフィラメントを理解する上で重要である。

我々は NRO 銀河面サーベイプロジェクトの IR1 データ (西村他 2014 年秋期年会) を用いて、銀河面に位置する巨大分子雲のフィラメント調査を行った。調査対象としては、IR1 の観測範囲 ( $l = 12^\circ - 19^\circ$ ,  $b = \pm 1^\circ$ ) のうち、比較的距離が近く、かつ領域全体が観測されている M16, M17, M17 SWex を選んだ。M16 と M17 は大質量星によるフィードバックが顕著な比較的進化の進んだ星団形成領域で、M17 SWex は大質量星が不足した若い星団形成領域と考えられている。全ての分子雲で  $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) でフィラメントが検出できた。M16, M17 では平行するいくつかのフィラメントが大きな母体フィラメントを形作っているのに対し、M17 SWex では縦横に広がる母体分子雲に点在するコアを結ぶようにフィラメントが存在している。本講演ではこれらの領域毎のフィラメントの物理的性質と星形成過程との関連、フィラメント衝突によるコア形成の可能性等について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## A19b 「あかり」を用いた分子雲衝突が示唆される Spitzer bubble の統計的研究

服部和生, 金田英宏, 石原大助, 山岸光義, 近藤徹, 佐野栄俊 (名古屋大学)

近年の「なんてん」・NANTEN2を用いたCOの電波観測から、分子雲同士の衝突が大質量星形成を誘発する、分子雲衝突シナリオの観測的証拠が得られている。我々はこの成果を受けて、「あかり」衛星の中間・遠赤外線全天サーベイデータを用いた大質量星形成領域の統計的な解析を行うことで、別の切り口から大質量星の形成過程について探った。観測対象は、Spitzer衛星の8  $\mu\text{m}$  帯で同定された Spitzer bubble であり、これらは closed bubble と broken bubble の2つの morphology type を持つ。Broken bubble の構造は、分子雲衝突のシミュレーション結果から予想される構造と類似しており、分子雲衝突によって形成された可能性がある。本研究では、2つの type の系統的な赤外線特性の違いから、bubble の形成過程について調査した。

我々は、Spitzer bubble 149 天体に対し、「あかり」衛星の中・遠赤外線6バンドの測光を行い、spectral energy distribution (SED) を導出した。さらに、得られた SED に対して芳香族炭化水素 (PAH) と warm dust、cold dust の3成分を用いた model fit を適用し、各成分の光度と総赤外線光度を求めた。総赤外線光度を bubble の半径サイズと比較したところ、broken bubble の半径が closed bubble よりも系統的に大きくなる傾向が見られた。さらに、半径の大きい broken bubble は、同半径の closed bubble より、PAH の存在度を示す PAH 光度 / 総赤外線光度の比が小さくなる傾向を持つことが分かった。本講演ではこれらの結果について考察し、分子雲衝突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](#)

A20c

## CO輝線を用いた Spitzer Bubble サーベイプロジェクト4 : ASTE、Mopra、NANTEN2 による Spitzer Bubble の観測結果

服部有祐, 鳥居和史, 長谷川敬亮, 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)

大質量星の形成メカニズムの解明は天文学において重要な課題となっている。我々は大質量形成領域の候補として Spitzer Bubble について注目した。Spitzer Bubble は赤外  $8\mu\text{m}$  でリング状構造を持ち、内部には大質量星により電離された HII 領域を伴う天体である。我々はこの Spitzer Bubble にたいして NANTEN2 電波望遠鏡を用いてサイズ  $3'-10'$  のバブル約 50 天体に対して CO( $J=1-0$ ) 観測を行い、分子雲衝突を支持する結果を得た (2012 年秋季年会)。さらに、Mopra 望遠鏡による CO( $J=1-0$ ) 観測 (角度分解能  $33''$ ) を 39 天体に対して、ASTE 望遠鏡による  $^{12}\text{CO}$ ( $J=3-2$ ) 観測 (角度分解能  $24''$ ) を 27 天体について実施した。これらの観測結果と赤外  $8\mu\text{m}$  の分布を比較したところ、星風などの膨張モデルでは説明できない速度分布を持つ分子雲が検出された。本研究では、これらの分子雲の詳細な分布・速度構造について報告し、温度・密度などの物理量から分子雲衝突による形成についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

A21c **CO輝線を用いた Spitzer Bubble サーベイプロジェクト 3:Mopra 望遠鏡  
のよる 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), 大西利和 (大阪府立大)

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 15 pc 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 2.5 Myr 程度と見積もられている (Martins+10)。このリングは赤外線において比較的綺麗な形状を示すが、上方部に穴の開いた特徴的な構造をしており Spitzer Bubble S7(RCW120) と非常によく似た構造である。最近この RCW120 において大きな速度差を持つ二つの分子雲が特定され、分子雲衝突による大質量星の形成シナリオが提唱されている (Torii in prep., 2014 年度春季年会 鳥居他)。

本研究はこの S145 に対して Mopra 望遠鏡を用いて詳細な観測を行った。観測はおよそ  $24 \times 12$  の領域に対して CO( $J = 1 - 0$ ) 回 転遷移輝線を用いて行った。その結果  $-45$  km/s 付近においてリングに付随する質量  $8 \times 10^4 M_{\odot}$  程度の分子雲と  $-55$  km/s 付近にバブル上部に接するように分布する質量  $3 \times 10^4 M_{\odot}$  程度の分子雲を同定した。この分布は RCW120 に付随する分子雲とよく類似している。また  $-45$  km/s 成分ではリング上方部に太さ 1pc 以下のフィラメント状に伸びた分子雲を発見した。さらに  $-53$  km/s 付近には前述のフィラメント状の分子雲と反相関を示し、これは分子雲衝突によって形成された事を示唆している。

本発表では以上の観測結果を元に S145 の分子雲衝突による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](#)

A22c

## 銀河系渦状腕に付随する分子雲の衝突確率と大質量星形成

大濱晶生、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)、水野亮(名古屋大学STE)、水野範和(国立天文台)、大西利和、小川英夫(大阪府立大学)

大質量星の形成過程の解明は、天文学の重要課題である。分子雲衝突がその候補の1つとして挙げられ、近年、大質量星や星団が分子雲同士の衝突により形成された観測結果が報告された(Furukawa et al. 2008, Torii et al. 2011, Fukui et al. 2014 等)。また、銀河系の一部領域で衝突による大質量星形成の発生率は報告されているが(日本天文学会 2013 年秋季年会中島)、銀河全体での衝突の確率は明らかにされていない。一方、Tasker (2011) は数値計算により銀河系全体で衝突の普遍性を示す。

本研究では、我々は「なんてん銀河面サーベイ」の  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線のデータセットから分子雲を同定した。データに対し CPROPS パッケージ (Losolowsky and Reroy 2006) を用いて、銀河系渦状腕に付随する第1象限から第4象限までで調べた結果、およそ 900 個の分子雲を同定した。さらに分子雲間の速度分散、銀河円盤における分子雲のスケールハイト、質量スペクトル、個数、質量密度および渦状腕内で分子雲が衝突する確率を算出し、渦状腕同士での物理量の比較を行った。その結果、分子雲間の速度分散は太陽円よりも内側の領域で 7 ~ 9 km/s を示し、外側の領域では 3 ~ 4 km/s である。また、分子雲の個数および質量密度は負の相関を示した。これらの物理量を用いて分子雲同士の衝突の平均自由時間を算出したところ、太陽円より内側で  $10^6 \sim 10^7$  yr、太陽円より外側で  $10^8$  yr のオーダーとなった。一般的に分子雲の寿命はおおよそ  $10^6 \sim 10^7$  yr 程度であるため、太陽円より内側の領域にある分子雲は寿命を終える前に 1 回程度衝突を起こすことを示す。以上、銀河系内では分子雲衝突は普遍的な現象であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

A23c **Unravelling the dynamics of the unusual SMC nebula: N66**Erik Muller<sup>1</sup>, T. v. Kempen<sup>2</sup>, N. Mizuno<sup>1</sup>, A. Kawamura<sup>1</sup> (<sup>1</sup>NAOJ, <sup>2</sup>Leiden Univ.)

We report on the discovery of an expanding loop of filamentary molecular debris associated with the enigmatically powerful star forming region in the Small Magellanic Cloud (SMC); N66. The NGC346 cluster associated with N66 hosts upwards of 33 O-Type stars, and harbours ~6% of all *current era starformation in the entire SMC*. It is plausibly responsible for depositing the observed mechanical energy within the nebula, but the actual formation for the spectacular and anomalous NGC346 cluster is unknown, and this work reports on the first stages of research into understanding the formation of NGC346.

Under the simplest approximation, without considering momentum transfer, turbulence or stellar radiation, the timescale for the formation of the loop is ~2-5Myr, roughly consistent with the age of the stars comprising NGC346. We determine the geometry and morphology of the expanding loop is consistent with the scenario that NGC346 and nearby sub-clusters formed suddenly and rapidly, well within a crossing time of the ~100 pc-wide N66 nebula, and is consistent with the idea the stellar cluster formed as the result of a filament-filament collision. A three-dimensional (PPV) analysis of the ratios of the CO(1-0) and CO(2-1) emission lines shows both transitions are close to completely thermalised; a radiative transfer analysis is difficult, but nonetheless suggests a slight enhancement of temperature/density towards the interiors of the fragments.

The simplest interpretation in this case is that NGC346 is responsible for the exciting the higher transition through a combination of radiatively heating, and via a compressive shock passing through the ISM.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## 【B. 始動、HSC 戦略枠プログラム】

### 3月20日(金)午後(13:30-15:30) [A会場]

<b>B01r</b>	13:30	Hyper Suprime-Cam Project・(24)	宮崎 聡(国立天文台)
<b>B02r</b>	13:54	HSC 戦略枠サーベイが目指すサイエンス・(24)	高田昌広(東京大学)
<b>B03r</b>	14:18	HSC 戦略枠観測のデータ解析・(24)	古澤久徳(国立天文台)
<b>B04r</b>	14:42	HSC 戦略枠サーベイのデータベースとその使い方・(24)	高田唯史(国立天文台)
<b>B05a</b>	15:06	Hyper Suprime-Cam 試験観測からのフィードバック・(12)	小宮山 裕(国立天文台)
<b>B06a</b>	15:18	Hyper Suprime-Cam における銀河形状測定の系統誤差の評価・(12)	宮武広直(東京大学/Princeton University)

### 3月21日(土)午前(09:30-11:30) [A会場]

<b>B07a</b>	09:30	HSC サーベイの測光的赤方偏移・(12)	田中賢幸(国立天文台)
<b>B08a</b>	09:42	HSC 測光的赤方偏移: Machine Learning による推定・(12)	西澤 淳(名古屋大学)
<b>B09a</b>	09:54	バリオンを考慮した弱重力レンズ効果による宇宙論パラメータ推定・(12)	大里 健(東京大学)
<b>B10a</b>	10:06	Subaru Wide-Field AGN Survey (SWANS) with HSC・(12)	長尾 透(愛媛大学)
<b>B11a</b>	10:18	HSC 初期データと WISE を併用した Dust Obscured Galaxies 探査・(12)	鳥羽儀樹(愛媛大学)
<b>B12a</b>	10:30	大規模サーベイに活用できる準解析的銀河・AGN 形成モデルの開発・(12)	榎 基宏(東京経済大学)
<b>B13a</b>	10:42	準解析的銀河・AGN 形成モデルを用いた AGN のクラスタリング解析・(12)	大木 平(文教大学)
<b>B14a</b>	10:54	HSC 天体カタログを用いた移動天体・変光天体候補の抽出・(12)	山田善彦(国立天文台)
<b>B15a</b>	11:06	HSC 戦略枠プログラムで検出された太陽系小天体について・(12)	吉田二美(国立天文台)
<b>B16a</b>	11:18	超新星ショックブレイクアウト探査と時間軸天文学への展望・(12)	富永 望(甲南大学)

## B01r Hyper Suprime-Cam Project

宮崎聡 (国立天文台)、HSC Collaboration 一同

Hyper Suprime-Cam (HSC) は、Suprime-Cam の後継機として開発された、口径 8.2 m のすばる望遠鏡用新主焦点カメラである。有効視野角は 3 倍の 1.5 度角となり、世界に比類のない天体探査能力を実現した。第一レンズの直径が 82 cm の大型補正光学系は、視野全面に渡り 0.2 秒角 (FWHM) 以下の結像性能を有する。また、総重量 3 トンにも達する HSC の姿勢は、位置決め精度が数ミクロンのアクチュエーターで制御される。これらの高精度光学・機械システムにより、HSC はマウナケア山において、ほぼ常時シーングリミットの画像を取得できる見通しである (i-band でメディアン値 0.67 秒角)。光センサーは国立天文台と浜松ホトニクスで共同開発してきた完全空乏型 CCD である。空乏層の厚さは 200  $\mu\text{m}$  に達し、長波長側の感度を大きく改善している (波長  $1\mu\text{m}$  において量子効率 40 %)。この CCD116 個を、直径約 50 cm の焦点面の数 10  $\mu\text{m}$  の焦点深度内に配置する技術や、数電子相当以下の低雑音で高速に読み出す技術は、Suprime-Cam 等第一期すばる装置の開発を通じて蓄積されてきた技術を活用している。最小露出間隔は 32 秒で、これには CCD のセットアップと読み出し時間、望遠鏡の指向変更、オートガイド星確保などの時間が全て含まれる。300 秒積分で露出を繰り返す場合、9 割の時間効率で観測を遂行できる。2012 年 8 月から試験観測が開始され、調整及び試験が行われてきた。この結果、結像性能と検出効率は当初設計通りの値が達成されていることが確かめられ、2014 年 3 月より、すばる戦略枠観測 (SSP) 及び一般共同利用観測が開始された。SSP は 1400 平方度に達する Wide Survey をはじめ、諸外国の観測装置では実現できない、ユニークな探査計画になっている。宇宙論、銀河・ブラックホール進化・太陽系天体等、幅広い天文研究のために、最先端でかつ、基盤となるデータを提供したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B02r HSC 戦略枠サーベイが目指すサイエンス

高田昌広 (Kavli IPMU), 他 HSC 戦略枠チーム

すばる望遠鏡の超広視野新カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は、口径 8.2m の集光力、その結像性能、角径 1.5 度の広視野のために、世界最高のサーベイ能力を有する。この威力に着目し、2014 年 3 月から 5 年計画で、すばる望遠鏡の 300 晩を投じる HSC 戦略枠深宇宙イメージングサーベイが始動した。世界中でも、広視野撮像銀河イメージングサーベイが稼働中あるいは計画中であり、この世界の潮流に先駆けて、HSC サーベイが広視野サーベイによるサイエンスを行うことができる。

この戦略枠 HSC サーベイでは、広帯域・狭帯域多色フィルタを用い、探査する天域の広さ、またその深さで異なる 3 つのレイヤーのイメージングサーベイを行う。HSC-Wide ( $1,400 \text{ deg}^2$ , *grizy*,  $i \sim 26$ )、-Deep ( $28 \text{ deg}^2$ , *grizy*+NBs,  $i \sim 27$ )、-Ultradeep ( $3.5 \text{ deg}^2$ , *grizy*+NBs,  $i \sim 28$ ) のサーベイである。目指す主サイエンスゴールは、重力レンズの精密測定による宇宙の加速膨張の物理の検証および宇宙論パラメータの推定、赤方偏移  $z \sim 2$  から現在までの銀河の形成史の物理の探求、 $z \sim 5-7$  における宇宙の再イオン化過程の物理の研究、と多岐に渡る。本講演では、この HSC サーベイの独自・優位性、また目指すサイエンスについて紹介する。さらに、この HSC 戦略枠は、日本、プリンストン大学、台湾の研究者らによる国際共同研究に基づくが、そのサーベイポリシーについても紹介する。日本人研究者であれば、どなたでも参加できる研究プロジェクトであるので、その概要を紹介し、参加の契機になる講演になるよう努める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B03r HSC 戦略枠観測のデータ解析

古澤久徳 (国立天文台), ほか HSC SSP チーム

HSC 戦略枠 (SSP) の 300 晩に渡る観測で得られるサーベイデータは、SSP データ解析ソフトウェアチームが開発したデータ解析パイプラインによって処理され、科学研究に利用できる形で共同研究者にウェブサイトなどを通じて提供される。そのデータプロダクトは、処理済み画像と天体カタログに分けられる。処理済み画像は、各積分の CCD 毎に整約された画像とモザイクスタック解析による合成画像から成り、いずれも位置および等級の較正とマスク情報が付加される。これらは、1400 平方度の探査領域を予め定義した 1.5 度平方程度の領域に分割して生成される。天体カタログは、天体の位置、等級、形状、測定状態の情報を含み、それらの FITS 形式ファイルが利用できる他、カタログの科学的利用を促進するため、データベースを活用した天体検索も利用できる予定である。

2014 年 3 月から HSC-SSP 観測が始まったが、SSP データ解析チームでは、2014 年 9 月に初期データプロダクトを共同研究者コミュニティに公開し (S14A\_0 リリース)、データ評価とパイプライン改良を続けている。HSC-SSP 観測のデータプロダクトは、探査の深さと広さでその観測方針が分けられた 3 カテゴリで構成される。このうち S14A\_0 リリースでは、g, r, i, z, Y の 5 バンドの撮像データを処理し、ウルトラディープ COSMOS と約 20 平方度のワイド GAMA15 フィールドの処理済み画像および i バンド検出の多色天体カタログを生成した。

SSP データ解析チームでは、2014 年 9 月以降の新規データを加えたデータリリースの更新を計画している。本講演では、データリリースにおけるデータ処理手順とユーザが利用できるプロダクトの種類、およびその性質についての現状の理解を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B04r HSC 戦略枠サーベイのデータベースとその使い方

高田唯史, 山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聰吾, 古澤久徳 (国立天文台), 安田直樹 (東大 KIPMU),  
ほか HSC 解析ソフトウェア開発チーム一同

HSC 戦略枠 (SSP) による 5 年間、300 晩に渡る観測で得られるサーベイデータは、データ解析パイプラインによって自動処理され、科学研究に利用できる形で共同研究者にウェブサイトなどを通じて提供される。主なデータプロダクトは、処理済み画像と天体カタログである。処理済み画像には、各積分毎の整約された CCD 画像とモザイクスタック解析による合成画像があり、その総数は 1 世代分だけでも約 300 万ファイル、およそ 300TB に達すると予想されている。また、天体カタログは、位置、等級、形状、測定状態の情報を含み、記録される天体数は 8 億天体以上、多数回の測定毎の延べ数は 100 億を超える事が予想されている。このような巨大なデータを効率よく利用するにはデータベースの活用は必須要件であり、我々は SSP データの管理・利用促進を目指したデータベースシステムの構築を行ってきている。

2014 年 3 月より SSP 観測が開始され、2014 年 9 月に初期データプロダクトが共同研究者コミュニティに公開された (S14A\_0 リリース)。このリリースで公開されたデータプロダクトは、ウルトラディープサーベイの COSMOS フィールド (1.75 平方度) についての 5 バンド (g, r, i, z, Y) とワイドサーベイの GAMA15 フィールド (20 平方度) についての 2 バンド (i, Y) の処理済み画像、および、i バンド検出の多色天体カタログである。天体数としては既に 1 0 0 0 万を越えており、延べ数では 1 億天体程の量である。画像情報や天体カタログは全てデータベース化され、Web インターフェースを通じて画像やカタログの高速検索が可能となっている。

本講演では、現状で提供されているデータベースの中身とその利用方法を解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B05a Hyper Suprime-Cam 試験観測からのフィードバック

小宮山裕 (国立天文台), 他 HSC 開発グループ

Hyper Suprime-Cam (HSC) は 2012 年 8 月にファーストライトを迎え、以降試験観測を通して機能・性能の確認を行い、2014 年 3 月より共同利用に供されている。その総合観測性能は本企画セッションの数々の講演で明らかにされているところである。本公演では試験観測時のデータから分かってきた HSC の観測時・データ解析時の注意点についてまとめていく。具体的には下記の項目について発表を行う。

- 観測高度角と追尾性能: すばる望遠鏡は経緯台式望遠鏡であるため子午線通過時付近では追尾性能に与える影響が大きく、特に広視野の HSC ではその影響が大きい。試験観測のデータからは高度角 75 度以上では影響が出てきて特に Instrument Rotator の回転精度の影響が大きいことが明らかになった。
- ゴースト: HSC は透過型の広視野補正光学系を有しているが、わずかな反射率があるため、結果としてゴーストが発生する。また、光学系のバッフリングが十分ではないため、視野外の明るい光源によって生ずるゴーストも発生する。これらゴーストの具体例を光学系の光線追尾の結果とともに示す。
- 月の影響: 可視光観測では月の明るさによってバックグラウンドが増加し、観測へ与える影響が大きくなる。HSC では、月との離角 20 度程度までは大きくバックグラウンドが上がることはないが、15 度以内ではゴーストが発生する例があることが分かってきた。
- その他: HSC の画像解析を行う過程で明らかになってきた諸性能についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B06a **Hyper Suprime-Cam** における銀河形状測定の系統誤差の評価

宮武広直 (東京大学 Kavli IPMU/Princeton University), Steve Bickerton, Alexie Leauthaud, Surhud More, 岡部信広, 高田昌広 (東京大学 Kavli IPMU), 大栗真宗 (東京大学), 浜名崇, 宮崎聡 (国立天文台), Bob Armstrong, Jim Bosch, Robert Lupton, Paul Price (Princeton University), 梅津敬一 (ASIAA), Rachel Mandelbaum, Melanie Simet (Carnegie Mellon University), 内海洋輔 (広島大学), 西澤淳 (名古屋大学), 大倉悠貴 (理研/BNL), 他 HSC weak lensing analysis team

弱重力レンズ効果は、銀河と観測者の間にある質量構造によって、その周囲の時空が歪み、銀河像が系統的に歪んで観測される現象である。銀河の形状測定を通して弱重力レンズ効果を測定すれば、暗黒物質も含めた宇宙の全物質の質量分布を調べることができる。特に、Hyper Suprime-Cam(HSC) サーベイでは、その大統計量により、今までにない精度で宇宙論パラメータや銀河・銀河団の物理に制限を課すことができると期待されている。ただし、そのためには銀河の形状測定の系統誤差を1パーセント以下に抑える必要があり、実際のデータやシミュレーションを用いて測定の系統誤差を洗い出し、理解することが重要となる。

本講演では、HSC サーベイにおける銀河形状測定の現状について話す。具体的にはHSCの解析パイプラインに実装されている点拡がり関数 (point spread function; PSF) の決定法、銀河の形状測定アルゴリズムや、系統誤差評価のためのソフトウェア開発の現状、実際のサーベイデータ及びシミュレーション画像を用いたPSF決定精度や銀河形状測定の精度の評価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](#)

## B07a HSC サーベイの測光的赤方偏移

田中賢幸 (国立天文台), 西澤淳 (名古屋大学), Jean Coupon (University of Geneva), Bau-Ching Hsieh (ASIAA)

HSC の戦略枠サーベイにおけるほとんどのサイエンスでは、天体までの距離情報が必要となる。しかしながら、HSC は撮像カメラで赤方偏移を直接測ることはできない。一般に赤方偏移は分光観測を必要とするが、HSC の検出する天体数、ならびに天体の暗さを考えると分光は現実的な解ではない。そこで、測光データから得られる天体の見た目の色を用いて赤方偏移を推定する、測光的赤方偏移という手法がサーベイにおいて鍵となる。

HSC photo-*z* working group は HSC SSP で取得されたデータを用いて、検出された天体の測光的赤方偏移を計算し、コラボレーションへ公開している。HSC SSP でなされるサイエンスは非常に多岐にわたり、必要とされる測光的赤方偏移の精度もサイエンスによって異なるため、我々は標準的な template-fitting から machine-learning まで様々な手法を用いて計算している。計算された測光的赤方偏移は、データベースから簡単に利用できるようになっている。また、コードによっては銀河の星質量や星形成率といった物理量も計算され、これらも同様に利用可能である。本講演ではこの測光的赤方偏移の計算の概略と、測光的赤方偏移や付加的なデータ情報をユーザーの視点に立ってまとめたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B08a HSC 測光的赤方偏移：Machine Learning による推定

西澤淳 (名古屋大学)、田中賢幸 (国立天文台)、ほか HSC collaboration

HSC サーベイは 2014 年 3 月より始まり、COSMOS や XMM-LSS など重要な領域で既にデータを取得している。HSC サーベイでは重力レンズ解析と銀河進化を主軸とした多様なサイエンスが提案されているが、その多くが銀河までの距離 (=赤方偏移) を必要としている。そこで HSC photo-z 班では、様々なサイエンスのニーズに応えられるよう、異なる 4 種類の photo-z 測定法を用いて、独立に測光的赤方偏移推定を行っている (2014 年現在)。

本講演では、人工知能などの分野で応用されている機械学習の方法に基づいた測光的赤方偏移推定について言及する。本手法では、精密な分光赤方偏移をトレーニングセットとして用することで、銀河の各広帯域フィルターの等級などの観測量と赤方偏移を結びつけるルールをコンピュータに学習させ、そのルールに則って測光サンプルから赤方偏移を推定する。本手法は、広く用いられている銀河の SED フィットによる測定に比べて、星形成率など銀河の他の物理量を抽出することはできないが、赤方偏移推定に銀河 SED を仮定する必要がないため、互いに相補的である。本講演では、ランダムフォレストを用いた解析手法と、COSMOS 領域の HSC データに適用した結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B09a バリオンを考慮した弱重力レンズ効果による宇宙論パラメータ推定

大里健, 白崎正人 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU)

これまで、弱重力レンズ効果の研究に行われてきた多くの N 体シミュレーションでは宇宙の物質成分としてダークマターのみを考慮した構造形成が考えられてきた。しかしながら、バリオンは密度プロファイルなどのハロー個々の性質や、物質分布のパワースペクトルといった宇宙論的な統計量に無視できない影響を及ぼすこともこれまでの研究から示唆されてきた。そこで我々は、標準的な冷たいダークマターの重力相互作用に加え、バリオンによる星形成、輻射冷却、超新星によるフィードバック効果といった銀河形成の物理を考慮した N 体シミュレーションを実行し、Hyper Suprime-Cam の撮像領域を仮定した重力レンズ模擬観測を行った。

このシミュレーションから得られた収束場の統計量を計算すると、例えば収束場のパワースペクトルは、大スケールにおいてダークマターのみの場合とほぼ変化はないものの、小スケールにおいてバリオンの存在が無視できない影響を及ぼすことが分かった。我々はパワースペクトル、ピーク統計、ミンコフスキー汎関数の三つの統計量を用いて、宇宙における物質密度  $\Omega_m$ 、ダークエネルギーの状態方程式パラメータ  $w$ 、パワースペクトルの振幅  $A_s$  の三つの宇宙論パラメータ推定を行った際に、バリオンを考慮する場合としない場合とで、推定値にどれだけ違いが生じるか結果を得た。例えば、統計量のうち一つのみを用いてパラメータ推定を行った場合、 $w$  の推定値についてはダークマターのみの場合と比較して、最大  $0.7\sigma$  の偏りが生じることが分かった。さらに本講演では複数の統計量を組み合わせて推定を行った際のパラメータの精度及び偏りの結果も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B10a Subaru Wide-Field AGN Survey (SWANS) with HSC

長尾 透 (愛媛大学), the HSC-AGN collaboration

クェーサー等の活動銀河核 (AGN) は、超巨大ブラックホール (SMBH) への質量降着をエネルギー源として明るく輝く天体である。この SMBH の質量は大きいもので太陽質量の数十億倍にも達することが知られており、また母銀河の質量と強い正の相関を示すことから SMBH と銀河が相互に影響を与えながら進化してきたことが示唆されている (銀河と SMBH の共進化)。しかし SMBH がどのようにして質量を獲得して成長を遂げてきたのか、また銀河と SMBH の共進化がどのようなメカニズムに基づくものなのか、といった基本的な問題は今なお未解決である。近年の SDSS や UKIDSS などの広域サーベイにより赤方偏移 7 程度までクェーサーが探査されてきているが、極めて明るい光度のクェーサーしか調べられていないことや赤方偏移 6 を超すクェーサーの統計が不足していること等により、クェーサー進化の全貌は未解明であり、このことが SMBH 進化の理解を阻んでいる。

そこで我々は HSC によるすばる戦略枠観測で得られる可視光広域多色撮像データに注目し、新たなクェーサー探査を推進している。すばる望遠鏡の集光力と波長  $1 \mu\text{m}$  まで高い感度を持つ HSC を組み合わせることにより、SDSS よりも約 3 等級暗いクェーサーまで、また赤方偏移 7 程度のクェーサーまで探査を行う。HSC すばる戦略枠観測による探査領域のうち HSC-Deep と呼ばれる約 28 平方度の領域に対しては測光情報のみならず時間変動情報も得られることを活かし、母銀河光度よりも暗い AGN も合わせて探査する。更に、エックス線・近赤外線・中間赤外線・電波の各電磁波帯での広域サーベイと HSC で得られる深い可視光データを組み合わせることで、塵に深く覆われた AGN や電波活動性を示す AGN など多様な AGN 種族についても系統的に調査する。

本講演では HSC による AGN 探査計画の概要と現状を紹介し、新たな共同研究の可能性について議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B11a HSC 初期データと WISE を併用した Dust Obscured Galaxies 探査

鳥羽 儀樹、長尾 透、寺島 雄一 (愛媛大学)、今西 昌俊、青木 賢太郎、川口俊宏 (国立天文台)、後藤 友嗣 (国立清華大學)、大藪 進喜 (名古屋大学)、上田 佳宏 (京都大学)、大井 渚、松原 英雄 (ISAS/JAXA)、稲見 華恵 (NOAO)、Michael A. Strauss (プリンストン大学)

我々は Hyper Supreme-Cam (HSC) を用いて、ダストに覆われた銀河 (Dust Obscured Galaxies, DOGs) の探査を進めている。DOGs 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。また赤方偏移  $\sim 2$  に集中的に分布し、その多くが ULIRGs であることも知られている。特に、IR で明るい DOGs (IR-bright DOGs) は中心に活動銀河核 (AGN) を有している割合が高く、また major merger シナリオを想定すると、それらの AGN は質量降着率が最大となるような成長途上の段階にいることが期待され (e.g., Narayanan et al. 2010)、銀河とブラックホールの共進化の観点からも重要な種族であると考えられる。しかし、従来の DOGs 探査は広くて深い可視光撮像データが無かったため、空間個数密度の低い IR-bright DOGs の発見は数 10 個に留まっており、その素性もよく分かっていない。

そこで我々は、HSC と赤外線 で全天探査を実施した WISE を併用することで IR-bright DOGs の系統的な探査を実施している。すばる戦略枠観測を通して得られた HSC 初期データ (約 18 平方度を掃いた wide 探査データを使用) を基に、我々は 26 個の IR-bright DOGs を発見した。発見された DOGs のスペクトルエネルギー分布から、約 81% の DOGs が赤外線光度に対して AGN が支配的な種族であることが分かった。本講演では、これらの報告に加え、見つかった DOGs の統計量 (光度関数など) についても議論する (Toba et al. 2015 in prep.)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

B12a 大規模サーベイに活用できる準解析的銀河・AGN形成モデルの開発

榎 基宏 (東京経済大学), 石山 智明 (筑波大学), 小林 正和 (愛媛大学), 真喜屋 龍 (東京大学), 長島 雅裕, 大木 平 (文教大学)

HSCをはじめとする大規模サーベイにより、大量の銀河や活動銀河核 (AGN) の観測データが生み出されるようになった。このような大量のデータを解釈し、銀河や AGN の形成と進化についての知見を引き出すためには、理論的なモデルの結果との比較が必要になる。

このほど、我々は、宇宙論的構造形成論に基づく新しい準解析的銀河・AGN形成モデル、New Numerical Galaxy Catalog ( $\nu^2$ GC) を開発した。このモデルは、宇宙論的  $N$  体シミュレーションを用いて求めたダークハローの形成史を土台に、銀河と AGN 形成に係わる様々な物理過程をモデル化して組み合わせて構築したものである。これを用いて銀河と AGN のモックカタログを作成すれば、観測結果と直接比較できる光度函数や空間相関函数などの統計量を求めることができる。この  $\nu^2$ GC の特徴の一つは、ボックスサイズが最大で  $1.12\text{Gpc}/h$  という、世界最高レベルの解像度・計算体積である超大規模宇宙論的  $N$  体シミュレーションを用いていることである。そのため、AGN などの個数密度の小さい天体についても統計量を算出することが可能である。

本講演では、我々が開発した  $\nu^2$ GC について紹介し、HSC サーベイをはじめとする大規模サーベイでの活用法について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B13a 準解析的銀河・AGN形成モデルを用いたAGNのクラスタリング解析

大木平 (文教大学), 榎基宏 (東京経済大学), 石山智明 (筑波大学), 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、超大質量ブラックホール (SMBH) の形成過程や AGN のトリガー機構などを解明するにあたり、光度関数などと相補的かつ基礎的な観測量である。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、AGN のホストダークマターハローの質量は  $10^{12} - 10^{13} M_{\odot}$  であり、顕著な赤方偏移依存性、AGN 光度依存性は無いことが示唆されている。しかしこれらの結果は明るい AGN のみを調べた結果であり、暗い AGN についてはまだよく分かっていない。今後、すばる望遠鏡の HSC の観測により high- $z$  ( $3 < z < 5$ ) のより暗い AGN のクラスタリングが明らかになることが期待されるため、理論的にもこれを予言することが求められる。

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., in prep.) を用いた、準解析的銀河・AGN 形成モデル New Numerical Galaxy Catalog ( $\nu^2$ GC) 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。

本講演では、 $0 < z < 5$  の範囲での、我々の最新のモデルから予言される AGN ホストハローの質量分布、AGN-銀河相互相関関数とその AGN 光度依存性、赤方偏移依存性の結果を示す。これらの結果を AGN のクラスタリングの現状の観測と比較し、モデルの妥当性について議論する。さらに、HSC から得られることが期待されるデータによって、理論モデルをどの程度制限することが可能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](#)

## B14a HSC 天体カタログを用いた移動天体・変光天体候補の抽出

山田善彦, 高田唯史, 古澤久徳, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 寺居剛 (国立天文台)

太陽系内の小惑星・彗星などの移動天体、新星・超新星などの突発天体や変光星のような変光天体を探すためには、違う時期に撮られた画像データの差分画像を作成したり、画像同士をリンクして目視することによって、候補天体を抽出することが多かった。しかし、HSCのSSPサーベイ等によって得られるデータでは、比較すべき画像が多すぎ、そのような方法では時間が掛かりすぎ、困難が生じるであろう事が予想できる。また、過去の殆どのサーベイにおいて、天体カタログ化されるのはスタック(足し合わされた)された画像から検出される天体であったため、移動天体や突発天体はその過程で自動的にふるい落とされてしまっている。そのため、特別に用意された専用のカタログを別にして、いわゆる「天体カタログ」には含まれていなかった。

HSCのSSPサーベイでは、スタックされた画像から検出された天体カタログ(モザイクスタック天体カタログ)と共に、各露出のCCD毎の検出天体についての天体カタログ(CCD天体カタログ)も生成され、データベースに展開して公開される。今回、我々はCCD天体カタログデータベースを用い、移動天体・変光天体の抽出をおこなった。CCD画像では、本物の天体以外のもの(明るい星のゴースト・スパイダ・宇宙線の引き残し・スカイ引きの影響による偽天体等)や、検出限界やシーイングの影響で写り方が違ってくるような銀河周辺部の渦巻き等の淡い構造も数多く検出される。カタログデータベースに載っている情報のみ(各種フラグ・明るさ・形状等)を用いて、それらを極力除く方法を紹介し、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](#)

## B15a HSC 戦略枠プログラムで検出された太陽系小天体について

吉田二美 (国立天文台), Ying-Tung Chen (台湾中央研究院天文及天文物理研究所), HSC 太陽系天体 WG

2014年3月より始まった Hyper Suprime-Cam (HSC) による戦略枠プログラムで、広い領域のサーベイが行われるので、 $r'=22\sim 27$  mag の太陽系小天体が多数検出されることが予想される。太陽系小天体は太陽系の惑星形成期に惑星に取り込まれなかった微惑星の生き残りであり、多くがこれまで熱変成を免れてきたので太陽系初期物質の情報を現在まで保持している天体群である。さらにそれらの軌道は惑星の摂動を受けるので、太陽系初期の惑星の大動乱期（大惑星の動径方向の移動）の様相を軌道分布に残している可能性が極めて高い。

このようなことから、現在は太陽系のいくつかの場所に分かれて存在している太陽系小天体グループごとに、各グループの特徴を反映するサイズ分布やカラー分布を調べ、グループ間の関連付けを行うことが現在太陽系分野の研究ではホットな課題である。HSC は際めて広い視野でサーベイできるので、これまでにない効率で太陽系小天体の検出が可能になる。

ここでは太陽系小天体の検出・同定方法と、2014年3月、4月の最初の HSC サーベイ画像で検出された太陽系小天体の特徴について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## B16a 超新星ショックブレイクアウト探査と時間軸天文学への展望

富永望 (甲南大学), 諸隈智貴 (東京大学), 田中雅臣 (国立天文台), 安田直樹 (東京大学 Kavli IPMU), 古澤久徳 (国立天文台)

太陽の8倍を超える質量をもつ大質量星は一生の最期に重力崩壊を起こす。これにより形成された衝撃波は物質を加熱しながら星内部を外へ進み星表面を突き破る。この現象はショックブレイクアウトと呼ばれ、超新星爆発からの電磁波による最初のシグナルを熱放射として放射する。その放射は超新星爆発において最も明るく、そのため古くからショックブレイクアウトは遠方の超新星爆発の観測手段になると提案されていた。しかしながら、1日程度と継続時間が短く、また軟X線・紫外線という短い波長にピークを持つため、その観測は困難であり長年の超新星探査観測にもかかわらず2008年までその検出が報告されたことはなかった。

2008年に報告された初めての観測例のうちII型超新星について、我々は多波長放射流体計算を用いてショックブレイクアウトからプラトーまでの多色光度曲線を再現する理論モデルを構築した。さらに、そのモデルを用いて、ショックブレイクアウトは8mクラス望遠鏡によって赤方偏移1を超える遠方で観測可能であることを示し、検出シミュレーションを行いショックブレイクアウト探査観測の最適な観測戦略を提案した。

我々は、提案した観測戦略に基づき、共同利用観測として2014年7月にHyper Suprime-Cam (HSC)を用いた超新星ショックブレイクアウト探査を遂行した。これまでに行われてきた超新星探査観測と異なり、本共同利用観測では、7つの観測領域をgバンドとrバンドを用いて約一時間間隔で二日連続で観測することにより一日以内の短時間変動天体の検出を可能とした。本講演では、本共同利用観測によって得られた初期成果を報告し、さらにHSC戦略枠観測における時間軸天文学への展望を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【J1. 高密度星 (BH・NS)】

3月19日(木) 午前 (09:30-11:30) [B会場]

J101b	10:18	Swift/BAT と MAXI/GSC を用いた広帯域トランジエントモニター	坂本貴紀 (青山学院大学)
J102b	10:18	MAXI/GSC による銀河面 X 線天体カタログ (I)	堀 貴郁 (京都大学)
J103b	10:30	RXTE/PCA で観測された GRS 1747-312 からの光球膨張 X 線バースト	岩井將親 (東京工業大学/宇宙航空研究開発機構)
J104b	10:30	銀河系内に存在する質量降着を伴わないブラックホール連星系の個数の見積もりと位置天文衛星による発見可能性	川中宣太 (東京大学)
J105b	10:30	相対論的アウトフローの輻射流体モデル III	中田めぐみ (日本大学)
J106b	10:42	低光度活動銀河核からの高エネルギーニュートリノ放射	木村成生 (大阪大学)
J107b	10:42	ブラックホール磁気圏における Penrose Compton 散乱過程	浅野豪士 (愛知教育大学)
J108b	10:42	ブラックホール磁気圏における磁気流体波の伝播	伊豆丸 翔 (愛知教育大学)
J109b	10:54	ブラックホール降着円盤乱流の初期磁場依存性	町田真美 (九州大学)
J110c		原始中性子星の重力崩壊の数値シミュレーション	岩本弘一 (日本大学)
J111a	11:06	大質量ブラックホール連星と Extrem Mass Ratio Inspiral による階層的 3 体の相対論的進化	岩佐真生 (京都大学)
J112a	11:18	京を用いた連星磁場中性子星合体の数値相対論シミュレーション	木内建太 (京都大学)

3月19日(木) 午後 (13:30-15:30) [B会場]

J113a	13:30	高銀緯 X 線新星 MAXI J1619-383 の発見と MAXI が発見検出した 2014 年度後半の突発天体	根来 均 (日本大学)
J114a	13:42	MAXI で探る Vela X-1 の X 線スペクトルの軌道位相変化と周辺物質	三原建弘 (理化学研究所)
J115a	13:54	MAXI/GSC と Swift/BAT による NS-LMXB の状態遷移と降着円盤	浅井和美 (理化学研究所)
J116a	14:06	低質量 X 線連星系 GRS 1747-312 における食の消失	佐治重孝 (名古屋大学)
J117a	14:18	Suzaku observations of eclipsing LMXB 2S 0921-630 in the hard state	Zhongli Zhang (The University of Tokyo)
J118a	14:30	近赤外線モニタリング観測が示唆する X 線連星 Cir X-1 の伴星像	永山貴宏 (鹿児島大学)
J119a	14:42	「すざく」が得た大質量星中性子星連星系における鉄輝線の光電離の兆候	室田優紀 (東京大学)
J120a	14:54	「すざく」データを用いた微弱な輝線や吸収線の統計的評価方法	宮崎直人 (首都大学東京)
J121a	15:06	Dynamical Modeling of the Be/BH Binary AGL J2241+4454	岡崎敦男 (北海学園大学)

3月20日(金) 午前 (09:30-11:30) [B会場]

J122a	09:30	多地点連携観測により得られたカニパルサー巨大電波パルスの広帯域スペクトル	三上 諒 (東京大学)
J123a	09:42	誘導散乱が卓越する場合のスペクトル	田中周太 (東京大学)
J124a	09:54	マグネター 4U 0142+61 における自由歳差運動の徴候 IV	村上浩章 (東京大学)
J125a	10:06	マグネター 歳差運動の二例目:「すざく」による 1E1547.0-5408 の結果	牧島一夫 (東京大学/理研)

(次頁に続く)

## 【J1. 高密度星 (BH・NS)】

J126a	10:18	マグネターの歪み方とトロイダル磁場構造 藤澤幸太郎 (早稲田大学)
J127a	10:30	星の慣性振動モードに対するトロイダル磁場の影響 吉田至順 (東北大学)
J128a	10:42	ミニマックス多項式近似による一般化 Fermi-Dirac 積分の解析的計算 福島登志夫 (国立天文台)
J129a	10:54	カラー超伝導状態のクォーク物質を含む高密度星の熱的進化 野田常雄 (久留米工業大学)

### 3月20日(金)午後(13:30-15:30) [B会場]

J130a	13:30	MAXI と Swift によるブラックホール X 線連星の長期変動の観測 中平聡志 (宇宙航空研究開発機構)
J131a	13:42	全天 X 線監視装置 (MAXI) を用いた超巨大ブラックホールによる星潮汐破壊現象の X 線光度関数の導出 川室太希 (京都大学)
J132a	13:54	MAXI による Cygnus X-1 の長期変動解析と降着モデル 杉本樹梨 (理化学研究所/立教大)
J133a	14:06	相対論磁気リコネクションにおける磁気散逸メカニズム 銭谷誠司 (国立天文台)
J134a	14:18	ブラックホールにより引き起こされる磁気リコネクションの数値計算 小出眞路 (熊本大学)
J135a	14:30	スピン傾きがある場合のブラックホール中性子星連星合体における降着円盤形成と質量放出 川口恭平 (基礎物理学研究所)
J136a	14:42	原始銀河における複数ブラックホールの合体過程の研究 田川寛通 (東京大学)
J137a	14:54	「すざく」による ULX 天体 NGC1313X-1 の観測 小林翔悟 (東京大学)
J138a	15:06	ULX M82 X-2 における降着モード 鷹野重之 (九州産業大学)
J139a	15:18	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 III : ULX への適用 富田瑞穂 (大阪教育大学)

### 3月21日(土)午前(09:30-11:30) [B会場]

J140a	09:30	すざく衛星を用いたブラックホール連星の短時間における X 線スペクトル変動の研究 水本岬希 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
J141a	09:42	非熱的電子を考慮した円盤コロナ放射モデルの構築とブラックホール天体 GX 339-4 の Very High State のすざく観測データへの適用 久保田あや (芝浦工業大学)
J142a	09:54	熱的コンプトン冷却を考慮した超臨界降着流のパラメータサーベイ 小川拓未 (京都大学)
J143a	10:06	熱伝導を考慮した明るいハードステート円盤モデルにおけるコンプトン冷却の効果 谷田部紘希 (千葉大学)
J144a	10:18	一般相対論的輻射磁気流体計算で探る高降着円盤構造 高橋博之 (国立天文台)
J145a	10:30	ブラックホールへ落下するガスリングの光変動に基づくスピンの新測定法 森山小太郎 (京都大学)
J146a	10:42	ブラックホール磁気圏の回転駆動による電流と電荷の分布構造 小嶋康史 (広島大学)
J147a	10:54	Blandford-Znajek 過程と Penrose 過程の関係 當眞賢二 (東北大学)
J148a	11:06	高精度運動量空間積分によるブラックホール時空中の輻射輸送シミュレーション 高橋芳太 (国立高専機構 苫小牧高専)
J149a	11:18	偏光したブラックホールシャドウの直接観測による等価原理の検証 新田大輔 (名古屋大学)

J101b *Swift*/BAT と *MAXI*/GSC を用いた広帯域トランジエントモニター

坂本貴紀, 小田悠馬, 吉田篤正 (青山学院大学)

“Time-domain Astronomy” (突発/時間変動天文学) は、今後 10 年間の天文学において、様々な新発見が期待されているフロンティア領域と言える。多くの突発/時間変動天体が幅広いエネルギー帯域でその時間変動を示すため、広帯域でそれらの時間変動をモニターできるシステムがあるのが理想である。我々は、2-20 keV と 14-195 keV というエネルギー帯域をそれぞれカバーする *MAXI* の GSC 検出器と *Swift* の BAT 検出器のデータを合わせた、リアルタイムでの広帯域トランジエントモニターの製作を進めている。このトランジエントモニターは、二つのエネルギー帯域の異なる広視野検出器のデータを合わせる事で、2桁のダイナミックレンジを達成している。また、我々のモニターはリアルタイムにデータ解析を行い、天体のライトカーブを誰でもアクセスのできるウェブページに公開する予定である。本発表では、我々の広帯域トランジエントモニター開発の現状について報告し、いくつかの天体について、*MAXI* と *Swift* の運用が重なる過去 5 年間の広帯域でのライトカーブを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J102b      MAXI/GSC による銀河面 X 線天体カタログ (I)

堀貴郁, 上田佳宏, 志達めぐみ, 川室太希 (京都大学), 他 MAXI チーム

全天 X 線観測装置 (MAXI) に搭載されている Gas Slit Camera (GSC) を用いた全天探査は、2-10 keV のエネルギーバンドで過去最高の感度を誇り、これまで、X 線新星や突発現象の発見に多くの成果をあげてきた。MAXI/GSC による無バイアス X 線天体カタログは、2 keV 以下をカバーする ROSAT カタログや 10 keV 以上をカバーした Swift カタログと相補的で、独自の科学的価値をもつ。

すでに MAXI チームは、MAXI の観測開始後 37 か月間のデータを用い、高銀緯領域 ( $|b| > 10^\circ$ ) における銀河系外カタログを出版している (Hiroi et al. 2013)。いっぽう、銀河面を含む低銀緯領域は、明るい天体の数密度が大きく天体混入の影響がより厳しくなること、銀河面リッチ X 線放射 (GRXE) を考慮する必要があることから、解析がより困難であった。そこで我々は、Revnivtsev et al. (2006) を参考に、GRXE を銀河パルジ放射、銀河円盤放射の重ね合わせでモデル化した。それぞれの成分を理想的な楕円体、円盤体からの放射であると近似し、それらに銀河面の可視・赤外線観測で得られた emissivity 分布を与え、視線方向で積分した。これを用いることで、精度良くバックグラウンドの形状を再現することに成功した。

本講演では、MAXI/GSC による銀河面 X 線天体カタログ作成の現状および課題について報告する。我々は Hiroi et al. (2013) と同じ手法を、低銀緯にある 37 か月間の積分データにも適用した。このさい、Swift/BAT カタログの位置情報を利用して、天体混入の影響を最低限に抑えた。その結果、銀河中心 ( $|l| < 15^\circ$  &  $|b| < 5^\circ$ ) を除く銀河面領域 ( $|b| < 10^\circ$ ) において、150 天体以上を  $8\sigma$  以上の有意度で検出した。うち 10 天体以上は Swift/BAT で検出されていない天体であり、現在、同定作業を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J103b      RXTE/PCA で観測された GRS 1747-312 からの光球膨張 X 線バースト

岩井将親 (東工大, ISAS/JAXA), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)

我々は、中性子星の質量半径関係に制限を加えることを目標に、アーカイブデータを用いて X 線バーストの解析を系統的に進めている。なかでも、球状星団 Terzan 6 内に位置する低質量 X 線連星系 GRS 1747-312 から 2009 年 9 月に「すざく」衛星で観測された光球膨張バーストに着目している。このバーストのスペクトル解析から、cooling phase で 7 keV 付近に広がった吸収端のような構造を発見した (2014 年春季年会で発表)。我々はこの構造が、中性子星スピン (典型的には数百 Hz) によるドップラー効果で鈍った吸収端であると解釈している。もしこの解釈が正しければ、中性子星スピンで鈍った吸収端は比例計数管程度のエネルギー分解能で十分検出可能なため、すでに過去の観測で受かっていた可能性がある。そこで、他に同様の例がないかどうか、RXTE のアーカイブデータを調べてみた。

RXTE/PCA は、エネルギー分解能は 1 keV 程度 (@ 6 keV) とあまり良くないものの、2~60 keV と広いエネルギー帯域で大きな有効面積を持つ。GRS 1747-312 は、RXTE/PCA で過去に 3 例の光球膨張バーストが観測されている。この中で、2002 年 4 月のバーストは光球膨張がかなり大きく (factor 40 程度)、比較的長い継続時間 (約 300 秒) を持つ巨大な光球膨張バーストであった。in't Zand & Weinberg+2010 では、このバーストの expansion phase のスペクトル中に吸収端構造を検出したと主張している。一方、中性子星の質量半径に制限を加えるためには、光球が中性子星表面に一致している cooling phase で検出することが重要である。そこで、我々は cooling phase の詳細なスペクトル解析を行ったが、「すざく」衛星で観測されたのと同様な吸収端構造は発見できなかった。本講演では、解析の詳細を報告し、その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](#)

J104b 銀河系内に存在する質量降着を伴わないブラックホール連星系の個数の見積もりと位置天文衛星による発見可能性

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

太陽の20倍以上の質量をもつ星は、その進化の最終段階において超新星爆発を起こし、ブラックホールになると信じられている。このようなブラックホールは連星を組んでいる場合、伴星からの質量降着によって明るく輝くことで存在が確認される。実際、我々の銀河系内には現在までにX線連星の形で20個の星質量ブラックホールの存在が確認されている。しかし、上のようにして形成されたブラックホールの中には、連星を組んではいるものの伴星との軌道間隔が大きいため、質量降着を伴わないものも存在するはずである。この場合、そのブラックホールの存在は伴星の視線速度や位置のふらつきによって確かめられ、さらに軌道要素の計算からその質量を見積もることもできると考えられる。このようなブラックホールが多く見つければ、系内のブラックホールの質量関数に制限がつけられ、さらには我々の銀河系の初期質量関数や星形成率、連星進化モデルに対する示唆も得られることが期待できる。我々は大量星を含む連星の共通外層フェイズや超新星爆発による軌道進化を追うことによって、このような質量降着を伴わないブラックホールが系内にどれくらい存在するか見積もり、さらにそのうち現在稼働中の位置天文衛星 Gaia により発見可能なものの個数を評価した。また、このようなブラックホール連星の伴星質量や軌道間隔に対する分布とそこから得られる示唆についても議論した。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## J105b 相対論的アウトフローの輻射流体モデル III

中田めぐみ, 岩本弘一 (日本大学)

活動銀河核 (AGN) やガンマ線バースト (GRB) など多くの天体現象で相対論的アウトフロー (プラズマの噴出流) が存在することが知られている。本研究では, ブラックホール近傍から噴出するガスと輻射からなる定常的なアウトフローを, Schwarzschild 時空における輻射流体の方程式に基づいて考察する。このようなアウトフロー解は, ガス圧を無視した場合に, 速度と光学的厚さに依存する Eddington 因子を用いて, Akizuki & Fukue(2009)[1] により求められている。本研究では, Nakada & Iwamoto (2014)[2] と同じく, アウトフローの開き角が一定の球対称定常な流れを考え, アウトフローの開始点付近が光学的に厚いと仮定した。流体の運動方程式と輻射輸送モーメント方程式を解いてアウトフローの速度および圧力, フラックスなどを求めた。また, 光学的に薄い領域については, 輻射輸送方程式を考慮することによりアウトフローの終端速度を求めた。光学的に厚い領域には一流体近似を適用し, 十分光学的に厚い半径で一流体の解とモーメント方程式の解を接続した。そして, 中心天体近傍のアウトフローの開始点付近のプラズマ状態と先端における終端ローレンツ因子  $\Gamma_\infty$  との関係性を求めた。

References [1] Akizuki & Fukue, PASJ 61, 543, 2009, [2] Nakada & Iwamoto, ASJ meeting in September of 2014

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J106b

## 低光度活動銀河核からの高エネルギーニュートリノ放射

木村成生 (大阪大学), 眞賢二 (東北大学), 村瀬孔大 (ペンシルベニア州立大学)

低光度活動銀河核の降着流から放出される高エネルギーニュートリノと宇宙線陽子を調べた。低光度活動銀河核の降着流では質量降着率が低く、プラズマは無衝突となり、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考え、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% 程度の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。この結果は宇宙線実験や 線背景放射とは矛盾しない。また、このモデルではニュートリノと同程度の  $\gamma$  線が放出されることが予想される。このモデルで予想される近傍の radio-Quiet AGN からの  $\gamma$  線は、将来、Fermi や CTA により観測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](#)

## J107b      ブラックホール磁気圏における Penrose Compton 散乱過程

浅野豪士、高橋真聡（愛知教育大学）

宇宙ジェットやガンマ線バーストのエネルギー源として、ブラックホールからエネルギーを抽出する Penrose 過程 (Penrose, 1969) が着目されている。Penrose 過程とは、エルゴ領域内に発生する負のエネルギー領域を利用した回転エネルギー抽出機構であり、銀河中心核への応用がいくつも試みられている。特に Piran&Shaham(1977) は、エルゴ領域内で光子と電子を衝突させ、電子を負のエネルギー軌道に落下させる機構を提案している (Penrose Compton 散乱過程)。このモデルでは、散乱後の光子は落下電子のエネルギー減少分のエネルギーを上乗せして脱出することになる。ただし、この散乱過程は降着円盤の不安定性が生じなければ起こりにくい (エルゴ領域内では光学的厚みが小さいため)。

そこで本研究は、ブラックホールの周りに磁場が存在する場合は、電子の負のエネルギー領域がエルゴ領域の外側にも発生することに着目した。そして、Piran&Shaham(1977) のモデルに磁場を取り入れ拡張し、エルゴ領域の外側でも Penrose Compton 散乱過程が起こることを発見した。数値計算に際しては、散乱角度をクライナー仁科の微分散乱断面積の公式に従う分布で発生させ、脱出する光子のエネルギー分布やエネルギー引き抜き率の分布を求めた。その結果、エネルギー引き抜き効率は下がるが負のエネルギー領域が広がるため、散乱頻度が高くなることがわかった。また、脱出する光子のエネルギー分布がガンマ線バーストのエネルギースペクトルと類似する結果を得た。本講演では、ブラックホール磁気圏における Penrose Compton 散乱過程を利用したガンマ線バーストの形成モデルを提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J108b      ブラックホール磁気圏における磁気流体波の伝播

伊豆丸翔, 高橋真聡 (愛知教育大学)

活動銀河核は、非常にコンパクトな領域から強大なエネルギーを放出しており、巨大ブラックホールの存在が示唆されている。特に、中心核からの絞られたビーム流として、宇宙ジェットが多数観測されていて興味深い。ブラックホール周辺で発生したエネルギー（降着ガスの重力エネルギーや磁場のエネルギーなど）がジェットのエネルギー源となるためには、それらのエネルギーがブラックホールの回転軸方向へ集束していかなければならない。この過程を明らかとするため、ブラックホール周辺の磁気圏における波動（磁気流体波）の伝播方向を調べ、この磁気流体波によるブラックホール近傍へのエネルギー輸送について議論する。

ブラックホール周辺には磁化した回転トーラスと、それがつくる磁気圏が存在する状態を考える。そのうち、本講演では磁化したトーラスの領域について磁気流体波の伝播を調べた。流体分布については Fishbone(1977) のトーラスモデルを仮定し、磁場強度は Blandford & Znajek(1977) のモデルを用いた。磁気流体波の伝播については、波動方程式を幾何光学近似し、様々な方向への射線の軌跡を計算することで調べた。その結果、ブラックホール周辺で発生した波について、トーラスの回転方向と同じ方向の成分をもって射出された波は、ブラックホールから遠ざかるように伝播していくが、回転方向と逆方向の成分をもって射出された波は、ブラックホールの回転軸方向へ集束する。更に磁場強度を強くすることで、この傾向は強まる。磁気流体波によって軸方向に集中したエネルギーは、磁気圏プラズマを加熱し、ジェットを形成すると期待する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J109b      ブラックホール降着円盤乱流の初期磁場依存性

町田 真美 (九大理)、中村 賢仁 (九産大)、松元 亮治 (千葉大)

X線連星はジェットやアウトバーストなど、激しい活動性を示し、その起源は降着円盤からの質量降着であると考えられている。降着円盤の $\alpha$ 円盤モデルでは、粘性項は圧力に比例すると仮定してモデルが構築されているが、モデル設計当初はその起源が不明であった。1990年代初めに磁気回転不安定性によって生成される磁気乱流が $\alpha$ 粘性に相当する程度の粘性となりうる可能性が指摘された。その後降着円盤全体を系に含む大局的な3次元磁気流体数値計算が数多く行われ、Maxwell ストレスが粘性の役割を果たした質量降着モデルが確立してきている。しかし、初期磁場構造として系全体のネットフラックスがゼロになる場合には、質量降着率が低くなる傾向が報告されている(町田ら、2012年春年会 A44c、Narayan et al. 2012)。そこで、本年会では系のネットフラックスが無い場合の降着円盤進化に関する結果について報告する。

初期条件として、弱い方位角方向磁場(ガス圧と磁気圧の比 $\beta = 100$ )に貫かれた回転平衡トーラスを仮定する。ネットフラックスがあるモデルをSMM、赤道面に反対称な磁場を仮定してネットフラックスを0とするモデルをASMとし、方位角方向速度に摂動を加えて、その時間進化を調べた。その結果、モデルASMの質量降着率や磁気エネルギーは、モデルSMMよりも小さな値で準定常状態になる一方、角運動量輸送率に対応するMaxwell ストレスとガス圧の比は同程度の $\alpha \sim 0.005$ 程度となり、またプラズマ $\beta \sim 5 - 10$ 程度と同じ程度で準定常に達する。我々は大局磁場構造の有無によって質量降着率に違いがでると考えて解析したが、どのモデルも円盤内部は十分に乱流状態になっており、大局成分はどちらも小さい事がわかった。そこで、乱流の構造を調べた所、鉛直方向の乱流スケールがモデルASMはモデルSMMの半分程度となる事がわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J110c 原始中性子星の重力崩壊の数値シミュレーション

久保亮太, 岩本弘一 (日本大学)

大質量星の重力崩壊にともない超新星爆発が起こるとき, 中性子星またはブラックホールが形成され, 大量のニュートリノが放射される. 超新星爆発に失敗する場合や, 成功しても非常に暗い場合にも, ニュートリノは放射され, このような”dark supernovae”を検出する手段としてニュートリノ放射が重要である. 重力崩壊の数値シミュレーションでは, ブラックホールができるとき, 事象の地平面が形成されるとそれ以上計算を続行することが難しくなり, その領域を除外するなど特別な処理が必要である. 放射されるニュートリノや光のシグナルは遅延して観測者に届くため, 観測されるニュートリノ光度変化を知るためには, 地平面ができた後も計算を続ける必要がある. 我々は outgoing null time coordinate を用いる Hernandez -Misner の形式で球対称な時空のアインシュタイン方程式と流体力学方程式を解く計算コードを作成した. この形式では, 星の中の全てのシェルの世界線が地平面に入ることがなく, 特別な工夫なしで計算の続行が可能である. ニュートリノ輸送については flux-limited diffusion などの近似を用いた. まずは, 簡単のために, TOV 方程式を解いて, 誕生したばかりの高温の原始中性子星のモデルを作成し, これが冷却して重力崩壊する状況を想定しシミュレーションを行った. Oppenheimer-Snyder のダスト球崩壊や, 冷却により不安定となった質量超過の中性子星の重力崩壊, それに伴うニュートリノ放射など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](#)

J111a **大質量ブラックホール連星と Extream Mass Ratio Inspiral による階層的  
3体の相対論的進化**

岩佐真生, 瀬戸直樹 (京都大学)

大質量ブラックホール連星 (MBH)、Extream Mass Ratio Inspiral (EMRI) は共に宇宙重力波望遠鏡 eLISA のメインターゲットとなっている。大質量ブラックホール連星が形成されたときに、Stellar mass component が捕獲されることがあると潮汐破壊が起こることが示唆されており、UV/X ray emission が行われる。これは、重力波観測における counterpart になるとともに host galaxy の特定ができるという点で重要である。今回はこのような現象が起こることが期待されている MBH-EMRI (主系列星、白色矮星)-MBH で構成される階層的 3 体を考える。

軌道傾斜角が十分大きい階層的 3 体における重要な機構として、Kozai-Lidov (KL) mechanism (Kozai.1962, Lidov.1962) が知られている。これは内縁の軌道の離心率、軌道傾斜角、そして近点引数が振動する現象であり、惑星系・コンパクト連星合体などの宇宙物理的側面から重要な機構だと考えられている。

一般相対論的效果、とくに近点移動の効果により KL mechanism が抑制されることが知られている (Holman et al 1997)。本研究では、MBH-EMRI-MBH で構成される階層的 3 体を Post-Newtonian approximation を用いて直接計算を行うとともに、Secular theory を用いて解析を行った。その結果、星は潮汐破壊されること、簡単な Hamiltonian を用いて内縁の軌道の進化を理解出来ることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J112a 京を用いた連星磁場中性子星合体の数値相対論シミュレーション

木内建太 (京都大学基礎物理学研究所)

重力波干渉計 KAGRA の本格稼働を目前にして、連星中性子星合体の詳細な理解は喫緊の課題である。KAGRA では年間 10 回程度の合体イベントが観測されると予想されているが、直接観測が実現した場合、強重力場における一般相対性理論の検証、中性子星物質の状態方程式の解明、ショートガンマ線バーストの動力源の解明、宇宙における重元素の起源の解明などがなされる可能性がある。

我々は数値相対論を用いて連星中性子星合体の現実的な描像を解明することを目標としている。特に最近中性子星の普遍的な性質である磁場に焦点をあて、合体過程で磁場がどのように増幅し、どのような役割を果たすのかを高解像度数値相対論シミュレーションで明らかにした。スーパーコンピューター京を用いることで、既存の研究では解像出来ていなかった磁気流体不安定性を世界で初めて解像した。

本講演では、シミュレーション結果の詳細を述べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J113a 高銀緯X線新星 MAXI J1619-383 の発見とMAXIが発見検出した2014年度後半の突発天体

根来 均, 福島康介 (日本大学), 芹野 素子, 森井 幹雄, 松岡 勝 (理研), 中平聡志, 富田 洋 (JAXA), 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

全天X線監視装置 MAXI が 2014 年度後半に発見した新天体、突発現象、またその特徴について報告する。MAXI は、11 月 14 日にX線新星 MAXI J1619-383 を発見し、世界に速報した (Serino et al. ATel 6708)。発見時、太陽からの離角が 24 度と近かったため、Swift 衛星による追観測はできなかったが、MAXI の観測から決定した位置の誤差範囲内にはこれまで報告されたX線新星はない。アウトバーストは 10 日以上続いたが、強度はピーク時でも 30 mCrab 程度と暗く、また冪関数でエネルギースペクトルをフィットしたところ、冪の値が  $1.43^{+0.43}_{-0.21}$  と比較的ハードな値を示したことから、中性子星かブラックホール候補天体のハードステートの可能性がある (Morii et al. ATel. 6767)。

同天体は、銀河座標系で  $(l, b) = (341.6, 8.4)$  と比較的高銀緯に位置する。これまでも MAXI によって 1 つのブラックホール候補天体と、3 つの中性子星連星系が  $|b| > 16^\circ$  と高銀緯で発見されており、MAXI J1619-383 も同様な銀河面から離れた連星系の可能性もある。

講演では、MAXI J1619-383 をはじめ、MAXI がこの半年間に発見、検出した突発天体や現象を報告するとともに、これまでに MAXI で発見された高銀緯天体の特徴からその起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J114a      **MAXIで探る Vela X-1 の X線スペクトルの軌道位相変化と周辺物質**

三原建弘、Malacaria Christian、松岡勝、杉崎睦（理研）ほか MAXI チーム

我々は MAXI の長期連続観測で、大質量 X 線連星 Vela X-1 の X 線強度の軌道位相変化を調べ、低エネルギーの光度曲線が食をはさんで非対称であることから、中性子星の進行方向後ろ側にウェークのような構造があるらしいことを報告した (Dorochenko et al. 2013)。さらに詳しく、1 つ 1 つの軌道について X 線光度曲線を調べてみたところ、通常の「後ろがやや下がった台形型」の他に、真ん中がくぼんだダブルピーク型のものが 20% 程度あることが分かった (Malacaria 2014 秋季天文学会)。真ん中のへこみ位相でのスペクトルは、吸収 × ベキ型でフィットできるが、その場合、ベキの傾きが標準型に比べフラットになることが分かった。この程度の光度変化でベキの傾きが変わるとは考えられないし、変化の方向も逆である。我々は代わりに、ベキの傾きは同じと仮定し、一部分が吸収されているという部分吸収モデルを用い、フィットは許容できた。部分吸収している吸収体の水素柱密度は  $N_H \sim 2 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$  となった。一方でこの強度が減る現象は Integral 衛星による高エネルギー X 線 (20-150keV) でも観測されていた。この場合、 $N_H \sim 10^{24} \text{ cm}^{-2}$  程度の高電離ガスによる散乱が必要となる。

Kaper et al. (1994) では、紫外線の観測により 3 種の構造が提示されている。1 つ目は、光電離ウェーク。中性子星の進行方向と後ろ向きに星表面近くでたなびき「食の前の吸収」として理解されている。2 つ目は、L1 点を通して中性子星に伸びる tidal stream (潮汐流)、3 つ目は中性子星の近傍から後ろにたなびく降着ウェークである。降着ウェークのうち外側に伸びるものは、軌道位相 0.5 の方向に伸びている。これが真ん中位相の部分吸収の候補となる。シミュレーションの  $N_H$  の値は 1 桁足りないが、シミュレーションでは扱えない 1000km サイズのむらがあると考えると解決するかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J115a      **MAXI/GSC と Swift/BAT による NS-LMXB の状態遷移と降着円盤**

浅井和美、三原建弘、松岡勝、杉崎睦（理研）ほか MAXI チーム

中性子星低質量 X 線連星 (NS-LMXB) のスペクトルは、X 線光度が明るい時 ( $\sim 10^{37}$  erg/s 以上) には、熱的成分が顕著なソフト状態を示し、光度が暗くなると ( $\sim 2 \times 10^{36}$  erg/s 以下) 非熱的成分が顕著なハード状態を示す。この違いはハードネス (MAXI/GSC の 2–10 keV と Swift/BAT の 15–50 keV の光度比) からはっきり区別することができる。NS-LMXB のアウトバーストでは、X 線光度が一桁以上変化するので、このスペクトル状態遷移が観測される。これは、降着円盤内側における遷移 (光学的に厚い円盤: ソフト状態、薄い円盤: ハード状態) であり、その遷移光度は、Eddington 光度 ( $L_E$ ) の 1–4% であることが知られている。(4U 1608 – 52、4U 1705 – 44 はこのタイプ)。一方、4U 1636 – 536、GS 1826 – 238 では長期的に約 1 桁の単調的な光度変化があり、4U 1820 – 30 では約 170 日で周期的に 2 倍程度の光度変動を示している。前回の天文学会では、これら 5 天体で数倍程度の光度変化 (2–10 keV) に伴いスペクトル状態遷移が観測されたことを報告し、その原因として円盤不安定性モデルの一つである *purr type* (Mineshige & Osaki 1985) の可能性を提案した。今回は、これらの天体の 2–10 keV の遷移光度と遷移前後の 15–50 keV の光度変動を詳細に調べた。その結果、4U 1820 – 30 の遷移光度は、 $L_E$  の 4% よりも高く、15–50 keV の光度変動もほとんどないので、円盤遷移を起こしていない可能性がある。また、4U 1608 – 52 では、15–50 keV の光度変動は見られるが、遷移光度は  $L_E$  の 1% よりも低く、これは、コンプトン雲の大きさが影響している可能性がある。これらの結果から、2–10 keV の光度変化が数倍程度の場合の、BAT/MAXI 比の遷移と実際の内側円盤の遷移の関係について議論する。また、*purr type* の円盤不安定性が、降着円盤の電離部分のすぐ外側の中性部分で起きてい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](#)

## J116a 低質量 X 線連星系 GRS 1747–312 における食の消失

佐治重孝, 森英之, 松本浩典 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 前田良知 (JAXA 宇宙科学研究所), 岩井將親 (東京工業大学)

GRS 1747–312 ( $l = 358^{\circ}573$ ,  $b = -2^{\circ}163$ ) は、銀河系バルジ中、我々から  $9.6_{-2.5}^{+3.3}$  kpc の距離に存在する LMXB で、球状星団 Terzan 6 に属している。これまでの観測で、数週間持続するアウトバーストを約半年の間隔で繰り返すことが知られている。また、周期的な食がみられることも分かっている。in't Zand et al. (2003) では、1998 年から 4 年間の間に起きた複数回のアウトバーストの解析から、食の周期と継続時間をそれぞれ  $P = 0.514980303(7)$  day、 $d = 2596(2)$  s と求めた。これらの値は LMXB における食という解釈と矛盾しない。

この結果から予想される食の時刻を狙った観測が、Chandra(2004 年 3 月/観測時間: 46 ks) と Swift(2013 年 3 月/950 × 2 s) によって、アウトバースト中に行われた。また、すざくも銀河中心領域マッピング観測の一部として、食の予想時刻を捉えていた (2009 年 9 月/110 ks)。この他、アウトバースト以外の時期に、食の時刻はカバーしていない XMM-Newton による観測 (2004 年 9 月/15 ks) も行われた。我々は、これらのデータを解析した。

Chandra と Swift の観測では、予想された時刻に食がみられた。一方で、アウトバースト以外の時期であったすざく観測中には予想された食が観測されず、天体の位置やスペクトルにも有意な変化が起きなかった。また、各観測時のスペクトルはいずれも Power-law と黒体放射の足し合わせで表現できたが、すざく観測時の Power-law 成分のみ、星間吸収より 1 桁強い  $N_{\text{H}} \sim 1.5 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の吸収を受けているという特徴もみられた。

本講演では、すざく観測時の予想された時刻に食が観測されなかった原因として、視線方向に重なった別の天体、GRS 1747 系内の伴星に隠されない放射源、という 2 つの可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J117a **Suzaku observations of eclipsing LMXB 2S 0921-630 in the hard state**

Zhongli Zhang, Kazuo Makishima, Soki Sakurai, Ko Ono, Makoto Sasano (The University of Tokyo)

In order to probe the content and geometry of the Comptonizing corona of low-mass X-ray binaries (LMXBs), the high inclination dipping and eclipsing LMXBs were utilized for a comparison with normal LMXBs. Examples include 4U 1915-05 and EXO 0748-676 (Zhang et al. 2014). Another perfect candidate is 2S 0921-630, which was known as an eclipsing LMXB with very high inclination ( $i = 82.2^\circ$ ). It was observed by Suzaku in August 2007 at four phases in one orbit (9 day), with each phase covering  $\sim 40$  ksec exposure and detecting the source up to 30 keV. Within the observed orbit, its HXD-PIN lightcurve kept constant, while its XIS lightcurve varied within 50%. The summed up persistent continuum spectrum can be successfully interpreted by a “diskbb” emission with  $kT_{\text{in}} \sim 0.2$  keV and  $R_{\text{in}} \sim 50$  km, plus a Comptonized “bbody” emission with  $kT_{\text{bb}} \sim 0.4$  keV and  $R_{\text{bb}} \sim 6$ -10 km. The source was in the hard state with truncated disk and low blackbody temperatures, which is similar to the Suzaku observation of EXO 0748-676 in the hard state. However, different from EXO 0748-676, we noticed that the spectrum cut off at low energies, yielding a coronal electron temperature only  $\sim 2$  keV, and a large optical depth  $\sim 15$ . This might be an indication of the existence of cool and optically-thick disk corona located in the outer disk, which only affects the X-ray emission significantly from very high inclination angle (Matsuoka et al. 2013). Moreover, significant Fe emission lines were detected in all the four observations, which is rare for LMXBs and reveals more details of its surrounding plasma.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J118a 近赤外線モニタリング観測が示唆する X 線連星 Cir X-1 の伴星像

永山貴宏 (鹿児島大学), 佐藤修二 (名古屋大学), Matthew Scurch, Patrcik Woudt (University of Cape Town)

私たちは発見以来 40 年にわたってその正体がよく理解されていない X 線連星 Cir X-1 の近赤外線モニタリング観測を行っている。観測は名古屋大学が南アフリカ天文台に所有する IRSF1.4m 望遠鏡と近赤外線カメラ SIRIUS を用いて、 $J$ 、 $H$ 、 $K_S$  の 3 バンドで 2011 年 4 月から行っており、現在も継続している。本講演では 2013 年度までのデータを用いた研究結果を報告する。

Cir X-1 は、これまでに電波、X 線、近赤外線での周期約 16.6 日での変動とフレアが報告されている。現在は電波でのフレアの日時を元にその周期が決められ、フレアの日時 ( $\phi = 0$ ) が予測されている。私たちの 2011-2013 年度の 3 年間の観測では、近赤外線でのフレアは非常に規則正しく発生し、電波フレアから決められた周期で折り返したライトカーブはきわめて一様であった。また、データのある限りにおいて、 $\phi = 0$  では必ずフレアは発生する一方、 $\phi = 0$  以外でのフレアは一切なかった。

静穏期の見かけの明るさは、 $J = 13.12$  等、 $H = 12.06$  等、 $K_S = 11.43$  等であった。特に 2012 年度はこの静穏期の明るさはきわめて安定しており、 $\phi = 0.45 - 0.85$ 、かつ、測光エラー 0.05 等以下のすべてのデータ点の標準偏差は、 $K_S$  バンドで 0.06 等であった。静穏期の  $J-H$ 、 $H-K_S$  の色と標準的な減光則からは、伴星は  $A_{K_S}=0.9$  等を受けた A-B 型星であることが示唆され、分光観測から早期型超巨星を主張する Jonker et al.(2007) を支持する。一方で、Cir X-1 までの距離を 10kpc とすると、静穏期の近赤外線光度は標準的な早期型超巨星に比べ 1 等以上暗く、この点においては Jonker et al. らの主張と異なる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J119a 「すざく」が得た大質量星中性子星連星系における鉄輝線の光電離の兆候

室田優紀, 笹野理, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (東大理, 理研)

大質量星と中性子星との連星系では、大質量星からの星風を中性子星が捕獲することで X 線を放射し、そのエネルギー Spektrum には、吸収された硬いべき関数型の連続成分に加え、6.4 keV 付近には、周辺物質が蛍光過程で出す強い鉄の  $K\alpha$  輝線が観測される。この輝線の中心値  $E_C$  は、鉄イオンの電離が進むにつれ、中性 (6.4 keV) から He-like (6.7 keV)、H-like (6.9 keV) へと、高エネルギー側にシフトし (Makishima 1986)、実際 6.7 keV や 6.9 keV の輝線が観測された例もある。一方で、鉄の L 殻電離に伴う、中性からの微小な  $E_C$  の変化は、未検出であった。

そこで今回は、前回の天文学会 (2014 年秋期年会 J118a) で報告した 4U 1700-37 の結果に加え、複数の天体に対して、較正の精度のよい「すざく」XIS の公開データを解析し、それらの光度の変動に伴う  $E_C$  の変化を調べた。その結果、光度が  $L = 10^{35-38}$  erg/s と 4 桁にわたり変動する際、 $E_C$  が確かに 6.40 keV から 6.44 keV まで変動していた。これは電離パラメータ  $\xi = L/nr^2$  が光度  $L$  に比例することから、鉄  $K\alpha$  輝線の光電離を捉えたものと解釈できる。4U 1700-37 からは、 $L = 3 \times 10^{35}$  erg/s ではほぼ中性 ( $E_C = 6.40$  keV) であったが、光度とともに徐々に電離が進み、 $L = 5 \times 10^{36}$  erg/s になると Ne-like ( $E_C = 6.43$  keV) で安定する様子が見られた。Vela X-1 は  $L = 5 \times 10^{35-36}$  erg/s で変動しているものの、 $E_C$  はほとんど中性 6.40 keV から動かず、OAO1657-415 は  $L = 5 \times 10^{36} - 2 \times 10^{37}$  erg/s で変動し、およそ Ne-like ( $E_C = 6.43$  keV) まで光電離が進んでいることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J120a 「すざく」データを用いた微弱な輝線や吸収線の統計的評価方法

宮崎直人, 山田真也 (首都大), 榎戸輝揚 (NASA/GSFC), 大橋隆哉 (首都大)

天体からの輝線や吸収線 (例えば、巨大ブラックホールの Ultra-fast outflow(UFO)、ガンマ線バースト (GRB) の残光、マグネターのサイクロトロン共鳴等) の有無を検証することは、それらの天体の周辺物理を理解する上で重要である。特に、2015年打ち上げ予定の X 線天文衛星 ASTRO-H では軟 X 線帯域での超精密分光が可能になり、その重要性は高まることが予想される。

未知の微弱な輝線や吸収線を探査、評価する方法として、これまでいくつかの手法が考案されてきた。その中でも主に GRB 残光における探査に用いられてきた、単色の X 線に対する検出器応答 (CCD の場合は分解能程度に広がったガウス関数) で観測されたエネルギースペクトルを畳み込み、モンテカルロ法で信頼区間を推定する手法は強力である (Rutledge & Sako 2003, Giuliani & Mereghetti 2014 等)。この畳み込みの操作は、エネルギー空間での最適化フィルター (matched filter) をかけていることに相当し、微弱な輝線や吸収線に対して最大のシグナル-ノイズ比を得たスペクトルの抽出に対応する。この手法は、中心エネルギーやライン幅の分からない輝線/吸収線を探査できる点、輝線と吸収線を同時に扱うことができる点、連続成分のフィッティングモデルと検出器応答だけでこれらを検査できる点で有力である。

我々は「すざく」データを用いてこの手法の検証を行った。この手法の検証のため、過去に鉄の吸収線が報告されている (Gofford et al. 2013) UFO、Mrk 766 の「すざく」の観測データに対して適用した所、実際に吸収線を連続成分から  $4\sigma$  以上外れる有意なずれとして検出することができた。今回はこの手法を用いてさらなる輝線/吸収線の探査、並びに ASTRO-H 打ち上げ後に向けて、高分解能下でのシミュレーションなどを行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J121a **Dynamical Modeling of the Be/BH Binary AGL J2241+4454**

Atsuo T. Okazaki (Hokkai-Gakuen Univ.), Yuki Moritani (Hiroshima Univ.), Alex C. Carciofi (Univ. São Paulo)

Be stars are massive stars with circumstellar disks. About one half of high-mass X-ray binaries consist of a Be star and a neutron star in a wide and generally eccentric orbit. In a stark contrast to the abundant Be-neutron star binaries, no Be-black hole binary had been found until quite recently Casares et al. (2014) established that AGL J2241+4454, for which the optical counterpart is a B1.5-2IIIe star, hosts a black hole (BH) of mass in the range  $3.9 - 6.8 M_{\odot}$ . The orbit is wide ( $P_{\text{orb}} = 60.37$  d) and almost circular ( $e \sim 0.1$ ). The systems has been detected in the high energy gamma-ray ( $> 100$  MeV) band at the orbital phase  $\sim 0.75 - 0.8$  (Lucarelli et al. 2010). In X-rays, it is in quiescence at  $L_X = (3.7 \pm 1.7) \times 10^{31} \text{ erg s}^{-1}$  (Munar-Adrover et al. 2014), which is extremely low compared to the typical quiescent luminosity  $10^{33-34} \text{ erg s}^{-1}$  of Be-NS binaries.

In order to clarify the reason why AGL J2241+4454 is extremely faint in X-rays, we have performed 3D SPH simulations of this system. Our initial results show that, being more strongly truncated, the Be disk is smaller than in Be-NS binaries with the same parameters and that the peak mass-accretion rate for a typical Be disk density ranges between  $(0.7 - 3.8) \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  depending on the angles characterizing the disk tilt. Our result is consistent with the observed X-ray luminosity only if the accretion flow is radiatively inefficient (the standard type of accretion is ruled out) and the Be disk density is lower than a typical value by a factor of several. The structure of the accretion flow will also be discussed briefly.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J122a 多地点連携観測により得られたカニパルサー巨大電波パルスの広帯域スペクトル

三上諒<sup>1</sup>, 寺澤敏夫<sup>1</sup>, 浅野勝晃<sup>1</sup>, 田中周太<sup>1</sup>, 木坂将大<sup>2</sup>, 関戸衛<sup>3</sup>, 岳藤一宏<sup>3</sup>, 川合栄治<sup>3</sup>, 竹内央<sup>4</sup>, 三澤浩昭<sup>5</sup>, 土屋史紀<sup>5</sup>, 北元<sup>5</sup>, 米倉覚則<sup>6</sup>, 亀谷收<sup>7</sup>, 本間希樹<sup>7</sup>, 藤沢健太<sup>8</sup>, 新沼浩太郎<sup>8</sup>, 青木貴弘<sup>9</sup>, 1: 東京大学, 2: KEK 素核研, 3: 情報通信研究機構, 4: 宇宙航空研究開発機構, 5: 東北大学, 6: 茨城大学, 7: 国立天文台, 8: 山口大学, 9: 早稲田大学

カニパルサーでは、電波帯域において数秒から数十分に一度、通常のパルス強度の数千倍にも達する巨大電波パルス (Giant Radio Pulse, GRP) が観測される。本研究では、未解明である GRP 発生機構に対し、スペクトルから迫ることを試みた。

これまでカニパルサーの電波パルスについては、Moffett and Hankins (1996) や Cordes et al. (2004)、Popov et al. (2008) により、 $\sim 4\text{GHz}$  を境にパルス放射の性質が変わる可能性について議論がなされてきた。我々は  $\sim 4\text{GHz}$  をまたいだ広帯域の同時観測により、この点を確認しようと考えた。

我々は2014年9月6-7日に、0.3, 1, 2, 6, 8GHzの5つの帯域でカニパルサー同時観測を行い、先行研究と比較して最も広帯域のスペクトルを取得した。約6時間の観測で500個程度のGRPが検出され、4GHzをまたいで同時観測されたGRPも数個あった。強度較正のため、Cas A, Cyg A, 木星の観測もあわせて実施した。本講演では、これらのGRPサンプルのスペクトルの形状、GRPのピークフラックスや持続時間等とスペクトル特性の関係について解析を行った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](#)

## J123a 誘導散乱が卓越する場合のスペクトル

田中周太 (東京大学)

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は高輝度天体現象である。ここで高輝度とは光子の占有密度で特徴付けられ、先に挙げた現象は、小さな放射領域から低振動数の明るい放射が観測されるため、例えば、かにパルサーからの電波パルスは光子占有密度は単位位相体積あたり  $> 10^{27}$  と見積もられる。このような高輝度放射と放射領域周辺のプラズマ、または、星間プラズマなどとの相互作用は、通常、自発のコンプトン散乱よりも誘導コンプトン散乱が卓越する。この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のため、どのように光子のスペクトルが変化するかは自明ではない。

我々は、誘導コンプトン散乱によるスペクトルの変形を考えるために、Kompaneets 方程式の高次展開を考えた。高次展開された Kompaneets 方程式では、誘導過程が卓越する場合、非線形の分散項を持つ KdV 型の方程式となる。我々はその方程式の定常解析解を見つけた。この解析解は滑らかなスペクトルから複数の線スペクトルが形成されることが推測され、数値シミュレーションによっても初期の発展が確認された。例えば、高周波数分解されたパルサーの電波放射スペクトルから複数の線スペクトルが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J124a      マグネター 4U 0142+61 における自由歳差運動の徴候 IV

村上浩章 (東大理)、牧島一夫 (東大理/理研)、榎戸輝揚 (理研/NASA)、古田祿大、笹野理、中野俊男、櫻井壮希、中澤知洋 (東大理)

マグネターの X 線スペクトルは、表面からの黒体放射で近似される軟 X 線成分と、極端に硬いベキをもつ硬 X 線成分からなる。われわれは、マグネター 4U 0142+61 の「すざく」による観測データから、軟 X 線で検出された  $P = 8.69 \text{ sec}$  のパルスが、硬 X 線では周期  $T = 55 \text{ ksec}$ 、振幅  $A = 0.7\text{--}1.2 \text{ sec}$  の位相変調を受けていることを明らかにした [1,2,3]。これは、わずかに軸対称変形した中性子星が自由歳差運動を行っており、また遠方から見た硬 X 線の放射パターンが磁気軸まわりに非対称なためと解釈できる。

この現象を追認すべく、すでに報告を行った 2007, 2009, 2013 年のデータに加え、2011 年の ToO 観測 (gross elapsed time: 77.5 ksec) についても同様の解析を行った。この観測は、直前に 4U 0142+61 が  $\sim 5.5$  倍の活動度増加を見せたことを受けて行われたが、解析の結果  $T = 56 \pm 6 \text{ ksec}$  の位相変調が再現されたため、増光の前後で中性子星の変形の度合いは変化しなかったと考えられる。一方で、位相変調の振幅は  $A = 1.0 \pm 0.5 \text{ sec}$  と求められ、2009 年と 2013 年のちょうど中間に来ることがわかった。簡単な剛体力学モデルに基づいて計算すると、変調の振幅は硬 X 線放射パターンの自転軸まわりの非対称性を反映していることがわかる [4]。したがってこれらのデータは、2007 年から 2013 年にかけて、首振り角を一定に保ったまま、硬 X 線放射域が極方向から赤道へ移動した、あるいはそのビームパターンが徐々に変化したという興味深い描像を示唆している。

[1] Makishima+14 PRL 112, 171102, [2] 牧島+13 春 (J72a), [3] 牧島+14 秋 (J133a), [4] 村上+14 秋 (J135a)

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## J125a      マグネター 歳差運動の二例目 : 「すざく」による 1E1547.0–5408 の結果

牧島一夫 (東大/理研)、榎戸輝揚 (理研/NASA)、村上浩章、古田祿大、笹野 理、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 を数回観測した結果、X線スペクトルの硬軟二成分のうち、硬 X 線成分では周期  $P = 8.689$  sec のパルスの位相が、周期  $T = 55$  ksec で振幅 0.7–1.3 秒の位相変調を示すことを発見した [1,2,3]。これはこの中性子星 (NS) が慣性モーメントのずれにして  $\Delta I/I = P/T = 1.6 \times 10^{-4}$  だけ、球対称からずれて軸対称になった結果、自由歳差運動が周期  $P' = P/(1 + P/T)$  で発生し、さらに硬 X 線の放射パターンが NS の軸対称性を破っている結果、 $P$  と  $P'$  のビートとして周期  $T$  でパルスの位相変調が起きたものと解釈される。このような変形は、内部に存在する強度  $B \sim 10^{16}$  G のトロイダル磁場に起因する可能性が高い。

我々はこの重要な結果を別天体で検証すべく、2009 年 1 月 28-29 日の増光時に、約 1 日にわたり取得された、最速自転マグネター 1E1547.0–5408 の「すざく」データを解析した。その結果、HXD データ ( $> 10$  keV) では  $P = 2.0721$  sec のパルスの位相が、周期  $T = 37 \pm 2$  ksec および振幅  $A = 0.5 \pm 0.1$  sec で位相変調を受けていることを発見した。タイミングモードで取得された XIS0 のデータでは、10–14 keV ではこの現象が再現するが、 $< 10$  keV では  $A$  が急減し  $< 6$  keV では  $A \sim 0$  となることもわかった。これは当該現象の二例目の発見であり、一例目の 4U 0142+61 と同様、この NS が  $\Delta I/I = P/T = 0.6 \times 10^{-4}$  だけ変形したため自由歳差運動が発生し、また硬 X 線放射のみが軸対称を破るビームパターンをもつため、 $> 10$  keV で位相変調が見られたと解釈できる。これを一例目と同様に磁気変形と考えると、やはり  $B \sim 10^{16}$  G のトロイダル磁場の存在が推察される。

[1] Makishima+14 *PhysRevLett* **112**, 171102 [2] 牧島+13 春 (J72a) [3] 牧島+14 秋 (J133a) [4] 村上+14 秋 (J135a)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J126a マグネターの歪み方とトロイダル磁場構造

藤澤幸太郎 (早稲田大学)

マグネターは非常に強力な磁場を持っていると考えられている。その外側の双極子磁場の強さは回転周期とその時間変化からみつもられ、典型的には星の表面で  $10^{14}\text{G}$  から  $10^{15}\text{G}$  程度である。一方でマグネターの内部には  $10^{16}\text{G}$  程度のさらに強い磁場が潜んでいる可能性が考えられている。もしそのような強磁場が内部に存在していた場合、マグネターの形状は磁気的な力によって歪められると考えられており、そのような磁気変形の徴候が最近の X 線観測によって初めて示された (Makishima et al. 2014)。この観測によると、マグネター 4U 0142+61 の硬 X 線パルス位相に自由歳差運動運動に由来する位相変調が見られ、星が回転する剛体であると仮定した場合、回転軸方向の慣性モーメント  $I_3$  と直行方向の慣性モーメント  $I_1$  で表される球からの変形量は  $\epsilon = (I_1 - I_3)/I_3 = 1.6 \times 10^{-4}$  と求められた (Makishima et al. 2014)。星の変形が扁長 ( $I_1 > I_3$ ) でありマグネター内部のトロイダル磁場が双極子的な構造をしていると仮定すると、このような変形を引き起こすトロイダル磁場の強さは  $\sim 10^{16}\text{G}$  程度であると推定することができる。

一方でマグネターは回転周期が遅いため、磁気双極子放射にほとんど寄与しないような双極子より高次の磁場を伴っている可能性もあり、星内部のトロイダル磁場も双極子より複雑な構造をしている可能性が考えられる。そこで本講演では、これまで系統的になされていなかった、双極子よりも高次の強いトロイダル磁場を伴ったマグネターの、磁場による歪みを系統的に計算し解析した。その結果、星全体では同じ磁場エネルギーを伴っていたとしても、星の歪み方や磁場の局所的な最大値は内部磁場構造に応じて変化しうるという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](#)

## J127a 星の慣性振動モードに対するトロイダル磁場の影響

吉田至順, 浅井秀貴, 李うみん (東北大学)

磁場を伴った星の振動と安定性は非常に重要な問題であるが、十分な理解はまだ得られていない。今のところ、摂動またはフルの磁気流体の方程式を初期値問題として解き、その後の時間発展から固有振動や安定性が解析されている。これらは十分な成果を上げているものの、厳密な安定性や固有振動は固有値問題を解かなければ分からないという本質的な問題がある。一方、固有値問題に依る磁場星の固有振動解析は、基礎方程式が変数分離できないことや特異点が現れることなどにより、十分な成果が今のところ得られていない。

そこで、本研究では、固有値問題に依る磁場を伴った星の固有振動解析の第一段階として、慣性振動モードと呼ばれる星の回転によるコリオリ力が復元力となる振動モードに対する磁場の影響を調べた。星の平衡解としてトロイダル磁場のみを伴ったポリトロップを仮定した。磁気力は重力に比べ十分に小さいことを仮定し、摂動として扱い、磁気応力による星の変形も考慮した。星の回転に関しては、コリオリ力のみを考慮し、遠心力の効果は高次の効果として無視した。固有値と固有関数を磁場なしの場合の解の周りで、星のアルヴェン振動数の二乗を微小パラメータとして展開し、摂動論的に固有振動数に対する磁場の影響を求めるための定式化を行った。慣性モードでは回転がゼロのときに振動数がゼロになるため、固有関数の直交性が失われ、良く知られた通常の手法は、そのままでは適応できない。しかし、回転星においてもラグランジュアン変位の満たすべき方程式は自己随伴演算子を用いて記述されるため、磁場に依る振動数のずれは、磁場なしの場合の固有値、固有関数を用いた積分によって求める事が出来る。この積分をあからさまに書き下し、ポリトロップ指数が 1、1.5、3 のポリトロップの場合に振動数のずれを求めた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J128a ミニマックス多項式近似による一般化 Fermi-Dirac 積分の解析的計算

福島登志夫 (国立天文台)

一般化 Fermi-Dirac 積分  $F_k(\eta, \beta)$  は天体物理学および半導体物理学で多用される特殊関数である。 $\eta$  が打切り Sommerfeld 展開 (Fukushima, 2014a, Appl. Math. Comp., 234, 417) の適用最小値  $\eta_S$  以下のとき、 $\beta$  がある程度小さい場合の同積分の高速計算法を開発した (Fukushima, 2014c, Appl. Math. Comp., submitted) ので報告する。一般化因子のミニマックス多項式近似  $\sqrt{1+x/2} \approx \sum_{j=0}^J g_j x^j$  により同積分は以下のように近似される。

$$F_k(\eta, \beta) \equiv \int_0^\infty \frac{t^k \sqrt{1 + (\beta/2)t}}{\exp(t - \eta) + 1} dt \approx \sum_{j=0}^J g_j F_{k+j}(\eta) \beta^j. \quad \left( \eta \equiv \frac{\mu}{k_B T}, \quad t \equiv \frac{\varepsilon}{k_B T}, \quad \beta \equiv \frac{k_B T}{mc^2} \right)$$

Fermi-Dirac 積分  $F_k(\eta) \equiv F_k(\eta, 0)$  の計算には、我々が最近開発したミニマックス有理関数近似 (Fukushima, 2014b, Appl. Math. Comp., revised) を用いる。 $\eta < \eta_S$  の場合、物理学的に重要な  $k$  の値  $-1/2, 1/2, 3/2, 5/2$  に対し、 $J = 8$  とすると  $\beta$  が 0.21 より小さければ 8 桁精度が、 $J = 7$  とすると  $\beta$  が 0.004 より小さければ 15 桁精度が各々保証される。前者は核子について超新星爆発まで、電子・陽電子について Ne 燃焼過程まで、また後者は太陽を含む通常の恒星内部での計算に十分な温度範囲の  $\beta$  値をカバーしている。近似計算は非常に高速で、被積分関数の評価回数に換算して高々 0.9 ないし 1.4 回である。 $-1/2, 1/2, 3/2, 5/2$  など整数だけ異なる  $k$  に対しては同じ  $F_{k+j}(\eta)$  が流用できるため、 $F_k(\eta, \beta)$  の同時計算ではさらに約 2-4 倍の加速が期待できる。結局、 $\beta$  が上記の値より小さい場合、従来の数値積分法に比して 70-450 倍の高速化が実現された。プレプリント及び Fortran プログラム等は [https://www.researchgate.net/profile/Toshio\\_Fukushima/](https://www.researchgate.net/profile/Toshio_Fukushima/) から無料で入手可能である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J129a      カラー超伝導状態のクォーク物質を含む高密度星の熱的進化

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 橋本正章 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (京都大学), 藤本正行 (北海学園大学)

中性子星や類似の高密度星の内部の物質は、QCD 相図上の低温高密度領域に位置する。この領域は、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されており、議論が繰り返されている。しかし、地上での実験での検証が困難であるため、物理的素過程を考慮したシミュレーションと観測の突合せが有効な検証手段となる。

高密度領域の物質の状態は、ニュートリノ放射に顕著に現れる。従来より、 $n, p, e^-$  以外の粒子が出現する Exotic な相を持つ高密度星は、急激な冷却を示すことが知られているが、このような相は密度がある閾値を超えたところで出現するため、重い高密度星がより早く冷えると考えられてきた。しかし、近年の Cassiopeia A (Cas A) の中心天体の観測結果は、重い高密度星の有効温度が高いことを示唆するものであった。この結果を考慮すると、重い星が冷えにくいほうが望ましく、それを可能とするものとして、カラー超伝導状態のクォーク物質を挙げることができる。また、 $2M_{\odot}$  の質量を持つ高密度星も観測されており、これとも矛盾のないモデル構築が必要とされる。

本研究では、カラー超伝導状態にある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、Cas A の中心天体や他の観測を統一的に説明可能であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## J130a      **MAXI と Swift によるブラックホール X 線連星の長期変動の観測**

中平聡志、海老沢研 (JAXA)、天笠俊之、黄峻 (筑波大)、杉本樹梨 (理研)、吉田篤正 (青学大)

銀河系内のブラックホール (BH) 連星は、太陽質量の 10 倍程度の BH と通常の恒星との近接連星系であり、急激な質量降着量の増加によって爆発的に輝き (アウトバースト)、数十～数百日の継続時間のうちに何桁も明るさを変えると共にハード状態、ソフト状態等異なるスペクトル状態間を移り変わる事が知られている。全天 X 線監視装置 (MAXI) やスウィフト衛星 BAT のような全天モニターはブラックホール X 線新星が様々な光度 (=状態) に移り変わる一部始終を観測することに適している。MAXI は 2009 年 8 月の MAXI 運用開始以降 19 個の BH 連星を検出しており、そのうち 7 天体は新しく発見されたもので、4 天体は過去に知られている天体から繰り返された 15 回のアウトバーストである。また、8 天体は期間中常にアクティブな状態にあり多数の状態変化を含む長期データが取得されている。

我々はまずアウトバースト全体の光度曲線形状に着目し、データ科学的な手法を用いることで客観的に分類することを試みた。具体的には MAXI と Swift/BAT の光度曲線データを用いアウトバースト期間を判定し、各アウトバースト毎に「ダイナミックタイムワーピング法」など複数の指標を用いて、全ての組み合わせについてデータ間距離を計算し、その後「クラスタ化分析」によりアウトバーストを類似する形状を持つグループに分類した。その結果、少なくとも Fast-Rise Exponential-Decay、Flat-Top、Slow-Rise などのグループを見つけることができた。本発表ではエネルギースペクトル情報も利用して変動の特徴を生む物理的機構、背景にある天体固有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](#)

## J131a 全天 X 線監視装置 (MAXI) を用いた超巨大ブラックホールによる星潮 汐破壊現象の X 線光度関数の導出

川室太希, 上田佳宏, 志達めぐみ, 堀貴郁 (京都大学), 河合誠之, MAXI team

星が超巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) 近傍に近づくと潮汐力によって破壊され (Tidal Disruption Event; TDE)、SMBH に質量降着が起こる。TDE の機構を理解し、その SMBH 成長への寄与を解明するために、その発生頻度の光度依存性 (光度関数) を観測的に明らかにすることは極めて重要である。

TDE は、突発的に明るくなり数ヶ月で減光するため、過去に行なわれてきた短時間観測では、TDE のピーク光度を見積もることが不可能であった。一方、MAXI は、ほぼ全天を常時、監視しているため、X 線ピーク光度 ( $\log L_x^p$ ) を捉えることができる。我々は、MAXI による 37ヶ月の全天探査により、3例の TDE を検出した (2014 年度秋季年会 J104b、川室ら)。そのうち *Swift* J1644+57 ( $\log L_x^p = 46.6$ ) と *Swift* J2058+05 ( $\log L_x^p = 47.5$ ) では、相対論的ジェットが存在が示唆されている (Burrows+11; Cenko+12)。

我々は、MAXI サンプルを用いて、初めて、TDE 発生頻度の X 線ピーク光度依存性を決定した。このさい、降着流からの放射と、相対論的ビーミングを受けたジェットからの放射を考慮した。Schehater 型の SMBH の質量関数と、銀河の表面輝度分布から推測された発生頻度の SMBH 質量依存性 (Wang & Mrritt+04) を用いて、発生頻度のピーク光度依存性をモデル化し、最尤法でパラメータを決定した。この結果より、TDE による SMBH 質量密度進化への寄与の推定に成功した。本講演では、解析の詳細を報告し、得られた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](#)

J132a      **MAXIによる Cygnus X-1 の長期変動解析と降着モデル**

杉本樹梨 (理研/立教大), 三原建弘 (理研), 北本俊二 (立教大), 松岡勝, 杉崎睦 (理研), 根来均 (日大), 中平聡志 (JAXA), 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI の 5 年間 (2009.8-2014.8) に及び観測データを解析し、ブラックホール (BH) 連星 Cygnus X-1 の長期変動を調べた。Cygnus X-1 は 2 つのスペクトル状態、low/hard 状態と high/soft 状態をとる。low/hard 状態、high/soft 状態についてそれぞれ 3 つのエネルギー帯域 (2-4 keV, 4-10 keV, 10-20 keV) 別に、 $10^{-4}$  Hz (= 180 分) から  $2 \times 10^{-8}$  Hz (= 470 日) の範囲の規格化パワースペクトル (NPSD) を得た (2013 年天文学会秋季年会で報告)。一般的な BH 連星の描像は、伴星からの質量降着に伴ってできる光学的に厚い円盤が広がり、BH 近傍には高温コロナが取り巻いていると考えられている。PSD 解析で得られた  $2 \times 10^{-8}$  Hz に及び長い時間スケールの変動は、BH 近傍では生成することができないため、BH から遠い半径で生成されると考えられる (Reig et al. 2011)。しかし、光学的に厚い円盤を通して質量降着すると、変動スケールは粘性スケールでなまされて BH 近傍まで伝搬できない。X 線放射領域まで変動を伝えるためには、降着円盤外層に光学的に薄いコロナが存在し、そこを通して降着するシステムが考えられる (Pottschmidt et al. 2003)。我々の PSD 解析結果より、low/hard 状態、high/soft 状態のどちらの NPSD も  $\sim 10^{-8}$  Hz まで連続していることから、両状態ともに光学的に薄いコロナに覆われている光学的に厚い降着円盤が  $\sim 10^{11}$  cm まで延びているという示唆が得られた。これは、ロッシュローブから推定される降着円盤サイズ (=  $3 \times 10^{12}$  cm) より一桁小さく、少なくともこのサイズまでは、降着円盤が形成されていると考えられる。発表では、low/hard 状態、high/soft 状態の NPSD の違いについても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## J133a 相対論磁気リコネクションにおける磁気散逸メカニズム

銭谷誠司 (国立天文台)

磁力線を繋ぎ変え、磁気エネルギーを爆発的に解放する磁気リコネクションは、マグネターフレアやパルサー磁気圏といった高密度星の相対論プラズマ環境でも重要な役割を担っている。相対論プラズマ中で起きる磁気リコネクションの研究は、運動論・流体論の両面で着実に進展してきた [銭谷・高橋 (2013) プラズマ核融合学会誌 89, 845]。

運動論プラズマ物理の観点からは、磁気リコネクション領域の中心部分における実効抵抗メカニズムが重要だとされている。非相対論の運動論磁気リコネクション研究では、粒子のモーメント拡散に伴う擬似粘性効果 [Hesse et al. (2011) SSR] が実効抵抗を担っていることが知られている。こうした議論を相対論に拡張すべく、Hesse & Zenitani (2007) は、擬似オームの法則を考案して相対論リコネクションの粒子シミュレーション結果を解析し、運動論項が効いていることを指摘した。しかし、当時は著者らの理解が不十分であったため、これ以上、議論を進めることができなかった。

本講演では、我々の現在の知識を踏まえて、相対論磁気リコネクションの磁気散逸問題を再考する。粒子シミュレーション結果を元に、位相空間上のプラズマ分布関数の解析結果とあわせて、散逸を担う第3の慣性効果について考察する。余力があれば、相対論磁気リコネクションの運動論と流体論のシミュレーション結果をあわせて総合的に比較・検討し、現在の我々の相対論磁気リコネクションの理解を取りまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J134a      ブラックホールにより引き起こされる磁気リコネクションの数値計算

小出眞路 (熊本大学), 森野了悟 (RKK コンピューターサービス)

回転するブラックホール (Kerr ブラックホール) のまわりでは磁気リコネクションが起こるような薄い電流シートをともなった反平行磁場が形成されることが一般相対論的理想 MHD (理想 GRMHD) の数値シミュレーションから明らかになってきた (Komissarov 2004; Koide, Kudoh, Shibata 2006; McKinney 2006)。これは、磁気回転不安定性が起こる初期条件の時ばかりではなく、一様磁場が初期に与えられるような場合にも形成される。すなわち、回転するブラックホールを一様磁場中に置くと、エルゴ領域のプラズマにより磁力線がねじられ、そのねじれは外部に伝わる。それによりエルゴ領域のプラズマは負の角運動量を持つことになりブラックホールに向かって急速に落下し、その落下するプラズマは磁場を引きずり赤道面付近に非常に薄い電流層をともなう反平行磁場を形成する (Komissarov 2004)。ブラックホール磁気圏での磁気リコネクションを取り扱うためには、電気抵抗を考慮した一般相対論的 MHD (抵抗性 GRMHD) 方程式を用いる必要がある。今回、ブラックホールにおいて比較的単純な磁場配位における磁気リコネクションの抵抗性 GRMHD 数値計算について報告する。

ここでは、回転するブラックホールのまわりの一様磁場から作られる赤道面付近に生じる電流シート付近での磁気リコネクションを調べるために、分割単磁極 (split-monopole) 型の磁場を初期に設定して抵抗性 GRMHD 数値計算を行った。その結果、衝撃波をともなう速い磁気リコネクションが起こることが分かった。この磁気リコネクションは、回転のないブラックホール (Schwarzschild ブラックホール) でさえも起こることが数値計算により示された。いずれにしても、回転するブラックホールのまわりでは、はじめ一様磁場の中にあっても磁気リコネクションが引き起こされる。講演ではその速い磁気リコネクションの形成機構を詳しく述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J135a      **スピン傾きがある場合のブラックホール中性子星連星合体における降着円盤形成と質量放出**

川口恭平 (基研), 久徳浩太郎 (University of Wisconsin-Milwaukee), 大川博督 (早稲田理論宇宙), 谷口敬介 (東大総合文化), 中野寛之 (京大理学), 柴田大 (基研)

ブラックホール中性子星連星合体は有望な重力波源であるとともに、降着円盤形成や質量放出によって sGRB や Kilonova といった電磁波対応天体の源となり得る。こうしたコンパクト連星合体の、特に合体過程において放出される重力波の波形や、形成される降着円盤の質量、放出される質量を理論的に予想するためには数値相対論によるシミュレーションが必要である。特にブラックホール中性子星連星合体においては、合体時中性子星が潮汐破壊を起こすかが重力波波形や降着円盤質量といった量を大きく左右し、中性子星の潮汐破壊の度合いはブラックホールスピン、質量、中性子星の質量、半径 (状態方程式) に依存することが知られている。

これまでのブラックホール中性子星連星合体に対する研究はブラックホールスピンの方向と系の軌道角運動量の方向がそろっているものについて主に行われてきた。ブラックホールスピンの方向が系の軌道角運動量の方向からずれている場合、連星の軌道は時空のひきずりの効果により歳差運動を起こすことが知られており、こうしたダイナミクスの変化は重力波波形や降着円盤質量といった量を定性的に変え得る。そこで本研究ではブラックホール中性子星連星の合体過程の、特にブラックホールスピンの傾きに対する依存性を、中性子星の状態方程式の不定性も考慮して系統的に数値相対論シミュレーションによって調べた。今発表では合体によって形成される降着円盤や放出される物質の形状や振る舞いについて、スピンが傾いている場合に特有にみられる性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J136a 原始銀河における複数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 (国立天文台), 矢野太平 (国立天文台)

近年、 $z > 6$  で、 $M_{\text{bh}} > 10^9 M_{\text{sun}}$  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。よって、BH の合体による成長を考える意味がある。

第一世代天体の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。一方で、3 体以上の BH を持つ系における、ガスの力学的摩擦を考慮した BH の合体過程の研究はこれまでに行われていない。よって、本研究ではガスが豊富な原始銀河を想定し、ガスによる力学的摩擦の影響を考慮した、複数 BH の合体過程の研究を行った。そしてガス降着が強く効く (輻射の影響を考慮したホイール - リットルトン降着で降着率を与えた場合、効かない場合、その中間の 3 パターンを調べた。他にサーベイするパラメーターは、ガス密度、BH 密度、BH 質量、粒子数、ガス温度とした。

結果として、ガス降着が効かない場合には、100 Myr で多数の BH が合体できるパラメーターが現実的なパラメーター領域内に存在することが明らかになった。一方、ガス降着が強く効く場合には、力学的摩擦により合体するよりもガスが全て降着するほうが多くのパラメーターにおいて早いという結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J137a 「すざく」による ULX 天体 NGC1313X-1 の観測

小林翔悟, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (東大理/理研)

Ultra Luminous X-ray source (ULX) は、渦巻銀河の腕に存在する点源天体で、中間質量ブラックホール (BH) の最有力候補である (牧島 +2000)。今年度の 5 月 25 日に、代表的な ULX 天体である NGC1313 X-1 を「すざく」で 100 ks 観測し、最も高統計なデータを得た。このとき X-1 は、2005 年の観測 (水野 +2007) について 2 番目に明るく、ライトカーブではカウントレートで 2 倍以上の変動を  $\sim 10$  ks の時間幅で数回繰り返した。そこで、カウントレートの大・中・小に時間帯をわけてスペクトルを抽出し、その時間変動を調べた。

X-1 のスペクトルは、0.5-10 keV の光度が  $1.06 \times 10^{40}$  erg/sec から  $2.80 \times 10^{40}$  erg/sec 上昇するにしたがって硬くなり、互いのスペクトル比をとると、 $\leq 1$  keV では一様であるのに対して、 $\geq 1$  keV ではエネルギーの冪乗でカウントが変化している。よって X-1 のスペクトルは他の ULX と同様、降着円盤の成分+逆コンプトン散乱による冪成分の和 (THC model) で再現できると期待される (小林 +2013 秋季年会)。また、光度変化に従い冪成分の傾きのみが変化していることから、コロナの電子温度は一定で、 $y$  パラメタが変動したと示唆される。実際に THC model でフィッティングを行うと、全てのスペクトルがよく再現され、電子温度は  $T_e = 1.62$  keV で誤差の範囲内で一致したが、 $y$  パラメタに対応する逆コンプトン散乱のベキのみが  $\Gamma = 2.16 \pm 0.01$  から  $\Gamma = 1.71 \pm 0.01$  とハードになった。コロナの光学的厚みは  $\tau = 12.6$  から  $\tau = 17.5$  へ増加し、 $\tau \geq 10$  なコロナを要求する ULX の特徴と矛盾しない。この間、最内縁温度は  $T_{in} = 0.15 \pm 0.01$  keV、最内縁半は  $R_{in} \sim 26000$  km で、ともに数%以内で一定だった。シュバルツシルト BH を仮定すると、BH の質量は  $2900 M_\odot$ 、観測された光度は Eddington 光度の  $\sim 10\%$  となり、中間質量 BH 仮説を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J138a ULX M82 X-2 における降着モード

鷹野重之 (九産大), John C. Miller (Oxford)

非常に明るい X 線放射天体である ULX(Ultra-luminous X-ray object) は、星質量ブラックホール (BH) 起源なのか中間質量 BH 起源なのかが議論されてきた。しかし、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 (Bachetti et al., Nature, 514, 202, 2014)。中性子星がどのようにしてエディントン光度をはるかに上回る光度を出せるのかについて、現在様々な議論が行われているが、中性子星の磁場が大きな鍵を握ることが示唆されている。一方で、中性子星へ大量の質量を降着させる降着メカニズムも明らかになってはいない。本研究では、中性子星連星系であることが明らかとなった ULX M82 X-2 における磁場の強さと質量降着モードを検討結果を紹介する。結果として、通常の OB 型大質量 X 線連星で見られるような星風降着では M82 X-2 の観測量は説明ができないことが明らかとなった。一方で、Be 型大質量 X 線連星を駆動する、星周円盤からの降着モードを仮定すると、この天体の様々な観測パラメータが比較的うまく説明できることを紹介する。ロッシュローブオーバーフローを通じての質量降着でも本天体の大きな質量降着率を説明できるが、この場合には主星のパラメータに様々な制約が付くことを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J139a      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 III : ULX への適用

富田瑞穂, 折橋将司, 福江 純 (大阪教育大学)

我々は、定常的に中心天体から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、各振動数ごとに見かけの光球と熱化面を計算して調べた。2014 年春季年会では最初の段階の結果を紹介し、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た。今回このモデルを超大光度 X 線源 ULX に適用させたので、その結果を報告する。

計算方法は次の通りである。波長依存性を考慮し、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した。さらに、 $\tau = 1$  の見かけの光球から動径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した。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、熱化面の形状と放射スペクトル、見かけの光球の形状とドップラー効果などを計算して、観測されるスペクトルを算出した。

今回適用する ULX に関しては、中心コンパクトオブジェクトの候補が 2 つあり、10 年以上議論がされ続けているが、未だに決着がついていない。一つが中間質量ブラックホールと標準降着円盤である。二つ目が恒星質量ブラックホールと超臨界降着円盤のモデルである。本研究ではこの恒星質量ブラックホールと超臨界降着円盤で、ウィンドが吹いているモデルを考え、上記の計算方法で見かけの光球と熱化面とスペクトルを調べた。その結果を本講演で発表する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

J140a      **すざく衛星を用いたブラックホール連星の短時間における X 線スペクトル変動の研究**

水本岬希, 海老沢研, 辻本匡弘 (ISAS/JAXA)

X 線天文学の黎明期である 1970 年代から、Cyg X-1 などのブラックホール連星は 1 秒以下の激しい短時間変動を示すという特徴があることが知られてきた。その後、1990 年代の CCD 検出器の登場により、より優れたエネルギー分解能でブラックホール連星の X 線スペクトルが調べられるようになり、ブラックホール中心近傍の物理状況の理解が進んだ。しかし、CCD 検出器は原理的に二次元撮像を行う際は時間分解能が悪いため、そのエネルギー分解能でブラックホール連星の X 線スペクトルの短時間変動を追った例は乏しい。

そこで我々は、すざく衛星搭載の CCD 検出器「XIS」の Parallel-sum (P-sum) モードとよばれる非撮像モードを用いて、2007 年に観測されたブラックホール連星 GRS 1915+105 の X 線スペクトル変動を調査した。XIS の通常モードでは二次元画像の最短読み出しは 2 秒 (1/4 window オプション) だが、P-sum モードを用いると 7.8 ミリ秒刻みでイベントを読み出すことが出来る。P-sum モードはデータ較正が難しく、データを取得したにもかかわらずこれまでスペクトル解析が行われてこなかったが、我々が新たにデータ較正を実施したことによって精密なスペクトル解析が出来るようになった。我々は、P-sum モードの時間分解能とエネルギー分解能を活かし、局所的なピークを重ね合わせる shot 解析や、ある時間スケールでのスペクトル変動を抽出する difference variation function 法などの解析手法を用いて、準周期的振動現象 (quasi-periodic oscillation; QPO) の振動数で X 線スペクトルの形が変動していることを見つけた。本講演では、より高エネルギー側に感度を持つ HXD 検出器も使い、ブラックホール連星の短時間における広帯域 X 線スペクトル変動の様子とその要因について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J141a 非熱的電子を考慮した円盤コロナ放射モデルの構築とブラックホール天体 GX 339-4 の Very High State のすざく観測データへの適用

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

ブラックホール (BH) 天体の very high state (VHS) は、降着率が最も高い状態であり、光学的に厚い降着円盤からの軟 X 線放射とともに高エネルギー電子の逆コンプトン散乱による強い硬 X 線放射で特徴づけられる。すざく衛星による GX339-4 の VHS の観測 (2007 年 2 月) は、BH 天体の VHS の中で最良のスペクトルデータを提供しており、田村、久保田他 (2010 ApJ 753, 65) は、光学的に厚い降着円盤と高温プラズマのエネルギーカップリングを考慮した円盤コロナモデル (dkbbfth; Done, Kubota 2006 MNRAS, 371, 1216) をこの観測データに適用し、降着円盤が中心 BH の最終安定軌道より外側に後退していることを示した。しかし、dkbbfth は、熱的電子による逆コンプトン散乱のみ考慮した円盤コロナモデルであり、田村他 (2010) では非熱的電子については種光子を数学的に power-law 分布に変換する simpl モデルで近似した。これは、非熱的電子が重要な役割をはたす VHS の円盤コロナを記述するには不十分であり、今回、我々は熱的および非熱的電子を考慮したハイブリッドプラズマからの放射を記述する EQPAIR モデル (Coppi) を応用して円盤コロナモデルを構築し、GX339-4 の VHS に適用した。その結果、強い硬 X 線放射はほぼ完全に非熱的 ( $l_{\text{nth}}/l_{\text{hard}} > 0.99$ ) であり、光学的に厚い降着円盤は最終安定軌道の  $\sim 5$  倍の距離で中断している結果を得た ( $\chi^2/dof = 233/200$ )。さらに、円盤の最内縁より内側に存在するプラズマによる逆コンプトン散乱成分を加えると、スペクトルの再現性は劇的に改善した ( $\chi^2/dof = 181/197$ )。内側のプラズマが最終安定軌道まで存在すると仮定すると、その放射効率は 1% と非常に低く、内側で ADAF が実現、もしくは降着流の一部が Jet として運動エネルギーの大半を持ち去っている可能性が示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J142a 熱的コンプトン冷却を考慮した超臨界降着流のパラメータサーベイ

小川拓未, 嶺重慎 (京都大学), 川島朋尚, 大須賀健 (国立天文台)

ブラックホールへの超臨界降着流（質量降着率がエディントン限界を超える降着流）は、超高光度 X 線源やマイクロクェーサー、潮汐破壊による突発的増光現象などの天体現象を説明する有力なモデルである。また、宇宙初期における巨大ブラックホール形成においても重要な働きをしているものとして注目されている。しかし、そのような重要性を持つにもかかわらず、超臨界降着流はあまり良く議論されておらず、シミュレーションにおいても各パラメータ依存性もまだまだ分からないことが多い。

超臨界降着円盤から吹き出すアウトフローの中では、高温電子が円盤から放射された軟 X 線光子によりコンプトン冷却され、比較的低温の円盤コロナ放射を起こすと考えられており、熱的コンプトン散乱を考慮したシミュレーションが必須である。そこで我々は、Kawashima et al.(2009) で使用された熱的コンプトン散乱を考慮した軸対称 2 次元輻射流体コードによりシミュレーションを行い、降着率、降着ガスの角運動量を様々に変え、広いパラメータスタディを行った。サーベイは恒星質量ブラックホール ( $M_{\text{BH}} = 10M_{\odot}$ ) に対して、 $10^2\dot{M}_{\text{Edd}}$  から  $10^5\dot{M}_{\text{Edd}}$  ( $\dot{M}_{\text{Edd}}$  はエディントン降着率) の範囲の降着率で 6 例ほど行い、また角運動量を変えても同様に調べた。得られた結果から光度、スペクトルなどと質量降着率、流入ガスの角運動量などのパラメータを結びつけることにより、観測からブラックホール降着流の物理諸量に制限をかけることが可能になった。具体的には降着率-光度関係を見ると、光度はある降着率以下では降着率にほぼ比例して増加するものの、それ以上の降着率では降着率の増加に対して光度が増加しづらくなるなどの傾向が見られた。また、outflow の性質の、各降着率ごとの角度依存性から、どのような流れがどのような影響を周囲に与えるかを定量的に議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J143a 熱伝導を考慮した明るいハードステート円盤モデルにおけるコンプトン冷却の効果

谷田部紘希, 松元亮治 (千葉大学)

ブラックホール候補天体には、硬 X 線強度の高いハードステートと軟 X 線強度の高いソフトステートという二つの状態が存在することが知られている。前者は光学的に薄く高温かつ移流優勢な円盤 (RIAF) に対応していると考えられているが、その上限光度 (エディントン光度の 0.1% 程度) 以上の明るいハードステートと呼ばれる状態が観測されており、この状態を理論的に説明することが課題になっている。前回の年会では、従来のモデルでは円盤内部で無視されていた熱伝導項を考慮して鉛直方向 1 次元定常解を求めた結果、高温の円盤表面付近からの熱伝導が輻射冷却とつり合う平衡解が存在でき、その光度がエディントン光度の 10% 程度まで大きくなり得ることを報告した。この新たなモデルにおいても、赤道面付近の温度が上空よりも低いため、赤道面付近からの低温放射が逆コンプトン散乱されて上空の高温領域が冷却される可能性がある。この機構による冷却率は、コンプトン  $y$  パラメーターを用いて、上空の加熱率の  $y$  倍程度になる。光度がエディントン光度の 1% を越えると  $y$  が 1 より大きくなるため、熱伝導を考慮してもエディントン光度の数%以上の定常解を得ることは困難である。すなわち、明るいハードステート円盤の上限光度はコンプトン冷却によって決まっている可能性がある。コンプトン冷却を考慮した鉛直方向 1 次元の輻射エネルギー密度方程式を、熱伝導を考慮したプラズマのエネルギー方程式と連立させて定常解を求めた結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J144a 一般相対論的輻射磁気流体計算で探る高降着円盤構造

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

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。我々はこれまで特殊相対論的輻射磁気流体コードを開発し(2011年春期/秋期年会)、そのコードを用いて高降着円盤からのアウトフロー構造を調べた結果を発表した(2013年秋期年会)。しかしこの計算では一般相対論的效果が無視されていたため、ブラックホール近傍の円盤物理について調べるのが難しかった。そこで我々は特殊相対論的輻射磁気流体コードを拡張して一般相対論的輻射磁気流体コードを構築し(2014年秋季年会)、このコードを用いて超臨界降着円盤の大局的数値実験を行った。その結果、ブラックホール近傍では磁気トルクによる粘性パラメータ $\alpha$ の増大が見られた。この $\alpha$ の増大は粘性時間の減少を引き起こし、その結果、熱的時間よりも短くなるため、ガスは輻射によって冷却される事無く高温のままブラックホールへと落ちることがわかった。このような overheated region の存在は降着円盤の1次元モデルにおいても示唆されており(Beloborodov '1998)、高温ガスからの放射がハードなスペクトルに寄与すると考えられる。本講演ではこれらの結果を含め、円盤構造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](#)

## J145a      ブラックホールへ落下するガスリングの光変動に基づくスピンの新測定法

森山小太郎, 嶺重慎 (京都大学), 高橋労太 (国立高専機構苫小牧高専)

ブラックホール時空の観測的解明は、事象の地平面の存在の有無、一般相対論の検証のための不可欠な課題である。理論的に、その時空は質量と角運動量(スピン)によって、一意に決定されるため、これらの量を観測することで、時空構造を決定することができる。質量は観測により、ある程度見積もられている。一方、スピンはブラックホール近傍での相対論的效果を厳密に考慮しなければならないため、決定が難しい。今までに、降着円盤の連続・輝線スペクトルの形状などに注目したスピン決定法が提唱されている。これらの方法は、まだ不定性の大きいものもあり、互いに結果も一致していないため、これらとは独立かつ相補的なスピン決定法が求められる。2014年秋の年会 [J131a] では、降着円盤の最内縁から、磁場粘性によってブラックホールに落下するガスプロブが X 線放射する場合を想定し、この放射のスピン依存性に関する報告をした。それを踏まえ、本研究では、リング状ガスのブラックホールへの落下を想定する。この放射 X 線を遠方で観測する場合、時空の 3 つの相対論的效果が寄与する (Karas et al. 1992)。(i) 重力レンズ効果 (ii) ビーミング効果 (iii) 重力赤方偏移。また、ブラックホール近傍には、光が円運動できる半径(光円軌道半径)が存在する。この半径近傍で放射された X 線は、束ねられ、高い強度を持って観測される。この効果を (iv) 光円軌道半径集光効果と呼ぶことにする。X 線のライトカーブと各エネルギーでの光子数の時間発展は、(iii),(iv) の効果をうけ、ブラックホールパラメーター依存性を持つ。また、光子数は (i),(ii) によって 2 つのエネルギーで極大となる。ライトカーブ、光子数が極大となる 2 つのエネルギーの時間発展はスピン、円盤傾斜角、リング断面の大きさに依存する。本発表では、上の 3 つの物理量から、ブラックホールのスピン、質量、円盤傾斜角、リング断面の大きさを一意に見積もるための方法を提唱する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J146a      ブラックホール磁気圏の回転駆動による電流と電荷の分布構造

小嶋 康史, 上玉利 克磨 (広島大)

活動銀河核からのジェット現象は普遍的にみられる現象である。その放出過程に働くものの一つとして、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。近年では、我々の銀河中心のブラックホールの周り (重力半径の  $10^5$  倍の位置) の磁場強度が観測され (Eatough et. al.(2013))、それから重力半径の数倍の位置での値まで外挿すると、中心付近の円盤の構造は磁場が効いたものになることが示唆される。このように、ブラックホール磁気圏の理論的考察が不可欠になりつつある。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 (Toma-Takahara(2014))。

本講演では、Blandford-Znajek 過程において重要となる、ブラックホール表面近くでの起電力とトロイダル磁場が如何に生成されるかを電荷が正負からなる二流体のプラズマの軸対称定常流を考えることにより検討した。ブラックホールを貫く、遠方では動経的な形状となる磁場 (スプリットモノポール) を仮定し、外側の境界で起電力とトロイダル磁場は無いとする。もし、Force-free 近似と理想 MHD 近似が至る所で成立するとするば、電流関数と電気ポテンシャルは磁力線に沿って一定であるので、ブラックホール表面でも起電力とトロイダル磁場は生成されない。また、ブラックホールに自転がない (Schwarzschild) 場合もそれらを生じることなく、落下できる。ブラックホールの自転がある (Kerr) 場合にはエルゴ領域内では、必然的に電荷の偏りと電流が生じる必要があることがわかった。その結果、電磁場のエネルギー流 (ポインティングフラックス) が生成されることがわかる。モデルの概要と結果の一部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](#)

## J147a Blandford-Znajek 過程と Penrose 過程の関係

當真賢二（東北大）、高原文郎（大阪大）

活動銀河核やガンマ線バースト現象には、相対論的速度のプラズマジェットが付随する。その駆動メカニズムとして世界的に最も有力視されているものは、中心ブラックホールの回転エネルギーの電磁的抽出 (Blandford-Znajek 過程) である。それは、ブラックホール磁気圏が十分荷電粒子に満たされているが、エネルギー密度は磁場が優勢であるという状況において、ポインティング流速が定常的に生成される過程である。しかし、ポインティング流速の起源や、この過程と Penrose 過程 (ブラックホール近傍で生じる負のエネルギー粒子を落下させることでエネルギーを抽出する過程) との関係に未だ結論は出ていない。

昨年度の春の天文学会では、解析的議論により、任意の速度で回転するブラックホールについてポインティング流速の生成が必然的に起こることを示した。また、エルゴ領域内の赤道面では電場が磁場より強くなり、それが電流を駆動することも示した (Toma & Takahara 2014, MNRAS, 442, 2855 参照)。本講演では、解析的議論をさらに発展させ、地平面を貫く磁力線についてのポインティング流速の起源を明らかにする。地平面で特異でない座標を用いて解析し、地平面を貫く磁力線については、電場が磁場より強い領域は無く、force-free 近似が破れなくてよいことがわかった。この場合、電流はやはり赤道面で駆動される。電位差はエルゴ領域におけるプラズマの応答によって制御される。さらに、電磁場エネルギー密度の正負は座標に依存することがわかり、「負の電磁場エネルギーが落下する」という解釈は物理的でないことがわかった。地平面を貫く磁力線におけるポインティング流速の生成は Penrose 過程としては解釈できず、時空の回転によって定常的に電位差が維持され電流が流れることで生成される純粋な電磁的過程であるといえる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J148a      高精度運動量空間積分によるブラックホール時空中の輻射輸送シミュレーション

高橋 芳太 (国立高専機構 苫小牧高専), 梅村 雅之 (筑波大)

光子やニュートリノなどの輻射に関する物理過程が重要となる天体現象を解明する際、数値シミュレーションが強力な研究手法となる。この際、輻射に関する物理量を正確に計算するためには、光子などの輻射輸送方程式(ボルツマン方程式)を直接計算することが必要となるが、ブラックホール時空などの湾曲時空における輻射輸送シミュレーションは、計算方法自体が発展途上である。相対論的に正確な数値シミュレーションを行うには、特殊および一般相対論的效果[厳密に光速での光の情報の伝搬、光子球の効果、時空の引きずりの効果、重力赤方偏移、光子軌道の湾曲など]を正確に解くことが可能なスキームを開発し、それをを用いた上で数値シミュレーションを行うことが必要となる。本研究では、光子輻射輸送方程式(光子ボルツマン方程式)を直接数値的に計算することにより、ブラックホール時空中での一般相対論的輻射場の数値シミュレーションを行った。このために位相空間(位置空間と運動量空間)で定義される不変輝度(invariant intensity)を直接数値計算した。直接数値的に計算した不変輝度を運動量空間で積分(つまり、エネルギー積分と方向積分)することで、輻射テンソルの全成分を計算することが可能となる。ここでは、近似的な closure relation を仮定することなく輻射テンソルを計算することができる。回転ブラックホール時空中での複数のテスト計算の結果、運動量空間での積分方法によっては、光子輻射場のエネルギー保存が数値的に保たれなくなり、相対論的に正確なシミュレーションが実行できなくなる場合があることがわかった。この問題を克服するために運動量空間での積分の新たな手法を開発し、相対論効果を正確に取り入れたシミュレーションを行うことが可能となったので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J149a 偏光したブラックホールシャドウの直接観測による等価原理の検証

新田大輔、杉山直 (名古屋大学)

超長基線電波干渉法 (VLBI) を用いたブラックホールの直接観測が実現すれば、質量やスピンなどの情報の他、一般相対論の検証としても有益な情報をもたらすことができると期待される。アインシュタインの等価原理によれば、ブラックホール周りの光子は、背景時空上の測地線を通して我々の元に届く。またこのとき光子の偏光は測地線と常に平衡であり、背景光が無偏光であれば我々に届く光も無偏光のままである。等価原理は系の作用に重力との非最小結合があると一般には破れるが、通常の電磁気学においても、量子効果を考慮することで有効作用に非最小結合が現れることが知られている (Drummond & Hathrell '79)。また、弦理論など高次元の重力理論のコンパクト化によっても電磁場との非最小結合は現れる。

そこで本研究では、電磁場と曲率が結合する一般的な作用から出発し、電磁場の方程式から光子の運動を WKB 近似の 2 次まで求めた。等価原理の成り立つ場合では、WKB の 1 次から光子の運動量のヌル条件と測地線方程式が得られ、2 次からは光子数保存や偏光の平行移動の式が得られる。等価原理を破る系ではそれらの方程式が修正され、偏光が生成される場合があり得る。我々はシュバルツシルト時空上で光子の偏光を計算し、実際に偏光が生じることを示した。また、この偏光は波長によらず、ブラックホール膠着円盤のシンクロトロン放射の偏光と区別できることを示した。今回の発表でこれらの一連の研究を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【J2. 高密度星 (WD・GRB・その他)】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [B会場]

J201a	13:00	ニュートリノ冷却優勢円盤の不安定性と時間進化 木邑真理子(京都大学)
J202a	13:12	超相対論的流体中の衝撃波における輻射輸送計算手法の検証 石井彩子(東北大学)
J203a	13:24	相対論的ジェットの変遷ダイナミクスが与える光球面放射への影響 伊藤裕貴(理化学研究所)
J204a	13:36	星周物質内部における相対論的 shock breakout の数値的研究 大谷友香理(東京大学)
J205a	13:48	低光度ガンマ線バーストの流体モデルと爆発的元素合成 鈴木昭宏(京都大学)
J206a	14:00	Gamma ray bursts associated with gravitational collapses of supermassive stars 松本達矢(京都大学)
J207a	14:12	コンパクト連星合体の残光放射の時間発展シミュレーション 杜 駿(東京大学)
J208a	14:24	長時間光るショートガンマ線バースト 木坂将大(KEK 素核研)
J209a	14:36	マグネターモデルで極超新星を作ることは可能か? 諏訪雄大(京都大学/Max Planck Institute for Astrophysics)
J210b	14:48	MAXI を用いた短いガンマ線バーストの検出方法の検討 芹野素子(理化学研究所)
J211b	14:48	三次元相対論的 MHD シミュレーションによるガンマ線バーストジェットの安定性の研究 松本 仁(理化学研究所)
J212b	14:48	新星爆発時に発生する軟 X 線突発現象の探索(その2) 森井幹雄(理化学研究所)

3月19日(木)午前(09:30-11:30) [B会場]

J213a	09:30	特異な矮新星 ASASSN-14dx の発見 磯貝桂介(京都大学)
J214a	09:42	複数回の再増光をおこす WZ Sge 型矮新星の観測的研究 中田智香子(京都大学)
J215a	09:54	Monte-Carlo シミュレーションによる強磁場激変星の反射 X 線のモデル化 林 多佳由(宇宙航空研究開発機構)
J216a	10:06	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 和田師也(宇宙航空研究開発機構/東京大学)
J217b	10:18	WZ Sge 型矮新星 ASASSN-14jv の CCD 測光観測 小木美奈子(岡山理科大学)

## J201a ニュートリノ冷却優勢円盤の不安定性と時間進化

木邑真理子, 嶺重慎 (京都大学), 川中宣太 (東京大学)

ガンマ線バーストの中心エンジンとして広く受け入れられているのは、恒星質量ブラックホールの周りに形成された、非常に質量降着率の高い降着円盤 (極超臨界降着、hyperaccretion) というモデルである。このような降着円盤は  $10^{11}$  K もの超高温となるため、光子の放射による冷却のかわりにニュートリノの放射による冷却が優勢となる。このニュートリノ冷却優勢円盤の構造について、過去に様々な解析的・数値的研究が行われているが、円盤内でガンマ線バーストを引き起こすようなジェットが噴出する過程や、ガンマ線バーストの即時放射の特徴である短時間の光度変動の成因については、未だに明らかにされていない。

この極超臨界降着円盤の構造に関する最近の研究により、移流冷却優勢からニュートリノ冷却優勢に移行する質量降着率付近で、ジェットのパワーが階段関数的に変化すること、その状態遷移にあたる箇所で円盤の (横軸に面密度、縦軸に降着率をとった) 熱平衡曲線は N 字型を示し、真ん中のブランチが粘性不安定となることがわかった (Kawanaka, Mineshige & Piran 2013)。しかしこの不安定性が、一体どのような円盤の大局的な構造変化を引き起こすかはわかっていない。そこで今回、このような円盤の熱平衡曲線を簡単な関数の組み合わせでモデル化し、初めて円盤の時間進化を数値計算によって解いた。その結果、円盤に注ぎ込むガス量を徐々に上げたとき、移流冷却が効く低密度ブランチから、ニュートリノ冷却が効く高密度ブランチへ遷移する領域が次第に広がっていく様子が、再現された。遷移が起こる領域では、不安定性により周りから急激にガスが流れ込むため、周囲に擾乱が引き起こされることも確認できた。このような構造変化が、どのような光度変動を示すかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J202a 超相対論的流体中の衝撃波における輻射輸送計算手法の検証

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)

宇宙最大級の爆発現象であるガンマ線バースト (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. 過去の相対論的流体シミュレーションの結果より, ジェットの構造は多次元的であってその空間的構造が放射スペクトルに影響を与える可能性が指摘されている. よって, ジェットを起源として GRB が形成される可能性を検証するには, 時間変化するジェット構造を再現する相対論的流体計算とジェット中での光の輸送を再現する輻射輸送計算のカップリングが必要である. しかしカップリング計算を行うにあたって, 背景場が相対論的流体である場合, 時間および空間精度がどの程度計算結果に影響してくるかはまだ十分に検証されていない.

我々は, 輻射輸送計算手法としてモンテカルロ法を用い, 流体計算を行う上で避けることのできない衝撃波面がなまる効果がどの程度計算結果に影響を及ぼすのかを検証した. 相対論的ランキン-ユゴニオの関係式を用いて定常状態の衝撃波を準備し, 衝撃波面の構造を関数的に与えた. トムソン散乱およびコンプトン散乱を考慮し, 散乱優位な流体場を想定して, 3次元モンテカルロ計算を行った. 計算から得られた光子のスペクトルの結果が, 背景場中の衝撃波幅が異なる場合においてどのように変化するかを検証した. その結果, 衝撃波幅が比較的小さい場合と大きい場合では放射スペクトルの高エネルギー側への広がり方が大きく異なることがわかった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J203a 相対論的ジェットの伝搬ダイナミクスが与える光球面放射への影響

伊藤裕貴, 松本仁 (理化学研究所), 長瀧重博 (理化学研究所)

継続時間の長いガンマ線バーストは大質量星の重力崩壊時に形成される相対論的ジェットによって引き起こされていると考えられている。ジェットからどのようにしてガンマ線が放射されているか(放射機構)は解明されていないが、近年有望視されている理論モデルとして“光球面放射モデル”がある。このモデルは、電子との散乱によってジェットの内部に捕縛されていた光子(ガンマ線)が、ジェットの膨張に伴い散乱の頻度が下がる事によって解放されることによって(光球面放射)ガンマ線バーストが引き起こされるというシナリオである。光球面放射を正確に評価するためには、光子がジェット中を伝搬し解放されるまでの一連の過程を追う必要があるため、輻射輸送計算が必須となる。しかしこのような計算は、これまで背景流体としてジェットを定常な球対称な流れを近似したものを採用したものがほとんどである。その一方で、相対論的ジェットの流体シミュレーションに基づいた研究からは、ジェット内部には星の内部を伝搬する際に衝撃波などが発生し、複雑な構造を持つ事が示されている。これらの内部構造は光子の輸送過程に多大な影響を与えるため、放射への影響は無視できない。

そこで本研究では、ジェットが伝搬していく際に生じた複雑な内部構造が与える放射への影響を調べた。手法としては、ジェットが星の外層を突き破り光学的に薄くなるまでの伝搬ダイナミクスを三次元相対論的流体シミュレーションを用いて計算し、そこで得られた時間発展データを背景流体として採用し、輻射輸送計算を行う事によりジェットからの光球面放射を評価した。2014年秋期年会において我々は、計算の一例を示し、複雑な内部構造の影響によってスペクトルが非熱的になる事を示した。本講演では、ジェットの初期条件を換えた場合のスペクトル及び光度曲線を紹介する。主にジェットが初期に歳差運動を持っていた場合の放射へ影響を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J204a 星周物質内部における相対論的 shock breakout の数値的研究

大谷友香理 (東京大学), 鈴木昭宏 (京都大学), 茂山俊和 (東京大学)

大質量星は進化の最後に超新星となって爆発する。このとき光学的に厚い層から薄い層へと衝撃波が吹き抜けるために、高エネルギーの電磁波が短い時間だけ放射される。この現象は shock breakout (SB) と呼ばれ、超新星爆発初期の輻射層の情報を多く含むことが期待できる。先行研究である Suzuki&Shigeyama (2010) は非相対論的な流体モデルを用いた輻射輸送計算を行い、唯一の観測例である XRO 080109 との比較検証によって、電子のバルク運動による逆コンプトン散乱の寄与が重要であることを示した。また、我々の過去の研究ではウォルフ・ライエ (WR) 星の表面を光速の 99% 以上の速度の衝撃波が通過する場合の数値計算を行った (Ohtani et al. 2013)。

一方、観測から XRO 080109 は WR 星周囲の光学的に厚い星周物質での SB 放射であることが示唆されている。このとき、衝撃波の伝播の様子は、星中心エンジンからのエネルギー供給のしかたに依存することが知られている。そこで本研究では輻射輸送計算を行い、スペクトルの時間変化と、ジェットへのエネルギー供給率の時間依存性との関係付けを試みた。衝撃波の伝播は Blandford&McKee(1976) の相似解で記述する。この解は衝撃波のローレンツ因子とエネルギー供給率がそれぞれ時間に対して  $\Gamma \propto t^{-m/2}$ ,  $L \propto t^{q(1+m)}$  の形で書けると仮定しており、指数同士には  $m = -q/(2+q)$  の関係がある。これまでの計算では  $m$  をパラメータとして 0(等速衝撃波),  $1/2$ (減速),  $-2/3$ (加速) の 3 通りの値について計算した。その結果、 $m = 0, 1/2$  の場合はスペクトルが時間変化をしないのに対し、 $-2/3$  の場合は熱成分の中の比較的高エネルギーなものが早い時間に現れるという違いが見つかった。ちなみに、星表面を通過するときにはエネルギー供給によらず  $m = 2\sqrt{3} - 3$  と決まってしまう。本講演ではさらに幾つかの値の  $m$  に対する計算結果を加えて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J205a 低光度ガンマ線バーストの流体モデルと爆発的元素合成

鈴木昭宏, 前田啓一 (京都大), 茂山俊和 (東京大)

ロング・ガンマ線バースト (long GRB) は大質量星の重力崩壊とともに形成される相対論的なジェットが星を貫くことで輝いていると考えられている。近年、通常の long GRB よりも小さなガンマ線光度で長く光る GRB (低光度 GRB) が発見されてきており、それらが関心を集めている。このような低光度 GRB は、近傍で起こったイベントしか観測することができないものの、単位体積あたりの発生頻度は通常の GRB のものよりもかなり大きいことが知られている。このようなイベントでは、ジェットが非常に弱かったり、ジェットが星を貫通できていない状況が予想されている。

本研究では、ある親星モデルに様々なエネルギー注入率のジェットを注入し、ジェットが親星を貫通し、超相対論的な速度に達する場合や星の貫通に失敗する場合のエジェクタの流体力学的な進化を計算した。流体モデルの詳細については2014年秋季年会において報告されている。本講演では、ジェット注入によって衝撃波を受けたガス中での爆発的元素合成計算を行なった結果について議論する。ニッケル<sup>56</sup>やいくつかの核種の生成量はジェットの注入条件の違いを反映することが分かり、GRB に付随する超新星成分の可視光スペクトルとモデルとの比較によってジェットの注入条件に制限がつく可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J206a      **Gamma ray bursts associated with gravitational collapses of supermassive stars**

松本達矢 (京都大学), 井岡邦仁 (KEK 素核研), 仲内大翼 (京都大学), 中村卓史 (京都大学)

宇宙初期 ( $z \sim 7$ ) に存在する質量  $10^9 M_\odot$  の超巨大ブラックホール (SMBH) の起源として、近年、超大質量星の重力崩壊シナリオが有力視されている。多くの銀河の中心には質量が  $10^{6-9} M_\odot$  の SMBH が存在する。これらは銀河形成期に恒星の重力崩壊で形成された恒星質量 BH が、ガス降着によって質量を獲得し進化したと考えられている。しかし、近年、 $z \sim 7$  の宇宙初期にも質量が  $10^9 M_\odot$  の SMBH が発見された。宇宙初期での SMBH の形成は、恒星質量 BH のガス降着では質量の獲得には時間が足りないため、他のシナリオを考える必要がある。最近、 $10^5 M_\odot$  もの質量をもつ超大質量星 (SMS) の重力崩壊によって形成される大質量 BH がガス降着によって成長するというシナリオが有力視されている。SMS の形成・進化の研究により、SMS が宇宙初期で形成される可能性があることがわかってきている。しかし、SMS が実際に観測された例はなく、このシナリオは観測的検証がほとんど行われていない。SMS は  $z \geq 7$  の遠方に存在するため、観測されるためには十分明るく輝いている必要がある。このような観測に適した現象として SMS の重力崩壊に伴う GRB について考える。SMS のような巨大な progenitor 中を、jet が伝播し、breakout できるかどうかは非自明な問題であり、これを調べるために、SMS の密度分布を用いて jet の運動を計算した。本講演では、計算結果をふまえて、SMS が GRB を起こす可能性があるかについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J207a コンパクト連星合体の残光放射の時間発展シミュレーション

杜驍, 浅野勝晃, 寺澤敏夫 (東京大学)

重力波観測の最有力ターゲットの一つがコンパクト連星合体 (Compact Binary Merger, CBM) である。2017年までに観測を開始する KAGRA と LIGO、Virgo は全天で一年に数回から数十回程度の頻度で CBM 信号が受かると期待されている。しかし、重力波観測には、低 S/N 比、理論的波形テンプレートの信頼性、低位置決定精度などの問題点があり、重力波のみで CBM であると同定するのは難しい。そこで、CBM の電磁波対応天体を観測しフォローアップすることが必要となる。CBM の対応天体のひとつが残光放射であり、その理論的詳細を知ることは極めて重要な課題である。ここで、残光放射は超新星残骸やガンマ線バーストのモデルを参考に以下のように考えられている。爆発的に放出された質量が周辺媒質と衝突して衝撃波を形成し、その波面にて粒子加速と磁場増幅が行われる。被加速粒子は Synchrotron 放射過程、IC 散乱過程でもって電波 ~ 線領域放射を行う。しかし、CBM 残光の先行研究において、非相対論的な領域のみの議論であること、被加速電子分布の時間発展を解いていないなどの懸案事項が挙げられる。そこで、我々は一様シェル近似のもと、エネルギー保存則より非相対論的から相対論的速度までの全速度域の爆風の運動を解くとともに、被加速電子分布の時間発展を追跡する正確な計算を行った。本講演ではそれらの結果を示し、その観測可能性について議論する。また、残光の放射領域と赤外 ~ 可視光の対応天体である巨新星 (Kilonova) との相互作用による X 線  $\gamma$  線帯域の対応天体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](#)

## J208a 長時間光るショートガンマ線バースト

木坂将大, 井岡邦仁 (KEK 素核研)

ショートガンマ線バースト (SGRB) はガンマ線放射の継続時間が比較的短いガンマ線バーストの種族であり、その起源として中性子星連星の合体などが考えられている。中性子星連星の合体は強い重力波を伴い、次世代の重力波望遠鏡により直接観測が期待されることから、SGRBはその電磁波対応天体として注目されている。

SGRBはガンマ線放射の継続時間が短いにも関わらず、残光には長いもので $\sim 10^4$ 秒のX線プラトーと呼ばれる成分が観測され、これは中心天体が同程度の活動時間を持つ可能性を示唆している。しかし、現在観測されている中性子星連星のパラメーターの範囲では、合体後に形成される天体は数10ミリ秒後にブラックホールになってしまうことが期待され、その場合は活動性が数秒以下の時間スケールとなると考えられている。

中性子星連星の合体後に形成するブラックホールは、ある程度の角速度と合体前の中性子星の持つ $10^{12}$ G程度のポロイダル磁場は少なくとも維持していると考えられる。このとき、Blandford-Znajek機構により中心天体からポインティングフラックスの流出が期待できる。この継続時間はポロイダル磁場をホライズン程度まで押さえつける圧力を維持できるかで決まり、合体後に放出される一部の物質の降着を考慮することで $\sim 10^4$ s程度の継続時間が説明できる可能性があることがわかった。講演ではこの活動性が放出物質に与える影響と、放出物質からの放射の光度曲線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](#)

J209a      マグネターモデルで極超新星を作るとは可能か？

諏訪雄大（京都大学/MPA）、富永望（甲南大学）

ロングガンマ線バーストの一部の天体では、超新星爆発が付随することがある。このような超新星は、通常のものよりも非常に明るく極超新星と呼ばれている。その明るさは、爆発の際に形成される  $^{56}\text{Ni}$  の量が多いことに起因している。したがって、極超新星を付随したガンマ線バーストの爆発メカニズムを議論する際には、 $^{56}\text{Ni}$  量もまた同時に説明する必要がある。

一方、ガンマ線バーストの残光に中心エンジンの活動性を示すような特徴があることから、長寿命なエンジンが必要とされている。その候補として高速回転している超磁場中性子星（マグネター）が活発に議論されている。マグネター駆動ジェットダイナミクスや残光のフィットなどの研究は精力的に行われているものの、極超新星を作るのに必要な Ni の議論はほとんどなされていない。

我々は、マグネター双極放射駆動の衝撃波の発展とその温度進化を計算し、放出される  $^{56}\text{Ni}$  量を評価した。極超新星を説明するために必要な  $^{56}\text{Ni}$  量を供給するには、マグネターの磁場が非常に強くまた回転も非常に早くなくてはならないことが分かった。本講演では、計算の概要と得られた制限について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J210b      MAXIを用いた短いガンマ線バーストの検出方法の検討

芹野素子 (理化学研究所)、他 MAXI チーム

ガンマ線バースト (GRB) のうち、継続時間が2秒より短いものは、中性子星の連星や、中性子星とブラックホールの連星の合体が起源であるという説がある。このような連星の合体は最も有力な重力波天体の候補であり、2017年頃から稼働すると思われる国内外の重力波天文台が検出した天体のX線・ガンマ線での対応天体を検出するという意味でも、短いGRBの検出は重要になる。

本研究では、既に稼働しているX線観測装置であるMAXIのデータを利用して、どのようにすれば効率良く短いGRBを捉えられるかを検討した。既存の突発天体発見システムでは、最短の時間スケールが1秒であるので、短いGRBを捉えるには向かないと考えられる。実際これまでこのシステムが発見したGRBは長いものばかりであった。MAXIの場合1.5度×160度という広い視野をもつが、バーストの光子は一点からやってくるので、検出器全体の光子イベントを用いて光度曲線を作成してしまうと、有意度は著しく下がってしまう。また、全天を天域ごとに区切った解析を行うと、95%以上の天域はある瞬間には視野外となるので、非常に効率の悪い解析となることは明らかである。

そこで、本研究では、検出器座標-時間の平面内でのX線光子の分布を調べることで、短時間に天球上の一点から多数の光子が来るイベントを検出する方法を考案し、MAXIの48ヶ月分のデータに適用した。実際にみつかったイベントは荷電粒子等のバックグラウンドによるものが大半であり、これらの除去は今後の課題であるが、本物のGRB(ただし長いもの)を検出することもできた。ポスターでは、実際に行った解析や、その結果について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J211b 三次元相対論的 MHD シミュレーションによるガンマ線バーストジェット の安定性の研究

松本仁 (理化学研究所)

ロングガンマ線バーストは大質量星の重力崩壊に伴い星内部で形成された相対論的ジェットから生じると考えられている。ガンマ線の放射機構を解明する上でジェットのダイナミクスや安定性は重要な鍵を握る。ジェットが伝搬する際の星や星周媒質との相互作用を調べる研究は精力的に行われているが、その多くはジェットの伝搬軸に対して軸対称性がかされている。ジェットの非軸対称性はジェットの力学進化にとって本質的である可能性があるにもかかわらず未だ十分には調べられていない。

2013 年秋季年会では、一様媒質中に伝搬する相対論的高温ジェットの非線形ダイナミクスを三次元流体シミュレーションを用いて解き、ジェットの境界で非軸対称性に起因した Rayleigh-Taylor 不安定性および Richtmyer-Meshkov 不安定性が成長する事を示した (J210a)。しかし、これらの不安定性はトロイダル磁場が存在する場合には、その磁気張力により成長が抑えられる可能性がある。またその一方でトロイダル磁場がポロイダル磁場に対し卓越する場合には Kink 不安定性が成長し、ジェット構造を不安定にする可能性がある。

そこで本研究では、三次元相対論的 MHD シミュレーションを用いて相対論的ジェットが星の内部を伝搬する際の安定性を調べる研究を行った。本講演では、磁場を含めた非軸対称性に起因した流体不安定性がガンマ線バーストジェット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](#)

## J212b 新星爆発時に発生する軟 X 線突発現象の探索 (その2)

森井 幹雄, 三原 建弘, 松岡 勝 (理化学研究所), 山岡 均 (九大理) ほか MAXI グループ

全天 X 線監視装置「MAXI」は、約 92 分に 1 回の頻度でほぼ全天の X 線天体を監視しており、X 線突発現象の発見に威力を発揮している。MAXI は、2011 年 11 月に新種の軟 X 突発天体「MAXI J0158-744」を発見し、これがチャンドラセカール限界に近い重量級白色矮星の表面上で発生した新星爆発の点火現象であることを示した (Morii et al. 2013, ApJ, 779, 118; Ohtani, Morii, & Shigeyama 2014, ApJ, 787, 165)。通常の質量を持った白色矮星の場合にも、新星爆発の点火の瞬間にエディントン光度を超える明るい突発的放射が紫外線の領域で放出されることは予測されている。白色矮星の質量が大きいほど、より高温でより明るい放射になる傾向がある。継続時間は数 1000 秒であるため MAXI では 1 スキャン (または 2 スキャン) だけで検出される現象として観測されるはずである。

島ノ江ら (天文学会 2011 年秋) は、2009-2011 年の間に発生した古典新星 19 例中、13 例について探索を行ない (1.5 - 4 keV)、上限値を得た。2014 年秋の天文学会 (森井ほか) では、混み入った領域についても探索を行うため、MAXI/GSC の Point Spread Function を用いたイメージフィットにより光度曲線を作成し、上記の古典新星について再調査を行い、有意な検出が無かったことを報告した。その後、イメージフィットのプログラムに改良を施し、より安定したフィットを実現した。そして、2009 年 8 月から 2014 年 3 月の間に発生した新星爆発 41 例について、軟 X 線閃光の探索を行った (2-4 keV)。可視光新星の増光は数日であるため、可視光での発見の 10 日前から発見時までの間を調べた。確実にフィットが成功したと判断できる 28 天体について、有意に軟 X 線の突発現象を検出することはできなかった (3 シグマレベル以下)。残る 13 例についても探索を継続する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J213a 特異な矮新星 ASASSN-14dx の発見

磯貝桂介, 加藤太一, 大島誠人 (京都大学), Josch Hamsch, Berto Monard (VSNET)

今回発見された ASASSN-14dx はアウトバーストという現象を 100 日以上に渡って示す矮新星である。アウトバーストは通常、長くても 1~2 週間ほどであり、このような天体は前例がない。

矮新星は激変星の一種である。激変星は白色矮星を主星に持つ近接連星系で、軌道周期は数時間と非常に短い。激変星では伴星から主星へと質量輸送が行われており、主星の周りには降着円盤と呼ばれる円盤状のガスが形成されている。矮新星では、降着円盤から主星への質量降着が原因で、アウトバーストと呼ばれる突発的な可視の発光現象を示す。アウトバーストは数等級の増光をし、1~2 週間持続する。

SDSS のデータによれば、ASASSN-14dx の極小光度は 16.3 等 ( $g'$  等級) である。CRTS のデータから、3000 日間はアウトバーストすること無く静穏状態にあったが、2014 年 6 月 25 日、ASASSN のサーベイにより 13.95 等 (V 等級) までの増光が確認された。以来、月に 0.2 等弱の減光をしながら 100 日以上続くアウトバーストを示している。この天体は分光により矮新星と確認されているが、既知の矮新星でこのように長期のアウトバーストを示した天体はない。周期解析を行ったところ、アウトバーストの中に 0.0575071d の double peak の変動が確認された。

増光前の CRTS のサーベイデータを解析すると軌道周期 0.0575060(2)d が得られ、double peak の変動は軌道周期にほぼ一致する。このような変動は WZ Sge 型矮新星の early superhump 現象として知られるが、このように長期の間 early superhump を示した系は前例がない。

この講演では、この天体とその解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

J214a 複数回の再増光をおこす WZ Sge 型矮新星の観測的研究

中田智香子, 加藤太一, 野上大作, 大島誠人, 磯貝佳介 (京大), 前原裕之 (東大), 松本桂, 他大阪教育大チーム (大教大), Elena Pavlenko, Oksana Antonyuk (CrAO), 伊藤弘, 藤井貢, William N. Goff, Shawn Dvorak, Eddy Muylaert, Enrique de Miguel, 他 VSNET Collaboration (VSNET)

WZ Sge 型矮新星は、白色矮星を主星とする連星系 (激変星) の一種であり、軌道周期は 90 分程度と非常に短い。矮新星はスーパーアウトバーストとよばれる長時間持続する増光を示し、この時に降着円盤上の物質は主星に質量降着をおこす。また、スーパーアウトバースト中には軌道周期に近い周期の微小な光度変動が見られ、これをスーパーハンプと呼ぶ。WZ Sge 型の矮新星はスーパーアウトバーストの頻度が非常に低いにも関わらず、一部ではスーパーアウトバーストの直後に続けて複数回の短い増光 (再増光) を示すことが知られている。再増光の機構は未解明であるが、一説として、スーパーアウトバースト後に伴星からの質量輸送率が増加することで再増光をおこすというモデル (enhanced mass-transfer model) が提唱されている。このモデルでは、スーパーアウトバースト直後に降着円盤の半径が急に縮むことが予想されている。我々は、2014 年にスーパーアウトバーストとその後の複数回の再増光を示した WZ Sge 型矮新星の 2 天体、PNV J17144255-2943481 と ASASSN-14cv について国際共同測光観測を行った。2 天体で、多くの WZ Sge 型矮新星の増光直後に見られる、早期スーパーハンプを確認することができた。この早期スーパーハンプの周期は軌道周期とほぼ等しいということが知られている。さらに、近年のスーパーハンプの周期変化に関する解釈を適用し、スーパーハンプ周期から系の質量比を得ることができた。得られた軌道周期や質量比をもとに、スーパーアウトバースト直後の円盤半径を見積もったところ、enhanced mass-transfer model が予想する半径よりも大きな値を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J215a Monte-Carlo シミュレーションによる強磁場激変星の反射 X 線のモデル化

林多佳由, 石田學 (宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構)

強磁場激変星 ( $B_{WD} > 10^5$  G) からの X 線には、衝撃波によって生成されるプラズマからの熱的放射と、これが白色矮星表面で反射された、2つの成分が主に存在する。熱的成分に関しては、流体力学によってプラズマ流の構造を計算し、これを元にした詳細な X 線スペクトルモデルが構築され、白色矮星質量の測定などに用いられている (e.g. Hayashi&Ishida 2014a, b)。一方で、反射成分の詳細なモデル化はされていない。しかし、反射成分はプラズマの幾何学などにより変化し、主に蛍光鉄輝線やその Compton shoulder と、20-30 keV に現れる Compton hump の強度や形状が変化させる。そのため、うまくモデル化できれば、質量測定の高精度化などに利用できる。

そこで我々は強磁場激変星の反射成分を Monte-Carlo シミュレーションによってモデル化した。この時、反射体の形状には、白色矮星を想定して球を仮定し、十分に冷たいとした。また、光源には有限の高さから反射体を照らす、ベキ関数のスペクトルを持つ点源、または流体力学によって算出した、有限の長さや温度や密度分布を持ち、それぞれの高さでの温度や密度に対応したスペクトルを放射するプラズマ流を仮定した。白色矮星表面での X 線の反応には、原子との散乱と光電吸収を考慮し、鉄の蛍光  $K\alpha$  線と  $K\beta$  線に関しては再放射も考慮した。

反射体に十分近いベキ関数スペクトルの光源を仮定した計算では、先行研究 (George&Fabian 1991) と同等の結果を得た。また、有限の高さを持つ光源では、反射体が球であることにより、光源から反射体へ降ろした垂線からの角度が 90 度以上の方向へも反射することが確認された。一方で、蛍光鉄輝線の Compton shoulder の反射角による重心エネルギーの変化はせいぜい 10 eV 以下であった。プラズマ流を光源とした場合には、熱的放射の複雑な構造を反映した反射スペクトルを得ることができ、強磁場激変星の反射 X 線の詳細なモデル化に成功した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## J216a 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

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

超軟 X 線天体は、そのエネルギーのほとんどを  $\sim 0.5$  keV 以下の軟 X 線帯域で放射している天体である。この天体は、伴星からの質量降着率が大い ( $\dot{M} \sim 10^7 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) ために定常的に核燃焼を起こしている白色矮星だと考えられている。その X 線スペクトルは、強いエッジ構造を持つ白色矮星大気からの放射と、多数の輝線成分の重ね合わせで再現できることが知られている。これらの輝線成分は、白色矮星周囲に存在する光電離した ADC (accretion disk corona) からの放射と考えられているが、このスペクトルは定性的なモデルでしか説明できておらず、ADC の物理状態は定量的に解明されていない。

そこで我々は、超軟 X 線天体 CAL87 の X 線スペクトルの放射シミュレーションを行った。CAL87 はアインシュタイン衛星によって発見された大マゼラン雲内の超軟 X 線天体である。この天体は、軌道傾斜角が大きいため中心天体からの直接放射成分は降着円盤によって常に遮られており、ADC によって散乱された X 線が支配的なスペクトルを持つ。そのため、ADC の物理状態を探るのに最適である。そこで我々は、モンテカルロ法を用いた放射計算コード「MONACO」を用いて ADC 内での光子の動きをシミュレーションし、CAL87 の X 線スペクトルを作成した。「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。そして、この結果を XMM-Newton 衛星の RGS 装置によって得られた実際の観測データと比較し、ADC のジオメトリ、温度、イオンの電離度等の物理パラメータを推定した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## J217b      **WZ Sge 型矮新星 ASASSN-14jv の CCD 測光観測**

小木美奈子，大谷徳紀，石橋咲子，田邊健茲 (岡山理科大学)，今村和義 (岡山理科大学/岡山天文博物館)

WZ Sge 型矮新星は、SU UMa 型矮新星のサブクラスのひとつである。この WZ Sge 型矮新星は他の SU UMa 型矮新星よりも supercycle が数十年と長く、superoutburst の増光幅が大きく、しかも軌道周期 ( $P_{orb}$ ) が 80 分前後と他のサブクラスに比べると短いという特徴を持っている。そして superoutburst の間に normal outburst がない、あるいはごくわずかしが観測されないという性質も併せて持つ。

ASASSN-14jv はこと座に位置する天体で、ASAS-SN(All-Sky Automated Survey for Supernovae) によって 2014 年 11 月 7.2 日に増光が検出された。そのときの等級は 15.7 等よりも明るく、11 月 9 日には 11.3 等まで増光した。なお、この天体の静穏期は 19.2 等である。今回、我々 OUS 観測チームは 11 月 10 日から 27 日の合計 12 夜、None フィルターによる連続測光を行った。使用した機材は 23.5cm SC 反射望遠鏡、SBIG 社の冷却 CCD カメラ ST-9XE である。

その結果、観測初期に early superhump と見られる小さな変動が得られた。その後 11 月 20 日以降には、およそ 0.05 等の振幅を持つ主要な superhump が見られた。今回の発表では、得られた光度曲線とその周期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](#)

## 【K. 超新星爆発】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [H会場]

<b>K01a</b>	13:00	Magnetar および Collapsar モデルに基づく r-process 元素合成—ニュートリノ吸収の影響 藤本信一郎(熊本高専)
<b>K02a</b>	13:12	collapsar の粘性アウトフローにおける r-process 元素合成 福田遼平(九州大学)
<b>K03a</b>	13:24	極超新星における大質量原始中性子星からの neutrino-driven wind と weak r star 組成 藤林 翔(京都大学)
<b>K04a</b>	13:36	重力崩壊型超新星内部の流体力学的不安定性と重力波の解析 犬塚慎之介(早稲田大学)
<b>K05a</b>	13:48	SASI under non-spherical accretion flows 高橋和也(早稲田大学)
<b>K06a</b>	14:00	超新星前兆ニュートリノの放出率及びその観測可能性 加藤ちなみ(早稲田大学)
<b>K07a</b>	14:12	超新星爆発前後での連星系の生存可能性 平井遼介(早稲田大学)
<b>K08a</b>	14:24	ペア不安定型超新星爆発の網羅的 Yield 計算 高橋 亘(東京大学)
<b>K09a</b>	14:36	重力崩壊型超新星になる軽い CO 星の進化 吉田 敬(京都大学)
<b>K10a</b>	14:48	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 谷森 達(京都大学)

3月19日(木)午前(09:30-11:30) [H会場]

<b>K11a</b>	09:30	「すざく」を用いた Ia 型超新星 SN2014J の硬 X 線観測 寺田幸功(埼玉大学)
<b>K12a</b>	09:42	LASSO に基づいた Ia 型超新星の極大等級の変数選択 植村 誠(広島大学)
<b>K13a</b>	09:54	X 線観測で明らかにしたケプラーの超新星の最大光度と周辺環境 勝田 哲(宇宙航空研究開発機構)
<b>K14a</b>	10:06	超新星残骸の観測で迫る Ia 型超新星の親星問題 山口弘悦(メリーランド大学/NASA ゴダードスペースフライトセンター)
<b>K15a</b>	10:18	IIP 型超新星 SN 2014cx の観測的性質と他の IIP 型超新星との相関関係について 福嶋大樹(大阪教育大学)
<b>K16a</b>	10:30	マグネター 1E 2259+586 と付随する超新星残骸 CTB109 の親星質量 中野俊男(東京大学)
<b>K17b</b>	10:42	超新星親星のインフレーションがショックブレイクアウトに与える影響 守屋 堯(ボン大学)
<b>K18c</b>		超新星スペクトルのモデリング 岩本弘一(日本大学)

## K01a Magnetar および Collapsar モデルに基づく r-process 元素合成-ニュートリノ吸収の影響

藤本 信一郎 (熊本高専), 小野 勝臣, 橋本 正章 (九州大学)

中性子星およびブラックホール (BH) へと重力崩壊する高速回転大質量星に基づくガンマ線バーストの中心エンジン・モデルはそれぞれ Magnetar および Collapsar モデルと呼ばれ、ロングガンマ線バーストの有望なモデルと考えられている。

我々は、2014 年春季年会において、ニュートリノ輸送を Leakage スキームで近似し、電子比  $Y_e$  の進化を考慮した 2 次元磁気流体コードを用いて、 $25M_{\odot}$  Magnetar および  $40M_{\odot}$  Collapsar の重力崩壊・磁気駆動ジェット形成の数値実験を行ない、Magnetar および Collapsar モデルに基づく r-process 元素合成を調査した。その結果、以下のことを示した;  $40M_{\odot}$  Collapsar モデルでは、非常に中性子過剰 (電子比  $Y_e < 0.25$ ) なガスが放出され、3rd peak (質量数  $A \sim 195$ ) を超える元素が形成される。一方、 $25M_{\odot}$  Magnetar モデルの場合、やや中性子過剰 ( $Y_e > 0.3$ ) なガスのみが放出され、3rd peak 以下の元素のみが形成される。

本研究では、2014 年春季年会に引き続き、Magnetar および Collapsar モデルに基づく r-process 元素合成を調査した。ただし前回の春季年会の時点では見積もりに留まっていた元素合成へのニュートリノ吸収の影響を定量的に考慮し、ジェットの化学組成を計算した。その結果  $40M_{\odot}$  Collapsar モデルにおいて、ニュートリノ吸収の影響により  $Y_e$  は多少増加するものの、降着円盤から放射されるニュートリノ光度が低い ( $\sim 10^{52} \text{erg s}^{-1}$ ) ため、非常に中性子過剰 ( $Y_e < 0.25$ ) な状態は維持され、3rd peak を超える元素が大量に ( $> 0.01M_{\odot}$ ) 合成、放出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](#)

## K02a      collapsar の粘性アウトフローにおける $r$ -process 元素合成

福田遼平, 小野勝臣, 橋本正章 (九州大学), 長瀧重博, 滝脇知也 (理研)

鉄より重い元素のおよそ半分は早い中性子捕獲過程である  $r$ -process によって合成される。現在  $r$ -process 元素の起源となる天体現象として、中性子星合体や超新星爆発時のニュートリノ風、磁気回転駆動型超新星が挙げられている。近年、銀河ハローの金属欠乏星の観測や銀河進化のシミュレーションにより、前述の天体現象では説明できないような観測があるとわかった。本研究では、新たに collapsar の降着円盤から粘性加熱によって駆動されるアウトフローを提案する。これは  $M \gtrsim 25M_{\odot}$  の高速回転する星が重力崩壊時にブラックホールと降着円盤の系を作って爆発するというもので、降着円盤内で起きる電子捕獲によって  $r$ -process が進みやすい中性子過剰な環境を作られ、さらに粘性によって加熱されることでアウトフローとして放出される可能性がある。流体シミュレーションでは、アウトフローは星の回転のパラメータに非常に敏感であったが、放出が起きたモデルについてはおよそ太陽質量程度の物質が放出されていた。このうちの1%の物質が  $r$ -process 元素になると、中性子星合体や磁気回転駆動型超新星1回あたりと同程度の量を放出できることになる。放出物質について約4000核種の  $r$ -process ネットワーク計算を行い、生成される組成比を調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a 極超新星における大質量原始中性子星からの neutrino-driven wind と weak  $r$  star 組成

藤林翔 (京大理), 関口雄一郎, 吉田敬 (京大基研)

近年の金属欠乏星の観測の結果、weak  $r$  star と呼ばれる、表面の元素組成が太陽系の  $r$ -process 組成と著しく異なる星が存在することがわかってきた。我々はこれまでに、極超新星時の大質量原始中性子星から放出される neutrino-driven wind における重元素合成を計算し、weak  $r$  star の一つである HD122563 の元素組成をこの wind model で説明できることを示した。weak  $r$  star の組成を創りだした現象が極超新星時の neutrino-driven wind であれば、この結果からその極超新星の元となった星の質量などへの制限が期待できる。更に、極超新星の最も中心に近いところで起こる元素合成過程の詳細を知ることによって、極超新星の爆発メカニズムに迫る事ができる可能性がある。本講演では、neutrino-driven wind の解の構成について述べ、モデルの原始中性子星の質量やニュートリノ光度などに対する依存性について述べた後、このモデルを用いて weak  $r$  star の一つである HD122563 の元素組成を説明できることを見る。また、近年の観測により明らかにされたいくつかの weak  $r$  star の組成を大質量原始中性子星からの wind における重元素合成によって説明できるかについても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K04a 重力崩壊型超新星内部の流体力学的不安定性と重力波の解析

犬塚慎之介 (早稲田大学), 岩上わかな (京都大学基礎物理学研究所), 山田章一 (早稲田大学)

現在天文・天体物理学の大きな注目を集める重力波は未だ直接検出されていない。重力波が検出されれば、観測分野だけでなく理論分野にも大きな発展をもたらすことが期待されるため、重力波天体の詳細な理論的研究の重要性は観測機器の開発の進展とともに高まっている。

重力波源の一つと考えられる重力崩壊型超新星の爆発機構についてはこれまで様々な理論的研究がなされているが、星内部での衝撃波の停滞など未解決の問題が多く残されており、爆発現象の完全な理解には至っていない。磁場、回転、流体力学的不安定性などの非球対称な現象の効果の解明に向けて多くのグループで多次元シミュレーションを利用した研究が盛んに行われている。

このような状況の中で本研究では、重力崩壊型超新星内部のコア付近で発生する重力波に着目し、星内部の流体力学的不安定性が重力波の放射に与える影響を調べることを目的とする。重力波の大半が放出されると考えられる原始中性子星近傍の高密度領域を計算領域に含め、この領域におけるニュートリノ加熱・冷却の効果を考慮した流体シミュレーションを行った。コアバウンス後の流体力学的不安定性の変化を観察し、不安定性の発現パターンをモード解析により特定した。さらにコア付近で発生する重力波の振幅を各モデルに対して求めた。こ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](#)

## K05a SASI under non-spherical accretion flows

高橋和也, 山本佑 (早稲田大), 山田章一 (早稲田大)

重力崩壊型超新星爆発における停滞衝撃波の復活メカニズムとして最も有力視されるものの1つに、ニュートリノ加熱メカニズムがある。これは、原始中性子星から放出されるニュートリノが衝撃波下流の流体にエネルギーを与えることで衝撃波を復活させるというものである。このニュートリノ加熱効率を上げ、衝撃波復活に大きく寄与すると考えられているのが、定在降着衝撃波不安定性 (Standing Accretion Shock Instability: SASI) と呼ばれる多次元の流体不安定性である。

これまでのSASIの先行研究では衝撃波上流を球対称定常流と仮定していた。しかし、実際の重力崩壊直前の親星の構造は、シリコン層・酸素層の核燃焼由来の対流によって球対称から著しくずれることがArnettらによる一連の数値計算 (e.g. Arnett & Meakin 2011) によって示されている。また最近、親星が非球対称な構造を持ち衝撃波上流が非球対称非定常になる場合の数値計算が Couch & Ott (2013, 2014) や Müller & Janka (2014) によって行われ、非球対称な擾乱の有無によって衝撃波復活の成否に違いが出ることが示された。従って、親星の非球対称性とその流体不安定性への影響が、爆発メカニズムにとっての重要な要素の1つとして近年着目されている。

上記背景の下で我々は、より現実的な状況である非球対称非定常流を考慮したSASIの線形解析を行った。実際にはSASIは非線形領域まで成長し得るが、線形成長段階の振る舞いを明らかにすることで、超新星研究に不可欠な大規模数値計算の解析を行う際の基礎を与えることを狙いとする。本講演ではその手法と解析結果についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K06a 超新星前兆ニュートリノの放出率及びその観測可能性

加藤ちなみ (早稲田大学)

$8M_{\odot}$  以上の大質量星は一生の最期に超新星爆発を起こす。その超新星爆発の機構は、恒星進化理論によって予想されているが未だに多くの謎を残している。爆発を起こす親星の構造もその一つであり、中心核における電子の縮退によって「鉄コア崩壊型」と「電子捕獲型」の2種類があると予想されている。これらの予想を確かめるためには観測が必要であるが、電磁波の観測では高密度である中心核で散乱を多く受けてしまい、出てくるまでに時間がかかる上、直接的に内部情報を得ることはできない。そこで期待されているのが、ニュートリノの観測である。ニュートリノは高密度の中心部から多く放出され、エネルギーを大量に持ち去るため、構造や爆発機構にも大きく影響する。さらに、反応断面積も小さいためほとんど散乱を受けずに出てくる。つまり、この超新星前のニュートリノを観測することで、親星の熱力学的構造を直接観測でき、2種類ある親星の構造の違いが確認できると考えられる。本研究では、前兆ニュートリノの放出率を計算し、現在稼働しているニュートリノ観測装置 (スーパーカミオカンデ、KamLAND など) を用いてその観測可能性を見積もる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K07a 超新星爆発前後での連星系の生存可能性

平井遼介、澤井秀朋、山田章一（早稲田大学）

近い将来に重力波の検出が期待される中性子星連星や、コンパクト星と他の星（白色矮星、主系列星、赤色巨星 etc）との連星系である X 線連星など、コンパクト星を含むような連星系は多様な活動性を示し、注目度も高い。そのような連星系の形成に際し、コンパクト星を含んでいることから系が一度は重力崩壊型超新星爆発を経験している必要がある。また、高い活動性を示す連星は近接連星系であるため、爆発時の連星間距離も短いと考えられる。連星間距離が短いような連星系において超新星爆発が起こると、主星の質量損失による連星軌道の変化に加え、爆風が伴星に与える効果によってその後の進化に影響を与える可能性がある。爆風が伴星を吹き飛ばす効果や、質量を剥ぎ取る効果によって系が壊れやすくなるためである。これらの効果は特定の連星パラメータにおいて重要であることが従来の計算で明らかになっている。しかし、連星進化の末できるような現実的な系に関してはまだ調べられていない。

今回我々はコンパクト連星形成に向け、超新星爆発後も連星系が生き残るための条件を探った。まず、連星進化コードを用いて様々な条件設定で進化計算を行い、近接連星系を作るためのパラメータ領域を調べた。さらに、そのような近接連星に関して超新星爆風が伴星へ与える影響を流体シミュレーションによって評価した。爆発前後での軌道要素の変化を調べることで系としての生存可能性を見積もった。本発表ではこれらの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K08a ペア不安定型超新星爆発の網羅的 Yield 計算

高橋亘、梅田秀之（東京大学）、吉田敬（京都大学）、住吉光介（沼津高専）、山田章一（早稲田大学）

超大質量の CO コア（70-130  $M_{\text{sun}}$ ）を持つ星は、進化の最期にペア不安定型超新星爆発（PISN）と呼ばれる爆発を引き起こす。進化の最期まで巨大な CO コアを保つためには、誕生時の大きな初期質量と進化中の小さな質量放出の両者が必要である。この二条件が低金属環境に期待できるため、これまで PISN の Yield 計算は金属を持たない初代星に限定されていた。しかし恒星が金属を含む近傍宇宙であっても、PISN は存在できるかもしれない。実際大マゼラン雲には、300  $M_{\text{sun}}$  を超える超大質量主系列星が観測されている。また大質量星の質量放出率には不定性が大きく、その値も十分に小さい可能性がある。

PISN の放出する多量の金属は特異な組成を持つため、化学進化に大きな影響を与えると期待できる。我々は初代星に限らない PISN の放出物組成を得る事を目標に、幅広い金属量（0-0.1  $Z_{\text{sun}}$ ）の PISN を計算している。主系列以降炭素燃焼の開始までの準静的進化は、恒星進化コードを用いて計算した。星が不安定になり力学的に進化する過程は、新たに核反応ネットワークを取り入れた陰的流体力学コードを用いて計算した。爆発計算の結果、PISN の放出する鉄の量は、時間・空間分解能、及び考慮する核種数に大きく依存することが判明した。本研究では爆発時の核反応によるエネルギー生成を適切に追った、高精度の PISN Yield 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](#)

## K09a 重力崩壊型超新星になる軽いCO星の進化

吉田敬 (京都大), 高橋亘 (東京大), 梅田秀之 (東京大)

Electron capture 超新星になる星よりもわずかに重い星は最終的に鉄コアを形成し超新星爆発を起こすと考えられているものの、炭素燃焼以降の進化はより重い星とはいくらか異なる。また、Ic型超新星の中には比較的軽い親星が爆発したと考えられるものもあり、これらの星は連星進化中の質量放出により比較的軽いCO星になった後で超新星爆発を起こしたと考えられる。これらのCO星で形成される鉄コアはより重い星で形成される鉄コアより小さく、形成される原始中性子星への物質降着の効果も普通の重力崩壊型超新星より小さい。そのためこれらCO星は重力崩壊型超新星になるものの爆発エネルギーなどの性質はより重い鉄コアを作る星とは異なる可能性がある。本研究では1.45 - 2 太陽質量のCO星の炭素燃焼から重力崩壊に至るまでの進化を数値的に求め、COコア質量に対するこれらの星の進化と超新星 progenitor の構造の依存性について調べた。

今回計算されたCO星ではいずれの星も炭素燃焼は中心から始まった。一方でネオン燃焼以降の燃焼過程の燃焼開始点や次の燃焼が起こるまでに燃焼面が中心に達するか否かなどの後期進化はCO星の質量に依存した。そしていずれのCO星も最終的には鉄コアを形成し重力崩壊した。今回の計算で形成された鉄コアの質量は1.32 - 1.41 太陽質量の範囲となった。発表では1.45 - 2 太陽質量のCOコアの炭素燃焼から重力崩壊に至るまでの進化を示すとともに、COコア質量に対する最終的な星の構造の依存性を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10a      **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**

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 松岡佳大, 古村翔太郎, 小田真, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 宮本奨平, 窪秀利, 水本哲矢, 園田真也, 友野大, Parker Joseph, 岩城智, 澤野達哉, 中村輝石 (京都大学), 身内賢太郎 (神戸大学)

我々は MeV ガンマ線天文学を開拓するために電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) を開発し、これまで SMILE-II 気球実験の準備状況を飛翔体セッションで報告してきた。ETCC は MeV ガンマ線のコンプトン散乱事象を完全に再構成することが可能で、従来型のコンプトンカメラと比べて、イベント毎のガンマ線到来方向決定、コンプトン運動学のテストおよび粒子識別によるイベント完全性担保が可能であり、強力なバックグラウンド除去能力を持つ。陽子ビームを用いた宇宙放射線環境試験にて、ETCC は雑音事象を高効率で除去できることが証明でき、他の検出器では困難な MeV ガンマ線の広視野高感度観測の実現性がある。

現在、Ia 型の超新星爆発は白色矮星の熱核爆発だと考えられている。主に、白色矮星に巨大な伴星から物質が降着しチャンドラセカール限界に達し爆発する SD モデルと、白色矮星同士の連星系が重力波放出により角運動量を失い融合し、一気にチャンドラセカール限界を超え爆発する WD モデルが提案されているが、どちらのモデルも可視光で似た観測的特徴となり、その爆発過程は解明されていない。

近年、ガンマ線観測による Ia 型超新星の爆発過程診断法が提案され (A. Summa, et al., 2013) 我々の将来計画で高統計に Ia 型超新星の爆発過程が解明できることが判明した。本講演では、ETCC 現行機による核分光観測の試みに加え、Ia 型超新星が ETCC 将来機でどのように観測され爆発過程の特定に至るか報告する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## K11a 「すざく」を用いた Ia 型超新星 SN2014J の硬エックス線観測

寺田幸功 (埼玉大)、前田啓一 (京大)、玉川徹 (理研)、馬場彩 (青学)、高橋忠幸 (ISAS)、深沢泰司 (広大)、榎戸輝揚 (理研)、勝田哲 (ISAS)

Ia 型超新星は、極大時の可視絶対等級を精度よく決めることができるため、標準光源として銀河系外天体の距離測定にひじょうに有効で、宇宙論には欠かせない天体である。しかし、その起源が「白色矮星と主系列星あるいは赤色巨星の連星」なのか「白色矮星同士の連星」なのかさえ決着がついていない。ゆえに、爆発理論モデルの不定性が、距離測定における系統誤差の主要な一因である。Ia 型超新星からの光は主に爆発時に生成された放射性重元素  $^{56}\text{Ni}$  が加熱したものと考えられるため、硬 X 線帯域で直接に  $^{56}\text{Ni}$  由来の X 線光度を精密に測定すれば、原理的に両説の区別が付くはずである。2014 年 1 月に、SN1986 以来 30 年弱ぶりに近傍の Ia 型超新星 SN2014J が出現した。そこで、爆発から 2 ヶ月後、爆発物が核ガンマ線に対して晴れわたる時期に X 線観測衛星「すざく」の緊急観測を発動し、「すざく」に搭載された硬 X 線検出器を用いて SN2014J からの硬 X 線の検出を試みた。結果、感度ギリギリのレベルながら、過去の同領域の観測には見られない硬 X 線の信号が検出された。その有意性は、硬 X 線検出器の系統誤差を注意深く見積もり検証する必要があるものの、Ia 型超新星の起源の二説に観測的な制限を与える観測となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K12a LASSO に基づいた Ia 型超新星の極大等級の変数選択

植村誠, 川端弘治 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 前田啓一 (京都大学)

Ia 型超新星の極大等級がその母銀河までの距離の指標となり、宇宙論において重要な役割を果たすことは良く知られている。測定されたみかけの等級を距離指標として使うためには、観測された色指数と減光速度で絶対等級を補正する必要がある。さらに、これら 2 つの観測量の他にも吸収線や母銀河の情報などが極大等級の説明変数として提案されてきた。最近では、スペクトルの任意の波長間のフラックス比を全て考慮し、最も効果的な変数を探す研究も行われている。このように説明変数の候補が増えていく一方で、極大等級を推定するモデルの汎化誤差を最小にするような変数の組み合わせをデータから客観的に選択する解析手法が求められる。

そこで我々は統計学や機械学習の分野で研究されてきた「変数選択」の手法をこの問題に応用した。今回提案する手法では、罰則項として説明変数の 1 次ノルムを考える LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) に基づいて変数を選択し、交差検定によって汎化誤差が最小となるモデルを決定する。この手法を使うことで、説明変数の数がデータサンプルの数より多い場合でも、データから最良な変数の組を決定することができる。データサンプルはカリフォルニア大学バークレー校の超新星研究グループが提供しているデータベースから、直近の先行研究と同じ条件で天体を選び、78 天体のサンプルを用いた。説明変数には正規化されたスペクトルや先行研究で提案されたフラックス比など約 280 個を含めた。解析の結果、Ia 型超新星について以前からよく知られた性質、1) 色指数と減光速度が極大等級の最も良い説明変数の組み合わせとなること、2) Si II の吸収線と減光速度に相関関係があること、が確認された。また、今回のサンプルでは、先行研究で提案されていたフラックス比などの他の変数を加えてもモデルの予測性能が有意には改善しないことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K13a X線観測で明らかにしたケプラーの超新星の最大光度と周辺環境

勝田 哲 (ISAS/JAXA), 森 浩二 (宮崎大), 前田啓一 (京都大), 田中雅臣 (国立天文台), 小山勝二 (大阪大, 京都大), 常深 博 (大阪大)

宇宙の加速膨張を突き止めた Ia 型超新星 (Ia SN) は、宇宙で最も明るい高精度の標準光源として、天文学上きわめて重要な役割を果たしている。ところが、爆発を起こした親星が未だに同定されておらず、その解明に向け、観測・理論両面から熱心な研究が続けられている。近年ホットな研究の一つが、超新星の周辺環境を探ることで親星に迫ろうとする試みである。最近の SN 観測では、渦巻銀河の約 1/4 の Ia SN に、親星がかき乱した「星周物質 (CSM)」が確認されている。特に CSM 量が多い場合には  $H\alpha$  輝線が検出される。Ia-CSM などと呼ばれるタイプで、overluminous Ia が、爆発の数日から数十日後から、重い CSM と衝突する現象と考えられている。

ケプラーの超新星 (SN 1604) は、CSM との相互作用が確認されている珍しい Ia SNR である。CSM は SNR 北部から中心に散らばる clumpy な構造として観測される。その固有運動 (数  $100 \text{ km s}^{-1}$ ) が SN 衝撃波に比べ遙かに遅いため、爆発の数万年前に親星から放出された物質と考えられている。我々は、「すざく」「ニュートン」「チャンドラ」を総動員し、ケプラーの超新星残骸を詳細に観測・解析した。その結果、爆発噴出物の Fe/IME 質量比が、Tycho's SNR(light-echo $\Rightarrow$ normal Ia) の 3 倍、0509-67.5 SNR(light-echo $\Rightarrow$ overluminous Ia) と一致することを発見した。これは、ケプラーの超新星が  $^{56}\text{Ni}$  に富む overluminous Ia であったことを強く示唆する。また、CSM は、高密の clump 成分 ( $\sim 0.1 M_{\odot}$ ) だけでなく、広範囲に淡く広がる成分の寄与も大きい ( $\sim 1 M_{\odot}$ ) ことが判った。拡散 CSM 成分から推定した質量放出率  $3 \times 10^{-5} (v_{\text{wind}}/10 \text{ km s}^{-1}) M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  は、AGB 星の星風の典型値と概ね一致する。本講演では、overluminous Ia と Ia-CSM の類似性、及びその親星について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K14a 超新星残骸の観測で迫る Ia 型超新星の親星問題

山口 弘悦 (メリーランド大), 前田 啓一, 信川 正順, 小山 勝二 (京都大)

白色矮星の爆発によって生じる Ia 型超新星は、宇宙論の研究においても重要な天体現象でありながら、その素性には未だ不明な点が多い。特に近年は、白色矮星と非縮退な星の連星系 (single degenerate; SD) を起源とする説と、白色矮星同士の連星 (double degenerate; DD) を起源とする説のそれぞれを支持する理論・観測が乱立しており、親星に関する論争は激しさを増している。本講演では、銀河系内に存在する Ia 型超新星の残骸から親星の性質を決定する、いくつかの新しい手法を報告する。

(1) イジェクタの電離状態は、残骸のダイナミカルな進化段階や爆発前の星周物質 (CSM) 密度を制限する手がかりとなる。我々は、超新星残骸の X 線スペクトルから鉄イオンの電離度を系統的に調べた。その結果、複数の Ia 型超新星残骸において、爆発前に形成された CSM、あるいは wind-blown cavity が存在した傍証が見出された。親星周辺に複雑な CSM 構造を作るためには伴星からの質量降着や星風が必要なため、これらの天体は SD 起源である可能性が高い。

(2) 上記の手法によって SD 的な残骸に分類された 3C397 について、赤外線 (Spitzer) と X 線 (すざく) による詳細な分析を行った。赤外線の輝度から星周密度を決定し、イジェクタ全体が逆行衝撃波によって既に熱化されていることを明らかにした。一方、X 線スペクトルから非常に強い Mn と Ni (安定核) の輝線を検出した。これらは超新星爆発の際に電子捕獲反応が起こった強い証拠である。爆発時の電子捕獲は、チャンドラセカール質量に近い白色矮星の高密度コアでのみ実現する。従ってこの観測結果は、3C397 の親星が、伴星からの質量降着によって成長した単一の白色矮星、すなわち SD であることを強く示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K15a IIP型超新星 SN 2014cx の観測的性質と他の IIP 型超新星との相関関係について

福嶋大樹、松本桂、増本一成（大阪教育大学）、山中雅之（甲南大学）

SN 2014cx は 2014 年 9 月 2 日 (UT) に板垣公一氏によって、近傍銀河 NGC 337 にて発見された II 型超新星である。大阪教育大学観測チームは、発見日当日の夜からこの超新星の継続した観測を開始し、現在も鋭意観測中である。その測光解析の結果から、爆発初期に多色にて撮像を開始できたことが判明し、また SN 2014cx が IIP 型超新星であることが明らかとなった。現在は plateau phase を進行中でいまだ急減光期到達していない (2014 年 12 月 5 日現在)。

多くの IIP 型超新星はその plateau phase における等級や期間の長さ、tail phase における等級などについての様々な相関比較がなされており (Anderson et al. 2014; Faran et al. 2014 等)、今後は plateau phase の長さを推定すべく急減光期に特に焦点を当て、観測を続ける予定である。これにより本研究においてもそれらに倣った相関比較を行う。これまでの SN 2014cx における光度曲線の研究から、立ち上がりは SN 2006bq や SN2009bw と類似しており、plateau phase においては SN 2012aw と類似していることがわかっている。本発表ではこれら他の IIP 型超新星との比較を軸にしながら、SN 2014cx の物理量的特徴などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K16a マグネター 1E 2259+586 と付随する超新星残骸 CTB109 の親星質量

中野俊男, 村上 浩章, 古田祿大, 平賀純子 (東大理), 牧島一夫 (東大理/理研), 金田英宏 (名大), 内山秀樹 (静大), 榎戸輝揚 (理研/NASA)

これまでマグネターは非常に強力な磁場を持つ特殊な中性子星と考えられてきたが、その発見数は既に、候補天体を含め、30天体近くにも達し [1]、現在も年に1, 2個程度のペースで増え続けている。こうした背景から、マグネターは中性子星の中で重要なポピュレーションを占めると考えられるようになり [2]、それらがどのような親星や超新星に由来するか、が次の大きな課題となりつつある。若い巨星集団との関連から SGR 1806-20 や CXOU J164710.2-455216 の親星は質量  $30M_{\odot}$  以上の大質量星 [2][3] という報告がある、一方で SGR 1900+14 の親星質量は  $17M_{\odot}$  [3] という推定もある。また、いずれも間接的な推定に留まっている。

我々は、親星の質量をはじめとした、その生成条件を探るため、「すざく」を用いてマグネター 1E 2259+586 と付随する超新星残骸 (SNR) CTB 109 の広範囲観測を行った。CTB 109 の X 線スペクトルは広範囲で、これまでの報告 [5] と同じく、温度  $\sim 0.25$  keV と  $\sim 0.6$  keV の 2 温度のプラズマモデルで表される事が確認され、それらは低温成分がシェルを形成し、高温成分がその内側に閉じ込められた、典型的な SNR 構造を成すことが分かった。スペクトル強度から高温成分の密度は  $\sim 0.3$   $\text{cm}^{-3}$  と推定され、その全プラズマ質量は  $\sim (32 - 46) M_{\odot}$  と見積もられる。空間構造から高温成分は 1E 2259+586 の親星に由来すると考えられ、大質量星がマグネターの親星と成り得る直接的な結果を得た。

[1] Olausen and Kaspi 2014, [2] Nakano et al. PASJ in press, [3] Figer et al. 2005, [4] Munro et al. 2006, [5] Davies et al. 2009, [6] Sasaki et al. 2013

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K17b 超新星親星のインフレーションがショックブレイクアウトに与える影響

守屋堯, Debashis Sanyal, Norbert Langer (ボン大学)

ショックブレイクアウトとは、超新星爆発の際に親星中を伝わる衝撃波が親星の表面に到達した際に超新星が一気に明るくなる現象である。ショックブレイクアウトの継続時間は、星の半径の光路差から  $\sim R_*/c$  であると考えられている ( $R_*$  は親星の半径、 $c$  は光速)。親星がウォルフ-ライエ星の場合、ウォルフ-ライエ星の典型的な半径 ( $\sim 1 - 10$  太陽半径) から、ショックブレイクアウトの継続時間は  $\sim 1 - 10$  秒であると予想される。一方で星がエディントン光度に近くなると、その外層が非常に広がり (インフレーションを起こし)、inflated envelope と呼ばれる非常に密度の低く広がった外層ができる可能性がある (例えば Ishii et al. 1999, Petrovic et al. 2006)。我々は、エディントン光度に近く、inflated envelope を持つウォルフ-ライエ星の爆発の際のショックブレイクアウトの持続時間が、inflated envelope の存在によって非常に長くなることを示した。このため、数太陽半径のウォルフ-ライエ星の爆発であっても、100 秒以上の持続時間を持つショックブレイクアウトが観測されうることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## K18c 超新星スペクトルのモデリング

宮崎龍一，岩本弘一（日本大学）

超新星は可視光スペクトルにより分類されているように，そのスペクトルは爆発した星の性質，爆発の機構，爆発時に合成される元素などについて，多くの情報を含んでいる．観測される超新星の数も増え，Ia型超新星などは宇宙論的な距離決定に利用されることもあるため，爆発モデルを正確に反映し放射スペクトルを計算することは重要である．超新星のスペクトル計算では，光球面が存在する photospheric phase においては，放射輸送を解くことに重点をおき電離平衡などは Saha の式で近似的に決定されることが多い．また，光学的に薄くなった nebular phase においては，電離平衡はできるだけ正確に解くが放射輸送の効果は小さいのでほとんど考慮されていない．しかし，この二つの時期の境界は超新星のモデルに大きく依存し，遷移期の超新星スペクトルも重要な情報を含んでいる．そのため，初期の光学的に厚い時期から後期の光学的に薄い時期までを通して，電離平衡と放射輸送を正しく取り扱うことが望ましい．我々は，放射輸送方程式と電離平衡の式を連立して解くことにより超新星の放射スペクトルの計算を行った．放射輸送にはモンテカルロ法を用い，電離平衡の決定には，電子衝突および光による電離，再結合，そして非熱的な高エネルギー電子による電離などを考慮している．現在，単純化された爆発モデルに対し，テスト計算を行っており，その結果の一部について報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【L. 太陽系】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [F会場]

L01a	13:00	2012年10月りゅう座流星群のMUレーダーヘッドエコー観測	藤原康徳(総合研究大学院大学/極地研)
L02a	13:12	2014年ほうおう座流星群の遠征観測	渡部潤一(国立天文台)
L03a	13:24	ほうおう座流星群の観測結果から推測する母天体 289P/Blanpain の彗星活動の遷移	佐藤幹哉(かわさき宙と緑の科学館)
L04b	13:36	2014年ほうおう座流星群の放射点について	土屋智恵(放送大学)
L05c		2014年ほうおう座流星群の流星痕について	戸田雅之(日本流星研究会)
L06c		低速流星に出現した流星痕	比嘉義裕(ひが企画/日本流星研究会)
L07b	13:36	ジャック彗星(C/2014 E2 (Jacques))の偏光撮像観測	古荘玲子(都留文科大学/国立天文台)
L08b	13:36	Lovejoy彗星(C/2013 R1)のプラズマの尾の高速な形状変化	八木雅文(国立天文台)
L09a	13:48	C/2013 R1(Lovejoy)彗星ガス輝線へのAbel変換の適用	長谷川 隆(群馬県立ぐんま天文台)
L10a	14:00	黄道光ダストの起源についての宇宙塵の物質科学からのアプローチ	光成拓也(茨城大学)
L11a	14:12	衛星および地上観測による小惑星の含水鉱物探査	臼井文彦(東京大学)
L12a	14:24	小惑星4ベスタの衝効果の観測	長谷川 直(宇宙航空研究開発機構)
L13a	14:36	「あかり」中間赤外線全天diffuseマップを用いた黄道光のモデリング	近藤 徹(名古屋大学)
L14b	14:48	「あかり」遠赤外線拡散光全天マップに見られる黄道光微細構造 IV	大坪貴文(東京大学)

L01a            **2012年10月りゅう座流星群のMUレーダーヘッドエコー観測**

藤原康徳（総研大, 極地研）, Johan Kero, Csilla Szasz(IRF)、中村卓司（極地研）、阿保真（首都大学東京）

10月りゅう座流星群は、21P/Giacobini-Zinner 彗星を親天体とする流星群で、1933年、1946年にはZHR10,000を上回る流星嵐をおこしたことで知られている。

近年、親彗星からのダスト（流星体）放出とそのダストの軌道変化を計算でシミュレーションすることによりその彗星からのダストの地球近傍での分布を求め、それによる流星群の出現予報が行われている。この方法により、2011年には、Giacobini-Zinner 彗星からの流星群の活発な出現が予報され、実際の観測とよい一致をみた。

2012年には、この彗星からのダストは地球に大きく近づくことはなく、活発な出現があることは予報されていなかった。我々は、2012年10月8日～10日に大型大気レーダーであるMUレーダー（京都大学生存圏研究所：甲賀市滋賀県）でヘッドエコーモードによる電波観測を実施した。10月8日の13時～20時（UT）に、10月りゅう座流星群の活発な活動を捉えた。

活動の中心時間帯（13-20時UT）での51個の流星からの平均輻射点は、赤経  $=262.5$  度、赤緯  $=+55.8$  度、地心速度  $V_g=20.6\text{km/s}$  であった。発表では、2011年のMUレーダーでのヘッドエコー観測結果（Kero et al. 2012）との比較結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a            **2014年ほうおう座流星群の遠征観測**

渡部 潤一 (国立天文台), 佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 佐藤 智子, 戸田 雅之 (日本流星研究会), 土屋 智恵 (放送大), 藤原 康德, 植原 敏, 木下 正雄, 嵯峨山 亨 (日本流星研究会), 戸田 博之 (国立天文台岡山), NHK コズミックフロント取材班

1956年12月5日、南極観測船「宗谷」において第一次南極越冬隊が、インド洋上で一時間に300個という流星雨の突発出現を観測した (Huruhata & Nakamura 1957)。ほうおう座流星群である。ところが、その後は全く出現しない状態が続いた。母彗星は1819年に姿を見せた周期5年ほどの木星族彗星 D/Blanpain (1819 W1) と思われたが、こちらも長く行方不明になっており、どちらの意味でも "幻の流星群" であった。

その後、この彗星と軌道が酷似した小惑星が特定され、弱いながらも彗星活動も確認され (Jewitt 2006)、周期彗星として 289P/Blanpain と登録された。この軌道をもとにダストトレイル理論を適用し、1956年の大出現およびそれ以降の出現しない状況が説明できた (Watanabe et al. 2005) が、同時に2014年12月1日から2日に出現する可能性があることもわかった (Sato & Watanabe 2010)。予想ピークは日本時刻で午前8時から10時であったため、われわれはスペイン・カナリー諸島ラパルマ島、テネリフェ島山頂の欧州北天天文台およびアメリカ東部バージニア州ノーフォーク付近へ観測隊を派遣し、この流星群の光学観測に成功した (NHK コズミックフロント 2015年1月15日放送)。

本講演では、その遠征観測の成果の概要について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a      ほうおう座流星群の観測結果から推測する母天体 289P/Blanpain の彗星活動の遷移

佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 渡部 潤一 (国立天文台), 佐藤 智子, 戸田 雅之 (日本流星研究会), 土屋 智恵 (放送大), 藤原 康德, 植原 敏, 木下 正雄, 嵯峨山 亨 (日本流星研究会), 戸田 博之 (国立天文台岡山), NHK コズミックフロント取材班

ほうおう座流星群は、1956年に一度だけ観測された流星群である。発表者らは、母天体 289P/Blanpain が形成するダスト・トレイルを計算し、18世紀半ばから19世紀初頭(1760~1814年)に放出されたダストがなすダスト・トレイルが、1956年の大出現をもたらしたことを解明した(Watanabe et al. 2005)。また、20世紀初頭(1909~1930年)放出のダスト・トレイルが接近することで、2014年12月1~2日に再び流星群が出現する可能性を示した(Sato & Watanabe 2010)。そこでカナリア諸島及びアメリカ東海岸にて遠征観測を実施した結果、各地にて流星群活動を検出した(Watanabe et al. 2015, 本年会発表)。ラ・パルマ島での眼視観測での速報値は、 $HR=12$  (30分に6個の群流星の出現)であった。

母天体は1819年に彗星として発見されているが、1956年の本群の大出現は、母天体発見当時以前に放出された古いダストがなすダスト・トレイルによるものであった。一方、本年の出現は、20世紀初頭の比較的新しいダストによるもので、この時期に彗星活動が同じレベルで継続していれば $HR=150$ 個程度の出現の可能性が予想されたが、実際にはそれを下回った。この結果、20世紀初頭の母天体の彗星活動は、19世紀初頭までより大幅に低下していたものの、流星物質を放出できる程度に継続していたと推測された。本講演では、2014年の流星出現から、彗星から小惑星へと活動を弱めていった母天体の彗星活動の遷移状況を考察し、これを発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## L04b 2014年ほうおう座流星群の放射点について

土屋 智恵 (放送大), 佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 渡部 潤一 (国立天文台), 佐藤 智子, 戸田 雅之, 藤原 康徳, 植原 敏, 木下 正雄, 嵯峨山 亨 (日本流星研究会), 戸田 博之 (国立天文台岡山), NHK コズミックフロント取材班

2014年12月1日前後に出現が予想された、ほうおう座流星群の流星の放射点については、ダストトレイル理論からの予測では、赤経69度、赤緯マイナス26-29度の範囲であり、また対地速度は極めて遅く、秒速10キロメートルを切る値になるとされていた (Sato & Watanabe 2010)。これだけ低速の流星群の場合では、みかけの放射点の位置は、天頂引力によって大きくずれると考えられる。また、観測時刻によっては地球の運動を加味しないと、放射点の分布も正しく表わされなくなる。

スペインおよびアメリカへの遠征観測隊によって撮影されたほうおう座流星群に属する流星から導出された放射点、および日本国内におけるカメラネットワークによって得られたほうおう座流星群に属すると思われる流星についても放射点が得られている。本講演では、これらの観測された放射点と、理論的な放射点とを比較した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## L05c 2014年ほうおう座流星群の流星痕について

戸田雅之(日本流星研究会), 山本真行(高知工科大学), 比嘉義裕(日本流星研究会、ひが企画), 渡部 潤一(国立天文台), 佐藤 幹哉(かわさき宙と緑の科学館), 佐藤 智子(日本流星研究会), 土屋 智恵(放送大), NHK コズミックフロント取材班

一般的に流星の対地速度が早いと流星痕(短痕含む)の出現確率(=有痕率)が高いと言われている。対地速度が最も早いのはしし座流星群(71km/s.)で、有痕率は高い。それに対しほうおう座流星群の対地速度は10km/s.である。流星痕の出現確率が単純に対地速度に依存するなら、流星群で最も遅い対地速度のほうおう座流星群ではまず観測されないはずである。しかし58年前のほうおう座流星群の大出現で流星痕が目撃された記録があるので、ほうおう座流星群の高感度デジタルカメラ観測は低速の流星でも流星痕を捉えられるか大変興味がある。

スペイン、ラ・パルマでほうおう座流星群の高感度デジタルカメラ観測を行った。観測機器はニコン D4、28mmF/1.4 レンズ。カメラセッティングは絞り F1.4、シャッタースピード 1/1.3 秒 (=0.77 秒) ISO 感度 6,400、カラーバランスは 5570K でバッテリーとメモリーカードの容量が続く限り連続撮影した。この観測機器とカメラセッティングで約7等級までの恒星と流星痕、約6等級までの流星が撮影できる。2014年12月2日0h46m47sから途中約9分間の中断を含む02h52m59sまでの約2時間弱に取得した7,000コマ超の画像データセットより、3個のほうおう座流星群の流星を見つけた。これらの流星の光度は4等級、3等級、1等級で、うち3等級と1等級の流星で継続時間3秒以内の短痕が撮影できた。本発表でこれらの観測結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## L06c 低速流星に出現した流星痕

比嘉義裕 (ひが企画、日本流星研究会), 原田敦 (ひが企画)

流星痕は、流星の飛跡に出現する発光分子雲である。マイナス4等以上で、かつ高速な流星では、肉眼でも認識できるほどの流星痕が見られることがあるのだが、そのような機会は年間数例程度しかない。一方、多くの流星痕は、出現しても肉眼では確認できないほどの非常に淡い光量であり、高感度設定のデジタルカメラで、ようやくその姿を捉えることができる。おうし座流星群は、対地速度が27km / 秒程度の低速流星群である。その性質から、流星痕は非常に記録しづらい。今回、デジタルカメラにて、レンズ焦点距離35mm、絞りF2.8、感度1600、露出時間15秒という条件で、おうし座流星群の流星痕を捉えることに成功した。本発表では、この流星痕を紹介するとともに、これまで記録された流星痕と比較し、今後の観測方法について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## L07b ジャック彗星 (C/2014 E2 (Jacques)) の偏光撮像観測

古荘 玲子 (都留文科大学/国立天文台), 土屋 智恵 (放送大), 渡部 潤一 (国立天文台)

ジャック彗星 (C/2014 E2 (Jacques)) は 2014 年 3 月 13 日に発見されたオールト雲彗星で、2014 年 7 月から 8 月にかけて約 6 等まで明るくなった。

我々は、国立天文台 (三鷹)50cm 社会教育用公開望遠鏡および偏光撮像装置 PICO を用いて、彗星塵の偏光撮像観測を継続的に行ってきた。これまでの 10 年間で 15 彗星/核のデータを得ている。今回、本偏光サーベイの一環として、2014 年 8 月 9 日～8 月 16 日にジャック彗星の偏光撮像観測を行った。観測期間の彗星の位相角約  $61^\circ$  から  $64^\circ$  でのデータを取得することができた。

発表では、ジャック彗星の偏光観測結果について報告し、過去の我々のサーベイ結果との比較議論を行う。また、コマ中の偏光度分布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](#)

L08b

## Lovejoy 彗星 (C/2013 R1) のプラズマの尾の高速な形状変化

八木雅文 (国立天文台)、幸田仁 (ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校)、古荘玲子 (都留文科大学)、寺居剛、藤原英明、渡部潤一 (国立天文台)

2013年12月にすばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて、Lovejoy 彗星 (C/2013 R1) の撮像を行なったところ、短時間でプラズマの尾の形状が変化していることが捉えられた。形状の変化の定量的な評価として、尾の中の明るい部分 (塊) の移動と尾の幅の変化を測定した。塊の移動に関しては、非恒星追尾に伴って伸びた背景の恒星等の天体を画像上でマスクした後にアンシャープマスキングを行ない、その中から目視で検出された2つの塊の位置が時間とともにどう変化するかを測定した。2つの塊は、ともに24分間の観測時間の間に核から遠ざかる方向に運動しており、観測時点での彗星までの距離と予想される尾の傾きから、速度はおよそ22 km/s と計算された。これは過去にいくつかの彗星で測定された初速度 (~50 km/s) よりも小さい値である。本観測は明け方の隙間時間を用いた観測であったため、塊の移動の加速度までは求めることができなかった。プラズマの尾の幅の変化に関しては、ある面輝度で測った尾の幅が、6分間に24000 km から18000 km まで狭くなっていたことが測定された。このような極めて短時間での形状変化の検出は稀有であり、すばる望遠鏡の大口径を活用し短時間(2分)の露出で十分な光量を得たことで可能となったものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09a **C/2013 R1(Lovejoy) 彗星ガス輝線への Abel 変換の適用**

長谷川 隆 (県立ぐんま天文台), 河北 秀世 (京都産業大学), 渡部 潤一 (国立天文台)

彗星のガスの密度の動径依存性は長らく Haser モデル (Haser 1957) が利用され、核から太陽光により揮発したガスが励起や解離のプロセスを 2 度受けて母分子からできた娘分子が発する輝線であると仮定して求められる。このモデルでは、3 次元での密度分布を計算し、視線方向に積分した 2 次元の表面輝度を観測と整合させる。含まれるパラメーターは、拡散速度と輝線の時定数の積である空間スケール長であり、これがフィットされる。

これは簡便である一方、輝線が 2 度の乖離により生じる、蒸発率が一定である、といった自明ではない前提があり、さらに彗星のアウトバーストや太陽活動の変化によりこの前提が成り立たない効果は枚挙できる。また、最近では彗星から放出される粒子の拡散発光をモデル追尾する方法もあるが、各過程の正当性と必要なプロセスがすべて考慮されているかは保証されるわけではない。従って、モデルに依存しない客観的な空間密度分布を計算できれば、モデルに含まれない効果が見えてくることはありえることである。

本発表では球状星団や楕円銀河に対してよく利用される手法である Abel 変換を彗星のガス輝線に適用することを提案する。Abel 変換は球対称のみを仮定し、観測される 2 次元の表面輝度から 3 次元の輝線密度分布を直接復元する変換である。データは 2014 年 1 月 4 日に、ぐんま天文台天文学校の一環として、ぐんま天文台 65cm 望遠鏡により、C/2013 R1(Lovejoy) について、CN、C<sub>3</sub>、NH<sub>2</sub> の狭帯域フィルターを用いて得た。輝線密度に等半径殻の表面積をかけた輝線強度を作成したところ、CN 輝線について、彗星近傍の放出されて 1 日間程度の強度は増光し、その後、その外部の領域では指数関数的に減光することが得られた。彗星は前後でアウトバーストはなく、太陽活動も劇的に強くはなかったので、静穏時の基本的な発光強度の変化が捉えられたと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L10a 黄道光ダストの起源についての宇宙塵の物質科学からのアプローチ

光成拓也, 木村眞 (茨城大学), 野口高明, 岡崎隆司 (九州大学), 藪田ひかる, 寺田健太郎 (大阪大学), 伊藤正一 (京都大学), 海老原充 (首都大学), 永原裕子, 大久保彩 (東京大学), 中村智樹 (東北大学), 橘省吾 (北海道大学)

黄道光は惑星間ダストによって散乱された太陽光である。近年, 黄道光の分光観測より, 惑星間ダストの組成が彗星塵と似ていることが指摘されている (新井ら, 2014)。また, 黄道光の発生源となっている惑星間ダストの90%以上が木星族彗星起源であるという推定が軌道進化計算からなされている (Nesvorny et al., 2010)。

我々は, 南極のドームふじ基地近くの表層雪に含まれる微隕石 (大きさ 2mm 以下の地球外物質) と呼ばれる宇宙塵の一種を採集し, その鉱物と有機物の特徴を調べてきた。我々が研究している微隕石は平均径が 40  $\mu\text{m}$  以下と小さいものであり, 大気圏突入時の加熱の影響が少ないものを選ぶことができる。それらには, 成層圏から回収されてきた惑星間塵 (interplanetary dust particles) のなかで彗星塵とされてきた CP IDPs と区別できないものも含んでいる (Noguchi et al., 2015)。このことは, 地表で回収できる微隕石を使うことで, 彗星塵と小惑星塵の両方についてその特徴を検討できることを意味する。

我々は, 金に圧入した微隕石から厚さ 100 nm の薄膜試料を準備し, 透過電子顕微鏡観察と放射光を使った走査透過 X 線顕微鏡分析を行った。その結果, カンラン石や輝石などの無水珪酸塩鉱物や GEMS (glass with embedded metal and sulfide) と呼ばれる CP IDPs に特徴的な組織からなる微隕石が見られた。さらに, 微隕石粒子の大部分が含水鉱物である層状珪酸塩からなる, 小惑星起源とされる惑星間塵と似た組織を持つものも見られた。本講演では鉱物学の見地から微隕石の起源について検討し, 彗星塵, 小惑星塵の特徴を黄道光ダストの特徴と比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## L11a 衛星および地上観測による小惑星の含水鉱物探査

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

太陽系の進化、特に温度環境の変遷を解き明かすにあたって、太陽系内の水の分布は重要な情報になる。太陽系の固体物質としてはケイ酸塩鉱物が大きな割合を占めるが、木星以遠の太陽系小天体には氷として水が存在している。一方、水とケイ酸塩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ので、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。小惑星は大部分がその形成以降に熱的進化をしておらず、太陽系形成時の状態を保持していると考えられている。そこで、水の存在の探査には、多様な小惑星について含水鉱物の存在を調べることがきわめて有用である。

含水鉱物の特徴的なスペクトルフィーチャーは波長  $2.55\text{--}2.85\ \mu\text{m}$  付近に見られるが、この波長域には地球大気の水蒸気による吸収帯があるため、一般には地上からの観測は非常に困難である。これに対して、我々は赤外線天文衛星「あかり」の近赤外線分光機能を用いて 70 個の小惑星を観測して、世界で初めて含水鉱物の吸収フィーチャーを数多くの天体で明確に捉えた。この結果から、小惑星における  $3\ \mu\text{m}$  帯の吸収フィーチャーにはいくつかのパターンがあることがわかってきた。

本講演では、「あかり」のデータを中心に、小惑星の含水鉱物探査を目的とした衛星および地上観測の結果をまとめ、そこから得られる含水鉱物の存在の形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](#)

## L12a 小惑星 4 ベスタの衝効果の観測

長谷川直 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、宮坂正大 (東京都庁)、時政典孝 (佐用町総務課)、十亀昭人 (東海大学工学部)、M. A. Ibrahimov (ロシア科学アカデミー天文研究所)、吉田二美 (国立天文台国際連携室)、尾崎忍夫 (国立天文台 TMT 推進室)、安部正真 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、石黒正晃 (ソウル大学物理天文学部)、黒田大介 (国立天文台岡山天体物理観測所)

小惑星ベスタは地球から見て最も明るい小惑星であり、1807年の発見以来、あらゆる手法によって物理観測が行われ、多くの物理情報が判明している。最近ではアメリカの DAWN 探査機が 2011 年から 2012 年にかけてランデブーを行い、詳細な科学観測を行っている。あらゆる観測が行われていると思われる状況下において、位相角が 1 度以下の観測を含んだ測光観測がまだ行われていなかった。

そこで、本研究では位相角が 0.1 度近くまでになった 2006 年の衝において、JAXA 相模原キャンパスの屋上に仮設置された口径 6.4cm 望遠鏡、宮坂天文台の 36cm 望遠鏡、西はりま天文台の 60cm に同架させた 7.6cm 望遠鏡、ウズベキスタンのマイナダク天文台の 60cm 望遠鏡で測光観測、西はりま天文台にある 200cm 望遠鏡と国立天文台岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡で分光観測を行った。観測の結果、ベスタの表面が急激に明るくなる現象「衝効果」が確認された。

位相角 1 度未満の衝効果を起こすメカニズムとしては、モデルを用いた解析の結果、干渉性後方散乱がそのメカニズムであることが判った。また、表層の密度をもとめることができ、そのバルク密度は  $900\text{-}1900 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$  であり、表面の密度はベスタの平均密度の  $1/4\text{-}1/2$  であることも判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L13a 「あかり」中間赤外線全天 diffuse マップを用いた黄道光のモデリング

近藤徹, 石原大助, 金田英宏, 天筒智也, 中道恵一郎, 佐野栄俊 (名古屋大学), 大坪貴文, 尾中敬 (東京大学)

「あかり」は中間赤外線 (波長 9, 18  $\mu\text{m}$  帯) で全天サーベイ観測を行い、巨大有機分子や固体微粒子からの全天に渡る赤外線放射マップを得ることができた。これらの波長帯では、我々の太陽系内の惑星間ダストからの熱放射である黄道光が支配的な前景放射となっているため、「あかり」中間赤外線全天マップは、惑星間ダストを研究する上でも有用なデータとなる。

これまで、COBE/DIRBE や IRAS のデータに基づいた Kelsall et al. (1998) によるモデルが一般的な黄道光モデルとして使用されてきた。しかしマップから黄道光を差し引いた際に、中間赤外線において黄道面付近で  $\sim 1 \text{ MJy sr}^{-1}$  の残差を説明できていなかった。そこで我々は Kelsall モデルをベースに、モデルパラメータの決め方を改善し、DIRBE よりも空間分解能が高く、IRAS よりも厳密に面輝度較正されている「あかり」のデータを用いることによって、新たな黄道光モデルの構築を試みた。その結果、以前のモデルよりも「あかり」全天マップにおける黄道光をよく再現するモデルを作ることができた。またそれに伴い、惑星間ダストの温度分布、密度分布に関するパラメータが以前のモデルから変化した。本講演では、「あかり」中間赤外線全天マップからの黄道光差引き精度を議論し、さらにフィッティング結果をもとに惑星間ダストの物理的性質について考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L14b 「あかり」遠赤外線拡散光全天マップに見られる黄道光微細構造 IV

大坪貴文, 土井靖生 (東大総文), 瀧田怜, 有松亘, 川田光伸, 松浦周二, 巻内慎一郎, 北村良実, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 服部誠, 森嶋隆裕 (東北大), 臼井文彦 (東大理), 田中昌宏 (筑波大), 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」は遠赤外線波長域の 65, 90, 140, 160  $\mu\text{m}$  の 4 つの測光バンドで全天サーベイ観測をおこない、観測期間中に全天の  $> 97\%$  の観測を達成した。我々はこの「あかり」遠赤外線拡散光全天観測の画像データを 2014 年 12 月に広く一般に対し公開した (本春季年会、土井他) が、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。過去の赤外線衛星 IRAS や COBE/DIRBE の観測は、黄道光の分布に様々な空間的微細構造があることを発見したが、「あかり」の観測でも小惑星起源のダストバンド構造がはっきりと受かっており、特に黄道面と黄緯  $\pm 10$  度の 2 つのバンドで構造を確認した。現在、その幅、黄緯、強度についてモデルによる再現をおこなっている (2013 年、14 年春季年会、大坪他)。

公開された「あかり」の遠赤外線全天画像データにも、特に短波長側の 2 バンド (65, 90  $\mu\text{m}$ ) で、この黄道光の微細構造は数  $\text{MJy}/\text{sr}$  レベルの前景光として残っている。現時点で、90, 140  $\mu\text{m}$  の 2 バンドに関しては、銀河系内ダストの解析をおこなうのに十分な精度のダストバンドモデルが得られている。今回黄道光のモデル解析に際し、公開版の最新の「あかり」遠赤外線全天データを用い、前回からさらに解析手法を改良した。本講演ではその詳細と黄道光の差し引きの精度について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【M. 太陽】

### 3月18日(水)午後(13:00-15:00) [D会場]

M01a	13:00	高ベータプラズマ中の磁場：磁束管の自発的形成 柴崎清登（国立天文台）
M02a	13:12	黒点ライトブリッジにおける水平磁場の出現に伴う活動性 加納龍一（東京大学）
M03a	13:24	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）
M04a	13:36	Fe I 15648 吸収線の円偏光で見る太陽静穏領域の水平磁場 花岡庸一郎（国立天文台）
M05a	13:48	光球ドップラー速度場の高さ構造における 5 分振動成分と対流運動成分の分離 大場崇義（総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構）
M06a	14:00	強いねじれを持つキंक不安定な磁束管の浮上過程と光球磁場構造 高棹真介（京都大学）
M07a	14:12	<b>Hemispheric Sign Rule of Helicity and Electric Current Distribution in Solar Active Regions</b> 桜井 隆（国立天文台）
M08a	14:24	<b>Links between Sunspot Oscillations and Magnetic Helicity in the Solar Atmosphere</b> Kirill Kuzanyan (National Astronomical Observatory of Japan, Solar Observatory, and IZMIRAN, Moscow, Russia)
M09a	14:36	太陽内部マルチスケール熱対流と回転・磁場の効果 政田洋平（神戸大学）
M10c		$\alpha^2$ ダイナモのスケーリング則が示唆する磁場の飽和の物理 政田洋平（神戸大学）
M11a	14:48	対流を模擬した鉛直シアー流による磁気回転不安定の抑制 佐野孝好（大阪大学）
M12a	15:00	<b>Measuring and interpreting the amplitude of the cross-covariance function of solar seismic waves</b> 長島 薫 (Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung)

### 3月19日(木)午前(09:30-11:30) [D会場]

M13a	09:30	「ひので」のフレア観測：2014年の状況 清水敏文（宇宙航空研究開発機構）
M14b	09:42	フレアの Quasi-periodic pulsation に対する新しい MHD 的なシナリオ 高棹真介（京都大学）
M15b	09:42	活動領域 NOAA 12192 中の磁場発展と黒点の生成・成長過程 米谷拓朗（茨城大学）
M16b	09:42	複雑な磁場中でのフレア・トリガ機構に関するシミュレーション研究 草野完也（名古屋大学）
M17a	09:54	活動領域 NOAA12192 における連続 X クラスフレアのトリガに関する研究 伴場由美（名古屋大学）
M18a	10:06	活動領域 NOAA12192 のコロナ磁場構造の時間発展 塩田大幸（名古屋大学）
M19a	10:18	巨大黒点 12192 はなぜコロナ質量放出を起こさなかったのか？ I 柴田一成（京都大学）
M20a	10:30	巨大黒点 12192 はなぜコロナ質量放出を起こさなかったのか？ II 河村聡人（京都大学）
M21a	10:42	軟 X 線で探るフレアループの温度構造 坂尾太郎（宇宙航空研究開発機構）
M22a	10:54	NOAA12192 で発生した大規模太陽フレアにおける白色光増光現象 渡邊恭子（宇宙航空研究開発機構）
M23b	11:06	差動回転分布のヒステリシスと太陽型-反太陽型遷移の臨界値 政田洋平（神戸大学）
M24b	11:06	相対黒点数と電波・磁場フラックス及び極端紫外線強度の相関 川畑佑典（東京大学）
M25b	11:06	太陽風パラメータの長期変動について 亘 慎一（情報通信研究機構）
M26b	11:18	<b>Multi-height Dopplergrams made from SDO/HMI filtergrams</b> 長島 薫 (Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung)

(次頁に続く)

## 【M. 太陽】

M27b 11:18 野辺山電波ヘリオグラフによる黒点上層大気構造 岩井一正 (国立天文台)

M28b 11:18 彩層衝撃波と遷移層の衝突によるコロナ加熱機構 松本琢磨 (宇宙航空研究開発機構)

### 3月19日(木)午後(13:30-15:30) [D会場]

M29a 13:30 電波観測による白色光フレアと非白色光フレアの比較研究 増田 智 (名古屋大学)

M30a 13:42 飛騨天文台 SMART で観測された、2013年5月14日の巨大フレアに伴う白色光・H $\alpha$ 線強度の準周期的振動について 浅井 歩 (京都大学)

M31a 13:54 X型磁場構造におけるホモロガスフレア 川畑佑典 (東京大学)

M32a 14:06 磁束浮上領域に見られるライトブリッジ状磁場構造とエネルギー解放現象 鳥海 森 (国立天文台)

M33a 14:18 太陽フレアに伴う光球面水平磁場の変化に関するシミュレーション研究 板橋佑典 (名古屋大学)

M34a 14:30 非円形フラックスロープの不安定性に関する数値解析研究 石黒直行 (名古屋大学)

M35a 14:42 彩層蒸発流の観測と電離非平衡計算の比較研究 今田晋亮 (名古屋大学)

M36a 14:54 太陽フレアの前兆現象における非熱的粒子の研究 梶田聡史 (東海大学)

M37a 15:06 電波ドリフト・パルス構造から導くプラズモイド噴出と粒子加速 西塚直人 (情報通信研究機構)

M38a 15:18 AMATERASによって観測された太陽電波IV型バースト中のzebra patternの偏波特性 金田和鷹 (東北大学)

M39b 15:30 Investigation of the Abundances of Polar Jets as the Solar Wind Source Using Hinode Shinsuke Imada (Nagoya Univ.)

M40b 15:30 Analysis of Solar Flare Trigger Mechanism by Using MHD Simulation Johan Muhamad (Nagoya University)

### 3月20日(金)午前(09:30-11:30) [D会場]

M41a 09:30 次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」始動 渡邊鉄哉 (国立天文台)

M42a 09:42 SOLAR-Cの目指すサイエンスと科学戦略 草野完也 (名古屋大学)

M43a 09:54 Solar-C光学磁場診断望遠鏡(SUVIT)の要求性能と装置設計 一本 潔 (京都大学)

M44a 10:06 狭帯域チューナブル・フィルターを用いた太陽彩層観測 萩野正興 (京都大学)

M45b 10:18 SOLAR-C彩層磁場診断能力は科学課題解明に十分か? 阿南 徹 (京都大学)

M46b 10:18 飛騨天文台DST観測によるフィラメントの磁場の時間変化 澤田真平 (茨城大学)

M47b 10:18 遷移層~彩層磁場測定に挑む太陽Ly $\alpha$ 線偏光観測ロケット実験CLASP 成影典之 (国立天文台)

M48a 10:30 ロケット実験FOXSI-2による太陽硬X線の高感度撮像分光観測 石川真之介 (国立天文台)

M49a 10:42 野辺山強度偏波計 -その軌跡と今、そして未来- 岩井一正 (国立天文台)

M50a 10:54 電波・EUV同時観測による太陽活動領域のコロナ視線磁場測定 宮脇 駿 (茨城大学)

M51a 11:06 簡易輻射冷却を用いた局所熱力学平衡MHD太陽対流大気結合モデルの構築 飯島陽久 (東京大学)

M52a 11:18 ハンレ効果を用いた磁場診断の大気モデル依存性について 石川遼子 (国立天文台)

(次頁に続く)

## 【M. 太陽】

### 3月20日(金)午後(13:30-15:30) [D会場]

M53a	13:30	Ly- $\alpha$ 線のハンレ効果による彩層 Alfvén 波動検出の可能性 飯田佑輔 (日本宇宙航空研究開発機構)
M54a	13:42	彩層伝播アルフベン波の反射率計算 河野隼也 (東京大学)
M55a	13:54	IRIS とひのでを用いた彩層のエネルギー輸送 馬場楓子 (東京大学)
M56a	14:06	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 永田伸一 (京都大学)
M57a	14:18	コロナループ足下から探るコロナ加熱問題の観測的研究 春日恵美 (東京大学)
M58a	14:30	ひので-IRIS の共同観測: プロミネンスの回転運動 岡本丈典 (宇宙航空研究開発機構)
M59a	14:42	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 阿南 徹 (京都大学)
M60a	14:54	飛騨天文台 SMART 望遠鏡及び SDO 衛星を用いたフィラメントの消失要因の調査 廣瀬公美 (京都大学)
M61a	15:06	国立天文台太陽フレア望遠鏡によるフィラメント噴出現象の速度場解析 大辻賢一 (国立天文台)
M62a	15:18	放射凝縮により形成されるプロミネンスの温度-密度間の乗乗則 金子岳史 (東京大学)
M63a	15:30	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)

### 3月21日(土)午前(09:30-11:30) [D会場]

M64a	09:30	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)
M65a	09:42	非対称電流シートでの磁気リコネクションの特異的特徴 和田智秀 (筑波技術大学)
M66a	09:54	動的ペチェック過程による磁気リコネクションの新たな高速化機構 柴山拓也 (名古屋大学)
M67a	10:06	高粘性プラズマにおける磁気リコネクション 簗島 敬 (海洋研究開発機構)
M68a	10:18	Coupling of eigenmodes in “positive-feedback” system in 3D MHD magnetic reconnection with moderate guide field Wang Shuoyang (The University of Tokyo)
M69a	10:30	波動・平均流相互作用系としての太陽風 庄田宗人 (東京大学)
M70a	10:42	NICT における太陽・太陽風シミュレーションモデルについて 田 光江 (情報通信研究機構)
M71a	10:54	スーパーフレアに伴うコロナ質量放出と高エネルギー粒子の予測 高橋卓也 (京都大学)
M72a	11:06	太陽活動に伴い「ひので」X線望遠鏡 CCD で検出された Speckle の増減 山田正矩 (茨城大学)
M73a	11:18	太陽高エネルギー粒子現象の多地点同時観測 久保勇樹 (情報通信研究機構)
M74a	11:30	古文献サーベイによるオーロラ・黒点のデータベース構築 玉澤春史 (京都大学)

## M01a 高ベータプラズマ中の磁場：磁束管の自発的形成

柴崎清登 (国立天文台)

磁場中で熱運動するプラズマ粒子はローレンツ力によって磁気モーメントを持つ。この磁気モーメントは、磁場の方向と逆向き（反磁性）で磁場の強度に反比例する。単位体積中の磁気モーメント（ $M$ ）と磁場の強さ（ $B$ ）の比はプラズマベータ/2であり、高ベータプラズマ中ではこれを無視することができない。高頻度衝突（衝突頻度 ジャイロ周波数）プラズマ中でも磁気モーメントは消滅しない。磁性体中では、 $B = \text{真空の透磁率} \times (H + M)$ であり、 $M$ が $B$ の関数なので右辺にも $B$ が含まれる。このような場は自己無撞着場と呼ばれ、 $B$ を求めるにはこの方程式を解く必要がある。 $B$ が実根を持つためには、プラズマベータは2を超えることができない。ガス圧が非常に大きくしかもこの条件を満たすためには、プラズマは自発的に二つの部分に分離し、ベータが2以下の磁束管と磁場の全くない領域が発生する。こうなることで条件を満たすことができる。自発的対称性の破れによる構造形成、相転移などと呼ばれる現象の一つである。磁束管内には磁場が存在してガス圧が低く、プラズマベータは2以下となっている。取り巻く領域のガス圧は高く、磁場は存在しないので、プラズマが磁場を閉じ込めていることになる。よってその境界には磁場に直角方向にソレノイド状の電流が必要である。この電流は実質的に、磁化電流中のガス圧勾配による電流によってまかなわれており、この電流によるアンペールの力とガス圧の勾配力が平衡を保っており、磁束管内の磁場の強度は周りのガス圧に依存する。このソレノイド状電流が磁束管内の磁場を維持しているわけであり、磁束管は自立的構造とみなすことができる。

太陽の場合、対流層内や低電離度の光球付近でも上記議論がほぼそのまま適用でき、光球面のガス圧 (13kPa) から、磁束管内の磁場の強度が 1.0 ~ 1.7kG になることがわかる。これは観測的事実とよく一致する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## M02a 黒点ライトブリッジにおける水平磁場の出現に伴う活動性

加納龍一 (東京大学)、清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽黒点の典型的な構造のひとつに、ライトブリッジがある。ライトブリッジとは黒点の暗部を裂くように出現する明るい割れ目のような構造であり、そこではしばしば周囲の磁場に比べて大きく傾いた、太陽表面に対して水平な磁場が出現することが報告されている。また、その水平磁場は彩層ジェット (Shimizu et al. 2009) や超音速流の駆動 (Louis et al. 2008) といった様々な活動性を引き起こすことが知られており、ライトブリッジの詳細な観測は、光球面の磁場とそれが引き起こす活動性の相互理解のために重要であると考えられている。

だが、これまでの研究では数時間間隔のデータでしか時間発展について議論できておらず、水平磁場がまさに出現している現場を数分間隔で追った研究というものは行われていなかった。また、今までは観測波長が可視光に限られており、紫外線領域で観測できる高温プラズマとの対応関係については、ほとんど理解されていなかった。

そこで今回我々は Hinode 衛星による可視光領域の偏光分光データと IRIS 衛星による紫外線領域の分光データを用い、黒点ライトブリッジに水平磁場が出現している現場を数分スケールで追いながら解析した。その結果、(1) ライトブリッジで見られる水平磁場は太陽内部からの磁場の浮上で形成されること、(2) 水平磁場出現に伴い少なくとも 8 万ケルビン程度の高温プラズマが生成されること、(3) 水平磁場に沿ってプラズマが加速しながら運動して最終的には超音速流となることを、時間発展を追いながら新たに示すことに成功した。

本公演ではこれらの結果を導いたデータを示しつつ、どのようなメカニズムで水平磁場がこれらの活動性を生み出しているのかを詳細に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a 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。今回は、モジュールの検出能力の向上のために新たに2種類の検出アルゴリズムを考案し、従来のものを含め3つの検出アルゴリズム(1. Single threshold 法、2. Multi threshold 法、3. Frequency filtering 法)の検出能力を比較した。その結果、検出数は1の方法に比べ、2、3の方法では4~5倍に向上し、さらに、3の方法は小さな磁気要素の検出に特に有効であることが分かった。さらに、本研究で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。開発したモジュールを用いた2009/12/29~2010/1/2: NOAA11039の黒点崩壊過程の解析から、先行/後行黒点で崩壊速度の違いや、先行黒点の崩壊過程には後行黒点の方向に、より多くの磁気要素を放出するという異方性が示唆された。発表では、数例の黒点データ(2007/10/6~10/8: NOAA10972, 2010/8/3~8/4: NOAA11092, 2011/1/22: NOAA1149)を用いて、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](#)

## M04a Fe I 15648 吸収線の円偏光で見る太陽静穏領域の水平磁場

花岡庸一郎、桜井隆、赤外マグネトグラフグループ（国立天文台）

国立天文台のフレア望遠鏡では、近赤外域のいくつかの吸収線で太陽全面のフルストークス分光偏光測光を定常的に行っている。中でも Landé  $g$  因子が 3 という大きな値である Fe I 15648 吸収線では、比較的弱い磁場でもゼーマン分離が直接見えるため、filling factor と無関係に磁場強度を特定できるデータが得られる。

太陽面上では、活動領域と超粒状斑境界に太陽表面に垂直な成分が卓越する強い磁場が集中しているが、一方静穏な超粒状斑内部 (internetwork) には弱い磁場が分布しており、こちらは水平磁場とも言われる通り水平成分が大きく方位角はばらばらである、と推定されているが、これには異論もある。

我々の Fe I 15648 吸収線での太陽全面観測では、これらの磁場成分をゼーマン分離を利用して独立に抽出することが可能である。しかもその太陽面上の分布の情報を得られるので、inversion 時の不定性の影響を受けずにいわゆる水平磁場の性質を全球的な分布に基づき調べることができる。実際に観測された Fe I 15648 の視線方向磁場成分では、1kG を超えるゼーマン分離に相当する波長では活動領域と超粒状斑境界の磁場が見えるが、数百 G 程度以下に相当する波長では、太陽面全体を覆う弱い磁場成分が見える。これはディスク中心付近では弱く周辺でより顕著であり、正負の磁場成分が細かく混在していて、様々な方位を持つ水平成分が卓越する弱い磁場が太陽面全体を覆っていることを示している。このように Fe I 15648 吸収線での太陽全面観測は、静穏な領域磁場を調べる有用な手段である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M05a 光球ドップラー速度場の高さ構造における 5 分振動成分と対流運動成分の分離

大場崇義 (総合研究大学院大学/JAXA), 飯田佑輔, 清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽光球では、明るい粒状の様相が見られる。この様相は粒状斑と呼ばれ、対流運動により形成される。光球では対流運動が支配的であり、上空コロナの加熱や磁場ダイナミクスの起因になっていると考えられる。典型的な対流運動として、「内部から上昇した熱いガスが粒状斑を形成し、表面で放射冷却されることで再度沈み込む」という定常的なシナリオが考えられている。しかし、近年の高分解能観測においては、粒状斑は10分程度のタイムスケールで生成・消滅を繰り返しているため、そのダイナミクスを理解する必要がある。

我々は、前々年会の発表 (M14b) において、太陽観測衛星「ひので」に搭載された可視光磁場望遠鏡/スペクトロポラリメータ (SOT/SP) の観測データに対し、吸収線輪郭を利用した解析を用いて、太陽光球におけるドップラー速度場の高さ構造を求めた。しかし、太陽表面では対流運動の他に5分振動による速度場が存在する。そこで、本発表では5分振動成分と対流運動成分の分離について報告する。

静穏領域における45分間の sit and stare モードによる観測データを用い、前発表と同様の手法からドップラー速度場の高さ構造を求めた。さらに、 $k-\omega$  ダイアグラムを利用し、得られた速度場を5分振動成分と対流運動成分に分離した。解析の結果、5分振動成分と対流運動成分では以下の異なる性質が見られた。

- 1) 光球底部から上空に向かって、対流運動は上昇も下降も速度を失う一方で、上昇領域の面積は減少、下降領域の面積は増加する。
- 2) 上空に向かって対流運動速度は減少するが、5分振動速度は増加する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06a 強いねじれを持つキंक不安定な磁束管の浮上過程と光球磁場構造

高棹真介(京都大学)、Yuhong Fan (High Altitude Observatory)、Mark C. M. Cheung (Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory)、柴田一成(京都大学)

いわゆる「デルタ型黒点」というのは逆極性の黒点暗部が共通の半暗部に含まれている黒点で、最も活動性の高い黒点として知られている。デルタ型黒点の多くはHaleの法則に従わず、強いねじれを示す特徴を持つ。また、多重極構造のような複雑な黒点構造を取ることも多い。そのため、デルタ型黒点は通常の黒点とは異なる構造をもつ磁束管が浮上して形成されるのではないかとされている。黒点のねじれの向きと黒点の固有運動を調べたTanaka 1991などの研究では、軸がよじれて「こぶ」を作った磁束管が光球上に浮上すると観測を説明できると主張している。その「こぶ」を作る物理としてキंक不安定性というねじれが強い磁束管の不安定性が提案されており、観測的に黒点のねじれが強いことと矛盾しない。しかし一般に、ねじれが強い磁束管は構造をコヒーレントに保ちやすく、複雑な活動領域を形成しにくいいため、複雑なデルタ型黒点は形成できないように思える。そこで我々は、キंक不安定なねじれが強い磁束管が多重極構造をもつ活動領域を作ることができるかについて、MHDシミュレーションを用いて考察した。その結果、メインの黒点ペアの大きな傾き(Haleの法則から大きく外れていることに対応)、光球磁場の四重極構造の形成を確認した。キंक不安定性の結果できた「こぶ」構造が発達すると、そこでのねじれは大きく弱まる。その部分が光球に到達すると光球下に磁気シートを形成するが、そのねじれは弱いためコヒーレントな磁場構造を保てない。その結果、ねじれの強い磁束管の場合でも足元が四重極の2つのアーケード構造を形成していた。この結果は、キंक不安定化するほど強いねじれを持っていると、自然に多重極構造を形成しやすいことを示唆する。本講演ではこの過程を詳細に説明する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M07a **Hemispheric Sign Rule of Helicity and Electric Current Distribution in Solar Active Regions**

Takashi Sakurai (NAOJ), Yu Gao, Hongqi Zhang (NAOC), Kirill Kuzanyan (IZMIRAN, NAOC, NAOJ)

Current helicity in solar active regions (area integral of  $J_z B_z$ ) statistically shows the so-called hemispheric sign rule (HSR); regions in the northern (southern) hemisphere tend to have negative (positive) helicity, respectively. Therefore we can define “normal” and “abnormal” electric currents according to whether they follow (normal) or violate (abnormal) the HSR. To quantify this picture, we introduce the parameter  $R_{J_z}$  as the ratio of the “abnormal” current to the total current;  $R_{J_z} = 0$  ( $R_{J_z} = 1$ ) means that all the currents in an active region are normal (abnormal), respectively.  $R_{J_z}$  can be defined in positive and negative polarities separately, but we found that the values of  $R_{J_z}$  in the two polarities tend to behave nearly synchronously, indicating that the electric currents are basically closed within an active region, or the currents basically flow along the field lines.

If we make a butterfly diagram of  $R_{J_z}$ , we see that active regions with  $R_{J_z} > 0.5$  which violate the HSR tend to appear in activity minima or at the periphery of the butterfly wings.

We then used the  $R_{J_z}$  parameter to study the evolution of current systems in the flare-productive active regions NOAA AR 11158 and 11283. Using vector magnetograms obtained with SDO/HMI, we found that the large flares tend to take place in the intervals of gradual increase in  $R_{J_z}$ , namely the growth of abnormal currents.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a      **Links between Sunspot Oscillations and Magnetic Helicity in the Solar Atmosphere**

Kirill Kuzanyan (IZMIRAN, Moscow, Russia), Robert Sych (Institute for Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia), Shangbin Yang, Yihua Yan (NAOC, Beijing, China)

The recent SDO/AIA/HMI multi-wavelength data with high cadence and high spatial resolution enable us to study in detail the phenomenon of sunspot oscillation, and detect swirls in rotating structures. Given the temperature-wavelength range we resolve not only horizontal but also vertical structures of slow magneto-acoustic wave fronts. We use the PWF (Pixelized Wavelet Filtration) method (Sych et al., 2008) to extract the narrowband frequency structure of swirl-like waveguides inside sunspots. By using the Local Correlation Tracking (LCT) technique we compute the phase velocities of magneto-acoustic waves at several levels in and above the photosphere and quantify its swirling dynamics. By superposing various multi-wavelength data we analyse vertical structure of the swirl above the sunspot. We can see how helical structures expand from the solar photosphere into the chromosphere and up to the corona. We use the SDO/HMI vector magnetogram data to track the electric current helicity simultaneously with the sound wave structures. For the case of NOAA 11131 (2010/12/08) we show close similarity of the helical properties of phase velocities of slow sound waves with helicity of magnetic field in the photosphere. Helicity injection from the solar convective zone through the photosphere and chromosphere into the corona is important for understanding the space weather as well as construction of models for the solar dynamo.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M09a 太陽内部マルチスケール熱対流と回転・磁場の効果

政田洋平 (神戸大学), 佐野孝好 (大阪大学)

回転と圧縮性は熱対流に空間非一様性を生み、この(特にヘリシティの)対称性の破れが大局的磁場形成の種になる。これまで我々は対流層底部と上部の密度比が約10の比較的弱い密度成層を仮定した対流ダイナモのシミュレーション研究で、(1) 回転成層対流中で周期的な極性反転をともなう大局的磁場が組織化されること [Masada & Sano (2014a) (2013年春季年会:M25a)], (2) 大局的磁場の時空間進化が、 $\alpha^2$ ダイナモ機構で定量的に説明できること [Masada & Sano (2014b) (2014年春季年会:M54a)], (3) 磁場の反転周期と上部冷却層の磁気拡散時間の間にスケーリング則が存在すること (2014年秋季年会:M34a) 等を明らかにしてきた。

一方、太陽内部の熱対流は強い密度成層によって特徴づけられる。現在我々は Masada & Sano (2014a,b) の自然な拡張として、密度コントラスト ( $\equiv \rho_{\text{bottom}}/\rho_{\text{top}}$ ) が700の計算モデル (super-adiabaticity  $\delta \simeq 10^{-3}$ ) を使って、太陽熱対流とそれともなうダイナモ過程を調べている。これは太陽対流層のほぼ全域 ( $0.7R_{\odot} \lesssim r \lesssim 0.991R_{\odot}$ ) をカバーする密度コントラストに相当する。このモデルを使ったより現実的な太陽内部熱対流シミュレーションで、(a) 表面近傍でのグラニユール状の対流構造、(b) 下降流の converging と (c) 対流層を貫く大規模な下降流ブルームの形成等を確認した。本講演では、マルチスケールな太陽内部熱対流に対する回転と磁場の効果について報告するとともに、Masada & Sano (2014b) で開発した平均場ダイナモモデルに基づき、太陽内部における  $\alpha^2$  型ダイナモ機構の実現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](#)

M10c  $\alpha^2$  ダイナモのスケーリング則が示唆する磁場の飽和の物理

政田洋平 (神戸大学), 佐野孝好 (大阪大学)

既存の太陽ダイナモモデルは、激しい対流そのものが磁場形成を担うと考える distributed dynamo (Brandenburg 2005) と、対流層ではなく静穏な tachocline 層で磁場が形成されると考える tachocline dynamo (e.g., Charbonneau 2005) の 2 種類に大別される。我々が注目する  $\alpha^2$  型のダイナモ機構は、回転成層対流の持つ実効的ヘリシティが大局的磁場形成の種になっており、前者に分類される。

我々はこれまで太陽内部を 2 層ポリトロプで定性的に模擬したシミュレーションで、回転成層対流とその中で励起される  $\alpha^2$  型のダイナモ機構を詳しく調べてきた (Masada & Sano 2014 a,b)。2014 年の秋季年会では、対流ダイナモの系統的なパラメータサーベイを行い、大局的磁場の極性反転周期 ( $\tau_{\text{cyc}}$ ) が (a) 上部冷却層の磁気拡散時間 ( $\tau_{\text{diff}} \equiv 10d_{\text{conv}}d_{\text{top}}/\eta_0$ ) と (b) Alfvén 横断時間 ( $\tau_{\text{Alf}} \equiv d_{\text{top}}/v_{\text{Alf}}$ ) に比例することを明らかにした (ここで  $d_{\text{conv}}$  は対流層の厚み、 $d_{\text{top}}$  は冷却層の厚み、 $v_{\text{Alf}}$  は飽和磁場のアルフベン速度である)。

今回はスケーリング則が示唆する大局的磁場の飽和の物理について考察する。スケーリング則から  $\tau_{\text{cyc}} \simeq \tau_{\text{diff}} \simeq 10^3\tau_{\text{Alf}}$  が成り立つことがわかる。 $\tau_{\text{diff}}$  と  $\tau_{\text{Alf}}$  の関係から、 $d_{\text{conv}}/\eta_0 = 10^2/v_{\text{Alf}}$  (式 1) が得られる。一方、エネルギースペクトルより、典型的なエネルギー注入と散逸の波数の間には  $k_{\text{diss}}/k_{\text{inject}} \simeq 10$  の関係が成り立つので、これを用いて式 (1) を  $\eta_0k_{\text{diss}}^2 = v_{\text{Alf}}k_{\text{inject}}$  と書き換える事ができる (ここで  $k_{\text{diss}} \propto 1/\Delta x \propto N$ ,  $k_{\text{inject}} \propto d_{\text{conv}}$ ,  $\Delta x$  は計算グリッド幅、 $N$  は空間分割数である)。これは磁気エネルギーの生成と散逸のバランスを表す式であり、飽和磁場強度が計算グリッドサイズの磁気拡散に依存し、解像度  $N$  に比例して増加することを示唆する。ポスターではスケーリング則についてまとめるとともに、星の内部で期待される物理的な飽和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](#)

## M11a 対流を模擬した鉛直シア一流による磁気回転不安定の抑制

佐野孝好 (大阪大学), 政田洋平 (神戸大学)

磁気回転不安定 (MRI) は、差動回転円盤に磁場が存在する場合に生じる磁気流体不安定で、降着円盤の角運動量輸送に有効であると考えられている。太陽のような恒星においても、内部に差動回転をしている領域があれば、この不安定性が成長する可能性があり、恒星内部の角運動量輸送や磁場の進化に影響を及ぼすことが期待される。本研究では、対流運動中における MRI の成長について考察する。

本解析では簡単のため、対流に伴う上昇流・下降流を周期的な速度分布として与え、そこでの MRI の線形成長率を調べた。この場合、系を特徴付けるパラメータは鉛直シア一流の速度振幅の大きさと、その典型的な波長の二つになる。磁場や差動回転が存在しない場合、鉛直シア一流による Kelvin-Helmholtz 不安定が存在するため、この系には二つの不安定性が混在することになる。そこで、これらの不安定性の成長が、シア一流や差動回転の影響でどのように変化するかを系統的に調べることを行った。

その結果、シア一流が Alfvén 速度よりも大きい場合には、シア一流の影響で MRI の成長が抑制される場合があることがわかった。本講演では、線形解析の結果だけでなく、磁気流体シミュレーションによる線形解析の検証や、実際の太陽内部や降着円盤の条件下での振る舞い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](#)

M12a      **Measuring and interpreting the amplitude of the cross-covariance function of solar seismic waves**

Kaori Nagashima, Laurent Gizon, Aaron C. Birch (Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung), Damien Fournier (Georg-August-Universität Göttingen)

In time-distance helioseismology analysis, we compute cross-covariance functions of the solar oscillations and measure wave travel times to probe solar interior dynamics and structure. The travel times are most commonly used in standard time-distance helioseismology analyses, although other parameters of the cross-covariance functions, such as the amplitude, are useful in investigating various aspects of wave propagation in the Sun.

In this study we focus on measurements of the amplitude of the cross-covariance function. We derive spatial sensitivity kernels for amplitude perturbations and discuss their domain of validity. We also present measurements of the cross-covariance amplitude (and related error) using SDO/HMI observation Dopplergrams. Our preliminary analyses shows a correlation between the cross-covariance amplitude perturbations and the supergranulation pattern.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M13a 「ひので」のフレア観測：2014年の状況

清水敏文、渡邊恭子 (ISAS/JAXA)、伴場由美 (名古屋大学)、ほかひので観測チーム

太陽観測衛星「ひので」は、高解像度 (0.2-0.3 秒角) かつ高精度の光球磁場計測や極紫外線域にあるコロナ輝線の観測など、他の衛星では得られない特徴のある観測を行い、世界の研究者がアクセスできる軌道上望遠鏡として軌道上で8年以上にわたって太陽観測を継続してきている。太陽活動は2013年ころに極大を迎え、今後数年程度は極大と同程度でフレア発生が期待されている。運用延長審査が認められた2014年度から2016年度における観測の重点は以下の3つである。1) 活動的な太陽の継続期ととらえて、従来行われていない、特色あるフレア観測を行い、新しい視点からのフレアに関する科学成果創出を図る。2) 極域の3次元磁場分布を測定し、極域で進む極性反転の過程をとらえる。3) 米国 IRIS との共同観測を推進し、「ひので」でアクセスできない彩層の分光診断情報と「ひので」の高解像度・高精度磁場観測を組み合わせ、「ひので」研究に質的な進展を図る。

このうち、フレア観測の重要性は高く、現在の「ひので」運用ではフレア観測を最重要観測と位置づけている。一方、科学データのダウンリンクの難点のために取得可能なデータ量が限られ、また望遠鏡の観測視野が狭いために、M5クラス以上の大フレアの観測成功率は必ずしも高くない。前回の日本天文学会秋季年会時に開催された太陽研究者連絡会報告会にて、研究コミュニティに対して観測成功率向上のための協力を仰ぎ、その後のフレア観測向上を目指した観測運用での取り組みなどにより、2014年10月下旬の肉眼黒点で発生した一連のXクラスフレアの多くを観測することができた。他には、フレアの発生領域における光球磁場が非常に特異的な2014年1月7日のX1.2フレアや、IRISとの共同観測中にとらえた2014年3月29日のX1.0フレアなどがある。これらのフレア観測の一部 (特に2014年1月7日) を紹介して、フレア研究を今後促進するための議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M14b フレアの Quasi-periodic pulsation に対する新しい MHD 的なシナリオ

高棹真介、柴田一成 (京都大学)

太陽フレアのライトカーブはよく準周期的な変動を見せることがあり、Quasi-periodic pulsation (QPP) と呼ばれている。典型的な周期は数秒から数十秒程度であり、幅広い波長帯で観測されるが、電波や硬 X 線などの非熱的粒子からの放射で特に顕著である。周期は放射領域の物理量診断に使えると推測されており、この物理解明はフレアの理解に重要である。QPP の起源は大きく分けて (1) ポストフレアループ内の MHD 波動、(2) 周期的に変動するリコネクション率、の 2 つの説が提案されてきた。しかし過去の QPP に関する研究で、熱伝導入りリコネクションを考慮したフレアの MHD シミュレーションを行ったものはない。そこで我々は、Yokoyama & Shibata (2001) のモデルに基づいたフレアのシミュレーションを行い、QPP の起源について MHD の視点から迫った。リコネクションアウトフローがループと衝突して形成する衝撃波 (MHD fast mode shock; 以下 termination shock と呼ぶ) は粒子加速に適した場所と言われているが、その termination shock の強度が準周期的に変動していることがわかった。今回のシミュレーションではリコネクション率に有意な時間変動は見られなかったため、変動の起源はループ内の MHD 波動である。しかし、過去の波動研究で提案されているようなループ内を繰り返し伝搬する slow mode (low-beta 磁束管中の音波) などは見られなかった。したがって、この衝撃波強度の変動はこれまでのモデルでは説明できない現象である。我々は termination shock が形成されているループトップ領域を詳細に解析した。その結果、アウトフローがループトップに衝突した際に Alfvénic な運動を生じて、termination shock に対して擾乱を与えていることがわかった。この Alfvénic な運動は high-beta 中の slow mode であることもわかった。本講演では termination shock の変動の過程について詳細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](#)

## M15b 活動領域 NOAA 12192 中の磁場発展と黒点の生成・成長過程

米谷拓朗 (茨城大学), 一本潔, 上野悟, 阿南徹 (京都大学), 野澤恵, 澤田真平, 宮脇駿 (茨城大学)

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が、具体的な生成・成長過程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。よって黒点の生成・成長過程を検証するうえでは磁場観測が重要であるが、複数の大気層で磁場観測をおこなった例は少ない。そこで本研究では、光球磁場および彩層磁場の時間変化を偏光分光観測により取得し、黒点の生成・成長過程を磁場の視点から検証した。

2014年10月23日に活動領域 NOAA 12192 北部に分布する半暗部中で浮上磁場により新たな小暗部が形成され、10月26日にかけて独立した黒点へと成長した。その黒点の生成・成長過程を飛騨天文台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 のインバージョンコード HAZEL (Asensio Ramos & Trujillo Bueno et al. 2008) を用いて、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。また、ひのひに搭載された可視光磁場望遠鏡 (SOT) のスペクトロポラリメータ (SP) により得られた観測データから、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黒点の生成・成長過程を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M16b 複雑な磁場中でのフレア・トリガ機構に関するシミュレーション研究

草野完也, 伴場由美, 塩田大幸 (名古屋大学太陽地球環境研究所)

太陽フレアは太陽コロナ中に蓄積された磁気エネルギーが突発的に解放される現象であると考えられているが、その発現機構は未だに十分理解されていない。我々は最近、これまでに無いシステムティックな3次元電磁流体力学(MHD)シミュレーションとひので衛星データの比較によって、太陽表面の非ポテンシャル磁場(シア磁場)中に現れる特徴的な小規模磁場が磁気リコネクション(プリフレア・リコネクション)を通してフレアを発生させることを見出した(Kusano et al. 2012)。また、この小規模磁場(トリガ磁場)には反極性(OP)型と逆シア(RS)型と呼ばれる2種類のグループが存在することも明らかにした。本研究では上記のシミュレーション研究をさらに発展させ、より現実に近い複雑な磁場構造の中で上記のフレアトリガ機構が如何に働くかを考察した。このため、トリガ磁場の位置が磁気中性線(PIL)から離れた場合にフレアトリガ過程がどのような変化を受けるかを調べた。その結果、トリガ磁場の位置がPILの近傍にある限り、トリガ磁場がPILの上に現れなくてもフレアを発生させ得ることが見出された。ただし、トリガ磁場がフレアを発生させるために必要なPILからの臨界距離は、RS型のトリガ磁場の方がOP型に比べてより長いことが示唆された。これはRS型のフレアトリガは磁気シアの対消滅を原因とするため、2つの磁気ループを連結しなくてはならないOP型のフレアトリガに比べて幾何学的条件が緩いことによるのではないかと考えられる。それゆえ、RS型のフレアトリガはOP型に比べてより容易に起き得る為、現実の太陽ではより頻繁に発生している可能性がある。講演では観測データとの比較を通して、複雑な磁場構造におけるフレアトリガの普遍的な性質についても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M17a 活動領域 NOAA12192 における連続 X クラスフレアのトリガに関する研究

伴場由美、草野完也、塩田大幸 (STEL/名古屋大学)

今サイクル最大の黒点であった活動領域 NOAA12192 は、2014 年 10 月 16 日に太陽の東のリムに現れ、太陽表面を横切る間に 6 つの X クラスフレアを含む 100 以上のフレアを起こした。本研究では、特に 10 月 22 日から 26 日にかけて太陽面上で発生した 4 つの X クラスフレアに着目した。これらのイベントでは比較的シンプルなフレアリボンが見られたが、two-ribbon だけでなく three-ribbon のものも存在し、フレアリボンが活動領域の主たる磁気中性線から離れて現れる傾向にあった。また、いずれのイベントでも Bamba+2013 でフレアの前兆現象として扱った、特徴的な磁場構造上における彩層での断続的な発光がみられたが、その位置は、フレアリボンの中心からやや離れた領域であった。一方、これらのイベントは何れも CME を伴わないフレアであった。本研究では、これらの連続する X クラスフレアのトリガメカニズムを説明すると共に、CME を伴わなかった理由について考察することを目的に、SDO データの解析を行った。解析には、SDO/HMI による光球面視線方向磁場データと、AIA 1600Å, 171Å におけるフィルターグラムを用いた。これらのデータに Bamba+2013 で開発した解析手法を適用することで、フレア前の光球面における微細な磁場構造と光球面上部、彩層下部、コロナ下部の各高度におけるフレア前の発光現象の時間的・空間的相関関係を調べた。また、HMI の高時間分解能の光球面ベクトル磁場データを用いて、フレア前後の、磁気中性線に沿った磁場の non-potentiality や磁場強度の変化を調べた。結果、解析を行った 4 つの X クラスフレアそれぞれのフレアトリガ領域を特定することができた。また、解析結果を Kusano+2012 の数値シミュレーションと比較することで、全てのトリガメカニズムが Reversed Shear (RS) Type である可能性が高いことを示した。さらに、この結果に基づいて CME を伴わなかった原因を考察した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## M18a 活動領域 NOAA12192 のコロナ磁場構造の時間発展

塩田大幸、草野完也、伴場由美、山本哲也 (STEL/名古屋大学)、井上諭 (Kyung Hee University)

巨大な黒点をともなう活動領域 NOAA12192 は、2014 年 10 月中旬から東のリムより現れ、地球から観測できる期間の間に 6 回の X クラスフレアを発生した。驚くべきことに、6 回の X クラスフレアのすべてにおいて CME が発生しなかった。CME を伴わない X クラスフレアはこれまでも複数報告されているが (Green et al. 2002, Gopalswamy et al. 2009)、6 回も連続した前例は報告されていない。CME を伴わないフレアは、フレアに伴う噴出構造が周囲の磁場に閉じ込められ、惑星間空間に噴出できなかった現象であると考えられている。また、伴場ら (本年会) の解析によれば、10 月 22 日から 26 日の間の 4 つの X クラスフレアでは、Kusano et al. (2012) によって提唱されたフレアトリガモデルの Reverse Shear (RS) Type である可能性が示された。RS Type のフレアでは、アーケード内部でのシア磁場消失によって磁気リコネクションが先行して起きるため、CME を作る磁束の噴出を必ずしも伴う必要がないことが理論的に指摘されている。このように、活動領域を含むコロナ磁場の 3 次元構造 (トポロジー) がフレア・CME の関係性を決定づけている可能性が考えられる。

ひので可視光磁場望遠鏡は、この活動領域の詳細な光球面ベクトル磁場分布を観測することに成功した。そこで本研究では、ひのでによって観測された磁場分布の時系列データ及び非線形 Force-free 磁場モデルを用いて、この活動領域のコロナ磁場構造の時間発展の様子を計算で求めた。その結果から磁場のトポロジーを解析したところ、RS Type のトポロジーがフレアトリガ領域に存在していることが示唆された。

年会では、X クラスフレアで増光した磁気ループに着目し、コロナ磁場のトポロジーが時間発展して行く様子と X クラスフレア・CME 発生との関係性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](#)

## M19a 巨大黒点 12192 はなぜコロナ質量放出を起こさなかったのか？ I

柴田一成, 石井貴子, 河村聡人, 飛騨 SMART チーム (京大理天文台)

2014年10月下旬に出現した黒点 12192 の面積は  $A = 2750 \text{ MSH} = \text{Millionth Solar Hemisphere} = 10^{-6} 2\pi R_{\odot}^2$  に達した。これは 1990年11月の巨大黒点 6368 (面積  $A = 3080 \text{ MSH}$ ) 以来の 24年ぶりの巨大黒点であり、大フレアや大磁気嵐を起こす可能性があるとして、世界的な注目を集めた。実際、東のリムに見え始めた 10月17日から西のリムに消えた 10月30日までの 2週間の間に、Xクラスフレアを 6回引き起こした。これは今サイクルにおいて、一活動領域当たりの Xクラスフレアの数では最多であった。ところが、一見不思議なことに、これらの 6回の Xクラスフレアは、一つもコロナ質量放出 (CME) を引き起こさず、その結果、太陽風はきわめて静かであり、磁気嵐は全く発生しなかった。京大飛騨天文台では、この巨大黒点 12192 を SMART 望遠鏡とドームレス太陽望遠鏡を用いて、詳細に観測し、6回のうちの 2回の Xクラスフレアの観測に成功した (10月19日 UT 5時3分 (ピーク時) X1.1, 10月24日 UT 21時40分 (ピーク時) X3.1)。

本講演では、飛騨天文台における上記の黒点とフレアの観測の概要を紹介するとともに、なぜこの巨大黒点の Xクラスフレアは CME を引き起こさなかったか、過去の CME フレアと比較することにより統計的な観点から考察する。得られた結論を一言でまとめると、「同じ X線強度のフレアに対しては、黒点が巨大になればなるほど、CME は発生しにくくなる」というものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M20a 巨大黒点 12192 はなぜコロナ質量放出を起こさなかったのか？ II

河村聡人, 柴田一成, 石井貴子, 飛騨 SMART チーム (京大理天文台)

24年ぶりに出現した巨大黒点 12192 は、いわゆるデルタ型黒点であり、予想通り X クラスフレアを頻発した。太陽前面にあった 2014 年 10 月 17 日から 10 月 30 日までの 2 週間間に、X クラスフレアを 6 回引き起こし、そのうち、X1.1 と X3.1 の計 2 回が京大飛騨天文台で観測された。通常 X クラスフレアはコロナ質量放出 (CME) を起こすことが多いのであるが、注目すべきことに、これらの 6 回の X クラスフレアは CME を一つも起こさなかった。それはなぜだろうか？

本巨大黒点は、先行黒点と後続黒点をはっきりとわかり、基本的な磁場構造はきれいな双極型であった。先行黒点と後続黒点の間に小規模な浮上磁場が多数出現し、これらがデルタ型構造を作り、フレアを引き起こした。そのため、フレアから発生した噴出物は先行黒点と後続黒点をつなぐ強い双極磁場に閉じ込められた可能性が考えられる。実はこれは、通常の黒点で発生している多くの C クラスフレアが CME をともなわないことに類似している。

本講演では、飛騨天文台及び各種スペース観測によるフレアとプリフレアの観測データに基づいて 3 次元磁場構造を明らかにし、本巨大黒点でのフレアが CME をともわなかった理由を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M21a 軟 X 線で探るフレアループの温度構造

坂尾太郎 (ISAS/JAXA), 成影典之, 下条圭美 (国立天文台)

「ひので」搭載の軟 X 線望遠鏡 (XRT) は、1 MK 以下の低温から 20 MK を超える高温にわたり、温度の抜けなくコロナの撮像・温度診断を行なえる能力とともに、X 線波長域での太陽観測用望遠鏡として、過去最高の空間分解能 (ピクセルサイズ 1 秒角) を持つ。これらの特徴により、フレアループ群の微細な構造や、温度分布の空間的な発展の様子を高い時間分解能で観測することができ、「ようこう」SXT で必ずしも十分に追求しきれなかったフレアによる高温プラズマの研究に新しい進展をもたらす可能性を持つ。特に近年、(厚いがために地上での X 線透過測定による較正が十全に行なえていなかった) 高温プラズマ観測用の金属フィルターの軌道上観測データによる較正に成功したことにより (成影ら 2014; Sol. Phys), フレアに対しても信用の置けるフィルター比温度が導出できるようになってきた。XRT は SDO/AIA 望遠鏡がアクセスできない高温領域にまで温度感度を持っており、フレアによる高温プラズマの観測に特に適していると考えられる。

本講演では、2014 年 10 月の大活動領域 NOAA 12192 が東のリムにあった 10 月 14 日に起こした M1.1/M2.2 フレア (Behind-the-Limb フレア) を例にとり、特にフレアの Eruptive 期およびポスト・フレア期にコロナ上空に形成される軟 X 線構造に注目して、フィルター比温度分布の時間発展から得られる知見を検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M22a NOAA12192 で発生した大規模太陽フレアにおける白色光増光現象

渡邊恭子 (宇宙航空研究開発機構)、増田智、北川潤 (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。これまでの研究より、白色光放射と硬 X 線放射の間には時間的にも空間的にも関連性が見られることがわかっていることから、白色光の起源は非熱的電子であると考えられている。また我々が行った、2011年1月から2013年8月に「ひので」可視光望遠鏡 (SOT) で観測された白色光フレア (Mクラスフレア以上、42例) の統計比較研究から、「狭い領域」に「大量の加速電子」が「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)。

2014年10月中旬、今太陽活動期最大の活動領域 NOAA12192 が現れ、この活動領域が地球側から見えていた10月14日から10月30日の間に6例の X クラスと36例の M クラスフレアを発生した。「ひので」は大規模フレア発生時に自動的にフレア観測モードを用いて観測を行い、SOT では可視連続光の放射のみを含む Red(6684Å), Green(5550Å), Blue(4505Å) のバンドを用いての観測を行っている。一連の NOAA12192 で発生した X クラスと M クラスフレアで、SOT/RGB バンドで観測されたイベントは、X クラスに伴ったものが5例、M クラスに伴ったものが5例であった。実際これらのイベントについて白色光の有無を調べたところ、X クラスで2,3例、M クラスでは1例でかろうじて白色光の増光が見える程度であった。

今回の発表では、これらの同じ活動領域で発生した大規模フレアの物理条件が、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](#)

## M23b 差動回転分布のヒステリシスと太陽型–反太陽型遷移の臨界値

馬淵隼、政田洋平、陰山聡（以上、神戸大学）

回転球殻対流系の差動回転分布は、太陽型（赤道加速型）と反太陽型（赤道減速型）に大別され、どちらに帰着するかは系の対流ロスビー数 ( $Ro_c = \sqrt{RaE^2/Pr}$ ) のみに依存するとこれまで考えられてきた (c.f., Gilman 1976)。近年、Gastine らは回転球殻対流の系統的かつ広範な parameter study を行い、形成される差動回転分布が対流層の厚みや密度成層の強さには依らない一方、「対流ロスビー数」と「初期回転分布」に依存することを見いだした (Gastine et al. 2014; Kopyla et al. 2014)。

一方、我々は天文学会 2014 年春季年会 (M57a) で、回転球殻対流に対する磁場の効果を調べ、(1) 同じ対流ロスビー数でも磁場の有無に依存して形成される差動回転分布に違いが生じること、(2) 太陽型–反太陽型差動回転分布の遷移は、対流ロスビー数よりもむしろロスビー数 [ $Ro = v_{rms}/(2\Omega_0 d)$ ] で特徴づけられること、を明らかにした (Mabuchi, Masada & Kageyama, submitted to ApJ)。

今回我々は差動回転分布のヒステリシスに注目し、回転球殻対流シミュレーションで磁場の効果を系統的に調べた。本研究で使用したモデルは、対流層の内側に対流安定層を加えた二層ポリトロープモデルであり、計算にはインヤン格子を使った回転球殻 MHD ダイナモコードを使用した [Masada et al. (2013) (2013 年秋季年会 M03a)]。本研究の結果、(1) 流体力学的モデルでは確かに差動回転分布にヒステリシスが存在するが、磁場を考慮するとヒステリシスが消失すること、(2) 初期回転分布や磁場の有無に依らず、差動回転分布は対流ロスビー数ではなく『ロスビー数』で特徴づけられること、を明らかにした。ポスターでは太陽の内部差動回転分布に対するヒステリシスおよび磁場の効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](#)

## M24b 相対黒点数と電波・磁場フラックス及び極端紫外線強度の相関

川畑佑典 (東京大学), 宮腰剛広 (海洋研究開発機構), 藤田剛, 野澤恵 (茨城大学), 柴崎清登 (国立天文台)

太陽面上に現れる黒点数は11年を周期として増減していることが知られている。太陽表面及び大気の現象は磁場が支配しており、磁束管が集中した場である黒点の変動を追う事は恒星としての太陽の理解の為に重要である。また太陽表面での指数である相対黒点数と光球磁場フラックス、及び太陽大気の指数である電波や極端紫外線において、これらの間の関係を調べることで、太陽物理学の重要問題である活動周期やコロナ/彩層加熱の理解につながることを期待される。

最近では観測技術の進歩により高空間分解能の光球面磁場や太陽大気の遷移領域の連続観測が可能になっている。本研究では野辺山太陽電波ヘリオグラフの17GHzの電波データ、NASAの太陽観測衛星SDO(Solar Dynamics Observatory)に搭載されたAIA(Atmospheric Imaging Assembly)、HMI(Helioseismic and Magnetic Imager)による極端紫外線、光球磁場データを基に作成されたSynoptic mapを用いて、それぞれの観測値と相対黒点数の相関を調べた。解析の結果、Synoptic mapを積分したフラックス値では光球磁場、電波、相対黒点数に非常に強い相関が見られた。この結果は黒点数が太陽活動の指標であるとともに、磁場フラックスを代表していることを示唆している。これに加えて空間毎の相関も調べたが、こちらには強い相関がみられなかった。この結果にはコロナホールや表面と大気構造の違いが影響していると考えられる。今後はこれらの影響を考慮した解析を行う事で、各フラックスの空間的な関係や、局所領域毎の変動の様子や黒点数との関係などを理解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](#)

## M25b 太陽風パラメータの長期変動について

亘 慎一, 田 光江, 久保勇樹 (情報通信研究機構)

サイクル 24 は最近の数サイクルの中でもっとも活動の低いサイクルとなっており、コロナ質量放出 (CME) による地磁気嵐の発生も少なくなっている。そこで、太陽風パラメータ (速度、温度、密度、磁場強度) の長期データを用いて統計的な解析を行った。人工衛星による太陽風の直接観測が行われるようになって、50 年以上が経過しており、特に 1995 年以降は、WIND 衛星や ACE (Advanced Composition Explorer) 衛星の観測により、98 パーセントを超える太陽風の観測率となっている。2015 年以降は、DSCOVR (Deep Space Climate Observatory) 衛星により連続的な太陽風の観測が引き続き行われることになっている。そこでサイクル 23 とサイクル 24 の立ち上がりの期間について比較してみると、太陽風の速度、温度、密度、磁場強度のいずれもサイクル 24 において小さくなっていることがわかる。CME、コロナホールなどその太陽での起源により、地球近傍で観測される太陽風パラメータは、異なる特徴を持っていることが知られている。太陽風の領域を識別するアルゴリズムを用いて、太陽風のそれぞれの領域についての比較に関しても発表を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26b

## **Multi-height Dopplergrams made from SDO/HMI filtergrams**

Kaori Nagashima, Laurent Gizon, Aaron C. Birch, Robert Cameron, Sanja Danilovic (Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung), Björn Lötjien (Georg-August-Universität Göttingen), Sebastien Couvidat (Stanford University), Bernhard Fleck (ESA), Robert Stein (Michigan State University)

We show here that we can obtain multi-height Dopplergrams from full-disk continuous SDO/HMI observation. Multi-height velocity field information in the solar atmosphere is of great interest for many purposes. In recent helioseismology analyses, multi-height observation data are used, for example, to detect flows in the atmosphere or to measure oscillation power distribution around active regions. Multi-height information is useful also in the study of energy transport in the solar atmosphere.

We created two Dopplergrams other than the standard HMI-algorithm Dopplergrams from HMI filtergrams: a line-center Dopplergram and an average-wing Dopplergram. By exploiting the synthetic filtergrams created from realistic convection simulations we estimate the effective height of these Dopplergrams. Compared to the effective height of the standard HMI-algorithm Dopplergram, the line-center Dopplergram is 30 – 40 km above, while the average-wing Dopplergram is 30 – 40 km below.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M27b 野辺山電波ヘリオグラフによる黒点上層大気構造

岩井一正, 柴崎清登 (国立天文台), 野澤恵, 宮脇駿, 米谷拓朗 (茨城大学)

黒点上空の大気構造は黒点の形成や成長を理解するために重要である。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、かつ Rayleigh- Jeans の法則が適用できる。よってミリ波の熱制動放射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が導出できる。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) では黒点暗部の輝度温度は静穏領域よりも低いことが示唆された (Iwai and Shimojo, ApJL, submitted)。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、黒点が明るいプラージュ領域に囲まれている場合、像合成過程でプラージュの影響を受け、正確な輝度温度が導出できない。本研究では、国立天文台太陽観測所提供の黒点暗部面積データベース、SDO 衛星 AIA の紫外線撮像データを用いて、暗部の面積が大きく、かつなるべくプラージュ領域に囲まれていない黒点を抽出した。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。なお本研究は、野辺山太陽電波観測所にて行われたデータ解析型研究集会「太陽多波長データ解析研究会 2014」によって得られた成果に基づいている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M28b 彩層衝撃波と遷移層の衝突によるコロナ加熱機構

松本琢磨 (宇宙科学研究所)

約 6,000K の冷たい太陽光球の上空において、100 万 K を越える高温コロナを維持する機構をコロナ加熱機構と呼ぶ。コロナ加熱機構は基本的には、光球の対流運動によって生成されたポインティングフラックスを輸送・散逸させて磁気エネルギーを熱エネルギーに変換する過程である。輸送・散逸は、重力と磁場のために、非一様場中で起こる非線形過程になる。そのため、コロナ発見以来半世紀以上経った今なお、コロナ加熱機構を完全に解明するには至っていない。

過去の研究により、彩層で生成された衝撃波が温度遷移層と衝突する前後で加熱機構が劇的に変化することが示唆されてきた。彩層では衝撃波による圧縮的な加熱、コロナでは磁気シアの散逸による非圧縮的加熱が支配的になることも、数値計算の結果から支持されている。本研究では、過去に行なわれた複雑な数値計算を単純化し物理を抽出することで、衝撃波と遷移層の衝突過程をより詳細に追えるモデル計算を行なった。

彩層衝撃波は遷移層と衝突することで、接触不連続面、スローショック、回転不連続面およびファーストショックに分裂する。計算の結果、回転不連続面がエネルギーを最も多く持ち、かつ加熱に寄与することが分かった。また、彩層衝撃波は水平方向にカスケードする傾向にあり、このことも加熱率を増加させる一因となると予想される。本発表ではそのカスケード機構が乱流であるのか、位相混合によるものな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](#)

## M29a 電波観測による白色光フレアと非白色光フレアの比較研究

増田 智, 北川 潤 (名古屋大学), 渡邊 恭子 (宇宙航空研究開発機構)

白色光太陽フレアは、可視光波長帯の連続光 (白色光) での増光が検出される太陽フレアである。一般的には、解放されるエネルギー量が多い X クラスフレアのような大フレアに見られることが多いが、エネルギー量だけが白色光増光の有無を決定しているわけではない。我々は、白色光増光を引き起こす真の要因を理解するために、2011 年 1 月から 2013 年 8 月の間に発生した M クラス以上の太陽フレアのうち、「ひので」可視光望遠鏡の白色光データが存在する 42 イベントを用いて比較研究を行い、白色光増光にはコンパクトな領域に大量の加速電子が短時間に降りこむことが重要であるという結論を得た (日本天文学会 2014 年秋季年会 M05a 参照)。

本講演では、上記 42 イベントのうち、野辺山太陽電波観測所の観測時間帯に発生した 10 イベント (白色光: 4 イベント、非白色光: 6 イベント) について、太陽電波観測による白色光・非白色光フレアの比較研究を行った。GHz 帯電波は、MeV 程度のエネルギーの加速電子からのジャイロシンクロトロン放射が卓越していると考えられるが、ピーク強度には白色光と非白色光フレアの間有意な違いは見られなかった。白色光増光には、非常に高いエネルギーの加速電子が必要というわけではなく、これまでの研究でも指摘されているように数十 keV 程度の比較的低エネルギーの加速電子が要因であることを示している。また、ジャイロシンクロトロン放射で特徴的なスペクトルの折れ曲がり (ピーク) 周波数は、白色光フレアのほうが周波数が高い傾向を示した。これは、電波放射領域の磁場が強いことに対応しており、白色光フレアはサイズがコンパクトであるという結果に合致する。スペクトルの時間変化については、非白色光フレアでハードニングを示す傾向が強く、非白色光フレアでは、白色光フレアに比べて、ループの磁場が弱く、磁気ミラーが効果的に働いていることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 飛騨天文台 SMART で観測された、2013年5月14日の巨大フレアに伴う  
白色光・ $H\alpha$  線強度の準周期的振動について

浅井歩 (京大・宇宙ユニット), 石井貴子, 柴田一成 (京大・理・天文台), Elena G. Kupriyanova  
(ロシア科学アカデミー・ブルコヴォ天文台)

太陽フレアに伴い、マイクロ波、硬 X 線放射、軟 X 線放射など、さまざまな電磁波帯にわたって放射強度に準周期的な振動 (Quasi Periodic Pulsation; QPP) が観測されている。これらの周期的振動は、フレアにおけるエネルギー解放の過程で何らかの磁気流体波動の影響を受けて生じていると考えられている。またそのために、波動モードを同定することができればコロナのプラズマ診断に用いることができることから、注目されている。

私たちは、2013年5月14日に活動領域 NOAA 11748 で発生した X2.8 の巨大フレアについて、京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡での観測に成功した。特に T3 望遠鏡に設置された  $H\alpha$  線および白色光での超高速撮像観測装置 FISCH (Flare Imaging System in Continuum and H-alpha) により、フレアリボン・フレアカーネルの白色光・ $H\alpha$  線増光の様子を極めて高い時間分解能でとらえた。フレアカーネルにおける白色光・ $H\alpha$  線強度について周波数解析を行ったところ、ともに 30 秒程度、50 秒程度の周期の振動が卓越していることがわかった。これらの振動周期は、国立天文台野辺山偏波計によるマイクロ波 (17GHz および 35GHz) の周期解析でも見られた。この他、15 秒程度の振動周期なども確認できた。本講演では、これらの解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M31a X型磁場構造におけるホモロガスフレア

川畑佑典 (東京大学), 清水敏文 (宇宙科学研究所)

太陽フレアは数分から数時間のタイムスケールで様々な波長を増光させる爆発現象である。フレアの「標準」モデルの一つ、いわゆる CSHKP モデルによると太陽コロナ中の磁気リコネクションによる上下のアウトフローで、磁気ループが加熱されカस्प型の構造と足元にフレアリボンが観測される。しかし CSHKP モデルですべてのフレアを説明できている訳ではない。その一つとして今回議論するのがホモロガスフレアである。ホモロガスフレアとは数時間から数日の間隔、同じ領域、同じトポロジーで起こるフレアである。一度のエネルギー解放後にどのようにして同じトポロジーのフレアが起こるかを解明することは、フレアのエネルギー蓄積過程、トリガを理解する上で非常に重要である。

解析対象は 2014 年 2 月に複数回の M クラスフレアを起こした NOAA AR11967 である。そのうちの 2 つのホモロガスな M クラスフレアの多波長解析の結果を紹介する。解析には太陽観測衛星「ひので」と「SDO」のデータを用いた。「ひので」の可視光望遠鏡 (SOT) の偏光分光データからは光球磁場分布とドップラー速度を得た。また「ひので」の X 線望遠鏡 (XRT) の軟 X 線データ及び「SDO」の極端紫外線データから上空のフレアプラズマ分布を、「SDO」の紫外線のデータからフレアリボンの構造を得た。以上のデータを用いてフレア発生時の 3 次元磁場構造を推定した。発生したフレアからは CSHKP モデルで言われるようなカस्प型構造は見られずフレアリボンも複雑な構造をしている。足元の磁場分布は、四重極になっており正極と負極が X 型で交差している。また四重極の磁極の一つが光球面のガス流に伴い移動する様子も確認でき、紫外線のデータから確認できるフレアリボンからもこの流れがフレアのトリガと関係していることが推測される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M32a 磁束浮上領域に見られるライトブリッジ状磁場構造とエネルギー解放現象

鳥海森, 勝川行雄 (国立天文台), Mark C. M. Cheung (LMSAL)

磁束浮上領域には様々なスケールのエネルギー解放現象が見られる。本研究では、小規模なエネルギー解放現象の発生機構を解明するため、成長中の活動領域 NOAA 11974 の観測データを解析した。Hinode/SOT、SDO、IRIS による観測では、傾いた弱い正極磁場が負極小黑点に挟まれた領域において、間欠的な小規模増光現象が約2時間にわたって彩層画像に見られた。各増光現象の大きさは数秒角、継続時間は10-20分だが、それらは数分程度の増光から構成され、IRIS の分光観測データは波長方向に広がったスペクトルを示していた。さらに、各増光現象の直後には、寿命10-20分、長さ7-30 Mm のダークジェットがコロナ画像に見られた。このことから、黒点の形成過程において、合体しつつある2つの負極小黑点が傾いた正極磁場を挟み込むことで磁気リコネクションが生じ、低温の低層大気がコロナへ放出されたものと解釈した。このような表面磁場構造は磁束浮上シミュレーション (Cheung et al. 2010) にも見られる。シミュレーションデータを解析した結果、磁束が対流層内部を浮上する際に周囲のプラズマを取り込むことで、小黑点に挟まれた傾いた磁場構造を形成することが明らかになった。この細長い水平磁場構造の内部には対流が生じており、上昇流にともなって10-20分の時間間隔で磁束が表面に出現する。したがって、観測で見られた間欠的な増光とダークジェットは、対流によって太陽内部から輸送された磁束が表面層において周囲の小黑点磁場とリコネクションすることで発生したものと考えられる。本研究において成長中の活動領域に見られた強い垂直磁場に挟まれた弱い水平磁場構造やそれに付随する間欠的なエネルギー解放現象は、成長した黒点に現れるライトブリッジや半暗部フィラメントの特徴と類似している。太陽大気中に現れる多様かつダイナミックな活動現象を理解するためには、太陽内部の磁場発展を研究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](#)

M33a 太陽フレアに伴う光球面水平磁場の変化に関するシミュレーション研究  
板橋佑典, 草野完也 (名古屋大学太陽地球環境研究所)

太陽フレアはコロナ中のシア磁場として蓄積されている自由エネルギーが爆発的に解放される現象として理解されているが、いくつかの観測では光球面の水平磁場が太陽フレアに伴って減少するのではなく、急速に増大することを示されている。本研究の目的は、フレアに伴う光球面水平磁場の変化に関して、数値シミュレーションのデータ解析を通してそのメカニズムを明らかにすることにある。そのため、Kusano, et al. (2012) によって実施された太陽フレアに関するアンサンブル計算の結果を利用した。Kusano らのアンサンブル計算では、161 タイプの異なる磁場形状について 3次元電磁流体シミュレーションを実施し、反極性 (OP) 型及び逆シア (RS) 型とよばれる 2つのタイプの小規模磁場が太陽フレアのトリガとなることが示された。本研究ではこの2つの典型的なフレアトリガ磁場がある場合のシミュレーション結果を用い、水平磁場の時空間発展を解析した。その結果、水平磁場の増大はポストフレアループ内部のシア磁場の圧縮によって引き起こされる事を発見した。一方、ポストフレアループより上の領域ではフレアに伴ってシア磁場が減少することも確認した。それゆえ、フレアに伴う水平磁場の増加はフレアのリコネクションモデルと矛盾ないことが分かった。さらに我々は、2つのフレアトリガ磁場の違いを調べた。その結果、いずれの場合もシア角が十分に大きな場合には水平磁場の増加が発生するが、OP 型の場合は水平磁場の増加の直前に顕著な減少が起きることを見出した。これは OP 型磁場が “eruption-induced reconnection” を通してフレア爆発を駆動するため、リコネクション発生前にフラックスロープの上昇によって、シア磁場が一時的に引き延ばされ、その磁束密度が減少することで生じるものである。これらの結果は、フレアに伴う水平磁場の変化からフレアトリガ過程の詳細を知ることができ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](#)

## M34a 非円形フラックスロープの不安定性に関する数値解析研究

石黒直行, 草野完也 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)

太陽コロナにおける捻じれた磁束管であるフラックスロープの安定性は太陽フレアやコロナ質量放出 (CME) の発生と結びついた重要課題である。軸対称トーラスを仮定したフラックスロープの安定性に関しては、Kliem (2006) によってトーラス不安定性の理論が提案され、ポテンシャル磁場の decay index が不安定性の発生に対する重要な指標になることが示された。この理論では、ガス圧の効果を見捨てた理想 MHD 近似の下で、自己相似的に成長する円形フラックスロープが仮定された。しかし現実のフラックスロープの放出においては、シグモイドなど非円形の形状を持つ磁場が不安定化することが観測的に知られている。また、Kusano, et al. (2012) では磁気中性線に出現する emerging flux によって磁力線のつなぎ換えが発生し、M 字型のシグモイド磁場が不安定化するプロセスの重要性がシュミレーションと観測の比較から示されている。

そこで本研究では、M 字型のフラックスロープの安定性を調べることを目的として、トーラス不安定性の理論を非円形のフラックスロープに拡張して解析することができる数値モデルを開発した。このモデルでは、2つの円形ロープを接続した M 字型ロープに働くフープ力と、外部磁場とロープ電流から生まれるローレンツ力の平衡を求めると共に、ロープ面内を貫く磁束保存の拘束条件を課して安定性と平衡条件を求めた。計算の結果、M 字型ロープが円形に変形する前に不安定化することが見出された。この結果は、トーラス不安定が現れる decay index の臨界点よりも高度が低い位置でフラックスロープが既に不安定化し得ることを示しており、太陽フレアや CME 発生新たな指標になると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M35a 彩層蒸発流の観測と電離非平衡計算の比較研究

今田晋亮（名古屋大学）、村上泉（核融合研究所）、渡邊鉄哉（国立天文台）

これまで、太陽コロナにおけるフレアのような急激なプラズマ加熱の際の、電離過程について研究をおこなってきた。フレアの際、急激な加熱が起った場合、ダイナミカルなタイムスケールより加熱のタイムスケールの方が速いため、電離過程が追いつかず、いわゆる電離平衡に至らない事が示唆されている。また、プラズマが急激に加熱された事により熱勾配ができ、熱伝導によって彩層にエネルギーの一部が伝わり、結果彩層蒸発という現象を起こす事が知られている。この彩層蒸発流は彩層起源のプラズマなので密度が高く、一般的には電離平衡になると考えられている。しかし、我々が開発した電離過程と流体力学過程を同時に解く計算コードを用いて、彩層蒸発について数値シミュレーションをおこなった結果、ごくごく初期のフェーズでは電離非平衡になる事がわかった。さらに観測で示されているような200万度程度での50km/sec程度の下降流を再現するためには、熱伝導係数が通常値より小さい必要がある事もわかった。本講演では、数値計算と観測を詳細に比較し、彩層蒸発流の電離非平衡性や熱伝導係数について考察した結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M36a 太陽フレアの前兆現象における非熱的粒子の研究

梶田聡史, 北林照幸 (東海大学), 下条圭美 (国立天文台)

今までの研究により一般的にプリフレア期と呼ばれている太陽フレア発生前の約数十分程度の間において様々な波長で増光が見られることが知られている。この増光のタイミングにおいて粒子が加速され非熱的粒子が存在するかどうかについては、多くの議論がされているが未だ明確な結果は得られていない。本研究は、前兆現象の中でもフレア発生に向けて連続的に X 線の増光が見られる「プリフレア」に焦点を当て、硬 X 線と電波のデータを用いて非熱的粒子について粒子加速のトリガメカニズムを解明することを目的としている。2014 年秋季年会では、2002 年から 2004 年及び 2011 年から 2013 年の間に発生した M 4 クラス以上のフレアイベントのうち、フレア発生前約 30 分間の RHESSI 衛星のデータがあるプリフレアイベント 10 例を解析し、規模の大きいフレアにおいては非熱的放射が抑えられている可能性があることを報告した。今回は、GOES の X 線フラックスの時間微分とその二階微分をもとにプリフレアの時間帯を定義しなおし、M1~M3 クラスフレア 8 例を加えて解析を行った。新たに解析を行った 8 例については、4 例の硬 X 線スペクトルの中に非熱的成分が見られ、全体としては 18 例中 8 例で非熱的放射が見られた。この結果はプリフレアに続いて発生する中規模以下のフレアにおいてはインパルスフェーズ前に粒子加速が起きていることを示唆している。これらの結果と他の観測装置 (RHESSI, SDO/AIA, NoRH) のデータを用いて粒子加速が発生するタイミングにおける物理量や構造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](#)

## M37a 電波ドリフト・パルス構造から導くプラズモイド噴出と粒子加速

西塚直人 (情報通信研究機構), Marian Karlický (Ondřejov 観測所), Miho Janvier (Dundee 大学), Miroslav Bárta (Ondřejov 観測所)

チェコの Ondřejov 観測所では、電波望遠鏡 RT4、RT5 を用いて高時間分解能のフレア観測を行っている。観測周波数 0.8-4.5GHz の中で、高速電子ビームを示す III 型バーストや連続スペクトルの IV 型バーストの他、最大・最小周波数が一定に揃いつつ徐々に上下にシフトする III 型バースト群が観測されている。この現象はドリフト・パルス構造 (DPS) と呼ばれ、閉じた磁力線 (プラズモイド) 中に捕捉された電子ビームと、プラズモイド噴出を見ているのではないかと解釈されている。近年、プラズモイド噴出と磁気リコネクションの高速化や粒子加速との関係が理論的に盛んに議論されているが、観測的には明らかになっていない。本研究では電波観測を用いて観測的解明を試みた世界で初めてのアプローチを提唱する。

我々は 2002~2012 年に観測された 106 個の DPS イベントを統計的に解析し、4 ケースに分類した。(1) 一定周波数ドリフトを示す単発イベント [12 例]、(2) 一定周波数ドリフトをそれぞれもつ複数イベント [11 例]、(3) 周波数ドリフト率が途中で増加したり減少したりする単発もしくは複数イベント [52 例]、そして (4) 同時に異なる周波数領域で発生する複雑なイベント [31 例]。ドリフト率の変化するイベントが一般的で、DPS 発生頻度は太陽活動周期とともに変動する。多くの DPS は硬 X 線バーストと同期し、硬 X 線バースト初期に発生する。また 25keV 以上の高エネルギー帯よりも低エネルギー帯 (15-25keV) の X 線と相関が良い。さらに DPS をプラズモイドと解釈して、DPS 電波スペクトルから噴出速度、幅、高度を測定、リコネクション率とプラズマを見積った。そしてこれら物理量の関係を調べた結果、リコネクション率が噴出速度と良い相関にあることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a **AMATERAS** によって観測された太陽電波 IV 型バースト中の zebra pattern の偏波特性

金田和鷹, 三澤浩昭, 土屋史紀, 小原隆博 (東北大学), 岩井一正 (国立天文台)

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を起源とした電波バーストであり、このバースト中には様々なスペクトル微細構造が存在することが知られている。これらの微細構造は、太陽コロナ中での波動-粒子、波動-波動相互作用や電波伝搬時の変調により生じたものであるため、コロナのプラズマ環境を理解する上で、重要な情報源である。中でも 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持った現象である。この zebra pattern の偏波情報、特に周波数特性から、その発生・伝搬過程を理解することが本研究の目的である。

東北大学で開発された太陽電波望遠鏡 AMATERAS は、150-500 MHz の周波数帯域を時間分解能 10 ms、周波数分解能 61 kHz で計測可能な高分解能システムであり、太陽電波バースト中の微細なスペクトル構造を検出することに適している。本研究では、2011 年 6 月 21 日に AMATERAS によって検出された IV 型バースト中の ZP について高分解解析を行った。このバーストは右回り偏波が卓越して出現しており、偏波率の周波数依存性はほとんどないことがわかった。また、右回り成分と左回り成分の出現には顕著な時間差があり、相互相関解析を行った結果、右回り成分に対して左回り成分が約 100ms 遅れて出現していること、時間差には弱い周波数依存性があることがわかった。この結果の解釈として、ZP が O モードで放射された後、放射源付近でその一部が X モードに変換され、それぞれの群速度の違いにより時間差が発生した可能性が考えられる。O モードから X モードへの変換過程としては、O モードとイオン音波やホイッスラーなどの低周波数の波動の相互作用が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M39b **Investigation of the Abundances of Polar Jets as the Solar Wind Source Using Hinode**

Shinsuke Imada (Nagoya University), Kyoung-Sun Lee (ISAS/JAXA), David H. Brooks (George Mason University)

With X-ray observations, we can detect many jets in the Sun's polar region, and it has been suggested that they could be a fast solar wind source. The plasma ejected along the jets could, in principle, contribute mass to the solar wind. From in-situ measurements in the magnetosphere, it has been found that the fast solar wind has photospheric abundances while the slow solar wind has coronal abundances. Therefore, we investigated the abundances of polar jets to determine whether they are the same as that of the fast solar wind. For this study, we selected 26 jets in the polar region observed by Hinode/EIS and XRT simultaneously on 2007 November 1-3. We calculated the FIP bias factor from the ratio of the intensity between high (S) and low (Si, Fe) FIP elements using the EIS spectra. The values of the FIP bias factors for the polar jets are around 0.9 ~ 1.6, which indicates that they have photospheric abundances similar to the fast solar wind. The results are consistent with the reconnection jet model where photospheric plasma emerges and is rapidly ejected into the fast wind.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40b **Analysis of Solar Flare Trigger Mechanism by Using MHD Simulation**

Johan Muhamad, Kanya Kusano, Daikou Shiota, Yumi Bamba (Nagoya University)

As one of the largest sources of disturbance in the solar system, solar flare has been widely studied for many decades. It is strongly believed that the flare originates from the reconnection process of the highly sheared magnetic field in the solar corona. However, it is still unclear what kind of mechanism can trigger that process at the beginning of the flare event. Recently, Kusano et al (2012) proposed some trigger mechanisms which may initiate the solar eruption. They systematically studied the impact of emerging flux into several configurations of simple magnetic fields by numerical simulation. They found that there are two different types of small magnetic structures favor the onset of solar eruptions which may appear near the polarity inversion line (PIL) which are opposite polarity and reversed shear polarity that acted on highly sheared region of magnetic fields. We extend this work by using more realistic configuration of magnetic fields which mimic the solar coronal structure. In order to do this, we perform Nonlinear Force Free Field (NLFFF) extrapolation method on the vector magnetogram data from the Hinode satellite. This model of the magnetic field is then systematically injected by several emerging flux configurations in term of 3D magnetohydrodynamics simulation. We present first result of this numerical simulation to test the impact of the perturbation of small structure dynamics to the equilibrium state which obtained from NLFFF model. Our result suggests that the position and intensity of the emerging flux with respect to the initial NLFFF condition is very crucial for triggering the solar eruption. We will discuss some of the dynamics process which take place during the emergence of magnetic flux.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M41a 次期太陽観測衛星計画「Solar-C Mission」始動

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」計画では、対流層 - 光球 - 彩層 - 遷移層 - コロナから惑星間空間の磁気結合をひとつのシステムとして理解することにより、太陽・太陽圏の磁気活動を詳らかにし、宇宙プラズマに普遍的に現れるプラズマ素過程を解明して、太陽圏とそれに含まれる地球環境にも大きな影響を与える太陽磁気活動を理解、予測するアルゴリズムの開発も目指している。Solar-Cの科学目的を達成するための観測手法として、温度の異なる太陽大気を同等の高解像度による観測、時間変動の大きい対象の高速観測、彩層の磁場観測（とそれをを用いるコロナ磁場推定）、画像観測と分光観測の有機的な連携、高解像度と広い観測視野の両立などが胆となっている。これらの観測要求を具現化する装置として、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)の設計検討が進められており、ミッション要求とその実行性についての考察を深めてきた。また衛星システムとの厳しい整合性もシステム要求として取りまとめている。Solar-C計画では、広範な国際協力により世界規模の計画となるため、国際分担に関する検討も並行して進めている。欧州コミュニティでは、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)」計画として提案することとなった。

予稿執筆の現在、ISAS/JAXAの平成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応すべく、広く国内外の研究者を包含して、ミッション科学目的の洗練、科学要求・システム要求・観測機器要求等のとりまとめをしており、提案に必要な諸文書の最終確認を行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M42a SOLAR-Cの目指すサイエンスと科学戦略

草野完也 (名大), 横山央明 (東大), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄 (国立天文台), 吉原圭介, 清水敏文, 坂尾太郎 (宇宙研), 一本潔 (京都大), Solar-C ワーキング・グループ

磁気活動天体としての太陽の理解は、「ひのとり」、「ようこう」、「ひので」などによる衛星観測を通して急速に進展してきたが、太陽から惑星間空間に至る複雑な大気構造の形成原因と我々の生活にも重大な影響を与える太陽磁気活動の変動機構の解明は未だに不十分である。この重要課題を解決するため、我々は次世代太陽観測衛星 SOLAR-C 計画を推進している。SOLAR-C は太陽表面から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共に、宇宙プラズマに普遍的に現れるプラズマ素過程を解明し、太陽活動が地球と人間社会に与える影響の理解と予測のために必要な科学的知見をも獲得することを基本目的とした日本が主導する国際ミッションである。SOLAR-C ワーキンググループでは国内外の太陽及び関連分野の研究者の協力を得て、SOLAR-C の目指すサイエンスについてこれまで繰り返し検討を重ねてきた。本講演ではそれらの検討結果の概要を、上記の基本目的を達成するために設定された3つの重要課題：(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と磁気リコネクションの高速化機構の究明、及びその発生を予測するための知見の獲得、(III) 地球気候にも影響を与える太陽放射スペクトルの変動機構の解明、についてそれぞれまとめて報告する。SOLAR-C による科学研究では従来の画像解析に基づく定性的診断を超えて、観測データと数値モデルの同化に基づく定量的な物理解析が重要な役割を果たす。本講演ではそのために必要となる新たなモデルについても議論し、SOLAR-C 時代における太陽研究の科学戦略を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## M43a Solar-C 光学磁場診断望遠鏡 (SUVIT) の要求性能と装置設計

一本潔 (京都大学)、原弘久、末松芳法、勝川行雄 (国立天文台)、清水敏文 (宇宙科学研究所)、  
Solar-C ワーキンググループ

次期太陽観測衛星 Solar-C に搭載する光学磁場診断望遠鏡 (Solar Ultraviolet-Visible-IR Telescope; SUVIT) の使命は、対流泡で埋め尽くされた光球とダイナミックに変動する彩層大気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通る磁場の3次元構造を計測することである。光球の磁場と彩層の密度構造の観測には0.1秒角の空間分解能が、彩層の磁場観測には0.3秒角の空間分解能と、スペクトル線輪郭を約10秒の時間内に $3 \times 10^{-4}$ の精度で偏光測定することが要求される。また、光球の底から彩層上部に渡る領域の物理診断をおこなうために、広い波長域(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が必要である。

SUVITはこれを口径1.3~1.4mのグレゴリアン望遠鏡と3つの焦点面観測装置によって実現する。すなわち、透過幅~0.1nmのフィルターによって500-1100nmにある光球・彩層ラインの偏光撮像観測を行う狭帯域フィルターグラフ(Filtergraph; FG)、3つの光球・彩層ライン(525nm, 854nm, 1083nm)の高精度(2次元)偏光分光観測を行う偏光分光装置(Spectro-polarimeter; SP)、MgII280nmの分光と波長450nm以下での高分解撮像観測を行う紫外線撮像分光装置(UV-Blue Imager and Spectrometer; UBIS)である。

本講演ではミッション提案として固まったSUVITの観測性能と装置構成、まだ残されている課題、およびこの野心的な装置を実現するためにこれまで海外機関と合意された国際分担について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a 狭帯域チューナブル・フィルターを用いた太陽彩層観測

萩野正興, 一本潔, 木村剛一, 仲谷善一, 上野悟 (京都大学), 篠田一也, 末松芳法, 原弘久 (国立天文台), 清水敏文 (JAXA), 北井礼三郎 (佛教大)

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

このフィルターを京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡にセットし、24 年ぶりの巨大黒点 (NOAA 12192) が太陽東リムに出現する直前の 2014 年 10 月 18 日に  $H\alpha$  線付近の 11 波長でサージを観測した。このサージはリムに対してほぼ垂直に観測視野 102.4 秒角 (約 74240km) を越えて伸びており、起点は巨大黒点に成長した活動領域 NOAA 12192 にあった。サージ内の運動は  $H\alpha$  線の波長中心 6563Å から -0.4Å の波長ではっきりと観測された。サージの上昇速度は約 70km/s であり、下降速度は約 30km/s であった。

本講演ではこのサージを含む狭帯域チューナブル・フィルターで観測されたデータを紹介する。また、2015 年 1 月に実施予定の中国雲南天文台 Fuxian Solar Observatory の 1m 太陽望遠鏡での本フィルターの観測状況も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M45b SOLAR-C 彩層磁場診断能力は科学課題解明に十分か？

阿南徹、永田伸一、一本潔 (京都大学)、勝川行雄、石川遼子、久保雅仁、花岡庸一郎 (国立天文台)

次期太陽観測衛星 SOLAR-C の大きな特徴の一つは、地上ではなし得ない高空間・高精度の安定した彩層磁場観測である。彩層に磁場があるとゼーマン効果、散乱偏光、ハンレ効果によって彩層を観測できるスペクトル線(以降、彩層スペクトル線)が偏光する。SOLAR-C は彩層スペクトル線の偏光を観測し、インバージョンすることで彩層磁場を測定する。これまで、SOLAR-C で掲げられた科学課題(彩層・コロナ加熱)の解明には、彩層磁場の情報が決定的に重要だと考えられてきたものの、具体的にどのような時間・空間分解能、磁場測定精度が必要かといった観測装置への要求に落とし込むまでの十分な検討は行われてこなかった。私たちは、彩層・コロナ加熱において重要だと考えられている磁気流体波動の検出といった各科学課題の解明に必要な観測計画を検討し、達成すべき空間分解能、時間分解能、そして現在の装置設計で達成できる偏光測定精度を求めた。さらに、その精度を元に既存のインバージョン手法における彩層磁場の測定誤差を導出した。本ポスターでは、これまで検討されてきた SOLAR-C が取り組む主な科学課題と、それに伴う SOLAR-C の彩層磁場測定精度を具体的に紹介し、各科学課題を解決できるかどうかを検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M46b

## 飛騨天文台 DST 観測によるフィラメントの磁場の時間変化

澤田真平, 野澤恵 (茨城大学), 一本潔, 上野悟, 阿南徹 (京都大学)

太陽にはコロナと呼ばれる希薄な大気層がある。その希薄な層に密度の大きなフィラメントが浮かんでいる。フィラメントが重力で光球面に落ちずにコロナに浮かんでいるのは、磁場が支えているからである。またフィラメントは振動し、時には噴出などダイナミックな運動をすることがある。加えて、フィラメントは地球に害を及ぼしコロナ質量放出と関係があるため、磁場に支配されるフィラメントの運動の理解は欠かせない。しかし磁場構造の変化は研究されておらず、フィラメント噴出のモデル決定には至っていない。そこで本研究では2014年4月24日の活動領域 NOAA12044 内のフィラメントを飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) で偏光分光観測を行い、フィラメントを支える磁場の時間変化の導出を行った。この観測では2つフィラメントを同時に観測している。これらのフィラメントの足元付近でフレア (爆発現象) が起こり、フィラメントは双方共に擾乱された。しかし両者の運動は大きく異なり、一方はその場で擾乱したのみで、他方は噴出してた。本研究ではこの運動の違いについて磁場構造の変化を用いて説明を行う。

磁場導出に用いたインバージョンコードは HAZEL (HAnle and ZEeman Light; see Asensio Ramos et al. 2008) である。このコードは視線方向に物理量が変わらないと仮定したモデルを用いている。このコードの変数は磁場構造の他に観測対象の高さなどがある。散乱による偏光度は観測対象の高さにより変化するが、高さがインバージョンにどれほど影響するかは議論されてきていない。そこで本研究ではこの点について解析し、観測対象の高さが非常に重要な要素であることを確認した。この点も考慮しフィラメント磁場の時間変化の導出を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M47b 遷移層～彩層磁場測定に挑む太陽 Ly $\alpha$  線偏光観測ロケット実験 CLASP

成影典之, 鹿野良平, 坂東貴政, 石川遼子, 久保雅仁, 勝川行雄, 石川真之介, 原弘久, 末松芳法, Giono Gabriel, 木挽俊彦, 鎌田有紀子, 都築俊宏 (国立天文台), 清水敏文, 坂尾太郎, 常田佐久 (ISAS/JAXA), 一本潔 (京都大学), 後藤基志 (核融合研), Amy Winebarger, Ken Kobayashi (NASA/MSFC), Javier Trujillo Bueno (IAC), Frédéric Auchère (IAS), CLASP チーム

観測ロケット実験 Chromospheric Lyman-Alpha SpectroPolarimeter (CLASP) は、Atomic polarization と Hanle 効果によるライマン  $\alpha$  輝線 (波長 1216Å) の直線偏光を  $\sim 0.1\%$  以下の精度で検出し、太陽彩層・遷移層の磁場情報を得ることを目的としている。CLASP は装置の主要部を日本で開発し、2015年8月に米国ホワイトサンズ射場で NASA ロケットを用いて打上げる予定である。真空紫外線での偏光観測と Hanle 効果の利用は世界初の試みで、彩層・遷移層の磁場計測のための新しい観測手法の検証・確立を目指している。CLASP は可視光と熱の除去対策を施した口径 27cm のカセグレン望遠鏡と、新機軸の分光器・ポーラリメーター (偏光分光装置) よりなる。太陽の時間変化や機体の姿勢変動による Stokes-I からのクロストークの影響を抑えるため、直交する直線偏光 2 成分の同時測定を行う。またスリット周辺のライマン  $\alpha$  線 2 次元画像を取得するモニタ光学系も備えている。

2014年12月現在、望遠鏡、モニタ光学系のアライメントが完了し、想定通りの空間分解能を達成した。また、CLASP 全系を仮組みしての太陽光試験も実施した。今後、太陽光試験の結果を基にした迷光対策、偏光分光装置のアライメントを経て、ライマン  $\alpha$  線偏光光源を用いての偏光キャリブレーションを行う。2015年3月には観測装置の最終組上げ、end-to-end 試験、振動試験を実施し、4月に打ち上げを行う米国へ出荷する。本講演では、CLASP の目指すサイエンスと、打ち上げを 5ヶ月後に控えた観測装置の最新情報を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M48a      **ロケット実験 FOXSI-2 による太陽硬 X 線の高感度撮像分光観測**

石川真之介 (NAOJ), 渡辺伸, 内田悠介, 武田伸一郎, 高橋忠幸 (ISAS/JAXA), 斉藤新也 (立教大),  
S. Krucker, L. Glesener (UC Berkeley), S. Christe (NASA/GSFC), B. Ramsey (NASA/MSFC)

我々は、カリフォルニア大バークレー校および NASA と共同で、観測ロケット Focusing Optics X-ray Solar Imager (FOXSI) による史上初の太陽硬 X 線集光撮像観測を行っている。加速粒子や 10 MK 以上の高温プラズマからの放射である硬 X 線の高感度観測は、コロナにおける磁場のエネルギーの解放過程の理解に重要である。これまで、ようこう衛星搭載の硬 X 線望遠鏡や RHESSI 衛星といった機器が太陽硬 X 線観測に活躍してきたが、集光光学系を持たないこれらの観測機器は感度が限られおり、太陽からの硬 X 線の観測は、活動領域のフレア発生時のみに限られていた。FOXSI は斜入射望遠鏡による硬 X 線集光と低ノイズ・高分解能の半導体イメージング検出器による直接撮像で、4-15 keV のエネルギー範囲の高感度撮像分光観測を行う。FOXSI の最初の打ち上げは 2012 年 11 月 2 日に行われ、マイクロフレアの観測に成功し、RHESSI の観測結果と比較して高感度を実証することができた (2013 年度春季年会 M21a 斉藤 他)。その一方で、打ち上げ後に膨張したサーマルブランケットが光路を遮ってしまうトラブルがあり、予定通りの有効面積を達成できなかった (影響の顕著な低エネルギー側で達成有効面積は予定の 1/10 以下)。本年 12 月 9 日には 2 回目の打ち上げが予定されており (FOXSI-2)、光路を遮る物質がないようにサーマルブランケットは一部外す予定である。また、初回打ち上げ時に使用したシリコン検出器の一部を、新たに日本で開発したテルル化カドミウム検出器に置き換え、高エネルギーでの有効面積を向上させる。さらに、複数のシェルを重ねた構造になっている硬 X 線望遠鏡のシェルを内側に追加し、有効面積の向上をはかる。本講演では、FOXSI の概要、FOXSI-2 搭載の新しい検出器および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](#)

M49a 野辺山強度偏波計 -その軌跡と今、そして未来-

岩井一正, 柴崎清登, 下条圭美, 篠原徳之, 川島進, 新海久子, 竹村美和子, 花岡庸一郎, 齋藤正雄, 南谷哲宏 (国立天文台)

太陽の長期モニタリング観測は太陽活動の変動を理解するための基礎情報である。一方、観測装置や装置を運用するプロジェクトには有限の寿命があり、約 11 年の太陽活動周期の変動を如何に均質的にモニタするかは極めて難しい課題である。野辺山強度偏波計 (以下、偏波計) では、彩層上部からコロナにかけての太陽活動度の良い指標とされる、マイクロ波帯域の太陽電波観測が行われている。本研究では、偏波計のこれまでの観測を総括し、今後の長期運用体制を確立し、いかに均質なデータを担保し続けるかについての検討を行った。

偏波計は 1951 年に名古屋大学空電研究所 (現太陽地球環境研究所) により豊川で最初の観測が始まった。その後、豊川と野辺山で観測周波数を増やしつ、1994 年に豊川の望遠鏡が野辺山に移されたことで、現在の体制が出来上がった。偏波計は 0.1 秒の時間分解能を有し、フレアの研究に用いられることが多い。加えて、強度の較正方法は観測開始以来一貫しており、約 6 太陽周期に渡る連続観測は太陽活動の研究にも貴重な資料である。日々の観測は完全に自動化され、長期の継続観測に適している。一方、データから日々の太陽電波強度を読み取る作業は必ず人の判断によって行う。加えて、研究者と技術者が協力し太陽活動や装置の状態を参照しつつ観測データを考証することで、均質で正確なデータの公開を可能にしている。保守業務に対しては、偏波計に使われる全ての部品をリスト化し、可能な限りすべての部品に対して予備品を準備した。トラブル発生時には、迅速に該当部分の部品を交換し、観測の欠損を最小限にしている。これらの保守・運用業務は数名の所員のエフォートの一部のみで可能であり、今後も未永く運用の継続が可能であろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M50a 電波・EUV 同時観測による太陽活動領域のコロナ視線磁場測定

宮脇駿，野澤恵（茨城大学），岩井一正，柴崎清登（国立天文台），塩田大幸（名古屋大学）

コロナの磁場を測定する手段の一つとして、熱制動放射の偏波観測を用いたものがある。これは、磁場存在下のプラズマ中での熱制動放射の光学的厚さが右回り円偏波と左回り円偏波の間で有意な差を生じることを利用しており、観測される偏波率は観測対象の視線磁場強度に比例することが分かっている。しかし、国立天文台野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) の 17GHz という周波数で観測される熱制動放射には彩層成分とコロナ成分が混在しており、そこから得られる視線磁場には両成分が混在している。そこで本研究では彩層・コロナ 2 層大気を仮定し、電波に加えて EUV の観測データを組み合わせることで熱制動放射の彩層・コロナ成分を分離し、活動領域のコロナ視線磁場の測定を行う。電波の熱制動放射の放射強度はエミッションメジャー (EM) とプラズマの温度に依存するため、SDO/AIA からコロナの微分エミッションメジャー (DEM) を測定すればコロナから放射される熱制動放射の強度を見積もることが可能である。本研究では、SDO/AIA の EUV 多波長観測を用いて DEM を測定し、そこからコロナの熱制動放射の強度を計算した。さらに彩層の偏波成分が無視できる領域を選び、2011 年 2 月 3 日 03:00(UT) の活動領域 NOAA11150 のコロナ視線磁場の測定を行った。その結果、活動領域上のコロナループで 150-270G 程度の視線方向磁場が得られた。一方で、同活動領域のポテンシャル磁場を計算した結果、視線方向磁場の最大値は 20-40G 程度であり電波から得られた値よりも一桁低い値であった。この差異を生む最も大きな原因として考えられるのは、AIA の観測温度域に低温プラズマ ( $\log T \leq 5.7$ ) が含まれておらず、コロナ磁場の測定値が過大評価されていることである。しかしこれを考慮した上でも、コロナ中に 100G 以上の視線磁場強度が存在することが本研究によって明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M51a **簡易輻射冷却を用いた局所熱力学平衡 MHD 太陽対流大気結合モデルの構築**

飯島陽久, 横山央明 (日本天文学会)

IRIS や Solar-C を始めとする太陽大気の高解像度、多波長観測により、得られる情報量や精度が急激に増加している。情報の増加に伴い求められる解釈の精度も上がってきている。しかし、太陽彩層は衝撃波に満たされた強い非線形性、幅広いプラズマベータ、輻射冷却や熱伝導、弱電離など様々な物理過程が寄与する場所であり、より正確な観測結果の解釈のためにそれらの物理を含んだ数値計算が有用なツールになる。本研究では、状態方程式に局所熱力学平衡 (LTE) を仮定し、彩層の冷却に簡易的な近似を用いることで、磁気流体計算による太陽対流大気結合モデルを構築した。計算では Spitzer 熱伝導、輻射輸送方程式による光学的に厚い輻射冷却、コロナ近似による光学的に薄い輻射冷却も考慮した。MHD 部分には新たに開発した 5 次精度スキームを用いることで、方程式を保存型のまま低プラズマベータ領域を安定かつ高解像度で解くことが可能になった。得られた輻射冷却率は、観測から推測される輻射冷却率 (Vernazza et al., 1981) に数倍程度の誤差で一致した。講演では用いられた数値手法の詳細と、このモデルによる初期結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M52a ハンレ効果を用いた磁場診断の大気モデル依存性について

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

太陽物理のフロンティアである彩層遷移層の磁場測定実現のため、ロケット実験 CLASP (Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter, 成影ら本年会) や次期太陽観測衛星 SOLAR-C といった新しい観測装置の開発が推進されている。これらの観測装置で得られた偏光線輪郭のデータから磁場情報を求めるためには、ハンレ効果と呼ばれる量子力学的効果を考慮することが必要不可欠である。しかしながら、ハンレ効果についての理論的研究は進展しつつあるものの、データ解析手法としてコミュニティに広く用いられるほどには至っていないのが現状である。本講演は、昨年(2014)の春季年会 (石川ら M19a, 後藤ら M20a) に引き続き、ハンレ効果を用いた磁場診断手法確立への取り組みを報告するものである。

ハンレ効果の本質は、非等方な輻射場によって磁気副準位間のポピュレーション分布が不均一となることにあり、輻射場の非等方具合によってハンレ効果で生じる偏光度が決定される。そのため、輻射場の非等方性、言い換えれば生じる偏光度は、太陽大気での温度や密度分布に応じて異なると推測されるが、その定量評価には至っていない。そこで我々は、RH コード (Uitenbroek et al.) を用いて 4 種類の semi-empirical 一次元大気モデル (Fontenla et al. 1993) でのライマン  $\alpha$  線における輻射場の非等方性を求めた。そして後藤らの解析的手法 (2014 年春季年会 M20a) を用いて、仮定した大気モデル毎の磁場ベクトルに応じた偏光の出方を調べた。本講演ではこれに基づき、異なる大気モデルを選択した場合に磁場の測定誤差はどの程度になるのか? 大気モデル依存性を最小限にする手法はあるか? について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M53a Ly- $\alpha$ 線のハンレ効果による彩層 Alfvén 波動検出の可能性

飯田佑輔, 常田佐久 (宇宙研), 後藤基志 (核融合研), 川畑佑典 (東京大学), 石川遼子 (国立天文台)

Ly- $\alpha$  線の偏光スペクトルにおいて、太陽彩層における Alfvén 波動がどのように検出されるか考察を行った。

太陽コロナ加熱問題において、磁気波動現象は光球から彩層、遷移層さらにはコロナへと磁気エネルギーを伝播させる重要候補の1つである。2006年に打ち上げられた「ひので」衛星による、これまでにない高空間分解像観測により、彩層大気の至るところで磁気波動現象が存在することが明らかにされた。次ステップとして、磁気波動現象が彩層上部・遷移層を伝播する際の、波動モードや進行方向の同定、減衰の推定、それをを用いたコロナサイモロジーが次期太陽観測衛星 Solar-C 計画において、重要課題となっている。しかし、彩層上部・遷移層における磁場振動を、ゼーマン効果で検出することは不可能でなく、量子力学的な散乱効果であるハンレ効果が必要である。よって、Solar-C 計画の目的達成には、ハンレ効果による波動検出可能性の検討が決定的に重要である。

本研究では、解析的にその可能性を考察し、彩層を伝わる直線偏光した Alfvén 波が Stokes-Q/U シグナルにどのように表れるのか、一次摂動の範囲での理論的表式を初めて得た。さらに、次のような考察により、ハンレ効果により Alfvén 波動の検出が十分に可能であることが分かった。視線方向磁場、視線垂直磁場 2 成分のそれぞれについて、太陽面の 3 カ所 (太陽縁、太陽面中心、太陽面上) を想定して解析的な計算を行った。波動現象の観測しやすさは、1. 波動による偏光度変化量、2. 偏光図上での振動方向の分離度、に依る。太陽縁では偏光度変化は大きい、分離度は非常に低かった。反面、太陽面中心では分離度は高い、偏光度変化が小さかった。その中間である太陽面上では、高い分離度を持ちつつ検出可能な偏光度変化を持ち、検出可能であると結論づけた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M54a 彩層伝播アルフベン波の反射率計算

河野隼也、横山央明（東京大学）

太陽彩層上部の低プラズマベータ領域の加熱機構としてアルフベン波による説が提唱されている。彩層は温度が低くプラズマは部分電離状態であると考えられている。彩層中に存在する中性粒子とイオンとの衝突によって生じる両極性拡散は磁気拡散効果を強め、アルフベン波の減衰による加熱を生じさせる。一方でアルフベン波の非線形効果により生じる衝撃波の散逸でも彩層加熱に十分寄与する熱エネルギーが生じることが過去の研究により示唆されている。磁気拡散がどの程度、彩層加熱に寄与するかはこれまでに十分に調べられていない。また観測により遷移層におけるアルフベン波の反射が示唆されており、彩層の境界における反射の機構を踏まえた上で彩層中での波の散逸について議論することが重要であると考えられる。

本研究では彩層中の磁束管伝播アルフベン波の遷移層および光球表面における反射率について1次元数値シミュレーションを用いて調べた。VAL-Cモデルによる静穏領域大気構造を仮定した場合、数十秒から数分の周期の波に生じる磁気拡散の時間スケールは彩層を波が横断する時間に比べて非常に長いということが見積もられた。したがって磁気拡散が加熱により大きく寄与するためには、遷移層および光球表面での波の反射がより効果的に生じ、彩層中にアルフベン波が保持されるような構造が必要となる。異なる背景磁場構造における波の伝播を検証した結果、彩層の境界における反射率は、波長に強く依存し、彩層のアルフベン速度が大きくなるような構造でより増大することが明らかとなった。さらに波長の広がり、波の非線形性を弱め、圧縮波をより励起しにくくなる。このような状況下では磁気拡散がより加熱に寄与する可能性があることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M55a IRIS とひの でを用いた彩層のエネルギー輸送

馬場楓子(東京大学), 岡本文典, 常田佐久(宇宙航空研究開発機構), 勝川行雄(国立天文台)

彩層・コロナ加熱問題を考える上で、光球とコロナの間にある彩層中でのエネルギー輸送を解明することが重要視されている。活発な彩層の速度や温度といった物理量を調べるために、高時間・高空間分解能で多波長分光観測を行うことができる、太陽観測衛星「IRIS(Interface Region Imaging Spectrograph)」が昨年 NASA によって打ち上げられた。IRIS の分光観測から得られる彩層の物理量と、「ひので/SOT(可視光・磁場望遠鏡)」の撮像観測を組み合わせることによって、彩層中でどのようにエネルギーが輸送され、大気が加熱されているかを明らかにすることが期待されている。

彩層・コロナにエネルギーを運ぶ有力なメカニズムとして Alfvén 波の伝播が考えられており、これまでは主に Ca II H 線の撮像データによって観測されている。2014 年秋季年会において、IRIS の Mg II k 線の分光データからスピキュール中の Alfvén 波を検出したことを報告した。この波は周期 120 秒、位相速度 500 km/s で上方に伝播しており、彩層を加熱するのに必要なエネルギーを運んでいると考えられる。今回、IRIS と同時観測を行っていたひので/SOT の Ca II H 線の撮像データから、スピキュールが軸に対して、周期 130 秒で横に変動していることが分かった。Suematsu et al.(2008) や De Pontieu et al.(2014) で示唆されたスピキュールの回転を踏まえ、視線方向に対し垂直・水平の両方で変動し、その位相差が 180 度という観測結果から、スピキュールの動きに関して議論を行う。また、Si IV 線や C II 線といった他の波長の撮像・分光データ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](#)

## M56a 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

永田伸一、阿南徹、上野悟（京都大学）、大辻賢一（国立天文台）

Ca II H/K は典型的な彩層診断ラインとして広く用いられてきている。「ひので」SOT のBFIの観測により、ダイナミックに変動し続ける彩層、というの認識を新たにすることは、言うまでもない。他方では、静穏領域の internetowk に見られる Ca II K2v(H2v) grain の観測と、それを説明する音波衝撃波モデルの整合性は、活動現象の物理的解釈には、分光観測が強力な手段となることを示す優れた事例である。しかしながら、個々の活動現象に着目した線輪郭の特徴、時間変動についての研究は、K2v grain を除くとあまりなされてきていない。だが、近年になり CRISP/IBIS という Ca II IR の分光撮像観測装置が実現し、Ca II 線輪郭を用いた彩層診断が急速に進展している。このような問題意識のもとに、我々は、「ひので」と、飛騨天文台 Domeless Solar Telescope(DST) の共同観測により取得された Ca II H/K の spectro-heliogram の解析を進めており、本講演では2009年8月3日に取得された崩壊過程にある後行黒点の plage 領域の観測について報告する。01:40-02:30(UT) にかけての比較的落ちつた seeing の条件で128 スキャンを取得した視野は、「ひので」XRT/EIS、TRACE が観測するコロナループの足元を含む領域である。K3 の強度分布を詳細に調べると、コロナの hot loop, warm loop の足元には、輝点構造が対応、輝点構造ごとに K2v/K2r の非対称性に違いが見られた。さらに、コロナループと沿うように伸びる暗く長い fibril を確認することができ、これらは暗く短い fibril とは異なり emission reversal を示すことが分かった。本講演では、Ca II K の線輪郭の特徴と時間変動から推測される彩層の構造、状態と、上空のコロナ活動の関係について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M57a コロナループ足下から探るコロナ加熱問題の観測的研究

春日恵美（東京大学）、原弘久（国立天文台）

コロナループは、極端紫外線で観測される 0.1~1MK の Cool ループから X 線で観測される 2MK 以上の Hot ループまで幅広い温度で構成される。しかし、Cool ループと Hot ループの温度差の要因については明確には理解されていない。ループを加熱するエネルギー源が光球の乱流運動にあることは広く受け入れられており、ループ長が同じであるとすれば、温度差の要因はループ足下が根付く光球の運動や磁場の性質の違いにあると考えられる。Katsukawa & Tsuneta (2005) は、空間分解能  $1 \sim 2''$  の ASP の磁場データより、Hot ループは Cool ループ足下よりも磁気フィリングファクターが小さいことを示し、Hot ループ足下の方が磁気要素の可動性が大きく、これが加熱に寄与していることを示唆した。一方で、Kano et al. (2014) は両ループの足下で光球の性質には違いが見られないことを示しており、温度差はコロナにおけるループの性質に起因すると述べている。

本研究では、高い時間・空間分解能 ( $\sim 0.3''$ ) を持つ SOT/Hinode の光球ベクトル磁場データを用いて、Cool ループ、Hot ループそれぞれの足下における光球磁場の性質について調べた。ループ足下を決定する際は、ループは磁気フラックスの大きい所に根付いている、と仮定した。結果として、Hot ループ足下周辺の方が Cool ループに比べ、(1) 磁気フラックスの小さい成分が多く分布していること、(2) 強い垂直磁場成分が占める割合が低い (Cool ループ足下周辺の 0.8 倍程度) こと、(3) 彩層で断続的な増光が多数観測されること、がわかった。(2) については、Katsukawa & Tsuneta (2005) のフィリングファクター分布が示す 0.2 倍という結果に比べ差が顕著に小さくなっている。本講演では上記の結果についての考察をふまえ、ループの温度差の要因について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M58a ひので-IRIS の共同観測：プロミネンスの回転運動

岡本文典 (宇宙科学研究所), IRIS team

高空間分解能観測で見るプロミネンスはとてもおもしろい。2006年のひので打ち上げ以降、プロミネンス内には様々な運動が存在することがわかった。その中には、プロミネンスを構成する筋状構造の水平移動や鉛直振動 (Okamoto et al. 2007 等)、高温の泡状構造の浮上 (Berger et al. 2011 等) など、重要な科学成果をもたらしたものも多い。

撮像観測に加えて2013年からはIRISによる分光観測が始まり、プロミネンスにおける運動の理解がさらに深まることが期待される。そこで、以前紹介したプロミネンス内における回転と思われる現象について再考察してみたい。2008年秋季年会にて、複数の筋状構造が突然出現し、互いに追い抜くように上昇した後、磁力線に沿って水平に流れていく現象を報告した。筋構造を含む、より大きな磁束管が回転しているとみなせばこの現象は説明できたが、当時はドップラー観測がなく、結論を出すことができなかった。

今回、類似の現象がひので-IRISの共同観測で捉えられた。本観測では、IRISによる分光データから視線方向の速度を得ることができる。そこで、回転の上端と考えられる部分のマグネシウム線のスペクトルを調べたところ、常に0 km/s程度の速度を持つ要素と、強い blueshift を持つ要素の重ね合わせが見られた。前者は元々存在したプロミネンスで、後者が突発的に出現したものであると考えられる。その速度は見かけの20 km/sの速度と同じ  $20 \pm 10$  km/sの強い青方偏移で、下端付近が redshift の傾向を示していることと合わせると、広域に渡って回転運動が存在していると考えて矛盾はない。

本講演では、この現象の詳細とその成因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M59a 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

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、静穏プロミネンスの H I (6563Å)、He I (5876Å)、Ca II (8542Å) を同時分光観測した。分光観測の同時性の精度は 16 マイクロ秒以下であり、飛騨天文台におけるシーイングの時間スケール 1 ミリ秒よりはるかに小さい。私たちは観測された分光プロファイルから光学的に薄いプロファイルだけを選択し、各スペクトル線におけるドップラー速度を比較した。その結果、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。この観測結果は予想されていたよりも磁場に凍結していない（磁場の影響をそれほど受けずに運動している）中性粒子がプロミネンスに存在することを意味する。本講演では、観測結果とともにこの大きな速度差について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M60a 飛騨天文台 SMART 望遠鏡及び SDO 衛星を用いたフィラメントの消失要因の調査

廣瀬公美, 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、コロナ中に浮かぶ周囲に比べて低温高密度なプラズマの塊である。フィラメントが細長い形を保って浮かんでいられるのは、プラズマが磁力線に支えられているからであるが、いずれはその形も崩れて消失する。その最期には、大別して宇宙空間に噴出するもの (Eruption 型) と、噴出が見られずゆっくりと消えるもの (Vanishing 型) がある。両者の間で消失時の特徴の違いはないか、またそもそもフィラメントが消失する要因は何なのか、など、いまだ不明な点も多い。そこで、消失したフィラメントについて (1) 明瞭な浮上磁場領域 (Emerging Flux Regions: EFR) の有無、(2) フィラメントの消失時の長さに焦点を当ててフィラメント消失の要因を探った。

まず飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) 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サーベイし、2011 年の 1 年間分の観測データから、168 例の消失イベントを見出した。これらの消失するフィラメントの中から空間スケールの大きなもの 25 例を選んだ。この 25 例はすべて静穏領域にあった。SDO 衛星の観測データ AIA/304Å と HMI/magnetogram から Eruption 型が 21 例、Vanishing 型が 4 例であることを確認した。これらについて明瞭な EFR の有無の判定を行った。その結果、Eruption 型 21 例中 11 例、Vanishing 型 4 例中 3 例は明瞭な EFR を伴っていた。さらに EFR が伴うもの 6 例、伴わないもの 3 例について長さの測定を行ったが、どちらの場合も平均 50 万 km であった。本講演ではこれらの解析結果について報告する。より長期間のデータを用いた結果や他のパラメータ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](#)

M61a 国立天文台太陽フレア望遠鏡によるフィラメント噴出現象の速度場解析  
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。多波長撮像観測の利点は、短時間で広視野領域のラインプロファイルのサンプリングが行えることであり、これに Beckers の cloud model (Beckers 1964) を適用することで、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が可能となる。本研究では、SFT の T1 で得られた観測データに cloud model の適用を行い、フィラメント噴出現象のドップラー速度を導出した結果について述べる。

SFT T1 で取得される観測データのサイズは  $2048 \times 2048$  pixel であるため、全領域に cloud model を適用することはマシンパワーの観点から困難が生じる。このため、あらかじめフィラメント領域だけをマスクする必要があるが、今回用いた手法では各波長データのコントラスト値からフィラメント判別を行うことで、自動化に成功した。観測データへのモデルフィッティングは、Powell のハイブリッド法 (Powell 1964) を用いた。

結果として、最大で  $50 \text{ km s}^{-1}$  程度のドップラー速度を検出した。ただし、実際のフィラメント噴出現象の分光観測ではこれよりも大きな視線速度が検出されているため、最適な観測波長に関しては更なる解析が必要である。

また、本手法を用いて噴出前にフィラメントが徐々に上昇する運動を検出できる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](#)

M62a 放射凝縮により形成されるプロミネンスの温度-密度間の冪乗則

金子岳史、横山央明(東京大学)、Rony Keppens (KU Leuven)

放射凝縮によって形成された太陽プロミネンスと周囲のキャビティが示す温度と密度、磁場構造の関係について議論する。プロミネンスは太陽コロナに浮かぶ低温高密度プラズマ雲であるが、その形成機構は未だ解明されていない。現在、我々は、磁束管形成に伴う放射凝縮モデルを提案しており、放射と磁力線に沿った熱伝導を考慮した2.5次元MHDシミュレーションにより実証済みである。本モデルでは、コロナアーケード磁場に収束運動とシア運動を課して磁気リコネクションにより磁束管へ変化させ、磁束管内部の熱非平衡を発端として放射凝縮が発生し、低温高密度のプロミネンスが形成される。また、プロミネンスを取り囲むように低密度領域であるキャビティも形成される。2013年春季年会講演時にはプロミネンスの温度-密度間に経験的なスケーリング則が導かれることを示したが、再現されるプロミネンスの温度は現実のものより遥かに高い状態であった。今回はプロミネンスの温度を現実に近い温度まで下げ、温度と密度の関係を調べた。結果、温度と密度の間には磁力線ごとに冪乗則が存在することを発見した。この冪乗則は磁力線に沿った成層によって説明することができ、冪の値は主に磁力線に沿った温度勾配に依存する。プロミネンスとキャビティという異なる二つの構造の連続性は以前から議論されているが、未だ確立されていない。我々のモデルでは、プロミネンス内の磁力線は周囲のキャビティに繋っており、冪乗則はプロミネンスからキャビティに渡って成り立つ。この冪乗則を観測的に示すことができれば、プロミネンスとキャビティの磁氣的、熱的な繋がりを証明する新たな手掛かりとなる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M63a 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、ひので衛星搭載の極端紫外線撮像分光装置 (EIS) により、極域コロナホールの波動加熱モデルを支持するとされる Alfvén wave damping の証拠がとらえられている。しかし、極域コロナホールは、非常に暗い領域である。ゆえに、周辺領域からの迷光の影響により解析の精度が大きく左右される。そこで本研究では、日食時の EIS 極域観測を用いて、迷光を定量的に評価する。今回は、2つの日食時イベント (①:2014年4月29日, ②:2014年10月23日) を採用した。これらは共通してスリット固定、(露出時間 60 秒 × 露出回数 50 回) の観測で、それぞれ日食継続時間は①で 5:27-5:45 の約 18 分間、②で 20:18-20:31 の約 13 分間である。具体的には、Hahn & Savin (2013) で行われた解析手法を用いて、日食時 (迷光の影響が小さい) とそれ以外の時間帯で同様の解析を行った。選択した line は、論文で解析された FeX を含め FeXII(195.12), FeXI(188.23), FeX(184.54) の3つである。解析結果として、FeXII の高さ  $1.39R_{sun}$  で少なくとも 60% の迷光を含んでおり、通常の極域コロナホールの解析で想定していた迷光量は不十分である事がわかった。ゆえに、これまでの輝線幅の議論は再度検討する必要があると考えられる。また、迷光率はそれぞれ 60%, 34%, 15% となり、高温の line ほど迷光が多く含まれる事もわかった。これは温度を決定する line 強度比の見積もりに直接影響し、温度の over estimate につながる事が示唆される。本講演では、これまで見積もられてきた輝線幅の妥当性と、迷光が輝線幅に対しどのように寄与するかについて言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## M64a 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)

太陽物理学には、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強度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  $10^6 - 10^7 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  と、静穏領域のコロナ加熱に必要な  $3 \times 10^5 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を十分に超える量であった。またガイド磁場の有無によって enthalpy flux と kinetic energy flux には有意な差は確認されなかったが、poynting flux はガイド磁場がある場合の方が 3 倍程度増加した。さらにスケールハイトをパラメータとした計算も行ったが、どのスケールハイトでも似たような傾向が確認された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## M65a 非対称電流シートでの磁気リコネクションの特異的特徴

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

アネモネ型フレア、地球磁気圏前面、プラズマ風終端衝撃波近傍などでのリコネクションは、異種のプラズマが接する場所で生じるため、電流シートの両側の物理量が大きく異なっていると考えられる。このような非対称電流シートでのリコネクション研究は未完成のホットトピックである。

本研究は、非対称リコネクション・システムの全体像を理解し、非対称性が、対称リコネクションに関する従来の知見をどのように変更するかを明らかにすることを目的とする。MHDスケールの非対称リコネクション構造を明確に理解するために、HLLD法を用いた高解像度のMHDシミュレーションを行った。前回の報告(2014年度秋季年会)に引き続き、電流シート両側の磁場強度に非対称性を与える設定で、さらに大規模/長時間のシミュレーションを行い、より詳細な調査を行った。

三段階の非対称性（磁場強度比 1, 1.1, 2）を設定し、長時間の時間発展を調べた結果、次のことがわかった。

- (1) 非対称性が強まると、ジェット中の速度分布の2層構造（加速層、高速層）を生じ、高速層では、ほぼ磁力線に沿った流れとなる
- (2) 非対称プラズモイドの強磁場側先端から弱磁場側に大規模な強い Fast shock が発生する
- (3) 弱磁場側にあったプラズマが強磁場側プラズモイドに巻き込まれる

これらは標準モデルとされて来た Petschek モデルとは大きく異なる新モデルの必要性を示している。講演では、これらの特異的特徴の現象論的な意義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](#)

M66a 動的ペチェック過程による磁気リコネクションの新たな高速化機構

柴山拓也, 草野完也 (名古屋大学), 三好隆博 (広島大学), 中坊孝司 (名古屋大学), Grigory Vekstein (University of Manchester)

磁気リコネクションは磁力線のつなぎかえにより磁気エネルギーを運動エネルギーや熱エネルギーに変換する過程であり、Yohkoh 衛星以後の観測結果などから太陽フレアは磁気リコネクションによって引き起こされると考えられている。しかし、フレアが起こる太陽コロナ中は電気抵抗が非常に小さく、Sweet-Parker 理論によると効率的にリコネクションを起こすのは難しい。Petschek 理論では磁気拡散領域が非常に小さくなるため対用コロナのパラメータでも効率的にリコネクションを起こすことができるとされたが、これまでの数値計算によると Petschek リコネクションは一様抵抗では安定に存在せず、これを実現するには異常抵抗モデルなどで磁気拡散領域を局所的に維持するメカニズムが必要であることが示唆されている。このため、Petschek リコネクションが自発的に発生しうるのかという問題は未だに解決していない。

我々は今までよりも大きなシステムサイズで精密な数値計算を行うことで、一様抵抗モデルであっても非線形発展段階で Petschek 理論で予想されるスローショック構造が自発的に形成することを発見した。この過程では非線形発展により形成した大きなプラズモイドが電流シート内を速い速度で運動することが重要な役割を担っており、スローショック構造は運動するプラズモイドの前面に形成する。プラズモイドは電流シートからの排出と新たなプラズモイドの形成を繰り返すため、個の過程は非定常的に繰り返し起こり、磁気リコネクションを進行させる。これによりリコネクションの高速化が起こり、太陽フレアを説明するのに必要とされる 0.01 程度のリコネクション率が得られることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M67a 高粘性プラズマにおける磁気リコネクション

簗島敬（海洋研究開発機構）、今田晋亮（名古屋大学）、三好隆博（広島大学）

MHD モデルの磁気リコネクションは、運動論モデルに比べてリコネクション率が遅いことが知られている（Birn et al. 2001）。様々な運動論効果が速いリコネクションの鍵として提案されているが、我々はイオンと電子の質量差に起因する拡散領域の多階層性に注目する。運動論シミュレーションから X 点近傍の渦度と電流の分布を調べると、前者は Hall 効果が、後者は電子圧力が支えた結果、渦層が電流層より厚くなる。MHD 的観点では、これは粘性散逸スケールが抵抗散逸スケールより広がっていると見なせよう。よって、電気抵抗より大きな粘性を用いれば、運動論モデルに類似した拡散領域の構造が MHD モデルで再現されて、速いリコネクションが達成される可能性がある。しかし、従来の抵抗性 MHD は粘性を無視しているため、この効果は期待できない。

そこで本研究では、電気抵抗に対して大きな粘性を与えた磁気リコネクションの 2 次元 MHD シミュレーションを行う。粘性および電気抵抗は空間的に一様とする。シミュレーションから、X 点近傍の渦層は電流層より厚く、これらは加速度的に薄くなることが示された。この時、強い粘性によりアウトフローは熱化し、電流層の伸長を妨げる。さらに、下流での粘性加熱の結果生じた流れは、テアリングモードに対して正のフィードバックをかける。結果、粘性を無視した場合に比べて、電流層は局所的に非常に薄くなり、爆発的なリコネクションを誘発することがわかった。

太陽大気などの高温希薄なプラズマでは、粘性が電気抵抗よりずっと大きい場合が考えられる。よって本結果は現実の天体プラズマに対する粘性抵抗性 MHD の重要性を示すものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M68a      **Coupling of eigenmodes in “positive-feedback” system in 3D MHD magnetic reconnection with moderate guide field**

Shuoyang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo), Hiroaki Isobe (Kyoto University)

We are proposing a new model, “shock-evoking positive-feedback” model, in understanding the 3D fast reconnection. In the previous study, we applied random perturbation to a 3D current sheet with moderate guide field. The enhanced reconnection rate is triggered by the coupling of inflow and outflow regions of oblique mode ( $k_z$  is non-zero) on either side of current sheet. In order to reveal this phenomenon more clearly, we insert eigenfunctions of two rotational-symmetric modes on either side of the current sheet as the initial condition. We found that the accelerated cascading of the initial modes to shorter wavelength is the reason for the reconnection enhancement, namely the partition of the diffusion region. This result is compared with the development of a single mode on one side of the current sheet.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M69a 波動・平均流相互作用系としての太陽風

庄田宗人, 横山央明 (東京大学)

1次元数値シミュレーションを用いて太陽風の波動・平均流相互作用に基づいた考察を行った。コロナホールから放出される高速太陽風の速度は  $700 \text{ km} \cdot \text{sec}^{-1}$  に達し、エネルギーはコロナの熱と太陽表面で励起される波動から供給されると考えられている。波動の媒質の非一様性がプラズマの加速に効くことは長く知られており、波動・平均流相互作用の観点から太陽風加速について議論した研究は多い。一方近年ではアルフベン波のモード変換が太陽風の加速に対し重要な役割を果たすという研究結果もあるが、この研究結果を波動・平均流相互作用を用いて理解することは難しい。

そこで我々は太陽風の簡単な一次元モデルについてMHDシミュレーションを行い、波動・平均流相互作用に基づいた太陽風の加速メカニズムの理解を試みた。我々は最初の結果として太陽風加速領域で何らかの散逸が強く働けばそれに応じて加速流が形成される事を示した。加速流が形成される非定常過程では波動圧力を介した波動から平均流への効果、波動作用保存を介した平均流から波動への効果の両方が働くため、ある条件のもとでは何らかのフィードバックシステムが構築されるかもしれない。本講演ではそれらの可能性と現実への太陽風への応用について検討・議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M70a      **NICTにおける太陽・太陽風シミュレーションモデルについて**

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

太陽面現象の予測やそれらが伝搬する太陽風の状況を把握することは宇宙天気予報にとって、リードタイムを延ばすことが出来ることから重要である。情報通信研究機構では、太陽表面から太陽風まで数値シミュレーションによりモデリングを行い、回帰性擾乱のコロナホールによる高速風の到来や磁場の向きの変化によるセクター構造の通過の予測に役立てて来た。しかし亜音速領域である太陽表面から計算を行うことで、太陽1周期の計算におよそ1週間を要したことから、またシミュレーション領域の外側が200太陽半径で、地球軌道の215太陽半径まで及んでいなかったことから、入力磁場データの停止を機に中断していた。

今回はこれまでのモデルをもとに、シミュレーション領域を前モデルの200太陽半径から拡張し、1太陽半径から400太陽半径まで拡張した、太陽風モデルを開発した。これにより太陽表面から放出される高速太陽風や太陽面磁場がシームレスに地球軌道まで追うことが可能になった。また最適化と計算機環境の向上により、およそ1日1回太陽風構造を更新することが出来る。

本講演では新太陽・太陽風モデル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](#)

## M71a スーパーフレアに伴うコロナ質量放出と高エネルギー粒子の予測

高橋卓也, 柴田一成 (京都大学), 水野義之 (京都女子大学)

巨大フレアに伴う太陽高エネルギー粒子 (SEP) は、地球磁気圏内部に浸透し、宇宙飛行士の放射線被ばくの原因となる。さらに、地球大気中の原子核と反応して二次宇宙線を作って、航空機乗客の放射線被ばくの原因ともなる。一方、近年、ケプラー衛星による観測から、太陽型星でスーパーフレア (太陽で観測される巨大フレアの 100 - 1000 倍の規模のフレア) が発見された (Maehara et al. 2012)。このようなスーパーフレアが太陽で起きるのかどうかについては現在活発に議論されているが (Aulanier et al. 2013, Miyake et al. 2012, Shibata et al. 2013)、スーパーフレアが発生した場合の地球への影響の考察は、極端な宇宙天気現象を理解し防災に役立てる観点からも重要である。今回、我々は特に、スーパーフレアに伴って地球に到達する SEP フラックスと大気中の二次宇宙線フラックスの予測を試みた。

フレアの規模と CME の質量の間には、統計的に  $M_{CME} \propto E_{flare}^{0.6}$  の関係がある事が知られており、若い恒星のスーパーフレアの規模とフレアループの質量との関係もこの線上に乗っている事が指摘されている (Aarnio et al. 2014)。我々は、この関係を説明する CME のモデルを提案し、それを用いてスーパーフレアの際の CME の上限速度を評価した。一方、CME の速度と地球に到達する SEP フラックスの間には良い相関があることが知られており (Gopalswamy et al. 2004)、この関係に我々のモデルから得られた CME の上限速度を適用することで、スーパーフレアの際に地球に到達する SEP フラックスを見積もった。また、SEP のエネルギースペクトルが大気中の二次宇宙線の形成に与える影響について、粒子輸送計算コード PHITS (Sato et al. 2013) を用いて調べた結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## M72a 太陽活動に伴い「ひので」X線望遠鏡 CCD で検出された Speckle の増減

山田正矩, 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 に対して、観測対象由来ではない信号を生成する。撮像画像上で傷跡に似た軌跡や小さな斑点様の形状を示すこれら「偽」信号を本研究では Speckle と呼ぶ。Speckle は衛星軌道上にどの程度 SEP が流入して来たかの指標となり、周辺の宇宙天気環境を探る上で重要な情報を与える。

そこで、低軌道衛星である「ひので」搭載の X 線望遠鏡 (XRT) 撮像データを用いて画像の解析を行った。使用データはフレアタイムパトロールにより撮像されたもので、これは通常データより時間分解能が高いが、非可逆圧縮されている。本研究では撮像データから Speckle を検出し、SEP の特徴を捉え、太陽活動由来の衛星障害の対策の指標とすることを目的としている。

解析期間は、2006 年 12 月から 2014 年 10 月まで「ひので」/ XRT がフレアパトロールを行った太陽プロトンイベント (SPE) を中心とし、この解析結果を報告する。SPE 後 Speckle が周期的に増減することがあり、その数も SPE の発生前と比較しピーク時で数倍から 10 数倍に増加する時間帯が存在した。この周期は軌道周期に同期しており、衛星軌道情報から増加が極域上空で発生したことを特定した。また、Speckle は点でなく線でも検出される。その長さから Speckle が CCD で検出されたタイミングでのエネルギーを、大まかながら特定することができた。以上のことから、Speckle の増減やその量、軌道情報や太陽活動の影響、Speckle の原因となったプラズマのエネルギーについても考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## M73a 太陽高エネルギー粒子現象の多地点同時観測

久保勇樹, 田光江, 亘慎一, 西塚直人

太陽高エネルギー粒子 (SEP) とは、太陽フレア、コロナ衝撃波、及び惑星間衝撃波で加速されたイオン及び電子のことである。これらの粒子はそれぞれの領域で加速され、惑星間磁場に沿って地球にやってくる。このシナリオによれば、地球近傍と加速域近傍が磁力線を介して繋がっている場合のみ、加速された粒子が地球で観測される。すなわち、地球から見て太陽面裏側で起きたフレア / 衝撃波で加速された粒子はほとんど地球では観測されないことになる。しかしながら、STEREO 探査機が打ち上がり SEP の多地点同時観測が可能になると、これまで考えられていたよりもずっと広がった経度域で SEP 現象が観測されることが分かってきた。本研究では、2014 年 9 月 1 日に地球から見て裏側で発生した SEP 現象の SOHO と STEREO の同時観測の結果を紹介する。この現象は、Heliographic Longitude  $\sim -128^\circ$  付近で発生したフレアに伴う SEP 現象であり、STEREO-B での SEP フラックスはフレア発生直後から急激な立ち上がりを示していた。一方で、この時の地球近傍に繋がる磁力線の足元とフレア発生位置の経度差は約  $180^\circ$  と最も離れている状況であったにもかかわらず、SOHO での SEP フラックスはフレア発生約 12 時間後からゆっくりと増加し始め、約 5 日後には STEREO-B のフラックスとほぼ同じになり、数日間同じ様に減少していった。このように離れた場所でのフラックスがほぼ同じように変動する現象は、SEP の reservoir が形成されていることを示唆している。以上のように、SEP は経度方向に非常に広く分布することが分かってきている一方で、緯度方向の広がりがどのようになっているのかは、現在もまだよくわかっていない。Solar-D として検討されているような黄道面を離れる衛星ミッションで粒子観測を行うことは、SEP の緯度方向の広がりを理解するうえで極めて重要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](#)

## M74a 古文献サーベイによるオーロラ・黒点のデータベース構築

早川尚志, 玉澤春史, 河村聡人, 磯部洋明

太陽型星におけるスーパーフレアの観測 (Maehara et al.(2012)) および年輪の放射性同位元素の測定による突発的な宇宙線の変化の発見 (Miyake et al.(2013)) より、近代観測により記録されている最大級の太陽フレアよりも巨大な規模のスーパーフレアが過去に発生していたかどうか注目を帯びている。実際に巨大太陽フレアが発生した場合、日本や中国を含む低緯度地域でオーロラが観測され、何らかの形で記録されている可能性がある。

一方で、従来は疑問視されていた歴史文献上に記録されている現象が実際にどの時期に起こったかによって解釈変更の可能性がでてくるなど、極端宇宙天気現象の痕跡は自然科学・人文科学両面において重要な意味を持っている。

過去の文献からオーロラや黒点と思われる記載をとっていく手法は従来よりされてきたが、近年発生したの極端宇宙天気という観点から見直す必要がでてきた。我々は歴史学と天文学による共同研究としてまず中国正史の文献を調査を始めた。オンラインデータベース化して公開することにより様々な分野の研究者が利用しやすくするための環境整備を目標としている。

今回は Miyake et al.(2012,2013) で報告されている 774 年、994 年付近の資料に基づいた比較報告 (Hayakawa et al.(submitted)) を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【N. 恒星】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [C会場]

N01a	13:00	Be 星円盤の長周期捕獲振動 加藤正二 (京大 OB)
N02a	13:12	恒星の自転の進化 –質量および進化段階への依存性 勝田 豊 (北海道大学)
N03a	13:24	初代大質量赤色超巨星の起こす振動不安定性と大質量放出 守屋 堯 (ボン大学)
N04a	13:36	近赤外線波長域での Arcturus 金属ラインリストの作成 近藤荘平 (京都産業大学)
N05a	13:48	強い X 線放射を示す太陽型星の岡山 188cm 望遠鏡での高分散分光観測 野津湧太 (京都大学)
N06a	14:00	球状星団における元素組成異常と水平分枝形状の起源 (2) 須田拓馬 (東京大学)
N07a	14:12	散開星団 M67 の酸素組成について 竹田洋一 (国立天文台)
N08a	14:24	銀河系における種族 III 星発見にむけて 小宮 悠 (東京大学)
N09a	14:36	超金属欠乏 AGB 星での中性子捕獲を伴う核種合成過程と Hyper Metal-poor stars (II) 山田志真子 (北海道大学)
N10a	14:48	超金属欠乏星の化学組成から探る初代星の元素合成 石垣美歩 (カブリ数物連携宇宙研究機構)

3月19日(木)午前(09:30-11:30) [C会場]

N11a	09:30	鉛から探る金属欠乏星の r/s プロセスの寄与 青木みさ (国際基督教大学)
N12a	09:42	近赤外波長域におけるライン強度比を用いた銀河系中心セフィイドの有効温度の決定 福江 慧 (東京大学)
N13a	09:54	KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)-III 松永典之 (東京大学)
N14a	10:06	ALMA and Mopra Observations of WISE J180956.27-330500.2 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)
N15a	10:18	宇宙初期の漸近巨星分枝星での炭素ダスト形成と質量放出 III 田染翔平 (東京大学)
N16a	10:30	Determination of orbital parameters for a symbiotic star R Aquarii Cheulhong Min (The Graduated University for Advanced Studies (SOKENDAI), NAOJ)
N17a	10:42	Herschel Far-IR Study on Coldest Regions in Planetary Nebulae 大塚雅昭 (国立天文台)
N18a	10:54	MAXI が捉えた Carinae の歴史的 X 線増光 坪井陽子 (中央大学)
N19a	11:06	Wolf-Rayet 連星系 WR 21a の X 線モニタリング観測 II 菅原泰晴 (中央大学)
N20b	11:18	準周期的な変光を示す B 型輝線星の長期測光モニター観測 前原裕之 (国立天文台)
N21b	11:18	遅い古典新星 V2676 Oph における分子外層の生成 新井 彰 (京都産業大学)
N22b	11:18	Chemical Abundances and Dust of the PN Wray16-423 in the Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy 大塚雅昭 (国立天文台)
N23b	11:30	近赤外線高分散分光に基づく星団中の赤色超巨星の化学組成解析 福江 慧 (東京大学)
N24b	11:30	ミラ型変光星のスペクトル分類 岩崎仁美 (東北大学)
N25b	11:30	非常に長い周期を持つ変光星の位置天文観測の検討 中川亜紀治 (鹿児島大学)
N26c		低自由度力学系で探る水平磁場の発生メカニズム 新井信乃 (お茶の水女子大学)

## N01a Be 星円盤の長周期捕獲振動

加藤正二 (京大 OB)

Be 星では V/R 変動と呼ばれる輝線の長周期変動が知られている。原因は円盤上に一本腕の長周期振動が起きているためと考えられている (Kato 1983)。Okazaki(1991) の研究によると長周期の捕獲振動が起こるためには、円盤に外縁が必要で、かつ振動は retrograde となることが分かった。一方、観測では、例外を除いて、長周期振動は prograde 振動と考えられている (Kogure ら)。

上記の不一致を説明するために、Papaloizou et al. (1992) は中心星の回転変形による重力ポテンシャルの補正の影響を考慮に入れたが、定量的には説明ができていない。最近、Ogilvie (2008) が振動が 3 次元構造を持つことが考慮されるように振動計算に使う式を修正して、円盤に外縁がなくても捕獲振動があり、prograde な振動となることを指摘した。

本講演では、Ogilvie と基本的考えは同じであるが、人為的な式を扱うことなく、通常の摂動計算で円盤に prograde な捕獲振動が起こることを示せるようなので報告する。

振動を表す式は 2 次元  $(r, z)$  の変微分方程式であるが、振動の動径方向の波長が短いとして、円盤の動径方向の非一様性を無視すれば振動を表す式は変数分離ができ、解析的に解ける。考える長周期振動は動径方向に長波長な波であるので、その効果を考慮する必要があるが、その場合でも変数分離を行い、厳密な変数分離からのはずれを摂動として取り入れる。1 次の摂動まで考慮した場合が、丁度 Okazaki (1991) が解析に使った式と同じである。もう一次上げて、2 次の摂動まで考慮した式をつくる。一部仮定を含む操作を行うが、得られた式は、定性的には、円盤に外縁を考えなくても捕獲振動が存在し、それは prograde な振動であることを示ようである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02a 恒星の自転の進化 – 質量および進化段階への依存性

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

恒星の自転の進化を議論する上では内部での回転・振動等に伴う乱流の生成・成長と、それによる角運動量や物質輸送の効率が鍵となるが、乱流による輸送効率に関しては十分に説明する理論が無く、1回転星の進化の理論には大きな不定性が伴っているのが現状である。しかしながら恒星の回転は角運動量分布に加えて、慣性モーメントの分布に依存する。そこで我々は恒星の進化に伴う慣性モーメントの変動に着目することにより、回転星の進化を議論する新しい手法を提案した。

これまでの講演では、恒星の膨張には2つの異なる機構があり、進化の段階により恒星表面が臨界回転に近づく場合と、臨界回転から遠ざかる場合があることを示した。また、進化の段階によって差動回転の生成・成長のタイムスケールが大きく異なることを明らかにした。これに基づいて Be 星の起源および日震学・星震学で求められた内部の回転則に関して議論を展開した。

本講演では、恒星進化に伴う慣性モーメントの変動の質量依存性を解析し、その特徴を詳述する。この解析結果に基づいて、Be 星の H-R 図上での分布を再現できることを示す。また、恒星内部での膨張・収縮によってもたらされる差動回転の生成・成長を Kepler 衛星等での観測結果と比較し、恒星内部で作用している角運動量輸送機構の効率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](#)

## N03a 初代大質量赤色超巨星の起こす振動不安定性と大質量放出

守屋堯, Norbert Langer (ボン大学)

初代星には100太陽質量を超える大質量星が多く存在する。その中でも初期質量が約140-260太陽質量の無回転星は、進化の途中で質量放出をほとんど経験することなく最終的に対不安定型超新星として爆発すると考えられている。また、近年の初代星進化の計算結果はこれらの星は核水素燃焼後に赤色超巨星になり、その状態で対不安定型超新星になることを示している。一方で、赤色超巨星はその光度と質量の比が大きいときに振動不安定になることが示されている (Heger et al. 1997)。このような不安定性は大規模な質量放出を起こしうると考えられており、超新星親星の進化に大きな影響を与える可能性が示されてきた (Yoon & Cantiello 2010)。我々は、初代大質量星が光度と質量の比が大きい赤色超巨星に進化することに注目し、最終的に対不安定型超新星となる初代赤色超巨星の振動不安定性を調べた。この結果、これらの星は振動不安定になり得、金属量がない初代星であるにもかかわらず大規模な質量放出を経験しうることがわかった。この質量放出は核水素燃焼が終わって星が赤色超巨星になった後に、表面水素層が存在する時にのみ起こるため、核の質量は変わらずに大質量星は依然として対不安定型超新星となる。しかし大質量放出は対不安定型超新星の観測量に大きな影響を与え、特に初代超新星はこれまで考えられていたよりも明るくなる可能性がある。また、このような対不安定型超新星親星の大質量放出は、近傍で見つかっている超高輝度超新星と関係があるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04a 近赤外線波長域での Arcturus 金属ラインリストの作成

近藤荘平、北野綺華、川西崇史、池田優二、中西賢之、中岡哲弥、大坪翔悟、河北秀世 (京都産業大学)、福江慧、松永典之、安井千香子、濱野哲史、泉奈都子、水本岬希、山本遼、三戸洋之、小林尚人 (東京大学)

近赤外波長での高分散分光観測は、低温度星や進化の過渡期にあるような星間赤化を受けた恒星の観測研究に大きな威力を発揮する。ところが、この波長域においてはラインリストが未だ整備されておらず、可視光レベルの精密な元素組成の測定、つまり詳細な天文学を行う上で大きな障害となっている。そこで我々は、京都産業大学 1.3m 荒木望遠鏡に設置されている近赤外高分散分光器「WINERED」を用い、全スペクトルタイプ型の恒星に対し、zYJ 波長域 (0.91-1.35  $\mu\text{m}$ ) におけるラインリストを作成するプログラムを進めている。本発表では、K 型星の結果について報告する。天体としては、恒星パラメータと元素組成が正確に分かっている金属標準星 Arcturus を用い、観測スペクトルとモデルスペクトルを比較することで 600 本近くの金属ラインを同定した。その結果、今までこの波長域で同定されていない Y, La といった元素を含め、Arcturus のラインリストを示した Hinkle et al. (1995) の結果よりもわずかに上回る数の金属ラインを同定できた。Hinkle et al. (1995) は分解能  $R=100,000$  のフーリエ分光器によって得られたスペクトルの結果であるのに対し、本研究は  $R=28,300$  のエシエル分光器によって得られたスペクトルの結果であることを考えると、このことは、フーリエ分光器に対してエシエル分光器のスペクトルの質の優位性を示していると考えられる。今後、WINERED で G 型や A 型星の金属ラインリストの作成を進める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05a 強いX線放射を示す太陽型星の岡山188cm望遠鏡での高分散分光観測

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

私達は、ケプラー宇宙望遠鏡の測光データの解析から、スーパーフレア (最大級の太陽フレア ( $\sim 10^{32}$  erg) の  $10-10^4$  倍のエネルギーを解放する巨大フレア) を起こす太陽型星 (G型主系列星) を多数発見した。さらに、発見したスーパーフレア星のうち50天体について、すばる望遠鏡 HDS を用いて高分散分光観測を行い、測光観測から推定された巨大黒点の存在や自転速度が、分光観測で確認された (Notsu et al. 2014a&b, PASJ 投稿中)。今後は、京大 3.8m 新望遠鏡を用いた観測も推進し、スーパーフレア星の特徴や太陽でのスーパーフレアの発生可能性などについて更なる研究を行う予定だが、それにはより明るい天体を全天の様々な領域で多数発見することが欠かせない。そこで私達は、X線観測衛星 ROSAT による全天サーベイで受かった星のうち、これまで連星の報告はないG型星49星について、岡山188cm望遠鏡 HIDES で高分散分光観測を行った。フレア活動が活発な天体は、強いX線を示す事が期待されるので、X線源と同定されている星を詳しく調べれば、比較的近傍に存在する太陽型のスーパーフレア星や将来スーパーフレアを起こす可能性のある星の探査につながると期待される。

観測した49天体のうち7割以上が、連星の証拠を示さず、温度等の大気パラメータも太陽型星で矛盾ないことを確認した。次に、星の彩層活動の良い指標である Ca II 8542 線や  $H\alpha$  線の強度を調べた。その結果、X線強度の強い星は、Ca II 線や  $H\alpha$  線で見ても巨大黒点の存在が示唆されると分かった。また、吸収線の広がりから測定した射影自転速度 ( $v \sin i$ ) の値は大きい傾向にあったが、太陽程度 ( $\sim 2\text{km s}^{-1}$ ) の星もあった。今後は、スーパーフレア星の活動性の長期変動探査 (Ca II 線など利用) の候補星として、今回の観測天体を活用していきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N06a 球状星団における元素組成異常と水平分枝形状の起源 (2)

須田拓馬, 茂山俊和 (東京大学), 辻本拓司 (国立天文台), 谷川衝 (理化学研究所), 藤本正行 (北海学園大学)

球状星団とは数十万程度の低質量星が密集した系であり、銀河系ハローに150個程度存在している。球状星団は、その色等級図と組成の均一性から、宇宙初期に短期間の星形成が起こったと考えられていたが、近年ではその星形成史、ひいては星団形成においても単純な描像に疑義が生じている。球状星団中の恒星の性質は標準の恒星進化モデルによってある程度説明が可能であるが、個々の星の元素組成分布や星団ごとの水平分枝の形状の違い、星団内で複数に分岐した主系列など、いくつかの説明すべき課題が残されている。このような観測的性質を説明するシナリオとして、球状星団には複数の種族(世代)が存在するという仮説が有力視されている。

前回の講演では、元素組成の分布と水平分枝の形状を説明するシナリオとして、赤色巨星内部における物質混合を提示した。このモデルでは、赤色巨星段階において少量の水素をヘリウム中心核へと混入することで、高温の水素燃焼による元素合成を誘起し、その後の表面对流層によるくみ上げによって球状星団の組成異常が説明できるとした。この物質混合過程は物理過程は不明であるが、組成異常が球状星団にのみ見られることから、星同士の相互作用によって誘発されるものと考えられることができる。

本講演では、星同士の相互作用から潮汐作用による外層剥離および物質混合までのシナリオを想定し、球状星団に見られる元素組成異常、水平分枝形状問題、多重主系列といった観測事実をどの程度再現可能かを検証する。本講演では特に、ヘリウム中心核への水素混合を見直し、組成異常問題の主要な困難である酸素組成の減少とヘリウム組成の増加量について、恒星進化モデルと元素合成ネットワークコードを用いて詳細に検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N07a 散開星団 M67 の酸素組成について

竹田洋一 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学西はりま天文台)

赤色巨星では深く成長した対流層による外層混合が内部の水素燃焼反応によって生じた物質を汲み上げるために表面組成の異常が起こる。たとえば CN サイクル生成物による C の減少と N の増加は代表的なものであり、予測された傾向が実際に観測でも確かめられている。一方水素燃焼には ON サイクル (O → N の変換) というより高温で起こる反応もあるが、現行の理論では混合はそこまで深い高温領域には至らないので O の変化はほとんど起こらないはずである。ところが赤色巨星の酸素組成については、ほぼ通常との報告もある一方で欠乏傾向が見られる (もし本当であれば標準理論の根本的な見直しが必要) との意見もあって、統一した見解が得られていない。

M67 のような古い散開星団は主系列から巨星枝まで数多くの星を含むので、進化の進んでいないグループと赤色巨星グループで酸素組成が一致しているかどうか調べることでこの問題に解決の鍵を与えることができる。我々は西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡の MALLS 分光器 ( $R \simeq 12000$ ) で M67 の転回点から巨星枝にわたる 16 個の星 ( $V \sim 11-13$  mag) を観測し、O I 7771-5 Å 線で酸素組成決定を行い以下の結果を得た。

S/N 比が  $\sim 20-30$  から  $\sim 90-100$  程度で不十分でその誤差による組成の散らばりが大きい ( $\sim \pm 0.3$  dex 前後) のだが、進化した巨星グループ ( $\langle [O/H] \rangle = -0.05$ ) と進化の進んでない星のグループ ( $\langle [O/H] \rangle = +0.03$ ) の両方で平均酸素組成はほぼ太陽値であって有意な違いは見られなかった。よって (少なくとも M67 のような  $M \sim 1.3M_{\odot}$  程度の星では) 巨星への進化による酸素組成の系統的な変化は見られず、現行の理論と矛盾しないと言える。

しかし、ただ一つの例外は赤色巨星 S 1054 であり、理由は不明ながらも  $[O/H] = -1.23$  と際だって低い値を示した。したがって、特別な場合では巨星段階で顕著な酸素欠乏を引き起こすこともあり得るのかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## N08a 銀河系における種族 III 星発見にむけて

小宮 悠、須田拓馬 (東京大学)、藤本正行 (北海学園大学)

宇宙で最初に形成された天体は、金属量を含まない星 (種族 III 星) であったと考えられる。もし、種族 III 星の中に、寿命が宇宙年齢以上の低質量星があれば、それは現在の宇宙にまで生き残っており、直接観測が可能なのはである。

近年の星形成理論研究では、種族 III 星にも低質量の星があったことが示唆されており、こうした星の観測が期待されている。しかし一方で、これまでの観測では金属量ゼロの星は発見できていない。種族 III 星が見つからない理由として、これまでの研究で、星が星間物質降着を受けることにより、表面金属量が変化している可能性を指摘してきた (前回年会講演)。表面汚染を考慮すると、種族 III 星の表面は典型的には  $[Fe/H] = -5$  程度になることが予測されるのである。

それでは、表面金属量がゼロの純粋な種族 III 星を観測できる見込みは無いのだろうか? 本講演では、銀河系の周縁部に表面汚染をほぼ受けていない種族 III 星が存在している可能性を議論する。

階層的銀河形成の枠組みでは、種族 III 星の母銀河は極めて低質量であったと考えられる。そのため、種族 III 星の中には、母銀河から飛び出した星もあったことが期待される。そうした星は、ほぼ表面汚染を受けることが無かったはずである。本講演では、これらの表面汚染を受けていない種族 III 星の数や分布を準解析的なモデルを用いて理論的に推定した。そして、数百個から一万個程度の種族 III 星が、主に銀河系周縁部に分布していることが期待されるとの結果を得た。この結果をもとに将来的な種族 III 星の観測可能性について議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N09a 超金属欠乏 AGB 星での中性子捕獲を伴う核種合成過程と Hyper Metal-poor stars (II)

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

銀河系ハローで観測される金属量が太陽の 300 分の 1 以下の超金属欠乏星の多くは炭素組成の過剰を示すことが知られている。それら炭素過剰な星 (CEMP stars) の内 *s*-process 元素である Ba と鉄との組成比が太陽の 10 倍以上の星 (CEMP-s stars) とそれより小さい組成比を持つ星 (CEMP-no stars) がある。これらの星の組成分布の起源を明らかにすることは、その星の成り立ち、素性を明らかにする上で非常に重要である。

前回、金属欠乏 AGB 星で起こる  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  又は  $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$  の反応を中性子源とする中性子捕獲反応を引き起こす混合機構として (1)He flash で発生する He 対流層が水素を含む層を侵食する He-flash driven deep mixing(He-FDDM)(2)He 層上部に表面对流層から少量の水素混入により形成される  $^{13}\text{C}$  pocket,(3) 質量の大きい AGB で起こる He 殻燃焼生成物の浚渫 (Third Dredge-up; TDU) 汲み上げられた炭素を元に、水素殻燃焼で  $^{14}\text{N}$  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  $^{22}\text{Ne}$  を起点とする *s*-process に寄与する 捕獲反応の 3 つについて、核種合成コードを用いて元素合成を調べ観測される CEMP-s/-no stars の Ba 組成との比較を行った。

本研究では、金属欠乏星 AGB 星における元素合成過程で上記の 3 つの混合機構で合成される *s*-過程元素組成量を決める中性子照射量の違いと特性について調べる。特に、He flash の温度、金属量、中性子源となる  $^{13}\text{C}$  や  $^{14}\text{N}$  の初期組成量などに対する依存性について調べる。更に、観測との比較においては *s*-過程元素を見る限り CEMP-s と CEMP-no stars は AGB 星における元素合成過程によって金属量と共に連続的に解釈できることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N10a 超金属欠乏星の化学組成から探る初代星の元素合成

石垣美歩（カブリ数物連携宇宙研究機構）、富永望（甲南大学）、小林千晶（University of Hertfordshire）、野本憲一（カブリ数物連携宇宙研究機構）

超金属欠乏星ともよばれる金属量の非常に低い ( $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -4$ ) 星々は、初代星による元素合成を含む宇宙初期の元素汚染史を探るうえでの貴重な手がかりとされている。これまでに見つかっている超金属欠乏星の多くは、鉄、カルシウムなどの重元素に対する炭素の組成が太陽組成に比べて数桁以上高い炭素過剰星 (Carbon-Enhanced Metal-Poor/CEMP stars) で、その原因についてさまざまなシナリオが提唱されているがはっきりとした結論は得られていない。こうしたなかで、最近これまでもっとも鉄組成が低く ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -7.1$ )、特に大きい炭素過剰を示す金属欠乏星、SMSS 0313-6708 (Keller et al. 2014, Nature, 506, 463)、が発見され、炭素過剰の起源を探る新たな観測的証拠として注目が集まっている。

我々は SMSS 0313-6708 の特異な化学組成が、初代星の超新星爆発で放出される物質が起源である可能性を、初代星における元素合成の理論計算結果に基づいて検証した。その結果、観測された化学組成比は、初代星の超新星爆発で生成される鉄の大部分が中心部に降着するモデルで説明できることを示した。先行研究ではこの星のカルシウムの起源として  $60M_{\odot}$  程度の初期質量をもつ初代星の hot-CNO サイクルによるものと推定されていたのに対し、我々のモデルではカルシウムは質量 25 あるいは  $40M_{\odot}$  程度の初代星における酸素・シリコン燃焼によって生成される。このようなメカニズムが超金属欠乏星における炭素過剰の主な起源かどうかは、今後詳しい化学組成の測定や、より多くの超金属欠乏星のサンプルによって検証する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N11a 鉛から探る金属欠乏星の r/s プロセスの寄与

青木みさ (国際基督教大, 総研大), 石丸友里 (国際基督教大), 青木和光 (国立天文台), 和南城伸也 (理研 iTHES)

鉄より重い中性子捕獲元素を生成する過程として、速い中性子捕獲過程 (r プロセス) や遅い中性子捕獲過程 (s プロセス) がある。特に、r プロセスについては、その起源について多くの議論がなされ、それを解明する手がかりとして、高分散分光観測による金属欠乏星の元素組成が調べられている。太陽系など金属量の高い星では s プロセスの寄与が大きい。しかし金属量の低い星では r プロセスや軽い中性子捕獲元素 ( $38 \leq Z \leq 48$ ) を主に生成するとされる別の過程 (弱 r プロセス) の寄与が卓越していると考えられている。

我々がストロンチウム (Sr) からユーロピウム (Eu) までの中性子捕獲元素を Subaru /HDS を用いて測定した5つの金属欠乏星 (2014年春季年会で報告) にも、軽い中性子捕獲元素の過剰がみられ、弱 r プロセスの寄与が示された。そのうち3つの星においては、r プロセスを代表していると考えられる Eu に対し、バリウム (Ba) やランタン (La) の過剰がみられ、s プロセスの寄与も示唆された。これを確認するため、低金属量で s プロセスの寄与が敏感に現れる鉛 (Pb) の組成を調べた。

鉛の測定には  $3683.46\text{\AA}$  のラインを使用し、HD 23798 ( $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.26$ ) と BD +6° 648 ( $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.10$ ) で検出に成功した。 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$  の低金属星の鉛を測定した例は少ないため貴重なサンプルとなり得る。結果として、測定された鉛組成はこれまでに知られている  $[\text{Fe}/\text{H}] = -2$  前後の星のものより、やや高い程度であった。よって、これらの星の軽い中性子捕獲元素には、s プロセスの影響は小さく、弱 r プロセスの寄与が大きいと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a 近赤外波長域におけるライン強度比を用いた銀河系中心セファイドの有効温度の決定

福江慧, 松永典之, 山本遼, 安井千香子, 濱野哲史, 小林尚人 (東京大学), 近藤莊平, 池田優二 (京都産業大学), 辻本拓司 (国立天文台), Giuseppe Bono (ローマ大学), Laura Inno (ESO)

恒星の有効温度はそのスペクトルを特徴付ける最も基本的な物理量であり、化学組成解析等でも重要なパラメータの一つである。温度の決定を含めてスペクトル解析の各手法は可視光領域のデータに対して構築されてきた。しかし、昨今発達してきた近赤外領域の観測データに対する手法は確立されていない。近赤外波長では大きな星間減光を受けた天体を見ることができ、そのような天体に対してはブロードバンドの色情報からでは温度を決定することが困難な場合がある。カラーに依存しない方法の1つにライン強度比を用いる方法があり、単純な観測量に対して経験的に作成されるためモデル等を必要としないことが特徴である。

我々は、すばる望遠鏡の IRCS を用いて G-K 型の金属量標準星の高分散 H バンドスペクトルを取得し、原子ラインの深さを測定した。H バンド (1.4–1.8 $\mu\text{m}$ ) は電離したラインがほとんど無く、温度変化に敏感な低励起ポテンシャルのライン数も少ない波長帯である。低励起ポテンシャルのラインとして Fe や Ti、Co、対する高励起側には Si や Fe のラインを採用した。各ラインの深さの比を取り温度に対する依存性を調査した結果、H バンド中でのライン強度比に基づく温度スケールを作成することに初めて成功した。この温度スケールを適用することで、減光の大きい領域である銀河系中心等にある恒星や、変光する天体に対して精度良く有効温度を決定できると期待される。本発表ではこれらの温度スケールの紹介の他、銀河系中心で我々が発見したセファイド型変光星への応用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](#)

N13a **KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)–III**

松永典之 (1), 前原裕之 (2), 坂本強 (3), 浮田信治 (2), 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), 酒向重行 (1), 諸隈智貴 (1), 土居守 (1), 田中雅臣 (2), 岩田生 (2), 柳澤顕史 (2), 板由房 (4), 小野里宏樹 (4), 岩崎仁美 (4), 花上拓海 (4), 山下智志 (5), 新井 彰 (6); (1) 東京大, (2) 国立天文台, (3) 日本スペースガード協会, (4) 東北大, (5) 鹿児島大, (6) 京都産業大

銀河面領域は多くの星が集まる銀河系の骨格部分であるが、強い星間減光のために星の分布や性質などよく分かっていないことが多い。2MASS や Spitzer 衛星などの赤外線探査による様々な研究も進んでいるが、反復観測を必要とする変光星の探査はまだまだ不十分である。ミラなどの脈動変光星に対しては周期光度関係や恒星進化理論にもとづく年齢や距離の推定ができるため、銀河系の構造や恒星種族を調べるために有効なトレーサである。

そこで、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) に対する変光天体探査を行っている。KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane (略称 KISOGP) と名付けた 2012 年 4 月からの約 2 年半の間に行った各視野 30 回以上の観測から、すでに 700 個以上の大きな振幅をもつ変光星を検出した。その多くはミラ型変光星であるが、星形成領域にある YSO 変光天体も含まれている。データベースに格納した測光データからウェブ上でライトカーブを描くツールを開発し、チーム内で公開し各種天体についての調査を開始しているところである。一方、検出した変光星の分光追観測を国立天文台岡山天体物理観測所や兵庫県立大西はりま天文台で行っている。本講演では、これらの初期成果について報告しながら、KISOGP 探査で見つかる様々な変光天体のライトカーブ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](#)

N14a

## ALMA and Mopra Observations of WISE J180956.27–330500.2

山村一誠, 瀧田怜 (ISAS/JAXA), Poshak Gandhi (サウザンプトン大), 植田稔也 (デンバー大), 泉浦秀行 (国立天文台岡山)

WISE J180956.27–330500.2 (hereafter WISE J1810) was discovered by us in the course of studying the *WISE* Preliminary Source Catalog (Gandhi et al. 2012, ApJ 751, L1; See 2012b-N19a). Its peculiar SED with a heavy attenuation at 3–4  $\mu\text{m}$ , and the fact that the object was not observed by IRAS lead us to argue that WISE J1810 is a transient object that experienced an explosive mass ejection 15–20 years ago. The ejected matter formed a very thick circumstellar envelope, which has been expanding and cooling.

Since the discovery we have made intensive follow-up observations in various wavelengths to reveal nature of this peculiar object. In the previous ASJ meetings, we reported preliminary results of near-IR photometry by SIRIUS/IRSF and far-IR/sub-mm photometry by *Herschel* (2013a-N20a), as well as mid-IR photometry and spectroscopy by Subaru/COMICS (2014a-N04a). These data indicate that WISE J1810 posses an oxygen-rich, extreamly optically-thick circumstellar envelope.

We here report results of ALMA and Mopra observations of WISE J1810. ALMA observation was carried out in August 2014. We detect CO(3–2) and SiO(8–7) lines, which support the idea of a presence of an optically thick molecular envelope. Mopra observation was made in July 2014, resulted in non-detection of SiO(1–0, 2–1) and H<sub>2</sub>O masers. We discuss structure of the circumstellar envelope with these new data.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N15a 宇宙初期の漸近巨星分枝星での炭素ダスト形成と質量放出 III

田染翔平 (東京大学), 保田悠紀, 小笹隆司 (北海道大学)

宇宙初期では重力崩壊型超新星がダストの主要な供給源と言われて来たが、最近は漸近巨星分枝 (AGB) 星の重要性が示唆され、調べられている。AGB 星周辺で形成されるダストの種類は主に silicate, carbonaceous dust, metallic iron などである。Si や Fe は AGB 星内部では合成されず、silicate や silicon carbide, metallic iron の形成量は初期金属量に依存し、これらのダストは初期金属量  $Z < 10^{-3}$  では形成されないことが分かっている (Criscienzo et al. 2013)。一方、初期金属量  $Z < 10^{-4}$  の AGB dust yields の計算例はなく、carbon dust yields やその初期金属量依存性などは分かっていない。

2014 年秋季年会 (山形大学・N01a) では、初期質量  $M = 2 \sim 5M_{\odot}$ 、初期金属量  $Z = 10^{-7}$  の恒星進化計算を行い、各進化段階の AGB 星から放出される carbon dust yields を dust-driven wind の流体力学モデル (Yasuda & Kozasa 2012) を用いて計算した結果を報告した。AGB 星表面組成が激しく変化するため、この際、低温 opacity に関して (1) 太陽組成にスケールされた初期金属量で計算された従来の opacity と (2) 表面の炭素・酸素の増分を考慮したより正確な opacity との 2 パターンについて計算した。その結果、(1) では dust 放出は全く起こらなかったが、(2) では近傍銀河の炭素星で観測される dust-to-gas mass ratio と同程度に dust 放出が起こった。このように適切な opacity の取り扱いが必須であることも判明した。

本講演では、(2) を初期金属量  $Z = 0 \sim 10^{-4}$  に拡張した同様の計算から、AGB dust yields の初期質量・金属量依存性を示す。さらに現在、(2) より表面組成変化に整合的な (3) 表面の炭素・酸素・窒素の増分を考慮した opacity を用いたモデルで計算を行っており、(2) との比較も併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N16a

## Determination of orbital parameters for a symbiotic star R Aquarii

Cheulhong Min, Mareki Honma, Katsunori M. Shibata, Tomoya Hirota (NAOJ/SOKENDAI),  
VERA project group (NAOJ)

R Aquarii (R Aqr) is one of the closest and most studied symbiotic binary stars composed of an AGB star (Mira variable) and a white dwarf showing prominent characteristics of jet-like features and two hour-glass like nebulae. These phenomena are closely related to the binary orbit and a mass-loss from the AGB star. However, the orbital parameters in R Aqr and mass-loss mechanism in AGB stars are subjects still under debate.

A radial velocity analysis has been widely used for determining orbital parameters, but its inclination cannot be measured. SiO masers in AGB stars are generally known to be formed within the dust formation region which is very closed to the photosphere about  $2 \sim 4R_*$  showing a ring-like distribution. VLBI observations of SiO masers allow to determine the position of the AGB star as well as full orbital parameters combining with radial velocity. In this presentation, we report preliminary results of VERA observations from 2005 to 2014.

Throughout our observations, we measured a distance of  $218_{-11}^{+12}$  pc yielding the highest accuracy. Combining VERA astrometry with radial velocity data, we directly estimated preliminary full orbital parameters, which provide implications for the phenomena in R Aqr. In addition, we found kinematic motions of SiO maser shells probably due to shock propagation. Our results give constraints on the inner-most region of current dynamic atmosphere models for understanding the mass-loss mechanism in AGB stars.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17a **Herschel Far-IR Study on Coldest Regions in Planetary Nebulae**

大塚雅昭 (国立天文台ハワイ/ASIAA), 植田稔也 (U. of Denver), HerPlaNS consortium

銀河の化学進化は恒星-星周物質 (ISM) 間の物質循環によってなされている。閉じた銀河空間においては、恒星が星周空間へ放出する量と同じダストが星間空間に存在しているはずである。しかし、赤外線宇宙望遠鏡 *Spitzer* に基づくマゼラン星雲における物質循環の研究では、恒星から供給された "暖かい" ダストマスでは、"冷たい" ISM ダストの 10% 以下しか説明できていない。マゼラン星雲における恒星-ISM 間ダストマス不一致の理由の 1 つとして考えられるのは、恒星と ISM とで温度が異なるダストマスを比較している点である。遠赤外-サブミリ宇宙天文台 *Herschel* による超新星 1987A の観測は、中間赤外データ ( $\lesssim 36 \mu\text{m}$ ) で見積もられていた暖かいダスト ( $\sim 100\text{K}$ ) の 400-700 倍の冷たいダスト ( $\sim 20\text{K}$ ) が存在していることを明らかにした。同様に、漸近赤色巨星 (AGB 星) など進化した中小質量星においても、遠赤外域に冷たいダストが隠されている可能性がある。

惑星状星雲 (Planetary Nebula, PN) は AGB 星を経て至る天体で、ダストを含むネビュラと高温の中心星からなる系であり、Milky Way においては 1000 天体以上存在している。われわれは距離がよく求まっている近傍の PN11 天体を *Herschel* で観測した (Ueta et al. 2014, A&A, 565, A36)。この講演では、4 つの PN NGC40, NGC3242, NGC6543, NGC6781 の初期解析結果を報告する。これらの PN に対して、紫外域 ( $\sim 0.1 \mu\text{m}$ , *GALEX* など) からサブミリ域 ( $500 \mu\text{m}$ , *Herschel*/SPIRE) までの切れ目のない観測スペクトルを輻射輸送コード *CLOUDY* で再構築し、ダストマスとともに、ネビュラの元素組成比や中心星の特性も得ることができた。サンプル天体における "暖かいダストマス+冷たいダストマス" は、 $0.1\text{-}24 \mu\text{m}$  の観測データから得られる "暖かいダストマス" に比べ、2.3 倍 (平均) 大きいことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## N18a      **MAXI が捉えた Carinae の歴史的 X 線増光**

坪井陽子, 菅原泰晴, 川越淳史 (中央大学), 根來均, 福島康介 (日本大学) 三原建弘, 高木利紘 (RIKEN) 中平聡志 (JAXA) 河合誠之 (東京工業大学) 他 MAXI Team

イータカリーナは、大質量星末期段階にあり、数百万年以内にはガンマ線バーストを起こすと期待されている。1990年代中頃から約5.5年周期でX線光度とHe II  $\lambda 4686$  輝線の等価幅の変動などが得られ始めた。これらのことから、Luminous Blue Variable (LBV) と Wolf-Rayet 型星という星風の激しい大質量星同士が連星をなしていること、連星間距離の変化から星風衝突の規模が周期的に変動し、X線光度変動をもたらしていることが明らかになった。He II  $\lambda 4686$  輝線のモニターからは2014年7月26日に新たに近星点を迎えることが予測され (Teodoro et al. 2012) その前にX線ピークが得られると期待されていた。

全天X線監視装置MAXIは2009年8月に運用が開始され、1周90分で地球を周回し、モニター観測を続けている。ガス比例計数管GSCは2–10 keVの帯域で1日あたり10–20 mCrabという高い検出感度を誇り、そのおかげで、距離の遠い ( $D \sim 2.3$  kpc) イータカリーナの定常時の暗いX線でもモニター可能となった。我々はこのMAXI/GSCで2014年6月15日と17日に高いX線フラックスを検出した (Negoro et al. 2014 ATEL)。この3日間の平均フラックスは2–10 keV帯域で  $6 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  という観測史上最大の値を記録した。フラックスからX線ルミノシティを求める際の conversion factor として1周期前のX線ピークに用いられた値 (Corcoran et al. 2010) を使うと、この3日間の平均X線ルミノシティは2–10 keV帯域で  $4 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$  となる。これは非圧縮型の星としては、距離の不定性の大きいものを除いて最も大きい。このことは連星をなす星のうちどちらかの星風放出が激しくなっている可能性を示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N19a **Wolf-Rayet 連星系 WR 21a の X 線モニタリング観測 II**

菅原 泰晴、坪井 陽子 (中央大学)、前田 良知 (JAXA)、Andy Pollock (ESA)

Wolf-Rayet 星の多くは連星系を成し (Rosslowe & Crowther 2014)、両者からの星風はその中間点で衝突して高温ガスを生成し、連星間距離に応じて、衝突領域が変化していくことが知られている。このガスを詳細に調べることで、X 線領域で星風の密度や加速量を定量的に調べることが近年可能となった。WR 21a (WN5-6+O3、周期 31.673 日) は、連星軌道が精密に求められている数が少ない大質量連星系であり、X 線モニタリングを用いることで、星風衝突研究の良い実験場となることが期待されている。我々は、2013 年 10 月に実施した Swift 衛星によるモニタリング観測で、近星点付近の急激な X 線光度の減光を確認した (2014 年秋季年会)。一方、星風の密度や加速量を定量的に調べるためには、より大きな集光力を持つ衛星による観測、または同位相を複数回観測し、光子統計の高いスペクトルから X 線吸収量と X 線光度を精密に求める必要があった。

今回我々は、集光力の大きい XMM-Newton 衛星によって 2013 年 6 月から 7 月に実施された、近星点と遠星点付近を含む観測のデータ (4 観測、計 93 ksec) 及び、Swift 衛星によって、2014 年以降新たに取得したデータを含む、全観測データ (75 観測、計 166 ksec) を用いて、WR 21a の吸収量及び X 線光度の変動を調査した。X 線スペクトルは  $kT \sim 3\text{keV}$  の一温度熱放射モデルで再現できた。今回、変動を調べる上で基点となる遠星点で、質の高いスペクトルを取得し、X 線吸収  $\sim 7 \times 10^{21} \text{ H cm}^{-2}$ 、X 線光度  $\sim 5 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$  (0.5–10.0 keV 帯域) を得た。また、X 線吸収量が遠星点から近星点にかけて約 2 倍増加したことを確認し、一様な球対称星風を仮定することで、WR 星風による吸収の変化として説明できた。本講演では、これらの解析の結果及び、X 線観測から制限される質量放出率や星風加速量について言及する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## N20b 準周期的な変光を示す B 型輝線星の長期測光モニター観測

前原裕之 (国立天文台)、本田敏志 (兵庫県立大学)

B 型輝線星は自転速度の速い B 型星で、赤道面上に幾何学的に薄い星周円盤をもち、そのスペクトルには、B 型星の光球由来の吸収線に加えて、バルマー線等に星周円盤由来の輝線がみられる天体である。このような天体の中には、星周円盤由来の輝線スペクトルの変化に伴って、明るさの変化を示す天体も知られているが、星周円盤や明るさの変化を引き起こす原因が何であるのかはまだよく分かっていない。

我々は、明るい天体 ( $V \text{ mag} < 11$ ) の変光を検出することを目的とした、焦点距離 50mm ないし 105mm レンズと小型 CCD カメラを使用した独自の広視野サーベイ観測を 2011 年から継続して行っている。この観測により得られた測光データベースから、V504 Per, V733 Mon, NSV14775 などいくつかの Be 星が振幅 0.3-0.5 等の準周期的な変光を示すことを発見した。このような天体では変光に伴って  $V - I_C$  も変化し、明るくなると色が赤くなることが分かった。また、これらの天体の一部について 2014 年 8 月から 11 月にかけて西はりま天文台のなゆた望遠鏡 / MALLS で複数回の分光観測を行なったところ、明るい時期には  $H\alpha$  輝線の等価幅が小さくなることが分かった。本講演では観測された準周期的な変光と色や  $H\alpha$  輝線の変化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](#)

## N21b 遅い古典新星 V2676 Oph における分子外層の生成

新井彰, 河北秀世 ( 神山天文台 / 京都産業大学 ), 長島雅佳, 梶川智代, 久保夏紀 ( 京都産業大学 ), 藤井貢 ( 藤井黒崎天文台 )

隕石中に見つかるプレソーラー粒子の中で、高い  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比を持つ粒子については新星爆発における熱核暴走反応が起源であると理論的に予想されている。そのため、太陽系の起源や銀河の化学進化を理解する上で、新星放出物の窒素同位体比を観測的に決定することは非常に重要とされてきた。新星の窒素同位体比を観測的に決定するためには、可視光スペクトルで検出できる CN 分子を用いる方法が有望である。しかし、2012 年まで、古典新星 DQ Her(1934) 以外に CN 分子が検出された例は皆無であった。私たちのグループは、2012 年にうみへび座に出現した遅い古典新星 V2676 Oph において、C2 および CN 分子を神山天文台 1.3m 望遠鏡によって検出することに成功した (Nagashima et al. 2014, ApJ, 780, 26)。本講演では他の望遠鏡による観測結果を含め、同新星における分子生成の過程について報告し、窒素同位体組成比の決定に向けた議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N22b Chemical Abundances and Dust of the PN Wray16-423 in the Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy

大塚雅昭 (国立天文台ハワイ/ASIAA)

いて座矮小楕円銀河 (Sgr) に属する惑星状星雲 (Planetary Nebula, PN) Wray16-423 ( $[\text{Ar}/\text{H}] = -0.55$ ,  $Z \sim 0.005$ ) における元素組成とダストの調査を ESO2.2-m/FEROS とすばる/HDS の可視高分散スペクトル ( $0.35\text{-}0.92\ \mu\text{m}$ )、*Spitzer*/IRS の中間赤外スペクトル ( $5\text{-}37\ \mu\text{m}$ ) を使って行った。s-プロセス元素クリプトン (Kr) を含む 11 元素組成比を 250 本以上のガス輝線から計算した。Wray16-423 における Kr の測定はこの研究によって初めて行われ、その Kr 過剰度 ( $[\text{Kr}/\text{H}] = +0.27 \pm 0.10$ ) は、同じ金属量の Sgr PN Hen2-436 に匹敵している ( $[\text{Kr}/\text{H}] = +0.34$ ; Otsuka et al. 2011, ApJ, 729, 39)。多数検出された C と O の再結合線を使い、同じタイプの輝線から C/O 比を初めて得ることができた ( $2.46 \pm 0.80$ )。中間赤外スペクトルでは、幅広い  $30\ \mu\text{m}$  フィーチャ、 $6\text{-}9\ \mu\text{m}$  と  $10\text{-}14\ \mu\text{m}$  の多環芳香族炭化水素 (PAH) のバンドが見えている。また、 $\sim 16\text{-}24\ \mu\text{m}$  においてキャリア不明の幅広いフィーチャを見つけた。このフィーチャは大小マゼラン星雲や Milky Way に属するいくつかの C-rich PN で確認されているが、その中心波長および帯域幅 ( $\lambda_c = 19.5\ \mu\text{m}$ ,  $\text{FWHM} = 6.5\ \mu\text{m}$ ) は、非晶質シリケートの O-Si-O bending mode ( $\lambda_c \sim 18\ \mu\text{m}$ )、FeS と FeO で見られる幅広いフィーチャ ( $\lambda_c \sim 23\ \mu\text{m}$ )、 $15\text{-}20\ \mu\text{m}$  PAH バンドの中心波長と帯域幅と合っていない。 $0.1\text{-}37\ \mu\text{m}$  における観測スペクトルと測光値を CLOUDY をつかって再構築し、中心星輝度/有効温度とガス/ダストマス ( $0.59 M_\odot$ ,  $1.93 \times 10^{-4} M_\odot$ ) を求めた。得られた中心星輝度/有効温度を post-AGB 星の理論進化トラック上にプロットすることにより、Wray16-423 の親星質量は  $\sim 2 M_\odot$  と推定した。観測により求められた元素組成比は、初期質量  $1.90 M_\odot$ 、金属量  $Z = 0.004$  の AGB 星元素合成モデルとよく一致している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N23b 近赤外線高分散分光に基づく星団中の赤色超巨星の化学組成解析

山本遼, 福江慧, 松永典之, 濱野哲史, 安井千香子, 小林尚人 (東京大学), 辻本拓司 (国立天文台), 近藤荘平, 池田優二 (京都産業大学)

銀河系の金属量分布を調べることは、銀河系進化過程の解明に大きく貢献する。これまでの研究により、銀河系円盤では、中心へいくにつれ金属量が大きくなる勾配が確認されている。しかし、銀河系中心から約 5 kpc 以内に関しては、可視光において星間減光の影響を大きく受けるためほとんど調べられていなかった。現在では、近赤外線高分散分光装置の発展により、大きな減光を受けた天体の観測も可能になり、バルジやディスク最内縁部の金属量分布の調査が大きく進むと期待される。金属量勾配を調べるためのターゲットとしては、距離や年齢を見積もりやすい「散開星団」が挙げられる。しかし、ディスク最内縁部では現時点で限られた数の天体しか金属量が調べられていない。

そこで、我々は研究対象として銀河系ディスク内縁部に存在する GLIMPSE9 星団中の 2 つの赤色超巨星 (有効温度はそれぞれ 3600, 3855 K) および RSGC2 星団の赤色超巨星 (3650 K) について、すばる 8.2 m 望遠鏡 IRCS+AO188 を用いて分光観測を行った。赤色超巨星は近赤外で明るく、金属のラインが豊富であるため良いターゲットとなっている。得られたスペクトル ( $1.5\text{--}1.8\ \mu\text{m}$ ,  $R \sim 20,000$ ) から、大気パラメータや化学組成を導出した。 $H$  バンドでのライン強度比による温度決定方法などの独自の解析手法を用いた。較正用天体として NGC6791 の赤色巨星に対しても同様の解析を行い、先行研究と非常に近い結果を得ることで解析手法の信頼性を確認した。本発表では、近赤外線高分散分光による化学組成解析の詳細と結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N24b ミラ型変光星のスペクトル分類

岩崎仁美, 板由房 (東北大学), 松下真人, 溝口小扶里, 長谷川哲郎 (仙台市天文台)

仙台市天文台 1.3m ひとみ望遠鏡を使用し、ミラ型変光星のスペクトル分類を行った。ミラ型変光星には表面組成が炭素過剰な物 (C 型星) と、酸素過剰な物 (M 型星) が存在する。また、ミラ型変光星は周期光度関係からよい距離指標になることが知られている。しかし、周期光度関係は C 型星と M 型星で異なるから、距離を正確に決めるためには C 型、M 型のそれぞれで周期光度関係を定める必要がある。将来、アストロメトリ衛星 G AIA のデータ出てきた際にこれが可能となる。この時代に備えるため、現在、近傍のミラ型変光星の表面化学がどのくらい判明しているかを調べた。NSVS で観測され、ミラ型だと分かっている天体の中でスペクトル型が決定されているのは、2565 星のうち 405 星 (約 16%) である。まだ 16% しかスペクトル型が決定されていない。既知の天体の内 訳は M 型 343 星、C 型 28 星であり、C 型星のサンプルが少なく、周期光度関係の高精度化のためには炭素星のサンプルを増やす必要がある。そこで本研究では NSVS でミラ型星と分類されてはいるがスペクトル型が決まっていないもので、仙台から観測ができる天体、かつ、実視等級が 10 等より明るいもの、という条件をかけ、計 51 個のミラ型変光星を分光観測してその表面組成を明らかにした。本ポスターではこの観測結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## N25b 非常に長い周期を持つ変光星の位置天文観測の検討

中川亜紀治、坂田修一郎、山下智志、面高俊宏、半田利弘（鹿児島大学）、VERA グループ

ミラ型変光星などの長周期変光星は太陽の1 - 8倍の質量を持ち、その進化の末期に差し掛かった星である。質量放出が激しく、宇宙の化学組成の理解においても重要な天体である。この種の星には明るさと変光周期の間の比例関係が知られており、これは周期光度関係（Period-luminosity relation ; PLR）とよばれている。大マゼラン銀河で発見されたこの関係を天の川銀河独自で決めるためには正確な距離が必要だが、これまでは十分な精度の距離計測が難しかった。VERA プロジェクトでは位置天文による距離計測に基づいたPLRの確立を科学目標の一つとしている。PLRが得られれば見かけ等級と変光周期から星の距離を導出するツールとしても活用できる。VLBI観測では星の周囲に分布する水メーザーを遠方のQSOと同時観測する。

VERAを用いたこれまでの観測からいくつかの天体について10%より高い精度で距離を決定することができ、天の川銀河のミラ型変光星に対するPLRとして  $MK = -3.51 \log P + 1.37 \pm 0.07$ （Pは変光周期）が得られた事を前回の学会で報告している。本学会ではその後の進展を報告したい。

周期300日前後の典型的なミラ型変光星については多くの位置天文VLBI観測が行われてきた。しかし400日を超えるような非常に長い周期の天体では位置天文による距離計測例は非常に少なく（例えばKurayama et al. 2005）皆無といっても過言ではない。そうした天体の物理的性質や変光の機構を知るためにも位置天文観測による距離計測やVLBI連続観測による星周メーザーの分布や運動の把握は重要である。更には1000日を超えるような極めて長い周期の天体も鹿児島大学の赤外線モニター観測から多数発見されており、そうした星のVLBI観測を検討すべくメーザーの探査も進めているので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](#)

## N26c 低自由度力学系で探る水平磁場の発生メカニズム

新井信乃, 田代徹, 森川雅博 (お茶の水女子大学)

2006年に打ち上げられた日本の太陽観測衛星「ひので」の高い分解能によって、詳細に見ることの出来なかった静穏領域の観測が盛んに行われた。従来観測されていた太陽表面に対して垂直成分を持つ磁場だけでなく、膨大な数の水平成分の磁場が新たに見つかった。そしてその磁場が短い時間で消滅することから、短寿命水平磁場と名付けられた。

この短寿命水平磁場は太陽表面の対流運動に乗って出現しては消滅する様子が明らかとなり、その出現分布は対流セル（超粒状斑）の境界であるということも続けて分かった。つまり、水平磁場は太陽表面の対流によって局所的に作られ（ローカルダイナモ）その対流によって浮き沈みしていると予測されている。

恒星内の電導性流体によって誘起される磁場に関する研究は長い歴史を持つが、水平磁場の発生メカニズム解明に特化した理論的な研究は、観測されてからの日も浅いため、まだ始まったばかりである。よって今回、私たちは上記の水平磁場の発生メカニズムを明らかにするために流体の運動方程式、温度場と磁場の方程式から低自由度の物理量を抽出して力学系を構成する。そして、その自由度の低さを利用して、磁場と対流（と温度場）がいかに相互作用しているか具体的に理解する。特にセル境界下方における磁場の存在が水平磁場の生成に大きく寄与するということが分かった。また今回の力学系が実際の恒星をよく表しているかを理解するために、ひのでグループによって詳細に観測された太陽のデータと比較する。

本発表では、水平磁場発生メカニズムに特化した力学系モデルの提案とそのモデルと観測の比較の二点について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【P1. 星・惑星形成（星形成）】

3月18日（水）午後（13:00-15:00）[G会場]

P101a	13:00	再電離期におけるバリオン・ダークマターの速度差を考慮した初代星形成 平野信吾（東京大学）
P102a	13:12	超巨大ブラックホール形成に必要な紫外線輻射強度： $H_2$ および $H_2^+$ の非平衡準位占有数の効果 杉村和幸（東北大学）
P103a	13:24	巨大質量星の痕跡を示す可能性のある金属欠乏星の化学組成 青木和光（国立天文台）
P104a	13:36	ポロノイ図を用いた粒子分割法 千秋 元（東京大学）
P105a	13:48	星形成初期段階での空間スケールの違いによる角運動量輸送機構 町田正博（九州大学）
P106a	14:00	遅い分子雲形成過程に基づく銀河系円盤部の星形成シナリオ：分子雲の質量関数・星形成の加速・星形成率・シュミット則の起源について 犬塚修一郎（名古屋大学）
P107a	14:12	衝撃波圧縮が駆動するフィラメント状分子雲形成 岩崎一成（名古屋大学）
P108a	14:24	垂直な磁場に貫かれたフィラメント状分子雲：最大質量磁束比と安定性 花輪知幸（千葉大学）
P109a	14:36	化学進化から探るフィラメントの運動と星団形成：OMC-2/3 領域 大橋聡史（東京大学/国立天文台）
P110b	14:48	大局磁場と分子雲コアの回転軸が非平行な場合における原始星ジェットとアウトフローの進化 橋田英之（九州大学）
P111b	14:48	EAVN による 6.7 GHz メタノール・メーザーの VLBI サーベイ X 杉山孝一郎（茨城大学）
P112b	14:48	Mopra mapping observations with multi-lines of dense cores in Lupus I and Lupus III 清兼和紘（東京大学）

3月19日（木）午前（09:30-11:30）[G会場]

P113a	09:30	銀河系最外縁領域における分子雲の物理的特徴 泉 奈都子（東京大学）
P114a	09:42	HCL2 領域における OH 吸収線と構造形成の関係の研究 海老澤勇治（東京大学）
P115a	09:54	低質量星形成領域 L1527 における c-C <sub>3</sub> D の検出 吉田健人（東京大学）
P116a	10:06	Detection of Complex Organic Molecules in Starless Core; TMC-1 相馬達也（東京大学）
P117a	10:18	分子雲における水素分子のオルソ・パラ比と水氷の重水素比 古家健次（ライデン大学、ライデン天文台）
P118a	10:30	ATCA による”face-on”大質量原始星候補天体の多周波観測- 7 mm 帯 - 元木業人（山口大学）
P119a	10:42	A compact outflow in a low-mass protostar with age of $\lesssim 2500$ yrs 古屋 玲（U. Tokushima）
P120a	10:54	ALMA Cycle1 による高密度分子雲コア MC27/L1521F の観測 徳田一起（大阪府立大学）
P121a	11:06	分子雲コアの中心に存在するアーク構造の起源 松本倫明（法政大学）
P122b	11:18	原始惑星系円盤のイオン化率と $N_2H^+$ リング 相川祐理（神戸大学）
P123b	11:18	原始惑星系円盤形成時の化学組成進化 米田晴玲（神戸大学）
P124b	11:18	Tracing water processing from molecular clouds to embedded protostellar sources with deuteration 古家健次（ライデン大学/ライデン天文台）
P125c		Formamide (NH <sub>2</sub> CHO) in star-forming regions: A crucial precursor of pre-biotic material Ana López-Sepulcre (The University of Tokyo)
P126c		「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (5) 山村一誠（宇宙航空研究開発機構）

（次頁に続く）

## 【P1. 星・惑星形成（星形成）】

3月19日（木）午後（13:30-15:30）[G会場]

<b>P127a</b>	13:30	ALMA を用いた原始星 L1527IRS outflow の力学構造の解明	西合一矢（国立天文台）
<b>P128a</b>	13:42	ASTE, Mopra を用いたマッピング観測による原始星周囲の環境の調査	麻生有佑（東京大学）
<b>P129a</b>	13:54	ALMA によるおうし座 Class 0 原始星 L1527 の観測	大屋瑤子（東京大学）
<b>P130a</b>	14:06	Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 2	Jungmi Kwon (The University of Tokyo / National Astronomical Observatory of Japan)
<b>P131b</b>	14:18	中間赤外線で大きな増光が見られた天体についての可視・近赤外追究観測	小野里宏樹（東北大学）
<b>P132b</b>	14:18	おおかみ座分子雲 I における超低質量天体形成	大朝由美子（埼玉大学）
<b>P133b</b>	14:18	へびつかい座分子雲における若い惑星質量天体の探査観測	大朝由美子（埼玉大学）

## P101a 再電離期におけるバリオン・ダークマターの速度差を考慮した初代星形成

平野信吾, 吉田直紀 (東京大学)

現代宇宙論より決まる宇宙初期の物質分布を出発点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。Tseliakhovich & Hirata (2010) は、宇宙再電離期におけるバリオンのダークマターに対する超音速運動が初代天体形成に影響する可能性を初めて指摘した。これは従来の線形成長理論では扱えなかった効果であり、宇宙論的シミュレーションでも考慮されていなかった。相対速度の大きさは確率的に決まるので、初代星の統計的性質を議論する際にはこの効果は無視できない。その後行われた数値シミュレーションより初代星形成への影響は確認されており、非常に大きな相対速度の元では通常とは異なる天体形成を行うという示唆もある (Tanaka & Li 2014; Naoz & Narayan 2014)。しかし、相対速度差の大小に応じた初代星形成への影響はまだ十分調べられていない。

そこで今回、いくつかの異なる相対速度を仮定した宇宙論的初期条件を用意し、それぞれ最初の天体が形成されるまで宇宙論的シミュレーションを進めた。その結果、星形成過程はこれまでの報告以上に影響されることを確認した。まず、速度差によってダークマターハロー内へのガス収縮が妨げられるのだが、この間に近傍のダークマターハローが合体し、力学的緩和によって天体形成は更に遅れる。その結果、重力収縮開始時のガス雲質量は通常に比べて10～100倍になり、高温に加熱される。大質量ガス雲はその後急激に冷却してジーンズ質量を減らし、複数の始原的星形成ガス雲に分裂する。このようにほぼ同時期に複数のガス雲形成が起こるため、その後各々が初代星を形成すると、初代星からなる星団が誕生する可能性がある。本講演では、初代星形成シナリオに対する相対速度差の影響と、誕生する天体の特徴について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102a 超巨大ブラックホール形成に必要な紫外線輻射強度： $H_2$  および  $H_2^+$  の非平衡準位占有数の効果

杉村和幸（東北大学）、Carla M. Coppola（パース大学）、大向一行（東北大学）、Daniele Galli（アルチェトリ天文台）、Francesco Palla（アルチェトリ天文台）

太陽の数億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールは、現在の宇宙では銀河中心に普遍的に存在することが知られているが、一方で宇宙初期にも存在が確認されており (Mortlock ほか 2012)、少なくとも一部は宇宙初期にその起源を持つと考えられる。しかし、宇宙初期の限られた時間内に超巨大ブラックホールを形成する機構は不明であり、超巨大ブラックホール形成の標準シナリオを確立する上での大きな問題となっている。

宇宙初期の超巨大ブラックホール形成シナリオの有力な候補に、周囲から強い紫外線輻射を受けた始原ガスから数万太陽質量の超大質量星が形成し、そのまま重力崩壊を起こして超巨大ブラックホールの種となるというシナリオがある (Bromm、Loeb 2003)。強い紫外線が水素分子の形成を妨げると、通常の初代天体形成時に重要となる水素分子冷却が効かなくなり、始原ガスは通常と異なる進化をして超大質量星が形成すると考えられている。

しかし、先行研究では  $H_2$  および  $H_2^+$  の振動準位占有数を熱平衡値で近似して取り扱っており、水素分子の形成量が  $H_2^+$  の振動準位分布に大きく依存することから (Galli、Palla 1998) 水素分子の形成量が正確でない可能性があった。そこで、本研究では  $H_2$  および  $H_2^+$  の振動準位分布の時間発展を数値的に解くことで、 $H_2$  および  $H_2^+$  の非平衡準位占有数の効果を正しく取り入れて超巨大ブラックホール形成に必要な紫外線輻射強度を求める。また、今回得られた結果を先行研究と比較し、宇宙初期に形成する超巨大ブラックホールの数密度の予言への影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a 巨大質量星の痕跡を示す可能性のある金属欠乏星の化学組成

青木和光(国立天文台)、富永望(甲南大学)、本田敏志(兵庫県立大学)、T. C. Beers (University of Notre Dame)、Y. S. Lee (New Mexico State University)

宇宙の初代星のなかには太陽質量の100倍を超える巨大質量星が存在した可能性が、初代星形成モデルからは予測されている。しかし、これまでの金属欠乏星の観測からは、巨大質量星が作り出すと考えられる化学組成をもつ星はみつかっていなかった。我々はSDSSによって見出された金属欠乏星に対して、すばる望遠鏡を用いて高分散分光観測を進めてきたが、そのなかで特異な化学組成を示す金属欠乏星 ( $[Fe/H] = -2.5$ ) SDSS J0018-0039を見出した。この星のより詳細な分光観測を行ったところ、太陽組成比に比べて(1)炭素やマグネシウムなどの軽い元素が鉄に対して欠乏している、(2)コバルトが鉄やニッケルに比べて欠乏していることがわかり、さらに(3)鉄族よりも重い中性子捕獲元素が検出できないほど少ない、という結果を得た。これは鉄を大量に放出すると予想されている、140太陽質量以上の星が起こす電子対生成型超新星、あるいは300太陽質量以上の星が起こすかもしれない重力崩壊型超新星で生成される化学組成比に似た特徴である。この星の化学組成がもつ初代星研究へのインパクトについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104a      ボロノイ図を用いた粒子分割法

千秋元, 吉田直紀 (東京大学)

本講演では、星形成などの SPH シミュレーションにおいて不可欠である粒子分割法の改善について発表する。星形成のシミュレーションでは、星間ガス雲からコアまで、幅広い密度の幅を取り扱わなければならない。SPH 粒子の質量は、解像できる最低質量 (近接粒子数  $\times$  粒子質量) がその点でのジーンズ質量より十分小さく ( $\lesssim 1/1000$ ) なるよう設定する必要がある。そのため、粒子質量一定でシミュレーションを行う場合、多量の粒子を必要とし、計算コストを要する。そこで、適宜粒子を分割して解像したい部分をズームインする手法が広くとられている。これまで Kitsionas & Whitworth (2002) をはじめとして、分割された娘粒子は等方になるように親粒子の周囲に配置されたい。このとき娘粒子は、親粒子からの距離を親粒子のスージング長程度、角度をランダムに置かれていた。しかし、この場合、娘粒子が他の粒子に近づき、密度が上昇するという現象が見られる。そこで本研究では、粒子分割後の密度の再構築を改善するため、ボロノイ図を用いて娘粒子の位置を決定するようにした。ボロノイ図は、計算領域がどの粒子に一番近いかによって領域分けされた図であり、ある親粒子の占める領域は多面体として表されるが、その中に娘粒子を配置する。その結果、幾つか行ったテスト計算では密度場の再構築が改善されたことを示した。また、本講演では、ボロノイ図構築のための高速なスキーム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](#)

P105a 星形成初期段階での空間スケールの違いによる角運動量輸送機構

町田正博 (九州大学)

星は分子雲コアが重力収縮して誕生する。観測から分子雲コアの角運動量は原始星の角運動量よりも 4–5 桁程度大きいことが分かっている。そのため、星が出来る過程でどのようにして角運動量を輸送するかを理解することは星形成過程を解明する上で重要である。先行研究によって、星形成過程で現れるアウトフローによって分子雲コアが持っていた角運動量の多くの割合が星間空間に微量のガスと共に放出されることが示された。しかし、今までの研究では磁場の散逸や原始星形成後に現れるジェットなどによる角運動量輸送過程は調べられていなかった。

この研究では、星形成前の分子雲コアを初期条件として星形成過程を計算を計算した。その際、分子雲コアから原始星のスケールまでを空間分解して原始星形成後 500 年以上の計算を行った。この計算の初期の結果は前回の天文学会で発表しており、(i) 星周円盤外縁から低速度アウトフローが定常的に現れ、(ii) 原始星近傍からは高速度ジェットが非定常に出現することが示された。

今回は、星の誕生前後での角運動量輸送機構について発表する。星形成直後、星周円盤の外側では主に磁気制動によって角運動量が輸送される。他方、円盤の外縁では磁気制動に加えてアウトフローによって角運動量が効率的に輸送される。円盤の内側では磁場の散逸のために磁場による角運動量輸送は効果的ではない。そのため、この領域では円盤の面密度が上昇し重力不安定性によって非軸対称な構造が発達し、円盤中の非軸対称性によって生じる重力トルクによる角運動量輸送効率が磁場による輸送効率をはるかに卓越する。また、より小さいスケール (原始星近傍) では、ジェットによる角運動量輸送が効果的となる。さらに、ジェットの非定常性は円盤中での非軸対称構造による非定常降着に起因する。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](#)

P106a 遅い分子雲形成過程に基づく銀河系円盤部の星形成シナリオ：分子雲の質量関数・星形成の加速・星形成率・シュミット則の起源について

犬塚修一郎，岩崎一成（名大・理），井上剛志（国立天文台），細川隆史（東大・理）

銀河系円盤部における統一的な星形成シナリオを提案する．弱電離した星間媒質中での輻射加熱・冷却・熱伝導を含む非理想磁気流体力学的研究により，星間雲の形成機構が解き明かされて来た．まず，熱的不安定性を伴う相転移現象により低温の中性水素ガス雲が生成される．これらが多数回の衝撃波により圧縮されることにより，分子雲が形成される．また，できた分子雲が衝撃波によって再度圧縮される場合に，フィラメント状の分子雲が生成される．本講演では，この知見に基づいた星形成シナリオにより，銀河系円盤部における星形成活動に関する多数の観測事実を説明することができることを報告する．膨張する電離水素領域や充分冷却した超新星残骸により圧縮された球面（以下，バブルと呼ぶ）には乱流状態の低温の中性水素分子雲が形成される．その雲が多数回圧縮されて分子雲が形成されるため，分子雲は球面上の一部のみに存在する．また，分子雲の形成には数千万年かかるため，百万年程度しか持続しない電離水素や超新星残骸のほとんどはその痕跡を同定することが困難になる．分子雲では十分大きな線密度のフィラメントが形成されることで星形成は始まり，数千年程度の時間スケールで加速する．バブルとバブルの衝突面に相当する特別な領域においては分子雲同士の衝突が可能であり，ガスの効果的な圧縮に伴い，激しい星形成が誘発される．20～30太陽質量の星が生まれると，電離・解離光子を含む紫外線により  $3 \cdot 10^4$  太陽質量程度の分子ガスが百度弱に暖められ，CO を含まない「見えない」分子雲となり星形成活動は止まる．その結果，星形成率は数%程度になる．分子雲の（全）散逸時間は  $10^9$  年のオーダーとなり，Schmidt-Kennicutt 則の起源を与える．この過程を記述する方程式の定常解として分子雲の質量関数が決まる．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P107a 衝撃波圧縮が駆動するフィラメント状分子雲形成

岩崎一成、犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の Herschel 宇宙望遠鏡による観測によって、ほとんどの重力的に束縛された高密度コアはフィラメント状分子雲に沿って存在している事が明らかになった。この観測結果は、星がフィラメント状分子雲の中で生まれることを強く示唆し、分子雲から星への進化過程を解明する手がかりと成り得るもので、世界中の注目を集めている。従って、星形成を理解するためにはフィラメント状分子雲の形成過程とその中で高密度コア形成を理解する事が不可欠である。

我々は、フィラメントを作るメカニズムとして衝撃波圧縮を考えている。実際に銀河系内の星間ガスは、HII 領域の膨張や超新星爆発、分子雲同士の衝突などによって頻繁に衝撃波圧縮を受けている。我々は、簡単のために分子雲を正面衝突 (衝突速度と磁場は垂直) させて、衝撃波圧縮層でのフィラメント形成過程を 3 次元磁気流体シミュレーションを用いて調べた。その結果、衝撃波面が歪むことによって、衝撃波後面に磁場に沿った超音速ガス流が生じフィラメントが形成される事が分かった (Inoue & Fukui 2013)。さらに、このフィラメントは磁場が垂直に貫いているために、磁場の方向につぶれた“きしめん”状の構造になる。この“きしめん”状フィラメントは、磁場に沿った超音速降着流にさらされ、非常に揺らいだ構造になる事が分かった。また、観測で普遍的に見られる、大質量フィラメントに垂直に伸びた細いフィラメントも自然に作られる。講演では、フィラメント形成過程とその構造を解説し、近年の Herschel 望遠鏡による観測結果に対する理論的示唆を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P108a 垂直な磁場に貫かれたフィラメント状分子雲: 最大質量磁束比と安定性

花輪知幸 (千葉大学), 富阪幸治 (国立天文台)

Taurus などの星形成領域では大局的な磁場に対して垂直に細く伸びたフィラメント状の分子雲が見られる。Tomisaka (2014, ApJ, 785, 24) は、このような状況下で磁気流体力学平衡にある分子雲の線密度の上限 ( $\lambda_{\max}$ ) は磁場に比例して大きくなることを明らかにした。ただしこの結果は、質量磁束比分布が密度一様な円筒状分子雲を一様な磁場が貫く場合と同じである場合に限定されている。本講演ではより一般的な質量磁束比分布をもつ分子雲に対して、その線密度の上限とその分子雲の安定性について検討した結果を報告する。

私たちの解析結果は次のようにまとめられる。磁場が強くなるとフィラメントは幅に比べ厚みが薄くなるため thin disk 近似を適用できる。この近似を用いると、平衡を保つための条件は主に分子雲の中心での質量磁束比により与えられることが示せる。磁束管あたりのガスの質量が亜臨界、すなわち面密度と磁場の比が  $B > 2\pi\sqrt{G}\Sigma$  であれば、分子雲は磁場により支えられる。ここで  $B, \Sigma, G$  は磁場、面密度、重力定数である。ガスが等温で質量磁束比が一定の場合、平衡解の線密度  $\lambda$  と面密度  $\Sigma$  は単位長さあたりの磁束  $\Phi$  と音速  $c_s$  により

$$\lambda = \frac{c_s^2}{2G} + \sqrt{\left(\frac{c_s^2}{2G}\right)^2 + \left(\frac{\Phi}{2\pi\sqrt{G}}\right)^2}, \quad \Sigma(x) = \frac{\lambda}{\pi} \frac{a}{x^2 + a^2}, \quad (1)$$

と表される。ここで  $x$  と  $a$  は分子雲中心からの距離とフィラメントの幅を表す任意定数である。分子雲全体の磁束が同じでも、中心での質量磁束比が高いほど、中心(面)密度は増大する(準静的収縮)。方程式(1)で表された平衡解はわずかに超臨界状態で分裂に対して不安定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109a 化学進化から探るフィラメントの運動と星団形成: OMC-2/3 領域

大橋聡史 (東京大学/NAOJ), 立松健一, Patricio Sanhueza, Quang Luong Nyuyen, 廣田朋也, 水野範和 (NAOJ), Minhho Choi (KASI), Jeong-Eun Lee (Kyung Hee 大)

OMC-2/3 領域はオリオン座 A 分子雲中にあり、フィラメント形状に沿って多くの原始星が付随する活発な星団形成領域である。現在我々はこの OMC-2/3 領域を含むオリオン座 A 分子雲コアの化学進化を調べており、これまでに CCS や HC<sub>3</sub>N は化学進化の若い段階を示す分子で、N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> や NH<sub>3</sub> は後期段階を示す分子であることが明らかになってきた (Ohashi et al. 2014, Tatematsu et al. 2014)。さらに H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup> は N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> よりも進化が進んだ段階で豊富になることも示唆されている (e.g., Sanhueza et al. 2012)。

また星形成においてフィラメントが重要な役割をされると考えられているが、フィラメントからどのように大質量な分子雲コアが形成されるのかはよくわかっていない。そこで我々は OMC-2/3 領域に対して、HC<sub>3</sub>N, H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup>, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> 分子輝線を用いてマッピング観測を行い、フィラメントに沿った化学進化の様子を調べた。

その結果、OMC-3 領域ではダストから求めた柱密度のピークとなる部分で N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> や H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup> が豊富に存在し、その周りで HC<sub>3</sub>N が豊富になっていることがわかった。さらにこれらの分子輝線の速度場を解析したところ、若い領域を示す HC<sub>3</sub>N 分子ではフィラメント全体に沿ってゆるやかな速度勾配が見られたが、後期段階を示す N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> や H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup> では見られなかった。野辺山 45m 望遠鏡のアーカイブから C<sup>18</sup>O 分子に対しても同様の解析を行ったが、速度勾配は見られなかった。これらの結果は原始星誕生後もフィラメントの重力によって周りのガスが大質量の高密度コアへ落ち込み続けていると考えられ、large-scale flow のコア形成モデルと一致する結果である (e.g., Clarck et al. 2012, Gómez et al. 2014)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P110b 大局磁場と分子雲コアの回転軸が非平行な場合における原始星ジェットとアウトフローの進化

橘田英之 (九州大学), 町田正博 (九州大学)

星形成過程において原始星近傍からアウトフロー ( $\sim 1 - 10 \text{ km s}^{-1}$ ), ジェット ( $> 10 - 100 \text{ km s}^{-1}$ ) と呼ばれるガスの流出現象が観測されており、それらは星形成過程において重要な役割を果たすと考えられている。例えば、これらのフローは分子雲コアのガスの大部分を星間空間に排出させるため、最終的に出来る星の質量の決定に影響を与える。またジェット・アウトフローは、角運動量を効率的に外側に輸送するため、ガスの収縮を促進する役割も果たす。しかし、これらのフローの駆動要因や進化についてはあまり理解されていない。

これまでの多くの研究では、星形成の母体である分子雲が持つ磁場の方向と回転軸の向きが平行であると仮定して、ジェットやアウトフローの駆動の計算が行われてきた。しかし、この理想化された状態は現実的ではなく、実際には、分子雲の磁場の向きと回転軸の方向は異なると考えられる。先行研究 (Matsumoto & Tomisaka 2004) によって、磁場が回転軸と異なる場合でも磁気制動が効くために、進化の途中で磁場と回転軸の向きが揃い、磁気遠心力風や磁気圧勾配の効果によりジェットやアウトフローは大局磁場の方向に出現することが示唆された。一方で、近年の観測はジェット・アウトフローの方向と大局磁場の方向には相関がないという結果を示している (Hull et al. 2013)。

そこで、この研究では多層格子法を用いて大局磁場と回転軸が異なる場合の星形成過程のシミュレーションを行った。その際、先行研究では考慮されていなかった高密度領域の計算も行い、高速度ジェットの駆動の計算も行った。計算の結果を用いて星形成過程で現れるジェット・アウトフローと大局磁場の向きの関係について調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111b **EAVNによる6.7 GHzメタノール・メーザーのVLBIサーベイ X**

杉山孝一郎 (茨城大), 藤沢健太, 蜂須賀一也, 元木業人, 平野大樹, 林京之介, 新沼浩太郎 (山口大), 米倉覚則, 百瀬宗武, 齋藤悠 (茨城大), 本間希樹, 廣田朋也, 澤田-佐藤聡子, 松本尚子 (国立天文台), 村田泰宏, 土居明広 (宇宙研), Shen, Zhiqiang (上海天文台), 小川英夫 (大阪府立大)

我々は、2010年から東アジア VLBI 観測網 (EAVN) を用いた 6.7 GHz メタノール・メーザーの VLBI モニター観測を実施・継続している。本モニター観測では、メタノール・メーザーの固有運動 (天球面上における運動) を計測することにより、1) メタノール・メーザー自身の大質量原始星周囲における発生場所の特定および分類分け、2) 大質量原始星周囲、特にガス・ダスト円盤の 3次元速度構造を明らかにすることを通じ、質量降着現象や、円盤風に起因した回転膨張などのガスのダイナミクスの系統的な解明、を目指している。円盤外縁 100-1000 au スケールにおける固有運動は、1年間で数ミリ秒角 (mas/yr) 程度と微小であることが予想されるため、ALMA ですら検出困難である。

これまでに、2010-2011年の VLBI サーベイ観測により、計 35 天体のメーザー空間分布を取得しており、楕円や円弧、直線、ペア、およびコンプレックスの 5 種類の形状への分類に成功してきた (Fujisawa et al. 2014)。その後、2013年9月までに約1年間隔で継続実施してきた本 VLBI モニター観測を通じて、全 35 天体に対する 3 回分の VLBI データの取得を完了した。本講演では、これまでに固有運動解析を完了した約半数の天体に対して、上記 5 種の空間形状と 3次元運動の傾向 (回転, 回転+膨張, 膨張, など) とを統計的に比較する。これを通じて、今回は特にメタノール・メーザー自身の発生場所の特定・分類分け (目的 1) 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](#)

P112b **Mopra mapping observations with multi-lines of dense cores in Lupus I and Lupus III**

清兼和紘 (東京大), 齋藤正雄 (NRO), 立原研悟, 望月沙也可 (名古屋大), 西合一矢, 秋山永治 (NAOJ), Tim van Kempen (Leiden Observatory), 樋口あや (茨城大), 黒野泰隆, 高橋智子, Javier Radón, Paulo Cortes, Tracey Hill, Lewis Knee (JAO), and SOLA members

We have conducted MOPRA multi-line mapping observations covered on 0.02 - 0.2 pc scale of dense cores in a nearby ( $\sim 140$  pc) filamentary cloud of Lupus I and Lupus III during 2013 Sep.-Oct and 2014 Sep.-Oct. Our aim of observations is to reveal the kinematic structure around dense cores. We have obtained the maps of  $C^{18}O(1-0)$  ( $n_{\text{crit}} \sim 2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $N_2H^+(1-0)$  ( $n_{\text{crit}} \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) and  $HC_3N(10-9)$  ( $n_{\text{crit}} \sim 6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ). Here, we report the two main results as follows. (1) The different dense gas tracers show different velocity fields in some dense cores. The direction of the velocity gradient of  $C^{18}O$  is different from that of  $N_2H^+$  or  $HC_3N$  by  $\Delta\theta \sim 90^\circ$ . The denser tracer of  $N_2H^+$  or  $HC_3N$  should show the kinematics of the dense core while the relatively diffuse tracer of  $C^{18}O$  would show the motion in large scale of filament. (2) The rotational axis, determined by the velocity gradient of the densest tracer in each core, shows randomly directed compared with the elongation of the filament. This trend is consistent with past dust continuum observation which shows that the elongations of a core are not correlated with the elongation of the filament. Therefore, it is suggested that the direction of angular momentum of a core are determined by local physical condition such as the direction of local magnetic field. Actually, some cores have rotational axis parallel to the direction of magnetic field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113a 銀河系最外縁領域における分子雲の物理的特徴

泉奈都子, 小林尚人, 安井千香子, 濱野哲史 (東京大学), 斎藤正雄 (国立天文台), 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 (銀河半径  $R_G \geq \sim 18$  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通った始原的な環境を持つことが知られている (Kobayashi et al. 2008)。ゆえに銀河の形成過程を分子雲のスケール (pc スケール) で直接観測することができる非常に貴重な領域であると言える。

我々はこの興味深い環境下における分子雲の物理的特性を調べるため、最外縁領域における分子雲の初の無バイアスサーベイによって発見された8つの分子雲 Digel Clouds (Digel et al. 1994) 全てに対して野辺山 45 m 電波望遠鏡による高感度・高解像度  $^{12}\text{CO}(1-0)$  マッピング観測を行った。このうち、最も明るい2つの分子雲 (Cloud 1, 2) に対しては一足先に CO 観測とすばる 8.2 m 望遠鏡による近赤外深撮像観測を同時に行っており、既に星生成領域を検出している (泉他 2011 秋季年会 R12b 等)。そして今回の CO 観測によって我々は計数百個に及ぶ clump を検出し、さらに WISE 衛星による中間赤外線データを併せて用いた結果、新たに 20 個以上の clump に星生成の兆候を見いだした。今回検出した clump は質量や速度幅などといった基本的な物理量において銀河系の内部とは異なる性質が見えており、分子雲・星形成の環境依存性が示唆されている可能性がある。

本年会では検出した clump について得られたその物理的特性を報告し、銀河系内部との違いの有無やその原因について議論する。さらにこのような特殊な環境下における分子雲の物理量の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](#)

P114a **HCL2 領域における OH 吸収線と構造形成の関係の研究**

海老澤勇治, 猪熊宏士, 坂井南美 (東京大学), 前澤裕之 (大阪府立大学), Karl Menten (MPIfR), 山本智 (東京大学)

OH 分子はその複雑なエネルギー準位構造に由来して、メーザー (1720 MHz) を起こすことで知られている。OH 分子が LTE 状態にない場合、この 1720 MHz 線は 1612 MHz 線と共役 (conjugate) と呼ばれる振る舞いを示す。即ち、1720 MHz 線の強度が LTE で予想されるよりも大きいとき、それに応じて 1612 MHz 線の強度が小さくなる。その結果、2012 年秋季年会で猪熊らが報告した例では、1612 MHz 線が宇宙背景放射によっ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 が存在する場所の温度を測定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 の北西方向において、1720 MHz 線が吸収線として検出された。1612 MHz 線は逆に強く検出された。同時に、1612 MHz の吸収線および 1720 MHz の輝線がより赤方偏移した速度に広い線幅で検出された。スペクトル線の重なりを考慮した統計平行計算を行った結果、OH 柱密度が大きく、速度勾配のない一様な雲を仮定することで、1720 MHz 吸収線を再現できることがわかった (2014 年秋季年会 Q47b)。

我々は、1720 MHz 吸収線の線幅が細いことに注目し、C<sup>18</sup>O の強度マップと比較を行った。その結果、吸収線と同じ速度成分 (5.4 km/s) に、C<sup>18</sup>O でも線幅の細いピークが見られた。同時に、赤方偏移成分にもピークが見られた。CO は、5.4 km/s 付近の成分が HCL2 領域北東部に速度の均一な直線構造を形成しており、そこから南西に向かって速度が大きくなる傾向にある。即ち、OH で観測された 2 成分はこの直線構造の内部 (1720 MHz 吸収線) と南西 (1612 MHz 吸収線) にそれぞれ対応し、衝撃波領域の前後の状態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](#)

P115a 低質量星形成領域 L1527 における  $c\text{-C}_3\text{D}$  の検出

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、炭素鎖分子が豊富な Class 0 原始星 L1527 に対して 1 mm から 3 mm までの 3 つの波長帯でラインサーベイ観測を行った。その中で、cyclic- $\text{C}_3\text{D}$  分子の輝線を複数検出することに成功した。星間分子雲における  $c\text{-C}_3\text{D}$  の輝線検出はこれまで報告例がなく、今回が初検出となる。

ラインサーベイ観測では、 $c\text{-C}_3\text{H}$  種についても計 36 本もの輝線を検出できた。そこで、 $c\text{-C}_3\text{D}$  の  $c\text{-C}_3\text{H}$  に対する存在量比を求めたところ、 $[\text{c-C}_3\text{D}]/[\text{c-C}_3\text{H}] = 0.051 \pm 0.012$  となった。これは、以前報告された同天体の様々な炭素鎖分子における D/H 比の結果 (2% から 7%) と矛盾しない (Sakai et al. 2009)。一方で、 $c\text{-C}_3\text{H}$  と関連する分子である  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  および  $c\text{-C}_3\text{HD}$  についても、 $E_{\text{u}} \sim 60$  K 程度の高励起線を含む輝線をそれぞれ 34、32 本検出できた。 $c\text{-C}_3\text{HD}$  の統計重率を考慮した存在量比は、 $[\text{c-C}_3\text{HD}]/2[\text{c-C}_3\text{H}_2] = 0.024 \pm 0.006$  となった。

これまで、 $c\text{-C}_3\text{H}$  および  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  はともに  $\text{C}_3\text{H}_3^+$  と電子の解離性再結合により生成されたと考えられてきた。したがって、2 つの分子の D/H 比を比較することは、その観測的検証となり得る。2 つの分子がともに  $\text{C}_3\text{H}_3^+$  から生成されるならば、 $[\text{c-C}_3\text{D}]/[\text{c-C}_3\text{H}]$  と  $[\text{c-C}_3\text{HD}]/2[\text{c-C}_3\text{H}_2]$  は同程度になることが期待される。しかし、 $c\text{-C}_3\text{H}$  種の D/H 比が  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  種に比べ大きい結果となった。この結果は、 $c\text{-C}_3\text{H}$  および  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  が異なる反応経路で生成している可能性を示唆する。また、今回の観測では上記の分子種に加えて  $c\text{-C}_3\text{D}_2$  の輝線も複数検出できたので、その結果についても合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116a **Detection of Complex Organic Molecules in Starless Core; TMC-1**

相馬 達也, 坂井 南美, 渡邊 祥正, 山本 智 (東京大学)

$\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  をはじめとした飽和有機分子は、星形成領域における特徴的な分子として知られている。それらの分子は、一般に、星が生まれる前の冷たい時代に星間塵上で  $\text{CO}$  の水素化によって生成され、星形成活動などに伴う温度上昇によって気相中に放出されると考えられている。しかし同時に、有機分子である  $\text{CH}_3\text{OH}$  は、蒸発温度よりも遥かに低温の星なしコアにおいても気相中に相当量存在していることが知られている。 $\text{CH}_3\text{OH}$  は気相反応では生成しないため、星間塵上から分子を脱離させる何らかの非熱的な機構が存在していることが以前より議論されてきた。

近年我々は、低温分子雲における飽和有機分子の生成メカニズムに対する理解を深めるため、TMC-1 Cyanopolyne Peak 周辺に対して  $\text{CH}_3\text{OH}$  の高速度分解能観測を行い、 $\text{CH}_3\text{OH}$  の分布が他の炭素鎖分子の分布とは異なることを見出した (2014 春年会)。その結果、 $\text{CH}_3\text{OH}$  はコア周辺の密度の低い領域に多く存在していることがわかった。これを踏まえ、私たちは新たに  $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  などのより大型の飽和有機分子の検出を目指して TMC-1 の高速度分解能・高感度観測を行った。観測ポジションは先の観測において  $\text{CH}_3\text{OH}$  が強く検出された位置とした。

観測の結果、TMC-1 において  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  を初検出した。また、 $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  についても暫定的に検出した。観測位置において  $\text{CH}_3\text{OH}$  のスペクトル形状はダブルピーク構造を示す。一方、検出した  $\text{CH}_3\text{OH}$  はシングルピークであり、そのピーク速度は  $\text{CH}_3\text{OH}$  の片方の成分と一致していた。この検出は、TMC-1 という若い進化段階にある星なしコアにおいて、すでに星間塵上でかなり大きな飽和有機分子が生成されていることを示唆する重要な結果といえる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P117a 分子雲における水素分子のオルソ・パラ比と水氷の重水素比

古家健次 (Leiden Observatory), 相川祐理 (神戸大学), Ugo Hincelin (University of Virginia), George Hassel (Siena College), Edwin Bergin (University of Michigan), Anton Vasyunin (MPE), Eric Herbst (University of Virginia)

低温度下で生成された分子は、重水素と水素の元素存在度比に比べて、高い重水素比を持つ (重水素体に富む) ことが理論や星形成領域の観測からよく分かっている。重水素の濃集の程度は温度に依存するため、重水素比は分子の生成環境を探るプローブとして広く用いられている。

水素分子にはオルソ水素とパラ水素の2種類の核スピン異性体が存在する。オルソ水素はパラ水素に対して高い内部エネルギー ( $\Delta E = 170.5$  K) を持つため、わずかな量のオルソ水素 (パラ水素に対して  $\gtrsim 10^{-3}$ ) が、低温 ( $\lesssim 20$  K) での重水素濃集過程を抑制しうる (e.g., Flower et al. 2006)。結果として、重水素比は物理環境のみならず、オルソ・パラ比 (OPR) にも強く依存する。OPR を観測から導出するのは容易ではなく、重水素比をプローブとして用いる際の不定性の要因となっている。一方、星形成領域における分子進化モデルでは、水素分子ガスから計算を始めることがほとんどであり、OPR の初期値はフリーパラメータとして扱われてきた。

本研究では1次元衝撃波モデル (Bergin et al. 2004) を用いて、HI ガスの掃き集めによる分子雲形成過程を模擬し、OPR の初期値を仮定することなく、OPR と水氷の重水素比の時間進化を調べた。その結果、水素分子ガス形成直後の OPR は  $< 0.1$  であり、ガス集積が進むにつれて、 $\sim 10^{-4}$  まで、徐々に値が小さくなることが分かった。また、分子雲で生成される水氷の重水素比は  $< 10^{-3}$  であることが分かった。これは、原始星近傍で観測された水の重水素比と整合的であり、星形成前に生成された水氷が原始星近傍で蒸発したとする解釈を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P118a ATCA による”face-on”大質量原始星候補天体の多周波観測– 7 mm 帯 –

元木業人(山口大学)、Andrew J. Walsh (Curtin University)、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)、本間希樹、廣田朋也(国立天文台)

青方偏移卓越メーザーと呼ばれる水メーザー源の一群は、視線方向に沿った大質量原始星ジェットに選択的に付随していると考えられている。そのような天体では真上から降着円盤を観測することで動径方向の質量輸送を探ることができる。これまでの観測から雛形的な青方偏移卓越メーザー源である G353.273+0.641(以下 G353) について、視線に沿った原始星ジェットや 100 AU スケールでのインフォール現象の兆候が発見されている(2014 年秋季年会 P133a)。将来 ALMA による降着円盤観測が可能な南天側の青方偏移卓越メーザーは現在 20 天体程度報告されているが、その母天体との関係を調査した例は無い。そこで我々は G353 型の”face-on”天体候補を探索するため、既知の青方偏移卓越メーザー源 9 天体に対して Australia Telescope Compact Array を用いた多周波観測を進めている。7 mm 帯における輝線観測の結果、SiO ( $J = 1-0$ ) 輝線および 44 GHz Class I メタノールメーザーがそれぞれ 7 天体で検出された。これらはいずれも若いアウトフローの指標であり、青方偏移卓越メーザーの多くが実際に質量放出期に付随していることが示唆される。また水メーザーと同観測によって得られた SiO/CS 輝線コアを比較したところ、放射位置が 5 秒角以下で一致しているものが 5 天体、10 秒角以上離れているもの 4 天体となった。前者は水メーザーがより中心星付近に付随していると考えられ、内 4 天体では G353 と同様の高速の SiO ジェットも検出された。以上のことから既知の青方偏移卓越メーザーのおよそ半数が G353 と同型の”face-on”天体に付随していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P119a **A compact outflow in a low-mass protostar with age of  $\lesssim 2500$  yrs**

Ray S. FURUYA (U. Tokushima), Yoshimi KITAMURA (JAXA), and Hiroko SHINNAGA (U. Kagoshima)

In order to shed light on the earliest stage of low-mass star formation processes, we conducted interferometric observations towards an exceptionally young low-mass protostar GF 9-2 with CARMA and SMA. Our observations were carried out in the dust continuum emission at  $\lambda = 3.3$  mm, 1.1 mm and 840  $\mu$ m and the  $^{12}\text{CO } J = 3 - 2$  line. The continuum imaging detected a single source with a deconvolved effective radius of  $250 \pm 30$  AU at the center of the cloud core. A total mass of  $M_{\text{tot}} = 0.06 \pm 0.02 M_{\odot}$  was derived through an analysis on spectral energy distribution of the the central source. Comparing a mean column density deduced over the radius and the previously derived radial density profile, we concluded that a profile of  $\rho(r) \propto r^{-2}$  holds in  $r \gtrsim 250$  AU. Namely an inner free-fall region,  $\rho(r) \propto r^{-3/2}$ , has not grown up to the  $\sim 250$  AU radius, yielding the protostar's age of  $\tau_{\text{protostar}} \lesssim 2 \times 10^3$  yrs. Furthermore the mass estimate in conjunction with the previously derived mass accretion rate ( $\dot{M}_{\text{acc}}$ ) gave us the duration of the accretion,  $\tau_{\text{acc}} \sim M_{\text{tot}}/\dot{M}_{\text{acc}} = (2.6 \pm 0.8) \times 10^3$  yrs. Spectroscopic imaging of the CO line revealed that the continuum source is driving a molecular outflow whose lobe lengths range between 1300 AU and 1600 AU. The outflow lobes are found to be one of the youngest (dynamical timescale;  $\tau_{\text{dyn}} \sim 360 - 1600$  yrs), the least massive ( $M_{\text{lobe}} \sim 10^{-5} - 10^{-4} M_{\odot}$ ), and the least powerful (momentum rate;  $F_{\text{CO}} \sim 10^{-7} - 10^{-5} M_{\odot} \text{ km s}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) ones known to date. All the results reinforce our assertion that the putative protostar would be at the *first core* phase.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## P120a ALMA Cycle1 による高密度分子雲コア MC27/L1521F の観測

徳田一起, 大西利和 (大阪府立大学), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台チリ観測所), 福井康雄 (名古屋大学), 松本倫明 (法政大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 町田正博 (九州大学), 富田賢吾 (プリンストン大学), 立原研悟 (名古屋大学)

原始星は分子雲コアが重力的に収縮することによって形成される。しかし、星形成の研究において、形成される星の質量分布や連星の形成機構など、本質的な課題が未解決である。これは、分子雲コア中で原始星が形成される直前と直後に対応する星形成の最初期状態がほとんど観測されていないことに対応している。我々は、ファーストコア形成段階に近い天体を含む分子雲コアである MC27/L1521F (e.g., Onishi et al. 1999) に対して ALMA Cycle0 による観測を行った。その結果、(1) 極めて密度の高い ( $\sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$ ) 星なし分子雲コア (MMS-2)、(2) 非常にコンパクトで若い ( $\sim 200$  年) アウトフロー、(3) アーク構造 ( $\sim 2000 \text{ AU}$ ) の存在等が明らかになった。これらは原始星や複数の分子雲コアが動的に相互作用し、連星形成を進行させるという描像を示唆するものである (Tokuda et al. 2014)。我々はさらに、コア全体の広がりから原始惑星系円盤のスケール (数  $1000 \sim$  数  $10 \text{ AU}$ ) の連続的な質量分布を明らかにするため、ACA を含めた ALMA Cycle1 (250 GHz, 350 GHz のダスト連続波等) による追観測を行った。250 GHz 帯の ACA 観測では原始星および星なし分子雲コア (MMS-2 等) 周辺に存在する、全体として  $\sim 10^{-2} M_{\odot}$  程度の質量を持つ  $1000 \text{ AU}$  以上の広がったダストの分布が明らかになった。また、星なし分子雲コアである MMS-2 の中心が 2 つのピークを持つ事が 350 GHz 帯ダスト連続波および  $\text{C}^{17}\text{O}$  (3-2) の分布 (合成ビームサイズ;  $\sim 0''.74 \times 0''.34 = 102 \text{ AU} \times 48 \text{ AU}$ ) より分かった。本講演では、Cycle0,1 の結果を踏まえて、MC27/L1521F で進行中の星/連星系形成過程について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P121a 分子雲コアの中心に存在するアーク構造の起源

松本 倫明 (法政大学), 徳田一起, 大西利和 (大阪府立大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

おうし座分子雲にある高密度分子雲コア MC27/L1527F は中心集中した柱密度分布を持ち、分子輝線プロフィールはガスが中心部へ落下することを示唆することから、星形成の初期進化段階にある分子雲コアと考えられてきた。最近の ALMA 望遠鏡による観測によると、分子雲コアの中心部に高密度ガス塊と、アーク構造が発見された (Tokuda et al. 2014)。高密度ガス塊は広さ  $(500 \text{ AU})^3$  程度の領域に少なくとも 3 個存在する。また、アーク構造は長さ 2000 AU 程度の伸びた構造を持ち、その一端は高密度ガス塊が付随する。

我々はこのような複数の高密度ガス塊と長く伸びたアーク構造は、分子雲コアの分裂によって形成されたと考え、これらを再現する数値シミュレーションを遂行した。数値シミュレーションでは、フィラメント状分子雲が分裂して分子雲コアを形成し、分子雲コアが重力収縮する過程で複数個に分裂する。分裂直後、分裂片は 4 個から 6 個存在するが合体して  $10^4$  年程度で 3 個程度になる。分裂片はカオス的な軌道運動を示し、重力トルクによって周囲のエンベロープを攪乱し、エンベロープに細長いアーク構造を形成する。アークの長さは 1000 AU 程度であり、観測と整合的である。また、アークの速度構造は  $0.5 \text{ km s}^{-1}$  程度の広がりを持ち、これも観測と整合的である。さらに本講演では、アーク構造の他の成因 (たとえば magnetic wall) についても議論する。

このシミュレーションでは、重力的に束縛された分裂片をシンク粒子 (原始星のモデル) に置き換えて計算をした。シンク粒子は星周円盤を持つ。シンク粒子は軌道運動の中で近接遭遇を繰り返し、星周円盤は接近するシンク粒子から潮汐力を受け、しばしば回転軸が傾いた円盤になる。このような回転軸が傾いた円盤は最近の ALMA 望遠鏡による観測で発見されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122b 原始惑星系円盤のイオン化率と  $N_2H^+$  リング

相川祐理 (神戸大学), 坂本也恵 (神戸大学), 古家健次 (Leiden Observatory), 野村英子 (東京工業大学)

ALMA により、TW Hya の円盤で  $N_2H^+$  がドーナツ状の分布をしていることが観測された (Qi et al. 2013)。  $N_2H^+$  は  $N_2H^+ + CO \rightarrow HCO^+ + N_2$  によって破壊されることから、  $N_2H^+$  の内半径は CO snow line であると推定されている。我々は、反応ネットワークモデルを用いて原始惑星系円盤内でのイオン分子存在度の数値解と解析解を求め、一酸化炭素や窒素分子の気相存在度が凍結と脱離の平衡で決まっているモデル、および CO が sink 効果によって他の分子に変換されているモデルにおいて、  $N_2H^+$  の柱密度が CO snow line をおよその内径とするリング状の分布を持つことを示した (Aikawa et al. submitted to ApJ, 秋季年会発表)。

本研究では、上記を発展させ、円盤内のイオン化率や円盤鉛直方向の乱流拡散による  $N_2H^+$  の柱密度の変化を調べた。その結果、宇宙線が磁場などの影響で円盤に入らない場合は  $N_2H^+$  の柱密度が大きく減少することが分かった。また、乱流拡散は CO sink による局所的な CO の減少をなまらせる効果があり、  $N_2H^+$  の分布にも影響を与える。講演では non-LTE 輻射輸送コード LIME (Brinch & Hogerheijde 2010) を用いて上記モデルからの CO および  $N_2H^+$  輝線強度分布も求め観測データとより定量的な比較も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P123b 原始惑星系円盤形成時の化学組成進化

米田晴玲 (神戸大学), 塚本裕介 (名古屋大学), 古家健次 (Leiden Observatory), 相川祐理 (神戸大学)

近年、低質量原始星コアでは大型有機分子や炭素鎖分子などが検出されている。一方、高空間分解能観測によって、これら原始星周囲での原始惑星系円盤の形成過程も観測されつつある。では、原始星コアのガスや氷は円盤に取り込まれる際、どのような組成変化を経るのであるのか。これは惑星系の材料物質である円盤の組成を解明するためにも、また円盤形成過程を輝線観測を用いて解き明かすためにも重要な課題である。

そこで本研究では、Tsukamoto et al.(2014) による3次元SPRHD(Smoothed Particle Radiation Hydrodynamics) 計算の結果を用い、ガスと氷の組成が星・円盤形成とともにどのように変化するか計算した。我々は星形成前の冷たい分子雲コアから原始星形成後の $10^5$ 年までを追ったSPRHD計算から、最終状態で円盤内に存在するSPH粒子2048個を抽出した。各SPH粒子の物理パラメタの時間進化に沿って気相およびダスト表面反応からなる反応速度式を解くことで、組成の空間分布と組成進化が得られる。反応速度式の計算では、diffusion-reaction competitionなど、詳細なダスト表面反応モデルを考慮している。その結果、形成された円盤内では分子組成は様ではなく、時間進化・空間分布から主な分子を以下のようなグループに分類できることがわかった。(1) 星形成前および原始星コア外縁部の低温領域でダスト表面反応によって主に生成され、円盤内で昇華するもの(2) 昇華後に気相反応で壊されるもの(3) 主に円盤内で生成されるもの(4) 円盤内の領域によって生成されたり破壊されたりすることによって特異な分布を持つものである。講演ではそれぞれの代表的な分子について分布や存在度を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124b **Tracing water processing from molecular clouds to embedded protostellar sources with deuteration**

古家健次 (Leiden Observatory), 相川祐理 (神戸大学)

低温度下で生成された分子は、重水素と水素の元素存在度比に比べて、高い重水素比を持つ (重水素体に富む) ことが理論や星形成領域の観測からよく分かっている。重水素の濃集の程度は温度に依存するため、重水素比は分子の生成環境を探るプローブとして広く用いられている。

最近の電波干渉計による観測から、原始星近傍の高温ガス ( $>100$  K) において、 $D_2O/HDO$  比が  $HDO/H_2O$  比に比べて一桁程度高いことが明らかとなった (Coutens et al. 2014)。原始星近傍で観測される水は、星形成前に生成された水氷が蒸発したものと解釈されている。一方、既存の水化学モデルでは、氷中の  $D_2O/HDO$  比と  $HDO/H_2O$  比はほぼ等しいと予測されてきた。これらのことから、Coutens et al. は、高温ガス中での気相反応により  $D_2O/HDO$  比と  $HDO/H_2O$  比が氷蒸発の後に変えられた、とする説を提案した。

本研究では、分子雲で生成された低い重水素比を持つ大量の水氷と、紫外線遮蔽された、より高密度なコアで生成された高い重水素比を持つ少量の水氷の混合で、上述の観測結果が自然に理解されることを示す。この場合、氷蒸発後の気相反応は必要でない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125c      **Formamide (NH<sub>2</sub>CHO) in star-forming regions: A crucial precursor of pre-biotic material**

Ali A. Jaber, B. Lefloch, C. Ceccarelli (IPAG - France); E. Mendoza (Observatório do Valongo, U. Rio de Janeiro - Brazil); R. Bachiller (IGN Madrid - Spain) and the ASAI team

One of the major questions regarding the origin of life on Earth is whether the original chemical mechanism that led from simple molecules to life was connected to metabolism or to genetics, both intimately linked in living beings. Formamide (NH<sub>2</sub>CHO) has recently been proposed as a pre-biotic precursor of both metabolic and genetic material, suggesting a common chemical origin for the two mechanisms. The present work sheds light on the formation of this key molecule in interstellar conditions.

While formamide has been observed in space, most of its detections correspond to high-mass star-forming regions. Motivated by this lack of investigation in the low-mass regime, we have searched for formamide in 10 solar-type star-forming regions. The present work is part of the IRAM Large Programme ASAI (Astrochemical Surveys At IRAM), which makes use of unbiased molecular spectral surveys at 1, 2, and 3 mm with the IRAM 30-m telescope (Spain). We detect multiple spectral lines of formamide in half of our targets. We analyse their abundances and, through comparison with those of isocyanic acid (HNCO), we conclude that these two molecules are chemically related. Our results suggest that NH<sub>2</sub>CHO forms most efficiently on the mantles of dust grains at cold temperatures, where it remains frozen until the temperature rises enough to sublimate the icy grain mantles. We propose hydrogenation of HNCO as a likely formation route leading to NH<sub>2</sub>CHO.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P126c 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状(5)

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月より始まった「あかりデータ処理・解析チーム」の活動は5年計画で、最初の3年間でデータ作成期間、後の2年がメンテナンス期間と位置づけられている。データ作成活動では、「あかり」の全天サーベイからのカタログ改訂版の作成、全天イメージマップの作成に加え、指向観測のデータを可能な限りすべて処理し、天文学的解析がすぐに行えるデータとしてアーカイブすることを目指している。

2014年秋季年会からの進展として、2014年12月に、遠赤外線全天イメージマップが一般に公開され、利用が始まっている。また、2015年3月には、液体ヘリウム冷却期に近・中間赤外線カメラ(IRC)が行った撮像観測について、処理済みデータが公開される。これらのデータに対する利用者説明会を、本年会中に実施する。

その他のデータに関しては、データ作成フェーズのほぼ中間地点にあたる2014年9月に、それまでの活動の進捗状況を確認し、今後のデータ作成・公開計画を確定する作業を行った。その結果は、既に tennet 等で告知されているが、本講演にて改めて説明する。

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](mailto: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](#)

P127a **ALMA を用いた原始星 L1527IRS outflow の力学構造の解明**

西合 一矢, 大橋 永芳, 富阪 幸治 (国立天文台), 小屋松 進, 麻生 有佑 (国立天文台/東京大学), 町田 正博 (九州大学), 高桑 繁久 (ASIAA), 富田 賢吾 (Princeton Univ.), 相川 祐理 (神戸大学)

我々は ALMA を用いて、原始星 L1527IRS の outflow の力学構造を解明したので報告する。原始星段階の星は質量降着により質量を増大させるだけでなく、活発な outflow により質量・角運動量を放出していることが知られている。outflow は分子雲コアの散逸に関わっている可能性も指摘されており、outflow 放出メカニズムや降着流との相互作用を知ることは星形成の解明において極めて重要である。我々の ALMA 観測 (PI:大橋) では、C18(2-1) の空間分布を元に L1527IRS への 2000AU スケールの質量降着エンベロープと 100AU スケールのケプラー円盤の構造を解明することができた (Ohashi+2014)。この C18O(2-1) 観測では、同時に降着円盤の上空に双極分子流を起源とするパラボナ状の構造も観測されており、我々はチャンネルマップを用いたモデルフィッティングにより、outflow の 3次元構造を解明した。結果は、L1527IRS の C18O outflow は、(1)P.A. 100deg を軸とするパラボナ形状に放出されている。(2)opening angle 160deg(at 500AU スケール) と非常に広角な形状をしている。(3) 2000AU スケールにわたり円盤からの距離  $z$  の 1.15 乗に比例する加速運動をしている。ことが分かった。これは、L1527IRS の outflow が disk wind のような浅い角度で放出され、質量降着エンベロープと激しく相互作用していることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128a **ASTE, Mopra を用いたマッピング観測による原始星周囲の環境の調査**

麻生 有佑 (東京大学), 大橋 永芳 (国立天文台), 清兼 和紘, 小屋松 進, 大橋 聡史 (東京大学), 高桑 繁久, Yen Hsi-Wei (台湾中央研究院), Jonathan Williams (ハワイ大学)

近年の観測によって古典的 T タウリ型星のみならず原始星周囲にもケプラー円盤が数多く同定されている。さらに ALMA や SMA などの最新の干渉計観測では、インフォールからケプラー回転への力学の遷移が検出された原始星も数例あり (e.g. L1527, L1489, TMC1A, L1551NE, L1551IRS5)、原始惑星系円盤の形成過程の解明が期待される。北半球の干渉計での観測のしやすさから、これらの大部分が北天の牡牛座分子雲に集中している一方で、分子雲コアの角運動量や密度分布などの原始星周囲の環境が最終的な円盤の大きさを決めるという理論的予想もあり、異なる星形成領域同士の比較が望まれる。そのような環境的要因を調べる目的で、パイプ星雲 (赤緯  $\sim -27^\circ$ , Pipe) とヘビ座分子雲 (赤緯  $\sim +1^\circ$ , Serpens) に対して ASTE と Mopra を用い、 $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1-0, 3-2$ ) と  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J = 1-0, 3-2$ ) を含む輝線で単一鏡マッピング観測を行ったので報告する。

$^{13}\text{CO}$  と  $\text{C}^{18}\text{O}$  の分布は概ね原始星の分布と相関しているが、放射のピークは原始星や前主系列星に重ならないものも見られた。とくにヘビ座メインクラスターの南東部では、それらの放射は原始星に囲まれるような分布を示している。この南東部は質量や大きさ ( $\sim 120''$ ) が同程度の北西部に比べて  $^{13}\text{CO}$  の輝度温度が 2 倍以上高く、高温であるとわかった。また南東部本体 ( $V_{\text{LSR}} \sim 8.0 \text{ km s}^{-1}$ ) より青方偏移 ( $V_{\text{LSR}} = 6.4 - 7.4 \text{ km s}^{-1}$ ) したコンパクト ( $\sim 40''$ ) な成分が南東部の放射のピーク位置に検出された。この青方偏移成分は  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$   $3-2/1-0$  比が  $\sim 1$  と高く、南東部本体よりも高温高密度であると示唆される。この青方偏移成分を説明する仕組みの一例として分子雲衝突または南東部へのガスの質量降着がある (Duart-Cabral et al. 2011)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P129a ALMA によるおうし座 Class 0 原始星 L1527 の観測

大屋瑤子, 坂井南美, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学)

原始星円盤は惑星系の母体と考えられ, その物理的・化学的性質を探ることは, 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, 低質量星形成過程において, 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。円盤形成のメカニズムを探るには, 円盤の母体であるエンベロープに加えて, 円盤形成段階に伴って生じるとされるアウトフローについても理解することが不可欠である。我々はこれらの構造の包括的理解のため, おうし座にある Class 0 天体 L1527 について, ALMA の初期運用 (Cycle 0) 観測を行った。

この天体では, 原始星付近の暖かい領域に炭素鎖分子が豊富に含まれていることが知られ, 本観測では Band 6 で CS, CCH,  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  などの分子が検出された。CS ( $J=5-4$ ) 輝線の高分解能観測 ( $< 1''$ ) の結果, 原始星から南北に伸びるエンベロープ成分と, バタフライ状に広がる弱いアウトフロー成分が確認された。

この天体のエンベロープは, ほとんど edge-on であることが知られている。回転しながら落ち込むガスの運動を考えると, その近日点 (遠心力半径の半分) とそこでの速度は, 中心星の質量とガスの比角運動量で決まる。このモデルと観測された速度場との比較から, この天体の向きは, 完全な edge-on からエンベロープの西側の面が手前に向くよう  $5^\circ$  程度傾けた状態であるとわかった。一方  $10^3$  AU スケールでバタフライ状に広がる成分は, アウトフローキャビティの壁の一部のみをトレースし, その速度場は典型的な放物面モデルで再現された。このモデルの傾きは, 大きさは従来報告されていた値と矛盾しないが, 向きは反対である。この天体のアウトフローは  $10^4$  AU スケールでは逆向きに  $5^\circ$  傾いているとされ,  $\sim 5 \times 10^3$  yr で  $10^\circ$  程度の歳差運動をしている可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P130a **Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 2**

Jungmi Kwon, Motohide Tamura (The University of Tokyo/NAOJ), James H. Hough (University of Hertfordshire), Nobuhiko Kusakabe (NAOJ), Tetsuya Nagata (Kyoto University), Yasushi Nakajima (Hitotsubashi University), Phil W. Lucas (University of Hertfordshire), Takahiro Nagayama (Kagoshima University), and Ryo Kandori (NAOJ)

Polarimetry is a crucial tool for studying the physical processes in the interstellar medium, including star-forming regions. Even though the polarimetry of young stellar objects and their circumstellar structures provides invaluable information about the distribution of matter and the configuration of magnetic fields in their environments, a few near-infrared circular polarization (CP) observations were reported so far. We have conducted a systematic near-infrared CP survey in star-forming regions, covering high-mass, intermediate-mass, and low-mass young stellar objects. All the observations were made using the SIRPOL imaging polarimeter on the Infrared Survey Facility 1.4 m telescope at the South African Astronomical Observatory. In this presentation, we mainly present the polarization properties of ten sub-regions in six star-forming regions. The polarization patterns, extents, and maximum degrees of circular and linear polarizations are used to determine the prevalence and origin of CP in the star-forming regions. The results that we found are consistent with dichroic extinction mechanisms generating the high degrees of CP in star forming regions. We also show our very recent observation results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131b 中間赤外線で大きな増光が見られた天体についての可視・近赤外追究観測

小野里宏樹, 板由房 (東北大学), 小野謙次 (東京大学), 深川美里 (大阪大学), 柳澤顕史, 泉浦秀行 (国立天文台), 中田好一, 松永典之 (東京大学)

晩期型星内部の熱パルス、原始星の周りの降着円盤の不安定性などが原因となる恒星の大規模構造の変化は数年から数百年という天文学的には非常に短期間に生じると考えられている。そのような恒星進化の決定的な場면을直接観測することはその物理的背景を明らかにするためにきわめて重要であるが、時間スケールが恒星の寿命と比較し非常に短いため、一部の例外を除きそのような天体は観測されていない。

そこで、IRAS、AKARI、WISE という中間赤外線で全天サーベイを行った人工衛星のカタログデータを用いてそのような非常にまれな天体を検出できないかを調べた。IRAS とその他の衛星の観測時期には 20 数年の間隔があり、この時間間隔は恒星の内部構造の急激な変化と再調整が外部への質量放出や増光として反映される最小の時間間隔に相当すると考えられる。そのため、これら 3 つのカタログを比較することにより、恒星自身や星周環境に重大な変化が起こったと考えられる中間赤外線で大きく変光した天体を発見できると考えた。天体の選出条件として IRAS から  $10 \mu\text{m}$  帯で 10 倍、 $20 \mu\text{m}$  帯で  $\sqrt{10}$  倍以上の増光を課した結果、全天で 11 天体が選出された。それらの中には FU Ori 型星、T Tauri 型星、Post-AGB 星が含まれていた。また、正体が不明な天体については岡山天体物理観測所/ISLE、西はりま天文台/MALLS、IRSF/SIRI US で観測を行った。その結果、2 天体が AGB 星であることを分光観測から新たに突き止め、また 1 天体についてミラ型変光星のような光度曲線を得た。本講演ではこれらの観測の結果を報告し、増光の原因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P132b おおかみ座分子雲 I における超低質量天体形成

大朝由美子、前原雄太、星久樹、佐藤太基 (埼玉大学)

近年の高感度・高空間分解能をもつ電波/遠赤外観測から、分子雲の多くが、その収縮過程においてフィラメント状の構造を示すことが明らかになった (e.g. Andre et al. 2013)。さらに、同じようなフィラメント状分子雲にも、星形成を起こすものと起こさないもの、いわゆる星なし分子雲があることがわかってきた。しかし、星なし分子雲は、T タウリ型星など前主系列星が見つからないものの、より軽い褐色矮星や惑星質量天体の有無についてはまだわかっていない。そこで我々は、フィラメント状分子雲を中心に、太陽近傍 ( $\leq 1\text{kpc}$ ) の多様な環境を持つ星形成領域において、超低質量天体の普遍性や初期質量関数、形成過程を探るべく、褐色矮星や惑星質量天体が十分検出可能な観測探査プロジェクトを進めている。

本研究では、太陽近傍 (距離  $\sim 150\text{pc}$ ) にあり、磁場に垂直な向きのフィラメント構造を持つおおかみ座分子雲 I の約 0.9 度四方について、UKIRT/WFCAM を用いて、深い近赤外測光探査観測を行った。JHK 3 バンドともに 19 等 (10 ) を超える限界等級が達成され、フィラメント分子雲の遠赤外ダスト分布とよく一致した近赤外暗黒星雲が見られた。  $A_v \sim 35$  等の未同定の埋もれた天体やアウトフローなどが検出された一方、Class 0 天体は検出されず、連星の可能性がある Class I 天体が見られた。赤外超過の有無から、褐色矮星や惑星質量天体と考えられる多数の超低光度 YSO 候補が同定された。検出天体のうち赤外超過を持つ YSO 候補は数%と少ないものの、その質量関数は質量が軽くなるほど増加する傾向がある事が示唆された。本講演では、これらの観測結果と、他の電波観測やスピッツァー宇宙望遠鏡による観測結果などと比較した議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P133b      へびつかい座分子雲における若い惑星質量天体の探査観測

大朝 由美子、星 久樹 (埼玉大学)、伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

惑星質量天体は、巨大惑星相当の質量を持つが、恒星の周りを回らず単独で存在する天体である。近年、様々な星形成領域で数多く発見されている (e.g. Oasa et al. 1999) が、その形成過程は解明されていない。惑星質量天体は環境によらず普遍的に誕生するのだろうか？この問を明らかにすべく、UKIRT/WFCAM を用いて、へびつかい座分子雲 (距離  $\sim 130$ pc) のうち、フィラメント形状をもつ L1709 領域と比較的高密度な L1689 領域を含む約  $0.9^\circ$  四方の測光観測を行った。

本研究では、深い測光観測 (Jバンド 10 の限界等級  $\sim 21.1$  等) を行ったため、多数の背景銀河の混入が予測される。そこで、3バンドで同定した 98890 天体のうち赤外超過が見られ、天体の形状が丸く FWHM が小さい天体 (2352 天体) を YSO 候補と同定した。その質量関数は限界等級まで折り返しが見られず、褐色矮星や惑星質量天体が多数形成されている可能性が示唆された。JHK 二色図の色分布と平均減光量、分子雲の空間分布などから本領域を L1709 領域、L1689 領域、分子雲の薄い領域の 3 グループに分けた。L1709 領域と L1689 領域の質量関数には褐色矮星質量と惑星質量を境に傾きに変化が見られた。さらに、グループによっても質量関数の傾きに違いが見られ、分子雲が薄い領域ほど傾きが急になる傾向が見られた。YSO 候補の空間分布から、低質量星や褐色矮星は分子雲の高密度領域に、惑星質量天体は一様に分布していることが考えられる。さらに、Spitzer/IRAC データと比較して IRAC バンドでの二色図や、SED を作成した。SED 解析の結果、YSO 候補の温度は  $2000 \sim 3000$ K であり、円盤の兆候が見られた。これらの YSO 候補は、フィラメント状分子雲に沿って分布している。

本講演では、へびつかい座分子雲における環境による超低質量天体の形成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](#)

## 【P2. 星・惑星形成（系外惑星）】

3月19日（木）午後（13:30-15:30）[G会場]

P201a	14:30	FU Ori アウトバーストと原始惑星系円盤の熱不安定について	廣瀬重信（独立行政法人海洋研究開発機構）
P202a	14:42	原始惑星系円盤の自己重力的分裂の条件	高橋実道（京都大学）
P203a	14:54	非定常電離度進化を考慮した MHD 計算による原始惑星系円盤の研究	藤井悠里（名古屋大学）
P204a	15:06	原始惑星系円盤における電子の電場加熱に対する磁場の影響	奥住 聡（東京工業大学）
P205a	15:18	原始惑星系円盤における高空隙率ダストの散乱係数	田崎 亮（京都大学）
P206c		ダストの衝突破壊を考慮した円盤の重力不安定の可能性	長谷川幸彦（国立天文台）

3月20日（金）午前（09:30-11:30）[G会場]

P207a	09:30	原始惑星系円盤の観測予想	村川幸史（大阪産業大学）
P208a	09:42	原始惑星系円盤のミリ波偏光観測予測とダストサイズへの制限	片岡章雅（東京工業大学）
P209a	09:54	原始惑星系円盤の化学反応と H <sub>2</sub> O スノーラインの検出に向けて II. ダスト表面反応とダストサイズ成長の影響	野津翔太（京都大学）
P210a	10:06	氷微惑星衝撃波加熱の ALMA による観測的検証法	野村英子（東京工業大学）
P211a	10:18	原始惑星系ガス円盤の消散過程と惑星形成 (1)	戎崎俊一（理化学研究所）
P212a	10:30	惑星の大領域集積計算：惑星の外側への移動	小南淳子（東京工業大学）
P213a	10:42	微惑星集積による原始惑星の自転	柴田 雄（東京大学/国立天文台）
P214a	10:54	巨大衝突による近接地球型惑星の形成	小久保英一郎（国立天文台）
P215b	11:06	原始惑星系ガス円盤の消散過程と惑星形成 (2):定常降着円盤における静穏領域と固体微粒子移動	今枝佑輔（理化学研究所）
P216b	11:06	巨大惑星周りのギャップ構造：密度波の減衰過程との関係	金川和弘（北海道大学）
P217b	11:06	惑星数に対する惑星系構造の依存性	磯江麻里（東京大学/国立天文台）
P218b	11:18	Direct Imaging of the Transitional Disk around DM Tau	Yi Yang (Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI))
P219b	11:18	惑星中層大気における高エネルギー粒子の降り込みモデルの開発	森前和宣（大阪府立大学）

（次頁に続く）

## 【P2. 星・惑星形成（系外惑星）】

3月20日（金）午後（13:30-15:30）[G会場]

P220a	13:30	「あかり」とIRSFによる探査で見つけたデブリ円盤の性質	石原大助（名古屋大学）
P221a	13:42	デブリ円盤の厚みの進化	蔡承亨（兵庫県立大学）
P222c		Herbig Ae型星HD169142の10 $\mu$ m帯像で見られる円盤の微細構造	片坐宏一（宇宙航空研究開発機構）
P223a	13:54	すばる望遠鏡戦略枠観測「SEEDS」による原始惑星系円盤および系外惑星探査V	工藤智幸（国立天文台）
P224a	14:06	うみへび座TW星に付随する遷移円盤の近赤外線偏光観測：新たなギャップ構造の発見	秋山永治（国立天文台）
P225a	14:18	Recovery of the Candidate Protoplanet HD 100546 b and Detection of Additional Disk Structures	武藤恭之（工学院大学）
P226a	14:30	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	鶴山太智（東京大学）
P227a	14:42	高離心率・大質量惑星の外側に存在する伴星の直接撮像検出	葛原昌幸（東京工業大学）
P228a	14:54	MOA-IIによる系外惑星探査：2014年の結果	越本直季（大阪大学）
P229a	15:06	重力マイクロレンズ法によるM型星まわりの土星質量惑星の発見	福井暁彦（国立天文台）
P230a	15:18	アストロメトリ法における「惑星検出」とは何か？	山口正輝（国立天文台）

3月21日（土）午前（09:30-11:30）[G会場]

P231a	09:30	すばるIRDによるM型矮星周りの地球型惑星探索II：ターゲット選定	大宮正士（国立天文台）
P232a	09:42	岡山188cm望遠鏡の新多色撮像カメラMuSCATのサイエンスI：新しいトランジット惑星の発見確認と可視透過分光	成田憲保（国立天文台）
P233a	09:54	岡山188cm望遠鏡の新多色撮像カメラMuSCATのサイエンスII：若い星の扁平率と惑星系の自転-軌道傾斜角の三次元測定	鬼塚昌宏（国立天文台）
P234a	10:06	皆既月食を利用した地球大気透過光の高分散分光観測II	川内紀代恵（東京工業大学）
P235a	10:18	惑星による位相光度変化とKOI-977系の解析	平野照幸（東京工業大学）
P236a	10:30	トランジット惑星候補を有する巨星の視線速度精密測定：Kepler-91とKOI-1894	佐藤文衛（東京工業大学）
P237a	10:42	重力減光を用いたホットジュピターのスピン軌道角測定と軌道の長期進化	増田賢人（東京大学）
P238a	10:54	弱電離惑星大気中における磁気流体波動による質量放出および大気構造	田中佑希（名古屋大学）

P201a **FU Ori アウトバーストと原始惑星系円盤の熱不安定について**

廣瀬重信 (独立行政法人海洋研究開発機構)

一部の原始惑星系円盤で観測される、いわゆる FU Ori アウトバーストの原因は、円盤内端近傍の熱不安定に起因するというモデルが提案されている (例えば、Kawazoe & Mineshige 1993, Bell & Lin 1994)。このモデルは、矮新星アウトバーストの円盤不安定モデルを、FU Ori アウトバーストに適用したものである。本研究では、このモデルを検証するために、原始惑星系円盤の内端近傍における熱平衡解を、輻射磁気流体力学計算を用いて第一原理から求めた。この計算では、加熱は磁気回転不安定性が駆動する磁気乱流の散逸のみを考え、冷却は輻射と対流の双方を考慮している。そうして得られた熱平衡曲線は、水素電離温度近傍で双安定性を示すことから、矮新星アウトバーストと同様のリミットサイクルが期待される。しかし、高温解ブランチの  $\alpha_{\text{hot}} \sim 0.1$  と、低温解ブランチの  $\alpha_{\text{cool}} \sim 0.03$  は、FU Ori アウトバーストの規模および継続時間を説明するために円盤不安定モデルが要求する  $\alpha$  値 ( $\alpha_{\text{hot}} \sim 10^{-3}$ 、 $\alpha_{\text{cool}} \sim 10^{-4}$ ) とは大きく異なる。したがって、水素電離に伴う熱不安定だけで、FU Ori アウトバーストを説明することは難しいと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P202a 原始惑星系円盤の自己重力的分裂の条件

高橋実道 (京都大学), 塚本裕介 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤の自己重力による分裂は、観測されている遠方ガス惑星や褐色矮星、連星系の形成過程を説明する可能性があり、星と惑星の形成と進化を考える上で非常に重要である。そのため、円盤の分裂過程についてこれまで多くの研究がなされてきた。円盤が重力的に不安定な場合は、円盤に渦状腕が形成され、この渦状腕が分裂すると考えられる。これまでは円盤の分裂条件として、Gammie(2001)で提唱された冷却率に対する条件が広く用いられてきたが、この条件を満たしていないにも関わらず円盤が分裂する数値計算結果が多く存在し、この条件では不十分であることがわかっている。

そこで本研究では、原始惑星系円盤の大局的な数値計算を行い、分裂する条件と渦状腕の構造の関係を調べた。その結果、渦状腕内部の  $Q$  値と分裂条件に対応があることを発見した。この結果は渦状腕をフィラメントとして扱った場合の線形解析から得られる分裂条件として解釈可能となり、渦状腕の内部で最大成長波長程度の幅で  $Q \lesssim 0.6$  を満たすことが円盤分裂の条件であることがわかった。また、中心星輻射による円盤の加熱などの、分裂に対する影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P203a 非定常電離度進化を考慮した MHD 計算による原始惑星系円盤の研究

藤井悠里 (名古屋大学)、奥住聡 (東京工業大学)、鈴木建、犬塚修一郎 (名古屋大学)

太陽のような恒星が生まれる際には、星の周りにガス円盤が形成される。その中で惑星が形成されることから、このガス円盤は原始惑星系円盤と呼ばれている。観測から、原始惑星系円盤のガスは中心にある星に向かって落下していることが分かっている。回転しているガスが落下するには角運動量を失う必要があるが、そのメカニズムとして、現在最も有力なのが磁気流体力学的な乱流である。原始惑星系円盤の乱流状態は惑星のもとになる微惑星の形成に大きな影響を与える。円盤が乱流状態になるには、ガスが十分に電離している必要があるが、低温かつ高密度の原始惑星系円盤では、デッドゾーンと呼ばれる電離度が十分でない領域が存在することが知られている。デッドゾーンをもつ半径では、円盤のダイナミクスに影響するためガスの電離度も同時に解くべきである。多くの磁気流体力学シミュレーションでは、計算コストの削減のため電離度の値には平衡解が用いられるが、密度が少ない場合や小さなダストが少ない場合などには化学反応のタイムスケールが流体の進化のタイムスケールよりも長くなる場合がある。このような場合の電離度進化の非定常性の寄与を調べるため、本研究では、Athena 磁気流体力学コードに非定常電離度計算コードを組み込んだ。そして、円盤ガスの多くが散逸し、さらに固体微粒子が大きな粒子に成長してしまった後のステージを想定して3次元シミュレーションを行った。そして、円盤上空では電離度が同じ密度分布を与えた場合の平衡解よりも小さいという結果が得られた。これは、磁気流体力学的な乱流によって生じる円盤風と呼ばれる円盤内部から表面へのガスの流れによって、円盤内部のより電離度が低いガスが円盤表面に運ばれるからだと考えられる。この効果は、電離度進化のみならず、より複雑な化学進化を議論する上でも重要となりえるため、今後さらに詳しく研究していく必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P204a 原始惑星系円盤における電子の電場加熱に対する磁場の影響

奥住聡, 森昇志 (東京工業大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

ガスと磁場の相互作用は原始惑星系円盤の進化に対して重要な影響をもたらすと考えられている。具体的に円盤のどの領域において磁気流体力学が重要になるかを明らかにするためには、円盤の電離状態を理解することが重要である。我々は近年、磁気乱流中の電場がガス中の電子を加熱する効果に注目し、この効果が強くはたらくような状況では電子存在量が電場強度の増大とともに低下することを発見した (Okuzumi & Inutsuka, 2015)。磁気回転不安定駆動の乱流中での電離度の低下は、中心星から約 70 AU 以内の広い領域で起こり得ると推定される (森 & 奥住, 天文学会 2014 年秋季年会)。このような領域では、磁気乱流の強度は従来の理解よりも大幅に低い可能性がある。

本講演では、磁場の影響まで考慮した電子の電場加熱について議論する。これまでの我々の計算では、電子にかかるガス抵抗に比べて磁場から受けるローレンツ力は十分に小さいと仮定し、電子の運動に対して磁場の影響を無視していたが、このような仮定は円盤の外側領域では正確でない。つまり、オーム抵抗だけでなくホール効果や両極性拡散を考慮する必要がある。我々は、電子の速度分布関数に対するモーメント方程式を応用して、一般化されたオームの法則に対して電子の電場加熱 (電子存在度の低下) の効果を矛盾なく組み込むことに成功した。モデル計算の結果、電場加熱によってオーム抵抗係数、ホール効果係数、両極性拡散係数の大小が大きく入れ替わることがわかり、乱流中の電場が強ければ円盤の外側領域でもオーム抵抗が最大の影響をもたらすようにな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](#)

P205a 原始惑星系円盤における高空隙率ダストの散乱係数

田崎亮 (京都大学/東京工業大学)、奥住聡、片岡章雅、野村英子 (東京工業大学)、田中秀和 (北海道大学)

近年、原始惑星系円盤のダストは高空隙であるということが示唆されているため、高空隙率ダスト (アグリゲイト) の光学特性を知ることは円盤観測において重要であると考えられる。Kataoka et al. (2014) では有効媒質近似を用いてアグリゲイトの光学特性の性質を明らかにした。しかし、日本天文学会 2014 年秋季年会 (P206a) において報告したように、有効媒質近似を用いて計算された散乱係数は、近赤外線・中間赤外といった比較的波長の短い領域において、T-Matrix 法による厳密な数値計算に比べ 2 - 3 倍の誤差を含んでしまうことがわかっている。そこで、短波長領域における散乱係数をより正確に、かつ計算コストのかかる厳密計算を行うことなしに評価可能な手法の構築が課題であった。

そこで我々は、T-Matrix 法と呼ばれる厳密な数値計算手法と、比較的計算の容易な Rayleigh-Gans-Debye (RGD) 理論を用いてアグリゲイトの散乱係数を計算した。RGD 理論は光学的に薄いダストに対して良い近似となる理論で、最大の利点の一つに非球対称な粒子についても適応可能であるという点がある。その結果、有効媒質近似では正しく計算できない短波長領域における散乱係数も、RGD 理論を用いることで厳密な数値計算結果を再現可能であることを示した。また講演においては、アグリゲイトの散乱係数は以下のように解釈できることも示す。長波長極限における散乱係数は、アグリゲイトと体積の等しい単一球に対する散乱係数と等価となる。また短波長極限では、アグリゲイトの射影断面積に対応した散乱係数と等しくなる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P206c      **ダストの衝突破壊を考慮した円盤の重力不安定の可能性**

長谷川幸彦（国立天文台）

惑星形成論におけるダストから微惑星までの成長過程には、主に「単純な衝突合体による成長」と「重力による集積合体による成長」の二つの方法がある。原始惑星系円盤の中心から遠い領域にある氷ダストは単純な衝突合体によって微惑星にまで成長できる可能性があることが示されている。一方、円盤の中心に近い領域にある岩石ダストは氷ダストと比べて脆くて衝突時の破壊の影響が大きいため、単純な衝突合体ではなく重力による集積合体でなければ微惑星まで成長することができないと考えられている。ダストの重力による集積合体の一つに「高密度なダスト層の重力不安定（GI）」という方法があるが、このGIが起こるためにはダストが円盤の赤道面付近にまで沈殿する必要がある。しかし、ダストが沈殿するとケルビン・ヘルムホルツ不安定（KHI）が起こり、乱流が発生してダストが巻き上げられてしまい高密度なダスト層が形成されないことが指摘されている。

我々はこれまでに、ダストが沈殿する際にKHIが発生する可能性について、過去の研究では無視されていた「ダストの成長」の効果を考慮して計算を行った。その結果、GIが起こる前にKHIは必ず起こる可能性があることが示唆された。しかしながら、この計算では本来岩石ダストで考慮すべき衝突時の破壊の効果は考慮されていなかった。本講演では、このダストの衝突破壊およびダストの内部構造の進化を考慮した場合においてダストが沈殿する際にKHIが発生する可能性について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P207a 原始惑星系円盤の観測予想

村川幸史 (大阪産業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 片岡章雅 (東京工業大学), 田中秀和 (北海道大学), 小林浩 (名古屋大学)

The dust growth and settling is the first step in planet formation. In this phase, the dust, which initially has the interstellar population, grows in size or mass by collisional coalescence and evolves to planetesimals in protoplanetary disks. However, some problems such as radial drift and fragmentation of dust particles have been pointed out, which prevent the formation of planetesimals. These are critical issues in the dust growth and settling theory. Okuzumi et al. 2012 performed numerical simulations of fluffy aggregation of the dust existing outside the snow line in the minimum mass solar nebula. They found that high porous aggregation in the disks cause a rapid collisional growth, which overcomes the radial drift. It should be interesting and important to reproduce the observational results to justify and improve the proposed theoretical models. In order for this, we have performed radiative transfer calculations of their fluffy aggregation models. In our presentation, the results of the spectral energy distribution and the images in the infrared and millimetre waves are presented. We also discuss how the region where planetesimals form can be detected in the model images and SEDs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 原始惑星系円盤のミリ波偏光観測予測とダストサイズへの制限

片岡章雅(東京工業大学), 武藤恭之(工学院大学), 塚越崇, 百瀬宗武(茨城大学), 深川美里, 芝井広(大阪大学), 花輪知幸(千葉大学)

星形成領域からのミリ波のダスト熱放射は偏光している。また近年の干渉計観測により一部の原始惑星系円盤でもミリ波放射が偏光していることが確認された (Stephens et al. 2014)。これらの偏光は、熱放射するダストが磁場によって同方向に整列しているためだと考えられてきた。それに対し本講演では、原始惑星系円盤のミリ波偏光の新たなメカニズムとして成長したダストによる散乱を提案する。

我々は、近年見つけてきたダスト熱放射の分布の非対称な円盤 (e.g., HD142527; Fukagawa et al. 2013) を想定した輻射輸送計算を行い、期待される偏光度と検出可能性を検討した。その結果、ダストサイズが  $100\mu\text{m}$  以上の時、円盤のミリ波放射が偏光することを示した。このような偏光は、ダストが成長したことによりミリ波帯におけるダストの散乱断面積が吸収断面積を上回っていることと、ダストの熱放射分布の変化が急激であることに起因する。また、ダストサイズが  $100\mu\text{m}$  の場合、偏光率は最大 2.5%程度と期待される。これは ALMA Band 7 の偏光観測によって検出可能な値である。本メカニズムによる偏光は、偏光率や偏光の方向がダストのサイズによって異なるため、円盤の偏光観測からダストサイズに制限が付けられ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](#)

P209a 原始惑星系円盤の化学反応と H<sub>2</sub>O スノーラインの検出に向けて II. ダスト表面反応とダストサイズ成長の影響

野津翔太, 石本大貴 (京都大学), 野村英子 (東京工業大学)

太陽質量程度の前主系列星周りの原始惑星系円盤の場合、H<sub>2</sub>O スノーラインは中心星から数 AU 程度に存在する。しかし空間分解能が足りず、撮像観測による系外惑星系での H<sub>2</sub>O スノーラインの検出は困難であった。一方今後波長分解能の高い分光観測が可能になれば、H<sub>2</sub>O 輝線の速度プロファイルを解析する事で、円盤の温度分布のモデルに依存せず H<sub>2</sub>O スノーラインを同定できると考えられる。

我々はこれまで、原始惑星系円盤中の H<sub>2</sub>O の存在量とその分布を化学反応計算により調べた上で、その結果を用いて近赤外線からサブミリ波までの複数の H<sub>2</sub>O 輝線のプロファイルの計算を行い、このような観測による H<sub>2</sub>O スノーライン決定の可能性を調べてきた。その結果放射係数が小さく励起エネルギーが高い複数の輝線のプロファイルを分光観測で調べる事で、H<sub>2</sub>O スノーラインを同定できる事を報告した (2014 年秋季年会 P207a 参照)。

本研究では、新たに化学反応計算においてダスト表面反応を導入した場合と、ダストサイズを成長させた場合について H<sub>2</sub>O の存在量とその分布を調べ、その計算結果を元に H<sub>2</sub>O 輝線のプロファイルを計算した。まずダスト表面反応を導入した場合は、スノーライン内側の円盤赤道面付近では H<sub>2</sub>O ガス存在量が増加する一方、円盤上層部の高温領域では減少した。その結果輝線の放射強度が 1.5~5 倍程度増加し、かつその増加幅は波長が短い輝線ほど高い事も分かった。また円盤上層部の高温領域からの寄与が小さくなった事で、放射係数がより大きな輝線も H<sub>2</sub>O スノーラインの決定に使える可能性が示された。一方ダストサイズを成長させた場合は、円盤上層部の高温領域での H<sub>2</sub>O ガス存在量が増加する事が分かった。講演では将来の分光観測との関係についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210a 氷微惑星衝撃波加熱の ALMA による観測的検証法

野村英子 (東工大), 石本大貴 (京大/東工大), 長沢真樹子 (東工大), 田中今日子 (北大), 三浦均 (名市大), 中本泰史 (東工大), 田中秀和 (北大), 山本哲生 (神戸大)

ALMA による原始惑星系円盤からの様々な分子輝線の高感度・高空間分解能観測と、それらの分子の化学的性質を利用することにより、円盤内の物理過程に制限を与えることが可能になると期待される。本研究では分子輝線の観測により、円盤内での氷微惑星の衝撃波加熱を検証する方法を提案する。

原始惑星形成後、周囲の氷微惑星は重力相互作用により軌道進化し、円盤ガス中に衝撃波をおこす。この衝撃波により氷微惑星は加熱され、蒸発すると考えられ、氷微惑星の蒸発率や軌道進化に関する研究が行われてきた (Tanaka et al. 2013, Nagasawa et al. 2014)。本研究では、氷微惑星中の分子の気相への蒸発を初期条件とした、非平衡・時間発展の気相化学反応計算を行い、氷微惑星の蒸発により気相に放出された分子およびその娘分子を ALMA で観測することにより、氷微惑星の衝撃波加熱を検証する可能性について調べた。氷微惑星中の分子としてここでは、円盤ガス中の存在量が比較的低くかつダストへの凍結温度はあまり高くない、硫黄を含む分子に着目した。硫黄を含むダスト表面分子として  $\text{H}_2\text{S}$  があるが、計算の結果、蒸発した  $\text{H}_2\text{S}$  は気相反応により壊され硫黄原子になった後、酸素分子あるいは  $\text{OH}$  と反応して  $\text{SO}$  および  $\text{SO}_2$  を生成した。この時間尺度は 1 万年程度であり、平衡温度が  $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}$  の蒸発温度よりも高い領域で氷微惑星の衝撃波加熱が起きた場合、 $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}$  の輝線は氷微惑星蒸発のよいトレーサーとなることが示された。一方  $\text{SO}_2$  は  $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}$  に比べてダスト凍結温度が高い。よって  $\text{SO}_2$  の凍結温度よりも低温領域では、 $\text{SO}_2$  はダスト密度に応じた時間尺度でダスト表面に凍結するため、その輝線強度はダスト密度のトレーサーになる可能性が示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P211a 原始惑星系ガス円盤の消散過程と惑星形成 (1)

戎崎俊一, 今枝佑輔 (理研)

2014年度から科研費新学術研究、「冥王代生命学の創生」が開始された。A05 生命惑星班は、生命惑星「地球」が存在しえる惑星系形成論を構築することを目的とする。手始めに、これまであまり詳細に議論されてこなかったガス円盤の消散過程を調べることにした。ガス円盤がいつどこからどのような機構で消散するかは、その後の固体成分の重力多体進化への初期条件を与えるので、惑星形成にとって最も重要な不確定要素だからである。中心星からの重力と熱放射のほかに、非熱的な電離放射線（X線、紫外線、恒星宇宙線）および自己発熱による熱電離を考慮して、ガス円盤の電離状態を決め、Magneto-Rotational Instability (MRI) の起動・不起動条件を調べた。すると、1AU-10AUあたりに、電離が小さすぎてMRIが起動しない静穏領域が、その内側（主に熱電離による）と外側（主に宇宙線による）の両方に、MRIによる乱流領域が現れることが分かった。静穏領域の柱密度は乱流領域に比べて1ケタ程度高くなると期待される。この静穏領域の両端（ $\sim 1\text{AU}$ と $\sim 10\text{AU}$ ）には、固体微粒子、微惑星などの固体成分がガス円盤との相互作用によって集積し、惑星形成が進むことが期待される。降着率が $10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 程度にまで下がると、ガス円盤の中心星に近い部分から、電離紫外線による電離蒸発が進み消散することも分かった。本講演では、生命惑星班の研究戦略と、2014年度の成果の概略について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P212a 惑星の大領域集積計算：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(理化学研究所), 藤本正樹(JAXA)

本研究ではアイスラインも含めた広い領域(0.7 - 4.0 AU)の微惑星集積の  $N$  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いた。本研究では並列化  $N$  体計算コードを開発し、広い領域の計算を可能にし、微惑星どうしの自己重力を含めたより現実的な場合でも、微惑星の重力による惑星の外側への移動を再現した。計算機はスーパーコンピューター「京」を使い、粒子数8万体を10万年計算した。使用したノード数は主に1024ノードで計算時間は1週間ほどかかった。

微惑星円盤はアイスラインの外側で面密度が大きくなる。そのため、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起こる可能性があり、その成長したもの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てしまったと仮定して、計算を行った。その結果、暴走成長した原始惑星は円盤内を動径方向に移動することを確認した。外側に移動した原始惑星はガス惑星の種となる可能性もある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P213a 微惑星集積による原始惑星の自転

柴田 雄 (東京大学/国立天文台), 小久保英一郎 (東京大学/国立天文台)

太陽系形成の標準シナリオでは、固体惑星は微惑星とよばれる小天体の集積によって形成される。大きな微惑星ほど強い重力で周りの微惑星を捕獲し、暴走的に成長していく。暴走的に成長する微惑星を原始惑星といい、複数の同質量程度の原始惑星が一定の軌道間隔を保って成長する段階を寡占的成長とよぶ。本研究では、これらの成長過程における、微惑星の軌道進化と集積を、重力多体計算を用いて計算し、原始惑星に集積する自転角運動量を計算することで、自転角速度や自転軸傾斜角 (以下、自転特性) を調べている。初期条件として、太陽周りに半径 1AU のリング状に質量  $10^{23}g$  の微惑星を 9000 粒子分布させた。円盤の面密度は林モデルの 1.5 倍とし、リングの幅は、リング粒子の総質量が原始惑星の孤立質量程度になるようにした。初めに、円盤ガスなしの計算を行った。結果、原始惑星の自転軸傾斜角は等方的に分布し、自転角速度については、質量の増加と共に小さくなる依存性がみられた。多くの計算で  $10^{26}g$  まで成長した原始惑星の自転角速度は、同サイズの火星の自転に比べて 1.5 倍程度速くなった。自転角速度の質量依存性は、多数の小質量の微惑星が原始惑星に等方的に集積することで、集積する角運動量が打ち消されるために生じる。この依存性は微惑星の初期質量を大きくすると弱くなる。これは、初期の微惑星の質量を大きくし、数が少なくなることで、集積による角運動量の打消しが効かなくなるためである。また、微惑星固体密度 ( $\rho$ ) と自転角速度 ( $\omega$ ) の間には  $\omega \propto \rho^{1/2}$  の関係がある。現在は円盤ガスを考慮した計算を行っている。これにより、微惑星系の速度分散が抑えられ、集積する角運動量が小さくなることで、自転角速度が小さくなる傾向が得られた。本講演では以上に加え、原始惑星軌道周辺に生じる微惑星円盤のギャップが、原始惑星の自転の向きに影響を及ぼす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](#)

## P214a 巨大衝突による近接地球型惑星の形成

小久保英一郎 (国立天文台)、Ramon Brassier、井田茂 (東京工業大学)

Kepler 望遠鏡など近年の惑星探査技術の進歩によって、多数の地球型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) 地球型惑星とよぶ。これまでの観測から、近接地球型惑星は過半数の恒星に金属量に依存せず存在し、70%以上が複数惑星系に存在することがわかってきた。軌道長半径分布はほぼランダムで、低次の平均運動共鳴近くにあるものが少しだけ多い。軌道離心率と軌道傾斜角はガス惑星に比較して小さい傾向がある。隣接する惑星どうしの典型的な軌道間隔は 15-30 ヒル半径と、太陽系の地球型惑星 (約 40 ヒル半径) と比較して狭い。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。本研究では、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る。太陽系での地球型惑星形成と比較して、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。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、集積は局所的に進行することになる。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。シミュレーションの結果、同程度の質量の惑星が形成されやすく、軌道離心率、軌道傾斜角、軌道間隔も太陽系地球型惑星形成と比較して小さく抑えられることが示された。本発表では、恒星近傍での巨大衝突によってどのような近接地球型惑星系が形成されるかを定量的に示し、近接地球型惑星の観測と比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P215b 原始惑星系ガス円盤の消散過程と惑星形成 (2):定常降着円盤における静穏領域と固体微粒子移動

今枝佑輔, 戎崎俊一 (理研)

原始惑星系円盤の構造進化は一次元粘性降着円盤で記述される。降着円盤においては、磁気回転不安定 (MRI) に起因する乱流が粘性の起源と考えられているが、その起動には最低限の電離率が維持される必要がある。先行研究においては、円盤中に含まれる放射性核種と銀河宇宙線を電離源として考慮して、中心星から 10AU 程度よりも内側は、電離率が低すぎて、乱流がない静穏領域になることが明らかにされてきた。我々はさらに、中心星起源の宇宙線による電離、紫外線による電離蒸発、中心星の磁場、熱電離も考慮し、定常状態を仮定して、円盤の電離状態と構造を調べた。すると、降着率が  $10^{-7} - 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$  の場合には、1AU 程度より内側で主に熱電離のために電離率が再び上昇し、MRI が起動し乱流状態が形成されることが分かった。この MRI の再起動 (静穏・乱流) 境界の内側は粘性が急に大きくなるため、円盤ガスの密度勾配そして圧力勾配が正になり、円盤ガスの公転速度が固体微粒子の公転速度より速くなる。その結果、固体微粒子はガスから角運動量をもらいガスに対して外側に向かってドリフトすることが期待される。0.1~1mm より大きな固体微粒子はこのドリフト速度がガスの降着速度を上回って静穏・乱流境界に長期にわたって滞留することがわかった。このような場所では、固体微粒子の合体成長がこれまで考えていたより加速される可能性がある。一方、それより小さな固体粒子はこのバリアを乗り越えガスと共に降着し、電離蒸発によって降着円盤から飛び出して、中心星に落下するか、太陽風により再び外側に流されることになる。降着円盤の内側の端が中心星に十分近いと、いったん溶ける。この現象は隕石の中の Ca-Al-rich inclusions (CAI) やコンドリュールの形成と関係があるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216b 巨大惑星周りのギャップ構造：密度波の減衰過程との関係

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。このようなギャップの形成による惑星周辺のガス密度の低下は、惑星への円盤ガスの降着を制限し惑星の成長を妨げる。さらに、タイプ I 惑星移動から タイプ II 惑星移動への遷移のように、惑星移動を定性的に変えてしまう。このため、ギャップの深さ・幅と惑星質量の関係は惑星の質量・軌道進化を 考える上できわめて重要である。さらに、このような円盤ギャップの形成は近年、多数発見されているリング状の隙間を持つ「前遷移円盤」の形成に直結する過程であると考えられている。このような円盤観測の結果と惑星形成を結びつける上でも惑星によるギャップ形成の理論モデルの構築が求められている。

我々の円盤中の密度波の伝播と動径方向の圧力勾配による円盤回転則の変化を考慮した 1 次元理論モデルを用いた解析によると、密度波が減衰する位置 によってギャップの幅だけでなく深さが大幅に変わることが示唆されている。そこでオープンな数値流体計算コードである FARGO を用いて惑星周りの定常ギャップ構造を計算し、ギャップが開いた場合の密度波の伝播・減衰過程を調べた。従来では、木星サイズの重い惑星の場合、密度波はすぐさま粘性や衝撃波によって散逸・減衰し、円盤ガスに角運動量を受け渡すと考えられてきた。しかし、今回の結果はその描像とは異なり、密度波は相当量の角運動量をギャップの外側にまで運んでいることを示唆している。本講演では、この結果を紹介しつつ、密度波の減衰過程とギャップの幅・深さ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](#)

P217b 惑星数に対する惑星系構造の依存性

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、一つの惑星系の中に複数の惑星が見つかるケースが増えてきた。現在までに視線速度法では87個の系が系内に最大6個の惑星をもつ複数惑星系であると確認されている。Limbach & Turner (2014) では、2014年3月までに視線速度法で観測された系外惑星系について軌道離心率と各惑星系内の惑星数に反相関性が報告され、3惑星系以上の範囲でべき関数で近似できることがわかった。太陽系惑星の離心率は多くの系外惑星に比べて小さいが、発見された関係を惑星数8に外挿した値と矛盾しない。本研究では同様に視線速度法によって観測された516個の惑星に対して、更に各惑星系ごとの構造について惑星数依存性を調べた。

その結果、各惑星系ごとの離心率の最大値に関しては系内の惑星数に対する明確な依存性は見られなかったが、角運動量欠損 (基準面円軌道からのずれ) や円盤表面密度に関しては系内の惑星数に対する弱い反相関傾向が見られた。また惑星の質量を視線速度法で得られた最小質量と仮定すると、平均運動共鳴軌道に入っていない隣接する惑星間の軌道間隔/ヒル半径の最小値は、2惑星系でおよそ7、3惑星系以上でおよそ6であった。すなわち各惑星系の中で惑星同士がこれ以上の値で近づいて存在するには系内の惑星数に関わらず平均運動共鳴に入っている必要があることが示唆される。

本講演では更に様々な軌道構造についての系内の惑星数に対する依存性を示し、惑星形成・進化モデルに対する新たな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](#)

**P218b      Direct Imaging of the Transitional Disk around DM Tau**

Yi Yang, Saeko Hayashi, Motohide Tamura, Daehyon Oh, HiCIAO/AO188/SEEDS team

Current theory states that circumstellar disks will experience a 'transitional' phase in their evolution and it is an essential period for planet formation. We report the first spatially resolved images of the transitional disk around the T Tauri star DM Tau in near infrared (NIR) band. These images were obtained using the HiCIAO camera mounted on the Subaru telescope, with adaptive optics AO188 and the polarized differential imaging (PDI) technique. We successfully resolve the disk in scattered light at H band for  $r \leq 0''.35$  ( $r \lesssim 50AU$ ), with an average inclination about  $45.2 \pm 2.1^\circ$  and position angle (PA) about  $-27.7 \pm 3.1^\circ$ . However, we do not find any cavity or gap structure in the disk. To help uncover the unresolved structure in the disk, we use Whitney radiative transfer model to model the disk and compare it with observed spectral energy distribution (SED, derived from previous multi-wavelength observations) and NIR polarized intensity profile. After the comparison, we find out that to fit the observed SED and intensity profile, a central cavity and a gap in the disk is necessary. We determine that the central cavity has a radius of about 3 AU, the gap radius has a radius of about 14 AU, and the scale height of "wall" at the gap is about 0.2 AU or less to help fit the radial profile. This study shows the power of NIR high-resolution imaging, and is helpful for us to understand the evolution mechanism of circumstellar disks and planets.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## P219b 惑星中層大気における高エネルギー粒子の降り込みモデルの開発

森前和宣, 池田喜則, 前澤裕之 (大阪府立大学), 佐藤達彦 (日本原子力研究開発機構)

我々は現在、G型星である太陽の活動が周辺の惑星の大気環境に与える影響を理解すべく、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の口径10mのミリ波干渉計のうち1台を独立させて活用し、太陽系惑星中層大気監視プロジェクト (SPART: Solar Planetary Atmosphere Research Telescope) を推進している。SPART望遠鏡では現在、主に火星・金星の中層大気における一酸化炭素のモニタリングを実施している。火星・金星は固有磁場を持たないため、大気が太陽活動の影響に直接曝されている。我々の観測結果を、火星探査機 Mars Express (MEX) や金星探査機 Venus Express (VEX)、また GOES 衛星などのデータと比較したところ、COの変動と太陽フレア/コロナ質量放出が関連している可能性も見えてきた (2014秋期年会 池田 他)。こうした惑星中層大気の振る舞いは、これまで知られてこなかったが、中心星の活動が周辺の地球型惑星に与える影響を理解する上で重要な知見を与えるものと期待される。

火星・金星の一酸化炭素のこうした振る舞いをより定量的に理解するため、現在、惑星に降り込んだ高エネルギー粒子によって生じる電離度の高度分布を見積もるモデルを開発中である。Bethe-Blochの式を用いてこれまでに独自に開発したモデルに加えて、今回新たにモンテカルロシミュレーションの手法 (PHITS) を用いたモデルを開発し、プロトンが中層大気に与える電離度/高度分布において両方で良い一致を得た。後者のモデルでは、中間子やミュー粒子、陽子・陽電子などの効果も計算している。また大気の薄い火星においては低高度まで侵襲する高エネルギー粒子の地表での吸収・反射も考慮している。今後これに惑星大気の大気化学反応計算を組み込む予定である。本講演ではこれらのモデル開発とその計算結果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](#)

P220a 「あかり」とIRSFによる探査で見つけたデブリ円盤の性質

石原大助, 竹内菜未, 小林浩, 金田英宏, 犬塚修一郎 (名古屋大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 藤原英明 (国立天文台), 尾中敬 (東京大学)

デブリ円盤は、惑星形成過程の観測的証拠である。微惑星同士が衝突合体を繰り返す過程で、軌道に撒き散らされたとされる固体粒子からの熱放射は、赤外線で見ることができる。現在までにIRASやSpitzerなどの赤外線天文衛星の活躍により、数百のサンプルが見つかり、 $< 1$  Gyrでの円盤の消失過程は統計的に明らかになってきている。しかし、惑星系形成との関係を示す統計的証拠の提示や、同じ年齢で超過放射量が変化に富む理由の解明など、課題も多い。

「あかり」は、波長  $9\text{--}160\ \mu\text{m}$  の6つの赤外線波長帯で全天を観測し、既に幾つかのデブリ円盤を発見している (e.g. Fujiwara et al. 2012a,b)。とくに  $18\ \mu\text{m}$  帯での暖いデブリ円盤の検出により、主星に近い軌道での惑星系形成後期の観測的手がかりが得られるようになってきた。惑星形成後期でのデブリ円盤の物理状態の解明は、次の赤外線天文衛星 SPICA でも重要なテーマである。我々は、「あかり」のデータからさらに系統的な探査を行うため、全天サーベイの  $18\ \mu\text{m}$  帯で受かった主系列星のうち約 300 天体について、名大南アフリカ望遠鏡 IRSF で ND フィルタを用いて、候補天体の主星フラックスの精確な測光を行い、より超過放射の小さな天体の検出を試みた。この探査で検出した 57 個のデブリ円盤の中には、円盤進化の標準理論である steady state collisional cascade model では説明の難しい、110 Gyr で赤外超過量の大きい天体が含まれる。本講演では、これらのサンプルにおけるダスト供給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](#)

## P221a デブリ円盤の厚みの進化

蔡承亨、伊藤洋一 (兵庫県立大学)

デブリ円盤は主系列星が持つダスト主体の星周円盤である。このダストは惑星形成時または形成後における惑星・微惑星の衝突破壊現象による生成物であると考えられている。それゆえデブリ円盤は惑星形成を理解する手がかりが得られるとして、現在活発に研究がなされている。

デブリ円盤の半径方向の密度分布から、惑星・微惑星の衝突頻度の位置分布が得られる。さらにその衝突頻度の位置分布から微惑星の密度分布が推定できる。これまでの遠赤外線測光観測からデブリ円盤の円盤半径は系の年齢のおよそ  $1/3$  乗で増大していることがわかっている。N 体シミュレーションを用いた先行研究により、円盤半径の増大は、内側から外側に向かって微惑星軌道の擾乱が進行していることで説明できる。一方、デブリ円盤の厚みからダストの離心率と軌道傾斜角の分散が得られ、それらから惑星・微惑星の衝突速度を推定することができる。先行研究の理論的考察では、ダストの軌道傾斜角の分散は時間の  $1/4$  乗に比例すると言われている。しかし、ダストの軌道傾斜角の時間進化は観測的に分かっていない。

我々は近赤外の直接撮像のデータをモデルでフィッティングすることによりデブリ円盤の厚みを求め、ダストの軌道傾斜角の分散を計算した。ターゲットは HD 15115 ( $\sim 12\text{--}500$  Myr) 及び HR 4796A ( $\sim 9$  Myr) である。その結果、ダストの軌道傾斜角の分散は HD 15115 が  $4.3^\circ$ 、HR 4796A が  $0.7^\circ$  と求められた。また、可視・近赤外の直接撮像で検出されている他のデブリ円盤に対しても、先行研究で求められた円盤の厚みから、各々の天体のダストの軌道傾斜角の分散を計算した。これら全てのデブリ円盤の年齢に対するダストの軌道傾斜角の分散を調べたところ、ダストの軌道傾斜角の分散が年齢に対して増加している傾向が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P222c **Herbig Ae 型星 HD169142 の  $10\mu\text{m}$  帯像で見られる円盤の微細構造**

片坐宏一 (ISAS), 岡本美子 (茨城大), 本田充彦 (神奈川大), 左近樹 (東京大学)

HD169142 は距離 145pc, 年齢 1-12Myr, 中心星質量約  $2M_{\text{sun}}$  の Herbig Ae 型星で, SED は遠赤外線領域に向かって増大する group I 型の特徴を示す。Honda ら (2012), Quanz ら (2013), Osorio ら (2014) は、それぞれ  $20\mu\text{m}$  帯撮像、H バンドコロナグラフ撮像、7mm 干渉計観測および、SED も含めたモデルフィット等から、HD169142 の星周円盤の微細構造について明らかにしてきた。それによれば HD169142 の円盤は、星のごく近傍の disk ないし halo ( $r < 1\text{AU}$ ), その外の cavity, その外にあって 25AU 付近に内縁ないし内壁を持つ middle disk,  $r$  40-70AU 付近に広がる gap, さらに外側の outer disk、からなると考えられ、惑星形成を考える上で興味深い天体である。

我々は、すばる COMICS を用いて空間分解能 0.3 秒角にて HD169142 の  $10\mu\text{m}$  帯撮像を 6 バンド (N8.8, N10.6, N11.7, N12.4, UIR8.6, UIR11.2 の各フィルター) で行った。HD169142 は全バンドで有意に広がっており、輝度プロファイルからの deconvolved gaussian の半値半幅は 0.109-0.160 秒角で、これは半径 16-23AU に相当する。半値半幅で評価されるこのコア部分の放射は、星のごく近傍の disk ないし halo からの放射と、middle disk の 25AU 付近内縁の組み合わせで非常に良く説明でき、また波長によってこれらの成分の放射割合が変化していると考えられる。HD169142 の  $10\mu\text{m}$  帯像で、これらの成分をさっぴくと、H バンドコロナグラフ観測で見えている outer disk に相当する領域に arc 成分が全バンドで残った。それに加えて HD169142 の南西側  $r = 12.4^{+2.8}_{-2.1}\text{AU}$  のところに点源成分が全バンドで残った。この点源は、L' バンド観測で最近見つかった ( $r = 16 \pm 4\text{AU}$  (Biller ら (2014)) ないし  $r = 22 \pm 5\text{AU}$  (Reggiani ら (2014))); 両者は合致するとみられる) とは別かつさらに内側のソースと考えられ、HD169142 での惑星形成により生じた構造の可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P223a **すばる望遠鏡戦略枠観測「SEEDS」による原始惑星系円盤および系外惑星探査 V**

工藤智幸, 田村元秀, 臼田知史 (国立天文台), 葛原昌幸 (東工大), 橋本淳 (オクラホマ大), 松尾太郎 (京大), SEEDS/HiCIAO/AO188 team.

2008年7月、系外惑星・円盤探査の大規模サーベイ「SEEDS(Strategic Exploration of Exoplanets and Disks with Subaru)」が初めてのすばる望遠鏡戦略枠観測として採択され、2009年10月から開始された。

本観測は主にHiCIAOと呼ばれる高コントラスト近赤外線撮像装置と補償光学系AO188との組み合わせで行っている。HiCIAOは常温のコロナグラフ機構と差分光学系を備え、AO188と組合せることで、すばる望遠鏡の回折限界に迫る空間分解能と、明るい中心星から0.1~1秒角の範囲で4~6桁の高コントラスト達成している。

SEEDSでは、5年間で約500個の太陽質量程度の若い天体(年齢10億年以下)の撮像サーベイを行い、原始惑星系円盤の形態を0.06"程度の解像度で中心星のごく近傍(約0.1")まで解明し、さらに若い星近傍における木星質量程度の系外惑星を直接検出することを目標としてきた。

2014年12月9日現在、計117夜により、約416天体が観測でき、円盤の付随を示唆する数多くの新しい結果や、未知の伴星候補天体の検出にいくつも成功している。本講演では、この5年間に渡るSEEDS戦略枠観測の詳細とその最新成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P224a うみへび座 TW 星に付随する遷移円盤の近赤外線偏光観測：新たなギャップ構造の発見

秋山永治, 日下部展彦 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (オクラホマ大学), 片岡章雅 (東京工業大学), 塚越崇 (茨城大学), 権静美 (東京大学), 工藤智幸 (国立天文台), 田村元秀 (国立天文台/東京大学), ほか SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

原始惑星系円盤の物理構造を理解することは、惑星系の形成や進化過程を理解する上で重要である。本講演では、太陽近傍に位置する低質量星うみへび座 TW 星に付随する原始惑星系円盤に対して、近赤外線  $H$  バンドで高解像度偏光観測を行い、新たにギャップ構造が発見されたのでその結果を報告する。

うみへび座 TW 星に付随する円盤は遷移円盤であり、複雑な構造を持つことが特徴である。Spectral Energy Distribution (SED) から、4 天文単位に薄い円盤 (inner disk) があることが示唆されており、Hubble Space Telescope の観測では、主星から 80 天文単位的位置にリング状のギャップの存在が示唆されている。今回、すばる望遠鏡の戦略枠である Strategic Explorations of Exoplanets and Disks with Subaru (SEEDS) プロジェクトの一環として、すばる望遠鏡/HiCIAO+AO188 を用いた観測によって、HST の観測領域よりもさらに内側を含んだ中心星からの距離、11 天文単位から 80 天文単位までの面輝度分布が明らかとなり、円盤の表面構造に関する情報が得られた。輻射輸送モデル計算で観測結果の再現を図ったところ、主星から 20 天文単位に新たなリング状のギャップが存在する可能性が示された。さらに、40 天文単位以遠では理論的に予想される面輝度よりも値が小さく、ギャップの壁による影によって暗くなっている可能性も示された。ギャップの形成メカニズムには、円盤と惑星との重力相互作用、grain growth、dust filtration など諸説あるが、特に grain growth 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](#)

P225a      **Recovery of the Candidate Protoplanet HD 100546 b and Detection of Additional Disk Structures**

Thayne Currie (NAOJ), 武藤恭之 (工学院大学), 工藤智幸 (国立天文台), 本田充彦 (神奈川大学), Timothy D. Brandt (IAS), Carol Grady (Eureka Scientific), 深川美里 (大阪大学), 他 SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

We report the second-epoch re-detection of a directly-imaged protoplanet candidate HD 100546 b. Using Near-Infrared Coronagraph and Imager (NICI) on Gemini South, we obtain the  $L'$  image of HD 100546. The position and brightness of the candidate planet is consistent with the original detection by Quanz et al. (2013). We find that HD 100546 b is likely to be spatially resolved ( $\sim 12$ -13 AU in diameter) and is embedded in a finger of thermal IR bright, polarized emission (c.f.,  $L'$ -band PDI observations by Avenhaus et al. 2014). Hot-start models imply a mass of  $15 M_J$ , but if it is newly formed or embedded in a circumplanetary disk, its mass can be much lower. In addition, we discover, for the first time, a thermal IR-bright (in  $L'$ -band), spiral-like disk feature at 90 degrees away from the candidate planet. Our spiral density wave model indicates that a wave-launching point reside exterior to  $\sim 0.45$  asec, possibly indicating the existence of another unseen planet. Given the coexistence of a planet and disk features, HD 100546 may serve as an important evolutionary precursor to intermediate-mass stars with multiple wide separation planets like HR 8799 system.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226a **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**

鶴山太智、田村元秀(東京大学)、橋本淳(オクラホマ大学)、葛原昌幸(東京工業大学)、他 SEEDS/YSO  
team

1995年の主系列星を周回する系外惑星の発見以来、候補天体を含め既に4000以上もの系外惑星が報告されている。中でも衝撃的だったのが、太陽系の惑星とは特徴が異なる天体が多数検出された事である。その結果、多様な系外惑星の形成メカニズムは、従来のコア集積モデルだけでは説明できず、これを修正するためには今後も様々な系外惑星を観測する必要がある。

Subaru/HiCIAOとAO188を用いて、系外惑星と星周円盤を探査することを目的としたすばる戦略枠SEEDSでは、2009年からの5年間で4~500天体について直接撮像で観測を行った。SEEDSでは主星の年齢はMyrからGyrで幅広く観測されている。このうち、主に10Myr以下の天体であるYoung Stellar Object(YSO)カテゴリに属する天体は、主星の年齢が若く星周円盤が観測される可能性があるため、これまでは円盤探査に主眼が置かれており、惑星探査という観点からの議論はほとんどされていなかった。

そこで我々は、YSOカテゴリの天体について惑星探査に適した角度差分撮像解析を行う事で、若い年代における系外惑星に対して議論する。ただし、未知の天体が検出された場合は固有運動から背景星が伴星かを区別するための追観測が必要な場合もある。本講演ではその手法と途中経過について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227a 高離心率・大質量惑星の外側に存在する伴星の直接撮像検出

葛原 昌幸, 佐藤 文衛 (東京工業大学), 成田 憲保, Currie, T., (国立天文台), 高橋 安大, 田村 元秀 (東京大学), および SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

高い離心率をもつ惑星や, 中心星の自転軸に対して惑星の公転軸が傾いた惑星が視線速度法やトランジット法で発見されている. そのような惑星をもつ恒星に対する直接撮像観測によって, それらの系の形成起源や進化過程について観測的制限を与えることは SEEDS (Strategic Exploration of Exoplanets and Disks) の研究課題の一つである. 高い離心率をもつ惑星の外側に伴星が存在するかどうかは, その高離心率惑星の軌道進化過程を検証するうえで重要な糸口になり得る. その点に着目して, SEEDS では高離心率惑星の外側に存在する伴星の直接撮像探査を行ってきた (例: Narita et al. 2012, 日本天文学会 2014 年春期年会 P220a 参照).

上記の目的に基づいた SEEDS での観測を 2011 年から 2012 年に進めた結果, 大きな質量をもつ高離心率惑星の外側に, 我々は新たに伴星を検出することに成功した. 検出された伴星は, 中心星から約  $0.3''$  ( $\sim 11$  AU) のところに存在し, M 型星に相当する明るさをもつ. SEEDS で得られた観測データと, その天体に対する Keck 望遠鏡のアーカイブデータを解析した結果, 検出した伴星は背景星ではなく, 中心星に束縛されている可能性が非常に高いことがわかった. また, その伴星よりも検出の有意性は低いが, より低光度の伴星候補天体が存在している可能性があることがわかった. それらの伴星からの古在機構の働きや, 伴星と惑星の力学的相互作用によって, 内側の惑星の軌道は変化することが期待される (Nagasawa et al. 2008). それによって, 内側惑星の離心率は増大した可能性がある. 本講演では, 我々が行った観測やそのデータ解析結果について説明した後, 検出された伴星の特徴を説明する. また, それらの結果に基づいて内側に存在する高離心率惑星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](#)

## P228a MOA-II による系外惑星探査：2014 年の結果

越本直季 (大阪大学), MOA コラボレーション

我々MOA(Microlensing Observations in Astrophysics) グループではニュージーランドの Mt. John 天文台において、重力マイクロレンズ現象を利用した系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズは観測天体(ソース天体)の光がそれより手前の天体(レンズ天体)の重力によって曲げられることで、増光して観測される現象である。レンズ天体が一つの場合は増光の時間変化(光度曲線)は対称的になるが、伴星を伴う場合はその形がずれ、光度曲線に特徴的な形(anomaly)が見られる。得られた光度曲線を解析することにより主星と伴星の質量比がわかり、惑星を検出できる。今、ある天体がマイクロレンズ現象を起こしている確率は $10^{-6}$ で、惑星を検出できるのはさらにその数%と低い。また、伴星が惑星質量程度の場合は anomaly が数時間~数日程度と非常に短い。これらの要求を満たすため、我々は口径 1.8m、視野 2.2 平方度の広視野望遠鏡 MOA-II を用いて、銀河系中心領域の星約 5000 万個を対象に 15 分-90 分に 1 回という高頻度で毎晩観測を行っている。一つの望遠鏡では 24 時間カバーできないが、MOA と同程度の高頻度サーベイ観測をチリで行っている OGLE-IV との連携により、光度曲線を連続的にカバーできるようになってきている。さらに、データをリアルタイムで解析することで、anomaly が見つかり次第、世界中のフォローアップグループにアラートを出し、高頻度追観測を行っている。2014 年シーズンの観測も順調に終わり、MOA では 621 個のマイクロレンズアラートを発信し、他グループと共同で 12 個の惑星候補イベントを発見した。12 個の惑星の内、10 個程度が巨大ガス惑星となっており、例年より巨大ガス惑星の割合が多くなっている。惑星の存在量の見積もりにこれらの結果を含めると、視線速度法の結果と一致していた従来の結果よりも巨大ガス惑星の存在量が増える可能性がある。本講演では見つかった惑星イベントの詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P229a 重力マイクロレンズ法による M 型星まわりの土星質量惑星の発見

福井暁彦 (国立天文台) MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法は他の検出手法が苦手とする数 AU の軌道をもつ惑星に最も検出感度が高い。この軌道領域はコア集積モデルで巨大惑星が形成される領域と一致するため、重力マイクロレンズ法で惑星の質量分布を明らかにすることは惑星形成モデルを検証する上で極めて重要である。一方、同手法で惑星系の正確な質量を測定するためには、(1) 光源星の光度曲線においてパララックス効果を検出する、あるいは(2) レンズ星(主星)の放射光を検出する必要がある。前者の方法で質量を決定出来るケースは限られる(半数以下)ため、その補完的な手法として後者の方法が重要な役割を果たす。しかし、後者の方法で質量が決定された惑星系の数はまだ数個に留まっている。

2012 年に発見された重力マイクロレンズイベント OGLE-2012-BLG-0563/MOA-2012-BLG-288 は、光源星の増光ピーク付近でアノマリが見られ、レンズ星に質量比  $\sim 10^{-3}$  の伴星(惑星)が付随することが分かった「惑星イベント」である。しかし光度曲線にパララックス効果が検出されなかったため、惑星系の正確な質量を測定するためには主星の明るさを測定する必要があった。我々はすばる望遠鏡の近赤外装置 IRCS と補償光学を用いてこのイベント領域を高空間分解能で撮像し、重力マイクロレンズ光度曲線と組み合わせた解析から主星の明るさを測定した。その結果、主星は  $0.12\text{--}0.38 M_{\text{Sun}}$  の質量をもつ M 型星であり、惑星は  $45\text{--}140 M_{\text{Earth}}$  の質量をもつ巨大惑星である事が分かった。この惑星は質量が木星ほど大きくないことから、コア集積モデルで出来た場合、原始惑星系円盤のガスが散逸する直前に形成された可能性が高いと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P230a アストロメトリ法における「惑星検出」とは何か？

山口正輝 (国立天文台)、松尾太郎 (京都大学)

アストロメトリ法とは恒星の天球面上の運動から惑星を見つけ出す手法であるが、その方法において惑星の検出条件はどのようなものになるだろうか？

可視光位置天文衛星 Gaia では、アストロメトリ法で数万個の惑星が見つかることが期待されている。Gaia で検出可能な惑星のパラメータ (軌道長半径、質量) は先行研究において検討されている。その検討方法は、乱数を用いて模擬的に惑星を生成し Gaia で検出可能な惑星を選び出すというものである。そこでの検出条件は、「単一星と仮定してデータをフィットしたときに、優位なずれが認められる」というものである。これは何を検出していることになるのだろうか？それは、「中心星軌道運動の曲率」である。では、その「曲率」はどのように定量化できるだろうか？この問題を長周期惑星 (観測期間より周期が長い惑星) に対して考えた。

まず、天球面上で円軌道をする場合について考える (これは前回年会 P233a において発表したものと同等である)。この場合は、円弧の幅を定量化すれば良い。この幅は近似的には軌道位相の二乗に比例し、また幾何学とケプラーの第3法則により軌道半径の二乗に反比例することが分かる。

天球面上で楕円軌道を描く (離心率、軌道傾斜角が0でない) 場合は、楕円の一部の幅を定量化することになる。この場合、パラメータが増えるが、円弧の場合と同様に軌道位相の二乗に比例する近似的な表式が得られた。

実際の観測を考えたとき、円弧の幅、または楕円の一部の幅が位置決定精度より大きくなったときに検出可能であると考えられる。今回これらの幅に対して、各軌道パラメータの関数とする解析的な表式が得られたので、アストロメトリ法による惑星検出の指標が具体的に示されたことになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P231a すばる IRD による M 型矮星周りの地球型惑星探索 II : ターゲット選定

大宮正士 (国立天文台)、佐藤文衛、葛原昌幸、平野照幸 (東工大)、青木和光、中島紀、成田憲保、福井暁彦、原川紘季 (国立天文台)、比田井昌英 (東海大) IRD チーム

我々は、すばる望遠鏡用に製作を進めている赤外ドップラー装置 (IRD : e.g. 2014 年秋季年会 V215a) を用いて、これまでの可視観測では難しかった晩期 M 型矮星のドップラー法による惑星探索を行うことを計画している (2014 年春季年会 P231a)。低温度低質量 ( $<0.3M_{\odot}$ ) の M 型矮星ではハビタブルゾーンが主星に近いため、 $\sim 1 \text{ m s}^{-1}$  の精度を達成できれば、ハビタブル地球型惑星を発見できる可能性がある。本講演では、IRD の装置開発と並行して進めてきた、すばる/IRD を用いた晩期 M 型矮星周りの地球型惑星探索の観測ターゲットの選定方法について報告する。

本惑星探索では、主に、1. 近傍 M 型矮星周りのハビタブル地球型惑星の検出と、2. 低質量星における地球型-木星型惑星の統一的な統計理解を目標としている。特に、ハビタブルゾーンに位置する地球型惑星を多数検出し、太陽系外地球型惑星の統計的性質を世界で初めて明らかにしたい。この惑星探索において、主星に比べて非常に軽い地球型惑星をドップラー法によって検出するためには、視線速度測定精度  $1 \text{ m s}^{-1}$  を達成できるほど射影自転速度が遅く、かつ、表面活動が比較的安定しており見かけの視線速度変化が小さいと考えられる星をターゲットに選ぶ必要がある。そこで、まず、カタログ情報を用いて、低質量星を選び、各星の XUV 観測の情報と  $H\alpha$  輝線の有無をチェックすることによって、表面活動が安定していると考えられる星約 300 星を選んだ。さらに、惑星探索の事前観測として、 $H\alpha$  線の観測がないターゲットに対して、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視分光撮像装置 KOOLS を用いて  $H\alpha$  線周辺の波長域の分光観測を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P232a 岡山 188cm 望遠鏡の新多色撮像カメラ MuSCAT のサイエンス I : 新しい  
トランジット惑星の発見確認と可視透過分光

成田憲保, 福井暁彦, 日下部展彦, 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠, 泉浦秀行, 柳澤顕史 (国立天文台), 生駒大洋,  
川島由依, 田村元秀 (東大), 佐藤文衛 (東工大)

我々のチームは、岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡に搭載する新しい多色撮像カメラ MuSCAT (Multi-color Simultaneous Camera for studying Atmospheres of Transiting planets) を 2013 年から開発している。本装置の基本仕様としては、3 台の  $1k \times 1k$  CCD により視野 6.0 分角を持ち、2 枚のダイクロイックミラーによりスローン第 2 世代フィルター ( $g'_2, r'_2, z_s$ ) の 3 色を同時に撮像観測することができる。MuSCAT は 2014 年 12 月 24 日にファーストライトを迎え、2015 年後期以降に PI 装置として岡山観測所で運用を開始する予定である。

近い将来の系外惑星探査計画として、ケプラーの第 2 期 (K2) 計画や全天トランジットサーベイ衛星 TESS が大量のトランジット惑星候補を発見する見込みとなっている。そうしたトランジットサーベイで発見された全てのトランジット惑星候補は、食連星の混入による偽検出を排除するための発見確認観測が必要となる。食連星の場合と本物のトランジット惑星の場合とは、減光の深さや形状の波長依存性が大きく異なるため、多色観測を行うことでその減光が食連星によるものかどうかを判別することができる。一方本物のトランジット惑星の場合には、可視領域での多色観測によって惑星大気の透過分光特性 (特にレイリー散乱) を調べることができる。

以上のように、MuSCAT は惑星の発見確認と可視透過分光の観測を一度に行うことができ、来るトランジット惑星の大量発見の時代に惑星の発見と特徴付けを効率的に実施できる強力な観測装置となる。本講演では MuSCAT の仕様および期待される性能と、本装置で可能となるトランジット惑星の特徴付けのサイエ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](#)

P233a 岡山 188cm 望遠鏡の新多色撮像カメラ MuSCAT のサイエンス II：若い星の扁平率と惑星系の自転-軌道傾斜角の三次元測定

鬼塚昌宏, 成田憲保, 福井暁彦, 日下部展彦, 笠嗣瑠, 泉浦秀行, 柳澤顕史 (国立天文台), 田村元秀 (東大), 佐藤文衛 (東工大)

系外惑星系において主星の自転軸と惑星の軌道面のなす角は、惑星の形成や進化の過程を議論する上で重要である。これまでの観測においてはトランジット中に視線速度測定を行い、ロシター効果と呼ばれる視線速度変化を観測することによってこの角度が測定されてきた。しかし、主星が非常に暗い星の場合、ロシター効果による自転-軌道傾斜角の測定は困難となる。

重力減光効果は恒星の自転によって発生する遠心力により、極に対して赤道付近の圧力が下がり、暗くなる現象である。重力減光が起きている星にトランジット惑星が存在するとき、トランジット光度曲線は惑星軌道に沿った主星光度の分布を反映する。光度曲線の形状を解析することにより、ロシター効果を用いずに測光観測のみで高速自転星の惑星系における主星の自転軸と惑星の軌道面のなす角を三次元的に測定したり、主星の扁平率を求めることが可能となる。この手法は自転が速く、質量に対して半径の大きな若い星に対して特に適した手法である。

我々が現在開発中の岡山 188cm 望遠鏡に搭載する新しい多色撮像カメラ MuSCAT (Multi-color Simultaneous Camera for studying Atmospheres of Transiting planets) は、6.0 分角の視野をもち、2 枚のダイクロイックミラーと 3 台の CCD によって可視光 3 色を同時観測可能な撮像装置である。本講演ではこの装置によって可能となるサイエンスとして、重力減光効果の波長依存性を用いた若い星の扁平率や自転-軌道傾斜角の測定を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P234a 皆既月食を利用した地球大気透過光の高分散分光観測 II

川内紀代恵, 佐藤文衛, 平野照幸 (東京工業大学), 成田憲保, 原川紘季 (国立天文台)

1995年に初めて系外惑星が発見されて以来、観測技術の向上により次々と系外惑星が発見され、現在では系外惑星大気まで観測可能となっている。今はまだ不可能だが、近い将来集光力のある次世代の望遠鏡が出来れば、高分散分光観測でハビタブルな地球型惑星の大気透過光スペクトルを得ることも可能となるだろう。そこで、そのスペクトルテンプレートを作成するため、現地点で唯一生命が存在することが分かっている地球の大気を、皆既月食を利用し、系外惑星の透過光分光と同じ方法論で観測するということが行われている。この方法で過去に4回観測が行われ、地球大気による酸素や水蒸気、Naの個々の追加吸収などが検出されたが、どの場合も長時間定点観測を行っておらず、時間による通過した大気の変化を観測していない。

そこで我々はすばる望遠鏡の高分散分光器 HDS を用いて、今までで一番高い波長分解能 ( $R \sim 160000$ ) で観測された月食のスペクトルを取得し、地球大気の大気透過光スペクトルを求めた。その結果、酸素や水蒸気、Naの吸収線が検出された。また、長時間連続観測をしたことにより、先行研究では観測されていない吸収線の時間変化がみられた。2014年春季年会の発表ではこれらの吸収線の検出と酸素吸収線における時間変化について報告を行った。

その後、吸収線の時間変化を再現するため、それぞれの観測時において太陽光が透過した地球大気の高さと位置を求め、その高さにおける圧力、温度から求めた吸収係数と、酸素等分子の高さによる存在量変化を考慮し求めた柱密度を使用し、それぞれの高さにおける理論スペクトルを作成した。

本講演では、この理論スペクトルと観測のスペクトルを比較した結果に加え、前方散乱を考慮することにより得られたNaの吸収線と先行研究では検出されていない輝線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](#)

P235a 惑星による位相光度変化と KOI-977 系の解析

平野照幸(東京工業大学), 増田賢人(東京大学), 佐藤文衛(東京工業大学), Othman Benomar(東京大学), 竹田洋一, 大宮正士, 原川紘季(国立天文台), 小林敦(東京工業大学)

ケプラー望遠鏡などによる宇宙からの高精度測光観測によって, 最近短周期惑星を持つ恒星の微小な ( $< 1000$  ppm) 光度変化 (位相光度変化: phase-curve variations) が観測されるようになってきている。位相光度変化には, (1) 相対論的ビーミング, (2) 恒星の潮汐変形による光度変化 (ellipsoidal variations), (3) 惑星の反射光/放射光, の3つが含まれる。これらはいずれも惑星の軌道位相と連動して周期的な光度変化を生むため, 惑星を間接的に見つける新たな方法論として注目されている。

上記3つの効果のうち恒星の潮汐変形による光度変化の振幅はほぼ恒星半径の3乗に比例するため, 半径の大きな早期型星や巨星などの進化した星は位相光度変化を解析して惑星の発見・特徴付けを行う上で絶好のターゲットとなる。特に巨星周りではホットジュピターなどの短周期巨大惑星がほとんど発見されていないため, ケプラー望遠鏡などによる大規模なモニタリングと位相光度変化の解析は巨星周りの短周期巨大惑星の存在頻度を調べる上で大変有用である。

我々はケプラー望遠鏡で観測されトランジット惑星候補を持つ星と同定された KOI-977 と呼ばれる巨星に着目し, 位相光度変化を始めとして視線速度測定や分光・星震学的な解析を含む系の包括的な解析を行った。結果として KOI-977 系は惑星系ではなく, 巨星の他に主系列の F 型星と M 型星からなる食連星を持つ3重連星である可能性が高い事が分かった。本講演では KOI-977 系を例にして, 位相光度変化の解析からどのようにして系の物理量が取り出されるのかを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P236a      **トランジット惑星候補を有する巨星の視線速度精密測定：Kepler-91 と KOI-1894**

佐藤文衛、平野照幸（東京工業大学）、大宮正士、原川紘季（国立天文台）、小林敦、長谷川椋、宝田拓也、川内紀代恵（東京工業大学）、増田賢人（東京大学）

惑星による中心星の食（トランジット）を捉えるトランジット法は、視線速度法などとは独立に惑星の存在を確認できるだけでなく、惑星の半径や質量、内部構造、さらには惑星大気や軌道の傾きなどに関する情報を与えてくれるため、惑星及び惑星系の理解にとって非常に重要である。2009年に打ち上げられたケプラー望遠鏡は、宇宙から相対精度  $\sim 2 \times 10^{-5}$  という極めて高い精度でトランジット測光観測を行い、太陽型星周りの地球型惑星の発見などで多くの成果を上げている。この精度をもってすれば、地上観測では不可能だった、巨星（ $\sim 10 R_{\odot}$ ）を周回する木星サイズ（ $\sim 0.1 R_{\odot}$ ）の惑星のトランジット（減光率  $\sim 10^{-4}$ ）を検出することが可能であり、実際、そのような候補天体が複数報告され始めている。

我々は、2013年から2014年にかけて、ケプラー望遠鏡によってトランジット惑星候補を有すると同定された二つの巨星（Kepler-91、KOI-1894）を対象に、すばる望遠鏡と高分散分光器 HDS を用いた視線速度精密測定法による確認観測を行った。中心星の潮汐変形などによる位相光度変化と軌道運動による視線速度変化とを同時に解析することによって、Kepler-91系では短周期巨大惑星（ $P = 6.2$  d、 $M_p = 0.64 M_{\text{JUP}}$ ）の存在を従来より高精度で確認し、また、視線速度変化の微小なドリフトから二つ目の惑星が存在する兆候を新たに捉えた。KOI-1894系では、 $2.5\sigma$  の有意性で位相光度変化と同期した視線速度変化（ $P = 5.3$  d）を検出した。これは、惑星の質量にして約  $0.2 M_{\text{JUP}}$  に相当し、これまでに巨星の周りで見つかった惑星の中では最も低質量の惑星候補の一つとなる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## P237a 重力減光を用いたホットジュピターのスピン軌道角測定と軌道の長期進化

増田賢人 (東京大学)

系外惑星系のスピン軌道角 (主星自転軸と惑星公転軸のなす角) は、ホットジュピターの軌道移動や惑星形成の初期条件と密接な関わりをもつ重要な特性である。トランジット惑星のスピン軌道角は、スピン軌道角の天球面成分  $\lambda$  および主星自転軸の視線に対する傾き  $i_*$  の2つの要素から決まる。通常、スピン軌道角への制限は、ロシター効果や星震学によって  $\lambda$  または  $i_*$  のいずれか一方を決定することで与えられる。

これら2つの成分を測光データから同時に制限できるユニークな手法として、高速自転星における重力減光を用いるものがある。von Zeipelの定理によると、主星の表面輝度は有効表面重力に比例するため、高速自転星の場合、赤道付近は極付近と比べて暗くなる。このような星を惑星がトランジットすると、主星の極と惑星軌道の位置関係に応じてライトカーブの形状が変化するため、 $i_*$  と  $\lambda$  を決定できる。この手法はホットジュピター系 KOI-13 に適用され、スピン軌道角を高精度で決定 ( $i_* = 45^\circ \pm 4^\circ$ ,  $\lambda = 24^\circ \pm 4^\circ$ ) することに成功した。

ところが、その後異なる手法 (Doppler tomography) を用いて行われた観測からは、重力減光の結果と矛盾する値  $\lambda = 58.6^\circ \pm 2.0^\circ$  が得られた。この差異の原因を特定するため、我々は重力減光を用いた手法における系統誤差の要因を精査した。結果、重力減光から求まる  $i_*$  や  $\lambda$  は主星の周辺減光パラメータの値に非常に敏感であり、その値次第では  $\lambda$  の観測と整合的な解 ( $i_* = 81^\circ \pm 5^\circ$ ,  $\lambda = 58.6^\circ \pm 2.0^\circ$ ) が得られることがわかった。従って、重力減光からスピン軌道角を決定する際は、周辺減光の信頼できるモデル化、あるいは他の独立な観測による制限のいずれかが必須であるといえる。本講演では以上の内容に加え、上記2種類の解を追観測によって区別する手段として、主星の四重極ポテンシャルによる軌道の歳差運動の検出可能性も議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P238a 弱電離惑星大気中における磁気流体波動による質量放出および大気構造

田中佑希, 鈴木建, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

現在までに数多くの太陽系外惑星が発見されており、その中には、中心星に極めて近い軌道を持つ巨大ガス惑星、いわゆるホットジュピターと呼ばれるものも多く存在していることが分かっている。系外惑星の発見手法の一つであるトランジット法からは、惑星の軌道周期や半径だけではなく、惑星の大気組成や大気構造に関する情報を得る事も出来、ホットジュピターの大気に関する研究は近年劇的に発展している。例として、紫外線領域でのトランジット観測からは、ホットジュピターが大きく膨張した高温の超高層大気を持っている事や、大量の質量放出が発生している事を示唆する結果が得られている。

我々はこれまで磁気流体計算を用いて、惑星表面で励起される磁気流体波動によってガス惑星からの質量放出が駆動され得る事を示して来た。これは、磁気流体波動が大気中を伝播し、上空でエネルギーが散逸することによってガス流を駆動するというメカニズムである。また、この仕組みによって高層大気が数万 K にまで加熱される。

しかし現実には、磁気流体波動は磁気拡散の影響によって減衰されるため、惑星大気中のような弱電離環境下では非理想的 MHD の効果が無視出来なくなることが考えられる。そこで、これまでの計算に電離率と磁気拡散率の計算を取り入れて計算を行った。本講演では、弱電離環境である惑星大気中での磁気流体波動の振る舞いと、それが質量放出や大気構造に与える影響について議論する。弱電離大気中では磁場の拡散によって磁気流体波動の効果が弱められるものの、依然としてガス惑星大気 of 構造を考える上では重要である事が分かった。また、本計算に用いられている低温環境でのガス惑星からの輻射冷却の取り扱いについても合わせて議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【Q. 星間現象】

### 3月19日(木)午後(13:30-15:30) [C会場]

Q01a	13:30	チャンドラ衛星による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の長期モニタリング観測 荒川真範(立教大学)
Q02a	13:42	超新星残骸 Cassiopeia A の鉄輝線強度の変動の発見 佐藤寿紀(首都大学東京)
Q03a	13:54	長周期バルサー 1E 161348-5055 を伴う超新星残骸 RCW 103 の XMM-Newton による詳細解析 古田 祿大(東京大学)
Q04a	14:06	すざく衛星による超新星残骸 Kes17 の元素組成と電離状態の測定 内田裕之(京都大学)
Q05a	14:18	Chandra 衛星による新星残骸 GK Per の X 線時間発展の観測 武井 大(理化学研究所)
Q06a	14:30	「すざく」を用いた大マゼラン雲内超新星残骸 B0532-675 の元素組成の決定 中谷創平(埼玉大学)
Q07a	14:42	「すざく」衛星による X 線背景放射観測を用いた keV 領域における暗黒物質の探査 関谷典央(宇宙航空研究開発機構)
Q08b	14:54	すざくによる超新星残骸 G272.2-3.2 の観測 上司文善(大阪大学)
Q09c		天の川銀河拡散 X 線放射の arcmin スケールでの空間的揺らぎの測定 内山秀樹(静岡大学)

### 3月20日(金)午前(09:30-11:30) [C会場]

Q10a	09:30	部分電離プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波の 3 次元シミュレーション 大平 豊(青山学院大学)
Q11a	09:42	高マッハ数の準平行衝撃波における粒子の加速過程 加藤恒彦(国立天文台)
Q12a	09:54	非一様媒質を伝播する超新星残骸衝撃波での宇宙線生成効率について 霜田治朗(青山学院大学)
Q13a	10:06	高マッハ数衝撃波における磁気リコネクション誘発と電子加速 松本洋介(千葉大学)
Q14a	10:18	フェルミバブルにおける乱流加速と放射 佐々木健斗(東京大学)
Q15a	10:30	加熱・冷却を考慮した銀河系中心部分分子雲シミュレーション 栗原 理(茨城大学)
Q16a	10:42	Radio Filaments Formed by Parker Instability in Galactic Center Region Chih-Han Peng (Chiba Univ.)
Q17b	10:54	レーザー実験による磁化プラズマ中における Richtmyer-Meshkov 不安定 佐野孝好(大阪大学)
Q18b	10:54	ジェットと星間ガス相互作用によって形成される分子雲形状の星間ガス分布依存性 朝比奈雄太(千葉大学)
Q19c		銀河系ハローにおける圧力平衡に関する再考察 釜谷秀幸(防衛大学校)

(次頁に続く)

## 【Q. 星間現象】

### 3月20日(金)午後(13:30-15:30) [C会場]

Q20a	13:30	「あかり」遠赤外線拡散光全天マッピング XIII (画像公開) 土井靖生 (東京大学)
Q21a	13:42	近赤外線高分散分光器 WINERED による DIB サーベイ: DIB の新検出とその性質 濱野哲史 (東京大学)
Q22a	13:54	ISS「きぼう」日本実験棟 ExHAM を利用したダストの宇宙曝露実験計画 左近 樹 (東京大学)
Q23c		多環芳香族炭化水素と水素原子の反応メカニズム 福澄孝博 (北海道大学)
Q24c		DIB の変動に対するキャリア周辺環境の影響 三澤 透 (信州大学)
Q25a	14:06	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: M 17 Cloud A における分子雲フィラメントの解析 西村 淳 (国立天文台)
Q26a	14:18	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: W51 領域 藤田真司 (筑波大学)
Q27a	14:30	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 分子雲における熱的不安定性による分子ガスのシェル状構造の考察 津田裕也 (明星大学)
Q28a	14:42	NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 銀河系外縁部 松尾光洋 (鹿児島大学)
Q29a	14:54	CO 輝線を用いた Spitzer Bubble サーベイプロジェクト 1:NANTEN2、大阪府立大 1.85m、Mopra、ASTE による観測の全体像 長谷川敬亮 (名古屋大学)
Q30b	15:06	超新星残骸 G318.05+0.09 における特異な CO 分子の放射の検出 森 珠実 (東京大学)
Q31b	15:06	銀河系中心領域の分子雲における SiO 分子の増加 上原顕太 (東京大学)
Q32b	15:06	Formation Mechanisms of HC <sub>5</sub> N in TMC-1 as Studied by <sup>13</sup> C Isotopic Fractionation Kotomi Taniguchi (Toho Univ., Nobeyama Radio Observatory)

### 3月21日(土)午前(09:30-11:30) [C会場]

Q33a	09:30	大マゼラン雲の分子雲に帯する 3 mm 帯スペクトラルラインサーベイ II 西村優里 (東京大学)
Q34a	09:42	ALMA によるスーパージャイアントシェル LMC4 内部の HII 領域、N55 に付随する分子雲の観測 原田 遼平 (大阪府立大学)
Q35a	09:54	Mopra/ASTE による超新星残骸 N132D の観測 佐野栄俊 (名古屋大学)
Q36a	10:06	高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 の空間速度構造 岡 朋治 (慶應義塾大学)
Q37a	10:18	銀河面における星間水素の定量 1: 銀河面全体の解析 漆原宏亮 (名古屋大学)
Q38a	10:30	銀河面における星間水素の定量 2: 高分解能の解析 山本宏昭 (名古屋大学)
Q39a	10:42	21cm 線強度とダスト光学的厚みの相関関係に基づく中性水素原子の定量 早川貴敬 (名古屋大学)
Q40a	10:54	分子雲領域における星間水素の定量 岡本竜治 (名古屋大学)
Q41a	11:06	中性水素原子ガス速度構造の詳細解析から探る星間物質の進化 服部 桃 (名古屋大学)

Q01a            **チャンドラ衛星による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の長期モニタリング観測**

荒川真範、辻直美、内山泰伸 (立教大学)

超新星残骸は銀河宇宙線の加速源として最有力候補であり、その多波長観測は宇宙における粒子加速現象の理解を進める上で大きな役割を果たしている。超新星残骸 RX J1713.7-3946 は非熱的 X 線で非常に明るく、それに伴って強い TeV ガンマ線が検出されており、ガンマ線の放射機構が議論的的となってきた。非熱的 X 線が強い一方で、熱的 X 線が検出されないことも注目されている超新星残骸である。視直径が約 1 度と大きく、チャンドラ衛星による観測で年スケールでの強度変動も確認されているため、粒子加速や磁場の空間的分布、およびそれらの時間変動を研究するうえで重要な天体である。

我々はチャンドラ衛星によって RX J1713.7-3946 の北西領域を 2005-2011 年にわたって 5 度の観測を行った。総観測時間は約 207 ksec に達し、暗い領域においても統計が良い解析を行うことが可能になった。そこで、我々は RX J1713.7-3946 北西領域をそれぞれの観測において 1000 以上の領域に分け、系統的なスペクトル解析を行った。本講演では、熱的 X 線の探査、星間吸収量や光子指数といったスペクトルパラメータの詳細な空間分布およびそれらの時間発展について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q02a 超新星残骸 Cassiopeia A の鉄輝線強度の変動の発見

佐藤寿紀 (首都大)、前田良知 (ISAS)、馬場彩 (青山学院大)、寺田幸功 (埼玉大)、深澤泰司 (広島大)、他 the Cassiopeia A team

Cassiopeia A は銀河系に属する若い (年齢  $\sim 330$  年) 超新星残骸 (SNR) であり、これまでに X 線帯域でいくつかの時間変動が発見されてきた。その起源については、主に SNR 内で加速された宇宙線電子からのシンクロトロン放射 (非熱的 X 線放射) であると考えられている (例 : Uchiyama et al. 2007, Patnaude et al. 2011)。Patnaude et al (2011) では、4.2-6.0 keV 帯域の X 線連続成分が約 10 年で一様な減光を示している事が発見されており、これは衝撃波が減速した事で、衝撃波面の宇宙線電子がエネルギーを失っている様をとらえていると結論づけられている。しかしながら、この帯域の X 線放射の半分程度は熱的 X 線放射であると考えられており (Helder et al. 2008)、すべての要因を非熱的 X 線放射に押し込めるのは難しい。そこで我々は、このエネルギー帯域より高い位置に存在する ( $\sim 6.6$  keV) 鉄輝線の時間変動を調べる事で、高温の熱的成分の時間変動の可能性を追った。

Cassiopeia A は、2000 年から 2013 年の間に *Suzaku* 衛星、*Chandra* 衛星によって複数回観測されている。我々はそのアーカイブデータを用いる事で、4.2-6.0 keV 帯域と同時に鉄輝線の時間変動を調査した。結果として、衛星間で誤差はあるものの 4.2-6.0 keV では  $\sim 0.6-1.4$  %  $\text{yr}^{-1}$ 、鉄輝線では  $\sim 0.6-1.8$  %  $\text{yr}^{-1}$  とどちらの成分にも有意な減光がある事を示した。鉄輝線の時間変動は、この程度の年齢の SNR では初めての発見である。また、我々は熱的放射、非熱的放射がそれぞれ支配的と思われる領域に分けて解析することで、これらの減光は熱的放射が卓越している領域で大きいことも発見した。これは、4.2-6.0 keV 放射の減光の主な成分は熱的放射に起因している可能性を示唆している。本講演では、これらの解析における詳細と、この結果の解釈を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q03a 長周期パルサー 1E 161348-5055 を伴う超新星残骸 RCW 103 の XMM-Newton による詳細解析

古田祿大, 中野俊男, 村上浩章, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (東大理, 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。2005 年の XMM-Newton による観測で, パルサーの X 線放射には 6.67 時間 [2] の周期変動が見つかり, 2000 歳という SNR 年齢を考えるとこの周期は非常に長く, 特異な点源であるといえる。我々は SNR にも何か特異な性質が見られるか調べるため, 2009 年の「すざく」観測データを解析し, 親星の質量  $\sim 18M_{\odot}$ , 爆発のエネルギー  $5 \times 10^{50}$  erg と推定した。パルサーは特異であるが, 親星の質量, 爆発エネルギー, ejecta の元素アバUNDANS はいずれも典型的な重力崩壊型で, SNR には目立った特異性が見られなかった [3, 4]。

「すざく」での観測は SNR の北半分しか覆えていなかったため, SNR 全体を観測している XMM-Newton の公開データの解析を行った。「すざく」と同じ北半分の領域について, MOS 検出器で得られたデータを解析したところ, SNR のスペクトルは電離非平衡プラズマモデルを使って, 温度  $\sim 0.3$  keV と  $\sim 0.6$  keV の二成分で再現でき, これは「すざく」で得られた結果と同様であった。さらに, SNR 全体を扇形状に 8 つの領域に分割して解析したところ, プラズマは弱い電離非平衡状態にあり, 領域によって輝度や吸収, 温度にばらつきが見られた。特に, 分子雲と衝突し明るく輝いている SNR の南側 [5] では, 北側に比べ輝度に最大で約 7 倍, プラズマの二温度成分の強度比に最大で約 3 倍の違いがあることが分かった。

[1] Carter, L. M.+1997, PASP, **109**, 990 [2] De Luca, A.+2006, Science, **313**, 814

[3] 中野+2013 秋年会 K01a [4] 古田+2014 秋年会 J134a [5] Paron, S. A.+2006, PASA, **23**, 69

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q04a すざく衛星による超新星残骸 Kes17 の元素組成と電離状態の測定

内田裕之, 鷲野遼作, 小山勝二, 鶴剛, 田中孝明, 信川正順, 信川久実子, 高田明寛, 小池貴之 (京都大学)

我々は X 線天文衛星「すざく」を用いて銀河系内の超新星残骸 (SNR) Kes17 の長時間露出観測を行った。Kes17 は 1970 年に電波によって発見された比較的古い SNR である (Shaver & Goss 1970)。多波長による先行研究 (e.g., Combi et al. 2010) からは Kes17 の周辺環境や、その形態が電波でシェル状 / X 線で中心集中した Mixed-Morphology (MM) 型の特徴を示すことなどがわかっている。

今回の X 線観測では、高い精度で Kes17 のプラズマの電離状態やアバundanceを評価するために、バックグラウンドを正確にモデル化して可能な限り統計を失わない解析を行った。その結果、この天体からは初めてとなる Ar と Ca の K 殻輝線の検出に成功した。それらのアバundance比から Kes17 の起源は大質量星の重力崩壊による可能性が高いことがわかった。さらに重要な結果として、Kes17 のプラズマが部分的に過電離状態にある兆候を得た。X 線天文衛星すざくを用いた近年の観測により、我々は MM 型 SNR から過電離状態にあるプラズマを次々に発見している (e.g., Yamaguchi et al. 2009)。過電離状態のプラズマにおいては電離過程より再結合過程が優勢であり、その起源を中性状態から電離平衡に至るとする標準的な SNR 進化理論で説明することは難しい。こうした特異な SNR の進化を理解するためには、多くの過電離 SNR を詳細解析し比較研究していく必要がある。Kes17 が部分的に過電離状態にあるとする今回の発見は、こうした SNR の形成要因を絞り込む上で大きな手掛かりを与えると考えられる。本講演では解析の詳細を報告し、Kes17 の起源と付随する過電離プラズマの形成過程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](#)

## Q05a Chandra 衛星による新星残骸 GK Per の X 線時間発展の観測

武井大 (RIKEN/SPring-8), Jeremy J. Drake(SAO), 山口弘悦 (NASA/GSFC), P. Slane(SAO), 内山泰伸 (立教大学), 勝田哲 (JAXA/ISAS)

超新星残骸は極めて重要な天体現象である。しかし、規模が大きいため進化のタイムスケールが長く、個々の天体における状態の変化を観測で追従するのが難しい。そこで我々は、「新星」残骸に着目した。新星は超新星に比べて爆発時のエネルギーや飛び散るガスの量が桁で少ないため、その残骸は相対的に星間物質の影響を受けやすく、急速な進化を遂げるはずである。超新星残骸との類似性からみても、「新星」残骸は星間現象の進化過程を調べるための貴重なサンプルと成りうる。

本講演では、ペルセウス座 GK 新星の残骸から放射される X 線の時間発展について報告する (Takei et al. submitted.)。同天体は約 100 年ほど前に新星爆発を起こし、現時点でその残骸成分は直径で約 1 分角にまで広がっている。X 線の残骸は、ROSAT 衛星で 1996 年に発見され (Balman and Ögelman 1999)、Chandra 衛星で 2000 年に詳細な輝度分布が確認された (Balman 2005)。我々は、Chandra 衛星の ACIS 検出器で 2013 年に 2 回目の観測を行った。結果、13 年間で残骸の強度が 0.5–1.2 keV の帯域で約 30–40% になった事がわかった。残骸は 1–2 秒角ほど広がり、天体までの距離を考慮して外縁部の速度を約 300 km/s と見積もる事が出来た。X 線のスペクトルは非平衡プラズマ (NEI) モデルと吸収により説明が可能で、統計およびエネルギー分解能の不足により減光の直接的な原因は特定できなかった。残骸を領域ごとに区切り強度変化を比較すると、暗い所の方が減光率が高い事がわかった。さらに、残骸を球対称と仮定して観測結果とセドフ解 (Sedov 1959) を比較すると、放射冷却は有意に効かないと予想される。以上より、減光は残骸の拡散による影響と考えるのが妥当という結論を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q06a 「すざく」を用いた大マゼラン雲内超新星残骸 B0532-675 の元素組成の決定

中谷創平, 武田佐和子 (埼玉大学), 馬場彩 (青山学院大学), 寺田幸功, 田代信 (埼玉大学)

数百万度という高温のプラズマからなる超新星残骸 (SNR) は重元素の合成や星間物質の組成の決定、さらに宇宙の化学進化に関して重要な役割を担っている。そのため、これまでに多くの SNR が観測されてきたが、星間物質による吸収の影響に加え、天体までの距離が不明瞭であるためにプラズマの状態を正確に決定するのは容易ではない。大マゼラン雲 (LMC) は銀河系からの距離が 48 kpc の伴銀河であり、銀河系と Face-on の位置にある。そのため、銀河による星間吸収が少なく、プラズマの組成を正確に決定するのに適している。B0532-675 は LMC 内でも比較的星形成の活発ではない領域に存在する SNR である。B0532-675 は古い SNR であると考えられているため、プラズマはほとんどが掃き集められた星間物質であることが予想される。したがって、この SNR のプラズマの元素組成を見ることで、LMC の銀河初期の組成がわかるのではないかと期待される。そこで、我々は低バックグラウンド観測が可能な「すざく」XIS のデータを用いて、SNR B0532-675 の解析を行った。解析の結果、B0532-675 から 0.2 - 3 keV の領域に X 線の放射の存在が確認された。我々は、その放射スペクトルを非平衡電離プラズマモデルでフィッティングすることで、プラズマの O, Ne, Mg, Si, Fe の元素組成比を決定し、さらにプラズマ温度が約 0.5 keV であることを突き止めた。本講演では、この解析結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 「すざく」衛星による X 線背景放射観測を用いた keV 領域における暗黒物質の探査

関谷典央、山崎典子、満田和久 (ISAS/JAXA)

宇宙の観測からは暗黒物質の存在が要求され、その量や分布については明確な制限が得られている。一方で、その候補となる物質としては素粒子標準模型を超えた WIMP や ステライルニュートリノ等が挙げられているが、決定的なものは未だない。それらの中には、崩壊等により X 線領域で輝線放射をするものもありうるために、重力源方向の観測、あるいはバックグラウンド放射観測から非バリオン物質起源の輝線探査が行われ、いくつかの検出報告もある。我々は「すざく」衛星による約 200 の X 線背景放射観測データをスタックして用いることで、天の川銀河に付随する暗黒物質からの輝線を探査した。この方法は、銀河団等の観測を用いる場合に比べて暗黒物質の柱密度 (輝線強度) が小さくなるものの、バックグラウンドとなるバリオン物質による X 線放射を最小にすることができる。また、非 X 線バックグラウンドがこれまでの X 線観測衛星の中で最も低く安定で、広がった放射に対する輝線感度がよい「すざく」を用いることで、keV 領域の輝線探査としては、これまでで最も感度が高い方法となりうる。解析の結果、1 – 7 keV バンドには  $3\sigma$  以上の有意度で輝線検出をすることはできなかったが、現在のところ最も厳しい輝線強度の上限値を与えることができた。本年会ではその詳細な解析内容について講演する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q08b すざくによる超新星残骸 G272.2-3.2 の観測

上司文善 (大阪大), 小山勝二 (京都大, 大阪大), 常深博、林田清、中嶋大 (大阪大), 森浩二 (宮崎大), 勝田哲 (ISAS/JAXA), 内田裕之 (京都大)

G272.2-3.2 は年齢 3600-8700 年ほどの Ia 型超新星残骸である。この天体は直径 15.2 分角の球対称な形状を持ち、熱的な X 線放射が中心集中するため thermal composite 型に分類される。ただし、シェル構造は X 線で未発見である。Chandra と XMM-Newton 衛星による観測では、Si や S、Fe などの組成比は中心に向かうほど高くなることが測定されている。よって、G272.2-3.2 は中心部の爆発噴出物とそれを取り巻く星間物質由来の 2 成分のプラズマから成ると考えられる。

今回、我々はすざく衛星による G272.2-3.2 の 130 ksec に及ぶ長時間観測データを解析した。すざくの観測は既に Sezer & Gök (2012) で報告されているが、バックグラウンドの取り扱いに課題がある。我々は超新星残骸周辺のスペクトルから適切なバックグラウンドのモデルを構築し、それを元に G272.2-3.2 のスペクトルを解析した。その結果、これまで報告のない Ar と Ca を測定することに成功した。また、爆発噴出物と星間物質をスペクトルから初めて切り分け、それぞれ電子温度 0.65 keV の電離非平衡プラズマと 0.2 keV の電離平衡プラズマであることが分かった。前述の Ar と Ca は爆発噴出物由来で、その組成比は Ia 型を支持する。領域別解析の結果、爆発噴出物は球状、星間物質プラズマはシェル状に分布することが分かった。さらに、爆発噴出物内では、内側から Fe、Si-S、Ne-Mg の順に分布し、玉葱状の構造が保たれている。本発表ではこれらの研究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](#)

## Q09c 天の川銀河拡散 X 線放射の arcmin スケールでの空間的揺らぎの測定

内山秀樹 (静岡大学 教育学部)

近年、天の川銀河拡散 X 線放射 (GDXE) の degree ( $\sim$ 数千光年) スケールでの空間依存性が、「すざく」衛星アーカイブデータを用いて研究されてきた。これらの研究により GDXE の、星質量で規格化した高階電離鉄輝線の放射率やプラズマの温度構造が銀河中心と銀河面で異なることが明らかになった (Yamauchi+09, Uchiyama+11,13)。これは GDXE の起源となる天体の種族が領域毎に異なることを強く示唆する。このように degree スケールでの GDXE の空間依存性は、その起源解明に迫る鍵となっている。

一方、arcmin( $\sim$ 数光年)スケールの構造、すなわち、強度の空間的な揺らぎは、GDXE の基本的な観測量であるにもかかわらず、これまで詳細な研究がなされていない。GDXE の起源が暗いコンパクトな X 線天体 (点源) の集まりなら、GDXE の揺らぎは点源の空間的な存在数のポアソン揺らぎに起因する。Chandra の観測 (Revnivtsev+09) から GDXE を構成する点源の存在数を仮定すると、arcmin スケールの空間的揺らぎのオーターは、 $\sim$ 数%と非常に小さいと予想される。ゆえに、精度よく GDXE 強度の空間的揺らぎの大きさ、あるいはその上限を決める事は、点源起源説の良い検証となる。

本研究では、「すざく」による銀河面領域 ( $l = 19^{\circ}.6, b = 0^{\circ}.0$ ) の長時間 (exposure 170 ks) 観測データを用い、「すざく」の視野 (約  $18'$  角) を  $2'.8$  角のセルに分割し、各セルの X 線強度を測定した。非 X 線バックグラウンドと宇宙背景 X 線放射の点源の寄与を差し引いて、これらセルの標準偏差を求めた。結果、2–8 keV の強度では、光子統計の誤差  $1\sigma \sim 8\%$  を超える揺らぎは検出されなかった。本講演では、解析の詳細、および、この揺らぎの上限値が GDXE の点源起源説に及ぼす制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10a 部分電離プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波の3次元シミュレーション

大平豊 (青山学院大学)

超新星残骸では、星間ガスを伝搬する無衝突衝撃波が存在する。その無衝突衝撃波で星間ガスは加熱され、ガスのごく一部が宇宙線へと加速されると考えられている。しかし、その無衝突衝撃波での散逸過程や、宇宙線加速過程、衝撃波構造はよくわかっていない。

これまでは、星間ガスを完全電離プラズマと仮定して研究が行われていた。しかし、星間ガスは一般に部分電離状態である。実際にいくつかの超新星残骸からは、水素原子が放射する H $\gamma$  輝線も観測されている。

本講演では、部分電離プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波を調べるために行った、電離過程を考慮した3次元ハイブリッド粒子シミュレーションの結果について報告する。水素原子の電離過程と、荷電粒子の運動方程式、マクスウェル方程式を同時に計算する。

空間2次元の系では、磁力線に垂直な方向の荷電粒子の拡散を正確に追う事はできない。空間2次元と空間3次元で計算結果がどう変わるかなど報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q11a 高マッハ数の準平行衝撃波における粒子の加速過程

加藤恒彦 (国立天文台)

宇宙空間は高温で希薄なプラズマに満ちている。このようなプラズマ中では、荷電粒子間のクーロン衝突よりも電磁場が関係した集団現象がプラズマのダイナミクスを支配し、無衝突プラズマと呼ばれる。無衝突プラズマ中を伝播する衝撃波は無衝突衝撃波と呼ばれ、地球磁気圏の衝撃波や惑星間空間の衝撃波、超新星残骸、ガンマ線バーストの衝撃波、活動銀河のジェット、パルサー風など、宇宙のさまざまな現象に付随して発生すると考えられている。無衝突衝撃波は高エネルギー粒子を伴うことが多く、衝撃波において粒子加速機構が働いていると考えられている。

超新星残骸の衝撃波は Knee エネルギー (約  $10^{15}$  eV) までの宇宙線の起源と考えられているが、観測される宇宙線のエネルギー分布が示すように、衝撃波での粒子加速機構は Power-law 的なエネルギー分布を作り出すことができる機構であることが期待される。近年のハイブリッド法を用いたシミュレーションにより、衝撃波面法線と背景磁場の向きが平行に近い準平行衝撃波において、Power-law のエネルギー分布を持つ高エネルギー陽子を作り出す粒子加速機構が働くことが実際に示されてきた。前々回の発表 (2014 年春季年会 Q40a) では PIC シミュレーションで準平行衝撃波の計算を行い、陽子とともに電子も衝撃波で加速されることを示した。

今回は、初期段階の粒子加速過程や、衝撃波の一往復における粒子のエネルギー増加率および上流・下流の滞在時間、衝撃波上流における電子の加熱と加速、などについて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](#)

Q12a 非一様媒質を伝播する超新星残骸衝撃波での宇宙線生成効率について

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)、J. Vink(GRAPPA)

我々は3次元磁気流体シミュレーションを用いて、超新星残骸(SNR)での $H\alpha$ 輝線の固有運動と衝撃波接続条件から見積もられる宇宙線(CR)の生成効率が、実際より大きく見積もられることを明らかにした。

CRの生成現場であると考えられているSNRでは、衝撃波上流の流体の運動エネルギーのうちCRの生成に分配される割合が議論されてきた。これは、 $H\alpha$ 輝線やX線シンクロトロン放射の固有運動の観測から衝撃波速度を測定し、衝撃波接続条件によって下流の熱エネルギーを見積り、これと独立な方法によって測定した下流の温度とを比較することで見積もられてきた。それによるとCRの生成には上流の流体の運動エネルギーの50%以上が使われていることになる(e.g., Helder et al. 2009)。

最近の多次元磁気流体シミュレーションによって、観測と理論的研究から示唆されている星間媒質の密度揺らぎによってSNRの衝撃波面が波打ち、ほとんどの領域で斜め衝撃波となり下流で強い磁気乱流が駆動することが示されている(Inoue et al. 2009, 2012)。斜め衝撃波の接続条件によると、下流の温度は衝撃波速度の波面に垂直な成分で与えられる。これに対して固有運動速度は、観測者視線方向に垂直な衝撃波速度成分である。よって、固有運動と衝撃波の接続条件から見積もられる下流の温度は、実際の温度と異なる可能性がある。これを確認するため、3次元磁気流体シミュレーションのデータから $H\alpha$ 輝線の放射イメージを計算し、固有運動を擬似的に観測した。その結果、CRの生成を考慮していないにも関わらず、見かけのCRの生成効率が10~40%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](#)

Q13a 高マッハ数衝撃波における磁気リコネクション誘発と電子加速

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

荷電粒子の加速機構は天体現象のみならず、宇宙・実験室プラズマにおいても重要な、普遍的課題である。とりわけ、超新星残骸衝撃波や太陽フレアなどの X 線観測などによって電子が相対論エネルギーまで加速されている証拠が多く得られているため、無衝突衝撃波・磁気リコネクションがプラズマ加熱・加速機構の基本的なプロセスとして知られている。しかし、電子の加速メカニズムは理論的に決着のついていない天体プラズマ物理学に残された大きな問題であると言える。

我々が高マッハ数衝撃波の多次元 PIC シミュレーションを行った結果、アルヴェンマッハ数が 40 を越える強い衝撃波の下では、イオンワイベル不安定を介した乱流リコネクションが卓越することが明らかになった。衝撃波遷移-下流領域のあちこちに発生するリコネクションジェットや磁気島と相互作用することにより、上流電子の一部は 1 次フェルミ加速のように弾性衝突を繰り返しながら、エネルギーを獲得していく様子が得られた。その結果、衝撃波下流において非熱的な相対論的エネルギーを持つエネルギースペクトル成分が形成される。本発表では、これら加速メカニズム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](#)

## Q14a フェルミバブルにおける乱流加速と放射

佐々木健斗、浅野勝晃、寺澤敏夫 (東京大学宇宙線研究所)

Fermi-LAT 衛星による 1 GeV 以上のガンマ線領域での観測データを分析した結果、我々の天の川銀河の中心において、銀河面から南北約  $50^\circ$  ( $\sim \pm 10$  kpc) に渡って広がる「フェルミバブル」と呼ばれる巨大な双極構造が存在することが明らかになった。フェルミバブルの特徴としては、境界付近で急激に明るさが変化すること、全体に一律な表面輝度を持つこと、WMAP・Planck 衛星での観測よりマイクロ波領域において対応する巨大構造が存在することが挙げられる。フェルミバブルからのガンマ線放射を説明する機構としては、加速された陽子が生成する  $\pi^0$  の崩壊時に放つガンマ線を起源とする「ハドロンモデル」や、加速された電子が周囲の光子を逆コンプトン散乱によって叩き上げてガンマ線を放つとする「レプトンモデル」などが提唱されているものの、特徴を完全に再現するには至っていない。フェルミバブルの特徴を上手く再現する放射モデルとしては、衝撃波面からの距離に応じて強度の変化する乱流を考え、その乱流によって各位置で電子の加速を計算し、逆コンプトン散乱によるガンマ線放射を考える P.Mertsch らのモデルが存在する。しかし、Mertsch らの研究では加速領域から逃げ出した電子の扱いや、電子の位置が空間拡散によって時間変化していく様子について、十分な考察がなされていなかった。そこで本研究では、Mertsch らのモデルを発展させて、電子の衝撃波からの距離が時間変化することや加速領域から逃げ出した電子も考慮に入れた上で、位置によって強度の変化する乱流による加速を計算し、フェルミバブルからの放射とその特徴を再現することを考えた。その結果、時間発展を考慮すると先行研究のモデルではフェルミバブルの性質の再現が困難であること、及び escape した粒子からの放射を考慮に入れることでフェルミバブルの性質の再現が可能であるという結果を得た。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## Q15a 加熱・冷却を考慮した銀河系中心部分子雲シミュレーション

栗原理, 野澤恵 (茨城大学), 高橋邦生 (海洋研究開発機構)

銀河系中心部で特徴的なスケール (300 - 500 pc) を持つ分子雲ループが発見された (Fukui et al. 2006)。この分子雲ループは観測的な特徴から Parker 不安定性で説明できると考えられている。

Takahashi et al. (2009) では銀河円盤の温度構造を考慮した 3 温度での局所的 2 次元 MHD シミュレーションによって、ループに沿って分子雲に相当する top heavy な構造が見られることなどが示されている。しかし、断熱の計算であり、低温高密度な分子雲を形成するために冷却効果を取り入れる必要性を述べている。

本研究では、星間ガスの加熱・冷却と熱伝導を考慮した Parker 不安定性の 2 次元 MHD シミュレーションを行った。初期の温度分布に注目し、温度分布が熱不安定に対して安定平衡な場合と不安定平衡な場合について計算した。その結果、安定平衡な場合は先行研究と同様の結果が得られた。不安定平衡な場合はループに沿った速度勾配も大きくなり、熱不安定性によって銀河面に垂直で低温高密度なスパーク構造が上空まで成長した。Fujishita et al. (2009) で見積もられた HI protrusion の質量とシミュレーションによって得られたスパーク構造の質量を比較すると、HI protrusion は  $1.5 \times 10^4 M_{\odot}$ 、スパークは  $1.6 \times 10^4 M_{\odot}$  となり HI protrusion は低温高密度のスパーク構造で説明できる可能性が高いことがわかった。講演では熱伝導や解像度の影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a      **Radio Filaments Formed by Parker Instability in Galactic Center Region**

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

We performed two dimensional numerical simulations of Parker instability taking into account the cooling and heating functions of the interstellar medium (Inoue et al. 2006). Our numerical experiment is based on the simulation code in which the HLLD Riemann solver (Miyoshi and Kusano 2005) is used to solve the MHD equations. We found that when magnetic pressure exceeds the gas pressure, long (larger than 100 pc) dense spurs are formed at the valley of magnetic field lines by Parker instability. Shock compression of the spurs formed by Parker instability triggers the cooling instability, which form, dense ( $n$  is about 100 per cubic cm) thin, vertical filaments. Such shock wave are formed at the sides of the filaments, electrons can be accelerated and form synchrotron emitting non-thermal filaments. By assuming the distribution of high energy electrons around the shock fronts, we computed the distribution of synchrotron radiation. This mechanism can explain the non-thermal radio filaments observed in Galactic Center region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q17b レーザー実験による磁化プラズマ中における Richtmyer-Meshkov 不安定

佐野孝好, 坂和洋一 (大阪大学), 蔵満康浩 (台湾国立中央大学), 森田太智 (九州大学), 藤岡慎介, Zhe Zhang, 原由希子, 近藤さらな, 松尾一樹, 坂田匠平, 小島完興, 重森啓介, 弘中陽一郎, 尾崎典雅 (大阪大学)

Richtmyer-Meshkov 不安定 (RMI) は、非一様な密度分布をしている媒質中を、衝撃波が伝播する際に発生する流体力学的不安定性である。衝撃波通過後に、界面の揺らぎが増幅し、マッシュルーム型に成長する。この不安定成長は、接触不連続面に瞬間的に発生する渦度に起因していることが特徴となっている。1960年代の発見以降、RMIは理論的にも実験的にも研究され続けている。しかしながら、磁化プラズマ中のRMIに関しては、まだほとんど調べられていない。

様々な分野においてRMIなどの界面不安定性と磁場との相互作用が、近年急速に注目を集めている。その一つが、星間プラズマである。超新星衝撃波の近傍で、局所的に非常に強い磁場が存在することが、X線衛星の観測によって明らかにされた。その強度は、平均的な星間磁場と比べて数100倍にも及んでいる。超新星衝撃波は、高エネルギー宇宙線の加速現場であると考えられており、強磁場領域の構造やその発生機構の解明は、天体物理学的に非常に興味深い問題である。その磁場増幅の原因として最も有力な機構が、超新星衝撃波に付随するRMIである (Sano et al. *Astrophys. J.* 2012; *Phys. Rev. Lett.* 2013)。

本研究では、大阪大学にある激光レーザーを用いたプラズマ実験によって、RMIと磁場の相互作用の解明に取り組んでいる。本講演では、実験方法についての詳細と現状で得られている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](#)

## Q18b ジェットと星間ガス相互作用によって形成される分子雲形状の星間ガス分布依存性

朝比奈雄太, 小川崇之, 松元亮治 (千葉大学)

我々は Westerlund2 星団方向で観測された直線状に並んだ分子雲と円弧状の分子雲の形成機構を調べるために星間ガスの加熱・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計算を実施してきた。直線状の分子雲の延長線上には TeV  $\gamma$  線源 HESS J1023-575 が存在しており、円弧状の分子雲は TeV  $\gamma$  線源を挟んだ反対側に分布している。初期に星間中性水素 (HI) ガスと温かい星間ガスが圧力平衡・熱平衡状態で接していると仮定し、境界から超音速ジェットを注入した。HI ガスはジェットの衝撃波によって加熱・圧縮されるが、密度の上昇によって冷却率も上昇するため、結果的に温度が下がりジェットの周囲に低温高密度な領域を形成した。2014 年春季年会ではジェットと半径の大きな HI 雲との相互作用による円弧状の分子雲形成、2014 年秋季年会ではジェットと小さな HI クラumpとの相互作用を計算し、形成された低温高密度なクラumpが空間的に広がった分布になることを報告した。本発表ではジェットの構造及びジェットと星間ガス相互作用によって形成される分子雲形状の星間 HI ガス分布への依存性を調べるために、HI ガスのフィリングファクターを変化させた計算結果について報告する。

ジェットの衝撃波によって熱的に不安定になった HI クラumpは冷却され低温高密度なクラumpを形成した。フィリングファクターが小さい場合は、ジェットが HI クラumpの間を伝播できるため、ジェットは枝分かれし、高密度なクラumpは空間的に広がった分布になった。フィリングファクターが大きい場合は、ジェットが HI ガスを掃き集めるため低温高密度な領域は円弧状に近づいた。また、フィリングファクターが大きくなるにつれて、高密度領域の動径方向の速度幅が大きくなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q19c 銀河系ハローにおける圧力平衡に関する再考察

釜谷秀幸 (防衛大学校)

古典的で有名な Spitzer(1956) の論文では、銀河面から離れた中性の星間雲が周囲と圧力平衡にあると看過し、高温希薄プラズマが充満している銀河ハローの存在を示唆した。その後、この圧力平衡モデルを拠り所に、希薄プラズマ中の星間物質への熱伝導の効果が勢力的に論じられることとなった。何故ならば、当時から知られていたように、この希薄プラズマの平均自由行程をクーロン散乱のみで評価すると非常に長くなり、単純な流体力学的近似による解析は正しいとは言えないからである。

そこで、多くの場合、希薄プラズマの実効的な平均自由行程を短くするため、銀河ハロー磁場の形状的不安定性が十分に成長していることを暗に仮定している。しかし、その磁場への何らかの制限を明瞭に定式化した研究は少ないように思われる。例えば、磁場強度がとても小さく、観測的に期待される以上に希薄な状況設定を許すならば、ハロー中の星間雲は霧消してしまい存在しないことになってしまう。また、星間雲表面に垂直方向の磁場成分の効果は圧力平衡への寄与としては限定されるであろう。

以上を鑑み、本研究では、銀河ハロー磁場に凍結されたプラズマが、星間雲から離脱しようとする粒子を押し返す条件を考察した。個々のハロープラズマ粒子への星間雲粒子の衝突率を考慮し、ハロープラズマ粒子の磁場への凍結が綻びない場合をシンプルにモデル化したのである。そうすると、近年の研究で要求される銀河ハロー磁場よりもやや小さくとも、星間雲粒子を押し返すことが可能であることがわかった。当日には、大域的なケースも論じる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q20a 「あかり」遠赤外線拡散光全天マッピング XIII (画像公開)

土井 靖生, 大坪 貴文 (東大総文), 瀧田 怜, 有松 亘, 川田 光伸, 松浦周二, 北村 良実, 中川 貴雄 (ISAS/JAXA), 田中 昌宏 (筑波大計算科学研究センター), 森嶋 隆裕, 服部 誠 (東北大理), 小麥 真也 (工学院大学), 他「あかり」チーム

我々は赤外線天文衛星「あかり」による赤外線の全天サーベイ観測を行った。観測波長は  $50\ \mu\text{m}$ – $180\ \mu\text{m}$  であり、これは星間ダストからの遠赤外線連続波輻射のピーク波長に当る。我々はこの波長範囲を  $65, 90, 140, 160\ \mu\text{m}$  の4つの測光バンドで観測し、遠赤外線の全天マップを作成した。2011年12月の「あかり」チームメンバーに対する最初の画像データ公開以来、我々はチームメンバーによる画像クオリティの詳細評価、及び並行してデータ解析プロセスの改良、キャリブレーション精度の向上による、データクオリティの向上を進めて来た。その結果、20%の絶対強度精度を  $\geq 6, 2, 15, 15\ [\text{MJy sr}^{-1}]$  ( $65, 90, 140, 160\ \mu\text{m}$ ) について、10%の精度を  $\geq 10, 3, 25, 26\ [\text{MJy sr}^{-1}]$  (同前) について達成し、これらの画像データを2014年12月に広く一般に対し公開したので報告する。

「あかり」遠赤外線全天画像の特徴は、IRASの空間分解能を5倍程度高めた高詳細な全天画像であること、また4つの測光バンドで遠赤外線ダスト輻射のピーク波長をカバーすることで、星間輻射場と平衡状態にあるダスト温度の正確な決定が可能となることである。これらの特徴を活かし、「あかり」遠赤外線全天画像を用い、分子雲形成から星生成に至る星間物質の柱密度分布、質量分布などを、巨大分子雲のスケール ( $\geq 100\text{pc}$ ) から、近傍星形成領域に於いては分子雲コアのスケール ( $\leq 0.1\text{pc}$ ) に至るまで、全天に亘り詳細に明らかにすることが可能となり、従って星間物質進化の研究に対する大きな進展が得られることが期待される。本講演ではあかり遠赤外線全天サーベイから期待されるサイエンスについて議論し、具体的なデータのアクセス方法について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21a 近赤外線高分散分光器 WINERED による DIB サーベイ：DIB の新検出とその性質

濱野哲史, 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), 河北秀世, 近藤荘平, 池田優二, 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), 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、星間ガスによ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。DIB は主に可視光域でのみ観測されてきたが、近年の近赤外高分散分光器の発達によって  $\lambda > 1\mu\text{m}$  の DIB の観測が可能になってきた。近赤外 DIB は、フラレーンや PAH などの巨大有機分子のイオンによる吸収線であると期待されており、その性質が注目されてきている。

われわれは、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」を用いて、100 天体以上のスペクトル取得を目標とする大規模な近赤外 DIB サーベイを推進している。WINERED の高い波長分解能 ( $R = 28,300$ ) と感度を活かす事で、DIB の包括的な探査が近赤外域では初めて可能となった。初期観測の結果、WINERED のカバーする  $0.9 - 1.35\mu\text{m}$  の波長範囲において、過去検出されていた 4 本の DIB に加えて新たに 16 本の近赤外 DIB を検出する事に成功した (Hamano et al. 2014, accepted)。また、高精度な DIB スペクトルから、その性質を詳細に調べる事も可能となった。本年会では、新たに検出された近赤外 DIB を報告するとともに、その基本的性質を可視光域の主要な DIB との比較から議論する。また、そこから示唆されるキャリア分子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](#)

Q22a ISS「きぼう」日本実験棟 ExHAM を利用したダストの宇宙曝露実験計画

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), 佐藤一輝, 島本早也佳 (東京大学), 渡辺英幸, 赤城弘樹, 佐巻義昭 (JAXA)

星周・星間空間に存在する固体微粒子 (ダスト) の起源や様々な天体現象が提示する環境下での進化を理解する事は、天の川銀河から遠方銀河に至るまで、様々な銀河進化段階に在る銀河の星間物質の素性を考察する上で極めて重要である。主として赤外線分光観測によって、星周・星間ダストの組成や熱源情報を獲得できるが、我々が実験室で扱えるダストと宇宙のダストの間の整合性は十分に取れていない。次世代赤外線衛星ミッションが解き明かすべき宇宙の物質循環の歴史についても、宇宙ダストの赤外スペクトルが物理・化学環境にどう応答するか  
の紐付け作業を観測・理論・実験の各側面から実行する事によって、その理解の深度を格段に深めることが可能となる。2014年7月に研究テーマ候補に選定され、同年11月のフライト実験準備移行審査を通過した国際宇宙ステーション (ISS) 「きぼう」日本実験棟汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取り付け機構 ExHAM を利用した研究テーマ「Quest for the Compositional identification and Chemical evolutional understanding of the Interstellar Carbonaceous Solids (略称 QCC)」は、晩期型巨星周囲で形成する始源的なダストを模擬する試料候補を実験室で合成し、それらを約1年間高度400kmのISS軌道の上に曝露、その後回収し、曝露前後での物性変化を調べる基礎研究である。本実験では、約40種の実験試料の宇宙環境曝露前後の物性変化を定量的に調査し、特に未同定赤外バンドの担い手の同定に繋がる物性変化やその変性要因の特定に迫る事を目的とする。本講演では、2015年度の軌道上曝露実験の開始に向けた準備状況と、これまでに行った地上対照実験等、最新の進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q23c 多環芳香族炭化水素と水素原子の反応メカニズム

福澄孝博, 田地川浩人 (北大院工)

多環式芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ; PAHs) は、数個 数十個程度のベンゼン環から構成される炭化水素有機化合物の総称であり、宇宙空間に存在する炭素種の 20 パーセント以上が PAHs の形をとると言われている。1996 年に南極で発見された隕石中にも存在し、宇宙における生命の起源に関連があると考えられている。PAHs の関与する反応の中で、最も単純な反応は、宇宙に多量に存在する水素原子との反応である。本研究は、密度汎関数理論計算により、多環芳香族炭化水素と水素原子の反応メカニズムを理論的に解明した。また比較のため、プロトンと PAHs との系も計算した。計算により、水素原子は PAHs のエッジ部分のみならず、面内の炭素原子にも発熱的に結合し、強い C-H 結合を生成することを見出した。また、PAHs の吸収スペクトルは、水素原子が付加することにより、近赤外領域に大きくシフトすることを理論的に予測した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q24c DIBの変動に対するキャリア周辺環境の影響

高橋一馬, 三澤透 (信州大学), Poshak Gandhi (Durham Univ)

Diffuse Interstellar Band (DIB) とは、 $\lambda = 4000\text{-}13000\text{\AA}$  の波長帯に約 600 本発見されている星間物質に起源を持つ未同定吸収線の事である。これは 1922 年の発見 (Heger et al.) 以来現在まで、ほぼ 100 年にわたって解明されていない謎である。しかし近年実験室測定との良い一致から、 $\lambda = 9577\text{\AA}, 9632\text{\AA}$  の近赤外 DIBs (DIB9577, DIB9632) については陽イオンフラレン ( $\text{C}_{60}^+$ ) が有力な原因吸収物質として挙げられている (Foing et al. 1994)。これは銀河系内の至る所で検出されているが、その強度は星間赤化と相関を持つ事が分かっている。

そこで我々はオリオン大星雲 (M42) の星形成領域内にある O 型星 HD37022 を Subaru/HDS で 3 回 (2008 年 11 月, 2010 年 2 月, 2014 年 4 月) 観測し、キャリアがフラレン ( $\text{C}_{60}^+$ ) である可能性のある DIB9577, DIB9632 についてその時間変動も含めた詳細な研究に着手した。なお、HD37022 に対してはすでに Foing & Ehrenfreund (1997) がこれらの DIBs を検出している。このように我々はこの DIBs の強度変化に対して 4 epoch のデータを有している事になる。解析の結果 2 つの DIBs はその等価幅がわずかに ( $\sim 2\sigma$ ) 変動する事が分かった。なお、過去に DIB の変動について報告した例が全くなかったわけではないが (例えば Milisavljevic et al. 2014)、いずれも対応するキャリアは未同定であったのに対して、具体的なキャリア候補 (陽イオンフラレン  $\text{C}_{60}^+$ ) が挙げられているのが本研究の強みである。DIB 変動の原因としては、フラレン生成現場の運動状態、電離状態、ガス密度、ダスト密度、あるいはそれら全ての変動が考えられる。これらを星形成領域特有の環境を考慮して考察した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q25a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト: M 17 Cloud A における分子雲フィラメントの解析**

西村淳, 梅本智文, 南谷哲宏 (NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 松尾光洋 (鹿児島大), 津田裕也 (明星大), 大橋聡史 (東大/NAOJ), 銀河面サーベイチーム

M17 Cloud A は、距離  $\sim 2.1$  kpc に位置する大質量星形成領域 M17 の北側に付随する、質量  $\sim 4 \times 10^4 M_{\odot}$ 、大きさ  $8 \text{ pc} \times 12 \text{ pc}$  の分子雲である。この領域は M17 との境界面付近で誘発的星形成が進んでいるほか、いくつかの星形成候補天体が報告されており、M17 SW を含む Cloud B ほど活発では無いものの、星形成が進行している事が知られている。我々は、NRO 銀河面サーベイプロジェクトの IR1 データ (観測輝線:  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J=1-0$ ); 有効分解能:  $\sim 19''$ ) を解析している際に、M17 Cloud A が、複数の、ツイストしたような形状のフィラメントの対から構成されている事を発見した。フィラメントの対はいずれも、分子雲の長軸に沿って伸びており、4 pc 程度の周期で交差している。個々のフィラメントの幅は 0.3-0.5 pc 程度であった。フィラメントは  $^{13}\text{CO}$  で全域に渡って顕著に見受けられた。 $^{12}\text{CO}$  は、M17 に近い側では  $^{13}\text{CO}$  に対応するようなフィラメントは見られず、 $^{13}\text{CO}$  フィラメントの周りを  $^{12}\text{CO}$  ガスが取り囲んでいる事が分かる。一方で、M17 から遠い側では、 $^{12}\text{CO}$  でもフィラメントがはっきりと見えており、その幅は  $^{13}\text{CO}$  と同程度であった。さらに、 $\text{C}^{18}\text{O}$  コアは、対となるフィラメントが交差する点や、 $^{12}\text{CO}$  に埋もれた  $^{13}\text{CO}$  フィラメントに良く付随している事が分かった。また、フィラメントは大局的には分子雲の長軸に沿った速度勾配を持つが、フィラメント上の柱密度の高い領域を囲んで局所的な勾配を持つところもある。本講演では、これら CO 観測によって分かったフィラメントの特徴についてまとめ、フィラメントの進化段階との関連に着目して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト: W51 領域**

藤田真司, 久野成夫 (筑波大学), 梅本智文, 西村淳, 南谷哲宏 (NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大学), 松尾光洋 (鹿児島大学), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大学), 亀谷和久 (東京理科大学), 大橋聡史 (東大/NAOJ), 銀河面サーベイチーム

W51 は銀河面において Sagittarius-Carina spiral arm の tangential point に位置する距離  $\sim 5.4$  kpc の巨大分子雲複合体であり (e.g., Carpenter & Sanders 1998)、W51 GMC complex (視線速度 45~65 km/s) と、HVS (High Velocity Stream、視線速度  $\sim 68$  km/s) と呼ばれる銀河面に沿った細長い棒状の雲の大きく二つから構成される。領域全体に渡って HII region や SNR が分布しており、また、GMC 同士の衝突とそれによる星形成の活発化が示唆されているなど、非常に複雑な星形成領域である。我々は、NRO 銀河面サーベイの一部としてこの領域に対し、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$  の 3 輝線同時観測を行った。本観測は高角分解能 ( $\sim 15'' \simeq 0.4$  pc) で、W51 GMC complex と HVS の全域をカバーしている。JCMT による  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(J=3-2)$  の 3 輝線 (角分解能  $\sim 15''$ ) のデータを用い、分子雲全域に渡って輝線強度比をとった結果、 $^{12}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=1-0)$  比や  $^{13}\text{CO}(J=3-2)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$  比が HVS のエッジに沿った多くの部分で特になら高くなっている傾向が見られた。さらにこのようなところでは、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  の強度分布が明瞭な境界を持っており、分子雲周辺の HII region からの影響でガスが高温・高密度となっていることが示唆される。それに対し、W51 GMC complex の方では分子雲の内部で  $^{13}\text{CO}(J=3-2)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$  比が高くなっているところはいくつか存在することがわかった。本講演ではこれらを用いた、W51 全域における分子雲の進化に関する解析結果の詳細について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 分子雲における熱的不安定性による分子ガスのシェル状構造の考察**

津田裕也, 小野寺幸子 (明星大), 祖父江義明 (東京大), 梅本智文, 西村淳, 南谷哲宏 (NAOJ), 瀧崎智佳 (上越教育大), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 松尾光洋 (鹿児島大), 大橋聡史 (東京大/NAOJ), 亀谷和久 (東京理科大), 銀河面サーベイチーム

星間現象を議論する上で、星形成の元となる分子雲の形成過程は非常に重要である。分子雲は分子ガスの収縮によって生まれるが、分子ガスは特徴的なシェル状の構造を持つことがあり、分子雲形成また星形成に密接な関係があると考えられる。NRO 銀河面サーベイプロジェクトにより銀河系の詳細な分子ガスの分布が得られ、多くのシェル状構造を見つけることができた。解析には昨シーズン (2013-2014) に観測した銀経  $12^\circ$  から  $19^\circ$ 、銀緯  $\pm 1^\circ$  の領域の  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線のマップを用い、14 平方度の領域から 49 個のシェルを目視で同定した。同定したシェル状構造の視直径は、 $5'$  から  $35'$  であり、 $10'$  以下のものが 13 個、 $10'$  から  $20'$  が 27 個、 $20'$  以上が 9 個見つかった。分子ガスのシェル状構造は HII 領域や超新星爆発が成因だと考えられ、Spitzer bubbles (SB) などと良く比較される。同定したシェルの内 20 個は SB とその位置が一致、あるいは関係性があるように見え、残りの 29 個については SB のない領域にあることがわかった。また、シェル状構造の形成シナリオとして HII 領域や超新星爆発に加え、熱的不安定性を検討した。分子雲の収縮は重力的相互作用によって引き起こされるが、この段階にいたる前の分子ガスでは熱的不安定性による収縮が起こっていることが理論的に予想されている (Sofue & Sabano 1980)。熱的に引き起こされた不安定性の中で、分子ガスがシェル状構造を持つことがあると考えられる。このように分子ガスのシェルの分布と形態の起源を熱的不安定性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](#)

## Q28a NRO 銀河面サーベイプロジェクト: 銀河系外縁部

松尾光洋, 中西裕之 (鹿児島大), 梅本智文, 南谷哲宏, 西村淳 (NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大), 久野成夫, 藤田真司 (筑波大), 津田裕也 (明星大), 亀谷和久 (東京理科大), 大橋聡史 (東大/NAOJ), 銀河面サーベイチーム

我々はNRO 銀河面サーベイプロジェクトによる銀河系外縁部領域の分子ガスサーベイを行っている。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 $^{12}\text{CO}$  ( $J = 1-0$ ),  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1-0$ ),  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J = 1-0$ )の3輝線同時観測であり、観測予定領域は銀経 $l = 198^\circ - 236^\circ$ 、銀緯 $b = -1^\circ - +1^\circ$ の銀河系第三象限である。Digel cloudといった遠方分子雲 (Digel et al. 1994) や Kiso Outer Galaxy Survey による遠方でのOB型星の発見 (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2014年5月1日から4日にかけて計32時間の観測を行った。観測領域は $(l, b) = (199^\circ - 201^\circ, 0^\circ - +1^\circ), (222^\circ - 227^\circ, -1^\circ - 0^\circ)$ の7平方度である。これらの領域はCfAサーベイ (Dame et al. 1987, 2001) でも比較的明るい領域であり、それぞれMon OB1, CMa OB1と呼ばれる巨大分子雲複合体である。データ解析の結果、 $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1-0$ )におけるr.m.sは $0.3 \text{ K km}^{-1} \text{ s}$ 程度であり、 $3\sigma$ 以上ではそれらの近傍分子ガス ( $v \sim 0 - 20 \text{ km s}^{-1}$ ) だけが検出された。この結果はCfAサーベイと一致する結果であり、これらの領域にはPerseus Arm やそれ以遠の分子ガスが存在しな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](#)

Q29a **CO 輝線を用いた Spitzer Bubble サーベイプロジェクト 1:NANTEN2、大阪府立大 1.85m、Mopra、ASTE による観測の全体像**

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), 徳田一起, 大西利和 (大阪府立大)

Spitzer bubble は主に  $8 \mu\text{m}$  で環状に輝く天体である (Churchwell et al.2006; Churchwell et al.2007)。  $8 \mu\text{m}$  の放射は大質量星からの UV による光解離領域 (PDR) をトレースしており、これはリング内部に大質量星が存在していることを示している。Spitzer bubble はこれまで中心部にある大質量星からの星風によって形成された wind blown bubble (e.g.,Castor,McCray,Weaver 1975 , Weaver et al.1977) と考えられてきたが、我々はこの天体を分子雲衝突の候補天体と考えて観測を行ってきた (2012 年秋季年会 2014 年秋季年会にて多数報告)。

我々はこれまで計 88 個の Spitzer Bubble に対して CO 輝線の観測を行った。NANTEN2 CO( $J = 1 - 0$ ) により 49 個、大阪府立大 1.85m CO( $J = 2 - 1$ ) により 11 個。Mopra CO( $J = 1 - 0$ ) では 39 個、そして ASTE  $^{12}\text{CO}$ ( $J = 3 - 2$ ) では 27 個の Spitzer Bubble を観測をした (重複あり)。観測により得られたデータを用いることで、赤外線分布との相関から Spitzer Bubble に付随する分子雲を特定できる。その視線速度から典型的な距離と大きさを見積もるとおよそ 2-5 kpc、2-10 pc 程度であった。また、異なる CO の回転準位間での輝線強度比を調べることで、分子雲の大質量星への付随を調べることができる。このことから複数の Spitzer Bubble において、重力的な束縛や星風による膨張では説明できない速度で二つの分子雲が付随していることが明らかとなりこれは分子雲衝突によるものと考えられる。

本講演ではこれまで我々が行ってきた Spitzer Bubble に対する分子雲観測の全体像について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q30b 超新星残骸 G318.05+0.09 における特異な CO 分子の放射の検出

森珠実、尾中敬、臼井文彦 (東京大学)、Aleksandra Ardaseva (University of St. Andrews)

G318.05+0.09 は Spitzer/IRAC glimpse survey で発見された extended green object と呼ばれる天体の一つとして知られる半径およそ 40 の radio-shell である。これまでの観測から複数の CH<sub>3</sub>OH、OH、そして H<sub>2</sub>O メーザーや X 線源の存在が報告されており、超新星残骸 (SNR) と複数の HII 領域からなる複雑なシステムであることが示唆されている。

本講演では、あかり衛星による G318.05+0.09 内での特異な CO 分子の放射の検出について報告する。我々は赤外線衛星あかりに搭載された近・中間赤外線カメラ (IRC) を用い、この系のある領域に存在する 4.8 μm で特に明るい光源 (以下、G1) の 2.0 から 5.5 μm にかけてのスペクトルを抽出した。スペクトルは 4.45 と 4.75 μm にそれぞれピークを持つバンド放射を示し、その形状は視線方向速度  $-4500\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  で動く温度 1800K の CO 分子の放射とよく一致した。系内の天体としては超新星爆発以外にこのような高い速度で動くガスを産み出すことは困難であり、また、H<sub>2</sub> の放射が未検出であることから、ガスの組成が通常のそれとは大きく異なることが推測される。更に、X 線や電波の観測から SNR の兆候が報告されていることや、Cassiopeia A (Cas A) でも同様の特徴を持つスペクトルが観測されていることから、G1 は SN ejecta である可能性が最も高いと考えられる。であるとすれば、G318.05+0.09 は、Cas A 以外ではじめて発見された、爆発から長い年月 ( $\sim 10^3$  年) がたった今でもなお高温の CO 分子の放射を示す希少な SNR であり、超新星爆発イベントにより形成された分子やダストが爆発の数千年後にどのような振る舞いを示すのかを探る上で重要なケーススタディの場となりうることを期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q31b 銀河系中心領域の分子雲における SiO 分子の増加

上原顕太 (東京大), 坪井昌人 (宇宙科学研究所)

銀河系中心領域には、円盤部に比べ高密度で高い温度を持った分子雲が存在していて、円盤部には見られない高密度で明るく若い大質量星団も存在している。このような大質量星団が形成されるメカニズムとして分子雲と超新星残骸との相互作用や、分子雲衝突などが考えられる。そしてこの領域には SiO と  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  の輝線比  $R_T$  が最大で  $\sim 8$  となる領域が存在していて、これらの相互作用によって生じた衝撃波の影響と推測される。これまで SiO 分子がどの程度気相で増加しているかという定量的解析は行われていなかったため、野辺山 45m 望遠鏡で観測された SgrA 領域にある 50km/s 分子雲の SiO  $J = 1 - 0$ ,  $J = 2 - 1$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J = 1 - 0$  の輝線データを用いて、RADEX コードによる LVG 解析を行い、SiO 分子のアバundanceは円盤部の衝撃波のない領域でのアバundanceに比べ  $\sim 100 - 1000$  倍増加していて、 $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  とのアバundance比が  $X(\text{SiO})/X(\text{H}^{13}\text{CO}^+) \sim 14$  である事が求められた。(2014年の秋季年会)。

今回、50km/s 分子雲だけでなく銀河系中心領域の分子雲に対して同様の解析を、mopra 22m 望遠鏡で観測された銀河系中心領域の SiO  $J = 1 - 0$ ,  $J = 2 - 1$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J = 1 - 0$  の輝線データを用いて行った。その結果、運動温度  $T_k = 60\text{K}$  を仮定すると、 $4 < R_T < 8$  となる領域での存在比が  $X(\text{SiO})/X(\text{H}^{13}\text{CO}^+) \sim 14 - 17$  という値であることが求められた。これより、銀河系中心領域においても輝線比  $R_T$  が高いところでは円盤部の衝撃波のない領域に比べ SiO のアバundanceが  $\sim 100 - 1000$  倍増加していると見積もることが出来た。

本講演では解析方法と、その結果について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32b **Formation Mechanisms of HC<sub>5</sub>N in TMC-1 as Studied by <sup>13</sup>C Isotopic Fractionation**

Kotomi Taniguchi, Hiroyuki Ozeki (Toho Univ.), Shuro Takano, Fumitaka Nakamura (NAOJ / SOKENDAI), Nami Sakai, Satoshi Yamamoto (Univ. of Tokyo), Z45 receiver group

More than 180 molecules have been detected in the interstellar medium and circumstellar shells so far, and about 40% of them are classified into carbon-chain molecules. So, it is of fundamental importance for astrochemistry to study carbon-chain molecules. Current understanding of their formation mechanisms is still far from complete. Recently, the formation mechanisms of some representative carbon-chain molecules including HC<sub>3</sub>N, which is the shortest of cyanopolyynes (HC<sub>2n+1</sub>N; n=1,2,3...), have been investigated by observing their <sup>13</sup>C isotopic fractionation.

In order to investigate possible formation mechanisms of HC<sub>5</sub>N, the second shortest of cyanopolyynes, we have carried out observations of normal species and five <sup>13</sup>C isotopologues of HC<sub>5</sub>N using the  $J = 16-15$  transition in the 42 GHz region toward the cyanopolyne peak in Taurus Molecular Cloud-1, in 2014 March and April. We used the NRO 45-m radio telescope with the Z45 receiver. We found that there is no significant difference in the abundances among the five <sup>13</sup>C isotopologues of HC<sub>5</sub>N. From these results, we discuss possible formation pathways of HC<sub>5</sub>N and propose new ones. We conclude that HC<sub>5</sub>N is not mainly formed from HC<sub>3</sub>N, which was considered as one of the most possible pathways. This means that carbon-chain molecules may not have completely systematic formation pathways even though their structures are similar.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a 大マゼラン雲の分子雲に帯する 3 mm 帯スペクトラルラインサーベイ II

西村優里 (東京大学), 下西隆 (神戸大学), 渡邊祥正, 坂井南美 (東京大学), 相川祐理 (神戸大学), 河村晶子 (国立天文台), 山本智 (東京大学)

太陽系の近傍に位置する大マゼラン雲 (Large Magellanic Cloud: LMC) は、重元素量が太陽系近傍の  $1/2 - 1/3$  程度の銀河である。昨年、この LMC にある 3 つの分子雲 (COP1, N44C, N113) に対し 3 mm 帯のラインサーベイ観測を行い、分子雲スケール (10 pc スケール) での化学組成が星形成活動の影響を顕著に受けていないことを見出した (2014 年春季年会)。これに引き続き、本年はさらに 4 つの分子雲 (NQC2, N79, N11B, N159W) を対象として追加し、同じ周波数領域のラインサーベイ観測を行った。その結果、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  に加え、CCH, HCN,  $\text{HCO}^+$ , HNC, CS, SO などの基本的な分子をそれぞれの分子雲で検出することができた。

これらの計 7 つの分子雲を比較したところ、それぞれ星形成活動や環境の異なった分子雲であるが、分子雲スケールの化学組成はやはり互いに似通っていることがわかった。また、重元素量が化学組成に与える影響を調べるため、LMC と比べて重元素の存在比が高い、我々の銀河系内の分子雲や M51 の渦状腕中の分子雲と、化学組成の比較も行った。それぞれの分子雲での  $\text{HCO}^+/\text{HCN}$ ,  $\text{HCO}^+/\text{HNC}$  の分子の存在量比は、各銀河の O/N の元素の存在量比とほぼ比例しており、HCN, HNC については、元素の存在量が分子の存在量に直接反映されていることがわかった。一方で、CCH/ $\text{HCO}^+$  の存在量比は、各銀河の C/O の元素の存在量比とは比例しておらず、重元素量の少ない LMC で、他の銀河の比から予期される値の 5 倍程度多く存在していることがわかった。これは、星形成活動の穏やかな分子雲でも見られることから、LMC では星間塵が少ないことに伴って星間減光が効きにくく、光解離・光イオン化の効果が強く現れ、CCH が効率的に生成されるためと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q34a ALMAによるスーパージャイアントシェルLMC4内部のHII領域、N55に付随する分子雲の観測

原田遼平, 森岡祐貴, 徳田一起, 大西利和 (大阪府立大学), 河村晶子, 西村淳, Erik Muller (NAOJ), 藤井浩介 (東京大学), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia; NRAO), Margaret Mexiner (STScI), Marta Sewilo (Johns Hopkins Univ.), 福井康雄 (名古屋大学)

スーパージャイアントシェル LMC 4 は LMC の中で最も大きいシェル状構造で直径が 1.5 kpc にもなる。H II 領域 N55 は LMC4 の内部に位置し、若いポピュラス星団 LH72 によって励起され、LMC4 のキャビティ内で唯一観測された巨大分子雲を伴う。過去の H I の観測から、LMC 4 は複数のシェルの重ね合わせで構成されており、N55 が付随するシェル SGS14 の形成時に LH72 の形成が誘発されたのではないかと提案されている (Olsen et al. 2001)。また、干渉計による H I の高分解能マップや、Spitzer による遠赤外線マップは、N55 方向の星間ガスが、頭がキャビティの中心に向いたヘッドテイル構造を持ち、シェルの成長の際に影響を受けたことを示唆している。

シェルが分子雲やそこでの星団形成に与える影響を調べるため、N55 に付随する分子雲を、ALMA (Cycle 1) において band 3 の  $^{13}\text{CO}(1-0)$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ ,  $\text{CS}(2-1)$  や  $\text{H}40\alpha$  輝線での高空間分解能観測を行った。 $6' \times 4'$  のモザイク観測で、同領域の分子雲をほぼすべてカバーしており、達成した空間分解能は 2.5 秒角 (0.6 pc) である。その結果、分子雲の詳細な分布や速度構造が明らかとなり、12m アレイによる  $^{13}\text{CO}(1-0)$  輝線の結果からは、質量が数百から一万太陽質量程度の分子雲・分子雲コアからなる、全体でおよそ  $3 \times 10^4 M_{\odot}$  の分子ガスが検出された ( $[\text{CO}]/[\text{H}_2]=3.2 \times 10^{-7}$  を仮定)。検出された分子雲の分布は、Spitzer 8  $\mu\text{m}$  の強度分布によく一致しており、 $^{13}\text{CO}(1-0)$  のピークでは、 $\text{CS}(2-1)$  輝線も検出された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a **Mopra/ASTE による超新星残骸 N132D の観測**

佐野栄俊, 福田達哉, 吉池智史, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 藤井浩介, 水野範和 (国立天文台), 他 NANTEN チーム

TeV ガンマ線やシンクロトロンエックス線を放射する若い超新星残骸 (SNR) は、宇宙線加速の面から注目される。我々はこれまで、上記に該当する銀河系内 SNR (RXJ1713, Vela Jr., RCW86, HESSJ1731) について星間ガスとエックス・ガンマ線放射の比較を行い、SNR 衝撃波と星間ガスの相互作用が、高エネルギー放射や宇宙線加速と深く関係していることを明らかにしてきた (e.g., Fukui et al. 2012; Sano et al. 2013, 2014)。現象の普遍性を探るためには、さらに多くの天体について、衝撃波とガスの相互作用を研究する必要がある。

N132D は大マゼラン雲に位置する重力崩壊型の SNR である。年齢 3150 年ほどと若く、エックス線帯域で非常に明るくという特徴を持つ。最近では TeV ガンマ線も検出されたことから、高いエネルギーまでの効率の良い宇宙線加速が起きているとみられる。さらに SNR 南側の巨大分子雲との相互作用が示唆されており、SNR と星間ガスの相互作用を探る上で適している。一方で、付随する星間ガスの物理状態は精確に求められておらず、高励起輝線を用いた観測も行われていなかった。

今回我々は、Mopra / ASTE による  $^{12}\text{CO}$   $J=1-0$ ,  $3-2$  輝線の OTF 観測を遂行した。結果として (1) エックス線シェルに沿った分子雲を同定し、(2) その一部で  $\text{CO } 3-2 / 1-0$  比が顕著に上昇していることを明らかにした。さらにエックス線との比較により、(3) 熱的・非熱的成分と星間ガスの間に密接な関係があることを突き止めた。

本講演では、以上の結果を踏まえ、SNR N132D における衝撃波相互作用と宇宙線電子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](#)

## Q36a 高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 の空間速度構造

岡 朋治、水野麗子、三浦昂大、竹川俊也、山田真也、田中邦彦（慶應義塾大学）

Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる銀河系の中心から数百パーセクの領域は、無数の星と高温高密度の星間物質が集中する特異な領域である。その中に多数発見された「高速度コンパクト雲 (HVCC)」は、一般に広い速度幅を有する CMZ 内においても際だって広い速度幅 ( $\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$ ) とコンパクトな空間構造 ( $d < 10 \text{ pc}$ ) を持ち、その起源は未だ解明されていない。その多くは高い励起状態を呈し、衝撃波起源の分子や膨張シェル構造を伴うものもある事から、それぞれ単発または複数の超新星爆発に伴う構造である可能性が示唆されていた。

Sgr C 領域に位置する HVCC CO-0.40-0.22 は、これまでに発見された HVCC の中でも特に速度幅が広く ( $\Delta V \sim 100 \text{ km s}^{-1}$ )、特に高い CO  $J=3-2/J=1-0$  輝線強度比を呈する事で知られている。ASTE による CO  $J=3-2$  輝線データに見られる空間速度構造は、微かな速度勾配の気配以外には特徴が無く、爆発起源に特徴的な膨張シェル構造も見られない。私たちのグループでは一昨年、Mopra 22m 望遠鏡を使用して CO-0.40-0.22 方向の 3 mm 帯ラインサーベイ観測を行った。これに基づいて抽出した当 HVCC の優良プローブ (SiO, SO, CH<sub>3</sub>OH, *c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, H<sup>13</sup>CN 等) について、昨年は NRO 45m 望遠鏡による OTF マッピング観測を行い、CO-0.40-0.22 の詳細な空間速度構造を明らかにした。

今回我々は、CO-0.40-0.22 の起源を「点状天体による分子雲の重力散乱」とする作業仮説に基づいてシミュレーションを行い、観測された分子スペクトル線の位置-速度分布の再現を試みた。その結果、SiO  $J=2-1$  輝線や HCN  $J=4-3$  輝線等の優良プローブに見られる CO-0.40-0.22 の位置-速度空間における特徴的な挙動が、 $10^5$  太陽質量の点状天体に  $(7-8) \times 10^5$  年前に 10 pc 離れた位置から速度  $10 \text{ km s}^{-1}$  で落ち込んできたガス雲として解釈出来ることが示された。この事は、CMZ 内に数多く存在する他の HVCC もまた、点状重力源による重力散乱によって生成されたものである可能性を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## Q37a 銀河面における星間水素の定量 1: 銀河面全体の解析

漆原宏亮, 岡本竜治, 鳥居和史, 早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 他 NAN-TEN2 メンバー

中性水素原子 (HI) の温度・密度の推定には、HI のスピン温度  $T_s$  と光学的厚み  $\tau_{\text{HI}}$  を求めることが必要である。しかしながら、観測から得られる HI の輝線強度は  $T_s$  と  $\tau_{\text{HI}}$  の関数であり、それらの値を一意に推定することは困難であった。我々はこれまでに天の川銀河における銀緯  $\pm 15$  度以上の様々な領域において、Planck 衛星によって得られた高精度な星間ダストのパラメータと HI ガスや分子ガスのデータを用いて、 $T_s$  と  $\tau_{\text{HI}}$  を精度よく求める手法を確立してきた (Fukui et al. 2014, ApJ, 796, 59、福井他 2014 秋季年会、山本他 2014 秋季年会など)。さらにこの解析を銀緯  $\pm 15$  度以内に拡張し、星間物質が集中している銀河面でこの解析手法がどの程度適用できるかについて調査してきた。低分解能で銀河面全体、高分解能で一部の領域と 2 種類の解析を行っており、本講演では銀河面全体の解析結果について報告する。

本解析には Planck のデータ以外に HI は LAB サーベイ (Kalberla et al. 2005)、CO は CfA のサーベイ (Dame et al. 2001)、電波連続波は WMAP の K-band (Benett et al. 2013) のデータを使用した。すべてのデータを 36 分角にスムージングし、30 分角グリッドのデータにして解析を行った。

今回の解析の結果では、領域のほぼ全域で  $\tau_{\text{HI}}$  が 1 を超える HI ガスが広がっており、特に銀緯  $\pm 2$  度以内の銀河面においては、 $\tau_{\text{HI}}$  は 3 以上である。また、 $T_s$  については、銀緯  $\pm 2$  度以内の銀河面や星形成領域などを除くと典型的に 40-100 K である。これらの結果から、HI ガスの柱密度を推定すると、光学的に薄いと仮定した場合に求められる柱密度の 2-5 倍程度になる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q38a 銀河面における星間水素の定量 2 : 高分解能の解析

山本宏昭、漆原宏亮、岡本竜治、鳥居和史、早川貴敬、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学)、他 NANTEN2 メンバー

我々は銀河系内の星間ガスの全容を明らかにするため、Planck 衛星のミリ波・サブミリ波の全天サーベイデータから導出された 353GHz の光学的厚み  $\tau_{353}$  及びダストの温度  $T_d$ 、水素原子ガス (HI)、分子ガス、及び電波連続波のデータを用いて、星間水素の定量を行っている (Fukui et al. 2014, ApJ, 796, 59、山本他 2014 年秋季年会、春季年会など)。これまでの解析はすべて銀緯  $\pm 15$  度以上の高銀緯領域のみであったが、今回新しく銀緯  $\pm 15$  度以内の銀河面にこの解析を適用し、星間水素の物理パラメータの導出を行った。低分解能で銀河面全体、高分解能で一部の領域と 2 種類の解析を行っており、本公演では高分解能の解析結果について報告する。

Planck の  $\tau_{353}$ 、 $T_d$  のデータ、及び HI は GALFA HI (Peek et al. 2011)、分子ガスは CfA サーベイ (Dame et al. 2001)、電波連続波は NVSS (Condon et al. 1998) のデータを使用した。銀経 170–190 度、銀緯  $\pm 4.75$  度の 190 平方度について、すべてのデータを 7.5 分角グリッド、分解能 9 分角にスムージングして解析を行った。

まずは高銀緯領域の広範囲の解析で得られた  $N(\text{HI})$  と  $\tau_{353}$  の変換係数 ( $N(\text{HI}) = 2.01 \times 10^{26} \times \tau_{353}$ 、早川他 2014 年春季年会) を用いて、 $\tau_{353}$  から水素の柱密度  $N(\text{H})$  を導出した。CO のデータから X factor を  $2.0 \times 10^{20} \text{ K km s}^{-1}$  (Bolatto et al. 2013) を仮定して導出した水素分子の柱密度を  $N(\text{H})$  から差し引くことで  $N(\text{HI})$  を導出した。この  $N(\text{HI})$  は光学的に薄いと仮定して導出した水素原子の柱密度に比べ全体で 3.4 倍増となった。また、導出した  $N(\text{HI})$  を用いて輻射輸送と光学的厚みの式より水素原子の光学的厚みを導出したところ、光学的に厚い HI ガスが広く分布していることを明らかにした。特に分子雲の方向で HI の光学的厚みは大きい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a **21cm 線強度とダスト光学的厚みの相関関係に基づく中性水素原子の定量**

早川貴敬, 鳥居和史, 岡本竜治, 山本宏昭, 漆原宏亮, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名大理)、他  
NANTEN2 メンバー

星間中性水素 (HI) は星間物質の最も主要な成分であり、21cm 線を用いた観測が 1950 年代から行われてきた。伝統的な解釈では HI は光学的に薄く、故に積分強度に定数を乗ずることで視線方向の柱密度が得られるとされてきた。

これに対し我々のグループは、HI は一般的に光学的に厚く、伝統的な手法では柱密度を低く見積もってしまうことを示してきた (例えば Fukui et al. 2014)。ただし、これまでに示してきた手法では、複数の観測値 (21cm 線積分強度、線幅、353GHz 光学的厚み等) が入った連立方程式を解く必要があり、21cm 線積分強度からおおよその柱密度を簡易に推定したいという要望には応えられていなかった。

本講演では、21cm 線積分強度と 353GHz ダスト光学的厚みの相関関係を用いて、積分強度から柱密度を経験的に推定する方法を提示する。冒頭で述べた伝統的な手法では係数 2 程度柱密度を低く見積もるのに対し、本手法では誤差 30%程度で推定が可能である。この手法は、ソフトウェアとして実装して web アプリケーションとして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](#)

## Q40a 分子雲領域における星間水素の定量

岡本竜治, 佐野栄俊, 桑原利尚, 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

我々は宇宙背景放射観測衛星 *Planck* の観測により導かれたダスト放射パラメタのデータと CO、H I などのガスのデータとの比較解析を進めている。

これまでの研究では、*Planck* の 353 GHz の光学的厚み ( $\tau_{353}$ ) と低温ダストの温度 ( $T_d$ )、および H I の速度積分強度 ( $W_{\text{HI}}$ ) の関係を調べることで、 $\tau_{353}$  の値から水素原子の柱密度への変換係数を導出できるようになった (岡本他 2014 年春季年会 2014 年秋季年会など)。 $\tau_{353}$  は典型的に相対誤差 10% の高精度で導出されているため、これを水素原子の柱密度のトレーサとして用いることで、星間 H I ガスの定量精度が飛躍的に向上する。またこの手法を応用し、CO 分子輝線の強度と H<sub>2</sub> 分子の柱密度の変換係数 ( $X_{\text{CO}}$  因子) も精度よく求められるようになる。これらの結果を合わせると、星間空間の水素原子 (H I ガス、H<sub>2</sub> ガス) の量をこれまでにない精度で推定することが可能となる。

本講演では、カメレオン座分子雲領域をはじめ複数の分子雲領域における H I ガスおよび H<sub>2</sub> ガスの定量の解析結果について報告し、今後の展望について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Q41a 中性水素原子ガス速度構造の詳細解析から探る星間物質の進化

服部桃, 立原研悟, 山本宏昭, 早川貴敬, 岡本竜治, 伊藤万記生, 鳥居和史, 桑原利尚, 福井康雄 (名古屋大学), 他 NANTEN2 メンバー

星形成の現場である分子雲は超音波の速度分散を持ち、その乱流エネルギーが分子雲の動的エネルギーにおいて支配的である。この乱流の起源として二相乱流モデルが提唱されており、shockにより圧縮された中性水素原子が熱的不安定を経験することにより、低温高密度でかつ複雑な微細構造が内部に作られ、そこで原子ガスから分子ガス形成も進むと考えられている (e.g. Inoue & Inutsuka 2012)。これまでに MBM 53-55 領域において、これらの微細構造によると考えられる複数の速度成分が GALFA HI 21cm 輝線に対して検出され、分子ガス形成の前兆と示唆された (立原ほか、日本天文学会 2014 年春季及び秋季年会)。そこで今回、より普遍的かつ網羅的な傾向を調べるため、新たにスペクトルのピークを自動検出するプログラムを作成し、Perseus 領域 b 蛭 HI のスペクトルを詳細に解析した。各点のスペクトルに対し Savitzky-Golay のスムージングフィルターを適用して一次及び二次微分係数を求め、 $3\sigma$  以上となるピークの数割り出した。

両領域において、Planck 衛星によるダスト連続波の光学的厚みが比較的大きく、また CO 分子輝線が検出される領域の周囲で、HI スペクトルのピークの数が多い傾向がみられた。また MBM 53-55 領域の方が Perseus 領域よりも、全体的にピークが多く、HI 輝線が複雑な速度構造を持つことがわかった。これらのことから、分子雲を取り巻く HI ガスは、熱的不安定によって分裂したと考えられる複雑な構造を持っており、雲の外縁部ではそれらが分離されて観測されたと考えられる。また、MBM 33-35 領域と Perseus 領域では、雲の進化段階が異なることも示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【R. 銀河】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [A会場]

<b>R01a</b>	13:00	近傍銀河 NGC 3079 中心領域のアンモニア分子吸収線観測 2	宮本祐介 (茨城大学)
<b>R02a</b>	13:12	Submillimeter Observations of Dense Molecular Gas in the Nearby Active Galaxies for a Robust Energy Diagnostics	泉 拓磨 (東京大学)
<b>R03a</b>	13:24	最近傍スターバースト銀河 NGC5253 における超星団の形成 I	三浦理絵 (国立天文台)
<b>R04a</b>	13:36	ALMA で探る衝突銀河 NGC3256 の分子ガスアウトフローの性質	道山知成 (総合研究大学院大学/国立天文台)
<b>R05c</b>		ASTE, 野辺山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)
<b>R06a</b>	13:48	ALMA アーカイブデータによる近傍銀河 NGC253 の回転曲線および質量分布の導出	内間克豊 (明星大学)
<b>R07a</b>	14:00	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	諸隈佳菜 (国立天文台)
<b>R08a</b>	14:12	近傍銀河 M83 の ALMA+45m による $^{12}\text{CO}$ (1-0) 輝線の広域観測	廣田晶彦 (国立天文台)
<b>R09a</b>	14:24	Multi Line Observation toward Spiral Arm of M51 with the CARMA	渡邊祥正 (東京大学)
<b>R10b</b>	14:36	Anomalous Flux Ratio of Infrared Hydrogen Recombination Lines in Ultraluminous Infrared Galaxies	矢野健一 (University of Tokyo, ISAS/JAXA)
<b>R11b</b>	14:36	$\text{Pa}\alpha$ , $\text{H}\alpha$ 輝線を用いた近傍 LIRG のダスト減光分布測定	小早川 大 (東京大学)
<b>R12b</b>	14:36	Millimeter Hydrogen Recombination Line in the Center of NGC 253	中西康一郎 (国立天文台)
<b>R13b</b>	14:48	分子雲衝突が引き起こす棒渦巻銀河における星形成の環境依存性	藤本裕輔 (北海道大学)
<b>R14b</b>	14:48	近傍銀河 NGC 628 における arm/inter-arm 領域の $\text{CO}(J=3-2)/\text{CO}(J=2-1)$ 輝線強度比の空間分布	武田美保 (大阪府立大学)
<b>R15b</b>	14:48	近傍銀河の分子ガス質量に対する銀河環境の影響	梅井迪子 (北海道大学)
<b>R16c</b>		SDSS データを用いた箱型銀河・棒渦巻銀河カタログの作成と統計的研究	吉野 彰 (宇宙航空研究開発機構)
<b>R17c</b>		銀河中心部の大質量天体と親銀河の性質の関係に関する統計的研究	隈井泰樹 (熊本学園大学)
<b>R18c</b>		多質量成分恒星系のクーロン対数	高橋広治 (埼玉工業大学)

(次頁に続く)

## 【R. 銀河】

3月19日(木)午前(09:30-11:30) [A会場]

<b>R19a</b>	09:30	星数密度分布から探る銀河系中心の広がった X 線の放射源 II	長友 竣 (京都大学)
<b>R20a</b>	09:42	Suzaku By-Week Monitoring of the Galactic Center Sgr A* in X-rays (III)	前田良知 (宇宙航空研究開発機構)
<b>R21a</b>	09:54	磁気乱流による銀河系中心近傍ガスの非円軌道運動の励起	鈴木 建 (名古屋大学)
<b>R22a</b>	10:06	幾何学的に薄い銀河ガス円盤におけるダイナモの大局的 3 次元磁気流体シミュレーション	工藤祐己 (千葉大学)
<b>R23a</b>	10:18	wakelets の非線形相互作用による銀河の大局的な渦状腕形成	熊本 淳 (東北大学)
<b>R24a</b>	10:30	棒状渦巻銀河における分子雲形成進化の環境依存性	馬場淳一 (東京工業大学)
<b>R25a</b>	10:42	連星中性子星合体による矮小銀河の r プロセス元素分布	平居 悠 (東京大学/国立天文台)
<b>R26a</b>	10:54	星生成史に従ってモデル計算した矮小不規則銀河 IC 1613 の化学進化	本間英智 (東北大学)
<b>R27b</b>	11:06	銀河面からの軟 X 線背景放射 (2)	中道 蓮 (名古屋大学)
<b>R28b</b>	11:06	位相分布関数を用いた銀河系中心部の力学構造の解析	原 拓自 (東京大学)
<b>R29b</b>	11:06	銀河系中心領域に発見したセファイド変光星の運動	松永典之 (東京大学)
<b>R30c</b>		VERA を用いた sh2-76E の年周視差計測	濱畑秀峰 (鹿児島大学)
<b>R31b</b>	11:18	Cold dark matter halo 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)
<b>R32b</b>	11:18	レンズクエーサーを用いた多視線分光観測による金属吸収体の統計的調査	小山田涼香 (信州大学)

## R01a 近傍銀河 NGC 3079 中心領域のアンモニア分子吸収線観測 2

宮本祐介 (茨城大学), 中井直正, 瀬田益道, 久野成夫, Salak Dragan, 永井誠 (筑波大学), 山内彩 (国立天文台), 石井峻 (東京大学) 米倉覚則 (茨城大学)

NGC 3079 は距離 19.7 Mpc にある edge-on の Seyfert 2/LINER 銀河で、銀河中心から数 kpc に渡るスーパーバブルが見つかっている。しかしながら、その主たるエネルギー源 (AGN あるいはスターバースト) に関してはまだよく分かっていない。

我々は NGC 3079 中心領域のエネルギー源を探るために、JVLA を用いたアンモニア分子  $(J, K) = (1, 1) - (6, 6)$  の高空間分解能 ( $\leq 0.09'' = 9$  pc) 観測を行った。その結果、アンモニア分子  $(J, K) = (3, 3)$  を除く遷移でそれぞれ二つの速度成分 (システム速度成分と青方偏移成分) をもつ吸収線が NGC 3079 中心において検出された (2013 年 秋期年会 宮本他)。一方、 $\text{NH}_3(3, 3)$  は輝線として検出され、中心領域で形成された大質量星起因のアンモニアメーザーとして説明できる。アンモニア分子のパラ型遷移 ( $\text{NH}_3(1, 1), (2, 2), (4, 4), (5, 5)$ ) を用いた回転ダイアグラム解析から、システム速度成分と青方偏移成分それぞれで回転温度  $T_{\text{rot}} = 120 \pm 12$  K、 $157 \pm 19$  K と、アンモニア分子の総柱密度  $N_{\text{NH}_3} = 8.85 \pm 0.70 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、 $4.47 \pm 0.78 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  が得られた。これらの値は、これまでに報告されている他の近傍銀河に比べて高い。アンモニア吸収線のピーク位置を求めた結果、アンモニア分子の分布が NGC 3079 の AGN ジェットに沿っていることが明らかになった。これらは AGN ジェットが中心領域ガスの加熱に大きく寄与していることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a

**Submillimeter Observations of Dense Molecular Gas in the Nearby Active Galaxies for a Robust Energy Diagnostics**

Izumi, T., Kohno, K., Tamura, Y., Ikarashi, S., Umehata, H., Taniguchi, A. (UTokyo), Takano, S., Imanishi, M., Hatsukade, B., Iono, D., Nakanishi, K., Hattori, T., Ishizuki, S., Espada, D. (NAOJ/JAO), Doi, A. (ISAS), Nakai, N. (Univ. Tsukuba), Nakajima, T. (Nagoya Univ.), Nomura, H. (Tokyo Tech), Terashima Y. (Ehime Univ.), Tosaki, T. (Joetsu Univ. of Education), Harada, N., Matsushita, S., Hsieh, P.-Y. (ASIAA), and NGC 1097/7469 team

We present the 100 pc scale views of dense molecular gas in the central kpc regions of nearby active galaxies traced by HCN(4-3), HCO<sup>+</sup>(4-3), CS(7-6), and CO(3-2) lines, based on our ALMA cycle 0/1 observations and literatures. We confirmed enhanced intensity ratios of HCN(4-3)/HCO<sup>+</sup>(4-3) and/or HCN(4-3)/CS(7-6) in active galactic nuclei (AGNs), compared to starburst galaxies, which can be used as a new diagnostic method of galactic energy sources. Although several mechanisms can lead to different line ratios, our interferometric non-LTE analysis of NGC 1097 (AGN) revealed a high [HCN]/[HCO<sup>+</sup>] abundance ratio in the nucleus. Interestingly, these line ratios do not differ significantly between NGC 1097 and NGC 7469 despite the orders of magnitude higher AGN luminosity of NGC 7469 than NGC 1097. Taking the spatial distribution of the HCN(4-3)/HCO<sup>+</sup>(4-3) ratio recently revealed in the nuclear region of NGC 1068 (García-Burillo et al. 2014) into account, which does not precisely peak at the nucleus, we discuss multiple chemistry (AGN vs. starburst) likely being responsible for the high line ratios AGNs, where a high X-ray flux and a high gas temperature can be expected.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a 最近傍スターバースト銀河 NGC5253 における超星団の形成 I

三浦理絵, Daniel Espada(国立天文台), 菅井肇 (IPMU), 中西康一郎, 廣田晶彦 (国立天文台)

スターバーストは、短期間に大量の大質量星を生み出していると考えられ、宇宙において最も大規模な星形成イベントである。スターバースト領域では、しばしば、大質量且つコンパクトな星団 ( $> 10^6 M_{\odot}$ , a few pc)、いわゆる超星団 (super stellar cluster: SSC) が確認される。ALMA による高感度・高分解能観測によれば、ほとんどのスターバースト銀河で超星団からのアウトフローやそれらに流れ込むガスのインフローモーションの観測的証拠が見つかり、超星団が星間ガスやダストの循環において重要な役割を担っていることは明らかである。本講演では、最近傍の最も若いスターバースト銀河 NGC5253 における CO(2-1) 輝線観測の結果について紹介する。NGC5253 は、その中心に2つの超星団が存在する事が知られているように、矮小銀河ながら活発な星形成を示すことから、スターバーストのメカニズムについて詳細な情報を得られる格好のターゲットである。これまでの観測によれば、HI ガスの運動を解析した結果、ガスが中心の超星団へ流入していること (インフロー) が示唆されており、今回我々が取得した分子ガスデータでも、その傾向を確認した。さらに、我々が赤外線域  $H_2$  1-0 S(1) 輝線のデータ比較した結果、CO に比べて比較的あたたかい分子ガスをトレースする  $H_2$  1-0 S(1) は、CO ガスの分布と似ているものの、 $H\alpha$  のシェルと空間的により一致していることを発見した。この  $H\alpha$  シェルは中心の超星団から吹き出たガスの双極アウトフローをトレースしていると考えられていることを踏まえると、 $H_2$  1-0 S(1) ガスは、そのアウトフローが周囲のガスとの衝突の際にできた衝撃ガスをトレースしていると予想される。講演では、CO(2-1) データと他波長のデータと比較しながら中心超星団へのインフロー、アウトフローについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04a **ALMA で探る衝突銀河 NGC3256 の分子ガスアウトフローの性質**

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)、植田準子 (国立天文台)、齊藤俊貴 (東大)

銀河と銀河の衝突は宇宙で頻繁に起こっている。銀河同士が相互作用することで潮汐力が働きガスが銀河の中心に落ちる。さらに中心へガスが流入することで、爆発的星形成や AGN のような非常に活発な状況を引き起こすと考えられている。そして爆発的星形成をとめるメカニズムとして星形成の材料となる分子ガスのアウトフローが考えられている。アウトフローの成分は非常に暗いが ALMA の高感度観測で検出に成功し、現在研究が活発に進んでいる。

そこで我々はすでに ALMA で南北の中心核からの分子ガスのアウトフローが確認されている衝突銀河 NGC3256 に注目しアーカイブデータを用いて CO(3-2) と CO(1-0) の解析を行った。アウトフローの物理状態を調べるために CO(3-2)/CO(1-0) 比のチャンネルマップを作成した。CO(3-2)/CO(1-0) は分子ガスの励起状態に指標となる。今回の解析で北側の中心核からのアウトフローでは比が 0.6-0.8、南側の中心核からのアウトフローでは比が 1 より大きいことがわかった。これらの違いはアウトフローの起源の違いを反映しているのではないかと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R05c      ASTE, 野辺山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 (東工大)、植田準子 (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。銀河同士が相互作用することで潮汐力が働きガスが銀河の中心に落ちる。さらに中心へガスが流入することで、爆発的星形成や AGN のような非常に活発な状況を引き起こすと考えられている。理論シミュレーションでは、衝突の初期段階 (相互作用はしているが完全に衝突していない状態) ですでに分子ガスのインフローが見られ、インフローに付随する高密度のガスの塊ができることが示唆されている。しかしながら、観測的研究は衝突の中期から後期の銀河に着目したものがほとんどで、衝突の初期段階に着目しているものは少ない。衝突による銀河進化の描像を議論するためには衝突の初期段階の銀河のサンプルを増やす必要がある。観測シミュレーションとの比較には ALMA を用いた高い分解能での観測が必要不可欠であるが、まずは単一鏡を用いて衝突の初期段階での、銀河全体における分子ガスの性質を理解しておくことは非常に重要である。

そこで我々は6個の衝突の初期段階の銀河ペア (12個の銀河) の CO(3-2) 輝線を ASTE 望遠鏡を用いて2014年11月に観測した。CO(3-2) は暖かく高密度な分子ガスの質量の指標となる。その結果、4個の銀河ペアにおいて片方の銀河のみで有意な CO(3-2) 輝線を検出することができた。今後は野辺山 45m を用いて CO(1-0) の観測を行い、分子ガスの励起状態についても言及する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R06a ALMA アーカイブデータによる近傍銀河 NGC253 の回転曲線および質量分布の導出

内間克豊、小野寺幸子 (明星大学)、祖父江義明 (東京大学)

銀河の回転曲線は、渦巻銀河の運動学的特徴を表す重要な観測量の一つであるとともに、銀河の質量分布を求めるうえでも大切な観測量である。Sofue et al.(2003) による先行研究では、野辺山ミリ波干渉計を使用して 12CO(J=1-0) 輝線の観測をおとめ座銀河団の 12 銀河 (距離 ~ 16Mpc) について行い、中心部の回転曲線を描いて質量分布を求め、半径数百 pc 以内に  $10^9 M_{\odot}$  という大質量コアの存在を示した。これは、多くの銀河中心部に存在が確認されている大質量のブラックホール ( $\sim 10^7 M_{\odot}$ )、ひいてはバルジとブラックホールの共進化に関連する可能性がある。野辺山ミリ波干渉計の分解能は  $6''$  程度だったが、ALMA のアーカイブデータ (Cycle0:分解能  $\sim 2''$ ) を使用することでより精度が高く詳細な情報が得られる。

本研究では、ALMA アーカイブの中から Band3 の 12CO(J=1-0) 輝線に絞り込み、そこから距離 3.5Mpc にある edge-on 銀河 NGC253 をピックアップした。このデータを用い、NGC253 については過去最高の空間分解能 ( $\sim 50$ pc) で中心部の回転曲線を得た。その結果、空間分解能の範囲内において、中心部では回転速度は下がらずほぼ flat であることがわかった。そこから中心部の質量分布を導出したところ、中心部の半径 50pc 以内に  $2.3 \times 10^8 M_{\odot}$  の大質量コアが存在することが判明した。本講演ではこ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](#)

## R07a 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

諸隈 佳菜 (NRO), 馬場 淳一 (東京工業大学), 徂徠 和夫 (北海道大学), 久野 成夫 (筑波大学)

0.025 <  $z$  < 0.050 における近傍銀河に対する無バイアス CO サーベイ (COLD GASS, Saintonge et al., 2011, MNRAS, 415, 32) のデータと、我々が野辺山の 45m 鏡を用いて行った、 $z \sim 0.1 - 0.2$  に存在する銀河に対する CO サーベイ観測のデータを使い、以下の 2 点を明らかにした: 1) 分子ガスの割合 ( $f_{\text{mol}} = \frac{M_{\text{mol}}}{M_{\text{mol}} + M_{\star}}$ ,  $M_{\text{mol}}$ : 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ている) は比較的分散の小さな反比例関係にあること、2)  $z \sim 0.1 - 0.2$  の銀河と近傍銀河は同じ  $D_n(4000) - f_{\text{mol}}$  関係にのること。異なる赤方偏移の銀河が同じ関係にのるということは、銀河がその  $D_n(4000) - f_{\text{mol}}$  関係上を進化すること、 $D_n(4000)$  の値は比較的長い観測時間を必要とする  $f_{\text{mol}}$  の指標として使えること、を示唆している。

我々は種族合成コードを用いた計算を行い、以下の 2 つの傾向の定性的な再現に成功した: 1)  $D_n(4000)$  が小さい銀河ほどガスの割合 ( $f_{\text{gas}} = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{gas}} + M_{\star}}$ ,  $M_{\text{gas}}$ : 原子ガス・分子ガス質量の和) は高い、2) 早期型銀河ほど、 $D_n(4000)$  が大きく、 $f_{\text{gas}}$  が低い。しかし観測される  $D_n(4000)$  は、計算される値よりも全体的に大きく、定量的には大きな差が残ってしまう。特に早期型銀河を再現するためには、金属量の高いガスから銀河を構成する大部分の星を作り、ガスを残した状態で星形成を止める必要があることがわかった。これより、 $D_n(4000) - f_{\text{mol}}$  関係の定量的な再現は、銀河の質量進化に対する制限になると考えられる。本講演では、観測とモデル計算の定量的違いの原因について、モデル、観測両方の側面から議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08a 近傍銀河 M83 の ALMA+45m による  $^{12}\text{CO}$  (1-0) 輝線の広域観測

廣田晶彦 (国立天文台チリ観測所), 江草芙実 (ISAS/JAXA), 村岡和幸 (大阪府立大学), 馬場淳一 (ELSI/東京工業大学), 久野成夫 (筑波大学)

CO 輝線等でトレースされる銀河中の分子ガスの量と、星形成率の関係は非線形であり、銀河構造に対して依存することが知られている。この環境依存性の物理を探るためには、銀河中の分子ガスを高分解能、広域観測によって基本単位である巨大分子雲 (GMC) に分解した上で、銀河構造と GMC の性質の関係を探るというアプローチが考えられる。今回、南天の近傍銀河 M83 の ALMA による  $^{12}\text{CO}$  (1-0) 輝線観測の結果を紹介する。M83 は分子ガス優勢なガス円盤を face-on に見る銀河としては最近傍 ( $\sim 4.5$  Mpc) に位置する銀河である。ALMA の多視野観測によって、銀河円盤内側の銀河中心、棒状構造、渦状腕を含んだ約  $12 \text{ kpc}^2$  の領域を約  $40 \text{ pc}$  の空間分解能でカバーする CO マップを得た。45m 望遠鏡による観測データとの結合により Missing Flux を補正している。

得られた CO データからは 200 を超える GMC が同定された。それらのサイズ-線幅関係、ビリアル質量-光度質量の関係は、多くがビリアル平衡に近い事を示唆する。一方で、重力的に束縛されていない GMC も多く存在し、それらの割合は腕間部において高くなる。さらに GMC に付随している星形成領域の星形成率と GMC の関係を調べたところ、自由落下時間当たりの GMC の星形成効率の平均値は  $\sim 0.018$  という結果となった。この値自体は、乱流でサポートされた GMC 中で自由落下時間辺りに一定の効率で GMC 中のガスが星質量に変換されるというモデルの予想値 (2%) と一致する。しかし、個々の GMC 毎の値には一桁以上の変動があり、さらに腕間部では効率の平均値が低い等の領域依存性が存在するために、星形成率決定のモデルには自由落下時間以外の要因も必要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](#)

R09a **Multi Line Observation toward Spiral Arm of M51 with the CARMA**

渡邊 祥正, 坂井 南美 (東京大学), 徂徠 和夫 (北海道大学), 山本 智 (東京大学)

近傍銀河の渦状腕における化学組成を明らかにするために、我々は M51 の渦状腕に対してラインサーベイ観測を IRAM 30 m 望遠鏡を用いて実施してきた。r.m.s. 雑音で 1 mK を切る高感度観測により、13 種の分子と 8 種の同位体分子を検出した。CH<sub>3</sub>OH、CS、HNCO の回転温度は 10 K 以下の低温で、星形成活動性の異なる 2 つの領域における化学組成は非常に類似していることが明らかになった。この結果は、星形成活動が 1 kpc スケールの化学組成にほとんど影響を与えないためだと考えられる。また、各分子の線幅の視線速度には、線幅が狭い分子では青方偏移している傾向が見られ、分子によって分布が異なることを示唆した。

そこで、それぞれの分子の分布を調べるために、IRAM 30 m で観測した 2 点を含む領域に対して、CRAMA 干渉計を用いたイメージング観測を実施した。観測の結果、5–7'' 程度の空間分解能で <sup>13</sup>CO、C<sup>18</sup>O、CN、CS、CH<sub>3</sub>OH、HNCO の分布を明らかにすることに成功した。それぞれの分子の分布が異なることから、数 100 pc スケールでは渦状腕において化学組成に違い生じることが明らかになった。一方で、H $\alpha$  や 24  $\mu$ m など観測される星形成領域で存在量が顕著に増加する分子は見られないことから、このスケールの化学組成も星形成の影響を受けていないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R10b      **Anomalous Flux Ratio of Infrared Hydrogen Recombination Lines in Ultraluminous Infrared Galaxies**

Kenichi Yano (University of Tokyo, ISAS/JAXA), Matthew Malkan (UCLA), Takao Nakagawa, Naoki Isobe (ISAS/JAXA), Mai Shirahata (NAOJ)

We observed infrared hydrogen recombination lines Br $\alpha$  (4.05  $\mu\text{m}$ ) and Br $\beta$  (2.63  $\mu\text{m}$ ) in 51 ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs) with AKARI, which has unique capability to observe these lines simultaneously owing to its 2.5–5.0  $\mu\text{m}$  wavelength coverage. We detected the Br $\alpha$  and Br $\beta$  lines in 30 ULIRGs, and in nine of them, we find an anomalous Br $\beta$ /Br $\alpha$  line ratio ( $\sim 1.0$ ), which is much higher than the ratio (0.56) expected in case B. If dust extinction affects the line fluxes, the ratio becomes lower because the Br $\beta$  line has a shorter wavelength and is attenuated more than the Br $\alpha$  line. Thus ratios higher than 0.56 are opposite to the effect of dust extinction, and thus incompatible with the case B prediction.

We carefully examine possible biases such as a systematic spectral fringing caused by the instrument, contamination of the Br $\beta$  line by the molecular hydrogen line, and dust absorption or emission properties which may correlate with unknown dust features affecting the ratio. We find no clear evidence that the Br $\beta$ /Br $\alpha$  line ratio is affected by these biases, and we conclude that this anomalous ratio is real and caused by extreme conditions in the ionized hydrogen gas. As one possible explanation, we find that the anomalous Br $\beta$ /Br $\alpha$  line ratio is reproduced in very high density conditions ( $n_{\text{H}} \simeq 10^8\text{--}10^9 \text{ cm}^{-3}$ ) with a CLOUDY simulation. This indicates that starbursts in such extreme conditions might occur in these very bright, dust-rich objects.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R11b $\text{Pa}\alpha$ , $\text{H}\alpha$ 輝線を用いた近傍 LIRG のダスト減光分布測定

小早川大, 館内謙, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 北川祐太郎, 藤堂颯哉, 加藤夏子, 吉井讓 (東京大学), 小麥真也 (工学院大学), 金子紘之 (筑波大学)

高光度赤外線銀河 (Luminous Infrared Galaxy、以下 LIRG) は活発な星形成銀河であり、大質量星の紫外線で加熱されたダストにより強力な赤外線を放射する。これらは  $1 < z < 3$  の時代に最盛期を迎えた星形成の大部分を担ってきたと考えられており、銀河の形成進化の歴史において重要な存在であると言える。本研究では近傍の LIRG に注目し、星形成領域分布の中心集中度を用いて形態の定量的な評価を行い、遠方では捉えられない空間構造を把握することで銀河の進化プロセスに迫ること目指している。

星形成領域の観測にはダスト吸収の影響が小さい  $\text{Pa}\alpha$  輝線を使用する。東京大学アタカマ 1m 望遠鏡/近赤外線カメラ Atacama Near-InfraRed (miniTAO/ANIR) を用いたこれまでの観測により、中心集中度のヒストグラムに 2 つの mode が現れることが確認された (館内他, 2012 年秋期年会, R17b)。しかしこの結果は、ダスト密度が大きい場合では  $\text{Pa}\alpha$  輝線であっても 0.8mag 程度の減光を受けることが考慮されておらず、真の中心集中度を求めるためにはダスト減光の空間分布を知る必要がある。そこで、ANIR で  $\text{Pa}\alpha$  輝線画像が得られている 9 天体の LIRG について、ハワイ大学 88 インチ望遠鏡/Wide Field Grism Spectrograph 2 (UH88/WFGS2) による  $\text{H}\alpha$  輝線の狭帯域撮像を行い、得られた輝線強度比  $\text{H}\alpha/\text{Pa}\alpha$  を典型的な HII 領域における再結合条件の仮定により計算される真の強度比と比較することで減光分布を求めた。各天体で得られた減光量はおよそ  $5 < A_V < 10$  となり、他の LIRG に対して同様にダスト減光分布を求めている Lopez et al.(2013) の結果と矛盾しない値となった。

本講演では実際のデータ解析およびそこから得られた減光分布について詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R12b      **Millimeter Hydrogen Recombination Line in the Center of NGC 253**

中西康一郎 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大), 中井直正, 久野成夫 (筑波大), 松林和也 (京都大), 菅井肇 (IPMU), 高野秀路 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大), 中島拓 (名古屋大)

Hydrogen recombination line is a fundamental probe to look into properties of ionized gas in galaxies. In particular, recombination lines in millimeter and sub-millimeter wavebands are suitable tool to investigate ionized gas in starburst region because they suffer much less interstellar extinction than those at optical and near-infrared. Recombination lines in mm/sub-mm are intrinsically weaker than those in optical/near-infrared and limited numbers of observations have been conducted. Now, ALMA's superb sensitivity make it possible to carry out mm/sub-mm recombination line observations toward galaxies in reasonable time.

ALMA data of a hydrogen recombination emission line ( $H40\alpha$  at 99 GHz) toward NGC 253 was analyzed. NGC 253 is one of the best studied starburst galaxy in the nearby universe. The  $H40\alpha$  emission from NGC 253 was successfully imaged in the central region of the galaxy with a spatial resolution of few dozens of parsecs. By utilizing flux ratio of free-free continuum emission to  $H40\alpha$ , electron temperature distribution was estimated. Electron temperatures were estimated to be between 6500 and 9000 K. It turned out ionized gas velocity field at the galaxy center considerably differ from that of molecular gas. The velocity field suggests existence of outflowing ionized gas.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R13b 分子雲衝突が引き起こす棒渦巻銀河における星形成の環境依存性

藤本裕輔, エリザベス・タスカー, 羽部朝男 (北海道大学)

分子雲衝突は銀河スケールの星形成を支配する重要な物理過程の一つである。従来の分子雲衝突による星形成モデル (Tan 2000) では、銀河の星形成率は分子雲の数密度と質量、そして分子雲衝突頻度の三つのパラメータのみで与えられるとされている。しかし近年の分子雲の観測研究により、分子雲衝突の際の相対速度は  $20\text{km/s}$  程度であること、そして分子雲衝突のシミュレーション研究により、衝突相対速度が大きくなるにつれて大質量分子雲コアは形成されにくくなるということが示されている。我々は高分解能の三次元棒渦巻銀河シミュレーションを行い、各分子雲の運動を詳細に解析し分子雲の衝突頻度と衝突の際の相対速度を定量的に求めた。そして分子雲衝突の相対速度は数  $\text{km/s}$  から  $100\text{km/s}$  と幅広いことを明らかにした。これらのことから、我々は二つの分子雲が衝突する際の相対速度を考慮することが分子雲衝突による星形成で重要であると考え、上記の分子雲衝突による星形成モデルに衝突相対速度の依存性を加える改良を行った。衝突相対速度の依存性を加えた分子雲衝突の星形成モデルを我々の棒渦巻銀河シミュレーション結果に適用し、銀河の各領域の星形成率を求めたところ、従来の棒渦巻銀河の観測研究で指摘されていた Bar 領域と Spiral 領域の星形成効率の相違を再現することに成功した。一方、分子雲の密度や速度分散を考慮した星形成モデル (Krumholz & McKee 2005) では再現できなかった。棒渦巻銀河の Bar 領域では相対速度の大きい破壊的な分子雲衝突が多いため、Spiral 領域よりも星形成効率が低くなっていることを今回の結果は示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R14b 近傍銀河 NGC 628 における arm/inter-arm 領域の CO( $J=3-2$ )/CO( $J=2-1$ ) 輝線強度比の空間分布

武田美保, 村岡和幸 (大阪府立大学)

我々は、銀河中の分子ガスの物理状態と星形成の関係を詳しく理解するため、星形成に直結した高温かつ高密度の分子ガスをトレースする CO( $J=3-2$ ) 輝線の広域観測を、ASTE 10-m 鏡を用い、さまざまな近傍銀河に対して進めている。

今回、ASTE で観測した、比較的近傍に位置する face-on の渦巻銀河 NGC 628 の CO( $J=3-2$ ) 輝線マップ (村岡他、2014 年秋季年会で報告) と、IRAM 30-m 鏡で得られた CO( $J=2-1$ ) 輝線マップ (Leroy et al. 2009, AJ, 137, 4670) を組み合わせることで、NGC 628 の円盤全域での CO( $J=3-2$ )/CO( $J=2-1$ ) 比 (以降  $R_{3-2/2-1}$ ) の空間分布を詳細に調べた。すると、 $R_{3-2/2-1}$  は、二本の arm 領域においてはどちらも 0.5 程度であり、銀河円盤北側の inter-arm 領域では 0.4 程度であった。この結果は、渦巻銀河 M 51 で得られた arm 領域、inter-arm 領域それぞれの  $R_{3-2/2-1}$  と同程度であった (Vlahakis et al. 2013, MNRAS, 433, 1837)。一方、南側の inter-arm 領域では、平均の  $R_{3-2/2-1}$  は 0.6 程度とやや高く、しかも北側の inter-arm 領域とは異なり、局所的に  $R_{3-2/2-1}$  が非常に高い ( $\geq 1.0$ ) 領域が存在することを発見した。しかし、この  $R_{3-2/2-1}$  が高い領域では、星形成領域に対応する H $\alpha$  や MIPS 24 $\mu$ m の放射がほとんど見られなかった。この結果は、星形成を起こす直前の高密度な分子ガスが inter-arm 領域にも存在する可能性を示唆する。本講演では、inter-arm 領域の分子ガスの物理状態診断を含む、詳細な解析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](#)

## R15b 近傍銀河の分子ガス質量に対する銀河環境の影響

梅井迪子, 徂徠和夫 (北海道大学)

銀河団のような高密度環境下では、星形成が活発でない早期型銀河の割合が高くなることが知られており、環境効果が銀河進化に重要な役割を果たすと考えられる。実際、HI ガスの観測からは、ラム圧によってガスが剥ぎ取られていることが確認されている。分子ガスについては、近年の多数の銀河を使った解析から銀河団銀河の方が孤立銀河に比べて分子ガスの質量が小さいということが明らかになっている (Boselli et al. 2014)。しかし、このような分子ガスの欠乏が、HI で見られるようなラム圧等の環境効果によるものか、星形成によるガスの消費によるものか、ということは明らかではない。そこで我々は異なる進化段階の銀河団に所属する銀河の分子ガスの質量を調べ、それらと銀河団を特徴付ける性質との関係及び星形成との関係を調べることによって、分子ガスの欠乏の原因を明らかにすることを試みた。

過去に分子ガスの観測が行われた銀河団 (主におとめ座銀河団、かみのけ座銀河団, Abell 1367) よりも若い銀河団のデータを取得するために、ヘラクレス座銀河団 ( $z \sim 0.036$ ) の銀河を対象として、野辺山 45m 鏡を使って  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  分子輝線観測を実施した。実際に観測できたのは 3 天体で、何れも  $5\sigma$  以上の検出はできなかったが、分子ガス質量の上限値  $\log M_{\text{H}_2} (M_{\odot}) \sim 9.0-9.1$  が得られた。これは、同程度の星質量の孤立銀河に比べてやや小さい値であり、分子ガスが欠乏している可能性がある。また、上記 3 つの銀河団に属する銀河のアーカイブデータを併せて、分子ガスの孤立銀河に対する欠乏度を求め、環境や星形成の指標となる物理量との関係を調べたところ、HI 欠乏度と  $\text{H}_2$  欠乏度の相関図上における銀河の分布は、星形成によるガスの消費だけでなく、銀河団規模の環境及び局所的な環境を考慮すると説明できることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R16c **SDSS データを用いた箱型銀河・棒渦巻銀河カタログの作成と統計的研究**

吉野 彰 (宇宙航空研究開発機構), 山内千里 (みさと天文台, 宇宙航空研究開発機構, 和歌山大学)

我々は近傍銀河中の箱型・ピーナッツ型構造と棒構造の存在比率を統計的に研究することを目的に, SDSS から  $r$  バンドで 17 等級より明るい約 1700 個のエッジオン銀河と約 2600 個のフェイスオン銀河を選び, それらの表面輝度を解析した. 今回その結果をカタログにまとめたので報告する. 本講演は 2013 年春季年会 R25c の続報である.

カタログは以下の内容を含んでいる.  $g, r, i$  の 3 バンドについて, SDSS から引用された ID, RA, DEC, redshift, 我々の解析による Sersic バルジと指数法則ディスクからなる 2 次元表面輝度モデルのフィット結果 (7 パラメータ), 目測による形態分類, B/T を元にしたハッブルタイプ, PGC カタログとのマッチング結果.

我々は本講演でそのカタログを元に箱型構造と棒構造の存在比, ハッブルタイプとの相関や色等級関係などについて統計的に調査した結果を報告し, それを元に銀河の形態と進化について考察する予定である. 本カタログは CDS (<http://cds.u-strasbg.fr/>) から取得可能である.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R17c 銀河中心部の大質量天体と親銀河の性質に関する統計的研究

隈井泰樹 (熊本学園大学)

銀河の中心部には、往々にして中心核星団 (NSC) や大質量ブラックホール (SMBH) などの大質量天体 (CMO) が存在する。理論的には CMO の形成・進化は明らかに親銀河自身の形成・進化に密接に関連すると考えられるが、それを観測的に実証し、包括的に CMO の形成・進化の機構を解明するための情報は未だ十分とは言えない。今回我々は、様々な文献から近傍銀河とその CMO についての観測データを収集し、特に親銀河の構造および kinematics と CMO の観測的性質の相関に注目して統計的調査を行った。主な結果は以下のようなものである。

(1) 早期型銀河の NSC および SMBH の質量と親銀河の spheroid 成分の質量の比を取ると、両者共に isophoto が boxy な銀河での値は disk 型銀河での値に比べて系統的に大きいという傾向がある。SMBH についての同質量比と親銀河の星の速度分散の非等方性の指標 ( $(V_m/\sigma)^*$ ) の間には顕著な相関は見られない。

(2) 円盤銀河では、回転速度と中心部の速度分散の比が大きな銀河ほど、その銀河に共存する SMBH と NSC の質量の比が小さくなるという傾向が見られる。

(3) 円盤銀河の NSC では、NSC と親銀河の質量比と NSC の面密度の間 (もしくは光度比と面輝度の間) に正の相関がある。矮小楕円銀河および矮小 S0 銀河の NSC にはこの相関は見られない。

(4) 円盤銀河では CMO の大きさや構造を表す量や親銀河の性質との相関において、バー構造の有無や bar strength の強弱による顕著な差異は見られない。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、これら新知見に基づいて CMO の形成と進化の過程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](#)

## R18c 多質量成分恒星系のクーロン対数

高橋広治 (埼玉工業大学)

恒星間の重力的衝突の効果によって引き起こされる球状星団の進化を扱う理論モデルの一つに、Fokker-Planck モデルがある。Fokker-Planck モデルでは、重力的衝突の効果は多数の小角度 2 体衝突の効果を足しあげたものとして扱われ、その効果を記述する拡散係数にはクーロン対数  $\ln(\gamma N)$  が現れる。ここで、 $N$  は星団に含まれる星の数であり、 $\gamma$  は定数である。ただし、 $\gamma$  は定数とは言っても、本質的に精確に値が定まるような定数ではなく、理論的にはおおよその値を見積もることができるのみである。

しかし、Fokker-Planck モデルにおいては、星団の進化の速さはクーロン対数の大きさに依存するため、現実的な進化のシミュレーションを行うためには、ある程度精確に  $\gamma$  の値を決める必要がある。これは、通常、Fokker-Planck シミュレーションと  $N$  体シミュレーションの結果を比較することによって行われる。つまり、2 つのシミュレーション結果がもっともよく一致するような  $\gamma$  の値を求めるのである。このような比較により、例えば、Giersz & Heggie (1994, 1996) は単質量成分恒星系について  $\gamma = 0.11$ 、多質量成分恒星系について  $\gamma = 0.02$  という値を得た。

今回我々は、銀河潮汐場中の球状星団の進化に関して、Takahashi & Baumgardt (2012) が開発した Fokker-Planck モデルと  $N$  体シミュレーションを比較し、最良の  $\gamma$  の値について検討した。その結果、Giersz & Heggie (1996) が多質量成分系について得た  $\gamma = 0.02$  というかなり小さな値は見かけのもので、 $\gamma = 0.11$  としても矛盾はないのではないかという示唆が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## R19a 星数密度分布から探る銀河系中心の広がった X 線の放射源 II

長友竣, 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構造を持った X 線が観測されている。その放射源については激変星などの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と、Chandra による高空間分解能の観測によって放射の 80% が点源に分解できたことから、中心部以外では激変星などの点源が放射源であることがわかっている。一方、銀河系中心部  $\sim 1^\circ$  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、面輝度分布は減光補正や若い星からの寄与の除外が難しく、この領域の放射源については決着がついていない。

我々は、6.7 keV (Fe XXV) 輝線の強度分布と近赤外線による星数密度分布との比較により、点源の寄与をより正確に見積もった。星数密度の導出には、すでに取得済の  $|l| < 2^\circ$  の近赤外線データ (Nishiyama et al., 2013) に加え、IRSF/SIRIUS により新たに観測した 2 領域 ( $l \sim 8^\circ$ ) の  $J$ 、 $H$ 、 $K_s$  バンドのデータを用いた。限界等級と星タイプの関係、および等級と赤化の誤差から生じる星数の誤差については Wainscoat et al. (1992) の銀河モデルを用いて検討した。これらのデータより、先行研究と同様 M 型巨星の分布を得、 $l \sim 8^\circ$  でスケーリングしたところ、中心付近で約 2.5 倍の 6.7 keV 輝線強度の超過を確認した。この結果は Nishiyama et al. (2013) と一致している。したがって、銀河系中心以外では広がった放射が星数密度分布に従うことが確認でき、銀河系中心では広がった放射の半分以上が点源以外の源から放射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](#)

R20a      **Suzaku By-Week Monitoring of the Galactic Center Sgr A\* in X-rays  
(III)**

Yoshitomo Maeda, Takayuki Hayashi, Ryo Iizuka (ISAS/JAXA), , Sho Kurashima (Tokyo Metropolitan University), Hiroshi Murakami (Tohoku Gakuin University), Masayoshi Nobukawa (Kyoto University), Takayuki Saitoh (Tokyo Institute of Technology) 他 the Suzaku Sgr A\* collaborations

A small gas cloud, G2, was on an orbit almost straight into the supermassive blackhole Sgr A\* by spring 2014. This event gives us a rare opportunity to test the mass feeding onto the blackhole by a gas. To catch a possible rise of the mass accretion from the cloud, we have been performing the bi-week monitoring of Sgr A\* since autumn and spring in the 2013 fiscal year.

The key feature of Suzaku is the high-sensitivity wide-band X-ray spectroscopy all in one observatory. It is characterized by a large effective area combined with low background and good energy resolution, in particular a good line spread function in the low-energy range. Since the desired flare events associated with the G2 approach are transient, the large effective area are critical and powerful tools to hunt them.

The X-rays from Sgr A\* and its nearby emission were clearly resolved from the bright transient source AX J1745.6-2901. Flare search from Sgr A\* will be presented in this talk. The neutron star binary AX J1745.6-2901 and a magnetar SGR J1745-29 were also appeared in the field of view. Using these sources as pointing guide stars, the images in the Sgr A region are reconstructed. The complexes appeared in the images are presented.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R21a 磁気乱流による銀河系中心近傍ガスの非円軌道運動の励起

鈴木 建, 福井 康雄, 鳥居 和史 (名古屋大学), 町田 真美 (九州大学), 松元 亮治 (千葉大学)

銀河系中心近傍の CO などの観測から得られる位置-速度図には、特徴的な平行四辺形の形状が現われることが知られている。この平行四辺形形状はガスの円運動の軌道成分だけでは説明ができず、バルジ中の天体が形作る棒状成分の重力ポテンシャルによる非円軌道成分を反映しているものと、これまで説明されてきている。

一方で銀河系中心付近では、太陽系近傍の星間空間に比較してはるかに強い磁場の存在が示唆されており、Fukui et al.(2006) による磁気浮力による磁気ループの観測などからも分かるように、ガス成分の動力学にも磁場が大きな影響を与えるものと考えられる。しかしながらこれまで、磁場とガスの運動は別個の研究対象と捉えられてきた感があり、銀河系中心領域の磁気流体力学過程は詳細に調べられていない。

本研究では、棒成分を考慮しない軸対称な重力ポテンシャルの存在下で3次元磁気流体数値実験を行い、磁気乱流による非円軌道運動の励起の可能性を精査した。遠心力と、銀河中心ブラックホール、バルジ成分、円盤成分の重力場、および、圧力勾配力の大域的な力の釣り合いの結果、回転速度は動径座標に対して単調依存とならず、差動回転の強さが場所毎に異なることが判明した。磁力線の巻き込みと磁気回転不安定性による磁場増幅は差動回転の強さにより決まるため、定常乱流状態となった後の磁場強度にもムラが生じる。このため乱流的磁場の磁気圧勾配力の動径方向成分が現われ、回転運動の速度と同じ程度の動径方向速度が間欠的に生じ、数値実験から得られる位置-速度図にも、時間と共に変形を繰り返す平行四辺形が現れた。

棒形状の恒星重力ポテンシャルが無くとも、磁場過程がガス成分の非円軌道運動を十分説明し得るということであり、この成果は銀河系中心近傍領域のガスの動力学における磁場の重要性を端的に示すものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a            幾何学的に薄い銀河ガス円盤におけるダイナモの大局的 3次元磁気流体シミュレーション

工藤祐己 (千葉大学), 町田真美 (九州大学), 松元亮治 (千葉大学)

円盤銀河における磁場の増幅・維持機構 (円盤ダイナモ) は円盤からハロー領域の磁場構造を理解するために重要である。銀河磁場は、星間ガス雲形成や乱流生成に影響を及ぼすと共に、円盤部から円盤コロナへのエネルギー輸送・コロナ加熱に寄与すると考えられる。Nishikori et al. (2006)、Machida et al. (2013) は銀河ガス円盤の大局的な 3次元磁気流体数値実験を行い、磁気回転不安定性によって円盤内部で増幅された磁束がパーカー不安定性によって浮上・流出することで円盤内部の平均磁場が準周期的に反転する円盤ダイナモが駆動されることを示した。町田らの計算では初期に 10 万度以上の高温ガス円盤を仮定していた。

今回は、1 万度程度のガス円盤を初期条件として大局的磁気流体シミュレーションを実施することで磁気回転不安定性とパーカー不安定性の相乗作用による銀河ダイナモについて調べた結果を報告する。磁気流体コードは近似リーマン解法の一つである HLLD 法 (Miyoshi & Kusano 2005) と空間 5 次精度補間法である MP5 法を実装した CANS+ を用いた。銀河の重力分布は宮本-永井による軸対称ポテンシャルによって与え、星間ガスの冷却を考慮して初期に弱い方位角磁場に貫かれた円盤の時間発展を、赤道面上下を含めた計算領域で解いた。冷却効果が銀河ダイナモ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](#)

## R23a wakelets の非線形相互作用による銀河の大局的な渦状腕形成

熊本淳, 野口正史 (東北大学)

円盤銀河に存在する渦状腕構造の形成と進化に対して数値シミュレーションによる研究が多くなされている。孤立系円盤銀河での N 体シミュレーションなどにより渦状腕の振る舞いやパターン (渦状腕の本数や巻きの強さ) はよく理解されている。しかし、大局的な渦状腕の形成メカニズムは十分な理解がなされていない。D'Onghia et al.(2013) は大局的な渦状腕は局所的な密度揺らぎ (wakelets) の接合によって形成されると提案した。しかし、個々の wakelets が接合するメカニズムの詳細な調査はなされていない。

そこで、本研究では wakelets が接合するメカニズムに着目した。N 体シミュレーションを用いて、安定な銀河円盤に摂動源を加え、人為的に wakelets を発生させる。D'Onghia et al.(2013) も同様の手法で wakelets を扱っていたが、分布が乱数的で個々の相互作用の解釈が難しい。本研究では、摂動源の数や配置を工夫することで、wakelets の接合メカニズムを解釈する。摂動源の配置が異なるモデルを比較することで、wakelets の非線形な相互作用により大局的なパターンが成長することを発見した。さらに今回発見した成長メカニズムは先行研究が示唆する渦状腕の振る舞いやパターンと矛盾しないことを確認した。

また、近年のシミュレーションによる研究は、比較的本数の多い渦状腕 (multiple) について「渦状腕のパターン速度が各半径で星の回転速度と一致する」ことを示唆する。一方で、Sellwood&Carlberg(2014) は「大局的な渦状腕の振る舞いはより局所的なモードの重ね合わせの結果である」と主張している。今回の結果はこれら 2 つの主張を統合する役割を果たす。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R24a 棒状渦巻銀河における分子雲形成進化の環境依存性

馬場淳一 (東京工業大学), 諸隈佳菜 (国立天文台), 斎藤貴之 (東京工業大学)

天の川銀河をはじめとした棒状渦巻銀河の銀河基幹構造である渦巻構造や棒状構造はそれぞれ、星間ガスの運動に与える影響が大きく異なるとされ、これまで棒状構造や渦状腕構造の“定常”重力ポテンシャル中での流体シミュレーションにより、星間ガスの運動や熱的進化が調べられてきた。しかし、近年の  $N$  体シミュレーションにより、これまで恒星系円盤に準定常的に存在する密度波とされてきた渦状腕構造の力学的描像が、より動的なものへと変わりつつある (e.g., Baba et al. 2013)。さらに、このような動的渦状腕の描像は、棒状渦巻銀河でも同様であることが報告され (馬場 2014 年度秋季年会)、星間ガスの運動を考える上で、銀河の力学構造も self-consistent に解く必要性が高まってきている。そこで我々は、棒状渦巻銀河の 8000 万粒子規模の self-consistent な  $N$  体/SPH シミュレーションを行なった。このシミュレーションは、恒星系円盤の  $N$  体計算に加え、星間ガスの自己重力、放射冷却や FUV 加熱に伴う熱的進化、水素分子生成、および低温高密度ガスからの星形成やそれに続く HII 領域加熱、超新星爆発加熱を考慮しており、空間分解能は 3pc、SPH 粒子質量は約  $600 M_{\odot}$  である。我々のシミュレーションによると、渦状腕領域の巨大分子雲 (GMC) は、観測のスケーリング則をよく再現しているが、統計的に大局的な収縮状態あることが明らかになった。また、これらの GMC の多くは、多数の分子雲の衝突集積に伴う形成と、その衝突の際の星形成の誘発、それに続くフィードバックによる破壊という一連の動的進化を辿ることも明らかになった。本講演では、棒状構造におけるこれらの性質との比較の結果も含め紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## R25a 連星中性子星合体による矮小銀河の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), 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天体候補の一つである。連星進化計算からは、連星中性子星合体までに少なくとも1億年程度要することが示唆されている。しかし、これまでの銀河の力学進化を考慮に入れない化学進化計算では、連星中性子星合体に1億年程度を要すると、 $[\text{Fe}/\text{H}] < 2.5$  で高いrプロセス元素組成比 (例えば  $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ ) を持つ星を説明できないという問題が指摘されている (e.g., Argast et al. 2004, A&A 416, 997)。本研究では、N体/Smoothed Particle Hydrodynamics コード ASURA (Saitoh et al. 2008, PASJ, 60, 667; 2009, PASJ, 61, 481) を用いて、矮小銀河の化学力学進化を計算し、連星中性子星合体に1億年程度要する場合に  $[\text{Eu}/\text{Fe}]$  の観測値を説明できるか議論する。従来のSPH計算では、ガス粒子同士の化学組成の混合は考慮されておらず、形成された星粒子には個々のガス粒子の化学組成がそのまま反映されていた。その結果、観測と矛盾して、 $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1$  で  $[\text{Eu}/\text{Fe}] < 0$  の星が多く形成された。金属の混合を考慮しないモデルでは、 $[\text{Fe}/\text{H}] > 2$  においても、1-2回程度の連星中性子星合体しか経験していない、rプロセス元素が希薄なガスが存在するためである。一方、金属の混合を考慮したモデルでは、観測値と同様の  $[\text{Eu}/\text{Fe}]$  分布が得られた。これは、 $[\text{Fe}/\text{H}] > 2$  の領域では、 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$  分布の形成に金属の混合が重要な役割を果たしていることを示唆している。これらの結果により、連星中性子星合体で、合体までに1億年程度要しても  $[\text{Eu}/\text{Fe}]$  の観測値を説明できる可能性が示唆された。本講演ではさらに、異なる質量の矮小銀河におけるrプロセス元素組成比について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R26a 星生成史に従ってモデル計算した矮小不規則銀河 IC 1613 の化学進化

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元素組成が測定できるようになってきた。これまでに我々は、個々の矮小銀河の色等級図と元素組成を同時に説明すべく、色等級図から導かれる星生成史に従って化学進化を計算し、矮小銀河の金属量分布を再現するモデルを作成した。2014年秋季年会では、我々の化学進化モデルで近傍の4つの矮小楕円体銀河 (dSph) の星生成史と元素組成を同時に再現できたことを報告した (Homma et al. 2015, ApJ in press, arXiv:1412.1967)。今回の発表では、同じ化学進化モデルを用いて近傍の矮小不規則銀河 (dIrr) IC 1613 を解析した結果について報告する。

一般に、dIrr は dSph とは異なり、現在もガスを持ち星生成を行っている矮小銀河である。色等級図と金属量分布の両方が測定されている dIrr のうち、IC 1613 は星生成率を徐々に下げながら現在も星生成を行っている矮小銀河であり、同じく星生成率を下げながら現在は星生成が止まってしまった dSph の星生成史と特徴が似ている。我々の化学進化モデルを用いて IC 1613 を解析した結果、dSph と同様に、色等級図から得られた星生成史を用いて星の金属量分布を再現することができた。モデルから導かれた現在のガスの金属量は、観測された H II 領域の金属量と同程度の値となった。また、モデルから導かれた星生成効率 (星生成率とガス質量の比) は、IC 1613 において観測された現在の星生成効率と同程度の値となった。我々のモデルでは星生成効率を一定と仮定しているため、IC 1613 は過去から現在にかけておよそ一定の効率で星生成を続けていると考えられる。本講演では、我々のモデルによって明らかになった IC 1613 の化学進化について述べ、dSph の結果と合わせた統一的な矮小銀河の化学進化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R27b 銀河面からの軟 X 線背景放射 (2)

中道蓮, 三石郁之, 佐治重孝, 松本浩典, 田原謙, 大藪進喜 (名古屋大学), 佐藤寿紀, 佐々木伸 (首都大学東京), 満田和久, 山崎典子 (ISAS/JAXA), Dan McCammon (University of Wisconsin)

X 線天文衛星 ROSAT により、 $\sim 0.4-1$  keV の全天マップは点源やローカルな構造を除くと、一様に近い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これまで議論されてきた (e.g., Yoshino et al. 2009, Yoshitake et al. 2013)。軟 X 線背景放射の一部は銀河系外由来と考えられている。そのため銀河面上では濃い中性物質によってこの銀河系外由来の成分はほぼ完全に吸収され、軟 X 線背景放射の強度について、銀河面上での減少が予想される。つまり、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)。これまで我々は、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 (益居他 2008 年春季年会, 木村他 2009 年春季年会, 三石他 2013 年秋季年会)。2012 年 7 月までの全アーカイブデータを解析した結果、0.9 keV 付近にピークを持つ bump 状の "超過成分" を持つ 16 領域を検出した。この "超過成分" について熱的プラズマと仮定した場合、温度は 0.6–1.3 keV 程度であり、その強度は 1 桁程度のばらつきがあることを明らかにした。

今回我々は、2014 年 5 月までのデータを追加し、"超過成分" を持つであろう数領域の新たな候補を検出した。温度としては 0.4–1.2 keV 程度でありこれまでと同程度であったが、強度としては 3–4 倍程度大きなものが検出された。また、いくつかの領域に対して近赤外を用いて星の  $\log N - \log S$  のべきを調べたが大きな違いはなかった。しかし、視野内の星の数には 4 倍程度のばらつきが確認された。本講演では、超過成分の強度の違いに着目し、多波長データと合わせ、その起源についても議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R28b 位相分布関数を用いた銀河系中心部の力学構造の解析

原拓自, 郷田直輝, 矢野太平

銀河系バルジはこれまでの観測で3軸不等の構造をしていることがわかってるが、その具体的な形状(向きや軸比)については結論が出ていない。また、Nishiyama et al. (2006)では、銀河系バルジの内部にinner barが存在している可能性を示唆しており、その力学構造が関心をよんでいる。銀河中心方向を観測する計画の一つとして、日本の赤外位置天文観測衛星である小型JASMINEが検討されており、銀河系バルジの星の年周視差や固有運動を位置決定精度 $10 \mu\text{as}$ で観測することを目指している。個々の星の位相情報が得られると、理論的に予想される力学構造のモデルと比較し、そのモデルの判別が可能になる。

我々は力学構造のモデルとして位相分布関数を考えており、Hunt and Kawata. (2013)のparticle-by-particle M2M法を改良して仮定したポテンシャルにおいて、銀河系バルジの位相分布関数の構築を行った。さらにその位相分布関数と小型JASMINEで得られるであろう観測データを比較することで、どの程度その力学構造を判別できるかを評価した。本講演では、今回用いた手法と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](#)

## R29b 銀河系中心領域に発見したセファイド変光星の運動

松永典之 (1), 福江慧 (1), 山本遼 (1), 小林尚人 (1), Laura Inno(2,3), Katia Genovali(3), Giuseppe Bono(3), 馬場淳一 (4), 藤井通子 (5), 近藤壮平 (6), 池田優二 (6), 濱野哲史 (1), 西山正吾 (7), 長田哲也 (8), 青木和光 (5), 辻本拓司 (5); (1) 東京大, (2)ESO, (3) ローマ大トルベルガータ校, (4) 東京工業大, (5) 国立天文台, (6) 京都産業大, (7) 宮城教育大, (8) 京都大

古典的セファイドは、周期光度関係および周期年齢関係を利用して距離と年齢が精度よく求められるため、10 Myr から 300 Myr 程度の若い恒星種族のよいトレーサである。さらに、分光観測によって、視線速度や化学組成を求めることができれば、銀河系の構造や進化を探るために貴重な情報が得られる。本講演では、銀河系中心の周囲 200 pc 程度の範囲にあると考えられる 4 個の古典的セファイドに対して、すばる望遠鏡 IRCS での分光観測から得た視線速度を報告する。このうち、3 天体は Matsunaga et al. (2011, Nature, 477, 188) で発見を報告したものであり、1 天体は南アフリカ天文台 IRSF 望遠鏡を用いた探査で最近発見したものである。銀河系中心の周囲 200 pc 程度には Nuclear Stellar Disk と呼ばれる若い星を含む  $10^9 M_{\odot}$  の恒星が回転しているシステムが存在し、 $10^7 M_{\odot}$  オーダの星間物質が回転している Central Molecular Zone もそれと同じ領域である。我々の得た古典的セファイドの視線速度は、Nuclear Stellar Disk 中の他の星や星間物質と同じ回転をしていることを支持するものであった。数値シミュレーションなどから、それらの古典的セファイドは現在 Nuclear Stellar Disk 中を回転しているというだけでなく、誕生時にもディスク内にあったと予想される。ただし、Nuclear Stellar Disk 中での軌道を詳しく議論するためには、固有運動の測定を行って 3 次元の空間速度を調べる必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R30c VERA を用いた sh2-76E の年周視差計測

濱畑秀峰, 面高俊宏, 半田利弘 (鹿児島大学), 永山匠 (国立天文台), VERA プロジェクトチーム

S76 は Aquila Rift 方向、星形成領域に付随している HII 領域である。S76 は CO, CS など様々な分子輝線観測が行われており、2つの水メーザーがあることが知られている。その1つ sh2-76E はアンモニア輝線でも検出され、温度の局所的な増加が見られる。我々は、この水メーザーを国立天文台 VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) を用いて2010年12月から2011年2月まで計5回のVLBI観測を行った。検出した視線速度  $28.33 \text{ km/s}$  の水メーザースポットを用いてクエーサーに準拠した位相補償解析を行い、位置を測定した。その結果、 $0.479 \pm 0.062$  の年周視差を測定することに成功した。これは、 $2.09 - 0.24$   $2.09 + 0.31 \text{ kpc}$  の距離に対応し、固有運動を含む3次元運動についても測定した。今回はこれらの結果と考察について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## R31b Cold dark matter halo 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, 筑波大学)

現在の標準的な構造形成理論である cold dark matter(CDM) モデルは大規模な構造の統計的性質を説明することに成功した (Tegmark et al. 2004) 反面、1Mpc 以下の小さなスケールの構造においていくつかの問題が指摘されている。例えば、dark matter halo(DMH) の中心質量密度が発散する cusp 構造を预言する CDM モデルに対し (Navarro et al. 1996; Fukushige & Makino 1997)、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こと (Cusp-core 問題, Burkert 1995) や、質量の中心集中度が高い DMH を持つ大質量衛星銀河が見つからない (Too-big-to-fail 問題, Boylan-Kolchin et al. 2011, 2012) 等がある。

本研究ではこれら二つの問題を、DMH とバリオンの力学的相互作用に起因した DMH の中心密度分布の進化過程に関わる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](#)

## R32b レンズクエーサーを用いた多視線分光観測による金属吸収体の統計的調査

小山田涼香、三澤透（信州大学）、稲田直久（奈良工業高等専門学校）、大栗真宗（東京大学）

従来のクエーサー吸収線では、一視線方向の吸収体の情報しか調査できなかった。だがレンズクエーサーを背景光源に用いることで、吸収体を多視線で捉えることが可能になり、遠方宇宙の吸収体のサイズや分布といった空間情報を取得できるようになった。

そこで我々は重力レンズクエーサー探査に用いられた多数のレンズクエーサーの高分散分光データを用い、吸収体の諸性質を統計的に調査した。2014年度春季年会では、Gemini/GMOSで観測されたレンズクエーサー5天体に基づく吸収線の物理量調査を報告したが、今回はさらにKeck-II/ESIで取得されたレンズクエーサー6天体を追加した。レンズクエーサースペクトルの吸収線から吸収体の赤方偏移、等価幅、柱密度を計測し、対となる視線間の実距離と各物理量の差異との相関の有無を調査した。また電離状態の異なる吸収体(MgIIやCIV)の傾向の差異や、赤方偏移進化なども調査するために、各物理量をサブサンプルに分割した統計解析も行った。これらの結果を、前回は主にEllison et al. (2004)と比較しただけであったが、今回は重力レンズクエーサーによる多視線分光観測を報告した論文15本のデータも含めて、より包括的な統計解析を行った。最終的に各物理量の解析の結果から、各吸収体が具体的にどのような天体(銀河のディスク、分子雲、アウトフロー等)の物理的特徴に合致するかを考察した。なお、本研究は2020年代に到来するであろうTMTによる高密度多視線分光観測に基づく宇宙大規模構造の3Dトモグラフィーの予備的研究という意味でも重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【S. 活動銀河核】

3月20日(金)午前(09:30-11:30) [F会場]

<b>S01a</b>	09:30	狭輝線 1 型セイファート銀河の X 線時間変動に対する特徴付けとその比較 桑原啓介(首都大学東京)
<b>S02a</b>	09:42	ケブラーブレーザー W2R 1926+42 のショット解析による短時間変動の研究 笹田真人(京都大学)
<b>S03a</b>	09:54	ℓ1 トレンドフィルターを用いたアウトバースト検出によるブレーザー天体の磁場構造の推定 神田優花(広島大学)
<b>S04a</b>	10:06	MAGIC 望遠鏡による活動銀河核 IC310 からのガンマ線短時間変動観測 榎田淳子(東海大学)
<b>S05a</b>	10:18	3C 120: ブラックホールと $\gamma$ 線放射領域とジェット生成領域と電波コアの位置関係 土居明広(宇宙航空研究開発機構)
<b>S06a</b>	10:30	VLBA+GBT @ 86GHz による M87 ジェット生成領域の高分解能・高解像度 秦和弘(国立天文台)
<b>S07a</b>	10:42	EHT で探る M87 の超巨大ブラックホール最近傍の構造 II 秋山和徳(東京大学)
<b>S08a</b>	10:54	疎性モデリングを用いた M87 中心核の超解像イメージング 田崎文得(国立天文台)
<b>S09b</b>	11:06	Arp 102B のダブルピーク $H\alpha$ 輝線短期変動の分光観測 中尾光(北海道大学)
<b>S10b</b>	11:06	近赤外線分光観測に基づくセイファート銀河の狭輝線領域における電離メカニズムへの制限 寺尾航暉(愛媛大学)
<b>S11b</b>	11:06	ライフォース駆動型円盤風の示す時間変動 野村真理子(国立天文台)
<b>S12b</b>	11:18	広帯域 X 線スペクトルから探る活動銀河核のトーラス構造 粟木久光(愛媛大学)
<b>S13b</b>	11:18	活動銀河核における X 線時間変動の系統的研究 本川祐司(芝浦工業大学)
<b>S14b</b>	11:18	クェーサースペクトルエネルギー分布の準解析的モデルへの導入と解析 白方光(北海道大学)
<b>S15b</b>	11:30	データマイニングによる Fermi-LAT 未同定天体からの AGN 候補の抽出 澁谷文紀(芝浦工業大学)
<b>S16c</b>		Cen A からのガンマ線放射に関する 2 成分ジェットモデル 楠瀬正昭(関西学院大学)
<b>S17c</b>		VERA による低光度 AGN M84 の 2 周波 (22,43 GHz) 同時モニター観測 中原聡美(鹿児島大学)
<b>S18c</b>		Long Light Curves of 16 Never-Observed Sources in Southern Hemisphere using the Geodetic VLBI 貴島政親(徳島大学)

(次頁に続く)

## 【S. 活動銀河核】

3月20日(金)午後(13:30-15:30) [F会場]

S19a	13:30	エディントン光度：再考 福江 純(大阪教育大学)
S20a	13:42	多重層雲の輻射輸送の特徴 増田剛大(大阪教育大学)
S21a	13:54	降着円盤輻射で駆動する層雲の運動特性 仲井琢哉(大阪教育大学)
S22a	14:06	光学的に薄い球対称ブラックホール風におけるシンクロトロン放射スペクトルの特徴 早川 賢(大阪教育大学)
S23a	14:18	降着円盤アウトフローの密度/速度構造が与えるスペクトル吸収線への影響 吉田鉄生(国立天文台)
S24a	14:30	最大離角レンズケーサーによる AGN アウトフロー内部構造の調査 三澤 透(信州大学)
S25a	14:42	ケーサー光度とアウトフローの時間変動の関連 堀内貴史(信州大学)
S26a	14:54	ガス雲の通過に伴う銀河中心ブラックホール高温降着流の光度変化 川島朋尚(国立天文台)
S27a	15:06	超巨大ブラックホール成長と銀河核ガス円盤の関係 川勝 望(呉工業高等専門学校)
S28a	15:18	AGN トーラスの起源とその力学・化学進化 和田桂一(鹿児島大学)
S29a	15:30	分子輝線観測で探る銀河系中心核への質量供給過程 竹川俊也(慶應義塾大学)

3月21日(土)午前(09:30-11:30) [F会場]

S30a	09:30	セイファート NGC 3516 の X 線と可視光の間に見られた光度変動の遅延 野田博文(理化学研究所)
S31a	09:42	活動銀河核の中性 FeK $\alpha$ 輝線幅の系統的解析による放射領域推定と時間変動性の発見 伊藤由裕(東京理科大学)
S32a	09:54	フレームワーク MONACO を用いた活動銀河核トーラスの X 線スペクトルシミュレーション 2 古井俊也(広島大学)
S33a	10:06	2 型活動銀河核の偏光広輝線観測に対するトーラスの幾何構造の影響 市川幸平(京都大学)
S34a	10:18	IR observation and SED+spectroscopy fitting of a buried AGN in the nearby merging galaxy NGC 6240 Tamami Mori (The University of Tokyo)
S35a	10:30	「あかり」と Spitzer を用いた分子トーラスの物理状態の推定 馬場俊介(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S36a	10:42	強い吸収を受けた活動銀河核における高励起分子ガスの起源について 中川貴雄(宇宙航空研究開発機構)
S37a	10:54	Subaru/XMM-Newton Deep Survey 領域の X 線選択された活動銀河核の空間相関 水野翔太(京都大学)
S38a	11:06	HSC サーベイを用いた高赤方偏移ケーサー探査 尾上匡房(総合研究大学院大学)
S39a	11:18	Quasar Host Galaxies in the SDSS Reverberation Mapping Project 松岡良樹(国立天文台)
S40a	11:30	ケーサー広輝線領域の [Mg/Fe] 組成比診断法 鮫島寛明(宇宙航空研究開発機構)

## S01a 狭輝線1型セイファート銀河のX線時間変動に対する特徴付けとその比較

桑原啓介, 山田真也, 大橋隆哉 (首都大学東京), 野田博文 (理化学研究所)

活動銀河核 (AGN) の種族の中で、Narrow-Line Seyfert 1 型 (NLSy1) は、Broad-Line Seyfert 1 型と比較して、やや小さい質量と非常に高い質量降着率を有し、X線スペクトル成分の形状や時間変動の特徴が異なることが分かっている。特にタイムスケールの短い強度変動は、ブラックホールのごく近傍の物理を反映していると考えられているが、その起源は未だにわかっていない。これまで時間平均したエネルギースペクトルや、パワースペクトル解析などから様々な解釈が試みられてきたが、特徴的な構造が少ないため複数のモデルや解釈が縮退しやすく、一意的な解を得るのが困難であった。

そこで我々は、変動のタイムスケールやX線強度、ハードネスの変化がどう関連するかを明らかにするため、ソフト帯域 ( $\leq 1$  keV) とハード帯域 ( $\geq 2$  keV) のカウントレート、ハードネス、および時間幅の相関を調べる手法に着目した。この手法を、XMM Newton のアーカイブの PG1244+026, Ark564, Mrk766, MCG-6-30-15、および IRAS13224-3809 のデータに適用したところ、ある時間帯において、通常見られていた時間変動とは異なる特徴の強度変動を示す天体が存在することがわかった。この結果は、ハード帯域 (2.5-10 keV) でのエネルギースペクトルの形により NLSy1 は 2 つのタイプに分類できるという予想 (Gallo, L.C. 2006) を支持するものと考えられる。2 つのタイプとは、スペクトルが powerlaw 型で典型的なフラックスの状態である「simple 型」と、複雑な電離吸収を受けハードなスペクトルを持つ「complex 型」になるフラックスの低い状態である。本講演では、このような解析結果および NLSy1 の 2 つのタイプの可能性について議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a            **ケプラーブレイザー W2R 1926+42 のショット解析による短時間変動の研究**

笹田真人, 嶺重慎 (京都大学), 山田真也 (首都大学東京), 根来均 (日本大学)

活動銀河核の一種であるブレイザーは相対論的ジェットを真正面に受けて観測している天体であり、ジェットの相対論的効果によって激しい変動や広い周波数帯で放射するなどの観測的特徴を示す。ブレイザーの光度変動のタイムスケールは様々であり、数分から10年以上と幅広い。ブレイザーの1日以内の短時間変動も様々な波長で観測されているが、変動のメカニズムはまだよくわかっていない。

ケプラー衛星は系外惑星の発見を主目的として白鳥座の領域を連続的にモニター観測を行い、10万におよぶ天体の光度曲線を同時に取得する。ブレイザー W2R 1926+42 もケプラーターゲットのひとつであり、Quater 14において1分の時間分解能で100日間におよびモニター観測が行われた。得られた光度曲線には1時間スケールで変動する短時間変動が多数検出された。我々は検出された短時間変動に対してスタッキング解析の一種であるショット解析を行い、光度変動の平均プロファイルを見積もった。その結果、増光と減光の時間スケールはそれぞれ約3600秒と5100秒と異なることがわかった。もし短時間変動がドップラー因子の変化による見かけの明るさの変動であるならば、光度変動は対称になるはずであるから、我々の解析はこの説を棄却する。すなわち本結果は、実際に粒子加速が発生し、高エネルギー電子が生成されていることを示唆する。本講演ではケプラー衛星で観測されたブレイザーにおいて検出された短時間変動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](#)

S03a  $\ell 1$  トレンドフィルターを用いたアウトバースト検出によるブレーザー天体の磁場構造の推定

神田優花, 植村誠, 田中康之, 秋田谷洋, 伊藤亮介, 河口賢至, 志岐健成 (広島大学)

活動銀河核の中でも、ブレーザー天体ではジェット成分が卓越した放射がみられ、シンクロトロン放射による偏光も観測される。また、大規模なアウトバースト時には偏光の変化を伴う傾向がある。可視域のような光学的に薄い領域ではジェット内の磁場と垂直な方向に偏光する。その性質からアウトバースト成分の偏光方位角と電波ジェットの方向の相関を探ることでジェット内の普遍的な磁場構造を調べることができる。しかし、ブレーザー天体の光度変化は不規則で様々な規模のアウトバーストが重なっているためアウトバーストの極大を客観的に定義することが難しい。

そこで、時系列データの構造転換点を検出する  $\ell 1$  トレンドフィルターを用いてアウトバースト検出を試みた。今回は広島大学かなた望遠鏡の TRISPEC(可視赤外線同時撮像分光装置), HOWPol(一露出型偏光撮像装置) で観測された時系列データ、また電波ジェットの方向を決めるために VLBA の公開データを用いた。かなた望遠鏡での観測期間は約 5 年間、対象となるブレーザー天体は約 40 天体である。 $\ell 1$  トレンドフィルターについてはブレーザー天体の偏光データに応用するために改良を加えた。具体的には、非均一なデータ間隔を正確にモデルに反映させ、光度と偏光パラメーター Q,U のグループ化を行なっている。また、折れ曲がりの数を決めるパラメーターを天体ごとに適切な値に決定した。その結果、TRISPEC のみのデータでは、約 500 個のアウトバーストが検出された。検出されたアウトバースト成分の偏光方位角と電波ジェットの方向には有意な相関は見られなかった。本講演では、HOWPol のデータも加えた結果、並びに各天体ごとの特徴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](#)

S04a **MAGIC 望遠鏡による活動銀河核 IC310 からのガンマ線短時間変動観測**

櫛田淳子, 小谷一仁, 西嶋恭司 (東海大理), 折戸玲子 (徳島大総合科学), 窪秀利, 今野裕介 (京大理), 齋藤隆之 (京大理、京大白眉センター), 齋藤浩二, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明, Daniela Hadasch (東大宇宙線研), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東大宇宙線研、Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 高見一 (KEK), 他 MAGIC Collaboration

MAGIC 望遠鏡は口径 17m の大気チェレンコフ望遠鏡 2 台で構成され 25 GeV 以上の超高エネルギーガンマ線を高感度で観測可能である。2009 年に MAGIC 望遠鏡によって活動銀河核「IC310」を観測し、初めて超高エネルギーガンマ線の放射を検出した。その結果、ジェットが観測者の方向を向いている「ブレイザー天体」であることがわかった。IC310 は赤方偏移  $z=0.0189$  であり、 $(3^{+4}_{-2}) \times 10^8$  太陽質量のブラックホールを有している。長基線電波干渉計による観測からは、ジェットの噴出方向は我々の視線方向から 10 度程度と見積もられている。

本講演では、2012 年 11 月に IC310 で起こったガンマ線フレア現象の観測結果について報告する。この時のガンマ線強度の時間変動を調べた結果、5 分程度の非常に速い変動性があることがわかった。これは、理論的にブラックホールの大きさから推定されるガンマ線放射よりもはるかに短い時間変動になる。観測の詳細について述べ、この変動性を生み出すガンマ線放射の起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a            **3C 120: ブラックホールと $\gamma$ 線放射領域とジェット生成領域と電波コアの位置関係**

土居明広 (宇宙航空研究開発機構) 田中康之 (広島大学) 井上芳幸 (宇宙航空研究開発機構)

AGNにおける $\gamma$ 線放射のメカニズムについては、まだ統一的な結論は得られていない。ブラックホール・ $\gamma$ 線放射領域・ジェット生成領域・電波コアの位置関係を観測的に決定することは、その放射メカニズムを理解する鍵となる。VLBIの空間分解能はサブパーセクを撮像するポテンシャルをもつが、ジェットの最上流の光学的厚みに阻まれ、 $\gamma$ 線放射領域を直接調査することができていない。今回我々は、時間・空間・周波数の3つのドメインから同時にアプローチすることでこの問題を解決し、AGN最深部の構造を、初めて明確に推定することができた。

電波銀河3C120においては、 $\gamma$ 線放射がフェルミ衛星によって検出されており (e.g., Kataoka et al. 2011)、 $\gamma$ 線に伴う電波ジェットノットの出現が発見された (Tanaka et al. submitted to ApJL)。このイベントについて我々は、複数周波数・複数エポックのVLBIデータを用い、以下のような分析をおこなった: (1) ノット固有運動の計測をおこない、 $\gamma$ 線放射領域は電波コアの上流  $0.52 \pm 0.11$  パーセクにあると推定、(2) コアシフト測定をおこない、ジェット生成領域は電波コアの上流  $0.46 \pm 0.15$  パーセクにあると推定、(3) 電波コアについての多周波ライトカーブの解析をおこない、ノット固有運動とコアシフトプロファイルとの一致性を確認、(4) ジェット成分サイズの距離発展プロファイルを調査し、上流外挿のジェット構造は上記(1)–(3)と一致することを確認した。さらに、過去の研究では、電波コアの上流約0.6パーセクの位置に降着円盤コロナ(とブラックホール)があることを示すX線-電波の相関タイムラグが観測されている。これらを合わせると、3C 120の $\gamma$ 線放射領域は、電波コアの遙か上流、ブラックホール近傍にあるジェット生成領域とエラーの範囲で一致する位置に存在することになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06a **VLBA+GBT @ 86GHz による M87 ジェット生成領域の高分解能・高解像度**

秦和弘 (NAOJ), 紀基樹 (KASI), 永井洋, 本間希樹, 秋山和徳, 田崎文得, 萩原喜昭 (NAOJ), 土居明広 (JAXA), G.Giovannini, M.Giroletti (INAF-IRA)

活動銀河核 (AGN) における相対論的ジェットの駆動機構解明は長年のテーマである。この問題の解決には中心ブラックホール (BH) に匹敵するスケールでジェット生成領域を直接撮像することが必須である。最近傍の AGN ジェット M87 はこの課題に取り組む上で最重要天体の 1 つであり、近年はサブミリ波 VLBI の進展に伴い 230GHz 帯で約 6Rs のスケールまで根元構造が分解され始めている (Doeleman et al. 2012)。しかしサブミリ波では未だ画像取得が難しく、撮像研究は観測が比較的容易な 43GHz 帯までが現在でも主流である (Walker et al.)。一方で 43GHz では分解能、透過率の点で 230GHz 観測との間に大きなギャップを抱えている。そこで鍵になってくるのが両周波数の橋渡しとなる 86GHz 帯での高品質な撮像観測である。

我々は 2014 年 2 月、86GHz 帯では初となる大口径 GreenBank100m 望遠鏡を投入した M87 ジェット根元の VLBA 撮像観測を世界に先駆けて実施した。その結果、86GHz 帯において約 10Rs に至る空間分解能でかつてないほど詳細なジェットイメージを取得することに成功した。更に 86GHz VLBI では初となる M87 根元の偏波観測も試みた。本講演ではこれらの結果に基づいて M87 ジェットの生成機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S07a **EHTで探るM87の超巨大ブラックホール最近傍の構造 II**

秋山和徳 (東大/国立天文台), R.-S. Lu(MPIfR), V.L. Fish, S.S. Doeleman(MIT Haystack Observatory), A. Broderick(Perimeter Institute), J. Dexter(MPE), 本間希樹 (国立天文台) 他

おとめ座銀河団の中心に位置する巨大電波銀河 M87 は全天で二番目に角半径が大きい超巨大ブラックホールを有し、国際サブミリ波 VLBI 観測網 Event Horizon Telescope (EHT) の初期観測によって  $\sim 5.5 R_g$  の構造が検出されるなど、ブラックホールの事象の地平面の直接撮像が期待されている天体である。本講演では 2014 年春季年会の講演 (S03a) に引き続き、2012 年に行われた EHT の M87 の 1.3 mm 帯の初期観測の結果を報告する。

本観測では事象の地平面の構造のイメージングに必要となるクロージャー位相とよばれる観測量の検出に初めて成功した。M87 の 1.3 mm 波帯の事象の地平面近傍の放射構造として、アプローチ・ジェット卓越型、カウンタージェット卓越型、降着円盤卓越型の 3 つのモデルが提案されているが、観測されたクロージャー位相はこれらの理論的予想と一致した。また現状モデルの切り分けは困難であるが、2015 年以降の ALMA 等が参加するアレイでは切り分けが可能になり、事象の地平面近傍の放射構造に非常に強い制限が与えられることが分かった。

M87 の事象の地平面近傍の構造の輝度温度は  $2 \times 10^{10}$  K であり、ブラックホールから  $10^2 R_g$  以内に存在する 1-86 GHz 帯の電波コアのピークの輝度温度と概ね一致する。これはジェットの磁場のプロファイルが  $B \propto r^{-1}$  に近いことを示唆しており、今後の EHT や 3 mm 帯の観測 (秦講演)、超解像度イメージングを駆使した低周波帯の観測 (田崎講演) などによりジェットの生成に重要な役割を果たす磁場構造の解明に大きな進展が期待される。

本結果に加え、疎性モデリングを用いたイメージング技法 (田崎講演) の登場などにより、EHT による事象の地平面の撮像の実現可能性は飛躍的に高まってきている。最後に今後の EHT の観測の展望を紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a

## 疎性モデリングを用いた M87 中心核の超解像イメージング

田崎文得, 本間希樹, 秦和弘 (国立天文台), 秋山和徳 (東京大学/国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所), 工藤星授 (九州大学)

我々は、現在進行中のプロジェクト「Event Horizon Telescope (EHT)」でブラックホールの直接撮像を目指している。EHT は地球規模の VLBI でサブミリ波観測を行うことで、高空間分解を実現する。その中で日本のグループは疎性モデリングを応用した新しいイメージング手法を開発している。この手法を用いると、多くのピクセル値がゼロ (疎) であるという仮定のもと、画像ピクセル数よりも観測ビジビリティの数が少ない劣決定問題を解くことができるため、VLBI の超解像イメージングを実現することができる。

本講演では Honma et al. (2014) で報告された新イメージング手法を、実際の VLBI 観測データに初めて適用した結果を示す。M87 という巨大電波銀河の中心核を、米国の VLBI である VLBA で 7 mm から 13 cm の多波長にわたって観測したデータを使用した。M87 のブラックホール視半径は天の川銀河の中心にあるブラックホール (Sgr A\*) に次いで大きいため、EHT の重要なターゲットである。

この結果、すべての観測波長で解像度がビームサイズのおよそ半分以下の画像を再構成することができた。特に 7 mm の画像には、従来よりも電波コアに近い部分からジェットの縁が輝く現象が見られた。またこれまでは明るい電波コアに埋もれてしまっていたが、コアから 0.6 ミリ秒角程度の領域に、ブラックホールから観測者とは逆向きに噴出する「カウンタージェット」のような構造が新たに確認された。これらの結果は M87 ジェットの形成を理解する鍵となるはずである。本講演では以上の成果を報告するとともに、ジェット根元の構造やジェットとブラックホールとの位置関係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](#)

## S09b Arp 102B のダブルピーク $H\alpha$ 輝線短期変動の分光観測

中尾光, 渡辺誠, 徂徠和夫, 阿部祐平 (北海道大学)

AGN の電波強度の違いを生み出す要因として、電波の強い AGN では質量降着率が低いために降着円盤内側に放射不良降着円盤 (以下 RIAF) が形成されることが予想されており、X 線の観測から RIAF の存在が示唆されている。その中には  $H\alpha$  輝線のブロードな成分がダブルピークとなっている天体があり、そのダブルピークスペクトルの放射源は RIAF よって照らされた降着円盤である可能性が考えられている。X 線では数日スケールの短期変動が観測されており、もし RIAF が降着円盤を照していれば、ダブルピークスペクトルにも X 線と同じタイムスケールの短期変動が見られるはずである。降着円盤自体が数日スケールで変化するとは考えにくいいため、数日スケールの短期変動を捉えることができれば RIAF の存在を示す証拠となり得る。電波の強い AGN である NGC5548 では、数日スケールで 10% の X 線強度の変動が 60 日に 1 回程度の頻度で確認されている。ダブルピーク天体の RIAF において同様の X 線強度の変動が起きた場合、ダブルピークスペクトルのブルー側の強度が 20% 程度変動する見積りを得た。

そこで我々は RIAF の存在を示すため、ダブルピーク天体の中で RIAF の存在が示唆されている Arp 102B の分光モニター観測を実施した。観測は北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡の可視撮像分光装置 NaCS を用いて 2013 年 5 月、8 月にそれぞれ 1 ヶ月間、2014 年 2 月に 4 日間行い、その内それぞれ 12、10、3 夜でスペクトルを取得できた。その結果、ブルー側の強度で 30% 程度などの数ヶ月スケールの長期的な変動が見られたが、10% 以上の数日スケールの短期変動は見られず、RIAF の存在を示すことはできなかった。短期変動が見られなかった一因として、RIAF が存在しているにも関わらず、X 線の変動が起きていなかった可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10b 近赤外線分光観測に基づくセイファート銀河の狭輝線領域における電離メカニズムへの制限

寺尾航暉, 長尾透 (愛媛大学), 橋本哲也, 柳澤顕史 (国立天文台), 松岡健太 (京都大学), 池田浩之 (愛媛大学/ASIAA), 谷口義明 (愛媛大学)

活動銀河核 (AGN) の狭輝線領域 (NLR) の電離メカニズムは、中心核からの電離光子による光電離であるとする考えが広く支持されているが、電波ジェットによる衝撃波が電離に影響を及ぼしている可能性も指摘されている。しかし一般には光電離と衝撃波による電離を観測的に切り分けることは困難だと考えられてきた。その中で Oliva et al. (2001) が近赤外線に見られる輝線  $[\text{Fe II}]\lambda 1.257 \mu\text{m}$  と  $[\text{P II}]\lambda 1.188 \mu\text{m}$  の強度比を用いる方法を提案している。衝撃波によって電離されたガスでは、ダスト破壊により気相における鉄の組成比が増加して輝線強度比  $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$  が大きくなるが ( $> 20$ )、一方で光電離されたガスでは小さい ( $< 2$ ) ことが期待される。ところが、AGN におけるこの輝線強度比はこれまであまり調査されておらず、サンプル数が少ないために統計的な議論が進んでいない。

本研究では、岡山天体物理観測所の近赤外線分光装置 ISLE を用いて AGN の一種族であるセイファート銀河 (26 天体) を分光観測し、得られた近赤外線スペクトルの解析を行った。21 天体で  $[\text{Fe II}]$  が検出され、そのうち 6 天体で  $[\text{P II}]$  が検出できた。測定した  $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$  強度比あるいはその下限値から、多くの AGN の NLR が光電離によって決まっていると考えられるが、衝撃波の寄与を考慮しなければ説明できないような輝線強度比が得られた天体も存在しており、全ての AGN の NLR が光電離だけで決まっているわけではないことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## S11b ラインフォース駆動型円盤風の示す時間変動

野村真理子 (NAOJ), 大須賀健 (NAOJ/総研大), 高橋博之 (NAOJ)

活動銀河核 (AGN) の輻射スペクトルに青方偏移した吸収線が発見され、ジェットとは異なるアウトフローがあることがわかってきた。一部のアウトフローの速度は光速の 10–30% に達し、エネルギー放出率が大きいことから、巨大ブラックホールの成長過程や母銀河の星形成に影響を与えてきた可能性がある。このためアウトフローの存在は現在非常に重要視されているが、その正体は不明である。吸収線の代表例である Broad Absorption Line (BAL) や Ultra Fast Outflow (UFO) と呼ばれる高速アウトフローの理論モデルとして有力視されている『ラインフォース駆動型円盤風』とは、中間電離状態の金属元素が UV 光子を束縛-束縛遷移で吸収する際に受ける力 (ラインフォース) によって加速される円盤風である (Proga et al. 2000, 2004; Risaliti & Elvis 2010)。我々は、この円盤風が光速の 10% 程度の速度を持ち、ブラックホール質量、エディントン比の広いパラメータ領域において、電離度、速度、柱密度が UFO の観測結果と一致することを明らかにした (2014 年秋季年会)。

近年、BAL や UFO が時間変動を示すことがわかってきた (e.g., Misawa et al. 2007; Tombesi et al. 2012)。アウトフローの電離状態や運動の変化に起因している可能性が指摘されているがよくわかっていない。我々は、ラインフォース駆動型円盤風の輻射流体シミュレーションによって円盤風の構造が時間変化することを見いだした。このシミュレーション結果を元に、円盤風の電離状態や速度の時間変動と観測されている吸収線の時間変動との関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## S12b 広帯域 X 線スペクトルから探る活動銀河核のトーラス構造

粟木久光、寺島雄一（愛媛大学）、岡島崇（NASA/GSFC）

活動銀河核 (AGN) は、宇宙の中で最も活動的な天体の一つであり、銀河中心に超巨大ブラックホールが存在していると考えられている。この超巨大ブラックホールがいつどのように誕生し成長してきたのか未知の部分が多く、その解明には AGN の構造と活動性を知る必要がある。この研究には隠された AGN、特に Compton thick 天体 (CT AGN) と呼ばれる非常に強い吸収 ( $N_{\text{H}} > 10^{24} \text{ cm}^{-2}$ ) を受けた天体が鍵となる。CT AGN では、中心核からの強い X 線放射が視線方向の物質に遮られており、強い X 線によって照らされた周辺物質からの微弱な再放射が観測でき、再放射 X 線から周辺物質の量や分布などを知ることが可能となる。しかし、その X 線スペクトルは微弱かつ複雑な上、トーラス構造を考慮したスペクトルモデルが存在していなかったために、トーラスの構造に制限を与えるような研究は進んでこなかった。

我々は、光線追跡シミュレーションを使ってトーラス状に一様に分布した物質からの再放射 X 線を計算し、「すざく」衛星で観測した広帯域スペクトルを再現した (Ikeda+09 他)。しかし、トーラス構造に十分な制限を与えることはできなかった。そこで、10 keV 以上の硬 X 線域で質の高いデータを得ることができる NuSTAR 衛星の公開データを使い、トーラスモデルを使って周辺構造に対してどこまで制約をつけることができるのか研究を進めている。同様の研究は、NGC1068 で Bauer+14、Circinus galaxy で Arévalo+14 でも行われているが、これらの論文ではトーラスの開口角が固定されている MYTORUS モデルを使用しているのに対し、我々はトーラスの開口角を自由に変更できるモデルを使用しているという利点がある。現在、このモデルを NGC 1068 の広帯域 X 線スペクトルに適用しており、その結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## S13b 活動銀河核における X 線時間変動の系統的研究

本川祐司, 吉田健二 (芝浦工業大学)

活動銀河核 (AGN) から電波や X 線、ガンマ線にわたる広い波長帯で非熱的な放射が観測されている。これらの AGN では広波長域でフレアと呼ばれる現象が起こることが知られており、放射強度が 1 時間程度から数ヶ月にわたるさまざまなタイムスケールで激しく変動を起こすことが観測されている。本研究では全天 X 線監視装置 (MAXI) により観測された AGN のアーカイブデータを用いて 2-20keV の X 線フレア現象の系統的・統計的な研究を行った。このために、フレアの発生と終了期間を定義してフレアを抽出し、定常期のフラックスで規格化したフレアのピークフラックス、フレア発生期間、フレアの立ち上がり期間と立ち下がり期間との時間的対称性などの分布や相関関係を導出した。本講演では、X 線フレアに関わるこれらの物理量の解析結果を報告するとともに、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡に搭載されている大面積望遠鏡 (Fermi-LAT) により観測された 0.1-300GeV のガンマ線フレア (e.g. Abdo et al 2010) についても解析を行い、比較した結果を報告する。また、これらの結果から AGN における X 線・ガンマ線フレア発生モデルについて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S14b            クェーサースペクトルエネルギー分布の準解析的モデルへの導入と解析

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 (筑波大学), 真喜屋 龍 (東京大学)

我々は Numerical Galaxy Catalogue ( $\nu$ GC; Nagashima et al. 2005) をベースとした準解析的銀河形成モデルを用いて、クェーサーの統計的性質を研究している。2014 年秋季年会 (S36a) では、母銀河に存在するダストがクェーサーに与える減光効果を銀河のモデルと統合的に考えた。モデルから得られた光度関数を観測と比較し、このダスト減光効果は無視できないことを報告した。今回はクェーサーの B バンド光度関数のみを比較した結果を報告したが、この結果の正当性を議論するためには、ダスト減光を無視してよいと考えられる波長域の観測データとの整合性を見ることが必要である。また、観測結果を解析・議論する際に使えるモデルを構築するという意味では、クェーサーの多波長のスペクトルを再現できることが望ましい。そこで、クェーサースペクトルエネルギー分布のモデル化を行うことにした。ダスト減光の取り扱いは前回と同様、銀河のモデルと統合的に扱う。本学会では X-Ray の光度関数の観測との比較結果をはじめ、モデルの改良点やそこから得られるクェーサーの統計的性質について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## S15b データマイニングによる Fermi-LAT 未同定天体からの AGN 候補の抽出

澁谷文紀、吉田健二 (芝浦工業大学)

Fermi-LAT による 0.1GeV-300GeV のガンマ線によってブレーザーを始めとする活動銀河核 (AGN) が観測されている。Fermi-LAT で 2 年間観測したガンマ線点源のカタログである The Second Fermi-LAT Source Catalog (2FGL) によれば、Fermi-LAT が観測したガンマ線点源の数は 1873 個である。そのうちの 1092 個が AGN、205 個が非 AGN であり、残りの 576 個は未同定天体である。未同定天体から AGN 候補等の天体を分類することができれば、他波長でのフォローアップ観測で有効であり、未同定天体の識別の試みがなされている (e.g. Abdo et al.2012)。AGN 識別率が 80 % に対して、非 AGN 天体の誤識別率は 11 % になるという報告もなされている (Doert et al.2013)。本研究では、2FGL でのハードネス比、spectral index 等の特徴量からマハラノビスタグチ法 (MT 法) を用いて、2FGL の未同定天体から AGN 候補の抽出を行った。MT 法とはデータマイニングの手法の一種で、基準データの特徴項目から基準空間を構築し、各対象を基準空間に適用することで対象が基準点からどれほど離れているかを調べる手法である。本講演では、今回の抽出方法による AGN 識別能力を従来の結果と比較するとともに、MT 法を用いて抽出した結果を報告し、その特徴について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S16c

**Cen A からのガンマ線放射に関する 2 成分ジェットモデル**

楠瀬正昭 (関西学院大学)

Cen A の活動性は古くから知られているが、最近になって Fermi や H.E.S.S. によって高エネルギーガンマ線が中心部分から放射されているのが確認された。この天体の放射スペクトルはブレイザーのように、 $\nu$ - $\nu F_\nu$  プロットで2つのピーク(可視・赤外領域と X 線・ガンマ線領域)をもつ。そのため、ブレイザーと同様、シンクロトロン放射による可視・赤外線放射とシンクロトロン・セルフ・コンプトン (SSC) による X 線・ガンマ線放射のモデルが考えられてきた。しかし、最近の Fermi や H.E.S.S. によって得られてきたガンマ線スペクトルには、SSC の延長では説明できない折れ曲がりがある。また、スペクトルは  $\nu F_\nu$  のピーク領域から、振動数でさらに 8 桁もガンマ線領域に延びている。これまで、この折れ曲がりを見込めた 2 成分ジェットのモデルも考えられたが、放射を行う電子のエネルギーが大きすぎるなどの問題点があった。そこで我々は、電子のエネルギー分布を光子スペクトルと同時に計算し、矛盾のない放射スペクトルを求めた。その結果、 $\sim 10^{23}$  Hz までのスペクトルは、ドップラー因子が 1 程度のジェット成分の放射、また  $> 10^{23}$  Hz のスペクトルはドップラー因子が 7 程度の成分からの放射によって説明できることを示した。これは、バルクなローレンツ因子が 7 程度のジェットが視線方向からずれた向きに吹き出しており、ジェットの中心軸付近が  $\lesssim 10^{23}$  Hz の放射、軸から離れ我々の視線方向に向いた部分が  $> 10^{23}$  Hz の放射に寄与していると解釈することができる。また、放射領域の磁場は、中心軸付近では 6.2 G 程度、ジェットの端では 0.02 G 程度であると評価できた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S17c **VERA による低光度 AGN M84 の 2 周波 (22,43 GHz) 同時モニター観測**

中原聡美 (鹿児島大学/NAOJ), 秦和弘 (NAOJ), 本間希樹 (NAOJ), 中西裕之 (鹿児島大学), 土居明広 (JAXA)

近傍宇宙 (< 200 Mpc) に存在する活動銀河核 (AGN) の 95%以上は、質量降着率が小さく極めて暗い ( $L_{bol} \ll L_{Edd}$ ) タイプの低光度 AGN である (Ho et al. 1997; Ho 2008)。よって低光度 AGN は AGN の一般的な物理状態を知る上で重要な天体だが、暗さゆえに観測が難しく、VLBI による中心核の基本的な物理情報 (ジェット速度や磁場など) の調査が困難であった。

乙女座銀河団の中心に位置する M84(NGC4374) は、全天でも 5 番目に大きなブラックホール視半径を持ち (Doi et al. 2005; Ho et al. 1997)、1 ミリ秒角  $\sim 0.089$  pc  $\sim 582 R_S$  の空間分解能に相当するため、低光度 AGN のブラックホール近傍の物理状態を VLBI の高空間分解能を用いて調べるのに適した天体である。我々は M84 を、国立天文台 VERA による 2 周波 (22,43 GHz) 同時 2 ビーム位相補償観測を用いる事で検出し、約 2 週間に 1 度の頻度で 2012 年から 2014 年の間、計 18 エポックモニターした。

その結果、22 GHz の電波画像から北側に伸びたジェット成分を検出する事に成功した。マルチエポック観測を行って得た 2012 年から 2014 年の計 18 エポックの電波画像から、ジェットの時間変化を追い、みかけのジェット速度は  $1.3c$  以下である事がわかった。本講演では、ジェット-カウンタージェットの輝度比、ジェットの傾き角と速度、磁場強度など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](#)

S18c      **Long Light Curves of 16 Never-Observed Sources in Southern Hemisphere using the Geodetic VLBI**

貴島政親 (徳島大学)

活動銀河中心核 (AGN) の研究において、天文衛星 (Fermi など) によって全天・高頻度なデータを取得することが可能となったことで、地上観測を主流とする電波望遠鏡では監視アラートへの follow-up 観測プログラムが展開され始めた。しかし、既存の電波観測所は北半球中心であり、全天的な監視アラートに対応するためには、南天天体への観測体制の確保が重要である。

我々の研究目的は、測地電波干渉計 (以下、測地 VLBI) に注目し、従来観測と相補的に強度変動データを入手する手法の確立である。測地 VLBI は、1979 年から実施されており、1 観測に百天体以上を観測するため、長期的かつ多天体のデータが期待できる。また南半球 (南極の昭和基地まで) のアンテナも参画しており、南半球のモニタ観測体制として有力視できる。この手法は、天文目的ではない観測へ着眼することによる大規模なデータマイニングが独創的であるが、天文利用に必要な較正測定の欠測・通常と異なる短時間干渉計観測の解析という2点が大きな問題である。現在までのところ、解析手順の確立と解析システムの独自開発をすることで、700 天体の変光曲線を相対誤差 15% で描くことに成功している状態である (Kijima+12)。

本発表では、南天天体 16 天体の電波強度変動 (2008 年まで) について報告する。これらは単一鏡観測されてこなかった天体であり、変光曲線は 4~20 年と長大である。ほぼ全てがブレーザー天体であり、変動解析によって導出した Jet パラメータ (bulk Lorentz factor  $\Gamma$ 、viewing angle  $\theta$ ) は従来の研究と整合することが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## S19a エディントン光度：再考

福江 純（大阪教育大）

常識では、エディントン光度以下だとガスは降着し、以上だとガスは吹き飛ばされると考える。もちろん、ヘリウムや電子陽電子対プラズマやダストなどだとエディントン限界は変わるし、超臨界降着の場合は超エディントン光度も可能だが、エディントン光度が基本的な目安であることに変わりはない。エディントン光度（エディントン限界）は、質量降着や輻射圧駆動風では基本的概念（セントラルドグマ）だが、よくよく考えてみると、意外な検討余地があった。そもそも岩石などに対してエディントン光度は無意味だが、では、半透明～不透明なガス雲の場合はどうなのだろう。知りうる限り、そのような問題をきちんと考察したケースはないようだ。

質量  $M$ 、半径  $R_*$ 、光度  $L$ （古典的なエディントン光度  $L_E$ ）の球対称光源の上空に、光学的厚みが  $\tau_c$  の層雲が存在している場合、層雲内の輻射輸送をきちんと解くと、エディントン限界が劇的に変わることがわかった。

すなわち、臨界条件は、 $\Gamma = \frac{\tau_c}{2} \left[ 1 - \frac{4}{4 + 3\tau_c} \frac{2 + \mu_*}{2(1 + \mu_*)} \right]^{-1}$  のように表される。ここで  $\Gamma (= L/L_E)$  はエディントンパラメータで、 $\mu_* (= \sqrt{1 - R_*^2/R^2})$  は光源を見込む方向余弦、 $R$  は中心からの距離である。

層雲の光学的厚みが1程度なら古典的エディントン光度とほぼ一致するが、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 ケーサーや 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）。

エディントン近似を使っている点や相対論的輻射輸送効果など今後の課題もあるが、だれもやっていなければ、革命的で目ウロコのお話、だと思う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## S20a 多重層雲の輻射輸送的特徴

増田剛大、福江純(大阪教育大学)

超臨界降着円盤はもちろん標準降着円盤の場合でも、降着円盤上空は常にクリアというわけではなく、円盤コロナや円盤風や降着ガスなどのため、しばしば希薄なガス物質が存在する。これらを観測する場合には、ガスによる様々な影響が出てくると予想される。さらに、AGNにおいては多くの小さいガス雲が存在するために、複数のガス雲による影響を受けることも考えられる。

本研究では、無限平面の光源周辺に幾何学的に薄い平板状の層雲が複数存在していると想定して、光源に照らされた層雲中の輻射輸送を解き、光源の放射への影響を調べた。今回はその結果を報告する。

層雲全体の光学的厚みが同じであっても、層雲の数や層の分け方によって最終的に層雲から出射される輻射強度やその方向分布は異なることがわかった。具体的には、層雲を分けるとその輻射強度はより光学的に薄い一枚の層雲の結果に近づく。また、光学的厚みの異なる二枚の層雲を考えた場合には、層雲の順番によっても輻射強度やその方向分布は異なる結果となった。

今回は簡単のために、無限平面の光源と平板状の光源を想定したが、今後は、球状天体、円盤状天体、標準降着円盤、球殻状層雲を想定して調べていきたい。また、今回は上層からの back scattering を無視しているので、back scattering を考慮した計算を行う。さらには、静止した浮遊層雲でなく、円盤風や降着流など、光源に対して運動している動的な層雲についても調べていきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## S21a 降着円盤輻射で駆動する層雲の運動特性

仲井琢哉、福江純 (大阪教育大学)

降着円盤の周辺ではガス粒子や雲塊、また層雲などが無数に存在し、それらは降着円盤からの強い輻射を受け加速し、降着円盤風として振る舞うと考えられる。本研究では、このような降着円盤風を考えるため、輻射を受けて駆動する層雲の運動特性を調べた。

無限に広い一様な輻射場では、光源からの輻射圧が加速に働き、光行差による輻射抵抗が減速に働くためガス粒子、層雲には終端速度が存在する。その終端速度は、ガス粒子で  $(4 - \sqrt{7})/3c \sim 0.45c$  (Icke 1989)、層雲では終端速度は光学的厚みに依存し、光学的厚みが 1 より小さいぐらいで  $\sim 0.7c$  (Fukue 2014) とされている。粒子より層雲の方が加速されやすいのは、層雲全体による輻射の吸収や反射や通過などの輻射輸送効果のためである。

以前に降着円盤からの輻射で駆動するガス粒子の軌跡と脱出条件が計算されている (Tajima, Fukue 1996)。脱出条件とはある半径から飛び出したガス粒子が、重力、輻射抵抗の力を振り切って、円盤風として飛び出すために必要な円盤光度のことである。今回はより現実的な状況を考え、ガス粒子ではなく輻射輸送効果を考慮した層雲で軌跡、脱出条件を計算した。その結果、光学的厚みが 1 より小さい層雲は、より飛び出しやすいことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S22a            光学的に薄い球対称ブラックホール風におけるシンクロトロン放射スペクトルの特徴

早川賢、福江純（大阪教育大学）

Sgr A\*のような低光度 AGN では、ガスが希薄で放射冷却の効率が悪い移流優勢降着流（ADAF）やアウトフローが存在している。このような光学的に薄いフローにおいてシンクロトロン放射は重要な役割を果たすことがこれまでの研究から知られている。Sumitomo et al. 2009 は、相対論の影響を考慮した、球対称で光学的に薄いウィンドによるシンクロトロン放射スペクトルを計算しているが、輻射輸送は考慮されていない。

そこで今回は、熱的および非熱的電子シンクロトロン放射モデルを仮定し、中心の大質量ブラックホールから定常的に吹いている光学的に薄い球対称風（Black Hole Wind）のスペクトルを輻射輸送の観点から計算した。結果は、Sumitomo et al. 2009 で得られたスペクトルとは異なった形をしており、低振動数での shoulder と高振動数での tail という 2 つの一般的な特徴が見られた。この結果は Özel et al. 2000 で得られたスペクトルと定性的に一致する。

また、今回はウィンドの速度を与えることにより、Özel et al. 2000 では扱われなかったスペクトルの相対論的效果の影響についても調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a 降着円盤アウトフローの密度/速度構造が与えるスペクトル吸収線への影響

吉田鉄生, 野村真理子 (NAOJ), 大須賀健 (NAOJ/総研大)

活動銀河核や X 線連星を構成するブラックホールなどのコンパクト星は、質量降着を通して重力エネルギーを解放することで輝いている。近年の理論的研究によって、コンパクト星への降着現象には多くの場合アウトフローを伴うことが明らかになってきた。実際、青方偏移した重元素の吸収線や吸収端が活動銀河核等から検出されており、これは「我々の方向に向かって動いている電離吸収体 (すなわちアウトフロー) の存在」を示していると考えられる。前回の年会において我々は、流体計算の結果に基づいてスペクトル合成を行うというアプローチで、青方偏移した重元素の吸収線の再現に成功したことを報告した。

降着現象に伴うアウトフローの密度は一様ではなく、場所によって大きなムラがあり、時にはクランピーな (粒状) 構造が出現することが流体シミュレーションによって分かっている。このようなアウトフローの複雑な構造はスペクトルに影響を及ぼし、柱密度や重元素量といった基本的な物理量と見かけ上縮退する可能性があるので観測スペクトルを解釈する際は注意が必要である。そこで我々は今回、アウトフロー構造が吸収線の深さにどのような影響を与えるかを調査した。本講演では、アウトフローのブラックホールからの距離およびクランピー構造による吸収線への影響について報告する。また、最終的に得られるスペクトル吸収線から流体構造を特定することで縮退を解く可能性を提示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S24a

## 最大離角レンズクェーサーによる AGN アウトフロー内部構造の調査

三澤透 (信州大学)、稲田直久 (奈良高専)、大栗真宗 (東京大学)、Poshak Gandhi (ダラム大学)、小山田涼香、堀内貴史 (信州大学)、Cristian Saez (メリーランド大学)

クェーサー中心部の降着円盤から輻射圧などにより加速されるアウトフローは、クェーサー自身の成長のみならず、重元素の供給や星形成活動の抑制などを通して近傍の星間・銀河間空間へも大きな影響を与えるため極めて重要である。一般にアウトフローは、降着円盤を背景光源として Broad Absorption Line などの吸収線として検出される。しかしこの手法では、各天体に対してひとつの視線方向からみた情報しか得られないため、詳細な内部構造を探ることができないのが課題であった。そこで、最大離角  $\theta \sim 22''.5$  を有する重力レンズクェーサー SDSS J1029+2623 のレンズ像 A と B に対して、Subaru/HDS を用いた多視線高分散分光観測 ( $R \sim 30,000$ ) を行ったところ (2010 年 2 月)、両者にみられる吸収線の形状がわずかに異なることが明らかになった。その解釈としては、1) 離角  $\theta \sim 22''.5$  に伴うアウトフローの多視線観測、2) 光路差 ( $\Delta t \sim 744$  日) に伴うアウトフローの時間変動、が考えられる。これらを検証すべく、VLT/UVES (2014 年 2 月) および、Subaru/HDS (2014 年 4 月) で追観測を行ったところ、いずれのレンズ像も 4 年前の吸収構造をほぼ保持していた。吸収線の内部構造が微小な角度差でも見られたことは、「アウトフロー内部は塊状の無数のガス雲で構成され、そのサイズ  $d$  と光源距離  $r$  は、 $d/r \leq 10^{-4}$  を満たす」ことを意味する。また接線方向に対してガスのサイズに上限を置いたのは本研究が初めてである。なお、本研究のようにアウトフローは微小なサイズ ( $d \sim 10^{-4}$  pc) を有する塊状の内部構造を持つことを示唆する観測 (Hamann et al. 2013) およびシミュレーション (Takeuchi et al. 2013) 結果がある。この場合、銀河団ではなく単独銀河による重力レンズクェーサーであっても多視線観測を適用できる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## S25a クェーサー光度とアウトフローの時間変動の関連

堀内貴史, 三澤透, 小山田涼香, 高橋一馬 (信州大学), 諸隈智貴 (東京大学)

クェーサーの降着円盤からは、アウトフローと呼ばれるガス流が高速度で放出されている。アウトフローは円盤から角運動量を排除し質量降着を促すので、クェーサーの成長には不可欠な要素である。これらは従来クェーサーのスペクトル上に時間変動を示す幅の広い吸収線 (BAL;  $\text{FWHM} \geq 2,000 \text{ km/s}$ ) として検出されてきたが、近年幅の狭い吸収線 (NAL;  $\text{FWHM} \leq 500 \text{ km/s}$ ) の一部や BAL と NAL の中間の線幅をもつ吸収線 (mini-BAL) もアウトフローに起源をもつことが明らかになってきた。NAL, mini-BAL クェーサー 6 天体ずつに対する高分散分光観測を行ったところ、mini-BAL のみが BAL 同様に有意な時間変動を示すことが先行研究で確認されている。

そこで本研究では吸収線の時間変動の原因として最も有力なアウトフローの「電離状態変動シナリオ」を検証した。クェーサー光度と吸収線の時間変動の相関を調べるべく、上記の NAL, mini-BAL クェーサーに対し、①光度の変動傾向を木曾 105cm シュミット望遠鏡+KWFC による測光観測で、②吸収線の変動傾向を岡山 188cm 望遠鏡+KOOLS による分光観測で 2 年以上にわたって時期を合わせて行った。Structure Function による光度変動解析の結果、mini-BAL, NAL クェーサーとの間に決定的な光度変動の違いは確認出来なかった。さらに、吸収線に対しては今のところ有意な強度あるいは形状の変動は確認されていない。今回の結果から、直ちに電離状態変動シナリオが排除されるわけでないが、今後必要に応じて電離状態変動シナリオの補助機構が必要になるかもしれない。例えば X 線観測で検出される Warm Absorber は変動することが知られているため、その光学的厚さが変動することで、上流の強力な連続光が調節され下流のアウトフローの電離状態に変動が及ぶかもしれない。これは今後の可視-X 線同時分光モニター観測で検証可能である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## S26a ガス雲の通過に伴う銀河中心ブラックホール高温降着流の光度変化

川島朋尚 (国立天文台), 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- $\gamma$  輝線の観測からはガスがブラックホールの重力場により潮汐破壊される様子が観測されており、G2 の中心星の存在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。

ガス雲は銀河中心巨大ブラックホールの高温降着流の中を通過すると考えられるため、光度変化を探るためにはガス雲と降着流の相互作用を調べるのが重要である。降着流内では磁場による角運動量輸送が重要なため 3 次元磁気流体シミュレーションを実施する必要がある。またガス雲の輻射冷却の時間スケールはダイナミカル時間スケールに比べ短いため、輻射冷却の効果も同時に考慮する必要がある。そこで、われわれは世界で初めて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 G2 と高温降着流の相互作用を調べた。

その結果、ガス雲が降着円盤の赤道面上を運動するとき、ガス雲最接近時には X 線増光するもののガス雲通過前の降着流光度と同程度であり、当初期待されていたほどの増光を示さないことがわかった。一方で磁気エネルギーは緩やかにではあるが約 5 年かけて指数関数的に増幅し少なくともファクター倍以上に増加していくため、磁場増幅の様子が電波観測で、増幅した磁気エネルギー解放の様子が X 線観測で検出可能かもしれない。本発表ではガス雲の降着円盤に対する軌道傾斜角依存性とガス雲中心に星の重力場がある場合の計算についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## S27a 超巨大ブラックホール成長と銀河核ガス円盤の関係

川勝望 (呉高専)、和田桂一 (鹿児島大)

銀河の中心には太陽質量の100万倍から100億倍もの超巨大ブラックホールが普遍的に存在することが明らかになってきた。しかしながら、その形成メカニズムは未だ謎に包まれており、宇宙物理学における重要なテーマの1つである。近年の観測から、銀河中心核の活動性が銀河中心領域の星形成活動と密接に関係していることが近傍の銀河で示唆されている。このような背景のもと、我々はこれまで、銀河中心100pc領域のガス円盤(銀河核ガス円盤)での超新星爆発による乱流粘性によって駆動されるガス降着モデル(Kawakatu & Wada 2008; 以降、KWモデルと表記する)を構築し、high- $z$ でのクェーサー形成の条件について調べてきた。しかしながら、(1)ブラックホールへのガス降着を決めているのは何か、(2)ブラックホールが急速に成長している天体の特徴は何か、といった本質的な問題は明らかになっていなかった。

そこで、本研究では、KWモデルを用いて、銀河核ガス円盤の物理状態と銀河中心核の活動性との関係を調べた。その結果、次のことが分かった。(i) ブラックホールへのガス降着率は、主に銀河核ガス円盤とブラックホールの質量比で決まる。(ii) より重いブラックホールを形成するには、より面密度の高い銀河核ガス円盤の形成が必要である。(iii) ブラックホール質量で規格化した質量降着率が高いほど、銀河核ガス円盤が中心核をより遮蔽する傾向にある。(iv) ダストの存在しない銀河核ガス円盤では、通常のクェーサーが持つ $10^8 M_{\odot}$ を超えるブラックホールの形成は難しい。最後に、以上の理論予言をもとにブラックホール成長段階にある天体の探査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](#)

## S28a AGN トーラスの起源とその力学・化学進化

和田桂一 (鹿児島大学), Mark Schartmann (Swinburne), Rowin Meijerink (Leiden),

クェーサー等の活動的銀河中心核 (AGN) の内部構造はいまだに謎である。これまでの観測から巨大ブラックホール (SMBH) の周りには主に 1) 降着円盤、2) 広輝線領域 (BLR)、3) 遮蔽トーラス (torus)、4) 狭輝線領域 (NLR) といった構造があると考えられている。しかし、これらの構造を直接観測で分解することは難しく、実際にはどのような構造をしているのかはよくわかっていない。また、その形成のメカニズムや相互の関連、さらに進化については全く理解できていない。

われわれは、特に SMBH からサブパーセク 100 パーセクの領域に焦点をあて、多次元輻射流体計算と非平衡化学進化計算を組み合わせたシミュレーションによって、torus と NLR の形成や進化について調べている。その結果得られる多相星間ガスの空間・速度・化学構造は多次元放射輸送計算と組み合わせることで、X 線から電波までの多波長の観測結果の直接検証を可能にする。

本講演では、AGN からの非等方輻射フィードバック (輻射圧および輻射加熱) によって、幾何学的に厚いトーラス状の構造および非定常アウトフローが自然に形成されること、その SED は 1 型、2 型セイファート銀河の特徴をよく表すことを示す。また、CO, OH, H<sub>2</sub>O などの分子、C I, C II などの原子、電離ガスの 3 次元分布とダイナミクスについての最新の計算結果を用いて、最近いくつかの AGN で観測されている分子アウトフロー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](#)

## S29a 分子輝線観測で探る銀河系中心核への質量供給過程

竹川俊也, 岡 朋治, 田中邦彦, 三浦昂大, 山田真也 (慶應義塾大学)

銀河系中心核 Sgr A\* は、 $4 \times 10^6 M_{\odot}$  の超巨大ブラックホールを有する低光度活動銀河核である。現在の Sgr A\* は極端に非活動的であるが、いくつかの観測結果から過去激しく活動していた事が示唆されている。そして Sgr A\* は、核周円盤 (circumnuclear disk; CND) と呼ばれる半径約 2 pc の濃密な分子ガスリングに取り囲まれている。さらに外側には、2 つの巨大分子雲 ( $+20 \text{ km s}^{-1}$  雲 および  $+50 \text{ km s}^{-1}$  雲) が存在し、これらと CND との相互作用が示唆されている。銀河系の CND は系外銀河中心核におけるダストトーラスに相当し、中心核活動の燃料貯蔵庫と考えられている。よって、中心核活動を理解する上で CND の起源および実体を把握することは極めて本質的である。

私達のグループでは、2014 年 2 月および 3 月に野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて、CND 全体の詳細な分子輝線 OTF マッピング観測を行った。観測には TZ1 受信機と SAM45 分光計を用い、周波数分解能は 244.14 kHz (速度分解能  $\sim 1 \text{ km s}^{-1}$ ) に設定した。観測したスペクトル線は、ラインサーベイの結果から入念に選出した HCN  $J=1-0$ 、CS  $J=2-1$  等の CND プローブである。観測の結果、 $+20 \text{ km s}^{-1}$  雲と CND が物理的に接触していることを発見し、これは質量供給の証拠である事を示唆した (竹川他、2014 年秋季年会 Q20a)。今回私達はさらに解析を進め、CND とその周辺の物理量の評価を行った。その結果、CND の質量は  $\sim 1 \times 10^5 M_{\odot}$ 、Toomre-Q parameter は  $\sim 30$ 、CND への質量供給率は  $\sim 0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  と評価された。この質量供給率で CND が成長するならば、約  $3 \times 10^7$  年後にそれは重力的に不安定になり、分裂を経て活発な星形成活動を起こすと考えられる。その後、星風や超新星爆発等の過程により Sgr A\* への質量供給が促進され、激しい中心核活動が誘発される可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S30a セイファート NGC 3516 の X 線と可視光の間に見られた光度変動の遅延

野田博文 (理研)、峰崎岳夫 (東大理)、牧島一夫 (東大理/理研)、中澤知洋、諸隈智貴、小久保充、土居守 (東大理)、河口賢至、伊藤亮介、川端弘治、深沢泰司 (広大理)、中尾光、渡辺誠 (北大理)、森鼻久美子、伊藤洋一 (兵庫県立大理)、斉藤嘉彦 (東工大)、山田真也 (首都大)

活動銀河核 (AGN) からの放射は多波長にわたり、降着円盤からは可視光や UV 光が、巨大ブラックホール近傍に形成された高温の電子領域からは X 線が生成される。我々はこれまで、「すざく」による AGN アーカイブデータの解析から、X 線を生成する領域には複数の種類が存在し、降着円盤の内縁部で分かれて分布する描像を報告してきた (野田他 2013, 2014; 2013 年秋年会 S27a-S29A、2014 年秋年会 S29a)。これら複数の X 線領域のジオメトリを解明し、本描像を確立するには、X 線のみではなく、降着円盤からの可視光との同時観測が鍵をにぎる。

我々は 2013 年度の一年間、「すざく」と 5 台の地上望遠鏡 (ピリカ、MITSuME、木曾シュミット、なゆた、かなた) を組み合わせて、I 型セイファート NGC 3516 の X 線と可視光の同時観測を行った。その結果、低光度で卓越するハードな X 線成分 ( $\Gamma \sim 1.7$ ) が可視光とよく相関して光度変動し、2013 年 5 月に極大となり、その後は単調に減少したことが分かった (2014 年春年会 S27a)。しかし前回報告した可視光フラックスには母銀河成分が含まれており、シーイング変動による系統誤差が残っていた。そこで、より高い精度の光度変動を調べるため、各観測所における可視光モニタデータについてそれぞれ良好なシーイングを示した観測日のデータを合成してテンプレート画像を作成し、これを各データから差し引くことで AGN の変動成分のみを抽出した。得られた可視光の光度変動について X 線との相関と時間遅延を調べたところ、X 線が可視光に対して 2-3 日程度先行していた。これは、NGC 3516 の可視光の光度変動が、主にハード X 線による円盤の照射で引き起こされた可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S31a 活動銀河核の中性 FeK $\alpha$  輝線幅の系統的解析による放射領域推定と時間変動性の発見

伊藤由裕, 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大学), 峰崎岳夫 (東京大学天文学教育研究センター)

活動銀河核の中心ブラックホール質量と銀河のバルジ質量に相関が発見されて以降、活動銀河核と銀河は互いに影響を与え合いながら進化してきたと考えられるようになってきた。この「共進化」現象の解明には1型、2型活動銀河核に加えて大量のダストに隠された活動銀河核の研究が極めて重要であるが、従来のブラックホール質量測定法ではいずれも適用可能な活動銀河核に強い制限がかけられていた。活動銀河核のX線スペクトル中には中性 FeK $\alpha$  輝線 (6.4 keV) が普遍的にみられるが、その線幅と放射領域半径から中心ブラックホール質量を見積もる手法が新たに提案された (2014年秋季年会 S37a)。この手法では中性 FeK $\alpha$  輝線が広幅輝線領域・ダストトラス内縁付近で生じるとしていたが異論もあり (e.g., Nandra et al. 2006)、その放射領域についてさらに研究を進める必要がある。

我々は6 keV付近でのエネルギー分解能に優れる Chandra 衛星 HETG 観測データを用いて複数の1型、2型活動銀河核についてスペクトル解析をおこない、30以上の天体で中性 FeK $\alpha$  輝線の半値全幅 (FWHM) を得た。そのうちいくつかの1型活動銀河核について、中性 FeK $\alpha$  輝線フラックスの増加に従ってその線幅が増加する様子が見られた。この現象は中性 FeK $\alpha$  輝線が複数の放射領域を起源とし、広幅輝線領域・ダストトラス内縁付近からの線幅が狭くフラックス変動がゆっくりとした輝線成分に、より内側の放射領域を起源とする線幅が広くフラックス変動が速い輝線成分が加わっていると考えられる。本講演では中性 FeK $\alpha$  輝線の等価幅やライン強度との相関についての議論に加えて、次期 X線天文衛星 ASTRO-H による観測シミュレーション結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S32a            **フレームワーク MONACO を用いた活動銀河核トーラスの X 線スペクトルシミュレーション 2**

古井俊也, 深沢泰司 (広大理), 小高裕和 (ISAS/JAXA), 川口俊宏 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) の中心のブラックホールや降着円盤を取り囲むように密度の濃いガス雲群が分布しており、トーラスと呼ばれている。AGN からの X 線領域の放射は、降着円盤高温コロナからと思われる直接成分と、周辺物質により吸収、散乱を受けた成分が混ざり合って観測される。反射、吸収成分にはトーラスに起因する蛍光 X 線や吸収量といった情報が含まれており、AGN のブラックホール周辺の状態を調べるために重要である。しかし、一様密度、速度分散無しと単純化したトーラスによる反射成分モデルは存在するが、近年赤外線領域で得られつつあるトーラスの描像を反映した反射成分モデルは存在しない。

ASTRO-H では鉄の K ラインの形状や吸収端の精密分光が史上初めて可能となり、トーラス物質の密度分布、電離度、速度分散などの周辺状態を探る事ができると期待される。そのため、我々は MONACO フレームワークを用いて、トーラスの X 線透過・反射スペクトルのモンテカルロシミュレーターを開発した。この特徴の一つは、唯一コンプトンシヨルダを正確に計算できることであり、シヨルダの形状からは例えば電子の電離状態が推定できる。前回の発表では、既存のモデル (Murphy & Yaqoob et al. 2009) と同様のジオメトリにおけるシミュレーション結果はほぼ一致することを確認した。我々はその後、トーラス中のガス・ダスト分布が smooth・clumpy の両方の場合について、赤道面で測ったトーラスの水素柱密度や速度分散といったパラメータを変えながらシミュレーションを行い、スペクトルがこれらのパラメータにどのように依存しているのかを調査した。この結果とその解釈・考察を報告するとともに、ASTRO-H でどのようなサイエンスが出来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](#)

## S33a 2型活動銀河核の偏光広輝線観測に対するトーラスの幾何構造の影響

市川幸平 (京大), Chris Packham (UTSA), 上田佳宏 (京大), 今西昌俊 (NAOJ), ほか Los Piratas AGN team

活動銀河核 (AGN) の統一モデルによると、すべての AGN は広輝線領域とトーラスを持ち、1型 AGN と 2型 AGN の違いは観測の視線方向の違いで説明できる。しかし、2型 AGN を可視光・近赤外線偏光観測を行ったところ、偏光広輝線 (Polarized Broad Line; PBL) が受かる天体 (PBL AGN) は 2型 AGN 全体の 30–50% 程度であることが知られている。それでは、残りの 70–50% の種族 (Non-PBL; NPBL AGN) は本当に広輝線領域が存在しない種族なのか、それとも広輝線領域が存在したとしても、他の要因によってただ観測的に PBL を見落としているだけなのか。この違いを知ることは、AGN における広輝線領域の性質・普遍性を知る上で非常に重要である。

そこで、我々は近傍 AGN21 天体に関して、Gemini 南望遠鏡/T-ReCS を用いて高空間分解能 (0.3–0.7 arcsec)  $N$  バンド分光と  $Q$  バンド測光を行い、母銀河の寄与を可能な限り取り除いた AGN トーラスの SED を求めた。さらに、サンプルを 1型 AGN、PBL AGN、NPBL AGN に分類し、各種族のトーラス SED にクランプトーラスモデルを適用することで、トーラスの開口角を求めた。その結果、NPBL AGN は PBL AGN に比べて、トーラスの開口角が小さく、ダストトーラスにより深く埋もれていることがわかった。これは、NPBL AGN の偏光散乱領域が PBL AGN のものより狭く、かつ、偏光光自身もトーラスの吸収を受けやすいことを示唆している。つまり、過去の観測では、塵トーラスに深く埋もれた AGN では、仮に広輝線領域が存在したとしても PBL が受かりづらく、NPBL AGN と診断してしまった可能性があり、8 m クラスの大型望遠鏡による PBL 追観測が重要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S34a

**IR observation and SED+spectroscopy fitting of a buried AGN in the nearby merging galaxy NGC 6240**

Tamami I. Mori (The University of Tokyo), Masatoshi Imanishi (Subaru Telescope), Almudena Alonso-Herrero (Instituto de Fisica de Cantabria), Chris Packham (University of Texas at San Antonio), Cristina Ramos Almeida (Instituto de Astrofísica de Canarias), Robert Nikutta (Pontificia Universidad Católica de Chile), Omaira González-Martín (Instituto de Astrofísica de Canarias), Eric Perlman (Florida Institute of Technology), Yuriko Saito (Graduate University for Advanced Studies), & Nancy A. Levenson (Gemini Observatory)

NGC 6240 is one of the famous infrared-luminous merging galaxy with two buried AGNs in the local universe ( $z = 0.0245$ ). We performed  $K'$  ( $2.12 \mu\text{m}$ ),  $L'$  ( $3.77 \mu\text{m}$ ), and  $M'$  ( $4.68 \mu\text{m}$ ) imaging of this galaxies using IRCS on the Subaru telescope with the assistance of the AO system. We also obtained  $Si-2$  filter band ( $8.7 \mu\text{m}$ ) imaging and  $N$ -band ( $7.5\text{--}13 \mu\text{m}$ ) spectroscopy with CanariCam on the Gran Telescopio Canarias (GTC). The achieved spatial resolutions of the Subaru and GTC observations were around  $0.1\text{--}0.2''$  and  $0.4\text{--}0.5''$ , respectively. Combining these data with literature values, we re-evaluated the  $2\text{--}30 \mu\text{m}$  spectral energy distribution (SED) of the southern nucleus, and performed the SED+spectroscopy fitting by using CLUMPY torus models and a Bayesian fitting approach. The model fit suggests that the AGN in the southern nucleus has a high-covering factor torus and is deeply embedded in the host galaxy with an additional foreground extinction of  $A_V=19$  mag, and its bolometric luminosity accounts for 37% of the whole energy of the system.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S35a 「あかり」と Spitzer を用いた分子トーラスの物理状態の推定

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), 矢野健一, 公地千尋 (東大理, ISAS/JAXA)

活動銀河核 (AGN) の周囲には、それを囲むようなトーラス型の分子雲が存在していると考えられている。我々は、分子トーラスの物理状態を解明するため、一酸化炭素 (CO) の回転振動遷移 ( $4.7 \mu\text{m}$ ) に着目した。分子雲が視線上で中心核の手前にあれば、中心核とその周辺からの熱放射を吸収する。このような吸収線は、銀河外縁部からの影響を受けにくく、背景光源となるコンパクトな領域を良くトレースすると期待できる。CO 回転振動遷移の研究例として、Shirahata et al. (2013) がダストに埋もれた AGN である IRAS 08572+3915 を、すばる望遠鏡を用いて高い波長分解能で観測し、回転励起レベルごとの吸収線の等価幅から、CO 分子雲の柱密度と温度を求めている。しかし、大気の影響のため CO 吸収バンドの一部でしかスペクトルが得られておらず、連続光の強度を正しく見積もれていない可能性がある。

我々は、赤外線天文衛星「あかり」と Spitzer の分光観測データ ( $2.5\text{--}5 \mu\text{m}$ ,  $5.2\text{--}7.7 \mu\text{m}$ ) を利用し、大気の影響の無い幅広い波長範囲のスペクトルを得た。CO 吸収が受かっているダストに埋もれた AGN 7 天体 (IRAS 08572+3915 を含む) に対し局所熱平衡を仮定してモデルフィッティングを行ない、CO 分子雲の典型的な値として、柱密度  $10^{19} \text{cm}^{-2}$ 、温度数百 K を得た。IRAS 08572+3915 に対する我々の結果をすばるの結果と比較すると、「あかり」と Spitzer による観測では CO 回転励起ごとのライン分解はできていないものの、すばるの結果と整合する温度を得ることができた。一方、柱密度はすばるの結果よりも大きな値となった。これは、地上観測では連続光の強度を小さく見積もり、CO 分子吸収線の光学的厚みを過小評価していた可能性を示唆する結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S36a

## 強い吸収を受けた活動銀河核における高励起分子ガスの起源について

中川貴雄，磯部直樹 (ISAS/JAXA)，白旗麻衣，白田知史 (国立天文台)，矢野健一，馬場俊介，公地千尋 (東大理，ISAS/JAXA)

「活動銀河核の統一モデル」において最も重要な要素は、中心核周りの分子トラスの存在である。この分子トラスの内の分子ガスの物理状態を調べるために、我々は、「あかり」と「すばる」を用いて、一酸化炭素分子の基本振動回転遷移 ( $\Delta v = 1, \Delta J = \pm 1, \lambda \sim 4.7 \mu\text{m}$ ) を「吸収線」として観測することを行ってきた。その結果、強い吸収を受けた活動銀河の一部から、一酸化炭素の吸収線を検出し、高励起分子ガスの存在を確かめた (馬場等による本学会講演、Shirahata et al. 2013)。また、Herschel による最近の観測により、一酸化炭素分子の高励起 ( $J$  で 30 程度まで) 回転遷移線 ( $\Delta v = 0, \Delta J = 1$ , 遠赤外線) が、「輝線」として検出されている。

これらの近赤外線「吸収線」と遠赤外線「輝線観測」は、両者ともに、高温 ( $T_{\text{ex}} \sim$  数百 K)、高密度 ( $n_{\text{H}_2} > 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) で、大きな column density ( $N_{\text{rmCO}} = 10^{18} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) をもつ分子ガスの存在を示している。

ただし、両者の観測で異なる結果もある。最も大きな違いを示しているのは、高温分子ガスの総質量である。遠赤外線「輝線観測」が示す高温分子ガスの総質量 ( $M_{\text{H}_2} = 10^7 \sim 10^8 M_{\odot}$ ) は、近赤外線「吸収線観測」が示唆する質量よりもはるかに大きいのである。もうひとつの違いは、遠赤外線「輝線」が多くの銀河で観測されるのに対して、近赤外線「吸収線」は、一部の銀河でしか観測されないことである。

このことから、近赤外線「吸収線」が観測されるためには、特別な geometry が必要であり、近赤外線「吸収線」で観測されている高温分子ガスは、活動銀河核に存在する高温分子ガスのうち、特別な条件を満たす一部であることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## S37a Subaru/*XMM-Newton* Deep Survey 領域の X 線選択された活動銀河核の空間相関

水野翔太, 上田佳宏 (京都大学), 秋山正幸 (東北大学), 宮地崇光 (メキシコ国立自治大学)

AGN の環境や発現機構についてはまだ多くの謎が残されている。AGN の空間相関 (3 次元自己相関関数) の測定は、AGN の存在するダークマターハロー (DMH) 質量の推定を可能にするため、この問題を解明するために有効である。しかし、AGN の主要種族である 2 型 AGN については、特に研究が遅れている。AGN を見込む角度だけで 1 型と 2 型が決定される「AGN 統一モデル」が常に当てはまるかどうかは自明ではない。

吸収に強い X 線サーベイは、2 型 AGN も含めた完全性の高い AGN サンプルを提供する。空間相関を調べるには、cosmic variance の影響を無視できるだけの探査面積と、分光同定率の高いサーベイデータが必要である。これらを満たすサーベイとして、我々は Subaru/*XMM-Newton* Deep Survey (SXDS) に注目した。SXDS では、 $1.14 \text{ deg}^2$  に及ぶ連続領域から、733 個の AGN が 0.5–2 keV バンドで検出され (Ueda et al. 2008)、うち 514 個が光学的に同定されている (Akiyama et al. 2015)。

前回の講演 (2014 年春季年会、水野ら) において、我々は Landy & Szalay estimator を用いた自己相関関数の初期結果を発表した。そこでは、検出感度のむらを見逃した簡易手法によりランダムサンプルを作成した。今回は、最新の AGN 種族合成モデル (Ueda et al. 2014) と感度マップを用いて、赤方偏移分布の位置依存性を考慮することで、より信頼できる結果を導いた。0.5–2 keV で検出された全 AGN について、相関長は  $7.9 \pm 1.1 h^{-1} \text{ Mpc}$  となり、対応する DMH の質量は  $\log(M_{DMH}/h^{-1} M_{\odot}) = 13.0^{+0.2}_{-0.3}$  と求めた。本講演では、本解析結果の詳細を報告し、AGN の存在する DMH 質量の、吸収量依存性、光度依存性、および赤方偏移依存性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S38a

## HSC サーベイを用いた高赤方偏移クェーサー探査

尾上匡房（総合研究大学院大学）、柏川伸成、松岡良樹、田中賢幸、新納悠（国立天文台）、長尾透（愛媛大学）、利川潤、石川将吾（総合研究大学院大学）

初期宇宙に存在するクェーサーは超巨大ブラックホールの形成史や銀河と AGN の共進化、さらには宇宙再電離期を探る上で非常に重要な役割を果たす。現在までに赤方偏移が 6 を超えるようなクェーサーは SDSS に代表される大型サーベイ観測によって数十個程度発見されており、これらが宇宙年齢 10 億年未満の時代において 10 億太陽質量程度のブラックホールを持つという観測事実は超巨大ブラックホール形成の理論モデルに大きな制限を与えている。しかし一方で、これらはこの時代で最も活発で明るい AGN と考えられるため、高赤方偏移における一般的な超巨大ブラックホールの降着活動を探るためには現在のサンプルよりも暗いクェーサーを含めて典型的な質量や質量降着率を調べる必要がある。

そこで我々は 2014 年春から観測が開始したすばる望遠鏡の HSC サーベイにおいて現在のサンプル数を大幅に超える高赤方偏移クェーサーの大規模サンプルを構築することを計画している。クェーサーの検出に通常用いられる二色図による色選択法では褐色矮星に代表される混入天体が障害になるが、我々はこの問題を克服するため可視と近赤外線の色データを用いることでより効率的なクェーサー検出を目指している。本講演ではまず 2014 年春季年会 (S21a) で報告した SED fitting を用いたクェーサー検出法のアップデートを紹介し本手法の有効性を議論した後、HSC 戦略枠プログラム DR1 データを用いた高赤方偏移クェーサー候補天体選択の初期結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S39a

## Quasar Host Galaxies in the SDSS Reverberation Mapping Project

松岡 良樹 (国立天文台), Michael A. Strauss (Princeton), and the SDSS-RM collaboration

クエーサーを含む活動銀河核がどのような銀河に発現し、どのような影響を銀河に及ぼしてきたのかは、銀河形成分野における大きな未解決問題の1つである。理論モデルの観点からは、予測される暗黒物質ハロー質量関数と観測される銀河質量関数との大質量側での大きな隔たりを矛盾無く説明するために、活動銀河核による母銀河へのフィードバック機構が提案されている。このフィードバックはガスへのエネルギー・運動量注入によって母銀河での星形成を阻害するとともに、中心核領域へのガス降着をも制御し、近傍宇宙で観測される巨大ブラックホールと銀河バルジとの質量相関の起源となった可能性もある。このような巨大ブラックホールと銀河のいわゆる「共進化」を明らかにする上で大きな鍵を握るのは、活動銀河核母銀河における星とガスの観測的性質である。

SDSS Reverberation Mapping (RM) プロジェクトは、SDSS-III BOSSの早期完了を受けて行われたBOSS分光器による観測計画である。849天体のクエーサーを対象として2014年1-7月の間に32 epochsの観測が行われ、各 epoch では少なくとも2時間の積分時間を費やすことで、ある程度高いS/Nのスペクトル群が得られている。それらをさらに全 epoch に渡って天体ごとにスタックした高S/Nスペクトルを用いて、我々はクエーサー母銀河に関する研究を進めている。多くのスペクトルに星由来の吸収線群がクリアに現れており、それらを手がかりにすることで、高い信頼性をもって母銀河の星種族の性質を推定することができる。本講演では、研究の進捗状況とこれまでに得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## S40a      クェーサー広輝線領域の [Mg/Fe] 組成比診断法

鮫島寛明 (ISAS/JAXA), 吉井譲, 川良公明 (東京大学)

高赤方偏移クェーサーに付随する電離ガスの組成を知ることは、初期宇宙における星形成や銀河形成を調べるための重要な手がかりとなる。特にクェーサー広輝線領域 (BLR) 電離ガスの鉄と  $\alpha$  元素 (マグネシウム等) の組成比は、宇宙論時計という観点から極めて重要である。これは鉄を主に供給する Ia 型超新星爆発が II 型超新星爆発に比べて遅れて起こることを利用し、結果として期待される遅延した鉄増加がいつ起こったのかを観測的に確認することで、宇宙初期の星形成史、特に第一世代星がいつ生まれたのかを推定しようという手法である (Hamann & Ferland 1993, Yoshii et al. 1998 など)。クェーサーの FeII/MgII 輝線強度比が鉄とマグネシウムの組成比の直接的な指標になるという仮定のもと、これまでに多くのクェーサーの観測が行われてきたが、FeII/MgII 輝線強度比は分散が大きく、進化の様子は見られていない (例えば De Rosa et al. 2014)。

本研究は FeII/MgII 輝線強度比を鉄マグネシウム組成比の直接的な指標と見なすという仮定の信憑性を確認するため、FeII/MgII 輝線強度比に影響を及ぼしうる要素について、SDSS で観測されたクェーサースペクトルを元に調査を行った。約 17,000 天体のクェーサーの FeII/MgII 輝線強度比を測定して他の観測パラメータと比較したところ、エディントン比と極めて強い相関を持つことが判明した。その原因を探るために輻射輸送コード CLOUDY を用いて光電離シミュレーションを行った結果、天体毎の BLR 電離ガスの密度の違いが MgII 輝線強度に系統的な変化をもたらし、結果として FeII/MgII 輝線強度比も変化しているという結論を得た。講演では密度による輝線強度変化分を補正した上で、BLR の [Mg/Fe] 組成比情報を得るための診断法について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## 【T. 銀河団】

3月18日(水)午後(13:00-15:00) [E会場]

<b>T01a</b>	13:00	「すざく」による大規模フィラメント上の銀河団 AWM 7 の鉄質量-銀河光度比の方向依存性 横田佳奈(東京理科大学)
<b>T02a</b>	13:12	「すざく」による NGC 1550 銀河群のピリアル半径付近までの鉄質量-銀河光度比とエントロピー分布 佐々木亨(東京理科大学)
<b>T03a</b>	13:24	「すざく」衛星を用いた銀河団外縁部でのアバダンスの不定性の評価 阿部雄介(東京理科大学)
<b>T04a</b>	13:36	衝突初期の銀河団 CIZA J1358.9-4750 の「すざく」による追加観測 ~ 外縁部の ICM の特徴 ~ 加藤佑一(東京大学)
<b>T05a</b>	13:48	X 線天文衛星すざくを用いた衝突銀河群探査 (2) 三石郁之(名古屋大学)
<b>T06a</b>	14:00	銀河団 1RXS J0603.3+4214 の電波レリク周辺領域での物理状態と粒子加速過程 板花まどか(山形大学)
<b>T07a</b>	14:12	衝突銀河団 Abell 754 中の衝突電離非平衡プラズマの探査 井上翔太(大阪大学)
<b>T08a</b>	14:24	電波銀河 NGC3862 の偏波観測による銀河団 Abell1367 の磁場推定 高橋育美(山形大学)
<b>T09a</b>	14:36	X 線天文衛星 XMM-Newton を用いた近接銀河団 RXC J0751.3+1730 および SDSS +117.7+17.7+0.19 の観測 小林洋明(名古屋大学)
<b>T10a</b>	14:48	$z \sim 0.25$ の銀河団ハローにおける Luminous Red Galaxy の中心占有率 星野華子(名古屋大学)
<b>T11b</b>	15:00	すざく衛星による中間赤方偏移銀河群 Bootes Group の系統的観測 前島将人(名古屋大学)
<b>T12b</b>	15:00	「すざく」衛星による銀河団 Abell 3391 と Abell 3395 の連結領域の観測 菅原悠宇紀(山形大学)
<b>T13c</b>		早期ブラックホール形成と銀河団内ガスの鉄分布への影響 山田美幸(お茶の水女子大学)

T01a 「すざく」による大規模フィラメント上の銀河団 AWM 7 の鉄質量-銀河光度比の方向依存性

横田佳奈、松下恭子、佐藤浩介、佐久間絵理、佐々木亨、阿部雄介、栗山翼 (東京理科大学)、石崎欣尚 (首都大学東京)、星野晶夫 (立教大学)

銀河団の高温ガスに含まれる鉄質量と構成銀河の光度の比は銀河団内での重元素拡散史の指標として用いることができ、大規模銀河団では銀河団全体で鉄質量-銀河光度比はほぼ同様となることが報告されている (佐々木他、14 年春季年会)。これまで我々は、Pisces-Perseus 超銀河団の東西にのびるフィラメント上に位置している AWM 7 銀河団を、「すざく」で銀河団中心からフィラメント上の東方向とそれに垂直な南方向をピリアル半径 ( $\sim 2 r_{500}$ ) まで観測し、両方向で鉄質量-銀河光度比は半径とともに増加することを確かめた (横田他、13 年秋季年会)。一方で、フィラメントに沿った東方向の輝度は南方向に比べ高かったものの (石崎他、08 年秋季年会)、X 線望遠鏡による銀河団中心からの迷光のため、温度、密度の評価は難しかった (星野他、10 年秋季年会)。

今回、光軸に対する衛星の回転角を考慮することにより、迷光の寄与を減らすため、新たに北西及び南東方向をピリアル半径まで観測した。新観測で得られた鉄質量-銀河光度比も  $\sim 1.2 r_{500}$  まで増加し、ピリアル半径で巨大銀河団である Perseus 銀河団 (Matsushita et al. 2013) と同程度の値を示した。本講演では、温度、アバundance、密度の方位角方向平均と方向依存性による鉄質量-銀河光度比への影響を見積もるとともに、規模の異なる他の銀河団との比較を行う。また、迷光が観測パラメータに与える影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## T02a 「すざく」による NGC 1550 銀河群のビリアル半径付近までの鉄質量-銀河光度比とエントロピー分布

佐々木亨, 松下恭子, 佐藤浩介, 阿部雄介, 横田佳奈 (東京理科大学)

銀河群は近傍宇宙において最もありふれた天体であり、大きな銀河団を形成するビルディングブロックでもある。銀河群や銀河団には高温ガスが暗黒物質の重力によって閉じ込められており、宇宙のバリオンの歴史を調べる上で最適な実験室である。銀河群の高温ガスに含まれる鉄質量-銀河光度比は重元素拡散史を知る上で必要なパラメータであり、我々は「すざく」の観測から  $\sim r_{500}$  での銀河群の鉄質量-銀河光度比は銀河団のものに比べて小さいことを示した。鉄質量-銀河光度比と平均温度で規格化したエントロピーが逆相関をもつことから、銀河群は高いエントロピーによって高温ガスが銀河団に比べて広がっていると考えられる (Sasaki et al. 2014)。一方、銀河団のエントロピー分布は  $r_{500}$  より外側で一定となるが、中心の楕円銀河の光度が支配的な銀河群 (fossil group と呼ばれる) はビリアル半径付近までエントロピーが上昇することが示されている (Humphrey et al. 2012)。このことは銀河団と fossil group で異なる熱史を遂げたことを示すが、fossil group のサンプルが少なく、エントロピーの誤差も大きかった。

今回、我々は近傍で fossil group に分類される NGC 1550 銀河群を  $1.5 r_{500}$  まで「すざく」で観測した。NGC 1550 銀河群のガス質量-銀河光度比と鉄質量-銀河光度比は半径とともに上昇を続け、 $1.5 r_{500}$  で巨大銀河団と同程度となった。これは高温ガスが銀河に比べて広がっていることを意味する。一方、NGC 1550 銀河群のエントロピー分布も銀河団とは異なり  $1.5 r_{500}$  まで上昇を続けた。このことから fossil group は銀河団とは加熱効率や熱史が異なることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## T03a 「すざく」衛星を用いた銀河団外縁部でのアバダンスの不定性の評価

阿部雄介、松下恭子、佐藤浩介、佐々木亨（東京理科大学）

「すざく」衛星によって輝度の低い銀河団外縁部までの観測が可能となり、高温銀河団は  $r_{500}$  より外側でも、鉄のアバダンスが 0.3 solar 程度であると報告されているが (e.g., Simionescu et al. 2011; Werner et al. 2013)、低温銀河団のアバダンスは  $< 0.1$  solar と矛盾した報告がされている (e.g., Urban et al. 2011)。近傍 ( $z = 0.0104$ ) の中規模銀河団であるケンタウルス座銀河団 (平均温度  $\sim 3.9$  keV, Furusho et al. 2001) は  $\sim 0.6 r_{500}$  より外側の北西方向で  $\sim 0.05$  solar と極めて低い結果が得られている (Walker et al. 2013)。低温銀河団ほど統計的に十分でない場合には鉄の L 輝線からアバダンスが求められるが、プラズマモデルの不定性や多温度構造による不定性など多くの問題が残る。我々は、鉄のアバダンスの不定性が温度や密度の評価にも影響することを報告した (阿部他、2013 年秋季年会 T06a)。

今回、我々は鉄の K 輝線によるアバダンスを求めるためにケンタウルス座銀河団の北西方向  $0.4\text{--}0.8 r_{500}$  領域を新たに 150 ksec 追観測した (PI: 松下)。スペクトル解析から求めた鉄のアバダンスは  $0.22^{+0.08}_{-0.08}$  solar を示し、有意に 0.1 solar を上回った。本講演では、追観測領域の鉄の輝線の強度についての評価に加え、アバダンスの不定性による温度、密度、エントロピー、ガス質量、鉄質量及び鉄質量銀河光度比に与える影響についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T04a 衝突初期の銀河団 CIZA J1358.9-4750 の「すざく」による追加観測～外縁部の ICM の特徴～

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)

2つ銀河団が衝突する際に、その衝突速度が銀河団内プラズマの音速を超えると、衝撃波が発生する。このことは、X線観測や電波観測により、弾丸銀河団、Abell 3667 など様々な衝突銀河団で、確かめられている。しかし、これらの例は衝突が進んだ衝突後期の銀河団であり、衝突初期で衝撃波を伴った例が欠如していた。

我々は、CIZA カタログにおいて、衝突初期の銀河団の候補となる CIZA J1358.9-4750 を発見した。既に 2013 秋、2014 秋の学会で報告している通り、「すざく」のスペクトルから、2つの銀河団の温度はそれぞれ  $5.6^{+0.2}_{-0.2}$  keV、 $4.6^{+0.2}_{-0.2}$  keV、それらを結ぶブリッジ領域では最大で  $9.2^{+1.5}_{-1.3}$  keV となり、1.6 倍以上も高くなっていることが明らかになった。XMM-Newton の短積分時間のイメージからは、「すざく」で検知した高温成分に沿って、輝度分布ジャンプも確認されたことから、本天体は衝突初期でかつ衝撃波を伴った貴重な例であると結論した。

それぞれの銀河団の後方やブリッジ領域の外側での温度分布を調べるために、「すざく」による外縁部の 4 点追加観測を行った。2つの銀河団の後方では共に、なだらかに温度が下がっていることが分かり、本天体は衝突初期の段階であることを補強する結果となった。ブリッジ領域の外縁部では、南西の方向には強い加熱は見られなかったが、北東方向には加熱が見られ、その温度は  $8.5^{+4.4}_{-2.0}$  keV となっていた。これは、本天体では衝撃波が 1Mpc 以上に渡って、広がっている可能性を示唆する。この高温領域と衝撃波の前方と考えられる領域に対して、Rakine-Hugoniot 方程式を当てはまるとマッハ数が  $1.6^{+0.7}_{-0.4}$  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](#)

## T05a X線天文衛星すざくを用いた衝突銀河群探査 (2)

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)

宇宙大規模構造は無数の銀河・銀河群・銀河団等から構成され、それらのシステムは周辺物質からの質量降着や衝突合体を経て現在の姿になったと考えられている (e.g., Ryu et al. 2003, Hirschmann et al. 2012)。銀河群や銀河団中のバリオンの多くは高温ガス状態にあり、X線を放射する。そのため、宇宙の力学進化史の解明を目指し、これまでもX線を用いて多くの銀河群や銀河団の衝突システムが観測されてきた (e.g., Mitsuishi et al. 2014)。しかしながら、銀河団と比較し暗い銀河群の衝突システムのサンプルは少ない。

そこで我々は、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て、衝突銀河群探査を行った。サンプルは、(1) 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領域、もしくは、(2) 中心銀河を含む銀河同士の相互作用が示唆されている可視光同定銀河群 (McIntosh et al. 2008)、の中から選定した。前回の年会では(1)のサンプルについて、衝突中であろう複雑なX線 morphology を示した銀河群の発見について報告した (三石他 2014 年秋季年会)。

今回我々は(2)の4つのサンプルに対し、 $\sim$  Mpc スケールで広がったX線ハローの初検出、およびその分光特性として、温度  $\sim 1$  keV、重元素量  $\sim 0.3$  solar、光度として  $10^{42-43}$  erg s $^{-1}$  であることを明らかにした。本講演では多波長観測も含め、観測された銀河群の詳細な解析結果および衝突現象の有無についても議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## T06a 銀河団 1RXS J0603.3+4214 の電波レリック周辺領域での物理状態と粒子加速過程

板花まどか, 滝沢元和 (山形大), 赤松弘規 (SRON), 大橋隆哉, 石崎欣尚 (首都大), 河原創 (東京大)

銀河団 1RXS J0603.3+4214 は、線形に近い形状の電波レリックを持つことから”Toothbrush” の愛称で知られる衝突銀河団である。電波観測から、Toothbrush レリック外縁での電波スペクトルのベキは  $\alpha = 0.6 \sim 0.7$  であり、単純な衝撃波粒子加速理論をあてはめると、そこから得られる衝撃波のマッハ数は  $M \sim 4$  に達する。また、XMM-Newton による観測では、電波レリックより西側に衝撃波が伸びていることが示唆されており、その衝撃波のマッハ数は、 $M = 1.7^{+0.41}_{-0.42}$  という結果が得られている。この結果は、表面輝度を元に衝撃波の特性を求めており、投影効果などの影響を受けている。

今回我々は、すざく衛星を用いて電波レリックを中心とした 1RXS J0603.3+4214 の観測をした。電波レリック外縁 (Relic shock) と XMM-Newton により示唆されている西側に伸びた衝撃波候補 (West shock) 前後の温度差に、ランキン-ユゴニオの関係式を適用しマッハ数を算出したところ、それぞれ  $M_R = 1.55^{+0.29}_{-0.25}$ 、 $M_W = 1.77^{+0.35}_{-0.27}$  というマッハ数を得た。 $M_R$  は電波による結果と  $5\sigma$  程度食い違う値であり、 $M_W$  は XMM-Newton による結果と誤差の範囲内で一致するが我々の結果の方が密度分布モデルや投影効果による影響が少ない結果である。また、電波レリックにおいて逆コンプトン散乱による非熱的な X 線の探査を行い、磁場の下限値を求めたところ  $B > 0.19\mu\text{G}$  となった。これは、電波観測で等分配を仮定して得られる磁場  $B_{eq} = 9.2\mu\text{G}$  と矛盾しない結果である。以上の結果を踏まえて、Toothbrush レリック周辺での物理状態や粒子加速過程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](#)

## T07a 衝突銀河団 Abell 754 中の衝突電離非平衡プラズマの探査

井上翔太, 林田清, 上田周太郎, 薙野綾, 常深博 (大阪大学), 小山勝二 (大阪大学, 京都大学)

銀河団高温プラズマ (Intracluster Medium; ICM) は、衝突電離平衡の状態にあることが仮定されている。これは、銀河団形成のタイムスケールに比べて、非平衡プラズマの電離平衡状態に達するタイムスケールが非常に小さいため、relax した銀河団では電離平衡状態に達していると考えられるからである。実際、電離非平衡状態にある銀河団 ICM の報告はない。しかし、衝突している銀河団の場合、そのタイムスケールが  $10^8$  年だとすると、電離非平衡の条件  $n_{et} < 10^{13} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$  を満たす。事実、数値シミュレーションによって、銀河団の衝突のあるフェイズ、場所によって電離非平衡状態になることが予言されている (e.g. Takizawa 1999, ApJ, 520, 514, Akahori & Yoshikawa 2010, PASJ, 62, 335)。衝突銀河団中の電離非平衡プラズマを検出することで、電離パラメータから銀河団衝突のフェイズを定量的に見積ることができる。

このような視点で、我々は衝突銀河団 Abell 754 中の ICM の電離状態を調べた。安定したバックグラウンドで観測ができるすざく衛星の観測データを使用し、Fe XXV 輝線と Fe XXVI 輝線の強度比を測定した。衝突の方向に領域別解析を行った結果、輝度中心から北西に向けて温度が上昇する傾向と、一部の高温領域 ( $kT = 13.28_{-1.14}^{+1.41}$  keV) で電離パラメータが  $n_{et} = 6.98_{-3.92}^{+14.57} \times 10^{11} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$  と制限できることがわかった。この結果は、衝突に起因して生じた衝突電離非平衡状態の可能性を示唆する。本講演では、これらの解析結果の詳細を述べると共に Abell 754 の衝突・進化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T08a 電波銀河 NGC3862 の偏波観測による銀河団 Abell1367 の磁場推定

高橋育美, 滝沢元和 (山形大学), 小澤武揚, 赤堀卓也, 中西裕之, 安楽健太 (鹿児島大学), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大学), 祖父江義明 (東京大学)

銀河団は銀河団同士の衝突によって成長していると考えられおり、その際には銀河団媒質内で乱流の発生が示唆されている。乱流による磁場の増幅を考慮すると、銀河団の力学的進化過程と銀河団磁場の成長には関係があると考えられる。また一方で、銀河団の X 線輝度分布は銀河団の形成・進化過程を反映している可能性がある。上記仮説の検証を目的として、既に X 線によって形態分類されている銀河団の磁場を調べるため、電波干渉計 JVLA による偏波観測を行った。

本講演では、行われた観測のうち規則銀河団に分類される銀河団 A1367 のメンバー銀河である電波源 NGC3862 の周辺領域の解析結果を報告する。今回行われた観測では C アレイで C 帯 (4-6GHz) と X 帯 (8-10GHz) の両偏波観測によってストークス I、Q、U のイメージを取得した。また VLA のアーカイブデータから L 帯 (1.46GHz) のデータも使用してファラデー回転測度のマップを作成した。得られたファラデー回転測度の標準偏差は  $107 \text{ rad} \cdot \text{m}^{-2}$  (RM が得られた領域は 3 分 × 3 分、80kpc × 80kpc 程度) となった。以上の値に対して銀河団中の磁場が一定の長さ、一定の強度で確率  $\frac{1}{2}$  でランダムに反転するという比較的簡単な磁場構造のモデルを仮定し、電子密度は ROSAT の結果をもとにしたモデルを用いたところ、求めた銀河団磁場の強度は  $4.9 \mu\text{G}$  程度となった。A1367 は比較的小規模な銀河団であり、このような銀河団でファラデー回転を用いて磁場強度を推定した例は少なく、磁場強度の質量依存性を議論する上で重要な例であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T09a **X 線天文衛星 XMM-Newton を用いた近接銀河団 RXC J0751.3+1730  
および SDSS +117.7+17.7+0.19 の観測**

小林洋明, 三石郁之, 松本浩典, 田原譲 (名古屋大学), Norbert Werner (Stanford), Aurora Simionescu (ISAS/JAXA), 大橋隆哉 (首都大東京)

銀河団は重力的に束縛された宇宙で最も大きな系であり、銀河団の衝突現象は宇宙の力学進化を理解するのに重要な鍵となっている。また、銀河団内のバリオンの多くは X 線を放射する高温のガスの状態であるため、X 線を用いて観測することは銀河団の衝突現象を検出・詳細解析するのに適した手段である。そこで我々は銀河団同士の衝突の可能性を考えて、銀河団カタログを用いて 2 つの近接した銀河団をさがし、高い空間分解能と集光力を誇る XMM-Newton 衛星によって、ポインティング観測を行った。

視野内には特徴的な X 線放射が 4 つ検出され、我々はイメージ及び分光解析によりそれらの起源を調べた。その結果、カタログにある 1 天体は点源であり、残りの 3 天体のうち 2 天体は銀河団に付随する X 線ハローであり、1 天体は銀河群 X 線ハローまたは点源であることを初めて明らかにした。特に可視光により同定されていた銀河団 SDSS +117.7+17.7+0.19 を初めて X 線で検出し、その輝度分布が典型的な銀河団と比較すると非常に平坦であった。また、銀河団の特性を  $kT = 3.2 \text{ keV}$ ,  $L_X = 4.3 \times 10^{43} \text{ erg/s}$ ,  $Z = 0.2 \text{ solar}$  と明らかにした。

本講演では視野内に検出された 2 つの銀河団システム RXC J0751.3+1730, SDSS +117.7+17.7+0.19 の温度や密度などの空間分布等の詳細な解析結果を中心に報告する。また、銀河団間のフィラメント構造に付随すると予想されるダークバリオンの検出の有無についても議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T10a  $z \sim 0.25$  の銀河団ハローにおける **Luminous Red Galaxy** の中心占有率

星野華子, Alexie Leauthaud (東京大学/IPMU), 日影千秋 (名古屋大学), Claire Lackner (東京大学/IPMU), Eli Rykoff (Stanford University), Eduardo Rozo (Stanford University)

銀河団ハローの中の暗黒物質の空間分布を調べるには、その中心(重力ポテンシャルの底)にある銀河の周りの重力レンズシグナルを測ることで、質量密度プロファイルを測定する。このために、銀河団ハローの中心銀河を正しく見つけることが重要である。しかしハローは直接的に観測できるものではないため、その中心銀河を見極めるには間接的な手法が取られる。多くの先行研究は X 線の温度やハロー内で最も明るい銀河などの指標を用いて中心銀河を選定しており、明るさの指標では早期型楕円銀河である Luminous Red Galaxy (LRG) を中心に銀河団が存在するという考え方が非常に多い。

本研究では、SDSS DR8 から作られた redMaPPer 銀河団カタログを用い、約7千個の銀河団を解析し LRG と中心銀河の関係を調べた。redMaPPer は銀河の明るさ、色、周りの明るい銀河の密集度合いという3つの観点から中心銀河を選定する。その結果、LRG を1つ以上含む銀河団ハローであっても、LRG を中心に持つものは85%にとどまるということが分かった。本発表ではハロー質量ごとに LRG のハロー中心占有率を測定したものを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## T11b すざく衛星による中間赤方偏移銀河群 Bootes Group の系統的観測

前島将人、三石郁之、小林洋明、馬場崎康敬、松本浩典、田原譲 (名古屋大学)、Eric Miller (MIT)

銀河から銀河団への構造形成過程の中間的存在である銀河群は、宇宙の力学進化の一端を担う。力学進化史の解明に向け、これまでも銀河群の研究は盛んに行われてきた。また銀河群中に存在するバリオンの多くは、X線を放射するような高温ガス状態にあるため、X線観測は銀河群研究の有用な手法の一つとなる。しかしながら、中間赤方偏移に存在する銀河群はX線では暗いため、X線を用いて検出するのは難しく、銀河団と比較するとサンプル数が少ないのが現状である。そこで中間赤方偏移に存在する銀河群を検出し、近傍銀河群との比較をすべく、Bootes Fieldに着目した。この領域では、Mono Mirror Telescopeを用いて、可視光と近赤外線の波長帯で非常に深い観測が行われ、20,000以上の銀河を分光している。また、X線の波長帯ではChandra衛星を使い、9.3平方度のsurvey観測が行われ、広がった天体が43天体同定されている (Kenter et al. 2005)。

我々はその広がった天体のうち、可視光と近赤外分光観測結果から中間赤方偏移 ( $z = 0.2-0.4$ ) に位置する銀河群と同定され、Chandra衛星で広がった天体として検出された6天体の分光特性を調べるため、X線天文衛星すざくを用いて再観測した。その結果、Chandra同様、可視光銀河群中心に超過X線を検出した。また、観測天体の中で最も明るいBootes Group 7 ( $z \sim 0.2$ ) については、重元素量を初めて求めることに成功 ( $\sim 0.2$  solar) し、その分光特性 ( $\sim 3$  keV,  $\sim 3 \times 10^{43}$  erg s $^{-1}$ ) から重い銀河群に付随するX線ハローであろうことを初めて明らかにした。本講演では、全6天体についての分光特性の詳細、およびその起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T12b 「すざく」衛星による銀河団 Abell 3391 と Abell 3395 の連結領域の観測

菅原悠宇紀, 滝沢元和, 板花まどか (山形大学), 赤松弘規 (SRON), 藤田裕 (大阪大学), 大橋隆哉, 石崎欣尚 (首都大学)

銀河団同士の衝突現象は、その成長の歴史において最も劇的な過程であり、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、どのように加熱が発生するのかということは大変興味深い。また、「すざく」の高感度観測では、温度だけではなくアバundanceやエントロピーなども導きだすことができる。

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。天体由来のバックグラウンドを、約 2.5 度離れた領域の「すざく」の観測データ (ID:804089010) から決定し、フィラメント領域のスペクトル解析を行った結果、銀河団ガス起源の放射を有意に検出し、redshift した鉄の輝線が確認できた。そして温度を  $kT = 3.8_{-0.3}^{+0.3}$  keV、アバundanceを  $Z_{\odot} = 0.14_{-0.07}^{+0.08}$  (誤差は 90 %信頼度) と決定した。この結果は、Abell 3395 中心部の温度  $kT \sim 5.0$  keV (Lakhchaura et al. 2011) に比べ 24 %の低下に留まり、隣接する Abell 3391 との相互作用が既に始まっており、衝突初期段階でのガスの加熱を示唆する。また、用いたバックグラウンドモデルで CXB の強度を  $\pm 10$  % 変化させたところ温度は  $\sim 5$  %、アバundanceは  $\sim 4$  %程度しか変化せず、結果の大勢には大きく影響し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](#)

## T13c 早期ブラックホール形成と銀河団内ガスの鉄分布への影響

山田美幸, 森川雅博 (お茶の水女子大学)

近年、ペルセウス座銀河団内において、外縁部までの一様な鉄の分布が X 線天文衛星 *ずく* により明らかとなった。外縁部まで積算した鉄の量と Ia 型超新星爆発の理論モデルとを比べると、現在の Ia 型超新星爆発発生率では、銀河団内ガスの鉄の量を補えないことが報告されている。これは、銀河団形成初期には現在の超新星爆発回数比よりもより多くの Ia 型超新星爆発が起きていたことを意味する。さらに、鉄の分布と銀河の分布が一致していないことから、星形成や超新星爆発による金属汚染は銀河団が形成されるよりも前に起きていたと考えられる。

今回、我々は相互作用するダークエネルギーの直接的な崩壊モデルを考え、早期に爆発的にブラックホールが形成される可能性を考察した。高赤方偏移で超巨大ブラックホールが形成されれば、降着するバリオンによって活動性を獲得する。これはアウトフローやジェットを介して早期の星形成や超新星爆発を誘起する可能性がある。このシナリオを、ペルセウス座銀河団ガス中の音波の観測や普遍的なバルジ質量との相関の観測などからも検証し、具体的なブラックホール形成時期を探る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【U. 宇宙論】

### 3月19日(木) 午前(09:30-11:30) [E会場]

U01a	09:30	連星合体重力波観測による重力子振動制限の可能性	成川達也(大阪大学)
U02a	09:42	物質密度揺らぎの成長率の将来観測による $\Lambda$ CDM モデルと修正重力理論との判別の可能性	平野耕一(都留文科大学)
U03a	09:54	宇宙大規模構造からのスカラー・テンソル理論のパラメータ制限	青山尚平(名古屋大学)
U04a	10:06	Future detectability of gravitational-wave induced lensing from high-sensitivity CMB experiments	並河俊弥(Stanford University)
U05a	10:18	Studying 21cm power spectrum with one-point statistics	島袋隼士(名古屋大学)
U06a	10:30	バリオンの超音速相対速度が球対称崩壊モデルに与える影響	淺羽信介(名古屋大学)
U07a	10:42	球対称崩壊・楕円体崩壊モデルの再考	須藤大地(東京大学)
U08a	10:54	銀河分布と弱い重力レンズ効果の三点統計による原始非ガウス性の決定精度	橋本一彦(京都大学)
U09a	11:06	Ia 型超新星の明るさの分散を用いた宇宙小スケール密度揺らぎへの制限	高橋龍一(弘前大学)
U10a	11:18	非一様宇宙における距離・赤方偏移関係	羽田龍一郎(東北大学)

### 3月19日(木) 午後(13:30-15:30) [E会場]

U11a	13:30	Observational constraints of a cosmological model with a variable equation of state	E.P.B.A. Thushari (Kyushu University)
U12a	13:42	N 体計算精度パラメータのハローパワースペクトルに対する影響評価	石川敬視(京都大学)
U13a	13:54	特異速度相関関数における理論予言への解析的アプローチ	杉山尚徳(Kavli IPMU)
U14a	14:06	Subhalo abundance and age matching to model galaxy-dark matter halo connection of the BOSS CMASS sample	斎藤 俊(東京大学)
U15a	14:18	弱重力レンズ効果を用いたフィラメントの直接観測	樋口祐一(国立天文台)
U16a	14:30	4 重像重力レンズを用いた温かいダークマターの質量の制限	井上開輝(近畿大学)
U17a	14:42	Sterile neutrino からの X 線は本当に検出されたか?	小山勝二(京都大学)
U18a	14:54	CO luminosity - line width correlation of sub-millimeter galaxies	Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
U19a	15:06	宇宙膨張論の検証 X X IV 空間膨張宇宙ならば(5) 宇宙表面直近の光の挙動	阿武靖彦
U20a	15:18	宇宙の素粒子の必要条件を満たす「超微粒子論」2	小堀しづ
U21b	15:30	地表では $E=mc^2$ 、ですが、宇宙では $E=mc^2 \times A$ であり、 $m=E \div c^2 \div A$ 、です。質量普遍の法則ができる理由	高エネルギー加速器を陽子のラブは通過する 小堀しづ
U22c		宇宙の中心のブラックホールができた時空と U1.27 と泡構造	小堀しづ

## U01a 連星合体重力波観測による重力子振動制限の可能性

成川達也, 上野昂, 田越秀行 (大阪大学), 田中貴浩 (京都大学), 神田展行 (大阪市立大学), 中村卓史 (京都大学)

KAGRA、advanced LIGO、advanced Virgo 等の地上レーザー干渉計は、数年以内に重力波を初めて直接検出することが期待されている。コンパクト連星合体などから放出される重力波が伝える強重力場の情報は、重力理論の検証に有益だろう。Ia 型超新星をはじめとする宇宙論的観測は宇宙の加速膨張を発見した。加速膨張は宇宙論における最大の謎のひとつであり、その起源としてダークエネルギーだけでなく、修正重力模型が議論されている。宇宙論的スケールにおいて一般相対論に修正を加える必要が示唆されているのかもしれない。Bi-gravity 模型は有質量重力子と無質量重力子が存在するという修正重力模型で、ダークエネルギーの代替という動機からも活発に研究されている。この模型では、2つの重力子が重力波の伝播中にニュートリノ振動のように振動するという特徴がある。本講演では、コンパクト連星合体起源の重力波信号の検出によって、重力子振動が検出可能なパラメータ領域が存在することを報告する。重力子振動による2種類の重力波の干渉によって、インスパイラル波形が一般相対論のものから大きくずれていると検出が可能となる。我々は、ベイズ統計に基づいた検出統計を、解析的近似を用いて見積もり、検出可能性の判定を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U02a 物質密度揺らぎの成長率の将来観測による $\Lambda$ CDM モデルと修正重力理論との判別の可能性

平野耕一 (都留文科大学)

最近の様々な宇宙論的観測は現在の宇宙が加速膨張していることを示しているが、物質で満ちたアインシュタインの一般相対論では、この加速膨張を説明することが出来ない。そこで、加速膨張を引き起こすダークエネルギーを含むモデルが多く提案されているが、ダークエネルギーは直接検出の兆しを見せず、ダークエネルギーの代表的なモデルである宇宙項に関しては、素粒子論から予想される量との不一致やファインチューニング等の理論的な問題をかかえている。

そこで、アインシュタインの重力方程式の右辺に未検出のものを加えるのではなく、重力を表す左辺を修正する研究が近年盛んに行われている。ACDM モデルと修正重力モデルとでは、バックグラウンドの膨張の進化がほぼ同じであっても、物質密度揺らぎの進化は一般に大きく異なる。

本研究では、将来の大型広視野銀河サーベイである Euclid (Euclid Collaboration) の構造形成の成長率の Mock Data を用い、ACDM モデルと修正重力理論との判別がどの程度可能かを調べた。修正重力理論としては、拡張された DGP モデル (Dvali & Turner, 2003), Kinetic Gravity Braiding モデル (Kimura & Yamamoto, 2011), Galileon モデル (Silva & Koyama, 2009), (Kobayashi *et al*, 2010) をそれぞれ採用し、予言される構造形成の成長率と Euclid の Mock Data とを比較し解析を行った。

その結果、Euclid の構造形成の成長率の観測により、物質の密度パラメーターの値が厳しく制限されるため、他の観測と組み合わせることで、モデルの判別が可能であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U03a 宇宙大規模構造からのスカラー・テンソル理論のパラメータ制限

青山尚平, 新田大輔 (名古屋大学)

一般相対性理論を拡張した高次元の超重重力理論などからリーマン曲率テンソルと相互作用するスカラー場の存在が示唆されている。このスカラー場と非最小結合する重力理論として私たちはスカラー・テンソル理論に注目した。

スカラー・テンソル理論では観測される重力定数  $G_{\text{eff}}$  がスカラー場の振幅に反比例して時間変化する。近年の Avilez & Skordis (2014) による先行研究において、スカラー場のポテンシャル  $\omega$  が時間変化しない Brans-Dicke 理論では宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測結果を用いて  $\omega$  の下限が得られている。一般のスカラー・テンソル理論ではポテンシャルはスカラー場の関数  $\omega(\varphi)$  である。スカラー・テンソル理論では数々の先行研究においてはこの関数形を仮定し、その仮定した関数のパラメータに対して制限を加えてきた。

今回、私たちは地球と月との距離を精密に測定する月レーザー測距実験により、重力定数の時間変化が  $|\dot{G}_{\text{eff}}/G_{\text{eff}}| < 10^{-12}\text{year}^{-1}$  に制限されていることに注目し、少なくとも宇宙の晴れあがり以降の重力定数の変化率は充分小さいと仮定した。この仮定はスカラー場の振幅の変化率  $\varepsilon(a)$  がとても小さいことと等価である。この仮定の下では、スカラー・テンソル理論のポテンシャル  $\omega(\varphi)$  が、 $\varepsilon(a)$  とポテンシャルの初期値を用いて一意にあらわされることを示した。そして宇宙大規模構造の観測データから、これら 2 つの理論パラメータに制限を与えた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U04a **Future detectability of gravitational-wave induced lensing from high-sensitivity CMB experiments**

並河俊弥 (Stanford University)、山内大介 (東京大学)、樽家篤史 (京都大学)

宇宙の初期段階で起こったとされるインフレーションは、銀河・銀河団などの構造の種となる密度揺らぎを生成すると同時に、重力波（原始重力波）の生成を预言する。この原始重力波を捉えることで、インフレーション理論の直接検証ができ、新たな観測的視点から初期宇宙に迫ることができる。原始重力波はCMBの偏光度分布にBモード偏光と呼ばれる渦上のパターンを残すため、このBモード偏光の観測は原始重力波を検証する主流な方法となっている。

一方で、重力波は重力レンズ曲り角の二次元ベクトル場に渦状のパターンを生成する。これはカール・モードと呼ばれ、重力レンズ効果を通じてCMBマップに刻み込まれる。従って、CMBマップからの重力レンズの測定手法を用いて再構築可能であり、Bモード偏光とは独立な重力波の検証手段を提供しうる。

本発表では、原始重力波のテンソル・スカラー比が0.1より小さい場合、原始重力波の初期スペクトルに対するconsistency-relationを確認できるようなCMB実験は、カール・モードの検出のほうが容易であることを示す。また、宇宙の晴れ上がり以降に生成された重力波検証において、カールモードの測定の有用性を、Bモード偏光観測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](#)

U05a **Studying 21cm power spectrum with one-point statistics**

島袋隼士 (名古屋大), 吉浦伸太郎 (熊本大), 高橋慶太郎 (熊本大), 横山修一郎 (立教大学), 市來淨與 (名古屋大)

中性水素から放射される赤方偏移した 21cm 線は、cosmic dawn や再電離期 (Epoch of Reionization, EoR) を探る手段として有効と考えられている。現在計画中の低周波電波望遠鏡 (Square Kilometer Array:SKA) を用いると、21cm 線の揺らぎをパワースペクトルを通して観測できるだろうと予想されている。本講演では、21cm 線輝度温度のパワースペクトルの時間発展の振る舞いに対する物理的解釈を分散やスキューネスなどの 1 点統計を用いて議論した。その結果、21cm 線輝度温度のパワースペクトルは X 線による銀河間ガスの加熱や、ライマン  $\alpha$  光子と銀河間ガスの相互作用と深く関係している事が分かった。また、スキューネスは X 線加熱を特徴付ける観測量であることも分かった。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## U06a バリオンの超音速相対速度が球対称崩壊モデルに与える影響

浅羽信介, 田代寛之, 市来浄與 (名古屋大学)

現在計画中の次世代電波干渉計の目的の一つとして、宇宙再電離以前の高赤方偏移中性水素の空間分布を観測することがある。この中性水素の空間分布から、初代天体の形成や宇宙再電離についての情報を得ることができる。さらに高赤方偏移では非線形効果が小さいため、より小スケールでの揺らぎを使った宇宙論の議論ができると考えられている。

その一方で、宇宙の晴れ上がり以前にバリオンと光子が強く結合していたことにより、バリオンはダークマターに対して超音速の相対速度を持っていることが知られている。初代天体の形成や小スケールでの揺らぎを考える上で、この相対速度の影響を考えることは重要である。

本研究では、バリオンが持つ超音速の相対速度がダークマターの構造形成に与える影響を宇宙論的 N 体シミュレーションを用いて計算した。バリオンが相対速度を持っている場合の球対称崩壊モデルにおけるダークマターの崩壊時刻の変化を定量的に求めたのでその結果を報告する。また、ダークマターハローの質量関数の変化について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a 球対称崩壊・楕円体崩壊モデルの再考

須藤大地 (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)

近年の観測技術の発展に伴って、銀河団の X 線や重力レンズ効果の観測においてハローの楕円率を考慮に入れた解析がさかんになり、球対称の仮定の下では得られなかった様々な知見が得られている。一方で、ダークマターハローの楕円体の進化を記述する楕円体崩壊モデル (Bond & Myers, 1996) の予見と、観測や N 体シミュレーションの解析結果を比較すると、特にハローの楕円率の質量依存性について矛盾が見られる (Rossi et al., 2011, Despali et al., 2014)。楕円体崩壊モデルはあくまで単純化されたモデルであるので、矛盾があることは不思議ではないが、その原因についてははっきりとわかっていない。我々は、この原因を追究することでハローの進化についてより深い見識が得られるであろう、という立場に立つ。

本公演では、楕円体崩壊モデルの基礎になっている球対称崩壊モデルに立ち返る。N 体シミュレーションから取り出したハローを解析し、(球対称崩壊モデルの段階での) モデルとシミュレーションとのずれの程度、およびその原因を探る。その結果に基づき楕円体崩壊モデルの修正を試み、観測量にどのような影響を及ぼすか吟味する。そして、それを足がかりに楕円体崩壊とシミュレーションの矛盾について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a 銀河分布と弱い重力レンズ効果の三点統計による原始非ガウス性の決定精度

橋本一彦, 樽家篤史 (京都大), 横山修一郎 (立教大), 並河俊弥 (スタンフォード大), 松原隆彦 (名古屋大)

宇宙背景放射の観測などにより、インフレーションで生成されたとされる原始密度ゆらぎの統計的性質はほぼガウス統計に従うことが明らかになってきた。ただし、インフレーションモデルの中には小さいとはいえ非ガウスの初期ゆらぎを预言するものが未だ存在する。こうしたモデルの成否を判別する上でも、今後は、宇宙背景放射以外の別な観測から非ガウス性に対する手がかりを得ることが不可欠である。

近年、銀河バイアスを通じて宇宙大規模構造に原始非ガウス性の影響が強く現れることがわかり、宇宙大規模構造を用いた原始非ガウス性の探索は、宇宙背景放射と相補的な方法として盛んに議論されている。今後、Hyper Suprime-Cum などの大規模な測光観測により、原始非ガウス性に対する強い制限が可能になるだろう。ただし、これまでの研究は主としてパワースペクトルにもとづく解析であり、原始非ガウス性を特徴づける複数のパラメーター ( $f_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$ ) が強く縮退することが知られていた。

本講演では、より高次の統計量であるバイスペクトルに着目し、原始非ガウス性の決定精度について調べた結果を報告する。測光観測では、弱い重力レンズ効果を組み合わせることで、銀河分布によるオートバイスペクトル以外にクロスバイスペクトルも測定できる。これら複数のバイスペクトルを用いることで、銀河分布のパワースペクトルよりも強く非ガウス性を制限できることがわかった。本講演ではさらに、オート・クロスバイスペクトルを組み合わせることで、非ガウス性のパラメーター  $f_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$  の縮退がどの程度解けるのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U09a Ia型超新星の明るさの分散を用いた宇宙小スケール密度揺らぎへの制限

高橋龍一 (弘前大), Ido Ben-Dayan(DESY)

Ia型超新星は標準光源として知られているが、その明るさは非一様宇宙を伝播する途中で重力レンズを受けることにより分散を生じる。本講演では、超新星の明るさの分散を用いて、宇宙質量密度の小スケール揺らぎ(約1Mpc以下)への観測的制限を議論する。宇宙初期密度揺らぎの spectral index の running や running of running を変更して、N体数値計算を実行し、非線形パワースペクトルを求めた。得られたパワースペクトルを用いて弱い重力レンズから増光率の分散をもとめ、観測データ(Supernova Legacy Survey)と比較した。非線形密度揺らぎは、暗黒物質のみの場合とバリオン成分(銀河形成)も考慮した場合の両方を議論した。結論は暗黒物質のみでは小スケール揺らぎに対し、これまでの制限(Planck衛星)に比べ強い制限は得られなかった。しかし、バリオン成分を考慮すると、小スケールでの密度揺らぎのパワースペクトルを増大させるため、(Planck衛星とは独立に)強い制限が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U10a 非一様宇宙における距離・赤方偏移関係

羽田龍一郎, 二間瀬敏史 (東北大学)

一様・等方宇宙では、宇宙論パラメーターが定まると、ある赤方偏移にある天体までの距離は一意的に決まる。そこで、標準光源である Ia 型超新星を様々な赤方偏移で観測すると、その見かけの明るさから距離が分かるため、この距離・赤方偏移関係を用いることにより宇宙論パラメーターを推定できる。実際、この方法によって宇宙定数の存在、すなわち宇宙が加速膨張をしていることが確認された。しかし、実際の宇宙には密度揺らぎや collapsed objects が存在するため、超新星からの光はその非一様性の影響を受けて伝搬してくることになる。

本研究では、現実の非一様宇宙における距離・赤方偏移関係 (あるいは "見かけの明るさ・赤方偏移関係") が、一様・等方な FRW 宇宙の場合からどのように変化するかを評価した。具体的には、物質の密度揺らぎに起因する弱い重力レンズの効果による、"見かけの明るさの揺らぎ" の 2 点相関に対する表式を与え、non-linear な matter power spectrum を用いてその分散を計算した。また、密度揺らぎに対する Lognormal 確率密度関数と球対称 collapse モデルを導入することで、collapsed objects が引き起こす、光が遮られる効果と平均的に密度が薄い領域を伝搬してくる効果を考慮し、系統的にどれくらい暗く観測されるかを推定した。そして、それらの結果として生じる宇宙論パラメーター (物質密度パラメーターとダークエネルギーの状態方程式) の不定性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U11a      **Observational constraints of a cosmological model with a variable equation of state**

E.P.B.A. Thushari (Department of Physics, Kyushu University, Japan)

We have constructed a model with variable equation for matter and dark energy from the observations of Type Ia Supernovae. We focus on how the evolving Equation Of State (EOS) for matter and dark energy (DE) can modify the standard cold dark matter paradigm. This was focused on the most challenging problem in cosmology is to explain the observed present accelerated expansion of the universe. Variable equation of state came to an account when we search the possible candidates to explain the late time accelerated expansion of the universe.

Here we focus on a variable equation of state and parametrization of Dark energy which can accommodate a number of dark energy models, including a cosmological constant. Here we focus on evolution of the universe and its late time cosmic accelerated expansion. We investigate the contribution of the variable equation of state of dark matter and dark energy to modify the  $\Lambda$ CDM paradigm. The type Ia Supernovae (SNIa), union 2 compilation are used in the redshift range  $0.01 < z < 2$  to constrain the model at the late time acceleration of the universe. We constrain the parameters which are inherent in the model from the SNIa observations. We could identify at the low redshift range, present model and  $\Lambda$ CDM model are indistinguishable. However the present model theoretically behaves differently from  $\Lambda$ CDM in the high redshift range. It concludes the present model is effective candidate to trace the evolution of the universe.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U12a N体計算精度パラメータのハローパワースペクトルに対する影響評価

石川敬視 (京都大学), 戸谷友則, 舎川元成 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU),  
高橋龍一 (弘前大学), 西道啓博 (パリ天体物理学研究所)

近い将来に SuMIRe-PFS や Euclid 計画等による大規模銀河サーベイを控え、観測的宇宙論は精密宇宙論の時代に入っている。このような大規模な観測データの解析に向け、大規模構造形成の理論研究においてはパーセントレベルでの正確・精密な理論モデルの整備が急務となっている。その検証においては一般的に N 体計算を用いて構築したハローまたはサブハローの模擬カタログを仮定の銀河分布と仮定してテストを行う。したがって、パーセントレベルで信頼のできる模擬カタログの構築は大規模構造形成の理論研究において重要なテーマである。

これまでのシミュレーション精度の検証研究では、物質パワースペクトルについてはその収束性がよく調べられてきた。その一方で、ダークハローの形成過程においてはまさに小スケールでの重力計算の精度が影響するにも関わらず、物質シミュレーションで確かめられた精度パラメータがそのまま用いられていることが多かった。そこで我々は、信頼できるハローカタログの構築を目的とし、シミュレーション設定のハローのパワースペクトルに対する影響を改めて詳細に調べあげた。

具体的にはシミュレーションには重力計算コード Gadget-2 (Springel et al. 2001) を使い、重力計算の精度については計算のステップ幅や Tree 計算における開き角、フーリエ変換の際のグリッド数、ソフトニング長を変化させ、ハローの形成数やパワースペクトルへの系統誤差を定量的に評価した。さらに初期赤方偏移や質量解像度の設定の違いによる影響について精査した。その結果、赤方偏移  $z = 0.5-2$ , および  $k < 0.5h/\text{Mpc}$  までの波数領域においてハローパワースペクトルの系統誤差を典型的に 3%以下のレベルでコントロールできることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U13a 特異速度相関関数における理論予言への解析的アプローチ

杉山尚徳, 奥村哲平 (Kavli IPMU), David Spergel (Princeton University)

銀河の特異速度の情報は、宇宙における構造の進化の情報を含んでいるため、修正重力理論やダークエネルギーの検証に使うことができる。近年、銀河の空間分布における赤方偏移歪みの測定から、特異速度の情報を間接的に引き出すことが精力的に行われてきた。そして2012年にCMBにおけるKSZ効果の最初の検出により、銀河の特異速度をより直接的に測れる可能性が高まってきた。これらの背景から、赤方偏移空間における特異速度の相関関数の精密な理論予言を構築することが、今後の観測論的宇宙論のために重要となる。本研究では、密度揺らぎ相関関数と特異速度相関関数の間にシンプルな関係式が成り立つことを示した。そして摂動論を用いて特異速度の相関関数を計算し、N体シミュレーションの結果とよい精度で一致することを確かめた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14a      **Subhalo abundance and age matching to model galaxy-dark matter halo connection of the BOSS CMASS sample**

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関係内にどのように分布しているかを知ることは、宇宙論的研究においては銀河バイアスを測定するという意味で重要であり、銀河進化を理解する上でも貴重な情報となる。

本講演では、スローンデジタルスカイサーベイ第3期の Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) で観測された CMASS 銀河サンプル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 (SHAAM) という手法でモデル化する試みを議論する。BOSS CMASS 銀河サンプルは、中赤方偏移  $z \sim 0.5$  の大質量銀河 (星質量  $M_* \gtrsim 10^{11.0} [M_\odot]$ ) であり、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る。また SHAAM 法は、‘明るい銀河は重いダークマターハローに、赤い銀河はより古い銀河にいる’ という ansatz にしたがって、 $N$  体計算におけるダークマターハローに銀河をあてはめていく方法である。本講演ではまず最初に、CMASS 銀河サンプルの星質量という意味での incompleteness について、Stripe 82 における Co-Adds という、より深い測光観測サンプルと比較して議論する。次に、CMASS 銀河サンプルの incompleteness を考慮に入れた上で、どのように SHAAM 法を用いて BOSS CMASS 銀河・ダークマターハロー関係をモデル化するべきかについて、我々の試みを紹介する。我々の方法は、観測された BOSS CMASS 銀河の 2 点相関関数をよく説明するという意味で正当化することができる。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](#)

## U15a 弱重力レンズ効果を用いたフィラメントの直接観測

樋口祐一 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大学), 田中賢幸 (国立天文台), 櫻井準也 (総研大)

$\Lambda$ CDM モデルは様々な観測を用いた統計的検証に対しある程度成功を収めてきた。 $\Lambda$ CDM モデルを仮定したシミュレーションでは、2つのダークマターハロー間を繋ぐフィラメント構造が多数存在している。一方で重力レンズ効果を用いた観測では現在まで数例しかこのようなフィラメント構造を確認することができていない (Dietrich et al. 2012, Jauzac et al. 2012)。そのためフィラメントなどの大規模構造を用いた  $\Lambda$ CDM モデルの検証は統計的な検証を補完する重要な検証となる。

本講演ではすばる望遠鏡 Suprime-Cam で撮像された銀河団に対して弱重力レンズを用いて解析した結果を発表する。フィラメントからのレンズシグナルを検出するために、フィラメントの両端に存在する銀河団から寄与を2つの手法を用いて見積もった。見積もった銀河団からの寄与をそれぞれレンズシグナルから差し引くことで、両手法に対しフィラメントからのレンズシグナルが受かるか検証を行った。その結果、両手法ともに  $S/N = 8$  程度でフィラメントを観測することができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U16a 4重像重力レンズを用いた温かいダークマターの質量の制限

井上 開輝 (近畿大), 高橋 龍一 (弘前大), 高橋 智 (佐賀大), 石山智明 (筑波大)

QSO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QSO-銀河重力レンズ系において、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が考えられてきたが、近年、視線方向の構造によってそのような異常が起こる可能性が指摘されている。今回、我々は「フラックス比異常」を示す4重像QSO-銀河重力レンズ系を用いて、視線方向の構造による重力レンズ効果を準解析的に評価し、温かいダークマター(WDM)モデルに観測的な制限をつけた。ただし、レンズ銀河の2次元重力ポテンシャルは十分に滑らかであり、楕円対称であると仮定している。ダークマターの全てが熱的に生成された同種のWDMから成る場合、その質量の下限は $1.3\text{keV}(95\%CL)$ であり、WDM粒子の自由流スケールは約 $200\text{kpc}/h$ 以下でなくてはならないことが判明した。従って、「行方不明の矮小銀河問題」や「カスプ問題」を解決する可能性を秘めるWDMモデルにとっては不都合な結果といえる。しかし、バリオンのダイナミクスの影響により制限が緩む可能性は否めない。今後バリオン冷却、星形成、フィードバックなど様々な物理過程を採り入れた解析が必要となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## U17a Sterile neutrino からの X 線は本当に検出されたか？

小山 勝二, 信川 正順 (京都大学), 内山 秀樹 (静岡大学) 中島 真也, 田村 隆幸 (宇宙科学研究所)

すざく衛星による天の川銀河中心の X 線スペクトルから 8.7 keV に line-like な Excess が観測された。これは Fe XXVI の  $L\gamma$  のエネルギーに相当するが、その強度は理論的予想値より強かったので、Prokhorov and Silk 2010 (ApJL, 725, 131) と Chan and Chu 2011 (ApJL, 727, L47) は 17.4 keV の Sterile Neutrino の Decay による X 線と報告した。

一方 XMM-Newton による銀河団の Integrated flux から Bulbul et al. 2014 (ApJ, 789, 13) は 3.5 keV に line を発見し、その後天の川銀河中心からも同様に 3.5 keV line が発見された (Boyarsky et al. 2014: Astro-PH)。彼らはこれら 3.5 keV line 強度は既知の原子線の強度 ( $K\text{ He}\alpha$ ) より強いので、これらを Sterile Neutrino 起源と主張した。

我々は「すざく」を用い高精度な銀河中心スペクトルを取得し、これとプラズマモデルとを詳細に比較、検討した。さらに Crab Nebula によるミラーの較正を行い、その結果、これらの line excess (8.7 keV, 3.5 keV) は既知の原子線に比べ有意ではないと結論した。一方、我々は「すざく」によって銀河バルジのスペクトルも取得し、その中から 10.1 keV に未知の輝線を  $2-3\sigma$  の有意度で発見した。ここには既知の原子線はない。本講演ではこれらの詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U18a **CO luminosity - line width correlation of sub-millimeter galaxies**

Tomotsugu Goto (National Tsiung Hua University), Sune Toft (Dark Cosmology Centre)

A possible correlation between CO luminosity ( $L_{\text{CO}}$ ) and its line width has been suggested in the literature. However, such claims were often based on a small, or heterogenous sample of galaxies. The existence of the relation was uncertain.

By compiling a large sample of galaxies with CO detections from the literature, we carefully examine the correlation. After carefully evaluating the selection effects and uncertainties such as inclination and magnification via gravitational lensing, we show that there exist a weak but significant correlation between  $L_{\text{CO}}$  and its line width.

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## 【V1. 地上観測機器（電波）】

3月18日（水）午後（13:00-15:00）[I会場]

V101a	13:00	南極 10 m 級テラヘルツ望遠鏡の強度較正法 小林和貴（筑波大学）
V102a	13:12	南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡の電波カメラ系反射鏡群の構造設計 北本翔子（筑波大学）
V103a	13:24	POLARBEAR 実験:主焦点連続回転半波長板を用いた広視野観測の解析 高倉 理（大阪大学）
V104a	13:36	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発（4）: 科学運用に向けた開発 大島 泰（国立天文台）
V105a	13:48	大阪府大 1.85m 望遠鏡の受信機開発 2014 長谷川 豊（大阪府立大学）
V106a	14:00	10m-SPART 電波望遠鏡を用いた 100/200GHz 帯における太陽系地球型惑星の中層大気環境監視プロジェクトの進捗 前澤裕之（大阪府立大学）
V107b	14:12	100 GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発：交流ジョセフソン効果の影響 中島 拓（名古屋大学）
V108b	14:12	200GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発：MSL 共振周波数特性の測定 加藤智隼（名古屋大学）
V109b	14:12	「FOREST」搭載 IF 広帯域化 100 GHz 帯 SIS ミクサの開発2 上月雄人（大阪府立大学）
V110b	14:24	1.9THz 帯導波管型超伝導 NbTiN-HEB ミクサ検出素子の開発 齊藤滉介（大阪府立大学）
V111b	14:24	南極 10 m テラヘルツ望遠鏡広視野光学系の基本設計(2) 今田大皓（筑波大学）
V112b	14:24	MKID 用多素子同時読み出し回路の評価 岡田 隆（東京大学）
V113b	14:36	野辺山宇宙電波観測所の運用：1. 科学要求 齋藤正雄（国立天文台）
V114b	14:36	臼田 64m 等の衛星・探査機用アンテナを利用した電波天文観測の状況 村田泰宏（宇宙航空研究開発機構）
V115b	14:36	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況(11) 米倉覚則（茨城大学）
V116b	14:48	ALMA パイプラインの現状 3 秋山永治（国立天文台）
V117b	14:48	望遠鏡の指向方向較正におけるずれの扱いについて 永井 誠（筑波大学）
V118b	14:48	太陽風観測のための富士・木曾電波望遠鏡システムの更新 山崎高幸（名古屋大学）
V119c		ASTE10 m 望遠鏡搭載 THz 受信機の開発 山本 智（東京大学）
V120c		電波合成型ミリ波アンテナの設計 2 春日 隆（法政大学）
V121c		空気シャワーから放射されるマイクロ波の探索 III 大田 泉（甲南大学）
V122c		那須 30 m アンテナを用いた Fast Radio Bursts の探査計画 青木貴弘（早稲田大学）

（次頁に続く）

## 【V1. 地上観測機器（電波）】

3月19日（木）午前（09:30-11:30）[I会場]

V123a	09:30	ALMA の建設 (22) と運用 (6) 阪本成一 (国立天文台)
V124a	09:42	ALMA : 干渉計位相補正の現状と課題 (3) : 長基線試験における位相補償観測 (ALMA: fringe phase calibration (3) : phase referencing for the long baselines) Yoshiharu Asaki (Institute of Space and Astronautical Science)
V125a	09:54	ALMA によるミリ波・サブミリ波での太陽観測 : 4 下条圭美 (国立天文台)
V126a	10:06	データ解析ライブラリ Sakura の開発と ALMA 単一鏡データ解析への応用 中里 剛 (国立天文台)
V127a	10:18	ALMA データ解析パイプラインとデータ解析ソフト CASA の開発 杉本香菜子 (国立天文台)
V128a	10:30	ALMA 観測サイトにおけるキャリブレーション用信号源 その 6 木内 等 (国立天文台)
V129a	10:42	野辺山 45m 搭載 新マルチビーム受信機「FOREST」の開発進捗 9 : 2014 年度の進捗 南谷哲宏 (国立天文台)
V130a	10:54	周波数変調局部発振器による新しいミリ波サブミリ波分光法 : IV. 野辺山 45m 望遠鏡での性能評価試験 谷口暁星 (東京大学)
V131a	11:06	山口干渉計と大学連携・東アジア VLBI 観測網 藤沢健太 (山口大学)
V132a	11:18	JCMT-野辺山基線による 230GHz 帯 VLBI 実験 (サブミリ波 VLBI 技術開発) 三好 真 (国立天文台)

3月19日（木）午後（13:30-15:30）[I会場]

V133a	13:30	広帯域受信電波望遠鏡 (パラボラアンテナ) の開発 (3) 福崎順洋 (国土交通省国土地理院)
V134a	13:42	広帯域フィードの開発 (VIII) 氏原秀樹 (情報通信研究機構)
V135a	13:54	電波天文学技術を応用した雲発生予報用マルチバンド観測システム 長崎岳人 (高エネルギー加速器研究機構)

## V101a 南極 10 m 級テラヘルツ望遠鏡の強度較正法

小林和貴, 中井直正, 久野成夫, 瀬田益道, 永井誠, 今田大皓, 北本翔子, 朝倉健 (筑波大学), 石井峻 (東京大学)

我々が 10 m 級の望遠鏡を建設予定の南極大陸内陸のドームふじ基地は、標高 3800 m、平均気温  $-54^{\circ}\text{C}$  と高地かつ寒冷で晴天率が高いため、大気中の水蒸気量が非常に少なく、地上での最良なサブミリ・テラヘルツ波観測サイトと言える。観測周波数は 200 GHz—1.5 THz で、越冬して観測する予定である。

受信電波の一般的な強度較正法である 1 温度チョッパーホイール法は電波吸収体と望遠鏡、上空大気の色度を同一であると近似しており、大気の色学的厚みが大きい高周波数ではこれらの色度が異なる場合、大きな誤差要因となる。そこで本望遠鏡では、色度の異なる 2 つの電波吸収体と大気の色学的厚み ( $\tau_{\nu}$ ) を用いた 2 温度チョッパーホイール法を検討している。観測周波数が広域なため、ラジオメータにより測定する特定の周波数の  $\tau_{\nu}$  とシミュレーションソフトを用いて観測周波数の  $\tau_{\nu}$  を推定する。このソフトは上空大気の色度、湿度と可降水量 (pwv) から  $\tau_{\nu}$  を計算する。pwv はこのソフトを用いて、ラジオメータで測定した  $\tau_{\nu}$  から推定する。pwv の推定誤差を抑えるために  $\tau_{\nu}$  を測定する周波数は、 $\tau_{\nu}$  が pwv の変化に対して比較的敏感な周波数を選ぶ。この手法の色度を評価すると、例えば観測周波数 807 GHz での受信電波強度の較正全体の誤差が 10 %未満を達成できる見込みが得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V102a 南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡の電波カメラ系反射鏡群の構造設計

北本翔子、中井直正、久野成夫、瀬田益道、今田大皓、朝倉健（筑波大学）

我々は、世界最高条件のもとで銀河形成の解明や遠方宇宙を観測するため、口径 10 m 級のテラヘルツ望遠鏡の開発を進めている。望遠鏡の設置場所は、南極新ドームふじ基地を予定しており、標高 3800 m、気温 -20 ~ -80 の寒冷な高地である。そのため、水蒸気量が非常に少なく、地上で唯一のテラヘルツ波の観測が可能なサイトである。

この望遠鏡は、電波カメラとヘテロダイン受信機の 2 つの観測装置を搭載する。ミラーは、主鏡、副鏡、第三鏡まで共通であり、2 つの観測装置の切り替えは、第三鏡の向きを変えることによって行われる。本研究では、電波カメラ側ミラーの第 4 鏡から第 7 鏡の構造設計を有限要素法解析を用いて行った。鏡面は自由曲面であり、サイズは 1.5m ~ 2m 程度である。

ミラーの材料は、Al5052 を使用する。また、工作精度の制限により、鏡面の厚みは 3mm とする。ミラー一枚当たりに許される鏡面誤差は  $4\mu\text{m}$  程度であり、受信機室の稼働に使用できる電力に制限があるため、可能な限り軽量化する必要がある。

設計時に考慮すべき項目として、重力変形と熱変形がある。両観点から、ミラーの設置方法は、鏡面外周を固定する方法をとる。重力変形については、鏡面裏側に梁を配置することにより、変形を抑える。熱変形については、製造時と設置時の温度差による変形と受信機室内の温度変化による変形がある。前者は、設置時に正しい鏡面となるような構造を設計することによって解決し、後者は、温度変化に対する構造解析と支持機構にも同じ材料を使用することによって、変形を防ぐ。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a

**POLARBEAR 実験:主焦点連続回転半波長板を用いた広視野観測の解析**

P.Ade(Univ.of Cardiff), 秋葉祥希, 井上優貴, 瀬川優子 (総研大), C.Aleman, K.Arnold, M.Atlas, D.Barron, T.Elleflot, G.Fuller, L.Howe, J.Kaufman, K.Kazemzadeh, B.Keating, D.Leon, L.Lowry, F.Matsuda, M.Navaroli, H.Paar, G.Rebeiz, P.Siritanasak, N.Stebor, B.Wilson, A.Yadav(Univ.of California, San Diego), C.Baccigalupi, G.Fabbian, G.Puglisi(SISSA), B.Barch, A.Cukierman, T.Haan, J.Errard, N.Goeckner-Wald, C.Hill, W.L.Holzappel, 堀泰斗, O.Jeong, A.T.Lee, M.Myers, C.Raum, P.L.Richards, B.Sherwin, I.Shirley, B.Steinbach, O.Zahn(Univ.of California, Berkeley), A.Bender (ANL), D.Boettger, R.Dunner(PUC), J.Borrill, R.Kesitalo, T.Kisner, A.Kusaka, E.Linder, A.Suzuki (LBNL), S.Chapman, C.Ross, K.Rotermund(Dalhousie Univ.), 茅根裕司, 長谷川雅也, 服部香里, 羽澄昌史, 岡村崇宏, 鈴木純一, 田島治, 都丸隆行 (高工研), M.A.Dobbs, A.Gilbert, G.Smecher(McGill Univ.), A.Ducout, S.Feeney, A.Jaffe(Imperial College), C.Feng(Univ.of California, Irvine), N.Halverson, G.Jaehnig, D.Schenck(Univ.of Colorado), 入江郁也, 水上邦義 (横浜国大), 西野玄記, 片山伸彦 (Kavli IPMU), Z.Kermish(Princeton Univ.), M.L.Jeune, J.Peloton, D.Poletti, R.Stompor(APC), N.Miller(NASA), 松村知岳 (JAXA/ISAS), C.Reichardt, 高田卓 (核融合研), 高倉理 (阪大理)

CMB 偏光観測実験、POLARBEAR 実験は昨年5月から広視野観測に向け、主焦点に半波長板を置き、連続回転させている。偏光信号の変調により、 $1/f$  ノイズの低減、使用可能検出器数の改善、偏光検出器ペアの特性差起因の系統誤差削減等の利点を得られる一方、主鏡の反射による無偏光の混入、輻射増加、水口ドラゴン条件の破綻による感度減少等の問題が発生する。本発表では利点、問題点、解決策と系統誤差の見積もりについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V104a **ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発 ( 4 ): 科学運用に向けた開発**

大島泰、竹腰達哉、荒井均、前川淳、岩下浩幸、佐藤立博、廣田晶彦、南谷哲宏、松尾宏、川辺良平 ( 国立天文台 )、中坪俊一、森章一、香内晃、徂徠和夫 ( 北海道大 )、泉拓磨、石井峻、田村陽一、河野孝太郎 ( 東京大 )

直接検出器を用いた超広帯域、広視野のミリ波サブミリ波帯連続波観測は、サブミリ波銀河、SZ 銀河団探査、近傍銀河や星形成領域における熱的放射を効率よく検出し、重要な物理量を推定することを可能にする。このような観測を推進するため、我々は超伝導遷移端センサー ( TES ) ボロメータを用いた波長 1.1 mm および 850  $\mu\text{m}$  帯の連続波カメラを、ASTE 望遠鏡での科学運用を目指して開発を進めている。2014 年 3–4 月にかけて、チリ現地にて好条件下での試験観測が行われ、NGC6334I に対する観測では、星形成コアとそれ付随する数分角に広がったダストのフィラメント状構造を検出した。また、光学系はほぼ回折限界を達成し、ほぼ設計通りの性能であることが確認されたほか、ポインティング性能も ASTE 望遠鏡の性能と同程度が得られた。

本講演では、科学観測に向けた開発の状況、そして将来計画について紹介する。現在我々は、試験観測で取得したデータを用いて、TES ボロメータの診断手法や、大気放射を用いたキャリブレーション方法の検討を進めている。また、現地試験の際には、1Hz の整数倍の周波数において到達感度を制限する強いラインノイズが検出されており、実験室でのレプリカ環境をもちいた冷却試験を行い、原因と対策の検討を進めている。さらに、ボロメータウェハーや周波数多重化のための LC 回路についても、ダイナミックレンジや歩留りの改善を目指した改良を行う。将来計画として、マルチクロイック TES ボロメータを用いた 450  $\mu\text{m}$  帯までの 6 波長同時観測可能なボロメータウェハーや読み出し系の開発計画についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105a 大阪府大 1.85m 望遠鏡の受信機開発 2014

長谷川豊、徳田一起、原田遼平、松本貴雄、大崎茂樹、森岡裕貴、木村公洋、阿部安宏、大西利和、小川英夫 (大阪府大)、西村淳 (国立天文台)、土橋一仁 (東京学芸大)、落合啓、笠松章史 (NICT)、1.85m グループ

我々は、口径 1.85 m のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡を開発し、野辺山宇宙電波観測所内にて運用している。本望遠鏡は、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J = 2-1$ ) の 3 輝線を同時に、2.7 分角の角度分解能で観測できることが特徴であり、近傍分子雲や銀河面のサーベイなどを推進している。

2014 年度では大幅な受信機システムの更新が行なわれ、230GHz 帯域用の新方式導波管セプタム型 Circular Polarizer、及び導波管型帯域分離フィルタによる新サイドバンド分離方式を採用する事により、両円偏波・両サイドバンド分離受信が可能となった。本受信機による試験観測の結果は、 $T_{RX-SSB} = 60-90 \text{ K}$ ,  $T_{\text{sys}} = 220 - 250 \text{ K}$  ( @  $\theta = 0.18$  ), イメージ抑圧比  $\text{IRR} > 21\text{dB}$  となり、さらに円偏波受信などの効果によってベースラインが非常にフラットな状態となった。また、本受信機に搭載された Circular Polarizer, 新サイドバンド分離方式はともに、現在開発中の GLT 望遠鏡 230GHz 帯 VLBI 受信機にも搭載することが検討されている。

本講演では主に、用いた導波管回路の特性設計/実測評価結果、および 1.85m 望遠鏡での試験観測の結果等についての報告を行なう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106a **10m-SPART 電波望遠鏡を用いた 100/200GHz 帯における太陽系地球型惑星の中層大気環境監視プロジェクトの進捗**

前澤裕之, 池田喜則, 森前和宣, 斉藤滉介, 種倉平晃, 西村淳, 大崎茂樹, 切通僚介 (大阪府立大), 神澤富雄, 半田一幸, 岩下浩幸, 前川淳, 大矢正明, 斉藤正雄 (国立天文台), ほか SPART グループ

我々は中心星の活動(電磁放射、太陽風、フレア/CMEに伴う高エネルギーイベントなど)が周辺の惑星中層大気に与える影響を観測的に捉え、系内外の惑星の大気環境やハビタビリティ、宇宙天気について理解を深めるべく、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の干渉計のF号機10m望遠鏡を単一鏡化し、太陽系惑星大気監視プロジェクト(SPART: Solar Planetary Atmosphere Research Telescope)を推進している。昨年度は、ブラシの焼きつきによるAzモータ/ギアボックス破損の修理、ギアの刃当たり調整、シンクロ/ドライバのインターフェイス(SD変換ユニット)の電力システムの修理を実施し、さらにE1モータの振動起因となっていた調整子摩耗部の交換を行い、運用を完全に正常復帰させた。そして、100/200GHzの2周波受信機により、金星・火星のモニタリングを再開した。火星や金星は固有磁場が無いため、大気は太陽活動に伴う高エネルギー粒子イベントに暴露された状態である。我々が捉えた、太陽活動期のフレア/CME起因と推察される金星の一酸化炭素の変動(化学的・物理的バランス)が、活動小康期に向けてどのように推移するか、2014年度も引き続き監視に取り組んでいる。SPARTの口径では、100GHz帯のビームは金星のディスク平均を観測するのに対し、200GHz帯ではディスクを空間分解するようになる。そこでSPARTにおいてもOn-The-Fly法を実装し、両周波帯でスペクトルをディスク平均に規格化してリトリバル解析できるようにした。また、200GHz帯において定在波を打ち消す1/4(円偏波発生)フィルタを開発・実装した。本講演では、SPARTの再稼働に関わる一連の進捗・開発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](#)

V107b **100 GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発：交流ジョセフソン効果の影響**

中島 拓, 加藤 智隼, 伊藤 万記生, 藤井 由美, 桑原 利尚, 山本 宏昭, 水野 亮 (名古屋大), 小嶋 崇文, 野口 卓, 浅山 信一郎 (国立天文台), 上月 雄人, 小川 英夫 (大阪府大), 酒井 剛 (電通大)

現在我々は、国立天文台 ATC との共同開発研究としてミリ波・サブミリ波帯の直列接合型超伝導 SIS 素子の開発を行っている。100 GHz 帯で Gain compression  $< 1\%$ 、受信機雑音温度  $\sim 20$  K となる新たなデバイスの開発を目標に、設計・評価を行ってきた (井上他 2011 年秋季年会参照)。このデバイスは、名古屋大学が運用する大気微量分子観測装置や NANTEN2 望遠鏡、さらには野辺山 45-m 望遠鏡などでの実用化を目指している。

前回の年会では、マイクロストリップライン (MSL) とコプレナー導波路 (CPW) を組み合わせた新たなインピーダンス変換回路の設計と性能解析結果を示し、特に CPW 端面での電気長の伸びの影響について報告を行った。その後、実際に製作したデバイスの実用化に向け、主に雑音特性の評価を実験室レベルで進めてきたが、ある RF 周波数において Hot-Cold (Y-factor) 法によって得られるミクサ雑音温度が特定のバイアス電圧の範囲で量子限界を上回るような異常な特性を示す現象が発生した。その時の電流-電圧特性を観察すると、LO 信号入力によって生じるフォトンステップの中により細かい間隔のサブステップが現れることで IF 信号の電圧特性に歪みが生じ、見かけ上 Y-factor が大きくなっていることが分かった。また、これまでの解析の結果、このサブステップは交流の超伝導電流によって生じるシャピロステップの電圧間隔と一致しており、ジョセフソン効果に起因する可能性が高いことが分かってきた。実際、SIS 素子に磁場を印加するとサブステップの強さに変化が見られており、磁場に敏感であることもジョセフソン効果起因であることを示唆していると考えられる。

本講演では、一連の評価実験と解析結果を示し、新デバイスの実用化に向けた見通しなどについて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108b      **200GHz 帯直列接合型 SIS 素子の開発：MSL 共振周波数特性の測定**

加藤 智隼, 中島 拓, 伊藤 万記生, 藤井 由美, 桑原 利尚, 山本 宏昭, 水野 亮 (名古屋大学), 小嶋 崇文, 藤井泰範, 野口 卓, 浅山 信一郎 (国立天文台), 上月雄人, 長谷川 豊, 小川 英夫 (大阪府立大学)

我々は現在、国立天文台 ATC との共同開発研究として、ミリ波・サブミリ波帯の直列接合型超伝導 SIS 素子を開発している。200 GHz 帯の観測は、国内では名古屋大学の地球大気観測装置、NANTEN2 望遠鏡、大阪府立大学の 1.85 m 望遠鏡でしかされていないため、この周波数帯の SIS 素子の開発はこれまで限定的であり、現状では観測に十分な性能の素子が開発されてはいない。そこで我々は、RF 帯域を CO や O<sub>3</sub> などの主要な分子輝線を含む 190–260 GHz (比帯域 30 %程度)、IF 帯域を 4–12 GHz、受信機雑音を T<sub>RX</sub>(DSB)~30 K、Gain Compression を 1 %程度という仕様を満たす事を目標にして、新たな 200 GHz 帯 SIS 素子の開発を進めている。

私はこれまでにマイクロストリップライン (MSL) とコプレーナウェーブガイド (CPW) によってインピーダンス整合をとる直列接合素子の設計 (加藤他 2014 年秋季年会参照) と製作を完了し、現在は実用化に向けた性能評価を進めている。またこれと並行して、インピーダンス整合回路構造の単純化のために MSL のみで構成される素子も試作した。この素子製作の目的は、シミュレーションから得られる特性と実際に製作した素子の特性との差を確認し、それを次の設計にフィードバックすることである。重要な特性の一つとして、素子の共振回路の周波数特性がある。我々は素子の周波数特性を広帯域に評価するため、フーリエ分光計 (FTS) を用いた共振周波数及び周波数帯域の測定を進めている。

本講演では、今回製作した試験的な素子の評価結果について、FTS による測定を中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V109b 「FOREST」搭載IF広帯域化100 GHz帯SISミクサの開発2

上月雄人, 石田裕之, 長谷川豊, 黒岩宏一, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 浅山信一郎, 南谷哲宏, 小嶋崇文, 藤井泰範, 野口卓 (国立天文台), 中島拓, 加藤智隼, 伊藤万記生, 藤井由美, 桑原利尚, 山本宏昭, 水野亮 (名大)

野辺山45m電波望遠鏡に搭載する100 GHz帯受信機「FOREST」は、4ビーム・両偏波・2SBミクサによる広視野・高感度・広帯域によって高い観測効率の実現を目指している。16系列あるIFの帯域は4-8 GHzから4-12 GHzに広帯域化する予定であるが、IF帯域のうちの8 GHz以上で特性が急激に劣化することが問題になっている。これは近年のIFの広帯域化・高周波化の影響で、従来の素子ではIF信号から見たRF回路の構造が無視できなくなり、RF回路とIF回路の双方を設計の対象とする必要があることを示唆している。

IF帯域4-12 GHzで均質で良好な特性を実現するべく、我々はSISミクサのプロープアンテナ・整合回路・チョークフィルタ等の高周波回路の改良、およびFOREST用ミクサマウントへの最適化を施した100 GHz帯直列接合型素子の設計と試作を行った。特に本改良素子では、整合回路に存在するMSL-CPW不連続箇所での電気長伸長の影響を3次元電磁界解析によって定量化と修正を行い、IF広帯域化のために周波数選択性の良いハンマー型チョークフィルタを採用した。

また、我々はRF/IF回路の最適設計を実現するために、個々の回路要素を評価する基礎実験を並行して行っている。本実験の結果を用いて、今後さらに新しいミクサ回路を提案したいと考えている。

本講演では、FOREST用ミクサマウントに最適設計された改良素子の特性評価結果を中心に述べ、RF/IF回路系の基礎実験についても併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110b **1.9THz 帯導波管型超伝導 NbTiN-HEB ミクサ検出素子の開発**

齊藤滉介, 井上将徳, 長谷川豊, 木村公洋, 小川英夫, 前澤裕之 (大阪府立大学), 相馬達也, 海老澤勇治, 大口脩, 山本智 (東京大学)

テラヘルツ帯は未開拓波長領域と呼ばれ、1.8-2 THz 帯には炭素 イオンや酸素原子などの基本的な原子・イオン・分子、それらの高励起線など、星間ガスや星の形成・進化過程を探る上で重要な輝線が多く眠っている。また 惑星の大気化学反応の中樞を担う OH ラジカルなどのスペクトル線もこの波長域にある。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 帯の導波管型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサ検出素子の開発に着手した。ホーンアンテナは優れたビーム特性を有し、ミリ・サブミリ波領域の天文観測で広く利用されているが、THz 帯では導波管・ホーンの微細加工が困難となる。本研究は、ASTE 搭載用 1.5THz 導波管型 HEB ミクサの高感度性能の成果を受け (椎野他 2013 年春季年会)、微細加工技術をさらに 1.9THz 帯へと高周波化する。1.9THz 帯導波管型素子は、この 1.5THz 帯素子のスケーリングとし、SiO<sub>2</sub> ウエハ上に 0.8-1.5THz 素子と同時に製作し、性能の比較評価を実施する計画である。今回 1.9THz 素子の設計に基づき、実際に ALLIED MultiPrep システムを用いてチップを厚み 18.42 $\mu$ m まで研磨した後、ダイシング装置を用いて 50 $\mu$ m 幅にまでカットし、9 割以上の歩留りを確保できることを確認した。チップは薄膜と基板のストレスにより 10 $\mu$ m 程度のたわみを生じるが、実装やハンドリングは十分に可能であることも確認できた。また、電磁波解析ソフト HFSS を用いて設計の微修正や周波数応答、ビーム形状を評価し、さらに GRASP により光学伝送に伴うビームの歪みの解析・評価も行った。

本講演では、これら一連の実験・解析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](#)

## V111b 南極 10 m テラヘルツ望遠鏡広視野光学系の基本設計 (2)

今田大皓, 中井直正, 久野成夫, 瀬田益道, 永井誠 (筑波大学), 都築俊宏, 新田冬夢, 関本裕太郎 (国立天文台), 北本翔子, 小林和貴, 朝倉健 (筑波大学), ほか (南極天文コンソーシアム)

南極大陸内部のドームふじ基地 (標高約 3800 m、平均気温  $-54^{\circ}\text{C}$ ) は晴天率が高く、水蒸気が極めて少ないため、地上最良の安定したサブミリ波、テラヘルツ波観測サイトとして期待されている。冬季には 1 THz を越える帯域でも観測可能である。我々はドームふじ基地にサブミリ波銀河の掃天観測を主目的とした口径 10 m のテラヘルツ望遠鏡の設置を計画している (2013 年秋季 V120b)。10 m 鏡は電波望遠鏡としては前例のない視野 1 度の確保を目指している。

本講演では 10 m 鏡の光学設計案を報告する。2014 年春季 V130a, V131b では、Ritchey-Chrétien に非点収差を補正する鏡 1 枚と、それに続く自由曲面鏡 4 枚からなるリレー光学系で構成する系を報告した。この光学系は 850 GHz で視野 1 度を確保できたが、鏡同士の物理的な干渉、リレー光学系の精度維持など、10 m 鏡の光学系として採用するには不都合な点がいくつか判明してきたため、光学設計を再度検討することになった。一番の課題はリレー光学系の設計で、視野の端のビームを伝送するのに必要な大きさの鏡を限られた空間の中にかに配置し、かつ、光学性能を出すかである。ここでは従来から検討してきた Ritchey-Chrétien を含め、Classical Cassegrain の望遠鏡も検討した。光学系の評価は Strehl 比だけでなく、開口能率による評価も行った。それぞれの設計解のメリット、デメリットを整理し、どれが候補になりうるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V112b MKID 用多素子同時読み出し回路の評価

岡田隆 (東京大学/国立天文台), 唐津謙一, 木内等, 新田冬夢 (国立天文台), 関本裕太郎, 関根正和, 関口繁之, Shu Shibo (東京大学/国立天文台)

我々は宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光測定を目標として, 超高感度な電波検出器である超伝導共振器 (MKID) カメラの開発を進めている. MKID を運用するには多素子を同時に読み出すことができる読み出し回路が必要であり, そのために国立天文台では全く新しいサブミリ波天文学用 MKID 読み出し回路を開発した. 本回路は前バージョン (唐津他, 2014 Journal of Low Temperature Physics) の多素子同時読み出し回路に比べ, 8 倍以上の高周波数分解能での共振信号の振幅・位相測定をすることが可能であるため, MKID において入射した光子のエネルギーを決定するための情報となる共振周波数をより直接的に求める事が出来ると期待される.

MKID は FDMUX (周波数分割多重化) によって 1 本の信号線を用いて多くの共振周波数の情報を一度に得るものであるが, これには幾つかの方法が提案されており, 代表的な物に DDC (Digital Down Conversion) と FFTS (Fast Fourier Transform Spectrometer) が存在する. 本回路はそのうちの FFTS ( $2^{14}$  point FFT,  $4 \mu\text{s}$  毎のチャンネル化を実現) により, 1 GHz もの広帯域に渡って同時に読み出し信号発生・共振信号の振幅/位相測定をする事を可能にする.

この講演では, 主に次に示す 2 つの評価を報告する. 1 つ目として, 本回路による MKID の読み出しにおける雑音評価について報告する. 2 つ目として, MKID のサブミリ波ビームパターンを本回路で読み出した際の振る舞いについて報告する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](#)

## V113b 野辺山宇宙電波観測所の運用：1. 科学要求

齋藤正雄, 梅本智文, 高野秀路 (国立天文台野辺山、総研大), 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。

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最初のものとして、45m 鏡の科学要求案を紹介する。科学要求を定める理由は 3 つある。1 つめは観測所がユーザーへ科学要求を提供し、ユーザーが 45m 鏡の性能を活かした観測を立案できる。2 つめは科学要求をもとにシステム要求、サブシステム要求と要求事項をより下位のシステムに具体的に展開し、装置等の仕様を策定することができる。3 つめは科学要求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。

科学要求の内容はどのような科学観測ができるシステムなのかにはじまり、アンテナ、受信機、バックエンド、そして観測モードの 4 つに関して定量的な評価および機能のあるなしで要求が記述されている。

今回観測所から提供する科学要求は専門家やユーザーとの議論を経て来年度半ばに確定させたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V114b 臼田 64m 等の衛星・探査機用アンテナを利用した電波天文観測の状況

村田泰宏、竹内 央、坪井昌人、望月奈々子\*、土居明広、朝木義晴、中島潔、山本善一 (JAXA)、上原顕太、山口健太郎\* (東京大)、河野裕介、金口政弘、鈴木駿策 (国立天文台)、中西裕之、齊田智恵、小澤武揚 (鹿児島大学)、土橋一仁、下井倉ともみ (東京学芸大学)、木村公洋 (大阪府立大)、川畑亮二、栗原忍 (国土地理院) 藤沢健太 (山口大) (\* 前所属)

JAXA は、臼田宇宙空間観測所 64m アンテナをはじめとして、深宇宙探査機や衛星の運用のために大口径アンテナを所持している。1990 年代より、「はるか」等スペース VLBI 計画のために、VLBI 観測設備が整えられ、その後、中止になった ASTRO-G へ向けた、軌道決定のための VLBI に必要な観測機器等が整備された。

現在、衛星運用で利用される X 帯 (8.4 GHz)、S 帯 (2.2GHz) のほか、「はるか」で整備された、L 帯 (1.4-1.7 GHz)、C 帯 (4.7-5, 6.7 GHz) などの観測が可能である。これらの周波数帯は、野辺山 45m で観測できない低周波の観測を可能としており、X 帯、C 帯では大学連携 VLBI 観測等にも参加している。さらに宇宙の観測において非常に重要な 1.4 GHz 帯の中性水素ガス観測をはじめとする輝線の観測も可能で試験観測を始めている。

X 帯については 2013 年度、受信機を整備し 2014 年度にその性能確認を行って来た。システム雑音としては、従来の運用系の受信系の約 1/3 になった。また、衛星送信系等の導波管回路により 300MHz 程度に制限されていた帯域も、天文観測での広帯域観測に必要な 512MHz で観測できるようになる。2014 年 3 月には臼田 64m にて国土地理院との協力によって、測地観測を行い、最新の臼田の局位置についても 1cm を切る精度で計測している。講演では、これらの状況を報告するとともにさらにこれらの装置の研究活用への方向性についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V115b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (11)

米倉 覚則、齋藤 悠、Soon Kang Lou、石井 翔太、沖本 有、永瀬 桂、加古 琳一、安井 靖亮、杉山孝一郎、宮本祐介、百瀬 宗武、吉田龍生 (茨城大)、小川 英夫 (大阪府大)、藤沢 健太 (山口大)、高羽 浩 (岐阜大)、徂徠 和夫 (北大)、中井 直正 (筑波大)、面高 俊宏 (鹿児島大)、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。2014 年度には、主に以下の進捗があった。

(1) 国内 VLBI 観測を年間 200 時間程度着実に実行するのみならず、韓国 KVN や中国 CVN の VLBI 局との同時観測による「東アジア VLBI 観測網 (EAVN)」などの試験観測を開始した。

(2) 高萩アンテナと日立アンテナの 2 台を用いた 2 素子干渉計の立ち上げを行っている。専用相関器は 2013 年度末に納品され、現在調整中である。それに先立ち、K5/VSSP32 サンプラーを用いた試験を行っている。

(3) 2013 年初頭より、6.7 GHz メタノールレーザー源の強度および速度の単一鏡モニター観測を継続中である。

(4) 2013 年 2 月から 2014 年 8 月にかけて行った Sgr A\* の短基線 VLBI によるフラックスモニターの結果が査読論文として受理された (Tsuboi et al., ApJ Letters, in press)。

(5) 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) により長期間運用を停止した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V116b ALMA パイプラインの現状 3

秋山永治, 三浦理絵 (国立天文台), 新永浩子 (鹿児島大), 中里剛, 杉本香菜子, 川上申之介, 小杉城治, 永井洋, 立松健一 (国立天文台)

本講演では、ALMA パイプラインの現状について進捗報告する。ALMA パイプラインとは ALMA の観測データを自動で解析するツールである。解析結果は、パイプライン処理後に生成される”WebLog”にまとめられ、ユーザはブラウザ上で簡単にデータ品質、キャリブレーション、フラグ、観測の詳細を確認することができる。

ALMA パイプラインには干渉計用と単一鏡用がある。干渉計用パイプラインでは、サイエンスデータのキャリブレーションがバンド 3、6、7 の標準観測モードのプロジェクトに対して可能となり、2014 年の 9 月初旬から実際に運用が開始されている。2014 年 12 月 3 日現在、パイプラインでキャリブレーションをしたデータのうち、Cycle1 では 79%、Cycle2 では 81% のデータが大きな問題なく処理できている。しかし、フラグやゲインキャリブレーションなどには依然改善の余地があり、他の国々のパイプライン関係者と連携しながら改善を図っている。

一方、単一鏡用パイプラインでは、東アジア ALMA 地域センター (EAARC) を中心に、2015 年 3 月のソフトウェアの承認に向けて、評価基準の適正化を進めながら、主にパイプラインの基本動作、フラグ、ベースライン補正、ライン自動検出、品質保証の定量化 (QA スコア) の評価を行っている (新永ほか、2014 年秋季年会)。開発は国立天文台を中心に進められており、主に解析アルゴリズムの確立、QA スコア、WebLog の開発が行われている (杉本ほか、2015 年春季年会)。今後も、開発者側と連携を取りながら評価を継続し随時改良を図る予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V117b 望遠鏡の指向方向較正におけるずれの扱いについて

永井誠, 今田大皓 (筑波大学), 石井峻 (東京大学)

望遠鏡にとって指向方向は較正すべき重要な特性のひとつである。望遠鏡を向けたい方向と実際に向く方向には一般にずれがある。これをポインティング測定で測り、ポインティング模型で補正して駆動する。カメラで撮像する望遠鏡では撮影した画像内の天体を用いて方向を特定できるため、ポインティング測定はあまり重要ではない。これに対し、素子数の少ない電波望遠鏡などでは、ビームを正確に天体へ向ける必要があり、指向方向と直結する望遠鏡の駆動そのものを正確に測定する必要がある。

電波望遠鏡の指向方向較正には、ずれを微小量として1次式で扱うポインティング模型が使われている。通常は望遠鏡の設置時にずれを機械的に小さくでき、従来のポインティング模型は十分機能する。しかし、可搬型の望遠鏡や姿勢が変化する雪氷上の望遠鏡では、機械的にずれを小さく保つことが通常の望遠鏡よりも難しくなる。こういった場合、機械的にずれを小さく保つ必要があるのか、ポインティング模型で補正してしまえば問題ないのか、詳細には議論されていなかった。また、電波望遠鏡では光学カメラを用いた光学ポインティングと本観測に用いる装置での電波ポインティングの手順を踏むことが行われているが、光学ポインティングにおけるずれが電波ポインティングにどのような影響を与えられるかといったことも明らかになっていない。

こうした課題を扱うには、指向方向較正の系統誤差評価の手法を確立する必要がある。そこで、指向方向のずれとは何かを検討したところ、ずれに相当する異なる量が幾つもあることがわかった。そして、これらのいずれも1次近似で従来使われているずれと一致することを計算で示すことができた。これは指向方向較正を考える上で基礎となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V118b 太陽風観測のための富士・木曽電波望遠鏡システムの更新

山崎高幸, 丸山一夫, 丸山益史, 藤木謙一, 徳丸宗利 (名古屋大学・太陽地球環境研究所)

名古屋大学太陽地球環境研究所では4地点(山梨県富士河口湖町、長野県木曽町、愛知県豊川市、長野県上田市)の電波望遠鏡(観測周波数327MHz)を用いて太陽風を観測している。このうち豊川は電波望遠鏡の開口面積を大きくし、新しく開発された低雑音増幅器を組み込んで2008年より安定した観測を行っている[Tokumaru et al,2011]。我々は昨年度から今年度にかけて、富士観測所、木曽観測施設の電波望遠鏡の感度・信頼性向上を目指して更新を実施した。更新項目は、新規開発された低雑音増幅器の組み込み、反射面・コーナーレフレクタのステンレス線の張替、軸受け・モータの交換、ループ法による低雑音増幅器の位相/利得較正システムやノイズソースによる受信機温度測定システムの開発などである。特に低雑音増幅器の更新によって、受信システムがより低雑音となり、また経年劣化による制御不良もなくなって安定した観測が行えるようになる。設置した低雑音増幅器96台(富士)及び72台(木曽)は内蔵の可変減衰器及び移相器を個別制御できるフェーズドアレイシステムを構成している。今回のシステム更新に合わせて低雑音増幅器制御用送信回路の一部をCPLD化したことで、機器の小型化と信頼性・保守性が向上した。本ポスター発表では、一連の更新作業や富士に導入した低雑音増幅器自動較正システムなど更新に伴い新規開発した機器の概要についても紹介する。なお今回の更新は科研費基盤A及びH24年度補正予算の経費により実施された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V119c **ASTE10 m 望遠鏡搭載 THz 受信機の開発**

山本 智, 相馬 達也, 吉田 健人, 海老澤 勇治, 渡邊 祥正, 椎野 竜哉, 大口 脩 (東京大学), 酒井 剛 (電気通信大学), 小嶋 崇文, Alvaro Gonzalez(国立天文台)

THz 帯には星間空間における化学反応の始点となるような基本的な原子・分子の輝線が存在する。それらの分子の観測は星間空間における化学反応の根幹を捉える上で基本的な重要性を持っている。この周波数帯の分子観測は Herschel 宇宙望遠鏡に搭載された HIFI 受信機に寄る観測で大きく拓かれた。我々は、THz 帯での高空間分解能観測を行うことを目指して、大口径地上望遠鏡搭載に向けた THz 帯受信機の開発を進めている。

開発している受信機は ALMA カートリッジタイプであり、900 GHz 帯と 1.5 THz 帯の 2 つの周波数帯を同時に観測できる。導波管型 HEB ミクサを使用しており、IF 帯域は 0.8-1.3 GHz である。HEB ミクサ素子は東京大学の研究室で開発・作成しているものであり、実験室で試験した受信機雑音温度は 809 GHz で 390 K、1475 GHz で 490 K を達成している。1.5 THz 帯の性能は量子雑音の 7 倍程度であり、これは導波管型の HEB ミクサとしては世界最高の性能である。

本研究では、特に、局部発振器の最終逓倍器をデュワー内部に設置し、冷凍機の機械振動を排除できるよう改良した。これにより、受信機の安定性を向上させるとともに、運用時の負担軽減を測った。それとともに、一層の低雑音化、広 IF 帯域化を目指しての HEB ミクサ素子の改良を進めるとともに、光学系・導波管回路の改良による観測 RF 帯域の広帯域化の研究も進めている。これらを踏まえ、2015 年の観測シーズンに ASTE 10 m 望遠鏡に搭載・観測を行う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](#)

## V120c 電波合成型ミリ波アンテナの設計 2

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。ユニットとなるパラボラは、絞り加工で作る。試作についてはすでに報告したとおり、口径 90cm で 60  $\mu$  m の鏡面精度の達成、また口径 90 および 180cm の試作では、型のゆがみを同様な精度で写すことわかった。これにより、製法の信頼性はあると判断している。今回は、口径 30cm のスケールモデルにより重力変形を評価する。このモデルを傾けつつ、精密測定を行うことにより、実機の変形量を推定する。また、このモデルでは、精密な金型を作り、絞り加工が型をどこまで正確に写し取るかを精密測定する。三次元で傾けるため、鏡の口径は、国立天文台の三次元測定装置の測定スペースで制限され、30cm とした。測定装置の精度はナノレベルであるが、傾けた時の測定位置はそのレベルでは不確定であり、鏡面形状の推定をおこなうことにより、様々な角度においてマイクロメートルレベルで形状を決定する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V121c 空気シャワーから放射されるマイクロ波の探索 III

大田 泉, 森 千尋, 秋宗 秀俊, 山本 常夏, (甲南大), 荻尾 彰一 (大市大理), 池田 大輔, 佐川 宏行, 福島 正己, (東大宇宙線研), さこ 隆志, (名大 STE), B.K Shin(Hunyang Univ.)

最高エネルギー宇宙線の新しい検出方法を開発するため、空気シャワーからのマイクロ波検出実験を行っている。空気シャワー中には数 10MeV の 2 次電子が多数含まれているが、これらの電子は様々な過程によりマイクロ波を放射する。このうち、前方に放射されるマイクロ波は測定方法が確立しつつあるが、等方的な放射は検出に至っていない。この等方的なマイクロ波が検出できれば次世代最高エネルギー宇宙線観測の有望な手段になりうる。このため、アメリカ・ユタ州にある Telescope Array 観測所に設置されている電子加速器を使って、マイクロ波検出実験を行っている。

今回の測定では電子ビームから等方的なマイクロ波放射は確認されなかったが、電子ビームの射出口から強く偏波したマイクロ波放射を検出した。本発表ではこの測定結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V122c 那須 30 m アンテナを用いた Fast Radio Bursts の探査計画

青木貴弘、中尾亮太、小原正大、坪野公夫、中島啓幾、大師堂経明 (早稲田大学)

早稲田大学のもつ那須電波観測所では、fast radio bursts (FRBs) の探査とその探査システムの構築を行ってきた。本講演ではその探査の現状報告と、今後の探査計画について報告する。

FRB は 2007 年に初めて報告された。それは銀河系外起源と思われる幅 5 ms、フラックス 30 Jy という大強度の電波パルスであり (Lorimer et al., 2007)、その特異性から発見自体がやや疑問視されていた。当時は発見者にちなんで Lorimer burst と呼ばれていたが、その後 Keane et al. (2011) らによって 2 例目が報告されて以降続々と発見されるようになった。そして Thornton et al. (2013) で初めて FRB という単語があてられ大きく注目されるに至り、いまや FRB は非公式の報告も含めると 10 例を超えている。

那須電波観測所においてもその探査観測を行ってきており、FRB が Parkes 64 m で主に発見されているという現況を打破すべく挑んでいる最中である。現状では探査によって FRB らしき電波パルスを検出できてはいないが、観測と解析を全自動化するシステム構築を進めている。Thornton らの報告した FRB イベントレート  $\sim 10,000 \text{ sky}^{-1} \text{ day}^{-1}$  が妥当であるならば、那須電波観測所の持つ 30 m アンテナでは半年に 1 個程度の FRB を発見できる可能性がある。

本講演で、その那須 30 m アンテナを用いた FRB 探査の現状と探査システムの概要を報告し、また今後の計画について紹介する。Parkes 以外による FRB のリアルタイム探査が実現すれば、その起源解明に大きく寄与できると期待できるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V123a ALMA の建設 (22) と運用 (6)

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、川島進、菊池健一、平松正顕、山口隆弘 (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) の建設および運用の活動について以下の報告をする。

建設・アルマ合同観測所 (チリ) : 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、まだまだ実現しなければならない課題が残っており、システム評価試験および科学評価試験を積極的に実施中である。特に、長基線観測では、HL Tau 等のこれまでの電波干渉計観測では得られなかった解像度で深く天体画像を得ることに成功し、ALMA の凄まじい能力を証明することに成功した。これらの科学評価試験観測データについてはアーカイブデータとしてユーザーに公開する。

運用 : 第 3 回プロポーザル (Cycle 2) の観測は継続中であり、また第 4 回プロポーザル (Cycle 3) の観測提案も開始する。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日米欧で協力して開始した。

本講演では、66 台での運用に向けた建設の進捗、そして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 への期待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](#)

V124a **ALMA : 干渉計位相補正の現状と課題 (3) : 長基線試験における位相補償観測 (ALMA: fringe phase calibration (3) : phase referencing for the long baselines)**

Yoshiharu Asaki (ISAS), Satoki Matsushita (ASIAA), Ed Fomalont, Catherine Vlahakis, Anthony Remijan, Stuart Corder (JAO)

In the ALMA long baseline campaign (LBC) in 2014, we have investigated a phase metrics for ALMA long baseline observations. The basic strategy of the ALMA phase correction shall be a hybrid technique using the WVR phase correction and phase referencing with the antenna fast switching. We have conducted a series of two continuum source observations using the hybrid technique in the LBC with the ALMA long baselines up to  $\sim 11$  km.

In the research, we first investigated spatial structure functions (SSFs) of the raw and corrected interferometer phases. Power-law functions of the SSFs ranging from a few tens of meters to several hundred meters indicate that the troposphere above the site has three-dimensional turbulences for shorter baselines while two-dimensional turbulences can be observed for the long baselines with several kilometer lengths. We found that the hybrid technique using few degree separated phase calibrators is promising in order to improve the phase stability of ALMA especially for the baselines whose length is longer than a few km.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V125a ALMA によるミリ波・サブミリ波での太陽観測：4

下条圭美, 岩井一正, 浅山信一郎, 伊王野大介, 井口 聖 (国立天文台), Antonio Hales, 廣田晶彦, 杉本正宏, Neil Philips, Anthony Remijan (JAO), Ricahrd Hills (U. of Cambridge), Pavel Yagoubov (ESO), Tim Bastian (NRAO), Roman Brajsa (U. of Zagreb) および NA&EU development team for solar observations

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) は、太陽観測もできる電波望遠鏡である。我々は、ALMA による太陽観測を共同利用に供するため、2011 年度から太陽観測のコミッショニングを行っている。

2013 年 10 月に行われた第 4 回太陽観測キャンペーンにて干渉計データからの太陽画像合成に初めて成功し、その結果を 2014 年春季年会にて報告した (下条ら, 2014 年日本天文学会春季年会 V102a)。このキャンペーンの太陽観測では太陽からの強烈な電波を物理的な減光フィルターにより減衰させて受信機に入力しており、フラックス校正が事実上不可能であった。この問題を解決するために、SIS ミキサーのバイアス電圧を変更し受信機感度を下げる方法 (Mixer De-tuning:MD) が提案された。MD を使った観測では、ALMA の標準的な校正法に近い方法でフラックス等の校正が可能である。第 4 回太陽観測キャンペーン終了後から MD による太陽観測の検討・基礎データの取得および解析を行い、太陽と校正源を MD で観測した場合でも位相校正ができることが確認された。この結果を基に MD を使った干渉計観測および単一鏡観測を確立させるため、5 回目の太陽観測キャンペーンを 2014 年 12 月に実施した。

本講演では MD による太陽観測を紹介し、第 5 回太陽観測キャンペーンの結果から想定される共同利用での太陽観測でのスペックを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V126a データ解析ライブラリ Sakuraの開発と ALMA 単一鏡データ解析への応用

中里剛, 杉本香菜子, 川崎渉, 川上申之介, 國吉雅也, 中村光志, 小杉城治, 前川淳 (国立天文台)

ALMA は干渉計と単一鏡からなる巨大電波望遠鏡システムである。ALMA が生み出すデータは膨大であり、データ解析ソフトに対する高速化の要求は、ALMA の運用面からもユーザーの視点からも強くなっている。

我々は、単一電波望遠鏡のデータ解析を高速化する目的でデータ解析ライブラリ Sakura の開発を進めている。Sakura のコンセプトは、CPU の性能を最大限活用することによる高速な処理の実現である。Sakura は CPU のベクトル演算機能を徹底活用することにより、従来より高速な処理を実現している。また、各機能をスレッドセーフな実装にすることにより、Sakura を利用するアプリケーションレベルでのマルチスレッド処理をサポートし、マルチコア環境でさらなる処理の高速化を可能にする。さらに、Sakura は実行環境に応じて最適なオブジェクトコードを実行する仕組みを備えており、この仕組みにより様々な実行環境のサポートと、実行環境に応じた最適化という一見相反する 2 つの課題を同時に実現している。

Sakura の性能を評価するため、我々は ALMA のデータ解析ソフトウェア CASA の単一鏡データ解析機能と同等の機能を Sakura を基盤として実装し、その性能を既存の機能と比較した。その結果、CASA の単一鏡データ解析機能は Sakura を使うことにより最大で 20 倍程度高速化されることがわかった。このような大幅な性能向上は、処理フローの見直しとマルチスレッド処理、ベクトル演算の徹底活用、およびパイプライン処理によるデータ入出力の低減の相乗効果で達成された。本講演では、Sakura の概要および性能評価の詳細について報告する。

また、2015 年 4 月にリリースが予定されている CASA 4.4 では、Sakura を基盤ライブラリとした単一鏡データ解析機能が本格的に導入されることになった。本講演では、導入作業の進捗状況についても簡単に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127a **ALMA データ解析パイプラインとデータ解析ソフト CASA の開発**

杉本香菜子, 中里剛, 川崎渉, 川上申之介, 國吉雅也, 小杉城治, 廿日出文洋, 三浦理絵, 秋山永治 (国立天文台), 新永浩子 (鹿児島大), 堤貴弘 (NRAO) ほか PIPELINE、CASA 開発チーム

本講演では、我々国立天文台の開発チームの活動を中心に、ALMA データ解析パイプライン、及び、パイプラインが利用している電波観測用データ解析ソフト Common Astronomy Software Applications (CASA) の開発の取り組みと成果、今後の展望を報告する。ALMA データ解析パイプラインは ALMA 望遠鏡の観測データを自動処理するソフトウェアである。観測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、CASA の機能を利用してデータを処理する。ALMA 解析パイプラインと CASA 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・解析機能の開発を担当している。2014 年 9 月より ALMA の干渉計データの一部の処理手順 (キャリブレーション) に解析パイプラインを利用している。現在のパイプライン開発の主要な目的は、パイプラインで適切に自動処理できる ALMA 観測データの割合を増やし、処理ステップを延ばす為に、機能を追加、最適化することである。特に、新たに観測が始まった単一鏡観測データのパイプライン処理の実用化が期待されており、開発とテストを進めている。一方、実際のデータ処理の主体である CASA についても、ALMA の大規模な観測データを効率よく処理するために、処理の並列化、ディスク I/O の削減による高速化に取り組んでいる。さらに、これまで干渉計データとは異なるデータ形式を利用していた単一鏡データの処理を、干渉計と同じ形式に移行する開発も進めている。この移行に伴い Sakura ライブラリ (中里ほか、2015 年春季年会) を採用するので、ベクトル化による処理の高速化も見込まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V128a ALMA 観測サイトにおけるキャリブレーション用信号源 その6

木内等, 井口聖 (国立天文台), Richard Hills(University of Cambridge)

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。また、偏波較正には高い偏波消光比の信号源が不可欠である。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、マイクロ波 Comb 信号と広帯域雑音の 2 種類から構成されており高偏波消光比での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、第一段階として低周波 (ALMA 受信帯域 Band-3 : 84-116GHz) 対応の人工電波源は製作済みでチリ OSF にて試験運用されている (電波放射免許待ち)、現在第二段階として高周波 (Band-6/7: 211-373 GHz, goal: 500GHz) 対応の製作を行っている。放射される信号の偏波は偏波消光比を増大させるための Wire-Grid の設置角と密接な関係があることが見出された。信号の位相安定性も含めた現在の状況とともに Wire-Grid 設置角と放射偏波の関係を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V129a 野辺山45m搭載 新マルチビーム受信機「FOREST」の開発進捗9:2014年度の進捗

南谷哲宏, 岩下浩幸, 宮澤千栄子, 和田拓也, 西村淳, 西谷洋之, 諸隈佳菜, 藤井泰範, 高橋敏一, 飯塚吉三, 神澤富雄, 御子柴廣, 高野秀路, 齋藤正雄 (NAOJ), 石田裕之, 松本貴雄, 上月雄人, 長谷川豊, 村岡和幸, 小川英夫 (大阪府立大), 中島拓 (名大), 金子紘之, 久野成夫 (筑波大)

野辺山45m電波望遠鏡搭載用4ビーム・両偏波・2SB受信機「FOREST」開発の、今年度(2014年度)の進捗、及び来年度以降の計画について報告する。

今年度は、来年度からの共同利用観測も視野に入れて、安定した観測が行えるよう、(1)新たなデュアを用いた冷却部分のモジュール化、(2)超伝導受信機の性能向上、(3)全IFの広帯域(4-12GHz)化、(4)モニタ・制御システムのLinux化、を進めている。これまでの冷却部分は、コンポーネントのモジュール化が進んでおらず、不具合等が生じた際の交換・修理作業が煩雑であった。今回、1ビームごとに、ホーン、OMT、2SBミキサ、アイソレーター、冷却低雑音アンプを1つの「ユニット」とし、修理や性能向上に伴う交換等が行いやすい構造にするとともに、一回り大きな冷却デュアを使用する事とした。超伝導受信機の性能向上については、新たな超伝導素子の設計・製作を進めている(上月他、本年会)。IF系については、これまで4-8GHz帯域であったLSB側も4-12GHz化し、全IFにおいて広帯域(4-12GHz)化を完了した。また、制御システムのLinux化も行った。

今後、野辺山宇宙電波観測所でのインテグレーションを行い、45m鏡への搭載・試験観測を経て、レガシープロジェクトによる観測を行う予定であり、その結果をふまえて、来年度(2015-2016年)のシーズンから、共同利用観測に供する計画である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130a 周波数変調局部発振器による新しいミリ波サブミリ波分光法 : IV. 野辺山 45m 望遠鏡での性能評価試験

谷口 暁星, 田村 陽一, 河野 孝太郎 (東京大学), 豊谷 仁男, 高橋 茂, 前川 淳, 久野 成夫 (国立天文台), 堀込 治 (富士通/ゼロ), 酒井 剛 (電通大)

我々は、局部発振器 (LO) の発振周波数を変調 (FM) することで単一鏡の感度を向上させる新しいミリ波サブミリ波分光法 “FMLO” の開発を行っている。本手法ではオフ点の取得を必要とせず、観測効率の改善による感度の向上が可能である。これは、分光計の多素子検出器に同時に入射する大気変動などの “相関雑音” を除去する、主成分分析 (PCA) と呼ばれる信号処理によって実現する。この際、LO 周波数変調により天体信号を時間空間において高周波に変調することで、低周波数成分が卓越した相関雑音と天体信号とを分離することが可能となる。これにより  $1/f$  状の相関雑音の除去に加え、ベースラインのうねりの低減、サイドバンドの分離を可能にする。

今回我々は、FMLO を用いた観測が所定の性能を発揮すること、また従来のポジションスイッチング観測と矛盾ないデータが取得できることを確認するため、野辺山 45m ミリ波望遠鏡に搭載した FMLO での評価試験・観測を行った。評価試験では周波数信頼性やサイドバンド分離比測定を行い、これらが担保されていることを確認した。評価観測では周波数変調の速度と幅のパターン (FMP) を最適化するため、様々な FMP を用いて狭輝線 (Ori-KL) と広輝線 (M82) の 3mm 帯 ( $^{13}\text{CO}$ , CS) の観測を行った。この際、連続波多素子カメラのパイプライン (Chapin et al. 2013) を応用し、輝線プロファイルの再現性を大幅に改善することができた。また、FMLO を併用した OTF 観測を実施し、オフ点を使用せずに天体画像を取得できることを実証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V131a 山口干渉計と大学連携・東アジア VLBI 観測網

藤沢健太 (山口大学)

山口 32m 電波望遠鏡が設置されている KDDI 山口衛星通信所内にはもう一台の大型の衛星通信アンテナ、山口第 2 アンテナ (口径 34m) がある。山口第 2 アンテナはすでに通信利用を終えており、山口大学グループはこれを電波望遠鏡として利用する検討を開始した。

山口 3 2 m 電波望遠鏡と山口第 2 アンテナを用いた干渉計を構築すると、連続波天体に対する感度が圧倒的に高まり、 $1\text{mJy}$  (5 ) 程度の検出感度を達成できる (観測周波数は 6 または 8GHz)。連続波天体に対するこのレベルの感度を持った観測装置は世界的にも希少であり、利用可能時間の長さや感度のパラメータ空間において、山口干渉計は世界的に独自の観測装置となりうる。我々はこれを山口干渉計 Yamaguchi Interferometer (YI) と名付け、その仕様、科学研究、構築と運用について検討を行っている。

高感度・長時間利用可能という長所を生かして新しい研究を作り出すために、銀河系内のコンパクト電波源を主研究対象としたい。例えば X 線連星、活動的な連星、フレア星、新星、パルサー、T タウリ型星、巨星などである。このような天体の電波観測は、天文学研究上の大きな未開拓分野といえる。これらの天体は比較的短期間で強度変動を起こす、固有運動が大きく測定が容易、という特徴がある。そこで (1) YI によるモニター観測・新天体発見、(2) その天体の JVN (大学連携)・EAVN (東アジア VLBI 観測網) による固有運動観測、という観測形態を考えている。予想される数ミリ秒角/年の固有運動を検出するのは容易である。固有運動を検出できれば (1) 銀河系内天体であることを立証でき、(2) 運動学的方法によって距離も推定できる。可能なら VERA による年周視差計測を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132a **JCMT-野辺山基線による 230GHz 帯 VLBI 実験 (サブミリ波 VLBI 技術開発)**

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)、小林秀行、宮地竹史、小山友明 (国立天文台水沢)、今井裕 (鹿児島大学)、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ンジ検出することにある。

そのためにハワイ JCMT と野辺山との間で 230GHz 帯 VLBI を行うことを計画している。実験計画案と JCMT-野辺山基線の VLBI としての性能について述べる。ハワイ JCMT15m 鏡と野辺山との間で、そのためのフリンジ検出を行い、さらに基線長 6000km が生むフリンジ間隔 40  $\mu$  秒角の空間分解能によって、ブラックホールから数十重力半径の領域での AGN コアの構造とサイズを探ることができる。ハワイ-野辺山基線では SgrA\*に対しては 3 時間半の観測時間があるので、ブラックホール降着円盤の振動現象であろう QPO (準周期的振動) を空間構造の情報込みで観測できるかもしれない。また + 30 度あたりの天体に対しては 7 時間程度の継続観測がある。uv の変化に対してフリンジ強度変化をみることで中心核のサイズとおおざっぱな構造を知ることできる。

将来、日本・東アジアがリーダーシップをとる世界規模のサブミリ波 VLBI 網の構築もありうる。短基線を含めば AGN だけではなくサブミリ波帯のメーザ観測もできる。国立天文台の共同利用観測装置の可能性についても述べたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V133a 広帯域受信電波望遠鏡（パラボラアンテナ）の開発（3）

福崎順洋（国土交通省国土地理院）

国土地理院では、1981年より、測地目的のVLBI観測を継続して行っている。

現在、つくば32m、父島10m、始良10mアンテナ（電波望遠鏡）の3つの固定観測局を有するVLBI観測網を用いて、定期的なVLBI観測を行っている。特に、つくば32m電波望遠鏡は、測地目的のみならず、天文目的のVLBI観測にも参加している。

そして、2011年には、国際VLBI事業（IVS）が次世代VLBI観測システムとして推奨しているVGOS（VLBI Global Observing System：「VLBI2010」から改名）規格に対応する新しい観測施設を建設するプロジェクトを開始した。

このVGOSでは、2G～14GHzという広帯域受信（比帯域1.5）を規定しており、今回、その周波数帯にわたり高い受信性能（高い開口効率と低いシステム雑音温度）を有する、口径13.2mの反射鏡型電波望遠鏡（パラボラアンテナ）が完成した。

本発表では、この広帯域受信電波望遠鏡の受信性能試験について、初期測定結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V134a 広帯域フィードの開発 (VIII)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛, 市川隆一 (情報通信研究機構)

鹿島では将来の VLBI2010 対応を考慮しつつ VLBI 時刻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=(ガラパゴス VLBI)」は自虐的という声もあり、「SKA(=すごい・かしまの・アンテナ)」とも呼ばれている) Gala-V の受信周波数は周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件で最適化し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch とした。もちろんフィード開発においては将来的な VLBI2010 や SKA に対応すべく、さらに広い周波数を受信可能としている。比帯域が広いため出力は直線 2 偏波とするが当面は直線片偏波受信である。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。性能は Gala-V に最適化し、開口能率の変動はあるものの 2.2-18GHz 程度が受信可能となる。市販の同軸導波管変換器や鏡筒バンド以外のフィードの主要部品は NICT 小金井本部の試作室が製作している。娘フィードは本搭載用のものが完成したが、母フィードでは所内の機械で加工できない形状とサイズの部品が発生したため製作が遅延している。とりあえずは娘フィードの試作品を 34m に搭載し、6.4GHz 以上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。メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信、小型可搬局 MARBLE とのフリンジテストなどの試験を行っている。この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、昨年度は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 に使っている市販のクワッドリッジフィードをこのフィードと交換し、の開口能率向上を図る予定である。同時に主鏡径を 2.4m に大型化し、2 倍程度の SNR の向上を図る。これら広帯域システム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](#)

## V135a 電波天文学技術を応用した雲発生予報用マルチバンド観測システム

長崎岳人、田島治 (高エネルギー加速器研究機構)

近年頻発する突発的な局所範囲での強い雨 (ゲリラ豪雨) や積乱雲下で生じる竜巻などに代表されるように、突発的自然災害への対策が強く求められている。これらの被害を最小限にとどめるためには、可能な限り迅速な予報による適切な災害対策の実施が必要不可欠である。しかしながら雨雲レーダーに代表される既存の観測システムは、既に発生した雲または雨粒に機能する特性を有することから、警報の発令が突発的变化に対応できていないのが実情である。そこで、より早い気象予報である“雲の発生予報”を可能にするシステムの開発が求められている。

我々は電波天文観測技術を応用し、空気中に存在する水分子輝線 (20GHz 帯) ならびに酸素分子輝線 (60GHz 帯) 等のマルチバンド受信システムを開発している。これにより、雲発生の兆候である水蒸気量の急増を観測し、雨雲生成を予想する。既存の観測システムよりも先んじた気象予報を可能とし、時間的余裕を持った災害対策が実現できる。また、複数台での三角観測等による三次元マッピングから正確な水蒸気分布を観測する。広域な全天観測を短時間で繰り返し行うためには高感度受信機の採用が必要不可欠である。高感度化を達成するために機械式冷凍機を用いた冷却受信機を採用する事で、既存のシステムと比較して大幅なスキャン時間の短縮を実現する。本講演では、システムの概要ならびに試作機である 20GHz 帯冷却受信機の性能評価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](#)

## 【V2. 地上観測機器（その他）】

3月19日（木）午後（13:30-15:30）[I会場]

V201a	14:06	RAVEN プロジェクトの進展 大屋 真（国立天文台）
V202a	14:18	Subaru/RAVEN を用いたトモグラフィック再構成手法の開発と実証 大野良人（東北大学/国立天文台）
V203b	14:30	Subaru/RAVEN の on-sky 観測で得られた大気揺らぎの経験的モード展開 山崎公大（東北大学）
V204c		すばる望遠鏡サイトにおける地表層ゆらぎ評価活動の概要 大屋 真（国立天文台）
V205b	14:30	すばる望遠鏡におけるドームシーイングの測定 沖田博文（国立天文台）
V206b	14:30	次世代超大型望遠鏡の広視野補償光学の光学設計 高田大樹（東北大学）
V207a	14:42	H.E.S.S. サイトにおけるシーイングの測定 沖田博文（国立天文台）
V208a	14:54	ステラコロナグラフ用位相マスクの数値的デザイン 馬場直志（北海道大学）
V209a	15:06	位相振幅同時計測方式波面センサの開発 2 山本広大（京都大学）
V210b	15:18	MASS-DIMM による名寄の大気擾乱高度プロファイルの測定 (2) 合田周平（北海道大学）
V211b	15:18	北大惑星用補償光学系の開発の進捗状況 渡辺 誠（北海道大学）
V212b	15:18	小型屈折光学系補償光学装置（CRAO） - モノモルフ DM の性能評価と室内補償実験 北尾栄司（京都産業大学）

3月20日（金）午前（09:30-11:30）[I会場]

V213a	09:30	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: 9 小谷隆行（国立天文台）
V214a	09:42	近赤外線高分散分光器 IRD のスクランブラー開発 馬場はるか（総合研究大学院大学）
V215a	09:54	超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の観測戦略 酒向重行（東京大学）
V216b	10:06	超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の読み出しシステムの開発 菊池勇輝（東京大学）
V217b	10:06	超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のバックエンド解析システムの開発 大澤 亮（東京大学）
V218b	10:06	KOOLS-IFU ファーストライトの結果 松林和也（京都大学）
V219a	10:18	岡山天体物理観測所のリモート観測環境構築 柳澤顕史（国立天文台）
V220a	10:30	国立天文台岡山 188cm 望遠鏡の焦点合わせの自動化 神谷浩紀（国立天文台）
V221b	10:42	明るい星専用赤外線観測システムの開発 花上拓海（東北大学）
V222c		明るい星専用赤外線観測システムに使用する望遠鏡架台の制御 筒井寛典（国立天文台）
V223c		TAO Survey の現況 清田誠一郎（VSOLJ）
V224b	10:42	埼玉大学 55cm 望遠鏡観測システムの自動化と基本特性調査 石橋遥子（埼玉大学）
V225c		可視三色同時偏光撮像装置の開発 大朝由美子（埼玉大学）
V226b	10:42	明野 50cm 可視光望遠鏡の 2014 年度運用実績 斉藤嘉彦（東京工業大学）
V227a	10:54	スペースデブリをとらえる DEBDAS 地上可視観測網の構築 山岡 均（九州大学）
V228a	11:06	ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション 中井悠人（北海道大学）

（次頁に続く）

## 【V2. 地上観測機器（その他）】

V229b	11:18	チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI) : 性能評価	内海洋輔 (広島大学)
V230b	11:18	ひとみ望遠鏡の性能評価の進捗	溝口小扶里 (仙台市天文台)
V231c		ひとみ望遠鏡中分散分光器での試験観測	溝口小扶里 (仙台市天文台)
V232b	11:18	鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡への部分減光フィルタの導入と性能評価	井上幹一郎 (鹿児島大学)

### 3月20日(金)午後(13:30-15:30) [I会場]

V233a	13:30	off-axial 光学系の近軸理論を応用した南極 2.5m 望遠鏡用三色赤外線カメラの光学設計	小幡朋和 (東北大学)
V234a	13:42	京大岡山 3.8m 望遠鏡計画 : 分割主鏡制御システムの開発状況	木野 勝 (京都大学)
V235a	13:54	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)
V236a	14:06	近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発進捗報告	小西真広 (東京大学)
V237a	14:18	TAO 6.5m 望遠鏡用第一期中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗	上塚貴史 (東京大学)
V238a	14:30	MOIRCS 用マイクロレンズアレイ面分光ユニットの開発 : 進捗状況	石垣 剛 (岩手大学)
V239b	14:42	MOIRCS ロングスリット観測法の改良	田中 吉 (国立天文台)
V240c		HiCIAO differential imaging の改良	森野潤一 (国立天文台)
V241b	14:42	FOCAS 用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 進捗状況	尾崎忍夫 (国立天文台)
V242b	14:42	中間赤外線高精度モニタリングに向けた TAO/MIMIZUKU 搭載 Field Stacker 機構の開発	内山允史 (東京大学)
V243a	14:54	点回折干渉計に用いるピンホール付きビームスプリッタの電磁波解析	今田大皓 (筑波大学)
V244b	15:06	モスアイ構造を用いた長波長中間赤外線高効率光学素子の開発	上塚貴史 (東京大学)
V245b	15:06	超精密切削加工を用いたイメージスライサー型 IFU の光学素子開発	北川祐太郎 (東京大学)
V246b	15:06	半導体光増幅素子 MPPC を用いたパルサーの高時間分解観測装置の開発	中森健之 (山形大学)

### 3月21日(土)午前(09:30-11:30) [I会場]

V247a	09:30	TMT 計画の進捗報告	家 正則 (国立天文台)
V248a	09:42	TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の詳細設計	白田知史 (国立天文台)
V249a	09:54	TMT 計画 - 主鏡フルサイズセグメントの量産工程開発	山下卓也 (国立天文台)
V250a	10:06	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告	田越秀行 (大阪大学)
V251a	10:18	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 V	阿久津智忠 (国立天文台)
V252a	10:30	重力波検出器の方向決定精度	大石奈緒子 (東京大学/国立天文台)
V253a	10:42	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画 : 全体報告 (8)	手嶋政廣 (東京大学)
V254a	10:54	CTA 大口径望遠鏡の分割鏡開発 (7)	長 紀仁 (茨城大学)
V255a	11:06	CTA 大口径望遠鏡用 PMT の性能評価と較正試験報告	松岡俊介 (埼玉大学)

## V201a RAVEN プロジェクトの進展

大屋真(国立天文台)、大野義人、秋山正幸(東北大学)、寺田宏、早野裕、高遠徳尚、高見英樹(国立天文台)、伊藤周(金沢高専)、Olivier Lardi re, 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。すばる望遠鏡において持ち込み装置として IRCS と組み合わせて観測し、技術実証に加えて科学的成果を挙げることを目的する。カナダの University of Victoria (UVic)、NRC Herzberg Astronomy and Astrophysics (HAA) が主体となり開発を行い、日本のすばる望遠鏡と東北大も協力してプロジェクトを進めてきた。

広視野 AO 方式の一つである MOAO は、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。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。その為に「トモグラフィー波面再生」と「オープンループ制御」というこれまでの AO に無かった新しい技術が鍵であり、オンスカイでの実証試験が必要である。また、そのためにはシステム較正が重要になる。MOAO は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 級超大型望遠鏡時代での活躍が期待される。

第一回の試験観測が 2014 年 5 月に行われ、世界で初めて 8m 望遠鏡での MOAO 観測に成功した。2014 年 8 月に行われた第二回の試験観測では科学観測に向けた性能評価も試みた。これらの成果を受けて 2015 年までプロジェクトを延長することになり準備を進めている。本講演では、RAVEN プロジェクトの進展に関して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V202a

## Subaru/RAVEN を用いたトモグラフィック再構成手法の開発と実証

大野良人(東北大学, 国立天文台), 秋山正幸(東北大学), 大屋真(国立天文台), Olivier Ladiere(University of Victoria)

RAVEN はオンスカイでの多天体補償光学系の技術的実証および科学的成果を目的とした試験装置である。カナダの University of Victoria と Herzberg Institute of Astrophysics (HIA) を中心に、国立天文台ハワイ観測所と東北大学の協力のもと開発が進められてきた。RAVEN は最大 4 つの波面センサーの測定値からトモグラフィックの技術を用いて大気揺らぎの影響を 3 次元的に推定し、その情報を基に視野内の 2 つの天体に対して同時に大気揺らぎの影響を補正する。我々は 2014 年 5 月と 8 月にすばる望遠鏡での試験観測を行った。

我々は 2014 年春季天文学会で風速・風向の情報と複数のタイムステップでの測定値を用いてトモグラフィック推定の精度を向上させる新しい手法および、波面センサーのデータから風速・風向を推定する手法を提案した。今回は提案した手法を RAVEN のリアルタイム制御計算機に組み込んでこれらの手法の評価を行ったので、その結果について報告する。RAVEN 内に搭載されている Calibration Unit を用いた光学実験では、考案した風速推定手法により風速・風向を推定できることが確認された。また、推定した風速の情報を用いて新しいトモグラフィック推定を行うことで 140mas の正方形内の Ensquared Energy が従来のトモグラフィック推定手法に比べて約 4% 向上した。さらに試験観測で撮られた波面センサーのデータから本手法のオンスカイでの性能も評価した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V203b Subaru/RAVENのon-sky観測で得られた大気揺らぎの経験的モード展開

山崎公大(東北大学), 秋山正幸(東北大学), 大野良人(東北大学, 国立天文台), 大屋真(国立天文台)

RAVENは多天体補償光学装置の実用化に伴う技術的課題を検証するための実証実験を実際の望遠鏡での観測を通して行うことを目的とした観測装置であり、ピクトリア大学のチームを主として、国立天文台ハワイ観測所と東北大学の協力のもと開発が行われてきた。今回は、2014年の5月と8月にすばる望遠鏡で行われた多天体補償光学実証装置RAVENのon-sky観測で得られた大気による天体からの光の波面揺らぎのモード解析について報告する。

一般に、関数展開の基底となる関数系は直交関数である必要がある。RAVENのシャックハルトマン波面センサーで測定された大気揺らぎの波面slopeをモード展開するにあたり、実用的な光学的波面の解析の際に展開モードとしてよく使用されるZernike多項式によるモード系では、波面センサーのマスク形状で離散化した場合の直交性が保たれていないということが判明した。そこで、より収束の良い波面モード展開を実現するために、実際に観測で得られた波面の測定データの統計的性質から直交モード系を決定するという経験的直交関数展開のアプローチを採ることで、波面センサーのマスク形状や観測から得られる大気揺らぎの統計的性質をより反映するようなモード系を構築した。本講演では、経験的直交関数展開の手法によって構築したモード系と、従来使われてきたZernike多項式によるモード系とを比較することで今回開発した新手法の有用性と課題について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V204c すばる望遠鏡サイトにおける地表層ゆらぎ評価活動の概要

大屋 真, 高遠徳尚、沖田博文 (国立天文台)

現在、すばる望遠鏡サイトにおける地表層ゆらぎの評価を進めている。すばる望遠鏡では次世代赤外線観測装置のために、直径10分角を超える広視野を達成する地表層補償光学装置 (Ground-Layer Adaptive Optics; GLAO) を導入する ULTIMATE-SUBARU 計画を進めている。

これまでシミュレーションにより期待される GLAO の性能評価を行ってきた。GLAO では広い視野に共通の地表層ゆらぎのみを補正し、上層の大気ゆらぎは補正しない。その結果、補正後の性能は補正されずに残った上層の大気ゆらぎで決まる。視線方向に積分された大気ゆらぎ強度 (シーイング) が同じでもゆらぎの高度分布が異なると、性能が大きく変化することがシミュレーションにより示唆されている。また、補正が有効な視野は地表層ゆらぎがどの程度地表近くに集中しているかで変化する。このように GLAO の性能を評価するためにはシステム構成のみではなく大気ゆらぎの高度分布が重要になる。

マウナケアでの地表層の評価に関しては、リッジサイトと TMT 望遠鏡サイト (13N) でキャンペーンがこれまでに行われた例がある。その結果、地表層は100m以下に集中しており、マウナケアが GLAO に適したサイトであることが解ってきた。しかし、すばる望遠鏡サイトはこれらのサイトと標高で約100m差があり、この差は地表層の厚さと同程度である。特に、詳しい調査がなされたリッジサイトより標高が低く風下にあたるため、すばるサイトでの地表層の厚さがやはり100m以下に保たれているかどうかは実測調査することが望ましい。そこで、特に地表層に感度の高い光学式と音響式の2種類のゆらぎプロファイラを導入した。本公演では初期的な測定結果を含めた活動全体の概要を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V205b すばる望遠鏡におけるドームシーイングの測定

沖田博文, 高遠徳尚, 大屋真 (国立天文台ハワイ観測所)

補償光学を用いない天体観測の場合、大気ゆらぎによって空間分解能は制限される。大気ゆらぎの原因は上空のジェット気流等に由来する大気ゆらぎ (自由大気シーイング)、地上付近の地面との摩擦や温度勾配に由来する大気ゆらぎ (接地境界層シーイング)、観測ドームや望遠鏡内部の温度の非一様性に由来する大気ゆらぎ (ドームシーイング) の3成分に分類することが出来る。ここで自由大気シーイング、接地境界層シーイングは観測地の気象条件等によって決定されるのに対し、ドームシーイングは観測ドームや望遠鏡の構造を工夫することで改善する事が可能である。

すばる望遠鏡の場合、ドームシーイングが0.12秒角以下となるよう設計されているが、これまでの運用から風向き等の気象条件によってドームシーイングが悪化するとされている。しかし定量的な測定は行われていないのが現状である。そこで我々はドームシーイングのみを測定する方法を検討した。本発表では人工光源を用いたドームシーイングの測定について、検討状況と初期的な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](#)

## V206b 次世代超大型望遠鏡の広視野補償光学の光学設計

高田大樹 (東北大学), 秋山正幸 (東北大学), 大屋真 (国立天文台), 池田優二 (フォトコーティング)

広視野補償光学には一般的に地表層補償光学 (GLAO)、多天体補償光学 (MOAO)、多層共役補償光学 (MCAO) の3種類がある。GLAOは多数のガイドスター (GS) を用いて、それらに共通する大気揺らぎ成分である地表層のみを補償することで最も広い視野に対して適度な補償を可能としている。

我々はTMTの第二期観測装置として視野10分という広視野を実現するMOAOの検討を進めている。そのためにGLAOを前置補償光学系として用いる光学系の検討を行っている。MOAOの前にGLAOを設置することで制御を一部閉ループ化することができ、MOAOはGLAOで補償されたGSを用いることが可能である。

次世代超大型望遠鏡でGLAOを設計する際の注意点は可変形鏡 (DM) 上での瞳収差である。DM上での瞳収差が大きいとすべての視野に対して共通の大気揺らぎを正しく補正ができなくなり、フィッティングエラーが発生する。フィッティングエラーの大きさを考慮して、瞳収差が $60 \times 60$ DM1素子の半分となる1%以下になるように前置補償光学系の設計を行う。望遠鏡の焦点とDMの間には非球面ミラーが1枚入っており、そのミラーで光をコリメートしDM上で主鏡像ができるような設計になっている。そのため、DMへの光の当たり方はそのミラーで決まる。ミラーとDMとの間の距離を変化させたり、ミラーの曲率を変えることで仕様を満たす瞳収差を可能とする光学系のパラメータ条件を検討した。また、瞳収差の制約については光線追跡による定量的評価を行っており、その結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V207a H.E.S.S. サイトにおけるシーイングの測定

沖田博文 (国立天文台ハワイ観測所), 鈴木大介, 住貴宏 (大阪大学)

H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) はアフリカ大陸南部・ナミビア共和国に位置するガンマ線望遠鏡であるが、H.E.S.S. サイトは大西洋から 200 km 程度内陸の標高 1800 m の高原地帯に位置し、高い晴天率が期待される乾燥した気候と、光害が殆ど無いクリーンな環境から、光学赤外線望遠鏡にとっても適した場所であると考えられる。H.E.S.S. サイトには ATOM (Automatic Telescope for Optical Monitoring for H.E.S.S.) と呼ばれる小・中口径の光学望遠鏡が既に設置されているが、シーイングの測定はこれまで行われてこなかった。

そこで本研究では 2 台の DIMM (Differential Image Motion Monitor) を用いて H.E.S.S. サイトのシーイングの測定を行った。本発表ではその結果を報告する。

2014 年 7 月 16 日 (水) から 27 日 (日) の 12 夜にわたって観測を行った。前半の 4 日間は 1 台を ATOM 付近の地面に、もう 1 台を高さ 1.5m のステージに設置して観測を行った。後半の 7 日間は 1 台を引き続き ATOM 付近の地面に、もう 1 台を周辺で最も高い丘の頂上 (ATOM 地面と比較して 13.5m 標高が高い) に設置して観測を行った。

観測の結果、ATOM 地面で測定したシーイングはメジアンで 1.8 秒角であった。高さ 1.5m のステージ上で得られたシーイング値は ATOM 地面と比べ約 0.1 秒角小さい値であった。また標高が 13.5m 高い丘の山頂では ATOM 地面と比較して約 0.3 秒角小さいシーイング値が得られた。これらの結果から H.E.S.S. サイトでのシーイングは地表付近の摩擦や放射冷却による温度勾配によって生じる接地境界層に大きく影響されていると考えられる。またシーイングの相関から、接地境界層の厚さは丘の高さと同程度だとも考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V208a ステラコロナグラフ用位相マスクの数値的設計

馬場直志, 村上尚史 (北海道大), 三浦則明 (北見工大), 田村元秀 (東京大/国立天文台)

恒星近傍にある暗い系外惑星を観測する方法として、恒星からの光のみを極端に減光するハイコントラスト撮像法がある。このために、望遠鏡焦点面に位相マスクを置き、瞳像内で恒星光を打消し合う干渉状態とし、リオストップで恒星光を遮断するのが、位相マスク型ステラコロナグラフである。望遠鏡焦点面に掩蔽板を置くよりも、優れた消光性能と恒星のより近くにある系外惑星を検出できる能力を有している。位相マスクとしては、4分割型(各象限の位相を  $0, \pi, 0, \pi$  とする)、8分割型、ボルテックス型 ( $\phi = 2n\theta$ ) などが提案されており、これらは円形開口の場合に恒星光を完全に遮光できることが解析的に明らかにされている。しかし、これらの位相マスクは、副鏡やスパイダーを有する通常の望遠鏡の場合には開口が完全な円形とならないために、その消光性能が著しく損なわれてしまう。副鏡やスパイダーの影響を除く方法としては、副鏡の影を除去するような補正光学系 (Murakami, PASP 117, 295) の導入、コロナグラフの多段化 (Mawet, OptL 36, 1506)、入射瞳面にアボダイザーの挿入 (Carlotti, A&A 551, A10) などがあるが、焦点面に位相マスクを単に置くことよりも煩雑となる。

本講演では、副鏡およびスパイダーがあっても恒星光をリオストップでほぼ完璧に遮光できる位相マスクについて報告する。位相マスクの位相分布は、光軸光を瞳像面の透過部分で零となるように逐次型位相回復アルゴリズムを用いて数値的に求めている。このようにして求められた位相マスクによれば、10桁以上のコントラスト比が得られることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## V209a 位相振幅同時計測方式波面センサの開発2

山本広大、松尾太郎、木野 勝 (京都大)、今田大皓 (筑波大)

光学素子の形状計測や補償光学において波面センサは重要な要素である。波面センサは、被検波面の位相や振幅分布を測定する。補償光学装置は、波面センサによる位相情報にもとづいて瞳に置かれた可変形鏡によって波面位相を補正するものである。これによってコロナグラフを通すことで高いコントラストを得ることができる。波面センサによって新たに振幅情報を測定できれば、その振幅情報に基づいた可変形鏡での位相操作によって、焦点面での特定の領域にある振幅誤差で生じるスペックルを抑制できる。そこで我々は、点回折干渉計を発展させて、位相と振幅を同時測定できる、点回折干渉計に基づく位相振幅測定波面センサを提案した(2014年秋季年会 V212a 山本参照)。また位相シフトが必要であるが、位相と振幅を測定出来る Zernike 波面センサにも応用可能で、従来から問題であった非同時性を解決した Zernike 波面センサを構成できることが判った。

数値計算によって、本提案の波面センサの性能を調べた。位相測定の範囲は Zernike 型では  $\pm 1/20$  波長、点回折干渉計型では  $\pm 1/4$  波長であった。Zernike 型で測定可能な振幅範囲は、平均的な振幅の  $1/10$  以下の振幅ゆらぎに限られる。点回折干渉計型では振幅測定の範囲に制限はない。一方、光量が少なく(1 素子辺り光子 10 個以下)なるにつれて、それぞれの波面センサの測定精度は悪化する。点回折干渉計型に比べて Zernike 型の方が、感度が 3 倍高いことがわかった。

本講演では、Zernike 型と点回折干渉計型と波面センサでの性能について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V210b MASS-DIMM による名寄の大気擾乱高度プロファイルの測定 (2)

合田周平, 渡辺誠, 仲本純平 (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 ビ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) で可視光で 0.4 秒角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。

MCAO の可変形鏡の最適な共役高度を決定するために、これまで 2013 年 9 月から MASS-DIMM (Multi-Aperture Scintillation Sensor with Differential Image Motion Monitor; Kornilov et al.2007) を用いて天文台上空の大気擾乱高度プロファイルの測定を行ってきた (合田他:2014 年春季天文学会)。2014 年 10 月までの約 1 年間の測定結果から、名寄のシーイングは中央値で 2.0"、分散値が 0.16" であり、全大気揺らぎの 52 % が地表層に、17 % が高度 0.5km に、16 % が高度 2km、残りの 15 % が高度 4-16km に存在していることが明らかになった。半分以上が地表層に集中しており、他サイトと似たような結果が得られた。

更に自由大気の揺らぎ以外の AO で補正すべき波面誤差の大きさを見積もるために、ビリカ望遠鏡の可視スペクトル撮像装置 MSI にて同時測定した恒星像の FWHM から MASS-DIMM で求めたシーイングを減算して、ドーム及び望遠鏡シーイングの見積もりを行った。その結果として、ドーム内外の気温差が 1-2 °C、ミラーの温度とドームの気温の差が 2-4 °C の時、ドーム及び望遠鏡シーイングはそれぞれ 0.1-0.23"、0.9-2.1" であることが明らかになった。また望遠鏡シーイングには望遠鏡の収差の成分も含まれているので、シャックハルトマンセンサーを用いて望遠鏡収差を測定している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V211b 北大惑星用補償光学系の開発の進捗状況

渡辺誠, 合田周平, 仲本純平 (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 1.6 m ビリカ望遠鏡に搭載するための惑星観測用大気ゆらぎ補償光学系を開発している。この補償光学系では、多層共役補償光学系 (MCAO) により、木星サイズ程度の視野 (50 秒角) に渡って、可視光 0.5–1.1  $\mu\text{m}$  にて、0.4 秒角の分解能の達成を目標としている。これまでに、AO の補正可能視野サイズを左右する大気ゆらぎ層の実効的な高度を調べるため、MASS-DIMM を用いた名寄サイトの大気擾乱高度プロファイルの測定を行ってきた (合田他: 2014 年春季天文学会)。現在その結果を元に、AO 補正性能の計算機シミュレーションおよびシステムの光学設計などを進めている。

計算機シミュレーションは、6×6、9×9、12×12、17×17 素子のアクチュエータを持つ可変形鏡 (DM) を 2 枚または 3 枚を用いた MCAO について行った。DM の共役高度は、DM2 枚の場合は 0 と 2.6 km または 0 と 4.2 km、DM3 枚の場合は 0, 0.5, 2 km および 0, 2.6, 6.4 km の場合について行った。波面センサは、高度 0 km に共役する DM の補正素子数に対応した 20, 48, または 96 素子のシャックハルトマン式とした。ガイド星は、まずは簡単のために、明るい点源 (5 等星の恒星) を 5 個 (視野中心 1 個、その周り 4 個等間隔に) 配置する構成とし、間隔が 10 と 20 秒角の場合について計算した。その結果、9×9 と 12×12 素子の DM の組合せ、またはそれ以上の素子数の DM の組合せであれば、短波長側の 0.5  $\mu\text{m}$  でも視野中心であれば FWHM 0.4 秒角程度の補正性能を得られることが分かった。しかし、直径 50 秒角に渡って FWHM 0.4 秒角程度の補正性能を達成できるのは、今回の構成の内の最も良いものでも、長波長側 1.1  $\mu\text{m}$  においてのみであることが分かった。この結果から、比較的多素子かつ安価で入手可能な 140 素子 MEMS DM を 2 枚採用した場合の光学設計について検討を行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V212b 小型屈折光学系補償光学装置 (CRAO) - モノモルフDMの性能評価と室内補償実験

北尾栄司 (京都産業大学), 清水智 (京都産業大学/西村製作所), 藤代尚文, 松井卓也, 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 大屋真 (国立天文台)

我々京都産業大学を中心としたグループでは、MOAOやGLAOなどの次世代AOの実現のために必要な要素技術開発の一環として、屈折光学系補償光学装置 "CRAO" の開発を行っている (Fujishiro et al. 2014)。CRAOは可視域 (400-700nm) で機能するAOであり、京都産業大学神山天文台サイトの典型的なシーイングである  $2.5''$  を  $0.6''$  (FWHM) 程度まで改善することを目標としている。2014年に実施したオンスカイ観測ではループ制御に成功したものの、得られる星像サイズは  $2.0''$  秒程度に留まり、仕様の改善率を大きく下回る結果であった。詳細な調査の結果、採用していたメムレン式可変形鏡 (DM) の実質的なストローク値が、公称値 ( $14\mu\text{m}$ ) を大きく下回る  $< 0.7\mu\text{m}$  程度となっていることが主要因であると分かった (北尾他: 2014年秋季学会)。

そこで改めて市販されているDMを調査し、実機で検証したところ、Thorlab社のモノモルフ式DM「DMP40」が十分大きなストローク値 ( $> 13\mu\text{m}$ ) を実現でき、代替品として有望であることが分かった。このDMP40は、バイモルフ構造によるTip/Tilt補正機構も有しており、システムの簡素化においても有益である可能性がある。しかしながら、 piezoを用いたDMには、ヒステリシスやクリープ現象といった特有の特性があることが知られている。したがって、それらの特性を詳細に調査し、波面補償に対する影響を定量的に評価することによって実用性を判断する必要がある。本発表では、DMP40の性能評価試験と実際にCRAO筐体内に組み込んだ室内補償実験の結果を報告し、採用の可否について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213a 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: 9

小谷隆行, 大宮正士, 周藤浩士, 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(UC Santa Cruz), 橋本淳(オクラホマ大), 馬場はるか, 呉大鉉(総研大), 黒川隆志(国立天文台/農工大), 奥山康志, 森貴宏, 柏木 謙, 田中洋介(農工大), 池田優二(Photocoding), 佐藤文衛, 大貫裕史, 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(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。一方で、太陽近傍に豊富に存在する、低質量の M 型星まわりの惑星存在頻度や形成過程については良くわかっていない。我々は、すばる望遠鏡用赤外線ドップラー装置 Infrared Doppler(IRD) による近傍 M 型星の高精度赤外線視線速度サーベイを行い、ハビタブルゾーン内の 1 地球質量惑星を含む様々な惑星を検出することで、この疑問に答える。本講演では 2015 年ファーストライト予定の IRD の開発現状について報告する。現在は、一部を除き各要素の開発はほぼ終了し、インテグレーションと性能評価試験を実施中である。波長基準として開発中のレーザー周波数コムは、既に出力に成功していた J,H-band に加えて、Y-band の多くをカバーすることに成功した。高い安定性を実現するために、観測装置は温度管理を行い、光学系の多くを超低熱膨張素材で製作している。また赤外線では視線速度測定精度に大きな影響があるモダルノイズを低減するための、スクランブラー開発についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V214a 近赤外線高分散分光器 IRD のスクランブラー開発

馬場はるか(総研大), 西川 淳, 泉浦秀行(国立天文台/総研大), 小谷隆行, 周藤浩士, 西山正吾, 森野潤一, 神戸栄治, 権 静美(国立天文台), 奥山康志, 森貴宏, 柏木 謙, 田中洋介(農工大), 黒川隆志(国立天文台/農工大), 未永拓也, 呉 大鉉(総研大), 崔 森悦(新潟大), 田村元秀(東京大/国立天文台), IRD チーム

Kepler により地球半径程度の系外惑星候補が発見されているが、主星が暗いため高分散分光等の詳細な観測が出来ていない。そこで、近傍で数が多く軽い M 型星の放射のピークである赤外線領域の観測による地球サイズの惑星検出が期待されており、我々はすばる望遠鏡用の視線速度装置 IRD(Infrared Doppler) の開発を進めている。

M 型星のハビタブルゾーンにある地球質量程度の惑星の検出には恒星の 1m/s の速度振幅を測定できる精度が必要で、装置自体の安定性が不可欠となる。IRD ではスリット照射の安定化のために望遠鏡の焦点と分光器を結ぶ際に光ファイバーを用いるが、更なる安定化のためにモードスクランブラーという装置を用いる予定である。モードスクランブラーは、光ファイバー内に存在する光の伝搬モードを混ぜることで出射像を安定化する方法である。モードスクランブラーには複数の手法があるが、その中でも IRD ではダイナミックスクランブラーと呼ばれる手法を用いる予定で試験・開発を進めている。ダイナミックスクランブラーは光ファイバーを動かすことでファイバー内のモードを混ぜる。我々はいくつかの方法で光ファイバーを動かし、出射光の安定性を測定した。本講演ではこれらの現状と精度向上のための多角形ファイバーを用いた試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](#)

## V215a 超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の観測戦略

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, 藤堂颯哉, 菊池勇輝, 松永典之, 臼井文彦, 有松亘 (東京大学), 田中雅臣, 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), 猿楽祐樹 (JAXA), 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, 近藤荘平 (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超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の開発を進めている。本講演では, Tomo-e の超広視野+高速性能を活かした観測戦略と, それを実現する観測システムのデザインについて報告する。Tomo-e は木曾 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 センサで覆うことで, 計 20 平方度の視野を最大 2Hz のフレームレートで観測できる。また, 読み出しを特定のピクセル領域に限定することで, 20Hz に達する超高速観測も可能である。こうした特長を活かし, (1) 超新星の爆発最初期の観測を始めとする数 10 分スケールの時間変動現象を対象とした「15 分頻度の全天モニタ観測」, (2) 太陽系外縁天体による掩蔽観測を始めとするサブ秒スケールの時間変動現象を対象とした「20Hz の広視野高速モニタ観測」, (3) 重力波やガンマ線バースト等をトリガとした「迅速な超広視野フォローアップ観測」, (4) 流星や地球近接天体等を対象とした「高速移動天体の超広視野高速観測」を計画している。動画観測に最適化された Tomo-e のカメラ及び解析システムは, 天文学が過去に経験したことのない大量の時間連続データの中から, 変動現象を効率的に検出することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V216b 超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e の読み出しシステムの開発

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, 藤堂颯哉, 松永典之, 臼井文彦, 有松亘 (東京大学), 田中雅臣, 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), 猿楽祐樹 (JAXA), 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, 近藤荘平 (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。このカメラは 84 枚の常温駆動 CMOS センサを搭載し、シュミット望遠鏡の直径 9 度の全視野を 2 Hz で撮像することができる。これにより、10 秒以下の短時間スケールの変動現象の探査が可能になる。本装置ではシュミット望遠鏡の主焦点面に 84 枚のセンサチップ、および読み出しシステムを搭載する。焦点面をセンサチップで隙間なく覆い、その背面にすべての読み出しシステムを配置するため、読み出しシステムの各ボードはコンパクトかつ、放熱量の少ないものでなければならない。本研究では、部品数を抑えることでコンパクトかつ低発熱な読み出し回路を設計した。この回路は 1 枚のセンサチップを読み出す AD ボードと 4 枚のセンサチップを駆動するドライブボードからなる。AD ボードではサレン・キー型 2 次ベッセルフィルタを用いて差動出力信号の増幅とレベルシフトおよび高周波ノイズのカットを行った後、16 bit 500 kHz AD コンバータでサンプリングする。ドライブボードでは 4 種の電源電圧と 12 種のバイアス電圧および 28 種の駆動パルスをセンサに供給する。本講演では、設計した回路の評価と駆動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](#)

V217b **超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e のバックエンド解析システムの開発**

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, 藤堂颯哉, 菊池勇輝, 松永典之, 臼井文彦, 有松亘 (東京大学), 田中雅臣, 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), 猿楽祐樹 (JAXA), 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, 近藤荘平 (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超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e を開発している。本講演では Tomo-e が生み出したデータを解析するためのバックエンドシステムの開発状況について報告する。

Tomo-e は 84 チップの常温駆動 CMOS センサを用いることによって, 約  $20 \text{ deg}^2$  の領域を最大 2 Hz で読み出すことができる。また, 読み出し領域を制限することによって 20 Hz のサンプリングレートを達成することも可能である。Tomo-e から生み出されるデータは最大で 27 TByte/night に達するが, 取得した全データをアーカイブすることは現実的に不可能である。我々はオンサイトで自動的にデータ解析をおこない, 観測データをアーカイブ可能なサイズにリダクションする戦略を採用した。観測で得られたデータを滞りなく処理するためには, 解析システムに 1 GByte/sec の処理速度と 30 倍程度のデータ圧縮率が要求される。広視野高速観測を実現するためには, 観測計画に則したデータ圧縮手法の選択と解析システムを構築することが重要である。ここでは構築予定のバックエンドシステムの概要と測定したパフォーマンスについて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V218b KOOLS-IFU ファーストライトの結果

松林 和也, 太田 耕司, 岩室 史英 (京都大学), 吉田 道利 (広島大学), 神戸 栄治, 筒井 寛典, 岩田 生, 泉浦 秀行 (国立天文台)

我々は可視光面分光装置を使って、重力波源天体や候補天体であるショートガンマ線バーストを、発生したその夜に分光観測を行う計画を進めている。観測装置は国立天文台 岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡に、将来的には京大-岡山 3.8 m 望遠鏡に搭載する予定である。既存の可視光分光装置 KOOLS にファイバー型面分光ユニット (IFU) を接続し、2014 年 10 月に KOOLS-IFU を 188 cm 望遠鏡に装着してファーストライト試験観測を行った。本講演では、KOOLS-IFU の装置の概要とその試験観測の結果を報告する。

KOOLS-IFU ファイバーバンドルの 2 次元アレイ側を、可視光高分散分光装置 HIDES-F のカセグレン焦点ユニットにマウントし、また 1 次元ファイバーアレイ側を KOOLS 内に十分な位置再現性で設置することができた。1 次元ファイバーアレイのピント調整を行い、KOOLS の CCD 上で各ファイバーのスペクトルが出来るだけ重ならないようにした。実視連星のデータから、KOOLS-IFU の視野は直径約  $30''$  であることを確認した。比較光源フレームなどのデータから、KOOLS-IFU の波長範囲が 4200–8600 Å、波長分解能は短波長用グリズムで 400–650、長波長用グリズムで 800–1000 と、ほぼ予想通りの値であった。標準星のデータを解析した結果、KOOLS-IFU の最も良い波長でのスループット (地球大気、望遠鏡、KOOLS 光学系を含む) が、短波長用グリズムで 3 %、長波長用グリズムで 5 % となった。上記の光学的性能はどれも予想値とほぼ一致していて、目標をほぼ達成できた。この結果を受けて、ToO 観測を含めたサイエンス観測を 2015 年内に開始することを目指して準備を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V219a 岡山天体物理観測所のリモート観測環境構築

柳澤顕史, 井上剛毅, 黒田大介, 浮田信治, 水本好彦, 泉浦秀行 (国立天文台)

岡山天体物理観測所は、188cm 望遠鏡と3つの観測装置を一般共同利用観測に供している。このたび本望遠鏡による観測者の利便向上と観測成果拡大を目的として、リモート観測環境を構築したので、その仕組みと結果を報告する。ちなみに、リモート観測環境とは、リモート観測を実現するために必要な資源(ネットワーク、計算機など)の集まりと仕組みの総称である。

本環境構築の基本方針は、「ローカル端末のリモートへの安全な複製」である。現在の188cm 望遠鏡制御端末は複数台のPCで構成されており、それぞれに入出力を備えている。これらPCの入出力を遠隔地に複製することで、遠隔地にいながらにして、188cm 望遠鏡制御室とほぼ同じ操作環境が得られ、しかも通信の安全を保障することを目標とした。端末の複製には、KVM-over-IP (Raritan 社 Dominion KXIII)を採用した。KVM-over-IPは、ネットワーク経由で操作可能なKVMスイッチのことで、ビデオ、音声、キーボード、マウスの入出力情報を圧縮してパケットに格納・送信し、受信側で復元する装置である。このKVM-over-IPに、リモート端末からWebブラウザでアクセスすることにより、リモート端末上にローカル端末が複製される。セキュリティの維持は、2つの対処で実現した。まず情報セキュリティは、KVM-over-IPに備わっている機能(暗号化、ユーザー管理)により維持している。観測情報を他者に盗み見される心配はない。ネットワークセキュリティは、188cm 望遠鏡ドーム内のネットワーク機器を新しいサブネットに移行し、アクセス制限を課すことで維持している。

このリモート観測環境を常時一般共同利用に供する目的で、国立天文台・三鷹に岡山188cm 望遠鏡リモート観測端末を用意した。観測を実施しストレスなく観測できる(フレームレート 30 FPS)ことを確認している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V220a 国立天文台岡山 188cm 望遠鏡の焦点合わせの自動化

神谷浩紀, 浮田信治, 柳澤顕史, 黒田大介 (国立天文台岡山天体物理観測所)

岡山天体物理観測所ではこれまで、188cm 望遠鏡の駆動系、制御系、およびドームの改修を行い、観測の効率・精度が格段に改善した。現在、更なる効率の向上のため焦点合わせの自動化を進めており、本講演ではこの報告をする。

188cm 望遠鏡の鏡筒は熱膨張や鏡筒自身の自重によりその長さが伸び縮みし、主鏡・副鏡間の長さが変化する。また主鏡は反射面とその裏面に温度差があると熱歪みにより反射面の形状が変化し、焦点距離が変化する。このため観測時にはこれらの変化に対して副鏡を前後に動かすことで焦点位置を合わせる必要がある。熱膨張・熱歪みは温度で表すことができ、鏡筒の自重による長さの変化は鏡筒の仰角の正弦で表すことができる。つまり、合わせるべき副鏡位置は鏡筒の温度、主鏡の両面の温度差、鏡筒の仰角の正弦で表すことができる。

現在、温度の情報を得るために鏡筒・主鏡などに 10 個の温度センサの取り付けを行い、1 分毎にデータを取得している。主鏡の表面と裏面との間には最大で 1.5 度程の温度差が生じていることが新たに分かった。実際の観測時に合わせた副鏡位置の値を鏡筒の温度、主鏡の両面の温度差、鏡筒の仰角の正弦の一次関数を最小二乗法でフィットし、副鏡位置の関係式を導いた。フィットからの残差は rms で 0.2mm(像のサイズの精度で 1") という結果が得られた。この関係式を用いて副鏡位置を自動制御するシステムの見通しが得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V221b 明るい星専用赤外線観測システムの開発

花上拓海(東北大学), 筒井寛典, 柳澤顕史, 清水康廣, 泉浦秀行(国立天文台), 岩崎仁美, 小宮山貴洋, 板由房(東北大学)

天文学において「天体までの距離」は分野を問わず最も重要なパラメータの一つである。距離の指標となる天体にはそれぞれ有効な適用範囲があり、近傍から数種の距離指標天体を組み合わせることで遠方天体の距離を導き出すことができるが、誤差も一緒に伝播してしまう。つまり近傍の距離指標天体を精度よく校正することが距離を導く上で重要である。

RedClump 星 (RC 星) は絶対等級が一意に決まり、またその明るさは天の川内部から近傍銀河にわたる距離 (数十 pc 数十 kpc) に対する距離指標として適切なのだが、絶対等級の誤差は 15% 程度と大きい。なぜなら、多くの RC 星は赤外域で見かけ等級が 4 等より明るく、現存の観測機器には明るすぎて精度良い観測が行うことができないからである。例えば 2MASS で検出された 4 等より明るい天体は約 20,000 天体存在するが、15% 以下測光精度を有する天体はわずか数十個である。RC 星を距離指標として有効に利用するためには、赤外線での明るい星の高精度な測光観測が不可欠であるが、現在そのような観測データは存在しない。

そこで我々は、近赤外線での 4 等より明るい星をターゲットに絞った超小口径近赤外線カメラを作成し、岡山天体物理観測所内にて専用望遠鏡として運用する計画を進めている。本カメラで誤差 5% 以下の測光観測を行うことで、「RC 星の絶対等級、固有カラーを高い精度で決定」でき、「RC 星の距離指標としての精度が向上、ならびに遠方天体の距離決定精度が向上」する。

現在、カメラの性能評価・望遠鏡架台の制御試験は終了し、2015 年夏の本観測に向けて準備をすすめている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V222c 明るい星専用赤外線観測システムに使用する望遠鏡架台の制御

筒井寛典, 柳澤顕史, 泉浦秀行, 清水康廣 (国立天文台), 花上拓海, 板由房 (東北大学)

岡山天体物理観測所に新たに稼働を予定している小口径望遠鏡搭載用架台の制御系開発の進捗について報告する。当観測所構内には4mドーム設備があり、中には小口径望遠鏡搭載用の赤道儀式架台(中央光学 L30)が設置されている。この架台に超小口径の近赤外線撮像装置視野を搭載し、近赤外線で見える星( $k < 4\text{mag}$ )を対象としたモニタ観測を実施する研究計画を東北大学と岡山天体物理観測所で進めている。撮像装置の開発は東北大学(花上他、本年会発表予定)が、架台・ドームを含む観測設備ならびに施設の制御開発を当観測所がそれぞれ担当している。

この観測システムの運用においては遠隔からのオペレーションを可能にすること、そして人間の介入を最小限にすること(自動観測)を目標としている。具体的には自動・遠隔の各オペレーションで望遠鏡の姿勢制御、複数の気象ステータスからの観測可否判断、また緊急時の即時シャットダウンなどを実現する。更に遠隔操作においてはシャットダウンされた状態からの復帰手順の実行も可能にする予定である。このような安全性・利便性の高いシステムを当観測所で利用実績のある汎用機器制御ボード(ルネサス製 H8S2633 マイコン搭載)を用いて構築する。

各駆動部(RA・DEC軸、ドーム旋回、ドームスリット開閉)における制御系開発はほぼ完了している。3月末を目処に各駆動部の精度向上及び連携動作の確認や必要なソフトウェア開発、電源システムの整理や姿勢センサ等の安全装置の搭載、気象環境データ読み取りなどの安全性を高める作業を実施していく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V223c TAO Survey の現況

清田誠一郎 (VSOLJ)

TAO Survey は、カメラレンズと冷却 CCD カメラ、それに市販の小型赤道儀を組み合わせたサーベイシステムである。従来から、同様の機材を用いたサーベイ観測の試みはいくつも行われているが、本システムでは、新星及び変光星の測光観測を主な目的としている こと、検出できた星の測光データをデータベースにし、web 経由で検索インターフェースを公開 (<http://meineko.dyndns.org/>) していることが特徴である。運用開始時は、茨城県つくば市に設置してあったが、2013 年 6 月に千葉県鎌ヶ谷市に移転した。レンズとカメラの組み合わせは何度か変更したが、2014 年 5 月からは、155mmF4 カメラレンズと Moravian G4-9000 カメラを用いている。測光バンドは Ic バンドで、写野は 14 度角弱、極限等級は約 11 等である。自宅庭のスライディングルーフ内に設置し、自室から無線 LAN 経由でコントロールを行っている。現在は、撮影は手作業で行ってるが、自動化の検討中である。測光用のソフトウェアは、前 原裕之氏 (国立天文台) が開発されたものを使用させていただいている。Pinpoint LE, Scamp, SExtractor を用いて、WCS の画像ヘッダーへの書き込み、天体の検出、HIPPARCOS 星表を基準に等級を測ってしている。2010 年 10 月の運用開始から 2014 年末までの測光データ数は延約 1 億である。2013 年 8 月には、V339 Del 新星の発見時刻前の測光データを得ることが出来た他、いくつかの新星の発見前後の検出が行えた。現行システムで、CCD のチップサイズが大きくなり、一度に撮影できる写野が大きくなったが、カメラレンズの湾曲歪の影響も大きくなって問題も生じており、解決策の模索を行っている。なお、TAO は、Tsukuba Astronomical Observatory の頭文字を取ったもので、Tokyo Atacama Observatory とは関係は無い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V224b 埼玉大学 55cm 望遠鏡観測システムの自動化と基本特性調査

石橋遥子, 大朝由美子, 潮田和俊, 居倉聖, 星久樹, 佐藤太基, 前原雄太 (埼玉大学), 齊藤嘉彦 (東京工業大学), 内海洋輔 (広島大学), 他 埼玉大学天文学研究室

埼玉大学 55cm 望遠鏡システムでは、長波長側で感度の高い FLI 社製の深空乏層冷却 CCD カメラを使用して、星形成領域や系外惑星、太陽系小天体などの観測を行っている。このシステムは、Windows PC での GUI を用いたソフトウェアによって制御されているが、観測効率が悪いという問題がある。そこで本研究では、システムの自動化を目的として Linux PC による制御プログラムの改良と開発を行っている。

現在までに Linux PC からのコマンドラインによる制御が可能となり、CCD カメラ制御および望遠鏡ステータスファイルからの FITS ヘッダー編集プログラムも構築した。その他、観測システムの自動化に向けて、気象データ取得のための気象観測機器の設置や、ネットワーク通信を利用したフラットランプ制御システムの構築などの整備も行った。さらに、当観測システムにおける基本特性調査 (T-Point による PA、冷却温度の違いによる検出器の評価試験、色変換係数の算出) も行った。

本講演では、埼玉大学 55cm 望遠鏡の自動観測システムの確立に向けたプログラム開発と、基本特性調査の取り組み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](#)

## V225c 可視三色同時偏光撮像装置の開発

大朝由美子、潮田和俊、石橋遥子、居倉聖 (埼玉大学)、木野勝 (京都大学)

埼玉大学 55cm 望遠鏡は、都市部近郊で空は明るい、冬季の晴天率が国内でも非常に良く、シーイングが 1 秒台の立地に設置されている。現在は、フィルターターレットと CCD(視野  $\sim 12.8'$ ) を用いて、系外惑星のトランジットや T タウリ型星、太陽系内天体などの可視測光観測を行っている。また同時に、光赤外線天文学大学間連携事業 (OISTER) の一環で、ガンマ線バーストや超新星などの観測を進めている。しかし、各波長の観測条件が異なることや、観測時間が長くなるという欠点がある。そこで我々は、観測効率の向上と同一観測条件による可視多色同時偏光撮像を目的として、カセグレン焦点部 ( $F\sim 6.5$ ) に取り付ける新たな観測装置の開発を進めている。

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。観測波長帯は、光害の影響や長波長観測の有用性を考慮して 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 (FLI 社製) を 3 台使用する。ダイクロイックミラーは、角度が  $45^\circ$  で、収差補正をするためにウェッジ加工を施してある。これにより、CCD と光学系をあわせた透過率は 3 バンド全てで 50% 以上が達成できる見込みである。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 ( $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 30\text{cm}$ 、 $\sim 15\text{kg}$ ) に設計した。本講演では装置の概要と現在の開発状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V226b 明野 50cm 可視光望遠鏡の 2014 年度運用実績

齊藤 嘉彦、橘 優太郎、大内 遙河、吉井 健敏、栗田 真、矢野 佑樹、小野 雄貴、藤原 太智、谷津 陽一、河合 誠之 (東京工業大学)、黒田 大介、花山 秀和、柳澤 顕史 (国立天文台)

明野 50cm 可視光望遠鏡はガンマ線バーストの残光追跡観測を行う MITSuME ( Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions ) の中の一つで東京工業大学が運用している。継続時間の短いガンマ線バーストの残光観測を行うために、ガンマ線バーストを検出する観測衛星からの天体検出情報を受け取った際に最短 1 分以内という短時間で追跡観測を開始する機能を備えている。この機動性を保持するために観測システムは自動化されている部分がほとんどであり、観測も東京工業大学の岡山キャンパスからリモートで監視されている。現在はガンマ線バーストの観測という本来の目的に加えて、これまでも継続的に行ってきた活動銀河核のモニター観測や他機関との連携観測を行っている。また、本年度は光赤外大学間連携事業の一環として自動解析環境の再整備も行い、他機関との連携観測が増えてきた現状への対応を開始した。

本講演では今年度行ったガンマ線バーストの残光観測や活動銀河核のモニター観測解析結果に加えて、他機関との連携観測で行った超新星、活動銀河核、X 線新星の観測、さらに解析環境の整備について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227a      **スペースデブリをとらえる DEBDAS 地上可視観測網の構築**

山岡均、花田俊也、吉川顕正 (九州大学)、北澤幸人 (IHI)、柳沢俊史 (JAXA)

九州大学国際宇宙天気科学・教育センター (ICSWSE) では、スペースデブリ 3 次元観測網 DEBDAS (DEBris Data Acquisition System) の構築を構想している。地上および複数機の衛星からなる観測網を整備し、デブリ環境予測技術の確立を目指すものである。

地上観測網は、メインとなる 0.5m ~ 1.0m クラスの光学望遠鏡を九州大学内に設置し、サテライトとして ICSWSE の前身である宙空環境研究センターが構築した、全球地磁気ネットワーク MAGDAS の連携拠点を活用する。特に、地磁気赤道付近に点在する複数の拠点に光学望遠鏡を設置し、現地の協力者およびネットワーク越しのリモート運用での観測を企図している。静止軌道デブリはある経度付近でのみ観測可能であり、その総数推定には、全球規模に観測拠点を展開することが不可欠である。

また、観測拠点での科学・宇宙環境保全活動の振興や、現地での宇宙科学・天文学教育に資することも重要な目的である。講演では、システム構築の現況を紹介し、小惑星サーベイや他の計画での観測網構築との協力・相補態勢を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V228a ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション

中井悠人, 馬場直志, 村上尚史 (北海道大)

太陽系外惑星の表面構造を撮像するためには、非常に高い空間分解能が要求される。しかし、単一の望遠鏡の巨大化には限界がある。この限界を打ち破るために考案された技術がハイパー望遠鏡である。ハイパー望遠鏡は天体干渉計の考えを応用した望遠鏡であるが、通常为天体干渉計と異なる像合成を行う。複数の望遠鏡でとらえられた光を結像光学系で合成して観測像を得る。ハイパー望遠鏡では高密度化と呼ばれる非常に重要な操作が行われる。高密度化は結像瞳面において個々の望遠鏡からのビームを拡大し、ビーム間のギャップを埋める操作であり、光を光軸近辺に集中させることができる。この操作によってハイパー望遠鏡での天体観測が可能になる。分解能は望遠鏡間の最長距離に依存するため、望遠鏡を数 km ~ 数百 km 離して配置し、単一の望遠鏡では到底得られない高い分解能を獲得できる。

しかし、ハイパー望遠鏡で得られる観測像の質は劣化しており、ノイズも考慮するとこの問題はさらに深刻となる。そのため、得られた観測像をそのまま利用することは不可能であり、画像処理による像の回復が必須である。そこで、我々は計算機シミュレーションによってハイパー望遠鏡における観測像を得て、これに対して画像処理を行った。なお、画像処理の方法として、擬似ウィナーフィルタ、リチャードソン・ルーシーアルゴリズム、クリーンアルゴリズムの3つの方法を用いた。本講演では、冗長および非冗長配列のハイパー望遠鏡で得られるであろう観測像、および観測像に対して上記の3つの画像処理を行った結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V229b チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI) : 性能評価

内海 洋輔, 吉田 道利, 瀧本 絵里香, 川端 弘治 (広島大学宇宙科学センター), 川野元 聡, 成相 恭二, 佐々木 敏由紀, 柳澤 顕史 (国立天文台), 姚 永強, Wang Hongshuai (中国国家天文台), 劉 彩品 (中国紫金山天文台), 石橋 遥子 (埼玉大学), 谷津 陽一, 齊藤 嘉彦 (東京工業大学)

近年発見が期待される重力波源の正体を探るために, 対応天体の可視光フォローアップ観測網構築が望まれている. 我々は極東地域での観測ネットワーク強化をめざし, 日本から経度 60 度離れた中国西部チベット阿里地区に 50cm 望遠鏡と SDSS u, Cousins-Rc, Ic バンドを有する三色同時撮像カメラを設置する HinOTORI (Hiroshima University Operated Tibet Optical Robotic Imager) プロジェクトを推進している.

これまでに設計した望遠鏡・装置・カメラ・赤道儀が納品された. 光学系およびカメラは広島大学かなた望遠鏡に同架し, 性能評価を続けている. 光学系の性能評価項目としてシステムスループットと収差量測定を上げている. システムスループットは分光測光標準星のスペクトルに, 地球大気モデルや実際に測定された / 予想された光学素子の特性・カメラの感度を考慮して求めた「期待される測光値」と「実際の測光値」とを比較することで, 製作品が仕様通りできたかどうかを確かめている. 収差量測定は望遠鏡にハルトマン板を取り付けて焦点内像・外像を撮像し, ハルトマン定数の測定および, その画像を元に波面を再構成し測定する. このテストにより鏡面形状や位置関係が想定通りであるかどうかを確かめる. 納品された赤道儀の性能試験については, 赤道儀を屋外に仮設し, 小型の望遠鏡を搭載することで実際の星を追尾しながら追尾性能試験を実施する. 追尾性能向上のために特注で追加したサーボ機能の効果を測定する. 以上の項目について結果を発表する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V230b ひとみ望遠鏡の性能評価の進捗

溝口小扶里, 松下真人, 長谷川哲郎, 土佐誠 (仙台市天文台), 岩崎仁美 (東北大学)

仙台市天文台には、口径 1.3m のひとみ望遠鏡がある。ひとみ望遠鏡にはカセグレン焦点 1 つとナスミス焦点 2 つがあり、それぞれに撮像用冷却 CCD カメラと中分散分光器、眼視用装置が設置されている。撮像用冷却 CCD は E2V 社製で 2 枚のチップが使用されており、ヘリウムガスでの冷却によって外気温から -100 程度に保たれている。視野は約 30 分、フィルターは U,B,V,R,I,C2 など 11 種類があり、様々な観測に対応できるようになっている。中分散分光器には、2 種類のスリット (1.35 秒と 2 秒) と 3 種類のグレーティング (低分散モード: 600 本/mm、中分散モード: 1,714 本/mm、1,800 本/mm) があり、可視光域を一度に撮影することも可能である。

昨年より撮像用冷却 CCD と分光用冷却 CCD で基礎的なデータを取得し、東北大学の協力を得て、性能評価を行ってきた。撮像用冷却 CCD では、ダークカレント、リニアリティーなどの評価を再度行い、運用 7 年目の現在も良好であり、補正の必要がないことがわかった。更に、2 枚のチップともに画像中心と端でピクセルあたりの視野が異なることが判明したため、ディストーションの解析を行い、補正するためのプログラムを作成した。現在、フラットについての評価も進めている。分光用冷却 CCD については、カメラを FLI 社 PL-16803 に新調したことに伴い、改めて性能評価を行っている。ダークカレントについては、冷却温度を -10 以下に設定した場合には、露出時間を長くしても値の変化が少ないことが判明した。その他、リニアリティー、ゲイン、ラテンシ等についての評価も行った。また、両 CCD で実際に天体を撮影することで、観測可能な対象天体も少しずつ見えてきた。

本講演では、ひとみ望遠鏡の性能評価について、取得したデータとともに進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V231c ひとみ望遠鏡中分散分光器での試験観測

松下真人, 溝口小扶里, 長谷川哲郎, 土佐誠 (仙台市天文台)

ひとみ望遠鏡ナスミス分光焦点に設置されている中分散分光器には、2種類のスリット(1.35秒と2秒)と3種類のグレーティング(低分散モード:600本/mm、中分散モード:1,714本/mm、1,800本/mm)があり、低分散モードでは可視光域のスペクトルを一度に取得することも可能である。

ひとみ望遠鏡中分散分光器における基礎データ取得のため、2秒スリットの低分散モードで中心波長を5,000に設定し、恒星の分光試験観測を行った。本観測により、スペクトル型の違いによるピーク波長の違いを確認した。また、恒星スペクトルに見られる吸収線を同定し、吸収をもたらす原子や分子およびイオンの違いを確認した。これら、既知の恒星スペクトルを観測することにより、ひとみ望遠鏡中分散分光器における分光観測の基礎データと位置付ける。

なお、2014年6月に分光用冷却 CCD カメラを Apogee 社 U16 から FLI 社 PL-16803 に変更したため、引き続き分光基礎データの試験観測を実施している。

本講演では、ひとみ望遠鏡中分散分光器での試験観測の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V232b 鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡への部分減光フィルタの導入と性能評価

井上幹一郎, 村上琴音, 西森健文, 永山貴宏, 面高俊宏 (鹿児島大学), ほか鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡グループ

我々は VERA と連携して天の川銀河系内のミラ型変光星の周期光度関係を高精度化するために近赤外線 K バンドでのモニタリング観測を行っている。しかし観測する水メーザー源はほとんどが K バンドで 3 等より明るく、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡では検出器が飽和してしまう。これまでは、このような明るい天体を観測する場合はデフォーカスという方法を使っていた。しかし、この方法では同一視野内の測光参照星が検出できなくなってしまい、別の視野の標準星を観測する必要があるため、高い測光精度を得るには非常に天気の良い日に観測しなければならず、観測できる日が制限されていた。

そこで、デフォーカスをせずに高い測光精度と十分な観測頻度を得るために、名古屋大学の IRSF1.4m 望遠鏡で試験運用されている部分減光フィルターを鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡に導入した。このフィルターは視野内の一部の領域を減光し、目的星のみを減光することができるので測光参照星を同時に観測することができる。

減光率 5000 分の 1 の部分減光フィルターを使い、明るい標準星を観測した結果、実際の減光率として  $9.44 \pm 0.04$  等を得た。また、標準星の経年的な測光値の安定度は 0.03 等であった。水メーザー源の試験観測の測光結果は従来のデフォーカス観測で得られたライトカーブの外挿とよく一致している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V233a off-axial 光学系の近軸理論を応用した南極 2.5m 望遠鏡用三色赤外線カメラの光学設計

小幡朋和、市川隆 (東北大学)

off-axial 光学系の近軸理論を応用し、三色赤外線カメラの光学設計を行った。南極大陸は赤外線観測と THz 観測に有利な環境であり、東北大学及び南極天文コンソーシアムは南極 2.5m 赤外線望遠鏡の計画を進めている。同望遠鏡は南極大陸の低大気放射によって、すばる望遠鏡に匹敵する検出限界を持つ。さらに同望遠鏡の初期観測装置である三色赤外線カメラは南極の高大気透過率と良シーイングによって、近赤外線域 1-5  $\mu\text{m}$  ほぼ全域での回折限界観測 ( $0.221''/\text{pixel}$ ) が可能である。

同カメラのコリメーターは球面または簡単な非球面反射鏡一枚で設計されている。しかし、このような反射鏡コリメーターは瞳光学系の仕様を満たす一方で、off-axial 光学系における一次収差を発生させる。したがって一次収差を補正しない限り一次収差が残存し、仕様を満たすカメラ光学系を設計することができない。本研究では、off-axial 光学系の近軸理論と光学設計ソフト ZEMAX の最適化機能を組み合わせ、コールドストップ以降に設置した tilt レンズで一次収差補正を試みた。具体的には、off-axial 光学系の拡張された光軸と tilt レンズの面頂点を常に一致させ、off-axial 光学系の tilt 角と ZEMAX 上での tilt 角を一致させるように設定し最適化を行った。結果として、コリメーターで発生した一次収差を補正でき、仕様を満たす光学系を設計できた。一方で、off-axial 光学系における二次収差は補正されておらず、検出器の傾きとそれに伴ういびつなディストーションが発生した。ただし、ディストーションは最大値で 1 % 程度であり解析段階で補正可能な量であると考えられる。

本講演では、上記の off-axial 光学系を応用した赤外線カメラの光学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](#)

## V234a 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画：分割主鏡制御システムの開発状況

木野勝 (京都大学), 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画グループ

現在開発中の京大岡山 3.8m 望遠鏡には 18 枚の分割主鏡が搭載される。分割鏡の採用により鏡の加工・輸送が容易になる反面、各鏡面の位置・傾きには  $\leq$  数 10 ナノメートルの高い精度が要求される。望遠鏡の架台は指向方向による重力変形、観測環境の温度変化・風圧などの外乱により  $\sim 100 \mu\text{m}$  の変形が見込まれており、これを補正するフィードバック制御システムが不可欠である。

分割鏡の境界部分に取り付けた 72 個の変位センサで測定した段差情報をもとに、57 個のリニアアクチュエータを駆動し鏡間の相対位置を制御する。変位センサには分解能  $\sim 1 \text{ nm}$  をもつ渦電流型の微小変位計を用いる予定で、温度など測定環境による出力変動を抑制する開発を行っている。リニアアクチュエータは出力に 1/30 の減速テコを付加することで、駆動分解能  $\sim 1 \text{ nm}$ 、ロストモーション  $\leq 50 \text{ nm}$  を実現した。これらのセンサ・アクチュエータのドライバは Ethernet で制御 PC に接続しており、全体で計 100 個以上のデバイスに対し  $\geq 200$  サイクル/秒でのフィードバックが可能である。このときの制御帯域は  $\sim 10 \text{ Hz}$  であり、風圧による比較的早い (数 Hz) 外乱に対しても十分な抑圧比を持つ。

変位センサの個数とその配置についても見直しを進めるとともに、制御で生じる鏡面誤差のシミュレーションも行っており、変位センサの読出し誤差が rms 30 nm の場合に、鏡面誤差が rms  $\sim 80 \text{ nm}$  という結果を得ている。

本公演ではリニアアクチュエータを中心とした各デバイスの性能評価に加え、これらの制御誤差が光学性能に与える影響の見積もりについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V235a 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, 川良公明, 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) 他

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ートル山山頂 (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 年度に補正予算が措置され、望遠鏡と付帯設備の設計及び製作が本格的に開始された。本講演では、その現状を報告する。

望遠鏡本体については詳細設計が完了しつつあり、3 月末の組み立てに向けて急ピッチで架台の部品製造が進められている。また、各焦点に設置されるオートガイダー・シャックハルトマンカメラシステムの設計製作も行われている。ドームエンクロージャの詳細設計及び一部部材の製造も進行中であり、並行して実際の山頂の風を模した流体計算によるドーム強度及び積雪のシミュレーションを行っている。

主鏡、副鏡、および第 3 鏡はアリゾナ大学/ミラーラボが製造しており、いずれも最終研磨が進行中である。また、主鏡のミラーセルについてもアリゾナ大学が設計製作を行っている。主鏡アクチュエータ制御ソフトウェアシステムの検討も進められている。

各種鏡の蒸着を山頂で行うための蒸着釜とその付帯施設の設計もほぼ完了し、蒸着の際に主鏡をミラーセルごと望遠鏡から取り外し、ドームから観測棟に運搬するための移動昇降台車の製造を開始している。

さらに、山頂から直線距離でおよそ 50km 離れた、標高 2400m の山麓にあるサンペドロ・デ・アタカマ市内に建設を進めていた観測支援のための研究宿泊棟も 2014 年 11 月に完成し、完成式典を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a 近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発進捗報告

小西 真広, 本原 顕太郎, 高橋 英則, 加藤 夏子, 館内 謙, 北川 祐太郎, 藤堂 颯哉, 小早川 大, 吉井 讓, 土居 守, 河野 孝太郎, 川良 公明, 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, 浅野 健太郎, 内山 瑞穂, 岡田 一志, 内山 允史 (東京大学), 半田 利弘 (鹿児島大学), 越田 進太郎 (国立天文台ハワイ観測所)

東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5m 赤外線望遠鏡が建設されるチリ・アタカマ高地のチャナトル山山頂 (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。この強みを最大限に活用すべく、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  $\mu\text{m}$  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 つの機能を有する。各コンポーネントの設計および製作はすでに完了し、これまで各々の性能評価試験を進めてきた。2014 年には一部の光学系をインストールして冷却試験を実施し、80 時間でおおよそ 100K に到達することを確認した。また姿勢傾斜試験も実施し、クライオスタットに対する光学ベンチの変位量が最大 140  $\mu\text{m}$  (検出器面上での空間方向に  $\sim 0.6$  pix、光軸方向に  $\sim 0.02$  秒角) であり、光学性能の公差内に収まっていることを確認した。本講演では、各コンポーネントの進捗状況に加えて、装置全体の駆動試験・真空冷却試験の経過と今後の見通しについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a **TAO 6.5m 望遠鏡用第一期中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗**

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 内山瑞穂, 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, 川良公明, 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, 館内謙, 北川祐太郎, 藤堂颯哉, 小早川大 (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)

MIMIZUKU は東京大学がチリ・アタカマ高地のチャナントール山 (標高 5640 m) に建設を進める TAO 6.5 m 望遠鏡 (P.I. 吉井讓) の第一期中間赤外線観測装置である。TAO サイトは水蒸気量が低く、地上観測が難しい近・中間赤外線の水蒸気吸収帯が観測できる。MIMIZUKU はこの新たな大気の窓を全て含む、波長 2–38  $\mu\text{m}$  を観測する。また、フィールドスタッカー機構搭載により測光精度を改善し、時間変動に注目した観測研究を目指す。

MIMIZUKU は HgCdTe, Si:As, Si:Sb の三種の半導体検出器を登載し、それぞれ 40, 7, 5 K 以下に冷却する必要がある。そのために冷却系の熱パスの改良が課題であったため、熱パスの接触部にアピエゾングリスを塗布し、熱伝導性を改善して冷却試験を実施した。しかし、各部の温度は要求値に対して 1–2 K 高い結果となった。一因としてアルミ合金の検出器ステージの熱伝導度の悪さが挙げられ、無酸素銅へ換装しての再試験を予定している。

低温光学系では金コートアルミ合金鏡に電解腐食が発生し、その対策を検討してきた。電解腐食は金・アルミ合金の接触部に水・酸素が介在することで発生する。これらを絶つために SiO コートの実施を検討していた。しかし、曲率のある鏡に SiO コートを施すことが難しい事が判明し、SiO コートをやめ、電解腐食に対しては乾燥窒素・真空中の保管で対応する事にした。鏡の再製作は順調に進んでおり、近日中に光学調整を実施する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V238a MOIRCS用マイクロレンズアレイ面分光ユニットの開発：進捗状況

石垣剛, 加賀亨 (岩手大学), 岩田生, 西村徹郎, 田中壺, 田中陽子, 尾崎忍夫, 小俣孝司, 有本信雄 (国立天文台)

すばる望遠鏡多天体近赤外分光器 MOIRCS ではハワイ観測所を中心として、検出器の更新と面分光機能の追加からなるアップグレードが進められている。本研究では面分光ユニット (IFU) の一つとして、マイクロレンズアレイ (MLA) を用いる IFU の開発を行っている。これまでに IFU の設計、光学素子の購入をほぼ終え、現在はホルダー等の製作を岩手大学高度試作加工センターで進めている。IFU のパラメータは、空間サンプリング  $0.2''$  で視野  $1.8'' \times 6.2''$  であり、視野のアスペクト比を大きくしてスペクトル長を長くとれるようにしている (約 1400 ピクセル)。HK500 グリズムを用いれば、波長分解能  $R \sim 860$  で波長範囲  $1.4\text{--}2.3\mu\text{m}$  のスペクトルが、VPH グリズムを用いれば、グリズムの効率で決まる波長範囲で  $R \geq 4000$  のスペクトルが得られる。

MLA は advanced microoptic systems 製の  $3\text{mm}$  ピッチ、 $9 \times 31$  レンズのものを購入した。30 倍の拡大光学系と組み合わせて使用する。MLA の表面形状を国立天文台先端技術センター (ATC) の非接触 3 次元座標測定器で計測した結果、曲率半径はスペック通り約  $\pm 1\%$  以内のばらつきに抑えられていることが確かめられた。実験室 (可視光、室温) で、拡大光学系による拡大像、および拡大光学系と MLA を組み合わせたマイクロピュール像の測定を行ったところ、視野端でも視野中心と同様の結像性能が得られている。

これまでに製作した光学素子ホルダーは ATC に設置した冷却実験装置 (Mini Lab) で  $90\text{K}$  以下に冷却し、安定して拡大レンズや MLA 等を保持できることを確認している。2014 年度中に全ての構成部品を完成させ、全体での冷却実験を経た後、2015 年度中の MOIRCS への組み込みを目指している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V239b MOIRCS ロングスリット観測法の改良

田中 壱 (国立天文台ハワイ観測所)

MOIRCS はすばる望遠鏡の近赤外多天体撮像分光装置である。観測の主流は MOS 観測であるが、シングルターゲットの場合や、TOO やバックアップ観測等ではロングスリットも使われる。我々は数年前からロングスリット観測法の改良を行っており、今回まとめて紹介する。

これまでロングスリットで暗い天体の導入を行う際は、まず視野を撮像し、天体の位置と近くの参照星をアラインさせ、その上でスリット板を入れて観測していた。撮像する必要があるためまずスリット板を焦点面から抜かねばならず(計 10 分弱)、特に複数の天体を観測するには大きなオーバーヘッドになっていた。

MOIRCS は視野を分割した 2 つの独立した光学系であるので、片方の視野をロングスリットに、もう片方を撮像に使用する事が可能である。そこで、ロングスリット板の使わない側に広い窓を開け、それをを利用して導入を行う手法を考案した。これは既に実用化されていて、スリット板を入れたままターゲットを次々と変えて観測できる効率の良さを実証している。ただし、窓を開けた事でアルミシートの反射が顕著になり、不可避免的に背景ノイズが増大していた。そこで今回迷光防止壁の設置とシート背面の黒塗り塗装を実施した結果、散乱成分の削減とスリット自身の反射パタンの抑制に成功し、総合性能が向上した。

また、最近 Autoguider (AG) を利用した導入法を実証した。まず光学中心に置いた AG に対して参照星を入れ、AG を用いて直接ロングスリットの参照穴に導入する。これもロングスリット板を出し入れする必要がないため、観測効率を向上させることが可能となる。この手法は通常の MOS 観測の後の標準星観測においても応用でき、利益が大きい。昨年秋の試験では 100% 導入に成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V240c HiCIAO differential imaging の改良

森野潤一, 齊藤栄, 西野徹雄, 岡田則夫, 鈴木竜二, 西川淳, 工藤智幸, 田村元秀 (国立天文台)

系外惑星探査の HiCIAO 装置の SDI:spectral (simultaneous) differential imaging モードでは、speckle を抑制し高いコントラストの撮像を行う為に次のような工夫をしている。AO188/Lyot コロナグラフ部を通ったあとの光学系の最終段階では、平行光中に Wollaston prism(1 段=2ch / 2 段=4ch) をおき、カメラレンズを通過し、2 つあるいは 4 つにわかれた光を検出器直前に並べた狭帯域フィルタを通して視野を分割して結像している。それらは、木星型惑星の大気のうちメタンの吸収のある波長とない波長で分けている。

これまで 2ch の SDI 法の場合、光の分かれた方向が、検出器の rolling shutter の読み出しの方向になっており、およそ 0.7 秒の時間差で speckle を見ていることが分かっていた。これを改良するためには、常温部の視野 (FOV) mask, プリズム、冷却カメラ内のフィルタマウントを z 軸 (光軸) を主軸として 90 度回転させる必要がある。冷却カメラ内のフィルタマウントは、フィルタホイールの形状が 180 度対称で、90 度対称で設計されていないので再製作の必要があった。

2ch の SDI ではそれ以外にも、検出器直前に並べられた近赤外線フィルタの”有効”径以外のところが、フィルタマウントによって正しくマスクされていないために、光の漏れ込みの問題があった。(flat 画像でも平坦ではなく、それぞれの分割視野のへりから漏れ込みがあった)。問題となった近赤外フィルタの”有効”径をある手法で精度よく測ることができた。それに基づきフィルタマウント再製作時に解決を図った。

2014 年 6 月に試験観測を行うことができたので、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](#)

## V241b FOCAS用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 進捗状況

尾崎忍夫、田中陽子、服部堯、宮崎聡、山下卓也、岡田則夫、福嶋美津広、三ツ井健司、大淵喜之、都築俊宏（国立天文台）

我々はすばる望遠鏡で稼働中の可視光撮像分光装置 FOCAS に搭載する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を行っている。この IFU は遠方銀河などの淡く広がった天体の観測を意識して以下のような特徴を有している。1) 反射面に高反射率誘電体多層膜ミラーを採用することで高いスループットを達成している。2) ベストシーイング程度の粗いサンプリングを採用することで、淡く広がった天体への感度向上を狙っている。3) 5.7 分角離れたスカイのスペクトルを天体データと同時に取得することで、スカイ引きの精度が上がると期待される。この IFU の視野は  $13.5 \times 9.2 \text{ arcsec}^2$ 、空間サンプリングは  $0.4 \text{ arcsec}$ 、スライス数は 23 である。スライサー IFU は光学素子の数が多く (FOCAS IFU では 69 面のミラー)、その製作手法が技術課題となっている。金属を超精密切削で複数ミラーを一体加工すれば、アライメント調整の手間を省け、かつ高いアライメント精度を達成できる。しかし上述の高反射率誘電体多層膜を切削金属表面に施すと、剥離しやすいという欠点がある。そこで FOCAS IFU ではガラスを研磨加工してスライサー等の光学素子を製作することにした。しかしこの場合、個々のミラーを個別に加工し、高い精度で組み合わせる必要がある。これまでスライスミラー等の光学素子やミラーホルダーの試作を行い、目標精度を達成できる見通しがたった (2012 年春季年会、2012 年秋季年会、2013 年春季年会)。現在は実機製作へ向けて製作を進めている。本講演ではそ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](#)

## V242b 中間赤外線高精度モニタリングに向けた TAO/MIMIZUKU 搭載 Field Stacker 機構の開発

内山允史, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 内山瑞穂, 岡田一志, 毛利清 (東大天文センター)、ほか TAO メンバー

我々が開発している TAO 望遠鏡用中間赤外線カメラ MIMIZUKU には、2 視野合成装置「Field Stacker」が搭載される。これは MIMIZUKU 上部の常温部に設置され、2 つの離れた視野を合成する装置である。Field Stacker は傾斜・直動・回転ステージを用いて 2 つのピックアップ鏡を任意の場所に移動、TAO 望遠鏡の  $\phi 25$  分角の視野の中から離れた 2 か所を取り出して視野合成鏡で合成し、1 つの検出器で同時観測することを実現する。

地上中間赤外線観測では大気透過率の時間変動により測光精度を保証することが難しく、これまでは顕著な時間変動しか議論できなかった。細やかな時間変動を議論するには高い測光精度を保証する必要があり、それには大気変動に左右されずに光度較正ができる、観測天体と参照星の同時観測が有効である。Field Stacker を用いた観測ではこれが可能となり、1%の測光精度を目指す。

測光精度の向上のためには、両視野のスループットの安定性が重要であり、これにはピックアップ鏡の制御の安定性が重要である。目標とする 1%の測光精度を実現するためのピックアップ鏡の制御精度を検討したところ、その指向角度に 0.02 度の精度が求められることが分かった。この要求が達成されることを確認すべく、実物の Field Stacker のピックアップ鏡の制御精度の評価を進めている。現状は水平時の傾斜ステージの精度評価試験を終えており、0.015 度以内の精度が達成されていることが分かった。

本講演では、各ステージの指向精度の測定結果とそれによって実現される測光精度について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V243a 点回折干渉計に用いるピンホール付きビームスプリッタの電磁波解析

今田大皓 (筑波大学), 松尾太郎, 木野勝, 山本広大 (京都大学)

鏡面測定や極限補償光学など、望遠鏡の開発、運用時の様々な場面で波面測定が行なれる。波面の測定方法には様々な方式が提案、実現されている。我々は中心のエアリー半径程度の領域で偏光特性の異なる偏光ビームスプリッタ (PBS) を用い、透過光と反射光を利用することで、1回の測定で効率よく波面情報を取り出す点回折干渉計 (PDI) を提案している (2013年秋季年会 V241a)。本講演では PBS の電磁波解析の結果を紹介する。

我々の提案する PDI は PBS を焦点面に置き、PBS の透過側と反射側で再構築された瞳上の干渉結果から PBS 通過前の瞳の波面情報を取り出す。PBS としてワイヤーグリッド (WG) を採用した。一般の WG は 1 方向にのみワイヤーを張っているが、ここで用いる WG は中心領域だけ周囲のワイヤーと直交するようにワイヤーを張った構造をしている。電磁場は FDTD 法によって計算した。ワイヤーの物性は金を仮定し、Drude モデルを通して解析プログラムに組み込んだ。SEICA に搭載することを想定し、波長 700 nm から 900 nm の可視光で解析を行った。

まず、無限に長いワイヤーが無限に並んだ WG に平面波を垂直入射させて、透過側と反射側の消光比が同程度になる WG の幾何学的なパラメータを探した。次に、選んだ幾何学的なパラメータを用いて、斜め入射したときの透過率、反射率、位相ずれを調べた。斜め入射の結果を用いることで、PSF と PBS 全体を再現した大規模計算をすることなく、PBS 通過後の PSF がどのような電磁場を持つか推測することができた。推測した電磁場をもとに瞳を再構築し、生じる誤差を検討した。ピンホールサイズの大きさ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](#)

## V244b モスアイ構造を用いた長波長中間赤外線高効率光学素子の開発

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 内山瑞穂, 岡田一志, 内山允史, 毛利清, 尾中敬, 左近樹 (東京大学), 今田大皓 (筑波大学), 中川貴雄, 和田武彦 (JAXA)

本研究では長波長中間赤外線 (波長 25–40  $\mu\text{m}$ ) 用の高効率のレンズ・グリズムの開発を進めている。光学素子の効率を向上させるには、素子表面の反射損失を抑える反射防止機構が重要である。我々はその反射防止の手段として、幅広い波長帯で高い反射防止効果を発揮する「モスアイ構造」に着目し、シリコン製のレンズ・グリズムにモスアイ構造を加工した「モスアイレンズ」・「モスアイグリズム」を開発している。

モスアイ構造は、微細な突起構造が規則正しく並んだ構造である。本研究では長波長中間赤外線の透過効率を最大化するよう、モスアイ構造の突起の高さを 17  $\mu\text{m}$ 、パターンピッチを 5  $\mu\text{m}$  に設定する。このモスアイ構造の形成には電子線リソグラフィ・反応性イオンエッチングを利用するが、レンズ・グリズムにモスアイ構造を加工するには、電子線リソグラフィを用いた金属マスク形成を曲面・階段面に適用できるかが課題であった。

レンズ曲面のモスアイ加工は、電子線描画の焦点位置を場所ごとに調整し、実現できた。また、モスアイ加工前後のレンズの焦点距離を評価したが、有意な焦点距離の変化は見られず、加工によるレンズの特性への影響が十分小さい事を確認できた。これらの結果を受け、平凸両面モスアイレンズ (有効径 33 mm; 焦点距離 188 mm) の開発に成功した。レンズの透過率を評価した結果、波長 25–45  $\mu\text{m}$  において透過率  $83\pm 5\%$  を達成していることがわかった。グリズム階段面のモスアイ加工は、電子線リソグラフィのレジストの塗布にスプレーコートを採用し、実現することができた。モスアイを形成する下地となるシリコングリズムについても、面精度の良いものを異方性エッチングで形成することができた。これらの結果を受け、両面モスアイグリズムの試作を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V245b 超精密切削加工を用いたイメージスライサー型 IFU の光学素子開発

北川 祐太郎 (東京大学), 山形 豊, 森田 晋也 (理化学研究所), 尾崎 忍夫 (国立天文台), 本原 顕太郎, 小西 真広, 高橋 英則, 舘内 謙, 藤堂 颯哉, 小早川大, 加藤 夏子 (東京大学)

銀河形成進化を理解する上で、物理量の空間分布と銀河内部の力学構造に関する情報を一度の露出で取得できる面分光は強力な観測手法となっている。面分光観測の重要性は年々増していき、それに伴う面分光装置の開発もまた重要な課題の1つである。

現在、東京大学天文学教育研究センターでは TAO 6.5m 望遠鏡の第1期観測装置である近赤外装置 SWIMS の開発を行っている (今年会 小西講演)。SWIMS では撮像・(多天体) 分光観測モードに加えて、新たに面分光観測モードの実装を目指しており、スリットマスクと同様に取り扱える小型・軽量の面分光ユニット (IFU) の光学設計がすでに完了している。

IFU 光学系は冷却環境下で運用されるため、支持構造と同じ金属材料 (*e.g.* アルミニウム 合金) でミラーを製作することが望ましい。一方でイメージスライサー型 IFU に用いられる光学素子は、複雑な形状を有したミラーアレイとなっており、それらの加工可能性と、要求される表面粗さ  $< 10 \text{ nm RMS}$ 、形状誤差  $< 0.1 \mu\text{m P-V}$  との両立は非常にチャレンジングな課題となっている。

本研究では、これらの課題を克服すべく近年発展が目覚ましい超精密切削加工に着目し、それによる製造可能性の検討を進めている。講演では特殊アルミニウム合金を用いた低温での形状評価の結果と、ダイヤモンド R パイトを用いた IFU ミラーアレイの製作状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V246b 半導体光増幅素子 MPPC を用いたパルサーの高時間分解観測装置の開発

中森健之, 小松未侑, 小島圭貴, 郡司修一, 柴田晋平 (山形大), 谷津陽一 (東工大), 木坂将大 (KEK), 寺沢敏夫, 田中周太, 三上諒 (ICRR)

回転駆動型の中性子星パルサーは宇宙の発電機とも呼ばれる非常に効率の良い加速器であるが、粒子加速機構など放射を担う根本的なことが未だ決定的でない。パルサーの可視光観測は、電波はもとより X 線やガンマ線に比べて非常に少なくその数は 10 例程度である。可視・赤外領域のパルス形状は、パルサー磁気圏の放射領域に制限をつけることができる強力なプローブとなるだけでなく、ジャイアントパルスという突発的な電波の増光現象と可視光の同期を調べることで、その発生機構への手掛かりになるとも期待されている。可視・赤外の観測に用いられる CCD は天体からの光を時間積分して読み出しを行うため時間分解能に限界があり、せいぜい数ミリ秒程度に留まっており、詳細なタイミング解析が難しい状況にある。

我々は 1 光子を検出する能力をもつ半導体光センサ「Multi Pixel Photon Counter (MPPC)」を採用した。MPPC はガイガーモードで動作する内部増幅機能と 1 ns を切る時間分解能をもつため、従来の CCD と同程度のサイズにセンサ全体を抑えながら光子到来時刻を高い精度で取得することができる。一方で MPPC には信号と同期・非同期の偽信号を確率的に出力する欠点があるが、パルサーの信号は周期的であるため S/N を向上させることができる。我々はペルチェ素子で冷却した MPPC 素子を口径 35 cm のシュミット・カセグレン望遠鏡の焦点面に搭載し、GPS による  $1 \mu\text{s}$  以下の時刻精度で光子到来時刻を記録するシステムを開発した。本公演ではシステムの詳細と、カニパルサー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](#)

## V247a TMT 計画の進捗報告

家正則、臼田知史、山下卓也、青木和光、宮下隆明、Chapman 純子、神津昭仁、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)

2014年5月6日に自然科学研究機構(国立天文台)、中国国家天文台、カリフォルニア大学、カリフォルニア工科大学が主協定書等に正式署名して、設立したTMT国際天文台は、マウナケア山頂域の建設予定地をハワイ大学から転貸借する件について、7月25日にハワイ州天然土地資源局により正式な承認を得た。これを持って全ての法的手続きが完了し、9月中旬から建設予定地への取り付け道路の予備建設を開始した。10月7日には各国代表など約100名を招き、建設予定地で起工式を行った。当日は、一部反対派の抗議行動があったが、現地伝統の儀式に則り、現地司祭による祈りが捧げられた。インド科学技術省は12月2日に署名を行いTMT国際天文台5番目の正式メンバーとなった。各メンバーからの2014年分の納入金により、本格的現地工事開始の準備を進め、各メンバーの役割分担の具体化と全体スケジュールの最適化などを進め、プロジェクトのリスクマネージメントに努めている。2014年度は日本としては建設9年計画の2年目にあたり、望遠鏡本体構造の詳細設計、主鏡の量産を進めた。プロジェクトの国際状況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](#)

## V248a TMT 計画 – 超大型望遠鏡本体の詳細設計

白田知史、稲谷順司、寺田宏、杉本正宏、家正則、山下卓也、小杉城治、神津昭仁、他 (国立天文台 TMT 推進室)、Kyle Kinoshita、Larry Stepp、Mark Sirota、Amir Sadjadpour、Scott Roberts、Hugh Thompson、John Rogers、Ravinder Bhatia 他 (TMT Project)

TMT (Thirty Meter Telescope) は、日本が国際協力を実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。日本は望遠鏡本体構造とその駆動制御システムの製作を担うため、2011 年度から基本仕様に基づく概念設計、2012 年度から基本設計・検討を開始した。2014 年春季年会では、望遠鏡本体の機械構造に対する基本設計の国際審査会について報告した。2014 年度は、4 月 15–16 日に望遠鏡制御系の基本設計審査会、11 月 18–20 日に主鏡セグメント鏡を交換するセグメント・ハンドリング・システム (SHS) の基本設計審査会を実施し、全ての基本設計審査に合格し、詳細設計フェーズに移行した。現在のスケジュールでは、2015 年度より望遠鏡本体構造の一部について製造を開始する予定である。2014 年度の主な特記事項としては、以下の通りである：

- (1) 要求仕様に適う望遠鏡本体構造の設計の最適化、
- (2) 機械構造部、特に主鏡セルのプロトタイプ製造による、溶接による変形・内部歪み等の検証、
- (3) SHS プロトタイプ製造によるコンプライアンス制御の検証、
- (4) 主鏡、副鏡、第三鏡、観測装置等との機械インターフェースの検討、
- (5) 望遠鏡本体の輸送および組み立て場所の現地調査など

講演では、その結果について進捗内容を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V249a TMT 計画 - 主鏡フルサイズセグメントの量産工程開発

山下卓也, 家 正則, 白田知史, 高見英樹, 青木和光, 柏川伸成, 寺田 宏, 宮下隆明, 鈴木竜二, 稲谷 順司, 橋本哲也, 尾崎 忍夫, 神津昭仁, 他 (国立天文台・TMT 推進室)

国立天文台が参加している TMT(Thirty Meter Telescope) は、単一鏡の主鏡を持つすばる望遠鏡とは異なり、対角長約 1.44m の 6 角鏡を 492 枚組み合わせる主鏡を構成する分割鏡望遠鏡である。日本はその貢献の一部としてこの分割鏡 (主鏡セグメント) の製作を担当している。

平成 25 年度予算において主鏡セグメントの非球面研削の量産が認められて一部量産を開始し、平成 26 年度は本格的に量産を行っている。主鏡セグメントの加工工程は、球面研削・非球面研削・非球面研磨・外形加工・専用支持機構への搭載、と多くの工程に分けられるが、現在量産を行っているのは非球面研削加工までである。今後の非球面研磨加工以降の工程の量産の開始に向けて、本年度はその量産工程の確立を行った。過去に行った主鏡セグメントの試作では、小さい研磨パッドを計算機制御する非球面研磨法を用いてきたが、量産では加工時間とコストの削減が見込める曲げ研磨法 (非球面量に相当する分だけ鏡材を曲げてから球面研磨し、曲げを解放することで非球面形状を作る) を採用することとした。本講演では、非球面研削までの量産の進捗と曲げ研磨工程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](#)

## V250a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

田越秀行 (大阪大学), KAGRA 共同研究者

重力波の直接検出を目指して、アメリカ、ヨーロッパ、そして日本で次世代のレーザー干渉計型重力波検出器が現在建設されている。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、および国立天文台の3機関が中心となって、国内外あわせて60以上の大学、研究機関の協力のもと推進されている。KAGRA は基線長 3km のレーザー干渉計型重力波検出器であり、これを設置するため、現在岐阜県飛騨市神岡町池の山の地下約 200m の深度に L 字型のトンネルが建設され、この夏までに完成した。KAGRA の設置場所は地上に比べて地面振動が 1/100 ほどの低振動環境である。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ことを大きな特徴とする。さらに光学系を多段の振り子で防振することにより、地面振動を避ける設計となっている。

KAGRA はまず 2015 年 12 月頃に iKAGRA(initial KAGRA) という構成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 年度末から本格的な検出器として観測を開始し、重力波検出器のグローバルネットワークの仲間入りを果たす予定である。KAGRA は予定通りの性能を発揮すれば、中性子星連星合体重力波を年に数回検出し、また、我々の銀河系とその近傍で起こる重力崩壊型超新星爆発からの重力波を検出できる見込みである。本講演では、重力波検出によるサイエンスを目指したデータ解析を含む 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](#)

## V251a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 V

阿久津 智忠 (国立天文台), 齋藤 芳男 (東大宇宙線研), Simon Zeidler (国立天文台), 片山 純子 (お茶大), 麻生 洋一 (国立天文台), 榊原 裕介 (東大宇宙線研), 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, Raffaele Flaminio (国立天文台), ほか KAGRA 補助光学系グループ

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、バッフルの配置やバッフル本体はもとより、バッフル表面の素材などについて設計開発を行っている。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](#)

## V252a 重力波検出器の方向決定精度

大石奈緒子 (宇宙線研究所)

欧米の重力波検出器；アメリカの LIGO (ルイジアナ州、ワシントン州)、ヨーロッパの VIRGO (イタリア) は現在感度向上のための改修中である。重力波の振幅は距離に反比例するので、この改修により検出器の感度が 10 倍になれば、重力波の観測可能距離が 10 倍伸び、観測可能な距離内の天体数は 1,000 倍になる。検出確率が 1,000 倍になると、これまで 100 年に 1 度であった重力波の検出確率が 1 年に 10 回になる、という予測から「重力波の初検出が近い」と言われている。

重力波は透過性が高く、その検出器は電磁波の望遠鏡に比べて広い範囲に感度があるが、現在主流のレーザー干渉計型重力波検出器は上下方向にもっとも高い感度を持つ。このため、LIGO、VIRGO、KAGRA (神岡) はそれぞれ天球上で感度の良いところが補完し合う。

有力な重力波源候補として、中性子星連星の合体や近傍超新星が考えられているが、重力波を出した天体現象を同定するためには、電磁波でのフォローアップ観測が重要である。重力波検出器は、単体では波源の方向を指定することができず、複数の検出器で受けた信号を使って方向を推定する。推定できる波源の方向精度はよく知られているようにあまり高くないが、同定にかかる時間を短縮するために、近傍銀河のリスト作りなどの取り組みも進んでいる。

本講演では、以上について概説し、重力波の信号からどのように電磁波フォローアップ観測を行うことができるかについて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V253a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (8)

手嶋政廣 (東大宇宙線研), 窪秀利 (京都大学), 戸谷友則 (東大理), 井岡邦仁 (KEK 素核研), 田島宏康 (名大 STE 研), 林田将明 (東大宇宙線研), 山本常夏 (甲南大理工), 吉越貴紀 (東大宇宙線研), 吉田龍生 (茨城大理), 他 CTA-Japan Consortium メンバー

CTA (Cherenkov Telescope Array) は次世代の国際宇宙ガンマ線天文台であり、従来に無い感度と精度で 20GeV から 100TeV を超える全天からの超高エネルギーガンマ線を観測する。1000 を超える多種多様な天体を銀河系内、銀河系外に観測し、高エネルギー宇宙物理・非熱的宇宙の研究を飛躍的に発展させる。銀河系内の全ての超新星残骸をサーベイし、銀河宇宙線の起源を明らかにし、銀河系外の観測においては、活動銀河核、ガンマ線バーストを宇宙論的な距離まで観測し、超高エネルギーガンマ線の地平線を大きく広げる。また、銀河中心領域、また矮小楕円銀河に暗黒物質対消滅からのガンマ線を探索する。CTA のサイエンスは、宇宙物理から基礎物理まで大きな広がりをもつ。プロジェクトの現状として、過去、3年間の Design Study、4年間の Preparatory Phase を終了し、2015 年より pre-production phase に入っている。2015 年よりサイトの準備を開始し、2016 年より装置建設が開始する。本講演では、国内外での CTA 計画の準備状況について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## V254a CTA 大口径望遠鏡の分割鏡開発 (7)

長紀仁, 小野祥弥, 加賀谷美佳, 片桐秀明, 柳田昭平, 吉田龍生 (茨城大理), 手嶋政廣 (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 荻野桃子, 小島拓実, 斎藤浩二, 中島大輔, 花畑義隆, 林田将明, 深見哲志 (東大宇宙線研), 奥村暁 (名大 STE 研, レスター大), 千川道幸 (近畿大理工), 野田浩司 (Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 山本常夏 (甲南大理工), 齋藤隆之 (京大理), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、大中小と口径の異なる大気解像型チェレンコフ望遠鏡数十台からなる大規模望遠鏡群により、高エネルギーガンマ線観測を行う国際共同実験である。日本は主に大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope : LST) の開発を行っている。LST の主鏡は 23 m という口径を六角形の対辺が 1.51 m の球面分割鏡を約 200 枚使用することで実現する。それぞれの分割鏡の結像性能は、焦点距離  $f$  (28 m - 29.2 m) で光量の 80 % が収まるスポット直径が 15 mm 以下という要求を満たす必要がある。従来、宇宙線実験用の球面鏡の性能を評価する場合、曲率半径 ( $=2f$ ) の中心に光源と検出器を置き、直接スポットサイズを測るという  $2f$  法が行われてきたが、LST の分割鏡では 56 m の距離を確保できるスペースが必要となる。そこで、コンパクトなスペースで鏡面形状も測定することができる Phase Measuring Deflectometry (PMD) と呼ばれる方法を主に採用している。現在は PMD 法の精度評価をするために  $2f$  法の結果との比較を行っており、焦点距離の評価ではほぼ一致した結果が得られている。また、自重による鏡の変形によって歪む光学系を個々の鏡を制御することで正しく焦点化させるアクティブ・ミラー制御システム (AMC) の開発や鏡筐体の試験なども進められている。

本講演では、分割鏡の性能評価の現状について主に報告し、またその他の開発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](#)

## V255a CTA 大口径望遠鏡用 PMT の性能評価と較正試験報告

松岡俊介, 小山志勇, 寺田幸功, 永吉勤 (埼玉理), 猪目祐介, 山本常夏 (甲南大理), 梅津陽平, 櫛田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 大岡秀行, 荻野桃子, 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) 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明 (茨城理), 窪秀利 (京大理), 郡司修一 (山形大理), 澤田真理, 坪根善雄, 馬場彩 (青山大理), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画とは 20 GeV から 100 TeV 以上のガンマ線を地上の大気チェレンコフ望遠鏡を用いて従来より 10 倍以上の感度で観測する、29 カ国からなる国際協力計画である。CTA 計画では大中小 3 種類の口径からなる望遠鏡を用いて観測を行い、日本は低エネルギー側の観測を担う大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope;LST) の開発に貢献している。

LST の焦点面検出器は 1 台あたり 1855 本の光電子増倍管 (Photomultiplier Tube;PMT) で構成される。LST は全 8 台建設予定であり、多量の PMT の性能検査を十分な精度かつ効率よく進める必要がある。我々はこれまで LST 初号機に用いる約 2000 本の PMT の較正試験システムを構築し (永吉ら 2014 年秋季年会)、各 PMT のゲイン、HV 依存性、パルス幅、アフターパルス発生確率といった諸特性の調査を行ってきた。12 月 8 日現在で約 800 本の測定を終えており、それらの結果から LST 初号機用 PMT の諸特性の分布の調査を行っている。またこれまで LST 用 PMT の磁場応答の詳細な測定がなされていなかったため、今回新たに PMT の性能評価として増幅率の磁場に対する依存性を調べた。その結果、地磁気の 2 倍ほどの磁場中てもゲイン変化は 1 % 以下であり CTA の要求値を満たしていること確認した。

本講演では、PMT 較正試験の試験結果及び、上記の性能評価についての報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【W1. 飛翔体観測機器 (X線・線)】

3月20日(金)午前(09:30-11:30) [H会場]

W101a	09:30	ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状 FM の完成 中澤知洋 (東京大学)
W102a	09:42	ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の開発の現状 村上弘志 (東北学院大学)
W103a	09:54	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XIII 辻本匡弘 (宇宙航空研究開発機構)
W104a	10:06	ASTRO-H 搭載 SXS 較正用 $^{55}\text{Fe}$ X 線源の絶対強度測定 倉嶋 翔 (首都大学東京)
W105a	10:18	ASTRO-H SXT 用反射鏡の金の L 吸収端付近の反射率測定 菊地直道 (首都大学東京)
W106a	10:30	ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の搭載品を用いた軌道上環境での動作検証 枝廣育実 (広島大学)
W107a	10:42	ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の搭載品を用いた地上較正試験による性能評価 内田悠介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
W108b	10:54	SMBH の進化解明をめざす FFAST 衛星計画の現状 常深 博 (大阪大学)
W109b	10:54	FFAST 搭載硬 X 線カメラ用 SD-CCD 素子に対する陽子照射実験の報告 今谷律子 (大阪大学)
W110b	10:54	FFAST 衛星搭載硬 X 線カメラの軌道上性能評価用シミュレータの開発 穴吹直久 (大阪大学)
W111b	11:06	反同時計数型 X 線 CCD 素子の、モンテカルロシミュレーションを用いた性能評価 近藤恵介 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
W112b	11:06	空間的反同時計数によるバックグラウンド除去を目指した X 線 CCD 検出器の性能検証実験 甲斐晋二 (東京工業大学/宇宙航空研究開発機構)
W113b	11:06	電荷交換反応由来の X 線検出を目指した地上分光システムの構築 星野晶夫 (立教大学)
W114b	11:18	PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発: バックグラウンド成分とパッシブターゲット 林田 清 (大阪大学)
W115b	11:18	電子飛跡検出型コンプトンカメラが持つ MeV ガンマ線偏光撮像能力の検証 谷森 達 (京都大学)
W116b	11:18	MAXI/SSC のデータを用いた天体カタログ 富田 洋 (宇宙航空研究開発機構)
W117b	11:30	すざくソースカタログの開発 海老沢 研 (宇宙航空研究開発機構)

3月20日(金)午後(13:30-15:30) [H会場]

W118a	13:30	Suzaku/WAM で観測されたガンマ線バーストの数値計算による到来方向決定とスペクトル解析の系統誤差 藤沼 洸 (埼玉大学)
W119c		硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライトへ向けて 高橋弘充 (広島大学)
W120a	13:42	超小型衛星 TSUBAME の打ち上げと運用 栗田 真 (東京工業大学)
W121a	13:54	CALET ガンマ線バーストモニター開発の現状報告 5 瀬沼一真 (青山学院大学)
W122a	14:06	小型衛星用ガンマ線バーストの硬 X 線偏光計の開発と現状 中森健之 (山形大学)
W123a	14:18	X 線偏光観測衛星 PRAXyS 玉川 徹 (理化学研究所)
W124a	14:30	PRAXyS 衛星搭載に向けた光電効果型ガス偏光計の性能評価 窪田めぐ (理化学研究所/東京理科大学)
W125a	14:42	SPring-8 によるマイクロパターンガス偏光計の詳細な性能評価 北口貴雄 (理化学研究所)

(次頁に続く)

## 【W1. 飛翔体観測機器 (X線・線)】

---

<b>W126a</b>	14:54	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)
<b>W127a</b>	15:06	ダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡の大口径反射鏡開発	馬場崎康敬 (名古屋大学)
<b>W128a</b>	15:18	TES 型 X 線マイクロカロリメータアレイの周波数分割読み出しの開発現状	酒井和広 (宇宙航空研究開発機構)

---

3月21日(土) 午前(09:30-11:30) [H会場]

---

<b>W129a</b>	09:30	ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 (4)	米徳大輔 (金沢大学)
<b>W130a</b>	09:42	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 (2)	吉田和輝 (金沢大学)
<b>W131a</b>	09:54	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	森 浩二 (宮崎大学)
<b>W132a</b>	10:06	NGHXT で狙うブラックホールのサイエンス	上田佳宏 (京都大学)
<b>W133c</b>		NGHXT で狙う超新星残骸のサイエンス	馬場 彩 (青山学院大学)
<b>W134a</b>	10:18	NGHXT に搭載する広帯域 X 線撮像分光器	鶴 剛 (京都大学)
<b>W135a</b>	10:30	次世代衛星搭載 CCD 高速低雑音処理 ASIC の開発	中嶋 大 (大阪大学)
<b>W136a</b>	10:42	炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発	前島将人 (名古屋大学)
<b>W137a</b>	10:54	補償光学望遠鏡の改良	北本俊二 (立教大学)
<b>W138a</b>	11:06	鉄 $K\alpha$ 線エネルギー帯における大有効面積 X 線望遠鏡の開発	吉川 駿 (名古屋大学)

---

## W101a ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の現状 FM の完成

中澤知洋 (東大理)、国分紀秀 (ISAS/JAXA)、佐藤悟朗 (早大理工)、川原田円、佐藤理江、渡辺伸、高橋忠幸、太田方之、小高裕和、武田伸一郎、原山淳 (ISAS/JAXA)、斉藤新也 (立教)、湯浅孝行 (理研)、谷津陽一 (東工大)、内山秀樹 (静岡大教)、田島宏康、山岡和貴 (名大 STEL)、深沢泰司、水野恒史、大野雅功、高橋弘充、勝田隼一郎 (広大理)、寺田幸功 (埼玉大)、牧島一夫 (東大理)、片岡淳 (早大理工)、野田博文 (理研)、榎戸輝揚 (理研/GSFC)、田中孝明 (京大)、内山泰伸 (立教)、中森健之 (山形大理)、Olivier Limousin、Philippe Laurent、Francois Lebrun (CEA Saclay)、櫻井壮希、笹野理、中野俊男、小林翔悟、村上浩章、小野光、加藤佑一、三宅克馬、古田祿大、室田優紀 (東大理)、萩野浩一、桂川美穂 (ISAS/JAXA)、古井俊也、枝廣育実 (広大理)

ASTRO-H 硬 X 線イメージャ(HXI) は、焦点距離 12 m の多層膜スーパーミラーとの組み合わせで、 $9'.2 \times 9'.2$  の視野と  $1'.8$  角 (HPD) の撮像精度をもち、5–80 keV を 1 ~ 2 keV (FWHM) で分光する撮像分光検出器である。イメージャは 4 層のシリコンと 1 層の CdTe 半導体で作られた両面ストリップ検出器で構成される。これを BGO アクティブシールド 9 ユニットで囲むことで、検出器バックグラウンドを下げている。2014 年末現在、HXI の 2 台の衛星搭載品 (Flight Model : FM) の製造は終わり、環境試験、機能試験および性能試験を進めている。これまでに、HXI1-S、HXI2-S とともにイメージャもシールドも予定通り読み出せていることが確認されている。先行する HXI2-S は詳細な低温試験、熱真空試験も終了し、環境試験も突破した。放射線源を用いた測定により、Mn-K $\alpha$  の 5.9 keV X 線から  $^{241}\text{Am}$  の 60 keV までの帯域で、要求を満たす分光性能と、撮像能力を実証した。現在、HXI1-S を鋭意試験するとともに、あわせて解析ソフトの開発と検出器応答関数の較正を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W102a ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の開発の現状

村上弘志（東北学院大学）、常深博、林田清、穴吹直久、中嶋大、薙野綾、上田周太朗（大阪大学）、堂谷忠靖、尾崎正伸、富田洋、夏苺権、木村公（ISAS/JAXA）鶴剛、田中孝明、信川正順、内田裕之（京都大学）、廿日出勇、山内誠、森浩二、西岡祐介（宮崎大学）、幸村孝由（東京理科大学）、平賀純子（東京大学）、馬場彩（青山学院大学）、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) の開発を進めている。空乏層厚  $200 \mu\text{m}$  を有する裏面照射型 CCD 素子を採用し、 $0.4\text{-}12\text{keV}$  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  $2 \times 2$  のモザイク状に配置することで、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。

現状では、CCD素子、カメラボディをはじめとする各コンポーネントのFMが揃い、サブシステムとしての機能性能試験も一通り終了した。その結果、読み出しノイズや冷却性能等が目標を達成できていることが明らかになった。これをもって、今後は衛星に搭載されシステム全体の試験に臨むことになる。本発表では、以上のような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](#)

W103a

## ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XIII

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 (首都大), 田代信, 寺田幸功, 瀬田裕美 (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 4 K 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。前年会までは、エンジニアリングモデルの検証試験結果を報告した。打上げを来年度に控え、いよいよフライトモデル (FM) を用いたサブシステムレベルの試験を開始している。2014 年 9-11 月にはデュワ及び検出器部の FM を用いて機能・性能試験を行い、サブシステム内で性能を劣化させる事象を洗い出した。同年 12 月から、これらの事象の原因理解・対策を進めると共に、環境試験を行う。また、エレキも順次 FM 品を投入し、サブシステムの完成を目指す。本講演ではそれらを含めた開発の現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W104a ASTRO-H 搭載 SXS 較正用 $^{55}\text{Fe}$ X 線源の絶対強度測定

倉嶋翔 (首都大学東京), 竹井洋, 飯塚亮 (ISAS), 菊地直道, 佐藤寿紀 (首都大学東京), 林多佳由, 前田良知, 石田學 (ISAS)

X 線天文衛星 ASTRO-H には精密軟 X 線分光装置 SXS (Soft X-ray Spectrometer) が搭載される。SXS は 0.3-12keV の X 線に対し  $\Delta E < 7$  eV の高分解能を誇る。その高分解能を活かすために衛星打ち上げ後の軌道上でエネルギー較正を正確に行う必要がある。そのため SXS には  $^{55}\text{Fe}$  の較正用 X 線源が搭載されている。その絶対強度は SXS の検出器にパイルアップを起こさせない  $3 \times 10^5$  photon/sec/str で設計されているが、メーカーの実測では強度が  $\sim 2 \times 10^5$  photon/sec/str ほどで設計値よりも 30%ほど低いことが示唆されていた。SXS 較正用 X 線源の強度を正確に測定するために、今回は ASTRO-H 搭載 X 線望遠鏡の地上較正試験などで実績のある宇宙科学研究所 X 線ビームラインで絶対強度と、強度の入射角依存性の測定を行った。

較正用 X 線源はフライトモデルが 5 つ、予備が 1 つ、合計 6 つである。これらの絶対強度を評価するため、検出器にはその性質がよくわかっている比例計数管を採用した。はじめに較正用 X 線源の強度が最大となる位置に検出器を移動させて正対位置を決定し、その位置で強度測定を行った。続いてその強度に対して、検出器の検出効率や大気中の X 線透過率などの補正を施し、絶対強度を算出した。6 つの線源のうち 1 つは強度の入射角依存性と正対位置での強度を真空中で測定したが、線源の形状が同じであり正対位置は線源に依らないと考え、ほかの線源では正対位置での強度測定のみを大気中で行った。また真空中で測定した線源も大気中で測定し、真空中の測定結果と合うか確かめ、大気中の測定でも強度が正しく得られることを確認した。その結果、6 つの線源の絶対強度が  $(3.0 - 3.7) \times 10^5$  photon/sec/str となり、設計値と同程度の絶対強度を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W105a **ASTRO-H SXT用反射鏡の金のL吸収端付近の反射率測定**

菊地直道, 佐藤寿紀, 倉嶋翔 (首都大学東京), 石田學, 前田良知, 飯塚亮, 林多佳由 (ISAS/JAXA), 岡島崇 (NASA/GSFC), 佐治重孝, 立花献, (名古屋大学), 宇留賀朋哉, 新田清文 (JASRI/SPring-8), ほか measurements collaborations

次期 X 線天文衛星 ASTRO-H には、0.3-15 keV までの X 線の集光を担う軟 X 線望遠鏡 (SXT) が 2 台搭載される。金を薄く成膜した反射鏡を多数積層し、入射 X 線を反射させることで焦点面への集光を可能にしている。この SXT の応答関数には、反射率を再現するための光学定数が組み込まれている。しかし、薄膜状態の光学定数はバルク状態と一般的に異なるため、SXT 用反射鏡の反射率測定で得られる光学定数を、応答関数に組み込まなければならない。また、SXT の内 1 台は、 $\Delta E < 7$  eV というエネルギー分解能を誇る X 線カロリメータ (SXS) と組み合わせられる。このエネルギー分解能に対応できる反射率の構造を、正確に把握する測定の必要性もある。

この目的のため、SPring8 BL01B1 に SXT 用反射鏡を持ち込み、SXS の検出感度のある Au L 吸収端付近 (11-15 keV) で、詳細な反射率測定を行った。このビームラインは高輝度で、2 結晶分光器で単色化された X 線を照射することができる。その速報を 2014 年秋季年会に行った。しかし、吸収端付近の吸収微細構造が見える程度の詳細な反射率データは得られたものの、精度不足は明らかであった。そこで、検出器の光子計数の系統誤差を抑え、統計を稼ぐため分光器に集光ミラーを配すなど改善を行い、今年 10 月に再測定を実施した。Au L 吸収端付近を 0.3-0.7 eV ピッチと細かく X 線エネルギーを変え、入射角も変えることで反射率データを得た。結果、反射率の吸収端の深さが、Henke 1993 に対し ~60 %程度小さくなることが分かった。

本講演では今回得られた結果を踏まえ、Henke 1993 の光学定数との比較、考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W106a **ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の搭載品を用いた軌道上環境での動作検証**

枝廣育実, 古井俊也, 河野貴文, 白川裕章, 大野雅功, 高橋弘充, 水野恒史, 田中康之, 深沢泰司 (広大理), 渡辺伸, 太田方之, 武田伸一郎, 小高裕和, 林克洋, 一戸悠人, 内田悠介, 桂川美穂, 高橋忠幸 (ISAS/JAXA), 山岡和貴, 木下将臣, 田島宏康 (名大 STEL), 村上浩章, 中澤知洋 (東大理), 内山秀樹 (静岡大教), 他 HXI/SGD チーム

ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) のセンサー部 (SGD-S)1 台は、3つのコンプトンカメラを1組とする主検出部と、25本のBGOアクティブシールドなどから構成される。主検出部ではコンプトン運動学を用いて到来方向に強い制限を与え、アクティブシールドとの反同時計数機能によりバックグラウンドを除去する。

軌道上の環境での動作チェック、および、 $-20^{\circ}\text{C}$ 程度での長期動作確認や性能評価のために、2014年11月-2015年1月にかけて、SGD2台について空気中での低温動作試験と真空中での熱真空試験を行っているところである。これらの試験は初めて衛星搭載品であるSGD-Sを用いた試験であり、信号処理回路も前段部は搭載品を用いている。低温試験は約1週間かけて行い、回路パラメータの最適化、各種線源によるエネルギーキャル、バックグラウンド取得、軌道上オペレーション模擬を行った。熱真空試験では、軌道上での熱入力出力を模擬した熱バランス試験も兼ねている。本講演では、これらの試験データを用いて、長期ライトカーブ、データレート、フラグ情報のパターン、バックグラウンド除去、トリガーレベルなどを調べ、搭載品の動作検証をどのように行ったのかを中心に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W107a **ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の搭載品を用いた地上較正試験による性能評価**

内田 悠介, 渡辺 伸, 太田 方之, 武田 伸一郎, 林 克洋, 小高 裕和, 一戸 悠人, 桂川 美穂, 高橋 忠幸 (ISAS/JAXA), 木下 将臣, 田島 宏康, 山岡 和貴 (名大 STE 研), 河野 貴文, 古井 俊也, 枝廣 育実, 白川 裕章, 深沢 泰司, 水野 恒史, 高橋 弘充, 大野 雅功, 田中康之 (広大理), 村上 浩章, 中澤 知洋 (東大理), 内山秀樹 (静岡), 他 HXI/SGD チーム

軟ガンマ線検出器 (SGD) は、2015 年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載される検出器の 1 つで、60 – 600 keV の帯域を過去最高感度で観測することを目的とした分光観測器である。SGD は、Si/CdTe 半導体ピクセル検出器を積層したコンプトンカメラ (CC)、ファインコリメータ、BGO シンチレータを使用したアクティブシールドからなる。高感度観測の実現のためには、アクティブシールドによるバックグラウンド除去だけでなく、CC のコンプトン再構成を使用したバックグラウンド除去が欠かせない。

2014 年 12 月に衛星搭載品である SGD1 号機の  $-20^{\circ}\text{C}$  での低温試験、熱真空試験を行った。今回初めて、アクティブシールドと CC 3 台を組み上げ、同時動作試験および軌道上での運用模擬が行われた。これまでも CC の試作機単体での試験は行われてきており、コンプトン再構成によるバックグラウンド除去について検証されてきた。コンプトン再構成によるバックグラウンド除去を精度よく行うためには、検出器に落とされたガンマ線のエネルギーを正しく知る必要がある。その為、CC1 台につき 13312 に上る読み出しチャンネルそれぞれに対し、テストパルスを用いたエネルギー較正曲線を作成した。本講演では、これらの試験で得られた、地上でのバックグラウンド・線源測定データの詳細な解析による検出器部の性能について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W108b SMBH の進化解明をめざす FFAST 衛星計画の現状

常深 博 (阪大理)、國枝秀世 (名大理)、河野 功 (JAXA)、他 FFAST プロジェクトチーム

巨大ブラックホールと銀河との共進化の解明を目指す FFAST プロジェクトの現状の概観を述べる。つぎに、この観測目的をよりよく実現する方策についての研究結果も報告する。FFAST は人工多層膜を利用したスーパーミラーと CCD をベースに開発した SDCCD とをそれぞれ独立した小型衛星に搭載し、編隊飛行 (FF) 技術を利用し、低高度地球周回衛星で軌道望遠鏡を成立させ、これまでにないエネルギー領域を高い精度で広い領域を観測する計画である。工学的には世界で初めて編隊飛行による X 線望遠鏡システムを実現し、理学的には 10 ~ 80 keV の領域で、広い領域にわたり隠れたブラックホールの発見を始めとする精密な観測に挑戦する。

宇宙技術先進国を目指す我が国の FF 技術は、1998 年に、世界最高性能のランデブー・ドッキング及び FF 技術の軌道上実証に成功、その制御精度は世界トップレベルである。FFAST では、一方の衛星に搭載した焦点距離 12m の望遠鏡の焦点面に、もう一方の衛星に搭載した検出器の中心を保持し、その制御精度は距離方向 10cm、LOS 角方向 10 秒角 (4mm) である。FF により X 線望遠鏡システムを実現する場合、両衛星間の相対軌道によりその観測方向と走査方向が規定される。特定の天体を観測し続けるためには、常時燃料を消費する慣性指向 FF が必要である。また両衛星がケプラー軌道に留まるという条件の下に、アロングトラック軌道 FF、レコード盤軌道 FF の 2 種類が可能になる。FFAST では、これら 3 種類の FF 技術を組合せて、ミッション期間を通じて広域の走査観測と、効率的な集中観測とを両立させる。こうして、NuSTAR の走査範囲よりも一桁広い 100 平方度程度の領域を集中観測し、Swift 衛星の全天観測結果よりも一桁暗い天体まで検出する。FFAST の観測装置技術は ASTRO-H のそれと共有する部分が多く、FF 制御を含め、十分に確立した技術に基づいていると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W109b FFAST 搭載硬 X 線カメラ用 SD-CCD 素子に対する陽子照射実験の報告

今谷律子、中嶋大、穴吹直久、井上翔太、薙野綾、上田周太郎、常深博 (大阪大学)、北村尚、内堀幸夫 (放医研)

FFAST 計画は、編隊飛行する二つの衛星がそれぞれ望遠鏡と焦点面検出器を搭載して一つの集光系を形成し、硬 X 線帯域での広天域高感度観測を行う。これにより、強い吸収を受けた活動銀河核を検出し、ブラックホール進化史の解明を目指す。

イメージセンサには、従来型 X 線 CCD に柱状 CsI を接着した SD-CCD (Scintillator Deposited CCD) を用いる。その軌道上における放射線損傷として、CCD 部分の電荷転送効率の劣化以外に、CsI 部分の放射化の影響を精密に測定しておく必要がある。そこで我々は放射線医学総合研究所 HIMAC を用いて、陽子線 100MeV を SD-CCD に照射した。フルエンスは FFAST の予定投入軌道 (高度約 500km の低高度地球周回軌道) 上での相当時間にして 0.3yr、1.0yr、3.0yr 分である。軌道上でのアニーリング効果を見積もるため、照射照射から数時間後、さらに室温放置後約 100 時間の時点で ノイズ性能、エネルギー分解能を比較した。

その結果、動作温度 -70 で照射前それぞれ 170eV (FWHM) @ 6keV だったエネルギー分解能が照射直後で 199eV と劣化を確認したが、その後 190eV となり、軌道投入 3 年後においても十分な高性能を有することが確かめられた。本講演では、室温放置後の性能の時間変化も含め、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](#)

## W110b FFAST 衛星搭載硬 X 線カメラの軌道上性能評価用シミュレータの開発

穴吹直久, 吉田浩晃, 今谷律子, 薙野綾, 中嶋大, 上田周太郎, 常深博 (大阪大学), 尾崎正伸, 小高裕和, 佐藤有 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広島大学), 北村尚, 内堀幸夫 (放医研)

FFAST プロジェクトでは、人工多層膜を利用したスーパーミラーと硬 X 線カメラ (HXC) を小型衛星 2 機にそれぞれ搭載し、編隊飛行により硬 X 線望遠鏡を形成させることで、10 keV から 80 keV のエネルギー領域で塵に深く埋もれた巨大ブラックホールを探索するなどの精密観測を目指す。

FFAST/HXC は ASTRO-H/SXI をベースとして開発し、さらに、センサ部分の X 線 CCD に CsI(Tl) シンチレータを光学的に接着した SD-CCD を採用することで検出エネルギー範囲を 100 keV まで広げている。一方で、観測天体からの X 線光子はエネルギーが高くなるほど減少するため、検出器固有のバックグラウンド (NXB) を低減することが不可欠である。

そこでわれわれは、ASTRO-H で開発された ANL Next フレームワークと Geant4 ツールキットを組み合わせたモンテカルロシミュレーションの枠組みを利用し、地球低周回軌道上における FFAST/HXC の NXB を定量評価するためのシミュレータを開発している。このシミュレータにより、オンボード上で非天体由来のイベントを効率良く除去する方法を確立するとともに、検出器ハウジング構造の最適化も行う。

本講演では、FFAST/HXC シミュレータの概要と、陽子線 100 MeV を用いた SD-CCD の放射線損傷、放射化の実験で得られた実データとの比較、バックグラウンド除去方法と、ハウジング構造改良についての検討状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W111b 反同時計数型 X 線 CCD 素子の、モンテカルロシミュレーションを用いた性能評価

近藤 恵介 (総合研究大学院大学, 宇宙科学研究所), 尾崎 正伸, 堂谷 忠靖 (宇宙科学研究所)

X 線 CCD 検出器は、「あすか」で初めて搭載されて以来、X 線望遠鏡の主要な焦点面検出器となっている。近年の X 線 CCD は、空乏層の厚い背面照射型素子を採用する事で 0.4 keV からおよそ 10 keV の広帯域で高い検出効率を実現している。しかし、X 線 CCD は荷電粒子にも高い感度をもつため、より高い検出効率を達成するためには、荷電粒子によるバックグラウンドイベントの除去効率を高める事が重要となる。特に 10 keV 以上の高エネルギー範囲では、天体由来の X 線光子のカウント数に比べて荷電粒子によるバックグラウンドイベントの割合が高く、正しい X 線強度を知ることが難しい。

現在我々は、二つの CCD を重ねた新型の X 線 CCD 素子の開発を進めている。X 線光子は一つ目の素子のみで止まる一方で、高エネルギーの荷電粒子は一つ目を貫通して二つ目の素子にも達する。これを利用し、二つの素子で空間的な反同時計数をとることで、一つ目の素子からバックグラウンドイベントを除去することができる。

本研究では、素子の設計に向けて、モンテカルロシミュレーションを用いた性能評価を行った。シミュレーションは Geant4 ツールキットを使用した。それぞれの CCD の空乏層の厚さを 200  $\mu\text{m}$ 、ピクセルサイズを 24  $\mu\text{m}$ 、二つの素子間隔を 125  $\mu\text{m}$  と仮定し、2.2 MeV の電子、230 MeV の陽子を垂直に入射させるシミュレーションをそれぞれ行った結果、両素子のイベントは、イベント座標のずれ 5 ピクセル以内で対応付けが可能である事がわかった。講演では、各シミュレーションの内容と結果、今後の展望について詳細な報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W112b 空間的反同時計数によるバックグラウンド除去を目指した X 線 CCD 検出器の性能検証実験

甲斐晋二, 岩井将親 (東工大, ISAS/JAXA), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 近藤恵介 (総研大, ISAS/JAXA)

X 線 CCD 検出器は、X 線だけでなく荷電粒子にも高い感度を持っている。特に 10 keV 以上の高エネルギー側では、荷電粒子によるバックグラウンドイベントが相対的に多くなるため、高いバックグラウンド除去効率が必要される。荷電粒子イベントを取り除く既存の方法としては、荷電粒子が作る信号電荷が X 線のそれと比べて大きく広がる事を利用した「グレード判定法」がある。しかし、CCD 素子の種類によっては、この方法は効率が良い。例えば、空乏層の厚い背面照射型の CCD 素子では、荷電粒子の信号電荷と X 線の信号電荷が似たような広がり方をすることがあるため、バックグラウンドが X 線イベントとして処理されてしまう。

そこで我々は、2 枚の CCD を重ねた構造の新たな CCD 検出器 (2-layer CCD) の開発を進めている。2-layer CCD は、ピクセルの小型化による CCD の空間分解能の良さを活かして、2 枚の CCD の間で空間的に反同時計数をとることを目指した素子である。高エネルギーの荷電粒子は、二枚の素子を貫通してイベントを生成するので、両方の素子で対応がとれるイベントをバックグラウンドとして除去することができる。

今回我々は、2-layer CCD の試作品に、バックグラウンドに見立てた約 230 MeV の陽子線を照射する性能検証実験を行った。実験は、放射線医学総合研究所の重粒子加速器を使用した。使用した素子は、空乏層厚がそれぞれ 200  $\mu\text{m}$ 、2 枚の素子間隔が 125  $\mu\text{m}$  である。

講演では、実験の詳細と結果について、特に粒子線イベントの除去効率に焦点を当てて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W113b 電荷交換反応由来の X 線検出を目指した地上分光システムの構築

星野晶夫、小林頼房、梨子田礼美、北本俊二 (立教大学)、小波さおり、桑原啓介、石崎欣尚、田沼肇、大橋隆哉 (首都大学東京)

宇宙科学において電荷交換反応を観測することは、高温と低温領域の境界領域の構造・相対速度、攪拌作用を研究する上での潜在的な新しい観測窓を提供することになる。「すざく」衛星によって観測された地球外圏からの電荷交換反応 X 線輝度強度は理論に比べて観測結果が 5 倍程度高いことが知られている (石川 D 論 2013, 首都大)。本研究は、電荷交換反応の放射機構について、実験室レベルでのプラズマ観測実験から較正を行うことで薄く広がった放射機構とその境界領域の構造解明を目指している。

我々は、これまでに液体ヘリウムを用いた 2 段式断熱消磁冷凍機を用いた開発を進めてきた (2014 年春年会報告) が、LHe を用いた検出器システムの開発と並行して磁場環境対策と無冷媒化の実現に伴う冷凍機再設計を行った。新しいシステムでは 2 段パルスチューブ冷凍機を用いて 2-4 K の熱浴を実現し、CrK ミョウバンを用いた断熱消磁冷凍によって、センサーの動作温度である極低温環境を実現する。本講演では、冷却性能の数値計算に基づく磁性体カプセル製作の他、Magnicon 社の SQUID 駆動装置 SEL-1/3 を用いた読み出し系、3%ケイ素鋼板 14mm を用いた磁気シールドを超伝導コイルに用いることで、励磁中でもセンサー近傍において最大 1mT 以下となるような磁場環境を実現できる設計を行った。これらについて報告し、開発のロードマップを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W114b **PolariS 搭載用硬 X 線撮像偏光計の開発：バックグランド成分とパッシブターゲット**

林田清, キムジュヨン, 吉永圭吾, 上司文善, 井出舜一郎, 穴吹直久, 常深博 (大阪大), 郡司修一, 片桐惇, 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) 他 PolariS-WG

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。放射光施設における 10-80keV の範囲の性能評価に関しては前学会までに報告しているが、1.3mmFWHM という高い位置分解能も兼ね備えている。

本発表では、実験とシミュレーションをもとにバックグランド成分を整理し、その効果的な除外方法を、シールドなどのハードデザイン、信号処理のソフトデザインの面から検討する。また、10-20keV の範囲での点源観測のためのパッシブターゲットとして Be を導入するデザインにしていたが、実験の結果、Be に含まれる Fe などの不純物が問題になることがわかった。これを Li に変更するための基礎実験を実施したのでその結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W115b 電子飛跡検出型コンプトンカメラが持つ MeV ガンマ線偏光撮像能力の検証

古村翔太郎, 谷森達, 窪秀利, 高田淳史, Parker Joseph, 水本哲矢, 水村好貴, 園田真也, 友野大, 岩城智, 中村輝石, 松岡佳大, 中村祥吾, 岸本哲朗, 小田真, 竹村泰斗, 宮本奨平 (京都大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

天体 MeV ガンマ線の偏光観測は、光源天体の磁場・幾何学構造や強重力場等の物理状態を調査する上で重要な手法であるが、現在までの観測報告は、かに星雲と Cyg X-1 および数例の GRB にとどまり、いずれも誤差が大きい。これは観測装置と宇宙線との相互作用から生じる多量の雑音成分と、それに伴う撮像能力・検出感度の劣化が原因である。

この問題に対して我々は、強力な雑音除去能力を備えた次世代の MeV ガンマ線観測装置である、電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC: Electron-Tracking Compton Camera) の開発に取り組み成功している。同時に ETCC は優れた撮像能力や広い視野も持つため、高感度・長時間の MeV ガンマ線全天探査を実現し得るポテンシャルを有している。現在はこれを用いた気球および衛星による天体観測計画を提案中である。

さらに、ETCC はその検出原理から偏光に対しても高い感度を持つため、偏光撮像観測も期待できる。本講演では、ETCC の偏光検出能力をシミュレーションおよび実験の両面から検証し、その結果を報告する。また、それを踏まえた将来の観測計画についても見積を行う。

2015 年 1 月には SPring-8 の高エネルギー非弾性散乱ビームラインを利用して、性能評価を進める予定である。さらに 2015 年以降には機体の改良や、気球に搭載しての Crab Nebula や CygX-1 等の観測実験が計画されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W116b      MAXI/SSCのデータを用いた天体カタログ

内田大貴, 常深博, 今谷律子 (阪大), 富田洋, 中平聡志, 木村公 (JAXA), 杉崎睦 (理研), 諸岡義隆 (宮崎), MAXI チーム

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に搭載している全天 X 線監視装置 (MAXI) の X 線 CCD カメラ (SSC) の観測データを用いた天体カタログの作成について報告する。これまで、MAXI/SSC を使ったカタログ (2012 秋 W36a. 花山) が報告されており、132 個の天体を検出している。今回のカタログ作成では SSC に特有の低エネルギー帯 (0.7-1.7keV) で、2010 年 9 月 16 日から 2014 年 11 月 31 日までの約 4 年 3 ヶ月分の観測データを利用した。観測開始当初、MAXI は太陽光の光漏れにより、観測が難しかったために、その期間のデータは除いた。今回は、バックグラウンド低減のための新しいデータスクリーニング手法を使用し、SourceExtractor というソース抽出ソフトを用いてバックグラウンドの推定、座標決定を行うことで、従来のカタログよりも精度よく候補天体を抽出した。本公演では、新しいイベントデータの改善点、候補天体の抽出方法、対応天体の数、検出限界などについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W117b すざくソースカタログの開発

海老沢 研 (JAXA), 山崎 廣樹 (東京大学)

X線天文衛星「すざく」は2005年7月に打ち上げられ、現在まで3,000回以上の指向観測を行っている。「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、0.4–10 keVのX線で撮像観測を行う。観測目的天体は視野の中心近くに配置されるが、視野中に存在する他のX線天体も同時に観測される。「すざく」の観測データは原則として観測から1年後に一般公開されるので、全公開アーカイブデータを用いて、XISの視野に含まれるソース情報を集約したカタログを作成することができる。「すざく」のX線感度は同様のエネルギー帯を持つChandraやXMMには及ばないが、ChandraやXMMが観測していない天域においては、「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、ほとんどのX線天体は大きな時間変動を示すので、ChandraやXMMが観測した天域においても、「すざく」によってトランジェント天体が発見されたり、既知のX線天体の時間変動を調べられる可能性がある。そのような科学的価値を鑑み、我々は「すざくソースカタログ」の開発を開始した。カタログ作成においては、まずソースの自動検出が必要である。複数の方法を検討した結果、Chandraで実績のある、ウェーブレットを用いた検出アルゴリズムを採用することとし、Chandraの標準ツールである“wavdetect”を「すざく」のソース検出にも利用できることを確認した。Chandraにおいては点源応答関数の位置依存性が大きいいため、正確なソース検出を行うためにはそれを考慮する必要がある。「すざく」の点源応答関数の位置依存性はChandraほど大きくないが、現在それがソース検出効率に与える影響を評価している。また、検出器の応答関数を考慮し、検出されたカウントレートから物理的なフラックスを見積もるアルゴリズムを検討している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W118a      **Suzaku/WAMで観測されたガンマ線バーストの数値計算による到来方向決定とスペクトル解析の系統誤差**

藤沼洸、田代信、寺田幸功、安田哲也 (埼玉大)、大野雅功 (広島大)、山岡和貴 (名古屋大)、すざく WAM チーム

X線天文衛星「すざく」に搭載されている硬X線検出器の外周を取り巻く非同時計数用のシンチレーションカウンタは、50–5000 keV 帯域で全天のほぼ半分の視野を持ち、広帯域全天モニタ (Wide-band All-sky Monitor; WAM) として役立てられる。WAMは、硬X線帯域で大きな有効面積 ( $800\text{cm}^2$  at 100 keV) を持つため、ガンマ線バースト (Gamma Ray Burst; GRB) をはじめとする突発天体を年間300イベントあまり検出する。しかし現状では、単独での位置の決定ができず、光子の到来方向に依存する応答関数が作成できないため、スペクトル解析できるGRBは他衛星と同期し位置決定できた約6割のイベントに限られる。残りの約4割のGRBを解析するためには、その到来方向を独自に求める必要がある。そこで、まず衛星全体を構成する物質やその密度、空間分布を再現したマスモデルを作成、モンテカルロシミュレーションを行い、光子の入射角度ごとにWAMの応答を詳細に調べた。この結果を、実際の観測結果と比較する事でWAM単独での到来方向の推定が可能となる。この方法を検証するために、他衛星の観測により到来方向が既知の32のGRBについて、このシミュレーションツールを用いて推定した到来方向と比較した。その結果、両者の方位角方向の差分は約7度の精度であった。さらに、推定した到来方向で応答関数を作成、スペクトル解析を行い、その結果を本来の到来方向の場合と比較した。GRBによく合うモデルであるBand Functionの場合、得られた系統誤差はそれぞれ、低エネルギー側の光子指数に約13%、高エネルギー側の光子指数に約1%、べきが折れ曲がるエネルギーに約8%、フラックスに約15%であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W119c 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライトへ向けて

高橋弘充、河野貴文、水野恒史、深沢泰司(広島大)、釜江常好(東京大)、田島宏康(名古屋大)、片岡淳(早稲田大)、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、河合誠之(東工大)、M. Pearce、M. Chauvin、M. Kiss、M. Kole、V. Mikhalev、E. Moretti(KTH)、PoGOLite チーム

偏光観測は、シンクロトロン放射を生じる磁場、光源の周囲で散乱を起こす物質のジオメトリなど、他の観測手法とは相補的な物理量を調べることができる重要な観測手法の1つである。しかし、X線やガンマ線の帯域ではその観測手段が難しく、これまでガンマ線バーストや「かに星雲」、「はくちょう座 X-1」など数例の天体について限られたエネルギー帯域でしか有意な偏光検出の報告は行われていない。こうした中、日瑞米の国際プロジェクトである PoGOLite 気球実験では、25-80 keV というこれまで未開拓な硬 X 線帯域において世界に先駆けて天体からの偏光検出を目指している。

PoGOLite の最初の科学的なフライトは、2013 年 7 月にスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場に実施することができた。この際は世界で初めて北極圏を周回し、スウェーデンからカナダ、ベーリング海峡を越え、ロシア・ノリリスク近郊に着陸するまでの 2 週間にわたってフライトさせることに成功した。X 線天体として「かに星雲」の観測を実施することはできたが、偏光計の電源系トラブルにより、観測データは 3 日分しか取得することができなかった。

こうした状況を踏まえ、PoGOLite チームでは 2016 年夏に再度スウェーデンからの長期フライトを計画している。本講演では、2013 年のフライトのまとめと、2016 年の再フライトの今後の見通しについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W120a 超小型衛星 TSUBAME の打ち上げと運用

栗田真、大内遙河、有元誠、谷津陽一、河合誠之(東工大理)、太田佳、古賀将哉、Kim EuGene、鈴木聡太、俵京佑、宮里和良、長洲孝、河尻翔太、松下将典、松永三郎(東工大工/ISAS)、森山永久、木村真一(東京理科大)、ほか TSUBAME 開発チーム

超小型衛星 TSUBAME はガンマ線バースト (GRB) の硬 X 線偏光観測を目標として東工大、および東京理科大の学生が開発した衛星である。本衛星は GRB の検知と位置決定を行う広視野バーストモニタと硬 X 線偏光計の 2 種類の検出器を持ち、高速姿勢制御装置によってガンマ線プロンプト放射の即時指向観測を行うことができる。

我々は 2014 年 8 月に衛星を完成させ、射場のあるロシアへ出荷した。一方、東工大では地上局の回線設計から見直しを行い、軌道上の Cute1.7+APDII を用いて入念な運用訓練を実施して本番の TSUBAME 入感に備えた。また、GRB 偏光観測を実施するには最低でも 100 を超えるコマンドをアップリンクする必要がある。我々はコマンド生成プログラムを開発し、また人間がコマンドの確認を行う目的で、すざく衛星の運用に用いられている DP10 を参考にし、コマンドの種類と発行タイミングを時間軸上に表示する可視化プログラムを作成した。

これらの準備を経て、TSUBAME は 2014 年 11 月 6 日にロシアから打ち上げられ、高度 500km の太陽同期軌道に無事投入された。打ち上げ後、東工大地上局にて衛星からのテレメトリ受信に成功し、本衛星が太陽電池パネルを展開完了し太陽を捕捉して概ね安定した動作をしていることが確認した。一方でアマチュア帯通信システムには不具合が見られ、この状況確認のために 12 月 9 日時点で観測機器の立ち上げには至っていない。この問題に対し、我々はアマチュア帯での運用と並行して、S 帯回線を開通するための法的手続きを粛々と進めている。

本講演では TSUBAME の SHIPPING以降の経過と、今後の運用計画について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W121a CALET ガンマ線バーストモニター開発の現状報告 5

瀬沼一真, 吉田篤正, 坂本貴紀, 井上亮太, 川久保雄太, 寺澤俊介, 川原健人, 高橋一郎 (青学大理工), 山岡和貴 (名大STE研), 中平聡志 (JAXA/ISAS), 鳥居祥二 (早大理工研), 佐野伊彦, 佐藤崇行, 清水雄輝 (JAXA/SEUC), 他 CALET チーム

高エネルギー宇宙電子線、ガンマ線観測装置 CALorimetric Electron Telescope(CALET) は2015年度に国際宇宙ステーション日本実験棟船外実験プラットフォームに設置され、5年間を目標として観測予定である。CALETには主検出器であるカロリメータ (CAL) の他に CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) を搭載する。CGBMは約7keV から1MeVで感度のある硬X線モニター (HXM)2台、約100keV から20MeVで感度のある軟ガンマ線モニター (SGM)1台で構成され、ガンマ線バースト等の突発天体現象を観測することを目標としている。

2014年1月にJAXA 筑波宇宙センターでCGBM地上較正実験が行われ、フライト器に対しての位置依存性、検出効率、角度応答、トリガー試験を行った。これらの結果をもとにエネルギー応答関数の作成を行っている。地上解析ソフトウェア開発ではバーストの継続時間等を測る上で重要な、ライトカーブとエネルギースペクトルからバックグラウンドを差し引くテストツールの開発が完了した。現在、地上解析ソフトウェアのさらなる充実を目指してFITS形式への変換、ゲイン補正等のソフトウェア開発、また運用状態や観測状況などを常に監視するために必要となるクイックルック (QL) ソフトウェアの開発を行っている。2015年1月にはCGBMを構体に設置した状態での較正実験を行う予定である。本発表ではCGBM地上較正実験の結果、地上解析ソフトウェア及びQLソフトウェア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](#)

W122a 小型衛星用ガンマ線バーストの硬 X 線偏光計の開発と現状

中森健之, 郡司修一, 片桐惇, 岸川達也, 老川由馬, 上田達也, 高倉美華 (山形大), B. Ramsey, J. Gaskin, C. Wilson-Hodge, S. Diagle (NASA/MSFC), 米徳大輔 (金沢大), 三原建弘 (理研), 林田清 (大阪大), 岸本祐二 (KEK), 齋藤芳隆 (ISAS/JAXA), 高橋弘充, 水野恒史 (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) の放射機構の解明には、硬 X 線の偏光が強力なプローブとなる。様々な放射モデルは硬 X 線偏光度の分布を予言しており、多数の GRB の硬 X 線偏光度を測定できればその分布から放射モデルに強力な制限を与える事ができる。

我々は小型衛星搭載を目指して、GRB 観測用の X 線・ガンマ線偏光計を開発してきた。この偏光計はコンプトン散乱の異方性を利用した広視野偏光検出器であり、散乱体であるプラスチックシンチレータアレイと吸収体である GAGG シンチレータアレイによって 50–500 keV のエネルギー帯域をカバーする。また信号の読み出しにはそれぞれマルチアノード光電子増倍管とアバランシェフォトダイオードを採用している。CGRO/BATSE や Swift/BAT によって得られた GRB スペクトルパラメタの統計を用いたシミュレーションによる見積では、期待される偏光度が低い「光球モデル」を 1 年間の観測によってほぼ棄却することができる。

我々は散乱体と吸収体の合計 60 チャンネルを処理するフロントエンド回路を開発し、検出器の試作モデルを組み上げた。本講演ではこの試作モデルの開発状況について報告する。試作ユニットを並べることで、搭載重量や電力の制限に合わせて拡張することが可能である。ISS 搭載を目指して構築を始めた NASA/MSFC との国際協力体制についても合わせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W123a X線偏光観測衛星 PRAXyS

玉川 徹, 早藤麻美, 北口貴雄, 榎戸輝揚, 岩切 渉 (理研), 吉川瑛文, 武内陽子, 窪田 恵, 西田和樹 (理研/東理大), 田原 譲 (名古屋大), 幅 良統 (愛知教育大), 林田 清 (大阪大), 水野恒史 (広島大), Keith Jahoda, Joanne Hill (NASA/GSFC), ほか PRAXyS 衛星チーム

X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探る優れた手段として期待されているが、十分な光子統計が必要であり、高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことから、これまでほとんど実施されてこなかった。Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources (PRAXyS) は、NASA ゴダード宇宙飛行センターが主導する X線偏光観測に特化した小型衛星で、ブラックホール、中性子星、超新星残骸などを 2–10 keV 帯域で、約 1% の最小偏光検出感度で観測する。

PRAXyS 衛星は、2014 年 12 月に NASA Small Explorer Program に提案される。基本的な設計は、フライト品製作直前の 2012 年 6 月に、コスト超過の懸念によりプロジェクト停止となった GEMS 衛星と同等である。「すざく」衛星タイプの X線ミラーと、その焦点面に光電子追跡型のガス X線偏光計を置いた、X線偏光望遠鏡を 2 台搭載する。日本からは理研と名古屋大が観測装置の一部を提供し、他にも偏光計製作、検出器シミュレーション、偏光計の較正試験で貢献を行う。ISAS/JAXA でも、NASA が採択することを条件に小規模プロジェクトとして認められており、日米の協力体制が整っている。我々は GEMS 衛星がプロジェクト停止となってから二年半の間に、X線偏光計のフライト相当品組み立ての手順確立、寿命調査、放射光施設における性能評価などを実施し、検出器の理解が一層進んだ。本講演では、GEMS から PRAXyS へのデザインの変更も含め、プロジェクトの詳細と日米の役割分担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](#)

## W124a PRAXyS 衛星搭載に向けた光電効果型ガス偏光計の性能評価

窪田めぐ、武内陽子、西田和樹、吉川瑛文、金子健太(理研・東理大)、榎戸輝揚(理研・NASA/GSFC)、早藤麻美、北口貴雄、岩切渉、玉川徹(理研)、Keith M. Jahoda、Joanne E. Hill、J. Kevin Black (NASA/GSFC)

現在我々は、世界初の宇宙 X 線偏光観測衛星である PRAXyS 衛星 (GEMS から改名) の NASA Small Explorer の AO 提案に向けて、NASA ゴダード宇宙飛行センターと共同で光電効果型ガス偏光計 (ガス偏光計) の開発、改良を進めている。カス中に入射した X 線は、光電効果により光電子を放出する。光電子の放出方向は入射 X 線の電気ベクトル (偏光) 方向に依存する。我々のガス偏光計では、カス中での光電子飛跡を、Time Projection Chamber 技術を用いて 2 次元のイメージとして取得することで、入射 X 線の偏光方向および偏光度を測定する。

我々は 2013 年 4 月に、NASA で GEMS 衛星搭載用に製作したガス偏光計の性能評価を、米国ブルックヘブン国立研究所シンクロトロン放射光施設 (NSLS) にて行った。この時の調査により、X 線の入射位置を変えると、偏光計の偏光検出感度を示すモジュレーション因子に系統誤差が生じることがわかった。これを軽減する目的で、電子を増幅するガス電子増幅フォイルと、読み出しストリップ型電極の間の距離を  $800 \mu\text{m}$  から  $250 \mu\text{m}$  に縮める改造を行った (ナローギャップガス偏光計)。我々は、2014 年 9 月に、このナローギャップガス偏光計を NSLS において試験し、系統誤差が軽減することを確認するとともに、2.7, 4.5, 6.4 keV のエネルギーに対して、それぞれ  $23.5 \pm 0.7$ ,  $41.5 \pm 0.7$ ,  $49.1 \pm 0.6\%$  というモジュレーション因子を得た。本講演では、ガス偏光計の構造と動作原理を説明するとともに、2014 年の NSLS における性能評価の詳細と結果および 2013 年に得た結果を示し、2013 年に得た結果との比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W125a SPring-8 によるマイクロパターンガス偏光計の詳細な性能評価

北口 貴雄, 玉川 徹, 早藤 麻美, 岩切 渉 (理研), 窪田 恵, 西田 和樹, 武内 陽子 (東京理科大, 理研), 榎戸 輝揚 (理研, NASA/GSFC), 武井 大, 高山 裕貴 (理研)

我々は天体からのX線の偏光を検出するために、NASA/GSFCと共同で、衛星に搭載できるマイクロパターンガス偏光計を、米国で製作してきた。それと並行して、偏光計の性能をより迅速かつ柔軟にテストするために、衛星への搭載基準(重量、耐震、ガスの寿命など)は満たさないが、偏光計のキーデバイスは同一のものを使い、同等の偏光感度が期待できる簡易型偏光計を、国内で製作した。

1辺21 cm角の立方体チェンバーの中に、マイクロパターンガス検出器をインストールし、チェンバー内で発生した光電子の飛跡を読み出すことで、入射X線の偏光を測定する。電荷を収集するストリップ電極は、121  $\mu\text{m}$ ピッチで128 chのものを作り、それらから電荷を読み出すために、CERN/RD51が開発および販売している、APV25 ASICチップ、ADCカード、およびフロントエンドカードから成るScalable Readout Systemを利用した。さらにガス中の電子輸送特性を精査するために、タイミングの取れる小型のX線発生装置も自作した。

国産偏光計を、シンクロトロン放射光施設SPring-8のビームラインBL32B2を用いて、詳細な性能評価を行った。X線エネルギーは、4.5から7.5 keVまでスキャンし、さらに各エネルギーで偏光感度の位置依存性および角度依存性を調べた。特に偏光感度の角度依存性をビームラインで精査したのは、今回が初めてである。またX線ビームの偏光度を測るために、Be散乱体をSiおよびCdTe検出器で両サイドを挟んで、直角に散乱したX線のカウントの方位角依存性を調べた。本講演ではこれらの測定結果を紹介するとともに、PRAXyS衛星搭載用に製作している偏光計との比較を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W126a      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)、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 の小型計画への提案へ向け準備を進めている。

X 線望遠鏡は 4 回反射型の薄板望遠鏡を名大で開発している。TES カロリメータアレイは、大規模アレイの製作と周波数分割による多素子の読み出し技術の開発が首都大と宇宙研の協力で進展しており、これらについては別に発表が行われる。JAXA ではイプシロンロケットを用いる小型計画を新たな枠として定めており、それをターゲットとして DIOS 衛星システム全体の設計を進めている。さらに、ダークバリオンマッピングの感度を確保しつつ、サイエンスの枠を広げる可能性を考えている。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や、点源への感度を上げるための X 線望遠鏡の増強について具体的に検討を行っている。また、米国やヨーロッパとの国際協力による装置製作、Athena と DIOS の共同開発などについて議論を行うなど、コスト面も含めて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](#)

W127a      **ダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡の大口径反射鏡開発**

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、大西崇文 (名古屋大学)、杉田聡司 (愛媛大学)、前田良知、飯塚亮、林多佳由 (ISAS/JAXA)、佐藤寿紀、菊池直道 (首都大学東京)

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 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 観測の要求を満たす望遠鏡として、600 mm の大口径、700 mm の短焦点距離を有する 4 回反射型 X 線望遠鏡 FXT (Four-stage X-ray Telescope) の開発が行われている。FXT は、Wolter-I 型光学系を 4 段に拡張した斜入射光学系であり、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。4 回反射型望遠鏡は従来の望遠鏡よりも反射回数が多く、反射鏡の形状誤差や位置決め誤差が結像性能に顕著に影響する。FXT の開発において結像性能の要求値 (5 分角) 達成が最難課題となる。

現在、口径が大きく製作が困難と予想される直径 500 mm 付近円周方向 8 分割反射鏡の開発に着手しており、これまでに結像性能は反射鏡 4 段 4 組において 11 分角、最も良い組で 8.4 分角を達成している。本研究では可視光を用いた簡易的な反射鏡性能評価システムを確立して質の管理を行い、反射鏡 4 段 10 組を製作した。2014 年 11 月に宇宙科学研究所 30 m ビームライン (X 線源: Al-K $\alpha$  線) にて反射鏡 4 段 10 組の性能を評価した。その結果、結像性能は 4 段 10 組で 8.8 分角、最も良い組で 6.8 分角であり、以前より改善していることが分かった。

本講演では測定結果の詳細を報告するとともに、現在提案されている DIOS/FXT の拡張案を含めた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](#)

W128a **TES型 X線マイクロカロリメータアレイの周波数分割読み出しの開発現状**

酒井 和広, 山本 亮, 千葉 旭, 竹井 洋, 山崎 典子, 満田 和久 (ISAS/JAXA), 日高 睦夫, 永沢 秀一, 神代 暁 (AIST), 宮崎 利行 (金沢大学)

我々はダークバリオンのマッピングを行う X 線天文衛星 DIOS の実現に向けて、超伝導遷移端 (TES) 型 X 線マイクロカロリメータアレイの読み出し技術の開発を行っている。400 素子からなる TES アレイを 100 mK 以下の極低温で動作させ、衛星の限られた冷却能力のもとで読み出すために、低発熱型の超伝導量子干渉計 (SQUID) や、配線からの流入熱を減らす信号多重化が必須となる。我々は各素子を異なる周波数 ( $\sim$  MHz) で駆動する周波数多重化法を目指しており、低発熱型信号多重化 SQUID や周波数分割のための LC バンドパスフィルタなどの低温回路に加え、低ノイズプリアンプやデジタル方式の SQUID 駆動装置といった室温回路についても独自に開発を進めている。

今回我々はこれまでに開発した低温・室温回路を用い、TES アレイの 4 素子同時読み出しに成功した。本講演では、これら各コンポーネントの開発の現状報告と、周波数分割方式による多重化同時読み出しの試験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](#)

## W129a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 (4)

米徳 大輔 (金沢大学), ほか HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象であり、初期宇宙を見渡す道具として利用されている。これまでに分光観測では赤方偏移  $z = 8.26$  が、測光観測では  $z = 9.4$  が報告されており、将来はより遠方の宇宙を観測できると期待されている。そこで我々は、GRB を用いて赤方偏移  $z > 7$  における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の小型科学衛星 HiZ-GUNDAM を計画している。強く赤方偏移を受けた GRB を数 keV の X 線帯で検出し、自律制御で衛星姿勢を変更して追観測を実施する。GRB 直後の明るい近赤外線残光を利用して赤方偏移を同定し、地上の大型望遠鏡と協力しながら高分散スペクトルを取得することで初期宇宙の物理状態を解明したいと考えている。

これまでに 2keV 程度からの X 線読み出しや、X 線撮像に成功してきたため、検出器システムを約 10 倍に大面積化したシステムを開発中で、FPGA・CPU などのデジタル処理系の開発も進める予定である。また、高宇連や光赤天連コミュニティは、今後 20 年にわたるロードマップを作成している最中である。HiZ-GUNDAM は両コミュニティにまたがる計画であるため、それぞれの中での位置づけを明確にし、戦略的に将来の突発天体や GRB の観測を推進しなくてはならない。TAO 望遠鏡や TMT 望遠鏡との連携を視野に入れた際に必要となる X 線および近赤外線観測におけるミッション要求をまとめ、プロジェクトを具体化している。本講演では、HiZ-GUNDAM の検討やシステム開発の進捗について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W130a 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 ( 2 )

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達哉, 高田俊介, 加川保昭 (金沢大学), HiZ-GUNDAM WG

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストは  $10^{52}$  erg ものエネルギーをガンマ線放射として解放する。短時間ではあるが極めて明るく輝き、その多くは赤方偏移  $z > 1$  で発生していることから、初期宇宙を探るための光源として利用されてきている。これまでに分光観測されている GRB の多くは  $z < 7$  の頃までのものであるが、宇宙再電離や重元素合成など宇宙が劇的に変化したのはそれ以前のことである。そこで我々は、 $z > 7$  の GRB を観測しその当時の宇宙の物理状態を探るため、小型科学衛星 HiZ-GUNDAM を計画している。

金沢大学では、強く赤方偏移をして数 keV の X 線帯で輝く GRB を検出し、その到来方向を決定するための広視野 X 線撮像検出器を開発している。目標として 1 ~ 20keV で輝く GRB を検出するため、検出器には 1 次元のストリップ型の電極を 64 本配置し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) を用いる。ASIC の ver.1 ではトリガー系が性能を律即しており、ver.2 に向けて回路シミュレーションを用いて回路で発生するノイズレベルが低くなる最適な時定数の検討を行った。また、金沢大学にあるビームラインを改良し、20keV 以下の単色光を発生させて、-20 度の温度制御下でのイメージング実験の環境を整えた。コーデッドマスクを用いた実験では、目標とするエネルギー帯域でのイメージングに成功しており、入射角を変化させた場合のイメージングを行っている。本講演では、ASIC の ver.1 から ver.2 に向けての開発と、イメージング実験の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W131a 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

森浩二 (宮崎), 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 (立教), 佐藤悟朗 (早稲田), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸, 渡辺伸, 中島真也 (ISAS/JAXA), 松本浩典, 森英之, 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 (大阪), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛), 岡島崇, 山口弘悦 (GSFC/NASA)

X線観測により高エネルギー宇宙の理解は大きく進展し、日本はその中心的役割を担ってきた。残された課題として「様々な質量スケールのブラックホールにおける進化過程の解明」および「超新星残骸における宇宙線加速メカニズムの解明」が挙げられる。いずれも非熱的放射がメインであり、広帯域且つ 10 keV 以上の硬X線での高感度観測が本質的である。一方で、現在稼働中および予定されている衛星計画では課題解明に必要な感度には到達せず、将来的にも未開拓領域として残る。これを踏まえ、我々は 0.5-80 keV のエネルギー帯域を 10 秒角の空間分解能で撮像分光する小型衛星計画 NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) を提案する。ミッション機器は、高空間分解能を有する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。これにより、10 keV 以上の硬X線帯域では、他に予定されている衛星計画も含めて、史上最高の感度を有する。計画の範疇としてはイプシロンで打ち上げ可能な小型衛星であり、ミッション機器の小型化や次世代 SpW を用いた地上試験の簡便化を通し、重量・コストの小型化に挑戦する。これにより、将来の大型観測衛星の技術的な先駆けとして、衛星システムの技術要素開発にも貢献していく。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## W132a NGHXTで狙うブラックホールのサイエンス

上田佳宏, 信川正順, 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), 粟木久光, 寺島雄一(愛媛大学), 森浩二(宮崎大学), 井上一(明星大学), 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。本講演は、NGHXT の掲げる主要科学目標のうち、(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について議論する。

銀河中心巨大ブラックホールの形成史に関する大きな未解決問題として、ガスや塵に深く埋もれた活動銀河核 (AGN) の存在量と、その進化がある。銀河の合体がおこると、爆発的な星生成とガス降着が誘発され、深く塵に埋もれた状態でブラックホールが急成長するというシナリオが広く提唱されている。すなわち、埋もれた AGN は、銀河との共進化を理解する上で鍵となる種族である。10 keV 以上の硬 X 線こそ、これらの天体を探査する最適な波長帯である。NGHXT は、広い光度範囲の埋もれた AGN を、その数密度ピークとなる赤方偏移までカバーして検出する能力をもつ。同時に、宇宙 X 線背景放射 (CXB) が最大強度を示す 10–40 keV のバンドにおいて、その 80% 以上を点源に分解することで、CXB の本質の起源を解明する。

年齢 100 億年の天の川銀河には、超新星爆発で生じた大量の恒星質量ブラックホールが存在するはずだが、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。NGHXT は、ミッシングブラックホールの放射の重ね合わせだと推定される 10 keV 以上の銀河系硬 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](#)

## W133c NGHXT で狙う超新星残骸のサイエンス

馬場彩 (青学大), 森浩二 (宮崎大), 内山泰伸 (立教大), 鶴剛, 田中孝明 (京大), 栗木久光 (愛媛大), 松本浩典 (名古屋大), 高橋忠幸 (宇宙研), ほか NGHXT チーム

宇宙を飛び交う超高エネルギー粒子である宇宙線は、我々の銀河の基本構成要素の一つである。にも関わらず、発見から 100 年以上経過した現在も、その加速源や加速機構は明らかになっておらず、「宇宙物理最大の謎」のひとつになっている。宇宙線電子成分は磁場中でシンクロトロン放射する。星間磁場中では数 10 TeV の電子からシンクロトロン X 線が放射されるため、硬 X 線での加速源観測は宇宙線問題解明に大きく関わってきた。日本は、超新星残骸衝撃波面からのシンクロトロン X 線の発見、衝撃波面での効率よい加速と磁場増幅の発見など、宇宙線の理解に大きなブレークスルーをもたらしてきた。現在残されている最大の謎は、衝撃波面での磁場構造である。効率の良い加速のため衝撃波近傍は大電流が流れているような状態で、乱流状態の誘電磁場が発生する。発生した磁場は荷電粒子を散乱し、さらに加速効率を上げる。従って、衝撃波近傍の磁場構造を正確に理解することが、宇宙線加速理解の試金石となる。

10 keV 以上では最高エネルギーに加速された電子からのシンクロトロン放射が観測できる。電子の空間分布は数—数十秒角程度と予想されており、NGHXT によって初めて空間分布およびその時間変化が明らかになる。これら観測量のエネルギー依存性から、磁場構造・乱流度、また最高エネルギー決定機構を決定する。また、そのフラックス変動は、cut-off energy の空間・時間変動に依存するため、磁場の時間変動がシンクロトロン X 線の明滅を起こし、粒子の加速と減速の様子を直接観測できる。これらを併せ、超新星残骸衝撃波面の磁場構造を決定、加速機構や加速可能最高エネルギーを決定する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W134a NGHXT に搭載する広帯域 X 線撮像分光器

鶴剛 (京都大学), 幸村孝由 (東京理科大), 佐藤悟朗 (早稲田大学), 武田彩希 (京都大学), 田中孝明 (京都大学), 高橋忠幸 (宇宙研), 中嶋大 (大阪大学), 中澤知洋 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), 渡辺伸 (宇宙研), 他 NGHXT チーム

NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) は 0.5-80keV を 10 秒角 (HPD) で撮像分光し, 隠されたブラックホールの探査と宇宙線加速機構の解明を主目的とする小型衛星計画である. この講演ではスーパーミラーの焦点面検出器に対する要求仕様と開発中の検出器の概要を述べる.

検出器に求められる性能は, (1) エネルギー帯域 0.5-80keV, (2) ミラーが持つ 10 秒角 (HPD) の分解能を活かせる位置分解能, (3) 鉄 K 輝線帯域でのプラズマ分光が可能なエネルギー分解能, (4) 低い非 X 線バックグラウンド, である. これを満足するために, 主に 0.5-20keV を受け持つシリコン検出器と 20-80keV を受け持つ CdTe 検出器のハイブリッドカメラを検討している. ASTRO-H HXI では, シリコン検出器として両面シリコンストリップ検出器を使用した, 読み出しノイズが 1keV (FWHM) 相当であり, 軟 X 線側の帯域とエネルギー分解能の点で不満が残る. X 線 CCD は優れた実績とエネルギー分解能を誇るが, 6-20keV での非 X 線バックグラウンドが高く, 動作温度も低いため CdTe 検出器とのマッチングも良くない. そこで京都大学が中心に開発をしている X 線 SOI ピクセル検出器 XRPIX を第一候補とする. CCD に迫る撮像分光性能と, イベント駆動読み出しによる高い時間分解能を利用した反同時計測による低い非 X 線バックグラウンドを実現する. CdTe 検出器は ASTRO-H HXI のものをさらに発展させ, ピクセルサイズ 70  $\mu\text{m}$  (1.4 秒角に対応) による高い空間分解能と厚み 1000  $\mu\text{m}$  による高い検出感度を実現する. カメラシステムは ASTRO-H HXI をベースに, 出来るだけの軽量化を目指す.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W135a 次世代衛星搭載 CCD 高速低雑音処理 ASIC の開発

中嶋大、井上翔太、今谷律子、薙野綾、穴吹直久、上田周太郎、林田清、常深博 (大阪大学.)、  
John P. Doty (Noqsi Aerospace Ltd.)、池田博一 (ISAS/JAXA)、北村尚、内堀幸夫 (放医研)

衛星搭載用 CCD カメラの高速低雑音信号処理のためのアナログデジタル混在 ASIC を開発している。我々が過去に開発した ASIC は、十分な低雑音性能 (入力等価雑音  $\sim 30 \mu\text{V}$ ) を達成し、さらに低高度地球周回軌道における放射線耐性を検証したことから、ASTRO-H 衛星搭載 CCD カメラ SXI に採用しており、現在フライトモデルの環境試験が行われている。しかし ASIC に関しては、ASTRO-H の要求処理性能 (ピクセルレート=68 kHz) では高性能であるものの、さらに高速 ( $>500 \text{kHz}$ ) で動作させると雑音が大きかった ( $>100 \mu\text{V}$ )。将来の観測では望遠鏡や CCD の性能が向上し、パイルアップ制限がますます厳しくなるため、高速で処理できる読み出しシステムが要求される。

そこで我々は高速域での雑音性能向上を目指し、従来の ASIC で採用していた 2 次の  $\Delta\Sigma$  型 ADC を 4 次に高次化させた。単体性能試験の結果、ASTRO-H 用 ASIC と比べて、高速読み出し時に低い雑音レベルを得ることが出来た。現在動作パラメータの最適化を行っている。また、積分非線形性については、ASTRO-H 用と比べると半分の 0.1% に向上した。これは鉄 K 殻輝線で  $\pm 6 \text{eV}$  の誤差に相当し、すざく/XIS の場合とほぼ同等である。

さらに 2014 年 11 月、放射線医学総合研究所にて放射線耐性試験を行った。線エネルギー付与 (LET) の非常に大きな重粒子 (Fe, Xe いずれも  $6 \text{MeV/u}$ ) を照射させたが、異常電流は一度も観測されず、高いラッチアップ耐性を持つことが実証された。本講演では単体性能と放射線耐性の両方について詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W136a 炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発

前島将人, 岩瀬敏博, 國枝秀世, 田原譲, 松本浩典, 三石郁之, 宮澤拓也, 島直究, 佐治重孝, 立花献, 吉川駿, (名古屋大学), 石田直樹 (玉川エンジニアリング) 粟木久光, 杉田聡司, 吉岡賢哉 (愛媛大学)

X 線望遠鏡の多くは、放物面と双曲面に共焦点配置された反射鏡に 2 回反射させることによって結像集光する Wolter I 型斜入射光学系を採用している。次期 X 線天文衛星 ASTRO-H やすざく衛星の X 線望遠鏡は、アルミ基板を用いた薄い反射鏡を動径方向に多数並べた多重薄板型を採用し、その反射鏡の二次曲面を円錐近似している。この種類の望遠鏡は軽量かつ高い集光力をもつ一方で、薄い基板の形状精度や反射鏡の位置決め誤差、円錐近似の影響で結像性能が制限される。次世代 X 線望遠鏡には高い集光力を保持したまま結像性能の向上が要求される。そこで本研究ではアルミの 17 倍の比強度と 1/8 の熱膨張率を持ち、かつ成形の自由度の高い炭素繊維強化プラスチック (以下 CFRP) を基板材料として、完全な Wolter I 型を再現した二段一体型反射鏡の開発を行っている。我々はレプリカ法を用いて二段一体型 CFRP 基板への反射膜の形成を行っており、Wolter I 型に研削研磨した二段一体ガラス母型を用いて一回反射の結像性能 1.4 分角の反射鏡を製作した (2014 年秋季年会報告)。

今回結像性能の劣化要因であった研削二段一体ガラス母型による散乱を防ぐため、粗さの小さい円筒ガラス母型を使い反射膜の形成を行った。加えて、CFRP 基板の形状を完全な Wolter I 型に押さえ込むため、基板背面に Wolter I 型の形状をもつアルミの梁を付けた反射鏡製作を行った。製作した反射鏡を可視光を用いて性能評価を行った結果、結像性能 0.5 分角以下であり、その母線形状精度は RMS 4.0  $\mu\text{m}$  であった。12 月には放射光施設 SPring-8 を使った性能評価実験を行う。本講演では、そ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](#)

## W137a 補償光学望遠鏡の改良

北本俊二、星野晶夫、杉本樹梨、鈴木大朗、小川修三、津村大樹、小林頼房、笹生基晃、丹原千秋、梨田礼美、相川紗愛、新妻祐太郎 (立教大-理)

我々の研究室では、補償光学を使用した直入射 X 線望遠鏡を開発している。これまで、可視光および極端紫外光でメッシュの撮像を試み、10cm 口径の主鏡で、約 2 秒角の分解能と評価していた。また、補償光学として駆動した場合は、駆動していない場合と比べて、像が改善されることも確認している。しかし、メッシュの撮像は光量を多くとれるために初期撮像実験には適していたが、分解能評価方法は単純ではなく、改善が必要であった。

今回、撮像光源を直径 100 $\mu\text{m}$  のピンホールに変更した。その結果、分解能の測定が容易となった。これまでの実験では、可視光による撮像であるので、ほぼ、直径 10cm の主鏡の回折限界の性能を得ることができている。また、真空実験のために、真空引き前後で、望遠鏡形状が大きく変わってしまうことも問題であった。これまでは、真空での形状変化を予測して、変化量を考慮した大気中でのアラインメントをしていたが、それを改善するため、可変型鏡である副鏡も、モータドライブによる可動ステージに設置し、真空中での粗動を可能にした。その結果、比較的簡単に、高精度のアラインメントが可能となり、可変型鏡に対する負担が減少し、低い電圧で、比較的安定した、制御を達成できるようになった。撮像に使用している裏面照射 CCD も、これまで 24 $\mu\text{m}$  ピクセルのものを使用していたが、12 $\mu\text{m}$  ピクセルのものに変更した。今後、分解能が上がるとまだ不足ではあるが、現時点では、これまでより良い結果を出すことができるようになった。

これらの望遠鏡の改造についてと、ここまで取得されているデータに基づいた望遠鏡の性能評価結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W138a 鉄 K 線エネルギー帯における大有効面積 X 線望遠鏡の開発

吉川駿, 立花献, 田村啓輔, 松本浩典, 田原譲, 山下広順, 森英之, 宮澤拓也, 三石郁之 (名古屋大学)

本研究は多層膜反射鏡を用いて鉄輝線を含む 6 keV 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。X 線マイクロカロリメータの登場によりエネルギー分解能が数 eV の精密観測が可能になる。マイクロカロリメータ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。E<10 keV の X 線を狙ったこれまでの X 線望遠鏡は単層膜による全反射を利用している。大有効面積化のために口径のみ大きくすると、径の大きな場所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。そこで我々は、重元素と軽元素を交互に積層することで Bragg 反射を利用する多層膜を反射鏡に用いる。これにより、臨界角を超える入射角で十分な反射率を得ることができる。これまでの研究で、Pt/C、Ir/C 多層膜を用いると焦点距離 6 m、口径 110 cm の望遠鏡で ASTRO-H 軟 X 線望遠鏡の 6 倍以上である 2500 cm<sup>2</sup>(@6.7 keV) 以上の有効面積を見込めることがわかっている (立花他 2014 年秋季年会)。

多層膜では物質の組み合わせにより反射率の低下の原因となる界面粗さが存在する。そこで、粗さの小さい理想的な界面を持つことが知られる W/C 多層膜に着目した。その結果、界面粗さが 0 Å の W/C 多層膜であれば、界面粗さ 4 Å の Ir/C 多層膜を用いた X 線望遠鏡と同等の有効面積が期待できることがわかった。また、Ir の M 吸収端の影響により Si 輝線を含む 2 keV 以上で急激な反射率の低下が起こる。そこで Ni をトップコートすることで吸収端による影響の軽減を図った。これにより、2keV で 3 倍の有効面積の改善が見込めることがわかった。これまでのシミュレーションの結果を踏まえ、スパッタ法により多層膜の製作を試みた。本講演では製作した多層膜の X 線反射率の角度依存性、エネルギー依存性についての結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## 【W2. 飛翔体観測機器（その他）】

3月19日（木）午前（09:30-11:30）[H会場]

W201a	10:54	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）
W202a	11:06	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 V 永田 竜（高エネルギー加速器研究機構）
W203a	11:18	宇宙マイクロ波背景放射観測衛星 LiteBIRD に向けた多素子超伝導共振器カメラの開発と低雑音化 唐津謙一（国立天文台）
W204b	11:30	LiteBIRD 衛星搭載広視野光学系の評価 岡田 望（大阪府立大学）
W205b	11:30	宇宙観測用接合型 Ge 遠赤外線検出器のアレイ化に向けた物理パラメータの決定 花岡美咲（名古屋大学）
W206b	11:30	シリコン基板に保持されたゲルマニウム Blocked Impurity Band 型遠赤外線検出器の開発 公地千尋（東京大学/宇宙航空研究開発機構）
W207b	11:42	SOLAR-C 光学磁場診断望遠 (SUVIT): 高精度偏光分光観測に向けた面分光装置と近赤外線カメラの性能と課題 勝川行雄（国立天文台）
W208c		次期太陽観測衛星 SOLAR-C 搭載大型光学望遠鏡の望遠鏡部検討進捗 末松芳法（国立天文台）
W209c		SOLAR-C 偏光分光観測装置 SUVIT Spectro-Polarimeter 原 弘久（国立天文台）
W210b	11:42	超高コントラスト系外惑星直接撮像のための非対称ナル干渉法とダークホール制御 西川 淳（国立天文台）

3月19日（木）午後（13:30-15:30）[H会場]

W211a	13:30	強度相関を用いた超長基線干渉計について 松尾 宏（国立天文台）
W212a	13:42	「あかり」IRC 指向観測撮像データの公開 江草英実（宇宙航空研究開発機構）
W213a	13:54	次世代赤外線天文衛星 SPICA：日欧共同詳細検討結果 芝井 広（大阪大学）
W214a	14:06	SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI：衛星計画変更への対応 金田英宏（名古屋大学）
W215a	14:18	WFIRST/AFTA Coronagraph (WACO) 田村元秀（東京大学/国立天文台）
W216a	14:30	瞳再配置型位相マスクコロナグラフの提案 村上尚史（北海道大学）
W217a	14:42	系外惑星直接観測のための Speckle Area Nulling を用いたダークホール制御 大矢正人（日本大学/国立天文台）
W218a	14:54	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗状況の全体的概要 郷田直輝（国立天文台）
W219b	15:06	小型 JASMINE の進捗状況 矢野太平（国立天文台）
W220b	15:06	小型 JASMINE 光学系の詳細な熱歪み解析 鹿島伸悟（国立天文台）
W221b	15:06	小型 JASMINE 衛星の熱環境実証試験 白旗麻衣（国立天文台）
W222c		小型 JASMINE で解明を目指す巨大ブラックホールの進化 辻本拓司（国立天文台）
W223a	15:18	Nano-JASMINE データ解析の準備状況 山田良透（京都大学）
W224b	15:30	撮像実験による超小型赤外線位置天文衛星 Nano-JASMINE の光学系性能の評価 原 拓自（東京大学）
W225c		Nano-JASMINE の現状と微小光源像の再測定 小林行泰（国立天文台）
W226b	15:30	宇宙赤外線背景放射の観測のためのロケット実験 CIBER-2 白旗麻衣（国立天文台）
W227c		気球 VLBI ミッションの検討 IV 土居明広（宇宙航空研究開発機構）

## W201a LiteBIRD 計画の現状

羽澄昌史, 小栗秀悟, 木村誠宏, 佐藤伸明, 鈴木敏一, 田島治, 茅根裕司, 都丸隆行, 永田竜, 長谷川雅也, 服部香里, 森井秀樹, 山口博史, 吉田光宏 (KEK), 秋葉祥希, 石塚光, 井上優貴, 瀬川優子, 渡辺広記 (総研大), 高倉理 (大阪大), 宇都宮真, 河野功, 坂井真一郎, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 杉田寛之, 竹井洋, 西城邦俊, 西堀俊幸, 野田篤司, 福家英之, 松原英雄, 松村知岳, 満田和久, 山崎典子, 吉田哲也, 四元和彦, 和田武彦 (JAXA), 石野宏和, 樹林敦子, 岐部佳朗, 山田要介 (岡山大), William Holzapfel, Adrian Lee, Paul Richards, Aritoki Suzuki, Yasuto Hori (UC Berkeley), Matt Dobbs (McGill U.), Julian Borrill (LBNL), 永井誠 (筑波大), 片山伸彦, 西野玄記 (Kavli IPMU), 中村正吾, 夏目浩太, 水上邦義, 入江郁也, 藤野琢郎, 山下徹 (横浜国大), 井上将徳, 岡田望, 小川英夫, 木村公洋, 高津湊 (大阪府大), 高田卓 (核融合研), 小松英一郎 (MPA), 石徹白晃治, 服部誠, 森嶋隆裕 (東北大), 大田泉 (甲南大), 成瀬雅人 (埼玉大), 並河俊弥 (Stanford U.), 鹿島伸悟, 唐津謙一, 関本裕太郎, 野口卓 (国立天文台), 鶴澤佳徳 (NICT), 大谷知行, 古賀健祐, 美馬覚 (理研)

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 年初頭の打ち上げを目指している。30 分角 (150GHz) 程度の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で、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。前景放射分離のため 50-320GHz の周波数帯域をカバーするデザインとなっている。本講演では、LiteBIRD 計画のミッションとシステム検討について、2014 年度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](#)

W202a

## CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 V

小栗秀悟、木村誠宏、佐藤伸明、鈴木敏一、田島治、茅根裕司、都丸隆行、永田竜、羽澄昌史、長谷川雅也、服部香里、森井秀樹、山口博史、吉田光宏 (KEK) 秋葉祥希、石塚光、井上優貴、瀬川優子、渡辺広記 (総研大) 高倉理 (大阪大) 宇都宮真、河野功、坂井真一郎、佐藤洋一、篠崎慶亮、杉田寛之、竹井洋、西城邦俊、西堀俊幸、野田篤司、福家英之、松原英雄、松村知岳、満田和久、山崎典子、吉田哲也、四元和彦、和田武彦 (JAXA) 石野宏和、樹林敦子、岐部佳朗、山田要介 (岡山大) William Holzzapfel, Adrian Lee, Paul Richards, Aritoki Suzuki, Yasuto Hori (UC Berkeley) Matt Dobbs (McGill U.) Julian Borrill (LBNL) 永井誠 (筑波大) 片山伸彦、西野玄記 (Kavli IPMU) 中村正吾、夏目浩太、水上邦義、入江郁也、藤野琢郎、山下徹 (横浜国大) 井上将徳、岡田望、小川英夫、木村公洋、高津湊 (大阪府大) 高田卓 (核融合研) 小松英一郎 (MPA) 石徹白晃治、服部誠、森嶋隆裕 (東北大) 大田泉 (甲南大) 成瀬雅人 (埼玉大) 並河俊弥 (Stanford U.) 鹿島伸悟、唐津謙一、関本裕太郎、野口卓 (国立天文台) 鶴澤佳徳 (NICT) 大谷知行、古賀健祐、美馬覚 (理研)

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。LiteBIRD は偏光地図に刻印された原始重力波の信号検出を目指す衛星計画である。

微弱な原始重力波信号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。中でも無偏光成分に由来する偽偏光信号はとりわけ大きな系統誤差源である。今回の発表では、光学変調装置を使った偽偏光の分離に関する議論を中心に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W203a 宇宙マイクロ波背景放射観測衛星 LiteBIRD に向けた多素子超伝導共振器カメラの開発と低雑音化

唐津謙一, 関本裕太郎, 野口卓, 新田冬夢 (国立天文台), 成瀬雅人 (埼玉大学), 関根正和, 関口繁之, 岡田隆, Shu Shibo (東京大学), 他 LiteBIRD Working Group

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光は, 宇宙初期にあったとされるインフレーションの情報を抽出することができる, 宇宙論的にも高エネルギー物理学的にも魅力的な観測対象である. LiteBIRD は CMB B モード偏光の観測に特化した衛星計画であり, tensor-to-scalar ratio ( $r$ ) を約 0.001 の精度で測定することを目標としている. このような高感度観測を達成するために, LiteBIRD の焦点面には約 2000 素子の超伝導検出器が搭載される計画となっている. 国立天文台では, LiteBIRD の焦点面検出器候補の 1 つとして超伝導共振器 (MKID) カメラの開発を進めている.

開発要素としては大きく分けて 3 つある. 1 つ目は検出器感度の向上 (低雑音化), 2 つ目は広帯域な光学結合系の開発, 3 つ目は読み出し系の開発である. 我々はこれまで, Noise Equivalent Power (NEP) で約  $2 \times 10^{-18} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$  の感度を達成している. また, 100 – 200 GHz をカバーする広帯域ホーンやアンテナプローブの開発を進めており, 更に, 4 GHz のサンプリング速度をもつ, 高速・広帯域読み出し回路の開発も行っている. 本講演では, これら 3 つの要素の中でも特に, 低雑音化に重点を置いて報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W204b LiteBIRD 衛星搭載広視野光学系の評価

岡田 望, 木村 公洋, 井上 将徳, 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府立大学), 関本 裕太郎, 稲谷 順司, 鹿島 伸悟 (NAOJ), 羽澄 昌史 (KEK), 松村 知岳, 村田 泰宏, 西堀 俊幸, 紀伊恒男 (JAXA), 大田 泉 (甲南大学), LiteBIRD working group

現在、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測衛星 LiteBIRD の開発が進められている。この開発はインフレーション理論で提唱されている初期宇宙の指数関数的な急膨張 (インフレーション) モデルの実験的検証を行うことを目的としており、LiteBIRD 衛星は CMB の中でも特に原子重力波起因で発生した偏光パターン B モードの観測からインフレーションの痕跡を得ることが期待されている。

LiteBIRD 衛星の観測周波数帯域は 60/78/100 GHz 帯 (比帯域:0.23) および 140/195/280 GHz 帯 (比帯域:0.30)、検出器は 2022 素子からなる多色超伝導検出器アレイ (TES または MKID) を予定しており、電波望遠鏡の中でもかなり広視野かつ広帯域な光学系が要求される。また観測対象である B モードは CMB の中でも大変微弱である為、高感度であることも要求されている。

我々はこの要求を満たす為、クロスドラゴン光学系を採用している。この光学系は主鏡、副鏡およびフィードで構成され、光学系全体の大きさが比較的コンパクトかつ広い焦点面が獲得できるという利点を持つ。しかし一方で、アンテナビームパターンにスピルオーバーや多重反射の影響が顕著に見られることも懸念されている。その為、物理光学手法を用いたシミュレーションによりアンテナビームパターンの評価を進めている。また性能追及の為、2014 年秋より新しい光学系モデルの設計・評価やスケールモデルの製作による検証を進めている。

本講演では新しい光学系モデルでの評価結果について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W205b 宇宙観測用接合型 Ge 遠赤外線検出器のアレイ化に向けた物理パラメータの決定

花岡美咲、金田英宏、大藪進喜、服部和生、田中琴未、鷓飼壮太(名古屋大学)、和田武彦(宇宙航空研究開発機構)、鈴木仁研(SRON)、渡辺健太郎(東京大学)、長勢晃一(総合研究大学院大学、ISAS)、公地千尋、馬場俊介(東京大学、ISAS)

これまで、宇宙観測のための遠赤外線検出器として、Ge:Ga 光伝導型検出器が利用されてきた。しかし、この検出器は、長波長側への感度の伸長に素子の加圧が必要となるため、大規模アレイ化が困難である。これを解決するために、我々は、Blocked Impurity Band (BIB) 型 Ge 検出器の開発を行っている。この検出器は、従来型より Ga 濃度を 2 桁上げた高濃度 Ge:Ga ( $p^+$  層) に、高純度 Ge ( $i$  層) を接合させた構造を持つ。Ga 濃度を増加させて光検出のための準位を浅くすることで、加圧せずに検出限界波長を長波長側へ伸ばすことが可能となる。また、高純度 Ge を接合することで、高濃度化に伴い発生する暗電流を防いでいる。我々は、表面活性化常温ウエハ接合技術により、不純物の拡散を抑えた良質な接合界面をもつ  $p^+-i$  接合型素子を作製し、評価を進めている。

昨年の春季年会(田中らの講演)では、Hall 効果測定から Ga 濃度の異なる 3 種類の Ge:Ga の検出限界波長が見積もられており、 $p^+-i$  接合型素子とした時の長波長側への感度の伸長が期待されている。本研究では、評価した Ge:Ga を  $p^+$  層とした 3 種類の  $p^+-i$  接合型素子を作製した。これらの素子に対して、フーリエ分光器を用いた波長感度測定を行い、Ga 濃度と検出限界波長の関係を調べた。また、クライオスタット内部の黒体光源を用いた感度測定を行い、低背景放射環境での絶対感度を調べた。本講演では、これらの結果をもとに、BIB 型 Ge 検出器の開発の現状と今後の展望について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W206b シリコン基板に保持されたゲルマニウム Blocked Impurity Band 型遠赤  
外線検出器の開発

公地千尋 (東京大学, ISAS/JAXA), 和田武彦 (ISAS/JAXA), 長勢晃一, 山本啓太 (総合研究大学院大学, ISAS/JAXA), 馬場俊介 (東京大学, ISAS/JAXA), 金田英宏, 服部和生, 田中琴未, 花岡美咲, 鶴飼壮太 (名古屋大学), 鈴木仁研 (SRON), 渡辺健太郎 (東京大学)

従来の外因性 Ge (Ge:Ga) 光伝導検出器の欠点を解決するための素子として、Ge を Ga に高濃度でドーブした  $p^+$  層と高純度 Ge の  $i$  層を接合した Blocked Impurity Band (BIB) 型 Ge 検出素子が開発されている。この素子では加圧無しに長波長側に感度を伸ばすことができるため、大規模アレイ化の実現が期待できる。しかし、大規模アレイ化に際し、読み出し集積回路 (ROIC) に用いられる Si と検出器アレイである Ge との間の熱膨張係数の差による画素毎接続の破損が問題となる。

この問題を解決するため、我々は検出素子を赤外線透過 Si 基板で保持する方法を考案した。強度を保ち、さらに検出器性能の劣化を回避するため、Ge 検出器と Si 基板との接合には接着剤を使わず低い温度で処理できる表面活性化常温接合を用いた。検出器を ROIC 側に配置するため、保持基板を光入射面側に配置した。ROIC 側から検出器入射面側の「埋め込み透明電極」へのコンタクトには、深堀ドライエッチングを用いた。

我々は Si/Ge:Ga の接合素子の液体窒素温度での冷却サイクル試験を行い、接合の損傷が起こらないことを確認した。また、Ge 基板への深堀ドライエッチングに成功した。今後は透明電極へのコンタクト機構の作成と透明電極の赤外透過率・電気伝導率の測定を行う予定である。本講演では、この Si 基板保持型 GeBIB 遠赤外線検出器の概要を述べるとともに、実験結果に基づいた BIB 型検出器の設計について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W207b **SOLAR-C 光学磁場診断望遠 (SUVIT): 高精度偏光分光観測に向けた面分光装置と近赤外線カメラの性能と課題**

勝川行雄, 原弘久, 末松芳法, 鎌田有紀子 (国立天文台), 一本潔 (京都大), 清水敏文 (ISAS), SOLAR-C WG

次期太陽観測衛星 SOLAR-C では、高精度偏光分光観測により光球に加えて彩層の磁場診断を実現することが最重要要求である。彩層に見られるダイナミックな現象に追従するため、2次元同時に偏光分光情報を取得する面分光装置の開発を進めている。偏光維持機能を持たせた矩形光学ファイバー束を用いた面分光装置の試作評価をこれまで行ってきた。29 $\mu\text{m}$ ×8 $\mu\text{m}$ のコア形状でクラッド厚 1.5 $\mu\text{m}$ の光学ファイバーを開発しており、500-1100nmの観測波長域において、隣接するファイバーコア間のクロストークや偏光維持性能の評価を実施している。これまで開発した試作品による評価の結果、ファイバー保持に用いる樹脂がファイバーに与えるストレスによって、透過率や偏光維持性能の変化が発生することが判明していた。特に、エポキシ樹脂では温度変化による偏光維持性能の変化が要求を満足できないことが課題となっていた。調査の結果、シリコン樹脂によってストレスを低減化できる可能性があることが分かった。適した宇宙用シリコン樹脂を同定し、それを用いた面分光装置を試作するとともに性能評価を行った結果について報告する。また彩層観測に適したスペクトル線のある波長 1 $\mu\text{m}$  近傍を高感度かつ高速で観測できるカメラの性能検証を行っている。1.7 $\mu\text{m}$  カットオフの HgCdTe 素子を第1候補とし、その評価用素子に対して使用予定温度である 200K 近傍における暗電流等の性能実証を行っている。その結果についてもあわせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

W208c

## 次期太陽観測衛星 SOLAR-C 搭載大型光学望遠鏡の望遠鏡部検討進捗

末松芳法, 勝川行雄, 原弘久 (国立天文台), 一本潔 (京都大学), 清水敏文, 吉原圭介 (ISAS/JAXA),  
SOLAR-C WG

次期太陽観測衛星 SOLAR-C の科学目的は、太陽磁気活動現象のエネルギー源となる下部光球から、磁気エネルギー・質量の輸送・解放の現場となる彩層・コロナまで、切れ目なく高い空間・時間分解能で観測し、太陽磁気大気の成因及びその加熱・ダイナミクスの起源解明を目指すものである。主な観測装置の一つである大型光学望遠鏡 (Solar Ultraviolet-Visible-Infrared Telescope: SUVIT) は、この科学目的を達成するため、下部光球から上部彩層までの 3 次元磁場・速度構造及び熱力学的構造を、磁気構造 ( $\sim 0.1$  秒角) を分解する精度で且つ中規模の黒点活動領域をカバーする視野で分光偏光データ取得を目指す。SUVIT の観測性能として、空間分解能: 0.07 秒角 (短波長域撮像)  $\sim$  0.2 秒角 (赤外域偏光分光)、最大視野: 184 秒角  $\times$  184 秒角、観測波長域: 280nm  $\sim$  1083nm、測光精度:  $10^{-4}$  (偏光分光)、時間分解能: 1 秒 (撮像)  $\sim$  20 秒 (高精度偏光分光) を目指す。これらの実現のため、SUVIT 望遠鏡部は口径 1.4m のグレゴリー式望遠鏡 + ミラー式コリメータ、焦点面装置として、広帯域 (紫外域での高分解能観測)・狭帯域 (可視・近赤外での高分解能偏光分光観測) フィルター撮像装置及び高精度偏光分光器 (2次元分光とスリット分光共用)、0.02 秒角 ( $3^\circ$ ) の安定度を目指す像安定化装置を採用する。グレゴリー式望遠鏡 + コリメータ、焦点面 I/F 部の光学設計、構造・熱設計検討の進展があり現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W209c SOLAR-C 偏光分光観測装置 SUVIT Spectro-Polarimeter

原 弘久, 勝川行雄, 末松芳法 (国立天文台), 一本潔 (京大), 草野完也 (名大), 清水敏文, 松崎恵一, 吉原圭介 (ISAS/JAXA), ほか SOLAR-C WG

次期太陽観測衛星 SOLAR-C 計画が目指すサイエンス目標の達成には、光球に加えて彩層の三次元磁場情報の取得が必須となっている。この磁場情報取得を偏光分光スペクトルの観測を通して実現するのが、SOLAR-C の可視光望遠鏡 SUVIT の偏光分光装置 Spectro-polarimeter (SP) である。SOLAR-C 計画で提案する SP は、波長 500nm から 1100nm の範囲の 3 バンドで光球と彩層の偏光分光観測を  $1E-4$  の測光精度で行い、通常の一次元スリット偏光分光に駆動機構によるスリット上の太陽像の移動を加えて二次元面の偏光分光データを取得するほか、短時間にダイナミックに変動する彩層の磁場取得のために駆動機構を使わずに 9 秒角程度の二次元視野点を同時に偏光分光する機能をもつ観測装置である。この装置では、1Hz の周期で定速回転する波長板によって変調がかけられた 1 フレームあたり 2Kx2K 画素偏光スペクトルデータを、64 フレーム/秒という高速 SP カメラで読み出しつつ、カメラ制御装置のメモリ上でのデモジュレーションと精度向上のための積算を通して高精度ストークスパラメータが機上で得られる。このストークスパラメータ画像を画像圧縮して地上に降ろし、磁場・速度場情報を取り出すために解析することになる。この講演では、SP への科学要求、科学要求を満たすように進めている SP の検討内容や、装置実現のために必要とされる検証試験内容について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W210b 超高コントラスト系外惑星直接撮像のための非対称ナル干渉法とダークホール制御

西川淳(国立天文台/総研大), 大矢正人(日本大学/国立天文台), 堀江正明(日本大学), 佐藤克磨(東京農工大学/国立天文台), 村上尚史(北海道大学), 小谷隆之(国立天文台), 田村元秀(東京大学/国立天文台), 熊谷紫麻見(日本大学), 田中洋介(東京農工大学), 黒川隆志(東京農工大学/国立天文台)

地球型系外惑星は主星との小さい離角と大きな強度比(可視、近赤外で9桁前後)があり、直接観測には、主星の光を除去するコロナグラフと、スペckルノイズを抑える $\lambda/10000\text{rms}$ の波面制御が必要である。我々の発明した非対称ナル干渉(UNI)法は前置コロナグラフ法であり、可変形鏡1(DM1)、前置コロナグラフ(UNI)、可変形鏡2(DM2)、メインコロナグラフ(Cor)の順に設置し、波面補償と恒星光除去の能力を増強する。(2010年春 W19a, A&A 489, 1389、天文月報'09.3、Optical Review 20, 453)。UNI部には、惑星探査効率の高いコロナグラフを低コントラスト(2桁程度消去)状態にして使用することが理想的で、DM1はUNI通過時にUNI内部の波面誤差も除去されるよう制御することが理想的であるが、その解は、惑星探査効率が0.5の横シェアリング干渉計型のUNIでしか見つけていなかった(2013年秋 W230a)。今回、多くのコロナグラフに有効な解を発見した。それは、UNI部を完全ナル干渉(高コントラスト)状態にして、DM1と焦点面検出器によってダークホール制御を行い、その後、非対称ナル干渉(低コントラスト)状態に切替え、退避していたCorのマスクを挿入し、DM1,DM2と焦点面検出器で再度ダークホール制御を行うことである。これにより瞳面波面センサーを全廃して全光学系はスリムになり、搭載機器としての適合性も上がった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W211a 強度相関を用いた超長基線干渉計について

松尾 宏, 江澤 元, 本間希樹, 岩井一正, 下条圭美, 木内 等 (国立天文台), 村田泰宏 (ISAS/JAXA), 松下聡樹 (ASIAA)

我々は天体熱放射の統計的性質に注目し、天体強度の相互相関を用いた開口合成型強度干渉計の開発を進めている。平成26年秋季年会で報告した野辺山電波ヘリオグラフを用いた強度干渉計実験の結果に基づき、テラヘルツ波領域での超長基線干渉計の可能性について検討を行ったので報告する。

強度干渉計は1950年代から用いられるが (Hanbury-Brown and Twiss, Nature, 1956)、受信機に必要な高いダイナミックレンジ、干渉効率の低さ、電磁波位相情報の欠如、といった欠点がある。我々はテラヘルツ帯の光子計数型検出器の導入により、高いダイナミックレンジと干渉効率を実現し、強度相関を用いた遅延時間測定による複素ビジビリティの取得と画像合成を行うことを提案している。

直接検出器を用いた強度干渉計は、ヘテロダイン干渉計のような量子雑音の影響を受けず、また、電磁波に対する位相雑音の影響も受けない。このため、宇宙空間の低背景放射環境を生かして超高感度の干渉計を実現できる。素子アンテナでは光子情報を時刻情報と共に記録すればよいため、超長基線干渉計も実現可能である。

極低温望遠鏡 (AKARI, SPICA)、超長基線干渉技術 (HALCA, Astro-G) では日本が主導的な役割を果たしており、強度干渉計 (光子計数型干渉計) に応用できる。極低温望遠鏡と高速のテラヘルツ光子検出器の組合せで、ヘテロダイン干渉計に比べ4桁から5桁の感度向上が期待される。テラヘルツ波での広い帯域幅 ( $\sim 1\text{THz}$ ) と熱放射に対する高い感度 ( $\propto \nu^2$ ) により、ミリ波帯のヘテロダイン干渉計と比べて熱放射に対する感度が約8桁高くなると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W212a 「あかり」IRC 指向観測撮像データの公開

江草実実 (宇宙航空研究開発機構), 「あかり」データ解析チーム, 「あかり」IRC チーム

赤外線天文衛星「あかり」は、約1年半の液体ヘリウム冷却期間 (Phase 1 & 2) 中に、全天サーベイ観測に加えておよそ4000回の指向観測を行った。近中間赤外線カメラ (InfraRed Camera; IRC) には、波長  $2\mu\text{m}$  から  $30\mu\text{m}$  までを連続的にカバーする9つの撮像フィルター (N2・N3・N4・S7・S9W・S11・L15・L18W・L24; 数字は代表波長 [ $\mu\text{m}$ ]) と5つのプリズム・グリズム分光器が搭載されており、上記期間中には全ての波長での観測を行った。液体ヘリウム消失後も機械式冷凍機による冷却を続け、近赤外線 (波長  $2\mu\text{m}$  から  $5\mu\text{m}$  まで) での観測を行った (Phase 3)。IRC の視野は約  $10'$ 、角度分解能は波長によって異なりおよそ  $4''$  から  $7''$  である。

指向観測によるIRCのデータはこれまで、撮像・分光観測ともに生データと解析用ソフトのみを公開してきた。従ってユーザー自身がデータ解析をする必要があり、「あかり」観測装置に関する知識や、光赤外線データ解析の経験がないと利用しにくいという問題があった。そこで我々は、解析済データの公開を目指し、解析用ソフトの改良とデータ作成を行っている。本講演では、Phase 1 & 2 の撮像データについての成果を報告する。

暗電流 (ダーク) や検出器感度 (フラット) の較正はその時間変化に対応し、より精度が向上した。また、天球面座標 (WCS) の決定成功率も、2MASSに加えてWISEのカatalogを参照することで向上した。解析済データは2014年12月末に内部公開され、3ヶ月の検証期間を経て、2015年3月の一般公開を予定している。本講演では、公開予定のデータの例やその取得方法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](#)

## W213a 次世代赤外線天文衛星 SPICA：日欧共同詳細検討結果

芝井 広(大阪大), 中川貴雄, 松原英雄, 川勝康弘(JAXA), 尾中 敬(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」の成功を受けて提案し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することができ、JWST と ALMA の間の波長帯で超高感度観測を実現することが目的である。早期の実現のために国際役割分担を変更するとともに、科学目的・意義を再定義し、今年度中のプロジェクト準備フェーズの開始をめざして、検討を進めてきた(2014年秋季年会 W204a)。しかしいくつかの制約から再度の計画変更が迫られたため、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、実現性を一層高めるための詳細検討が実施されている。ESA は ESTEC (ヨーロッパ宇宙技術センター) で技術検討チーム (CDF: Concurrent Design Facility) を組織して、実現可能な衛星システム規模の検討を行う。JAXA は従来の SPICA の設計・開発成果を伝達する等で支援する。日欧の観測器開発チームと科学検討チームが、衛星全体の設計・仕様と科学的目的達成度の関係を検討する。検討対象は、口径 2-3m クラスの極低温冷却望遠鏡であって、波長 20-210 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撮像機能を持つ。この技術検討は 3月に終了し、それを用いて日欧合同チームが ESA の M クラスミッションとして提案するとともに、国内での早期スタートをめざす。2025 年度に打ち上げて 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。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](#)

W214a **SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI : 衛星計画変更への対応**

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(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 衛星計画の見直しに伴い、日本が主導する中間赤外線観測装置 SMI ( SPICA Mid-infrared Instrument ) の仕様の再検討を進めてきた。その結果、SMI は、広視野撮像と中分散分光の 2 つの機能を有し、コア波長レンジ  $20 - 37 \mu\text{m}$  をカバーする装置として規定された (2014 年秋季年会 W205a)。しかしながら、国際協力上の制約から SPICA へ再度の計画変更が求められ、それに伴い、装置の再設計・仕様変更が必要となった。現時点では、望遠鏡の口径が縮小される可能性が高いため、検出器の視野を広げてマッピング効率をさらに向上させることで、感度低下の影響を軽減させる予定である。SPICA/SMI の主要な科学目的は、赤方偏移レンジ  $z = 2 - 4$  を中心に、塵に覆われて可視・近赤外線では観測が困難な活動性の高い膨大な数の銀河に対して、有機物 PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) やシリケートなどのダストバンドを検出し、星生成銀河や活動銀河核の成長史の全容を解明することである。それらに加えて、視野を拡大させることで可能となる新たな科学テーマについても検討中である。

本講演では、SPICA 衛星計画変更への SMI の対応について、装置設計の再検討状況とともに、装置仕様や科学目的への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](#)

W215a **WFIRST/AFTA Coronagraph ( WACO )**

田村元秀 (東京大学・国立天文台), 村上尚史, 馬場直史 (北海道大学), 西川淳, 成田憲保 (国立天文台・総研大), 小谷隆行 (国立天文台), 塩谷圭吾 (JAXA), O. Guyon (すばる・アリゾナ大), 河原創, 權静美 (東京大学), 松尾太郎 (京都大学), 住貴宏 (大阪大学), 山田亨 (東北大学), ほか WFIRST チーム

1995年の太陽系外惑星の発見の次の大きなステップとして、巨大木星型惑星およびそれよりも小さな惑星（海王星型惑星やスーパーアース・地球型惑星まで）を「直接に」検出するだけでなく、その大気を調べ、水やバイオマーカーの有無を直接に示すことを目指すスペースミッションの実現がある。我々は、米国チームらが主導する、口径2.4mのNASAのWFIRST/AFTA望遠鏡にスペースコロナグラフを搭載する計画に参加している。本コロナグラフは、従来のスペースミッションには無い高度なコロナグラフ技術を実現し、 $10^9$ - $10^{10}$ という高コントラスト性能を追求する。その結果、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、数十個の既知の系外惑星の面分光観測、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、波面補償光学利用スペースコロナグラフの実証が可能となることが期待される。日本側の寄与（WACO）としては、このコロナグラフの鍵となる光学系の主要コンポーネントの国内独自開発を行い、コロナグラフにおける偏光機能の検討・設計、さらに、赤外コロナグラフの設計を検討している。本講演では、WACO全体計画とそのR&Dの現状について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)  
[スケジュールに戻る](#)

## W216a 瞳再配置型位相マスクコロナグラフの提案

村上尚史, 赤岩夏海, 馬場直志 (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)

太陽系外惑星を直接検出するためには、明るい主星光を強力に除去するための高コントラスト撮像装置が必要不可欠である。主星のごく近傍で高い消光性能を達成できる手法として、位相マスクコロナグラフが提案されている。これは、望遠鏡焦点面に光波の位相を空間的に変調するマスクを置くことで、打ち消し合う光波干渉を利用して恒星光を除去する手法である。位相マスクとして、4分割位相マスク、8分割位相マスク、光渦マスクなどが提案されている。しかしながら、位相マスクコロナグラフは、望遠鏡瞳に副鏡やスパイダの影がある場合、性能が著しく劣化してしまうという弱点がある。副鏡の影を除去するための補正光学系の開発が行われているが（押山他，2013年秋季年会 V239a）、スパイダの影響が依然として残る。

我々は新たに、副鏡とスパイダの影響を低減するためのコロナグラフを提案する。位相マスクコロナグラフは円形開口に対して有効であるので、まず、望遠鏡瞳面において副鏡とスパイダを避けるように円形サブ開口を取り出す。しかし、このままでは隣り合うサブ開口から恒星光が漏れこんでしまい、コントラストの向上は見込めない。そこで、瞳再配置光学系により、それぞれのサブ開口間距離を遠ざける。これにより、隣り合うサブ開口からの漏れこみ光が大きく低減され、コントラストが格段に向上することが期待される。

我々は、光渦コロナグラフを想定した計算機シミュレーションを行い、達成されるコントラスト、およびコロナグラフの有効離角 (Inner Working Angle, IWA) を評価した。本講演では、提案する手法の原理、および計算機シミュレーションによる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](#)

## W217a 系外惑星直接観測のための Speckle Area Nulling を用いたダークホール制御

大矢正人 (日本大学/国立天文台), 西川淳 (国立天文台/総研大), 堀江正明 (日本大学), 佐藤克磨 (東京農工大学/国立天文台), 村上尚史 (北海道大学), 小谷隆之 (国立天文台), 田村元秀 (東京大学/国立天文台), 熊谷紫麻見 (日本大学), 田中洋介 (東京農工大学), 黒川隆志 (東京農工大学/国立天文台)

太陽系外惑星、特に、地球型惑星の観測では、恒星と惑星のコントラスト比で可視・近赤外域で8~10桁が必要とされている。そのためには、恒星の回折光を除去するステラコロナグラフを用い、それでは除去できないスペックルを $\lambda/10000$ rms精度の補償光学によって低減する。通常の補償光学では難しいので、焦点面の特定の領域のスペックルが消えるように可変形鏡を動かすダークホール制御を行う。常用されているダークホール制御法 (Electric Field Conjugation) は光学モデルの助けが必要だが、我々は光学モデルを必要としない Speckle Area Nulling (SAN) 法を開発した。可変形鏡に正弦波状の波面を印加すると、最終像面では特定の位置に変調電場が発生する。正弦波の振幅、空間的な位相、波数は、変調電場の振幅、偏角、位置に対応している。この関係を用いて、可変形鏡で四種類の正弦波状の波面を加えて、任意のスペックル電場に対して、測定と補正電圧を導出でき、広い制御領域に対しては、正弦波の重ね合わせで、面積的に一括で補正することができる。12x12の可変形鏡と渦マスクコロナグラフを用いた波長671nmの単色光の実験で、光軸中心から $1 \sim 4.5\lambda/D$ の領域では、 $3E-5$ から $1E-6$ まで0.03倍低減した。それは、初期波面誤差が $\lambda/60$ rmsで振幅誤差が0.03rmsのシミュレーション結果に近い。更にコントラストを改善するには、アクチュエーター数の多い可変形鏡が必要な可能性が高い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W218a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗状況の全体的概要

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 收, 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 (東大工), 酒匂信匡 (キャノン電子), ほか JASMINE ワーキンググループ同

Nano-JASMINE は、2010 年に FM の組み立ては完了しており、FM の維持管理、運用訓練の実施、および地上通信局やデータ解析の準備を進めている。打ち上げ時期は 2015 年後半が予定されているが、国際情勢にも左右されており、不定要因がある。Nano-JASMINE は、将来は Gaia と Nano-JASMINE の観測データを合わせたデータアーカイブも制作することとなっていて、Gaia のデータ解析チームとの従来からの協力だけではなく、アーカイブ作成と Gaia データの正当性の検証についても Gaia チームとの協力が開始した。一方、小型 JASMINE は、年周視差を  $10 \sim 20\mu$  秒角の精度 (固有運動  $10 \sim 50\mu$  秒角/年) で、主テーマである巨大ブラックホールとバルジの共進化の解明のため、中心核バルジ領域を測定するとともに、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、星形成領域等) 方向に対しても位置天文観測を行う計画である。JAXA 宇宙研による、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行ったが、その審査で得た改善コメントに基づいてさらに検討を進めてきたが、改善の見込みがみつつつある。また、重要な技術要素である衛星の熱設計と望遠鏡構造の熱変動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](#)

## W219b 小型 JASMINE の進捗状況

矢野太平, 郷田直輝, 小林行泰, 白旗麻衣, 宇都宮真, 鹿島伸悟 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), 安田進 (ISAS/JAXA), 他 JASMINE ワーキンググループ

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を  $10 \sim 70 \mu$  秒角の精度、固有運動を  $10 \sim 70 \mu$  秒角/年の精度で決定する計画であり、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 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も行い、検討開発を精力的に進めている。

姿勢に関しては、ミッション部熱環境が出来るだけ低温化を保ち、比較的容易で衛星に負担をかけない姿勢運用として、「あかり」の姿勢運用を参考にした姿勢案に変更し検討を進めてきている。また、検出器部においては、望遠鏡部と熱的に切って独立に温度管理をおこなうコンセプトに設計変更した熱モデルに変更している。検出器部分に関しては  $180\text{K}$  以下に保ちつつ望遠鏡部は  $5$  程度の常温に近い運用を行う要求をしている。

以上仕様のもとで、熱歪安定性や、断熱性の実証実験が進められている。熱による構造歪の安定性については部分モデルを試作し実証をおこなっている。また、検出器ボックスの断熱性の実証も進めている。以上実証実験と並行し、熱構造解析も行い成立性の確認を行っている。

更には小型 JASMINE は非常に高い星像中心位置決定精度が要求されているが実際に  $100$  万枚の撮像データをもとに実証実験も進められている所である。

本講演では以上小型 JASMINE に関連する個別検討事項を報告するとともに小型 JASMINE の全般的な検討状況についての報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W220b 小型JASMINE 光学系の詳細な熱歪み解析

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。

ここに来て構造もほぼ 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、及び最終的な波面収差及びエンサークルドエナジーでの評価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](#)

## W221b 小型 JASMINE 衛星の熱環境実証試験

白旗 麻衣、小林 行泰、矢野 太平、鹿島 伸悟、上田 暁俊、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 Hz バンド ( $1.1\text{--}1.7\ \mu\text{m}$ ) である。小型 JASMINE の衛星軌道としては高度  $550\ \text{km}$  の太陽同期軌道を想定しているが、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。そこで、 $10\ \mu\text{m}$  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た。

我々は、熱安定性を確保するため、小型 JASMINE ミッション部を熱的に望遠鏡部分と検出器部分の2つに分け、それぞれ独立に温度管理を行う方針を採用した。望遠鏡にはヒーターを取り付け、 $5^\circ\text{C}$  程度の常温に近い温度において、 $0.1\ \text{K}$  以下の温度安定精度で運用する。検出器は、放射冷却とペルチェの組み合わせにより、検出器の熱電流が許容範囲以下となる  $180\ \text{K}$  以下において、 $0.7\ \text{K}$  以下の温度安定性を実現させる。本講演では、これらの熱環境を実現させるために行っている熱構造解析の検討状況を紹介し、現在すすめている多層断熱材 MLI の実証試験やペルチェの性能評価試験の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W222c

## 小型 JASMINE で解明を目指す巨大ブラックホールの進化

辻本拓司, 郷田直輝, 小林行泰, 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 (文教大), 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 (東大工), 酒匂信匡 (キャノン電子), ほか JASMINE ワーキンググループ同

小型 JASMINE は、バルジ中心核領域の星々の位置・固有運動を高精度に測定することから、銀河系中心に存在する巨大ブラックホールの進化・成長過程を解明することを目指している。現代の銀河形成論のパラダイムである階層的銀河形成シナリオにおいては、巨大ブラックホールが銀河（バルジ）の成長とともに、合体成長してきたことが強く示唆される。さらにこの過程に加えて、銀河系バルジの非軸対称なポテンシャルは必然的にガスの角運動量を失わせ、ガスの中心核への流入を引き起こすことが期待される。よって、巨大ブラックホールの成長過程の解明には、巨大ブラックホールの衝突合体過程およびバルジ中心核の重力場ポテンシャルを含めた力学構造の両者を正確に押さえることが肝要となる。この主題へのヨーロッパ宇宙機構から 2013 年末に打ち上げられた高精度位置天文衛星 Gaia の貢献は極めて限定的にならざるを得ない。この領域はダストによる吸収減光が甚だしいために可視光では見えないからである。本講演では、星の位相分布関数から巨大ブラックホールの衝突合体の痕跡を、さらに、星の軌道解析からバルジ中心核の力学構造を、それぞれ決定できる手法および今後の戦略を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W223a Nano-JASMINE データ解析の準備状況

山田 良透 (京都大学)、Uwe Lammers(ESA)、Daniel Michelik(Lund 大学)、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 (信州大学)、中須賀真一 (東京大学)

Nano-JASMINE は、2014 年 12 月から 2015 年 12 月の間に打ち上げ予定の日本の位置天文観測衛星である。データ解析では、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 用の修正、および日本担当の Nano-JASMINE 用前処理プログラムを用いた end to end 試験が進行中である。本講演では、とくに前処理部分のプログラムの改良および評価について報告する。

Nano-JASMINE 衛星のデータ解析に関するコード開発については、2015 年 3 月 11 日にレビュー会を実施する予定である。これをもって、打ち上げ前の解析ソフトウェア開発はほぼ一段落し、以後は解析に関しては打ち上げ後のデータに基づくシステム同定作業と、打ち上げまでのコード開発作業は運用支援のためのソフトウェアの開発に重点を置くことになる。2013 年 12 月に打ち上げられた Gaia 衛星においても、打ち上げ後に様々な問題が明らかになっており、これらの経験を Nano-JASMINE に生かして、予想される問題点に関する準備も開始する予定である。これについても報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W224b 撮像実験による超小型赤外線位置天文衛星 Nano-JASMINE の光学系性能の評価

原拓自, 白旗麻衣, ほか JASMINE グループ一同

Nano-JASMINE は、スペースで行う赤外線位置天文観測：JASMINE 計画の第一弾として、2015 年度打ち上げ予定の超小型位置天文観測衛星である。有効口径 5cm の望遠鏡を搭載し、2 方向同時観測大円サーベイ方式で全天の観測を行う。波長域は z-band(  $\sim 0.8 \mu\text{m}$  ) である。大きさ 50cm 立方、質量 35kg という超小型衛星でありながら、ESA の位置天文観測衛星 HIPPARCOS 級の数ミリ秒角精度を目指す。開発は国立天文台・京都大学・東京大学を中心に進められている。

Nano-JASMINE の撮像は、CCD の電荷転送の速度と衛星のスピン運動を同期させる Time Delay and Integration (TDI) 撮像方式を行う。この撮像方式によって星が CCD の受光面を通過している間、星の光を積分することができ、最終的に得られる星像はこの CCD 面上に現れた星像を積分したものになる。この時、各星像は主鏡に対する入射角によって CCD 面上のある位置に結像し、衛星のスピン運動に従って CCD 面上を直線運動するが、光学系に歪曲収差 (ディストーション) が存在する場合は、この直線運動からのズレが生じる。この効果は星像中心位置が CCD 面上を動くことに対応するので、星像中心位置を求める際の系統誤差となる。歪曲収差による影響はこれまで正確に測定されておらず、その検討が必要となっている。

そこで我々は、Nano-JASMINE のフライトモデルに撮像実験を行い、光学系に歪曲収差がどの程度存在するかを解析し、評価した。今回の発表では、この解析によって得られた歪曲収差の効果と、それに伴う星像中心位置決定の系統誤差について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W225c Nano-JASMINE の現状と微小光源像の再測定

小林行泰, 白旗麻衣、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)、原拓自 (東大理)、山田良透 (京大理)

Nano-JASMINE は口径 5 cm の超小型位置天文観測衛星である。ウクライナ情勢にもよるが、ブラジル・アルカンタラ国際宇宙基地より 2015 年には高度 800km の太陽同期軌道に打ち上げられ、観測を開始する予定となっている。本講演では、Nano-JASMINE 衛星の現状に合わせて、2012 年から続けてきている、Nano-JASMINE 衛星搭載の浜松ホトニクス社製完全空乏型 CCD のピクセル応答関数の測定について報告する。

Nano-JASMINE では全天の主に 9 等級より明るい星の位置天文観測を行う。7.5 等級の星については最終的に 3 ミリ秒角の位置決定精度を期待しているが、これはピクセルに換算すると千分の一ピクセルに近いものになる。一方、軌道上での宇宙放射線の影響で CCD の転送性能が劣化することが確認されている。転送性能が劣化すると、星像の形状に尾を引いたりなどの形状の変化が現れ、位置決定精度に影響を及ぼす恐れがある。

そこで、ピクセル応答関数を精密に測定し、望遠鏡の星像プロファイルに、たとえば転送性能、望遠鏡の追尾誤差などを付け加えることにより実際の衛星からの出力をシミュレーションすることを試みる。これらのシミュレーションにより、位置決定のための必要な補正項の導出、位置決定精度の評価などを行う。ピクセル応答関数の測定にあたって、微小光源を用いるが微小光源像のプロファイルは直接ピクセル応答関数に反映される。今回は光源像の測定をピークを参照して精密にもとめた。これにより、XY-stage のドリフトや光源の明るさの変動などの影響を除去することができる。この結果を用いて前回のデータの再解析も行ったのでこれも報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W226b 宇宙赤外線背景放射の観測のためのロケット実験 CIBER-2

白旗 麻衣 (国立天文台)、松浦 周二、新井 俊明 (ISAS/JAXA)、津村 耕司 (東北大学)、大西陽介 (東京工業大学)、佐野 圭 (東京大学)、松本 敏雄 (ASIAA)、James Bock (Caltech/JPL)、CIBER-2 チーム

我々は現在、日米韓台の国際協力のもと、宇宙赤外線背景放射の高精度観測に特化したロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background ExpeRiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-2 の望遠鏡は、使用予定のロケットに搭載可能な最大サイズである口径 28.5 cm のリッチー・クレアン式のカセグレン望遠鏡である。CIBER-1 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宇宙赤外線背景放射を観測することを実現させる。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製作する。宇宙赤外線背景放射の観測に重要な波長  $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$  における広視野撮像装置を搭載し、ビームスプリッタを用いて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 : 1枚のフィルタ上で位置により透過波長が連続的に変化するフィルタ) 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。打ち上げは、NASA の観測ロケット Black Brant によって行われる予定であり、2015年度の打ち上げを目指している。

CIBER-2 の開発は、今まさに佳境を迎えている。本講演では、CIBER-2 の実現の鍵となっていた個々の技術開発要素の検討結果をまとめる。また、いよいよ始まったフライトモデルの製作状況について、その評価試験計画とともに報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## W227c 気球 VLBI ミッションの検討 IV

土居明広（宇宙航空研究開発機構）、河野裕介、小山友明（国立天文台）、木村公洋、岡田望（大阪府立大学）、佐藤泰貴（宇宙航空研究開発機構）、松本尚子、本間希樹、鈴木駿策、金口政弘（国立天文台）、秋山和徳、上原顕太（東京大学）、中原聡美（鹿児島大学）、坂東信尚、福家英之、石村康生（宇宙航空研究開発機構）、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）、および研究協力者

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、ゴンドラ構体、姿勢決定系・姿勢制御系システムの製作、周波数標準源振 OCXO の温度安定度試験、2号機以降のための高精度主鏡の概念設計などをおこなった。ゴンドラ構体はトラス構造をベースにしており、パラシュート開傘時に想定される最大 10G の荷重に耐えられる設計となっている。スタートラッカー・ジャイロ・加速度計などから導かれた姿勢決定値を、姿勢制御系が受けとり、制御則にかけてモーターを制御するシミュレーション・および実機による動作試験をおこなった。基本的な機能確認の段階を経て、精度の追い込みをおこなってゆく。一方で、フロントエンドのフライトモデル化および VLBI バックエンドの開発もおこなっており、これをゴンドラに搭載しての VLBI 観測試験を年度末にかけておこなうべく準備を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【X. 銀河形成】

3月20日(金) 午前(09:30-11:30) [E会場]

X01a	09:30	赤外線天文衛星「あかり」で探る、 $z\sim 0.8$ の銀河のPAH放射強度の環境依存性	村田一心(宇宙航空研究開発機構)
X02a	09:42	表面測光による $z\sim 1$ の楕円銀河の詳細な形状分析	満田和真(東京大学)
X03a	09:54	$z\sim 1.4$ の星形成銀河における分子ガスの性質	世古明史(京都大学)
X04a	10:06	Dynamical massから探る遠方銀河のガス質量	太田耕司(京都大学)
X05a	10:18	赤方偏移 $z\sim 1.5$ の星形成銀河における星間ガスの物理状態	林 将央(国立天文台)
X06a	10:30	超大質量ブラックホール周辺銀河の特性	白崎裕治(国立天文台)
X07a	10:42	赤方偏移3.3での巨大ブラックホール-母銀河質量比計測で探る共進化	川口俊宏(国立天文台)
X08b	10:54	$z\sim 3.3$ QSO 補償光学撮像データを用いた母銀河光度・質量の推定	濟藤祐理子(総合研究大学院大学/国立天文台)
X09b	10:54	$0 < z < 2$ における銀河のガスの割合の進化: 観測とモデルの比較	諸隈佳菜(国立天文台)
X10b	10:54	ライマンアルファ輝線銀河のSEDの多様性	後藤亮介(東京大学)
X11b	11:06	宇宙論的銀河形成モデルによる数値銀河カタログの構築	真喜屋龍(東京大学)
X12b	11:06	Can we predict dust extinction of galaxies from $H\alpha/UV$ ratio?	小山佑世(宇宙航空研究開発機構)
X13b	11:06	$z\sim 4-7$ 星形成銀河のクラスタリング解析とダークハロー質量	播金優一(東京大学)
X14c		Properties of large scale structures at $z\sim 1.6$ in COSMOS	柏野大地(名古屋大学)
X15c		銀河進化におけるUV減光とダストのジオメトリー	日下部晴香(東京大学)
X16c		銀河形成最盛期にある星形成銀河の統計的サンプルの構築	山元萌黄(総合研究大学院大学)
X17c		ハーシェル宇宙望遠鏡による原始銀河団探査 III -2QZ cluster-	加藤裕太(東京大学)
X18c		銀河系球状星団系の力学進化史と初期状態への制限	鈴木雄太(東北大学)
X19c		銀河系及びアンドロメダ銀河に付随する矮小銀河のダークハロー構造	林 航平(東北大学)

3月20日(金) 午後(13:30-15:30) [E会場]

X20a	13:30	SXDF-UDS-CANDELS-ALMA 1.5 arcmin <sup>2</sup> deep survey: I. The survey description and source catalogue	河野孝太郎(東京大学)
X21a	13:42	SXDF-UDS-CANDELS-ALMA 1.5 arcmin <sup>2</sup> deep survey: II. The photometric redshift survey of 1.1 mm sub-mJy sources	山口裕貴(東京大学)
X22a	13:54	多様性から二面性への銀河進化と quenching	市川 隆(東北大学)
X23a	14:06	赤方偏移2の大質量星形成銀河および受動的進化する銀河の形態	館洞すみれ(総合研究大学院大学)
X24a	14:18	光度関数と $Ly\alpha$ 等価幅分布で探る $z=2.2$ $Ly\alpha$ 輝線銀河の統計的性質	今野 彰(東京大学)
X25a	14:30	A comparison of Lyman continuum of population synthesis models and their difference in emission lines of galaxies	井上昭雄(大阪産業大学)

(次頁に続く)

## 【X. 銀河形成】

---

**X26a** 14:42 将来計画 JWST, TMT, WISH に向けた様々な高赤方偏移銀河の輝線検出可能性 清水一紘 (東京大学)

---

**X27a** 14:54 数値シミュレーションで探る遠方 [CII] 光度関数の赤方偏移進化 早津夏己 (東京大学)

---

**X28a** 15:06 再結合光子を考慮した再電離輻射流体シミュレーション 田中 賢 (筑波大学)

**3月21日(土) 午前(09:30-11:30) [E会場]**

---

**X29a** 09:30 New Numerical Galaxy Catalog ( $\nu^2$ GC) Model. VI. Cosmic Near-Infrared Background Radiation 小林正和 (愛媛大学)

---

**X30a** 09:42 ALMA で迫る mm 波帯宇宙赤外線背景放射の起源 藤本征史 (東京大学)

---

**X31a** 09:54 CIBER 実験による宇宙赤外線背景放射のゆらぎ検出 松浦周二 (宇宙航空研究開発機)

---

**X32a** 10:06 大規模再電離シミュレーションの為にサブグリッドモデルの開発 長谷川賢二 (名古屋大学)

---

**X33a** 10:18  $z=3.09$  の非常に高密度な銀河群の発見 久保真理子 (東京大学)

---

**X34a** 10:30 すばる Hyper Suprime-Cam による  $z \sim 5$  原始銀河団候補 玉澤裕子 (東京大学)

---

**X35a** 10:42 弱い重力レンズ効果による銀河スケールの質量分布探索への展望 小林将人 (名古屋大学)

---

X01a 赤外線天文衛星「あかり」で探る、 $z \sim 0.8$ の銀河のPAH放射強度の環境依存性

村田一心、小山佑世、松原英雄 (ISAS/JAXA)

赤外線天文衛星「あかり」を用いて、 $z \sim 0.8$ の星形成銀河のPAH放射強度について、フィールド銀河と銀河団メンバーとで比較した結果を報告する。本研究では、 $z = 0.8$ の銀河団RXJ0152を「あかり」のL15バンドで観測し、北黄極領域サーベイとの結果(2014年度秋季年会で発表)と比較した。L15バンドは「あかり」特有の波長帯で、 $z=0.8-1.2$ の銀河からのPAH放射を $8\mu\text{m}$ 光度として求めることができる。銀河団メンバーは、先行研究で分光観測により同定された227天体を用い、そのうち31天体がL15バンドで検出された。また、*Spitzer*/MIPS, *Herschel*/PACS, SPIREを用いて赤外線光度 $L_{IR}$ を求め、文献の可視光データ並びに*Spitzer*/IRACを用いて星質量を求めた。PAH放射強度の指標として、 $L(8)/L_{IR}$ ,  $L(8)/L(4.5)$ を求め、赤外線光度および赤外線光度と星質量との比( $L_{IR}/M_*$ )と比較した結果、PAH放射強度は $\log(L_{IR}/M_*[L_\odot/M_\odot]) > 1$ では相対的に弱くなることがわかった。この結果は、北黄極領域サーベイを用いて調べたPAH放射の振る舞いとよく一致しており、有意な環境依存性は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X02a 表面測光による $z \sim 1$ の楕円銀河の詳細な形状分析

満田和真, 土居守, 諸隈智貴, 鈴木尚孝, 安田直樹 (東京大学)

我々は Hubble Space Telescope (HST) Cluster Supernova Survey で得られた赤方偏移  $z \sim 1$  の銀河団の楕円銀河について等面輝度形状の詳細な分析を行った。近傍の楕円銀河は等面輝度線の歪みから Boxy 型, Disky 型に分類でき, この分類は質量や力学構造との関係があることが知られている。Boxy 型, Disky 型楕円銀河の違いは形成過程に起因し, Boxy 型はカスの少ない衝突合体 (dry merger) で速度分散が卓越した系となることで形成され, また Disky 型はカスの多い衝突合体 (wet merger) でカスの角運動量で回転が卓越した系となることで形成されると考えられている。ところが遠方の楕円銀河については, このような近傍の観測と比較できる結果が乏しく, 楕円銀河の形状や力学構造がいつ, どのようにして形成され, 進化してきたかはよくわかっていない。遠方銀河は視直径が小さく面輝度が低いいため詳細に形状を分析できる質の高いデータを取得するのが難しかった上, 遠方銀河の等面輝度形状を分析するのに最適化された手法がなかったためである。しかし, 我々のチームは何枚もの画像を他の HST データよりも精度よく足し上げ, 詳細な形状の分析に耐えうる高品質のデータを作成した。そこで本研究において我々は, 遠方の楕円銀河について詳細な形状を分析するために, 遠方楕円銀河の形状分析に最適化された表面測光の手法を構築した。そして, HST Cluster Supernova Survey の分光によって赤方偏移が決定している  $z \sim 0.9-1.5$  の約 140 個の楕円銀河について, 前述の HST データと開発した表面測光の手法を用い, 等面輝度形状の歪みを測定し Boxy 型, Disky 型に分類した。今回は  $z \sim 1$  の楕円銀河の等面輝度形状について, 近傍楕円銀河や理論モデルと比較した結果を含めて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a  $z \sim 1.4$  の星形成銀河における分子ガスの性質

世古 明史, 太田 耕司 (京都大学), 廿日出 文洋, 矢部 清人 (国立天文台)

$z = 1 - 2$  の時代は銀河進化の激動期であり、この時代の銀河における星間物質の性質を知ることは銀河進化の理解に不可欠である。特に、星形成の母体である分子ガスの質量や星質量に対する割合を調べることは非常に重要である。一方、銀河のガス金属量も銀河進化の指標になり、分子ガスの割合と合わせることで銀河進化のプロセス（ガス流入率や流出率）に制限をつけることもできる。しかし、金属量と分子ガス量や分子ガスの星質量に対する割合との関係はまだよく分かっていない。

そこで我々は銀河進化の激動期における分子ガスの性質を調べるため、 $z \sim 1.4$  にあり、Subaru/FMOS による  $H\alpha$ , [NII] $\lambda 6584$  の観測からガス金属量が分かっている銀河 (Yabe et al. 2012, PASJ, 64, 60; 2014, MNRAS, 437, 3647) の中から 20 個の main sequence 銀河を選び、 $^{12}\text{CO}(J=5-4)$  輝線の観測を ALMA/Band-6 を用いて行った。これら 20 個のサンプルは、星質量  $(0.4 - 4) \times 10^{11} M_{\odot}$  (Salpeter IMF)、金属量  $8.1 - 8.8$  ( $12 + \log(\text{O}/\text{H})$ ) と比較的広い範囲の値を取っている。解析の結果、11 個の銀河で CO 輝線を検出した。分子ガス質量の算出において、 $z \sim 1.5$  での sBzK 銀河の最近の結果から  $\int S_{\text{CO}(5-4)} dv / \int S_{\text{CO}(1-0)} dv = 6$  とし、CO-to- $\text{H}_2$  変換係数は金属量依存性を考慮した。検出された銀河の分子ガス質量・その割合は近傍で同程度の質量をもつ星形成銀河に比べて大きく、また検出されなかった銀河も含めたスタッキング解析でも同様の傾向が見られた。分子ガスの割合は星質量が大きい/金属量が高い銀河ほど小さくなる傾向が見られた。講演では化学進化の解析的モデルとのフィットの結果についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X04a **Dynamical mass から探る遠方銀河のガス質量**

太田 耕司, 世古 明史 (京都大学), 矢部 清人, 廿日出 文洋 (国立天文台)

銀河進化を理解する上で、銀河内のガス質量、特に分子ガス質量を知ることは不可欠である。分子ガスの質量は通常 CO 光度を出し、CO-to-H<sub>2</sub> 変換係数 (以下  $\alpha$ ) をかけて求める。近年、銀河の激動進化期である  $z = 1 - 2$  における星形成銀河での CO 観測が行われるようになり、ガス質量の導出が行われ始めている。Genzel et al. (2012) では、Kennicutt-Schmidt 則を利用して  $\alpha$  のガス金属量依存性を導出しており、Magdis et al. (2012) では、ダスト質量を求めてからガス・ダスト比を仮定して導出している。しかし、KS 則やガス・ダスト比自身が進化している可能性もあり、難しい面も有している。そこで本講演では力学質量を用いてこの問題に迫ってみる。

我々は、ガス金属量が既知の  $z \sim 1.4$  の main sequence 銀河 (Yabe et al. 2012, 2014) の <sup>12</sup>CO( $J=5-4$ ) 輝線の観測を ALMA で行い、11 個の銀河から CO 輝線を検出した (世古他、本年会)。これらについて力学質量を求めた。ここで、銀河の回転速度は CO 輝線幅から、広がりの半径は CO 分布を beamsize で deconvolution して求めた (できなかったものは 2.5 kpc を採用した)。傾斜角は 45 度を仮定した。一方、この半径内に含まれるガス質量は Genzel et al. (2012) の手法に従い金属量を考慮して算出し、星質量は同じ赤方偏移の main sequence 銀河の平均的な Sérsic index と同じ星質量での  $r_e$  を用いて全星質量に対する割合から算出した。ダークマター質量は、数値 simulations の結果を元に力学質量の 25% を仮定した (Daddi et al. 2010)。その結果、すべての銀河において (ガス質量 + 星質量 + ダークマター質量) が力学質量を上回るという結果になった。この原因としては、個別の銀河に対しては傾斜角が小さい等が考えられるが、全体的に  $\alpha$  が小さい、星の IMF が異なるといった可能性が考えられ、更に詳細な観測が望まれる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X05a 赤方偏移  $z \sim 1.5$  の星形成銀河における星間ガスの物理状態

林将央 (国立天文台), Chun Ly (NASA), 嶋作一大, 本原顕太郎 (東京大学), Matthew Malkan (UCLA), 長尾透 (愛媛大学), 柏川伸成 (国立天文台), 後藤亮介, 内藤嘉章 (東京大学)

我々は、すばるディープフィールド (SDF) に存在する  $z \approx 1.47$  と  $1.62$  の [OII] 輝線銀河に対し、すばる望遠鏡の FMOS を用いて近赤外線分光観測を行った。そして、118 個の星形成銀河の分光同定に成功した。本講演では、これらの銀河の静止系可視領域に見られる 6 個の輝線 ([OII],  $H\beta$ , [OIII],  $H\alpha$ , [NII], [SII]) を用いて、 $z \sim 1.5$  の星形成銀河の星間ガスの物理状態を議論する。

最近の研究から、 $z \sim 2-3$  の星形成銀河は強い [OIII] 輝線を持ち、近傍の星形成銀河と比べてイオン化パラメーターが高くなっていることが示唆されている。これは、遠方銀河の星間ガスの物理状態が近傍銀河と異なることを意味する。例えば、近傍銀河で成り立つ輝線診断法を用いて遠方銀河の星間ガスの金属量の推定する場合には大きな影響がある。したがって、遠方銀河の性質を正しく理解するためには、静止系可視の主要な輝線から星間ガスの物理状態を明らかにすることが必要不可欠である。我々は、 $z \sim 1.5$  の星形成銀河の [OIII]/[OII] は近傍の星形成銀河と比べて大きく ([OIII]/[OII]  $\gtrsim 1$ )、小質量銀河ほど [OIII]/[OII] が大きくなることを明らかにした。この結果は、 $z \sim 1.5$  でも星形成銀河のイオン化パラメーターは近傍に比べて大きいことを示唆する。[SII] 輝線から見積もった電子密度は近傍銀河と同等であることから、イオン化パラメーターが高く質量依存性がある原因として、若い星種族によるハードな輻射場や大質量星からの電離光子の増加が考えられる。さらに、 $z \sim 1.5$  の星形成銀河の N/O は、近傍銀河と比べて大きい示唆を得た。また、 $z \sim 1.5$  の星形成銀河の  $H\alpha$  と [OII] には正の相関関係があり、[OII] 輝線の光度は  $z \sim 1.5$  でも星形成率の推定に有効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](#)

## X06a 超大質量ブラックホール周辺銀河の特性

白崎裕治, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台), 小宮悠 (東京大学)

質量が  $10^6 M_{\odot}$  を越える超大質量ブラックホール (SMBH) は、十分成長したほぼすべての銀河の中心部に存在することが明らかになってきている。その成長過程についてはいまだ確かな説明モデルは確立されていないが、銀河内部の不安定性や他銀河との相互作用・衝突合体によって誘発される質量降着が SMBH の質量獲得をもたらしていると考えられている。我々研究グループは、SMBH の質量と周辺銀河の数密度の関係を調べることにより、質量が大きくなるほど周辺の銀河数密度が高くなるという結果を得た。このことは、SMBH の成長過程において数 Mpc におよぶ距離スケールでの環境効果が、特に質量が大きくなっていくほど重要になってくることを示唆する (Komiya et al. 2013)。この結果を受け、銀河の数密度に加え銀河の種別が SMBH の成長とともにどのように変化しているのかを調べることにした。約 8000 個にのぼる SMBH について、その周辺銀河のデータを SDSS と UKIDSS サーベイカタログから JVO により収集し、可視から近赤外に渡る波長範囲で SED フィッティングを行い、銀河の種別を特徴づける色パラメータである  $D_{\text{opt-IR}}$  を個々の銀河について求めた。そして、以前の研究結果で得られた数密度の増加がどの種別の銀河に起因するのかを調べた。その結果、早期型銀河の数密度が SMBH の質量が大きくなるほど増加していること示唆する結果を得ることができた。早期型銀河は星生成をするためのガスが枯渇し、もはや星生成が行われなくなった銀河である。そうした銀河が多数存在することは、銀河同士の相互作用や合体などがその系全体で頻繁に起こることにより星形成が急速に進むとともに、SMBH も質量獲得を急速に進行させたことを示唆する結果であるといえる。

参考文献 : Y. Komiya et al., 2013, ApJ, 775, 43

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X07a 赤方偏移 3.3 での巨大ブラックホール-母銀河質量比計測で探る共進化

川口 俊宏 (国立天文台), 濟藤 祐理子 (総研大), 美濃和 陽典 (国立天文台), 諸隈 智貴 (東京大), 今西 昌俊 (国立天文台), 大井 渚 (宇宙研), 峰崎 岳夫 (東京大), 長尾 透 (愛媛大), 川勝 望 (呉高専), 松岡 健太 (京都大)

銀河と中心巨大ブラックホール (BH) の質量間の相関、及び星形成史と巨大 BH へのガス降着史の相似性の発見以来、両者の共進化に様々な解釈・予測が提示されてきた。両者の質量比の赤方偏移進化を測る観測的試みもまた多様な結果を示した為、両成長史がどう関連し合ってきたのか、観測・理論両面で結論が得られていない。

この論争を終わらせ共進化の背景を明らかにする目的で、我々は2008年から近赤外線域において、分光・撮像観測を行っている (諸隈 他, 2011 年春季年会講演)。Sloan Digital Sky Survey のキューサーを対象とし、(1) BH 質量測定に近傍宇宙で用いられるのと同じく  $H\beta$  輝線幅を用いて、質量計測の誤差源を最小化した (濟藤 他, 2012, 2013 年春季年会講演)。また、(2) すばる望遠鏡補償光学撮像装置 IRCS+AO188 を用いて多色 ( $J$  と  $K'$ ) で静止波長  $4000\text{\AA}$  の前後の帯域を撮像し、銀河質量の推定に用いる質量-光度比の不定性の最小化を目指した。

$H\beta$  輝線を用いて測った BH 質量と母銀河の質量比を計測する観測的研究の中で最遠方の結果を得たので、初期成果を報告する。良い条件で撮像観測された赤方偏移 3.18–3.48 の 3 天体、J0847・J0725・J1510 (点源像の半値幅は 0.15–0.17 秒角) について、撮像データを中心核 (点源) と母銀河 (Sersic プロファイルを持つ広がった構造) の組み合わせでフィットし、母銀河の光度及び質量を求めた。その結果、巨大 BH-母銀河質量比は赤方偏移 3.5 まで近傍宇宙と同程度の値であることがわかり、「巨大 BH の成長は銀河中心核からのフィードバックが制御する」といった大きい正の赤方偏移進化を予測するモデル (e.g., Wyithe & Loeb 2003) に不利な結果を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X08b  **$z \sim 3.3$  QSO 補償光学撮像データを用いた母銀河光度・質量の推定**

濟藤 祐理子 (総研大), 美濃和 陽典, 今西 昌俊, 川口 俊宏 (国立天文台), 諸隈 智貴, 峰崎 岳夫 (東京大), 長尾 透 (愛媛大), 大井 渚 (宇宙研), 川勝 望 (呉高専), 松岡 健太 (京都大)

近傍宇宙では、銀河中心の超巨大ブラックホール質量  $M_{\text{BH}}$  とその母銀河のバルジ質量  $M_{\text{bulge}}$  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)。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、銀河のバルジと中心のブラックホールの質量比 ( $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$ ) の進化を、現在から遠方宇宙にさかのぼって調べる事が重要であるが、観測的に未解明である。

我々は遠方の  $M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}}$  の導出を目標とし、 $z \sim 3.3$  の QSO をターゲットとして観測を行ってきた。近赤外分光観測を行い、28 天体の QSO について  $H\beta$  輝線の FWHM と  $5100\text{\AA}$  の連続光光度を用いて  $M_{\text{BH}}$  の導出に成功している (Saito et al. submitted)。また、 $M_{\text{bulge}}$  の導出のため、 $M_{\text{BH}}$  が求まった天体についてすばる望遠鏡/IRCS+AO188 を用いた補償光学撮像観測を行い、これまでに 9 天体の撮像データを取得した。しかし、銀河中心核の明るい放射が周囲の母銀河の放射に重なっているため、QSO 母銀河質量の導出は非常に難しい課題である。我々はまず、QSO と同視野内にある PSF 参照星を、Gaussian と Moffat の足し合わせで fitting した。次に QSO については、銀河中心核を Gaussian と Moffat (Moffat の形は PSF 参照星と同一)、母銀河を Sersic で fitting した。この時、Moffat と Sersic は両成分とも広がった放射であるため、両者の明るさを正確に決めるのが難しい。そこで我々は、PSF 参照星の fitting 結果を用いて QSO のストレーリング比を見積もり、その値から QSO の Moffat 成分の等級に制限を与えて fitting を行い、母銀河の明るさを決定する手法を確立した。本講演では、我々の遠方 QSO 補償光学撮像データ解析手法を詳しく紹介し、それにより求めた母銀河の性質について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09b  $0 < z < 2$  における銀河のガスの割合の進化: 観測とモデルの比較

諸隈 佳菜 (NRO), 馬場 淳一 (東京工業大学)

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・星形成・銀河風によるガスの損失などといった質量獲得史の情報が含まれている。我々は、中間赤方偏移帯 ( $0 < z < 2$ ) の銀河におけるガスの割合の星質量依存性の時間進化を観測データ (CO、または星形成率 (SFR) から間接的に求めたガス質量) を使って調べ、以下を明らかにした: 1) SFR から間接的に求めたガスの割合進化は、CO で直接観測されるものとよく合うこと、2) 質量が小さな銀河ほど、 $0 < z < 2$  の間に、ガスの割合を大きく減少させていること。このことは、質量の小さな銀河は、まず星ではなくガスを獲得し、 $0 < z < 2$  の間に大半のガスを星に変換して進化してきたことを示唆している。

さらに、理論予想 (宇宙論的銀河形成シミュレーション・準解析的銀河進化モデル・解析的銀河進化モデル) との比較も行い、以下を明らかにした: 1) どの時代も低質量銀河ほど、ガスの割合が大きい、という定性的な傾向は合うこと、2) 観測されるガスの割合は、理論から予想される値と比べて、全体的に高いこと、3) 特に星質量が  $10^{10} M_{\odot}$  よりも小さい側・ $10^{11} M_{\odot}$  よりも大きい側ではそのずれが大きくなること。これらの結果は、モデルで仮定されている分子形成・星形成モデルなどといったバリオン物理や、星形成・AGN フィードバックモデルにはまだ改善の余地があることを強く示唆している。ただし、 $10^{10} < M_{*}/M_{\odot} < 10^{11}$  以外の質量範囲の銀河における分子ガスの直接観測のデータが少ないため (特に中間赤方偏移帯の低質量銀河 ( $< 10^{10.5} M_{\odot}$ ) のデータはほとんど存在しない)、今後、CO 輝線・ダスト連続光等の観測による検証が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## X10b ライマンアルファ輝線銀河のSEDの多様性

後藤亮介, 嶋作一大, 大内正己, 日下部晴香 (東京大学), 中島王彦 (ジュネーブ天文台) 小野宜昭, 橋本拓也 (東京大学)

$\text{Ly}\alpha$  Emitter (LAE) は遠方宇宙の小質量銀河の性質を調べることができる貴重な銀河種族である。しかし、小質量なだけあって連続光の暗いものが多いため、SEDを調べる際には、たくさんの天体画像を足し上げてS/Nを上げる方法(スタック)が主に用いられている。Kusakabe+14は、適切な減光曲線をスタックSEDに適用することで、典型的なLAEの比星形成率が星形成銀河主系列(MS)上にあることを示した。一方、Hagen+14は $L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{43} \text{erg/s}$ の極めて明るいLAEを個別に調べ、星質量、星形成率、年齢が広い範囲にわたることを示すと同時に、これらのLAEがMSよりも高い比星形成率をもつ種族であると結論している。この結果は、スタッキング解析がLAEの物理量の幅広い分布や二峰性(Ono+10a)の情報を取りきれないことと、個別のLAEでは星形成モードに関してコンプリートなサンプルを得るのが難しいことを示している。

個別とスタックの折衷案として、我々はSXDS領域で得られた480個の $z = 2.2$ LAEサンプルをUVスペクトルの傾き $\beta$ 、 $\text{Ly}\alpha$ 等価幅、 $\text{Ly}\alpha$ 光度によってサブサンプルに分けたスタックSEDの性質を調べた。多くのサンプルはMS上にあるが、特に $\beta < -2.0$ 、 $EW > 50 \text{\AA}$ 、 $L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{42.2} \text{erg/s}$ のサンプルは、MSに比べて一桁ほど比星形成率が高いことがわかった。この結果は、Hagen+14やKusakabe+14と無矛盾であり、LAEサンプルは様々な星形成モードの銀河を含む種族であることを示している。特に $\beta < -2.0$ サンプルのスタックSEDは $\beta = -2.5$ と青く、赤方偏移 $\sim 6$ 以遠で見つかる暗いLBGの特徴に近い。星質量も $2.5 \times 10^7 M_{\odot}$ と軽く、銀河形成の初期段階にあるのかもしれない。ポスターでは、青い $\beta$ を再現するIMF、金属量など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](#)

## X11b 宇宙論的銀河形成モデルによる数値銀河カタログの構築

真喜屋龍 (東京大学), 榎基宏 (東京経済大学), 石山智明 (筑波大学), 小林正和 (愛媛大学), 長島雅裕, 大木平 (文教大学)

本講演では、2014年秋季年会 X08a での報告に続き、我々の宇宙論的銀河形成モデル ( $\nu^2$ GC モデル; Makiya et al. in prep.) についてその最新の開発状況を報告する。

我々の銀河形成モデルは準解析的モデルと呼ばれるもので、ダークマターハローの形成史については  $N$  体シミュレーションを用いて詳細に計算する一方、ガスの冷却や星形成、化学進化といった銀河形成に伴う複雑なバリオンの進化過程については、観測結果に基づいた現象論的なモデルを用いて解くものである。準解析的モデルの特徴としては、計算が軽く大統計のデータを得られること、銀河形成に影響を与える物理メカニズムについての考察が容易であることなどが挙げられる。

今回我々は、超大質量ブラックホールの形成進化過程や、活動銀河核による星形成へのフィードバックといった物理過程をモデルに新たに導入した。またダークマターの形成史についても、世界最高レベルの解像度・体積での  $N$  体シミュレーションの結果 (Ishiyama et al., submitted to PASJ) を新たに用いることで、これまでよりも小質量の銀河まで、またより大きな空間スケールまで捉えられるようになった。さらに、近傍銀河の多波長での光度関数などの最新観測データを用いて、モデルのキャリブレーションを行った。

本講演では、この  $\nu^2$ GC モデルによって生成される数値銀河カタログを用いて、観測データの解釈や将来観測を見据えた理論予測を行い、モデルの活用例を提示する。また、銀河の形態ごとの光度関数など、 $\nu^2$ GC モデルで現状説明できていないいくつかの観測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](#)

## X12b Can we predict dust extinction of galaxies from $H\alpha/UV$ ratio?

小山佑世, 山村一誠, 江草英実, 瀧田怜, 巻内慎一郎, 大井渚 (宇宙航空研究開発機構), 児玉忠恭, 林将央, 田中壱 (国立天文台), 但木謙一 (MPE), 嶋川里澄 (総研大)

銀河の星形成率は、銀河を特徴づけるもっとも基本的な物理量の一つである。一般に星形成率を見積もる優良な指標として、 $H\alpha$  輝線 ( $6563\text{\AA}$ ) が広く使われてきた。最近では近赤外線域での高感度の撮像・分光観測が可能になり、遠方銀河の  $H\alpha$  輝線を捉えることも比較的容易になってきたといえる。しかし、正確な星形成率の測定には ( $H\alpha$  輝線といえども) ダスト減光の影響を考慮する必要がある。理想的には、 $H\alpha/H\beta$  ( $4861\text{\AA}$ ) 輝線比に基づくダスト吸収補正 (いわゆる Balmer decrement 法) が有用であるが、特に遠方銀河の研究においては、微弱な  $H\beta$  輝線の検出が困難であり、個々の銀河で  $H\alpha/H\beta$  比からダスト減光量を測定することはきわめて難しいのが現実である。そこで本研究では、SDSS(DR7) のデータと GALEX および「あかり」の全天サーベイデータを組み合わせ、遠方銀河でも比較的容易に取得できる  $H\alpha$  輝線強度 ( $L_{H\alpha}$ ) と紫外線光度 ( $L_{UV}$ ) からダスト減光量 ( $A_{H\alpha}$ ) を推定する経験的手法の確立を目指す。解析の結果、 $L_{H\alpha}/L_{UV}$  比と  $A_{H\alpha}$  には正の相関が確認されたが、そこには大きな分散が見られた。一方でこの分散は、銀河の星質量 ( $M_*$ ) や  $H\alpha$  輝線の等価幅 ( $EW_{H\alpha}$ ) と関係しており、たとえば同じ  $L_{H\alpha}/L_{UV}$  比をもつ銀河であっても、質量の大きな銀河ほど  $A_{H\alpha}$  が大きい傾向なども見えている。そこで本講演では、 $L_{H\alpha}/L_{UV}$  比に加えてこれらの物理量 ( $M_*$  や  $EW_{H\alpha}$  など) を組み合わせてダスト減光量を推定する新しい「レシピ」を紹介し、この手法によって「あかり」データから推定される赤外線光度をどれだけ精度よく再現できるかを検証したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13b  $z \sim 4 - 7$  星形成銀河のクラスタリング解析とダークハロー質量

播金優一、大内正己、小野宜昭、澁谷隆俊（東京大学）

銀河を取り巻くダークハローとその銀河の性質を観測的に理解することは、銀河の形成・進化を理解する上で重要である。我々はハッブル望遠鏡の Advanced Camera for Surveys (ACS) 及び Wide Field Camera 3 (WFC3) で取られた深撮像データとすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) で取られた超広視野データを合わせて、幅広い星質量範囲の銀河に対してダークハロー質量を調べたいと考えている。そこで既に取得されているハッブル望遠鏡のアーカイブデータを用いて、赤方偏移 4 から 7 までの星形成銀河を選択し、広い赤方偏移範囲でクラスタリング強度を調べた。使用した領域は HUDF12、GOODS North、GOODS South、CANDELS-COSMOS、CANDELS-UDS、CANDELS-AEGIS、Hubble Frontier Fields (HFF) Abell2744 (parallel field のみ)、HFF MACS0416 (parallel field のみ) であり、広さは合計約 600 平方分、 $5\sigma$  限界等級は 28.0 – 30.5 等と非常に深い撮像が行われている。選択された銀河は赤方偏移 4, 5, 6, 7 でそれぞれ 3800, 1200, 500, 200 個ほどであり、銀河計数は Bouwens et al. (2014) と誤差の範囲で一致した。我々は角度相関関数を計算することで定量的にクラスタリング強度を見積もり、銀河バイアスを求めた。得られた銀河バイアスは赤方偏移 4 – 7 で  $b_g = 1.9 - 6.7$  であり、これは約  $4 - 70 \times 10^{10} M_\odot$  のダークハロー質量に対応する。また UV 等級で明るい銀河ほど銀河バイアスが大きくなる傾向が確認できた。本講演では Halo Occupation Distribution (HOD) モデルなどを用いてさらに詳細に解析を進めた結果を提示し、銀河の性質とそれらを取り巻くダークハローの関係について議論する。また HSC のデータも用いて、ハッブル望遠鏡のデータでは見ることの出来ない大質量銀河に対しても制限を加え、赤方偏移 4 – 7 の星形成銀河のクラスタリングを大質量側から小質量側まで系統的に明らかにする予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## X14c Properties of large scale structures at $z \sim 1.6$ in COSMOS

柏野大地 (名古屋大学), John Silverman, Surhud More (Kavli IPMU), COSMOS team

星形成活動は銀河進化において最も本質的なプロセスであり、重要な研究課題である。近年、星形成率と星質量の関係は重要なトピックスの一つであり、ここから星形成の歴史、その普遍的な解釈に迫ろうとする研究が活発に行われている。また、銀河の周囲の環境もそれぞれの銀河の進化において重要な役割を果たすと考えられている。

我々は、すばる望遠鏡に搭載された近赤外分光観測装置 FMOS を用いて中間赤方偏移  $z \sim 1.6$  付近の星形成銀河を多数観測する FMOS-COSMOS サーベイを進めている (Silverman et al. 2014)。主として星形成が銀河の質量や環境にどのように依存するのかを明らかにすることが目的である。

本ポスターでは、最新の銀河サンプルによって明らかにされた宇宙の大規模構造の性質について報告する。我々は zCOSMOS-deep プロジェクト (Lilly et al. 2007) のサンプルを含めた約 1000 個の分光赤方偏移銀河と測光サンプルを合わせて解析することで、 $1.4 \lesssim z \lesssim 1.7$  という遠方宇宙において 2 桁のダイナミックレンジで銀河密度場をマッピングした。また、分光赤方偏移サンプルの 2 点相関関数を測定し、優位なクラスタリングシグナルを検出した。また、いわゆる finger-of-god 効果によるものと考えられる赤方偏移空間歪みを検出した。これらの観測結果に基づき、星形成主系列や比星形成率の環境依存性、中間赤方偏移におけるクラスタリングの性質、およびそれらの赤方偏移進化について先行研究と比較しながら議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X15c 銀河進化における UV 減光とダストのジオメトリー

日下部晴香、嶋作一大、清水一紘 (東京大学)

銀河の星からの紫外 (UV) 放射の一部は、ダストに吸収され赤外 (IR) で再放射され、残りは UV のまま抜けてくる。この割合を表す UV の脱出率  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  は、銀河の分類 (selection 方法) や性質にも関わる重要な物理量である。しかし、これまで  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  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銀河と遠方銀河を統一的に調べた研究はされてきていない。本研究では、近傍銀河として Herschel Reference Survey から約 110 個、遠方銀河としてダスト質量  $M_d$  の求まっているものを約 30 個用いる。いずれも star formation main sequence (SFMS) 上かその付近にある星形成銀河である。銀河の  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  vs.  $M_d$  の図では、データ点は大きくばらつく。しかし、銀河の大きさも加味したダストの柱密度  $\Sigma_{M_d}$  を用いた  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  vs.  $\Sigma_{M_d}$  の図ではばらつきは小さくなる。近傍銀河と遠方銀河はそれぞれ、 $10^3 M_{\odot}/\text{kpc}^2 \lesssim \Sigma_{M_d} \lesssim 10^5 M_{\odot}/\text{kpc}^2$ 、 $10^5 M_{\odot}/\text{kpc}^2 \lesssim \Sigma_{M_d} \lesssim 10^7 M_{\odot}/\text{kpc}^2$  の範囲に分布し、 $\Sigma_{M_d}$  が増えると  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  が減少していく。ただし遠方銀河は  $f_{\text{esc}}^{\text{UV}}$  が 1 桁程度ばらつく。この減少傾向は、星とダストの一樣平板を仮定したスラブモデルと、スラブの表層に星のみの層があるサンドウィッチモデルという単純なモデルである程度表せ、SFMS 上の遠方銀河に限定すればサンドウィッチ的な描像と合う。このプロットにおける分散は、ダストや星の分布の非一様な geometry を表していると考えられる。本研究ではさらに、上述のようなダスト吸収モデルを組み込んだ、清水らによる銀河進化シミュレーションの結果とも比較する。最後に、ALMA で可能となる近傍から遠方の銀河を含めた geometry の研究における、このような手法の有用性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X16c

## 銀河形成最盛期にある星形成銀河の統計的サンプルの構築

山元萌黄 (総合研究大学院大学), 但木謙一 (MPE), 児玉忠恭, 林将央 (国立天文台), 小山佑世 (JAXA/ISAS), 田中孝 (ハワイ観測所), 嶋川里澄, 鈴木智子 (総合研究大学院大学)

$1 < z < 3$  では宇宙における銀河の星形成率や AGN の出現率が最大になる時期であり、銀河が最も形成進化してきた時代である事が分かっている。従って、銀河宇宙の歴史を解き明かすために、この時代について研究する事は極めて重要である。これまで我々のグループでは、最盛期の銀河のサーベイとして、MAHALO-SUBARU サーベイ (Kodama et al.) を推進してきた。これは、主にすばる望遠鏡の MOIRCS を用い、同時に狭帯域フィルターを使う事で星形成領域に由来する  $H\alpha$  輝線を捉え、星形成銀河の銀河進化の環境依存性を解き明かす事を目的としたサーベイである。このサーベイにより  $z > 2$  のフィールド領域、銀河団領域両方の銀河を探索し、星形成等の進化を見る事が出来たが、この進化の原因の物理現象はまだはっきりしておらず、より統計的なサンプルと、銀河の内部構造まで見るべく多波長と連携したサーベイが必要になる。そこで新たに推進しているサーベイが Advanced-MAHALO サーベイ (Tadaki et al.) であり、これは HST の高分解画像が利用可能な CANDELS フィールドで  $H\alpha$  輝線銀河探索を行うというもので、多波長観測との連携、また 3D-HST のサンプルと組み合わせる事で、 $0 < z < 2.6$  の幅広い領域で、銀河進化中でどのような形態変化が起きているのか明らかにする事を目的としたサーベイである。本講演では、このプロジェクトの背景と目的、先行研究との関連および 2014 年 10 月に取得した初期データ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](#)

## X17c ハーシェル宇宙望遠鏡による原始銀河団探査 III -2QZ cluster-

加藤裕太 (東京大学), 松田有一 (国立天文台), 河野孝太郎, 田村陽一, 梅畑豪紀, 久保真理子 (東京大学), 山田亨, 林野友紀 (東北大学), Ian Smail, Mark Swinbank, David Alexander (ダーラム大学), James Geach (ハートフォードシャー大学), Bret Lehmer (ジョンス・ホプキンス大学), Dawn Erb (ウィスコンシン大学ミルウォーキー校), Charles Steidel (カリフォルニア工科大学)

我々は遠方宇宙における原始銀河団において爆発的星形成銀河がどれくらい出現するのかを調べるため、 $z = 2-3$  の3つの原始銀河団をハーシェル宇宙望遠鏡 (HSO) を用いて観測し、その解析を進めている。赤方偏移  $z = 2.23$  にある原始銀河団 2QZ cluster は、計7個のクエーサー (QSO) と活動銀河核 (AGN)、22個の  $H\alpha$  輝線銀河 (HAEs) が約  $15' \times 15'$  の領域に密集している密度超過領域である。前回では SPIRE カメラの色 ( $S_{250}, S_{350}, S_{500}$ ) が修正黒体輻射とよく合う天体を選択することによって、明るい爆発機星形成銀河 (遠赤外線光度  $L_{\text{FIR}} > 5.0 \times 10^{12} L_{\odot}$ ) の密度超過領域 ( $\sim 4\sigma$ ) が HAEs の密度超過領域の約  $5'$  西方にあることを報告した。今回はこれらの天体の X 線対応天体 (静止系 2-10 keV の光度  $> 10^{43} \text{ ergs s}^{-1}$  を Chandra point-source catalogue から、HAEs の対応天体 (AB 等級  $> 19.3$ ) を UKIRT/WFCAM の観測から新たに探した。その結果、候補天体の  $18''$  以内には対応天体が見つからなかった。これは選択した爆発的星形成銀河の遠赤外光度が、ダストを豊富に含んだ星形成由来であることを示唆している。また、1つの QSO からは  $L_{\text{FIR}} = 7.8 \times 10^{12} L_{\odot}$  の遠赤外線光度を、密度超過領域中の1つの爆発的星形成銀河からは  $z = 2.23$  を仮定した遠赤外光度が  $10^{13} L_{\odot}$  を超えるものを発見した。これらの結果は、2QZ cluster における爆発的星形成銀河のダストを伴う激しい星形成と、その後に出現するであろう QSO や AGN 形成の現場をまさに見ているものと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X18c 銀河系球状星団系の力学進化史と初期状態への制限

鈴木雄太, 千葉証司 (東北大学)

球状星団系は様々な銀河の周囲に存在しているが、その初期状態としてはどのような質量関数、空間分布、そして速度分布をしていたのか、またどのような力学進化を経て現在見られる分布に至ったのかよく分かっていない。これらの情報は、銀河における球状星団の起源を理解する上で大変重要となる。各球状星団は銀河のまわりを軌道運動するあいだに、銀河本体からの潮汐力などによって恒星系が徐々に剥ぎ取られ場合によっては破壊される。したがって、現在見られる球状星団系の質量関数や動力学構造は、このような力学進化過程が反映されたものであり、逆にこの過程を取り入れた解析により球状星団系の初期状態に対して制限を与えることが本研究の目的である。

我々はN体計算に基づいて球状星団の剥ぎ取り過程を計算し、銀河系における球状星団系の力学進化を追跡した。その結果、銀河形成初期のものとして仮定した質量関数によっては銀河系にて観測されているガウス形状の質量関数を説明できることがわかった。また、質量の剥ぎ取り過程は銀河系中心からの距離や軌道に依存するので、その結果生き残った星団系の空間分布や速度分布がその初期状態からどのように系統的に変化しているのか調べた。年会では、これらの力学進化過程の解析に基づいて、銀河系の球状星団系がどのような初期状態であったのか、特に銀河系外から降着した星団系の必要性なども含めて、星団系の形成・進化史について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X19c 銀河系及びアンドロメダ銀河に付随する矮小銀河のダークハロー構造

林航平, 千葉柁司

今回我々は星の速度非等方性を考慮した軸対称モデルを用いて、銀河系及びアンドロメダ銀河に付随する矮小銀河のダークハロー構造について詳細に調べた。速度非等方性を考慮した理由として、Cappellari (2008) においてダークハローの軸比と速度非等方性には強い縮退が生じていると報告されており、非球対称なダークハロー構造に有益な制限を与えるにはこの縮退を考慮する必要があるからである。このモデルを7つの銀河系矮小銀河と5つのアンドロメダ矮小銀河の2次元視線速度分散分布に適用して、ダークハロー構造に関する解析を行った。その結果、分光観測された星数が多い銀河ほど縮退は弱く、速度非等方性を考慮したとしても矮小銀河ダークハローは潰れた形をしている事がわかった。その理由として、モデルから得られる銀河の短軸方向に沿った速度分散分布は速度非等方性に依らずに決まることが挙げられる。

また我々はダークハローの軸比と速度非等方性の推定に関して、データ数やその空間分布の影響を調べた。その結果、これらのパラメータを精度良く決めるにはデータ数が多いだけでなく、矮小銀河のより外側のデータが必要であることがわかった。現在稼働しているすばる望遠鏡に搭載の Hyper Suprime-Cam や2017年稼働予定の Prime Focus Spectrograph は、矮小銀河のより広く深い測光及び分光観測を実現でき、矮小銀河の非球対称ダークハロー構造のより強い制限が出来ると期待している。

本講演では、これらの結果の詳細を述べると共にダークハロー構造と星形成史との関連性についても述べる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20a

**SXDF-UDS-CANDELS-ALMA 1.5 arcmin<sup>2</sup> deep survey: I. The survey description and source catalogue**

Kohno, K., Tamura, Y., Yamaguchi, Y., Umehata, H., Rujopakarn, W., Lee, M., Suzuki, K., Motohara, K., Makiya, R., Ishii, S., Izumi, T., Taniguchi, A., Ando, R. (U.Tokyo), Ivison, R., Ikarashi, S. (ESO), Tadaki, K. (MPE), Kodama, T., Hatsukade, B., Yabe, K., Hayashi, M., Iono, D., Matsuda, Y., Nakanishi, K., Kawabe, R. (NAOJ), Wilson, G., Yun, M. S. (UMASS), Hughes, D., Aretxaga, I. (INAOE), Wang, W. H. (ASIAA), Dunlop, J. (ROE), Caputi, K. (U.Groningen), Ohta, K. (Kyoto U.), Koyama, Y. (ISAS), Akiyama, M. (Tohoku U.), Scott, K., Jagannathan, P. (NRAO)

We have conducted ALMA 1.1 mm high-resolution ( $\sim 0''.5$ ) observations of a contiguous  $105'' \times 50''$  or 1.5 arcmin<sup>2</sup> window (achieved by 19 point mosaic) in the SXDF-UDS-CANDELS. We achieved a  $5\sigma$  sensitivity of 0.28 mJy, giving a flat census of dusty star-forming galaxies with  $L_{\text{IR}} \sim 6 \times 10^{11} L_{\odot}$  (if  $T_{\text{dust}} = 40$  K) or  $\text{SFR} \sim 100 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  up to  $z \sim 10$  thanks to the negative K-correction at this wavelength. We detect 5 bright sources ( $\text{S/N} > 5$ ) and 18 low-significant sources ( $5 > \text{S/N} > 4$ ; they will contain spurious detections, though) in the field. We find that these discrete sources are responsible for a faint filamentary emission seen in low-resolution ( $\sim 30''$ ), confusion-limited AzTEC 1.1 mm and SPIRE 0.5mm images. One of the 5 brightest ALMA sources is very dark in deep WFC3 and HAWK-I NIR images as well as VLA 1.4 GHz and 6 GHz images, demonstrating that deep ALMA imaging can unveil new obscured star-forming galaxy population.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## X21a **SXDF-UDS-CANDELS-ALMA 1.5 arcmin<sup>2</sup> deep survey: II. The photometric redshift survey of 1.1 mm sub-mJy sources**

山口裕貴，田村陽一，河野孝太郎 (東京大学)，矢部清人 (国立天文台)，但木謙一 (MPE)，五十嵐創 (ESO)，梅畑豪紀 (東京大学)，他 SXDF-ALMA survey team

本研究では ALMA を用いた SXDF-UDS-CANDELS の連続波探査 (観測波長 1.1 mm, 観測面積 1.5 arcmin<sup>2</sup>) で検出された明るい 5 天体 ( $S_{\text{peak}} = 1.6, 0.78, 0.51, 0.35, 0.28$  mJy/beam,  $S/N > 5$ ) の多波長データ解析の結果を報告する。ミリ波・サブミリ波で検出された天体の性質を研究するためには赤方偏移の決定が重要である。赤方偏移を決定する方法のひとつとして多波長対応天体の解析による測光赤方偏移推定が挙げられる。本研究では CFHT/Megacam, Subaru/Suprime-Cam, *HST*/ACS, *HST*/WFC3, VLT/HAWK-I, UKIRT/WFCAM, *Spitzer*/IRAC にわたる測光データをもとに HYPERZ, EAZY, SEDfit を用いた測光赤方偏移の推定, および星質量・星形成率といった物理量の制限を行なった。本研究で解析した 5 天体のうち 1 天体では不確実性は大きいものの  $z > 5$  である可能性が示唆された。残りの 4 天体については  $z \simeq 1-3$  と推定され, 星質量と星形成率はそれぞれ  $2-9 \times 10^{10} M_{\odot}$ ,  $200-2000 M_{\odot}/\text{yr}$  と見積もられた。したがってこれらの天体では単位星質量あたりの星形成率 (sSFR) は  $1-2 \times 10^{-8}/\text{yr}$  となり不定性が大きいものの同時期の星形成銀河 main sequence における値  $\text{sSFR} \simeq 2 \times 10^{-9}/\text{yr}$  よりも高い値になっている。本 ALMA サーベイでは従来の単一鏡で検出される SMGs ( $\geq 2$  mJy) よりも暗い一方で同等の sSFR をもつ天体を検出した, これらの星質量, 星形成率, sSFR などの物理量を従来の明るい SMGs と比較しこれらとの関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X22a 多様性から二面性への銀河進化と quenching

市川隆, 森下貴弘, 野口正史, 秋山正幸, 小幡朋和 (東北大学), Patel, Sannon. G. (カーネギー天文台), 鍛冶澤賢 (愛媛大学)

近傍宇宙で銀河系とほぼ同じ星質量を持つグループ (MW) と大質量銀河グループ (MG) が過去もほぼ同じ空間密度を持つと仮定し、 $z \sim 3$  まで各グループの先祖をさかのぼり、それらの一般的性質と多様性の進化について調べた。用いたデータは CANDELS と 3D-HST アーカイブデータである。MW と MG それぞれに属する銀河の軸比を補正し、動径方向の光度分布を求める。さらに各 redshift 範囲内にある銀河を重ね合わせる。こうして  $z \sim 2.8$  では銀河中心から約 5kpc までの距離で各動径画素について高い測光精度 ( $S/N > 3$ ) を得ることができた。多色の測光データにこの処理を行い、SED の動径分布を得た。これを銀河進化モデルと比較し、各動径画素毎に恒星質量密度と静止系の色を求め、それらの動径分布を求めた。このデータを用いて、 $r < 2.5$  kpc の銀河中心部 (バルジ) と  $2.5 \text{ kpc} < r < 10 \text{ kpc}$  の外側領域 (円盤部) の恒星質量分布と色の進化を  $0.5 < z < 3$  において調べた。その結果、平均的に MW はバルジと円盤部は相似的成長、また MG は外側領域において中心より後の時代に星質量が増える inside-out 的成長の異なる二面的な性質を発見した。また MW のバルジは  $z \sim 1.4$  で、MG は  $z \sim 2.6$  で星生成が抑制され、quenching を起こしたことがわかった。さらに平均的な描像と同時に、各時代での動径分布の多様性についても情報を得ることができた。各銀河の平均からのずれの量の進化を求めた所、MW のバルジは  $z \sim 2.5$  で形状はほぼ同じになり、円盤部の形状は非常に多様な状態から急速に一様化していくことが見出された。一方、MG はバルジと円盤部の形状は共にほぼ同じ多様な状態からゆっくりと一様化していく。本講演では、多様な銀河から一様性への進化と quenching、銀河質量に依存する進化の二面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](#)

## X23a 赤方偏移 2 の大質量星形成銀河および受動的進化する銀河の形態

舘洞すみれ (総合研究大学院大学), 小野寺仁人 (ETH), 有本信雄 (国立天文台)

近傍宇宙にある巨大楕円銀河の起源は、遠方宇宙の星形成銀河や、大質量早期型銀河と呼ばれる種族であり、それら銀河同士の合体や衝突、フィラメントと呼ばれる宇宙の大規模構造に沿ったガスの降着、あるいは矮小銀河の降着などによって形成されることがわかってきた。しかし遠方の大質量銀河がなぜ星形成を終了したのか、また星形成を終了することにより銀河の物理状態がどのように変化したのかは、いまだに明らかでない。

本研究では、楕円銀河の起源と進化を理解するために、赤方偏移  $z \sim 2$  の大質量銀河の形態を調べた。ハッブル宇宙望遠鏡による近赤外撮像サーベイ CANDELS の非常に深い  $H$  バンドの撮像データを使い、 $1.4 \leq z_{phot} \leq 2.5$  にある 738 個の星形成銀河 (sBzK) と 57 個の受動的な進化をする銀河 (pBzK) について形態解析を行った。その結果、sBzK と pBzK の有効半径分布は統計的に異なり、sBzK の方がサイズが大きいことがわかった。またセルシック指数分布も統計的に異なり、pBzK の方がより大きな値を持つことがわかった。この結果は先行研究とよく一致する。次に sBzK 銀河の形態と色 ( $z - K$ ) に着目し、遠方星形成銀河は多様性に富んでいることを、改めて確認した。本講演では、これら遠方大質量銀河の形態の特徴とその関連性から、遠方の星形成銀河が近傍の巨大楕円銀河へどのように進化するのか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24a 光度関数と Ly $\alpha$  等価幅分布で探る  $z = 2.2$  Ly $\alpha$  輝線銀河の統計的性質

今野彰, 大内正己, 中島王彦, 嶋作一大

Ly $\alpha$  輝線銀河 (LAE) は銀河形成・進化と宇宙再電離を調べる上で重要な銀河種族であると考えられている。これまでの研究では、すばる望遠鏡をはじめとする大型望遠鏡によって得られた高赤方偏移 LAE サンプルをもとに Ly $\alpha$ /紫外線 (UV) 光度関数 (LF) や Ly $\alpha$  等価幅 (EW) 分布が求められ、 $z = 3 - 7$  における LAE の統計的性質が調べられている。近年ではより近傍の  $z \sim 2$  LAE 探査も精力的に行われていて、過去の  $z = 3 - 7$  LAE 探査よりも暗い Ly $\alpha$  限界光度 ( $\log L(\text{Ly}\alpha) < 42.0 \text{ erg s}^{-1}$ ) にまで達するような探査もある。しかしこれらの LAE 探査では、天体数が少ない (数十から数百天体ほど) ため、LAE の統計的性質を調べることは難しい。例えばこれまでの研究では、何らかの仮定 (典型的な Ly $\alpha$  光度  $L^*$  の無進化など) を置かず Ly $\alpha$  LF の暗い側での傾き  $\alpha$  の値を求めることはできなかった。

我々は、狭帯域フィルター NB387 が搭載されたすばる主焦点カメラで得られた、これまでに無く大規模な  $z = 2.2$  LAE サンプルを利用して、その統計的性質を調べた。この  $z = 2.2$  LAE 探査では  $\sim 1.5 \text{ deg}^2$  の探査領域から、これまでの  $z \sim 2$  LAE 研究より 1 桁以上大きい天体数である約 3400 天体の LAE が選び出されている。さらにこの LAE 探査の限界光度は  $\sim 0.1L_{z=3-6}^*$  ( $\log L(\text{Ly}\alpha) \sim 41.7 \text{ erg s}^{-1}$ ) まで達しているため、 $\alpha$  と  $L^*$  に加えて典型的な個数密度  $\phi^*$  の 3 つをフリーパラメータにしてフィットすることができる。その結果、 $\alpha = -1.54 \pm 0.08$  が得られ、 $z = 2$  のドロップアウト銀河の UV LF の傾き  $\alpha = -1.73 \pm 0.07$  (Reddy et al. 2009) と異なる可能性を示した。本講演では、これまでに無く大規模な  $z = 2.2$  LAE サンプルを基に Ly $\alpha$ /UV LF と Ly $\alpha$  EW 分布を求め、 $z = 2.2$  LAE の統計的性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X25a

**A comparison of Lyman continuum of population synthesis models and their difference in emission lines of galaxies**

Akio K. Inoue (Osaka Sangyo University), Veronique Buat, Denis Burgarella (LAM)

Stellar population synthesis models are a standard tool for extragalactic studies. There are several models and a comparison in their NIR predictions had been discussed. On the other hand, a comparison in Lyman continuum ( $\lambda < 912 \text{ \AA}$ ) is relatively rare, while the Lyman continuum is very important since it has a direct connection to emission lines of galaxies. The Lyman continuum emissivity of galaxies is also a key quantity controlling the cosmic reionization at  $z > 6$ . Here, we present such a comparison. We focus on three quantities describing the Lyman continuum: hydrogen ionizing photon rate,  $Q_{\text{HI}}$ , helium singly ionizing photon rate,  $Q_{\text{HeI}}$ , and helium doubly ionizing photon rate,  $Q_{\text{HeII}}$ . We find that the ratio of  $Q_{\text{HI}}/Q_{\text{HeI}}$  is stable within about 0.1-dex among the population synthesis models, which we compared, as a function of age and metallicity. On the other hand, the ratio of  $Q_{\text{HI}}/Q_{\text{HeII}}$  shows 2 orders of magnitudes or more difference among the models for metallicity larger than 1/10 Solar value. As a result, ratios of higher ionization emission lines, especially He II lines, to hydrogen lines like  $\text{H}\beta$  vary a few orders of magnitudes among the models for that metallicity. Another interesting finding is a factor of 2 enhancement of  $Q_{\text{HI}}$  in recent models including massive binary population or stellar rotation relative to other classical models. This enhancement, for example, linearly affects the  $\text{H}\alpha$  emissivity which is thought as the best star formation tracer. If this is the case, we should revisit a concordance among  $\text{H}\alpha$ , UV, and IR star formation rates of galaxies obtained with a dust attenuation recipe.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X26a 将来計画 JWST, TMT, WISH に向けた様々な高赤方偏移銀河の輝線検出可能性

清水一紘 (東京大学)、井上昭雄 (大阪産業大学)、吉田直紀 (東京大学)、岡本崇 (北海道大学)

HST による深宇宙探査により、赤方偏移  $z = 8$  を超える銀河候補が多数見つかっている。しかし、 $z = 8$  を超える銀河の  $\text{Ly}\alpha$  輝線を用いた分光観測はいずれも失敗に終わっている。輝線の観測は、銀河の赤方偏移同定だけでなく、銀河内の星間物質の物理的状态、重元素量や化学的組成を知る上で非常に重要である。我々は、2013 年秋季年会において、ALMA を用いた  $[\text{OIII}]\text{88}\mu\text{m}$  輝線観測の有用性について議論を行った (X39a, Inoue, IS et al)。最近になって、UV 域にある  $\text{CIII]1909}$  輝線が Stark らによって観測され、JWST といった将来観測機器の良い分光観測ターゲットになりうる事を示した。このように、UV 域から optical 域の間には、 $\text{CIII]1909}$  のほか、 $[\text{OIII}]\text{3727}$ ,  $[\text{OIII}]\text{4959}$ ,  $5007$ ,  $\text{H}\alpha$ ,  $\text{H}\beta$  といった様々な明るい輝線があることが知られており、それらは将来観測機器の良い分光観測ターゲットとなりうる。そこで本研究では、宇宙論的流体銀河形成進化モデルと Cloudy の結果を導入して、 $z = 7$  を超える高赤方偏移銀河の輝線強度を見積もり、観測可能性を調べた。結果として、WISH で観測された高赤方偏移銀河 ( $z > 10$ ) のさまざまな輝線 ( $\text{CIII]1909}$ ,  $[\text{OIII}]\text{5007}$ ,  $\text{H}\alpha$  輝線等) は JWST や TMT の良い分光観測ターゲットとなる事が分かった。本講演では、我々のモデルの詳細だけでなく、その他の輝線の観測可能性についても議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X27a 数値シミュレーションで探る遠方 [CII] 光度関数の赤方偏移進化

早津夏己, 吉田直紀 (東京大学), 松田有一 (国立天文台), 清水一紘 (東京大学)

近年の高感度・高分解能サブミリ波観測により  $z = 4$  までの遠赤外線光度関数が見積もられ, ダストで隠された星形成史の理解は深まりつつある. しかし連続光のみによる星形成領域の環境 (密度・温度・金属量) や赤方偏移の見積もりでは不定性が大きく, より詳細にサブミリ波銀河の性質を議論するには輝線観測が適する. 本研究では, 遠赤外帯域でも特に明るく, すでに遠方で多く検出されている [CII]158  $\mu\text{m}$  輝線に注目する.

高赤方偏移の [CII] 輝線の検出可能性を議論するには, [CII] 光度関数の赤方偏移進化が分かればよい. しかし, [CII] 輝線光度関数に制限を付ける観測はほとんど成されておらず, すでに光度関数の赤方偏移進化が分かっている波長帯 (紫外線光度や遠赤外線光度) との相関も十分に理解されていない. そのため, [CII] 輝線銀河の検出可能性の議論には宇宙論的銀河形成シミュレーションを用いた理論研究が重要である.

本研究では Okamoto et al. (2014) によるシミュレーションを用いる. しかし計算コストの制限により, [CII] 輝線が主な起源とする星間空間 (HI 領域) まで分解できる解像度には達していない. そのため, 各ガス粒子の金属量と遠紫外線輻射場から HI 領域の熱平衡状態を計算し, [CII] 輝線光度を見積もる.

計算された [CII] 光度関数は既存の観測的制限をみだし,  $z = 6.6$  の bright end が  $z = 4.0$  よりも 0.25 dex 明るい. この結果は, ALMA で 50 時間の [CII] 輝線探査を  $z = 5.9 - 6.8$ , 視野 9 arcmin<sup>2</sup>, 感度 3.6 mJy ( $5\sigma$ ) の条件で行う方が,  $z = 4.2 - 4.5$  で 50 時間観測するよりも手堅く検出できることを示唆している.

本研究の結果は今後の ALMA による観測や, 高解像度のシミュレーションと比較可能である. 本講演では, 現行のモデルで [CII] 光度関数の進化や他の統計的特徴から読み取れる [CII] 輝線銀河の物理的描像を議論する.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## X28a 再結合光子を考慮した再電離輻射流体シミュレーション

田中賢 (筑波大学), 吉川耕司 (筑波大学), 岡本崇 (北海道大学), 長谷川賢二 (名古屋大学)

再結合光子の輸送を考慮した輻射輸送数値計算の代表的なものには long characteristics(long 法) と short characteristics(short 法) があるが、long 法では short 法に対し計算精度は良いが計算量が膨大であり、short 法では long 法に対し計算量は削減できているが数値的な拡散が起きるといった長所、短所がそれぞれにある。

2012 年度春季年会 (X05b)、2013 年度秋季年会 (X01a) では計算量は short 法と同程度で、精度は long 法と同等のものを実現できる ART 法と ARGOT 法 (Okamoto et al. 2012) をカップリングさせ、高速化のために GPU を用いた実装を紹介したが、今回は更にガスの流体、自己重力の効果も取り入れた数値計算を行い、宇宙論的な密度場に対し、再結合光子の輸送がどのような影響を及ぼすかを調べた。

また、ART 法において大規模計算を行うための並列計算法である Multiple Wave Front(MWF 法, Nakamoto et al. 2001) を実装することにより良い精度でノード並列化を実現できたので同時に紹介する。

本講演では、アルゴリズム、パフォーマンス、流体、自己重力を取り入れた計算を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29a **New Numerical Galaxy Catalog ( $\nu^2$ GC) Model. VI. Cosmic Near-Infrared Background Radiation**

小林 正和 (愛媛大学)、榎 基宏 (東京経済大学)、石山 智明 (筑波大学)、真喜屋 龍 (東京大学)、長島 雅裕、大木 平 (文教大学)

我々はこれまで、 $N$  体シミュレーションによるダークマターハロー形成史をベースにした銀河形成の準解析的モデルの一種  $\nu$ GC モデル (Nagashima et al. 2005) を元に、New  $\nu$ GC ( $\nu^2$ GC) モデルを構築してきた (Makiya et al., in prep.)。  $\nu^2$ GC モデルは、世界最高レベルの解像度・計算体積での複数の新しい  $N$  体計算結果 (Ishiyama et al., submitted to PASJ) と、超大質量ブラックホールの形成進化過程や活動銀河核 (AGN) によるフィードバックといった物理過程を  $\nu$ GC モデルに新たに導入したモデルである。2014 年秋季年会では、この  $\nu^2$ GC モデルの概要やマルコフ連鎖モンテカルロ法によるパラメータフィッティング法、AGN・高赤方偏移銀河の個数密度・クラスタリングの進化の結果について報告した (X07a, X08a, X09a, X10a, X11a, & X12c)。

本講演では、 $\nu^2$ GC モデルから得られる結果のうち、特に銀河起源の近赤外線背景放射の非等方性について調べた結果を報告する。複数の  $N$  体計算結果のうち、一辺  $> 280 \text{ Mpc}/h$  という大きなボックスサイズのものを用いることで、 $2 \text{ deg} \times 2 \text{ deg}$  を越える観測領域の奥行  $9 \text{ Gpc}/h$  に及ぶ lightcone を作成し、近傍から遠方に至る銀河の観測者に届くフラックスを元に、近赤外線背景放射の平均強度と、黄道光の寄与の不定性を差し引く上で重要なゆらぎのパワースペクトルを計算した。本講演では、得られた計算結果と観測結果とを比較し、背景放射の起源について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X30a ALMA で迫る mm 波帯宇宙赤外線背景放射の起源

藤本征史, 大内正己, 小野宜昭, 石垣真史, 百瀬莉恵子 (東京大学)

COBE により宇宙赤外線背景放射 (CIB) が観測され、この放射源を解き明かす試みは盛んに行われてきた。mm 波帯でも高分解能・高感度を実現した ALMA により  $\sim 0.1$  mJy までの天体を個別検出できるようになった一方で、これらの CIB への寄与は  $\sim 50\%$  とされている。残りの放射源はよく分っていないのである。本研究では約 80 視野分もの深い ALMA band 6&7 データをアーカイブから集め、視野中心以外で受かる暗い mm 波帯天体サーベイを行った。現状 mm 波帯で最も深さと広さを兼ね備えたこのサーベイにより、計 76 個の天体を検出した。これらの明るさは重力レンズ効果を受けたものの補正も含めると  $0.01\text{--}0.7$  mJy にもなり、星形成率では  $\sim 3\text{--}200 M_{\odot}\text{yr}^{-1}$  に相当する。この結果を用い個数密度を統計的に導いたところ、今回見えてきた天体までの CIB への寄与は  $\sim 91\pm 30\%$  となった。このうちの  $\sim \pm 20\%$  は元々の COBE の測定誤差によるものであることから、今まで見えていなかった CIB の残りの放射源が ALMA によってほぼ全て見えてきたことになる。個別に見ると、爆発的な星形成を示すサブミリ銀河 (SMGs) と呼ばれる  $1$  mJy 以上の天体は  $\sim 7\text{--}10\%$ 、 $0.1\text{--}1.0$  mJy の天体は  $\sim 25\text{--}40\%$ 、さらに暗い  $0.01\text{--}0.1$  mJy の天体は  $\sim 30\text{--}50\%$  の寄与を示した。ALMA で見えてきた CIB の主な放射源は従来見えていた SMGs とは異なった種族であることがわかる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## X31a CIBER 実験による宇宙赤外線背景放射のゆらぎ検出

松浦周二, 新井俊明, 和田武彦 (JAXA/ISAS), 津村耕司 (東北大学), 松本敏雄 (ASIAA), Michael Zemcov, James Bock, Phillip Korngut, Anson Lam, Gael Roudier (Caltech/JPL), Joseph Smidt, Asantha Cooray, Yan Gong (UC Irvine), Min-Gyu Kim (SNU), Dae-Hee Lee, Uk-Won Nam (KASI), ほか CIBER チーム

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り、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。本講演では、ロケット実験 CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) による、宇宙赤外線背景放射の空間的なゆらぎ (非等方性) の検出についての成果を発表する。

過去の Spitzer や「あかり」による  $2.4 \mu\text{m}$  より長波長での観測によれば、宇宙赤外線背景放射のゆらぎは既知の放射源である系外銀河に起因するものよりも大きい。その解釈として赤方偏移  $z \sim 10$  の宇宙再電離期の放射と近傍銀河の未知の星成分との説が示されたが、最終結論は出ていなかった。そこで、CIBER では宇宙再電離期の放射スペクトルに予想されるライマン・ブレイクを識別できる波長  $1.1 \mu\text{m}$  と  $1.6 \mu\text{m}$  でのゆらぎ観測を行なった。今回の結果は、2010年と2012年の実験で得た前景放射が暗い天域の視野  $2 \text{度} \times 2 \text{度}$  の撮像データに基づく。

近傍の星や銀河をマスク除去した画像の空間スペクトル解析を行なった結果、数分の角度スケールにおいて系外銀河によるショットノイズやクラスタリングでは説明できない極めて強いゆらぎが検出された。2波長のゆらぎ振幅の比には宇宙再電離期の証となるライマン・ブレイクは確認されず、他の解釈として系外銀河ハローに存在する未知の浮遊星による拡散光がゆらぎのかなりの割合を占める可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32a 大規模再電離シミュレーションの為のサブグリッドモデルの開発

長谷川賢二 (名古屋大)

宇宙再電離とは、一旦中性化した宇宙が宇宙初期に形成された天体からの輻射によって再び電離する過程であるが、これがどのように進んだのかは未だ明らかではない。

再電離に関する研究の一つのアプローチがシミュレーションであり、現在の再電離シミュレーションの主流は構造形成シミュレーションの後、ポスト处理的に輻射輸送計算を行う事で電離構造を求めるというものである。この場合、正確に再電離計算を行う為には、大領域のシミュレーションでは分解困難な電離光子源銀河や銀河間物質の非一様性のモデリングが重要となるが、これらは輻射によるフィードバックに敏感であり、現状適切なモデルが使用されているとは言い難い。

そこで本研究では、高分解能輻射流体力学計算結果の解析によって得られる銀河と銀河間物質に関するサブグリッドモデルをポスト处理的輻射輸送計算に組み込む新たな再電離シミュレーションコードを開発した。講演では、計算コードに組み込んだモデルの具体的な説明と計算手法の説明を主に行うが、輻射流体計算結果や先行研究で用いられていたサブグリッドモデルを適用した結果との比較も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33a  $z = 3.09$  の非常に高密度な銀河群の発見

久保真理子 (東京大学宇宙線研究所), 山田亨, 市川隆 (東北大学), 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 松田有一, 田中吉 (国立天文台)

CDM 宇宙において、銀河は階層的に合体を繰り返して形成進化することが予測されている。特に大質量銀河の形成には銀河合体が大きく寄与していると考えられている。我々はすばる望遠鏡 MOIRCS (Multi-Object InfraRed Camera and Spectrograph) を使った、 $z = 3.09$  SSA22 原始銀河団に付随する 1 AzTEC/ASTE 1.1 mm サブミリ源 (AzTEC J221736.96+001821.3, SSA22-AzTEC14)、4 Ly $\alpha$  Blobs (LABs) の近赤外線撮像・分光観測によって、これらに各々二つ以上の  $z \approx 3.09$  の銀河が付随していることを明らかにした。特に SSA22-AzTEC14 の対応天体として、物理スケールで 180 kpc ほどの領域に 6-7 の銀河が集まった非常に高密度な銀河群を同定した。この銀河群の速度分散は  $\sim 370 \text{ km s}^{-1}$ 、力学質量は  $\sim 1.6 \times 10^{13} M_{\odot}$  と見積もられ、大質量かつ力学的にも成熟した天体だと考えられる。また、少なくとも系の crossing time  $\sim 0.5 \text{ Gyr}$  以上の年齢を持つ古い天体でもありと考えられる。近傍のコンパクトな銀河群に近い天体を  $z > 3$  において検出した初の成果である。一方、LABs に付随した銀河の速度分散は各々数  $10 \text{ km s}^{-1}$  程度であり、LABs の総星質量即ち総質量の下限値の質量の天体に力学平衡している場合に期待される値よりも小さかった。LABs に付随した銀河群は重力的に束縛されているが、SSA22-AzTEC14 銀河群よりも力学的に初期の段階をみていると考えられる。これらの銀河群は現在までに合体しうるタイムスケールを持っており、階層的銀河合体による銀河団大質量楕円銀河形成の直前の様子を観測していると考えられる。各銀河群の総星質量は  $1 \sim 5 \times 10^{11} M_{\odot}$  であり、合体によって大質量銀河に成長する以前に大半の星が形成されていた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](#)

X34a すばる Hyper Suprime-Cam による  $z \sim 5$  原始銀河団候補

玉澤裕子, 大内正己, 小野宜昭 (東京大学), HCS LBG 研究チーム

銀河団は階層的構造形成の中で、銀河が集まってできると考えられている。銀河団の形成途中にある銀河の集団は特に原始銀河団と呼ばれるのだが、その性質は観測的にはまだよく解明されていない。さらに、銀河団の中心に存在するであろうダークハロー質量も分かっていない。観測的にこれらの問題に取り組むため、我々は、前回の年会で、 $z \sim 5$  原始銀河団候補を SXDS 領域で同定し、そのダークハロー質量の集積史を推定した結果を発表した。今回、すばる Hyper Suprime-Cam で観測された COSMOS 領域の新たなデータを用いて同様の解析を行った。その結果、 $z \sim 5$  銀河が半径 8 Mpc の円内に 36 個集まり、密度超過  $\delta$  が  $\delta \sim 3$  で  $\sim 8\sigma$  の有意性を持つ原始銀河団候補を 1 つ、密度超過が  $\delta \sim 1$  で  $\sim 3\sigma$  以上の有意性を持つ原始銀河団候補を 4 つ見つけた。この内、 $\delta \sim 3$  の原始銀河団候補中心に存在するダークハロー質量を、Millennium Simulation に基づく準解析的銀河形成モデル (Guo et al. 2011) と light cone モデル (Henriques et al. 2012) を用いて推定したところ、 $> 6.0 \times 10^{12} M_{\odot}/h$  となった。さらに、この原始銀河団候補が  $z=0$  でどの程度のダークハロー質量を持つのかも推定したところ、 $> 2.0 \times 10^{14} M_{\odot}/h$  となった。ここから、今回発見した  $\sim 8\sigma$  の原始銀河団候補は将来銀河団に進化すると考えられる。本講演では、この原始銀河団候補のダークハロー質量の集積史などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

## X35a 弱い重力レンズ効果による銀河スケールの質量分布探索への展望

小林将人 (名古屋大学), Alexie Leauthaud, Surhud More, 岡部信広 (KavliIPMU), Clotilde Laigle (IAP), Jason Rhodes (JPL), 竹内努 (名古屋大学)

銀河近傍における質量分布は、暗黒物質の性質、銀河の星質量、また銀河形成・進化における暗黒物質とバリオンの相互作用の歴史を反映しており、精度よく測定することが望まれる。現状の弱い重力レンズ効果を用いた質量分布探索は、典型的には銀河中心から 50 - 100kpc 以上のスケールにとどまっている。この領域での重力レンズ効果のシグナルは銀河を包含するハロー (暗黒物質) が支配的要素であるが、銀河から数十 kpc のスケールにおいては銀河が持つバリオン質量が支配的な要素となる。(我々は暗黒物質質量とバリオン質量のシグナルへの寄与が等しくなる場所を、レンズ銀河からの距離  $R_{eq}$  と名付けた。) 今後の大規模な観測 (例えば HSC, WFIRST, Euclid など) がもたらす統計精度の向上により、 $R_{eq}$  より内側の銀河近傍数十 kpc スケールにある質量分布についても弱い重力レンズ効果で探索可能になり、これが現行の星質量推定方法と相補的な役割を果たす可能性を前回の天文学会にて指摘した (2014 年秋季年会 X36a)。

今回はハッブル宇宙望遠鏡 ACS データの解析に基づき、銀河近傍での弱い重力レンズ効果測定精度について、将来の衛星観測 (WFIRST および Euclid) に絞った見積もりをさらに進めた。銀河中心からの距離に応じた見積もりを行ったところ、全質量分布をファクター 2 以上の精度で測定可能になること、また星質量が  $10^{10} M_{\odot}$  以上の銀河に対してはその測定精度が  $S/N \geq 20$  になりうるという展望を得たので、本発表ではこの展望を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## 【Y. 天文教育・その他】

3月19日(木) 午前(09:30-11:30) [F会場]

Y01a	09:30	ストラッペの生涯と業績 渡辺憲昭(千葉商科大学商経学部)
Y02a	09:42	時の記念日と1920年に開催された「時」展覧会について 井上 毅(明石市立天文科学館)
Y03c		新城新蔵の宇宙進化論の理論的基礎に関する実証的研究 株本訓久(武庫川女子大学)
Y04a	09:54	超天文素人母による天文教育についての考察 富田朝木(ひが企画)
Y05a	10:06	小中学校の天文教育の中で宇宙開発を教える機会について 中野多恵(九州工業大学)
Y06a	10:18	新指導要領のもとでの「光とスペクトル」の取り扱い 貴村 仁(大阪教育大学)
Y07a	10:30	ブラックホールを題材にした天文教育ネットワークの形成へ 大西浩次(国立長野高専)
Y08a	10:42	仙台で行ったパークス64m電波望遠鏡の高校生対象の遠隔観測について 亀谷 収(国立天文台)
Y09b	10:54	次期学習指導要領における高等学校必修総合科目設置の検討 松本直記(慶應義塾高等学校/国立天文台)
Y10b	10:54	高校生天体観測ネットワーク: 皆既月食観測とその成果 塚田 健(平塚市博物館)
Y11b	10:54	西はりま天文台での高校生・大学生の天文実習 高木悠平(兵庫県立大学西はりま天文台)
Y12b	11:06	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(2) 濤崎智佳(上越教育大学)
Y13b	11:06	夜空の明るさ測定における Sky Quality Meter の有効性検証 小野間史樹(星空公団)
Y14c		ルミエーションによる恒星の色再現 松本 桂(大阪教育大学)
Y15c		自作分光器による太陽の自転速度の測定について 坂江隆志(埼玉県立浦和西高等学校)
Y16b	11:06	茨城大学太陽観測システムプロトタイプの製作 野澤 恵(茨城大学)
Y17a	11:18	原始星形成直後の星周円盤の構造 塚本裕介(名古屋大学)
Y18c		宇宙背景放射偏光揺らぎと原初磁場 山崎 大(国立天文台)

(次頁に続く)

## 【Y. 天文教育・他】

3月19日(木)午後(13:30-15:30) [F会場]

Y19a	13:30	ドーム型スクリーンに投影する天体画像への臨場感・没入感に関する研究-2- 恵まれた星空環境に属する視聴者に、デジタルデータの星空はどのように評価されるのか 松岡葉月(国立民族学博物館)
Y20c		磁場の3次元可視化モデルの製作 當村一朗(大阪府立大学工業高等専門学校)
Y21a	13:42	素核宇宙多機関連携プロジェクトの広報 吉戸智明(筑波大学)
Y22a	13:54	IAU アウトリーチ室(OAO)の活動とその課題 - IAU100周年に向けての提言 - 縣 秀彦(国立天文台)
Y23a	14:06	100回を迎えた愛知教育大学天文台一般公開 沢 武文(愛知教育大学)
Y24a	14:18	「ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう2014」の実践とその結果について 矢治健太郎(国立天文台)
Y25b	14:30	TMTにおける国際的な教育・広報・普及活動の検討状況 青木和光(国立天文台)
Y26b	14:30	ケンブリッジ大学を舞台に含めた天文教育プロジェクト 藤原智子(九州大学)
Y27c		天文学者の地理的分布 藤沢健太(山口大学)
Y28b	14:30	国立天文台野辺山における地域連携事業の紹介 衣笠健三(国立天文台)
Y29a	14:42	紀美野町みさと天文台における地域住民と取り組む広報普及活動とその効果 矢動丸 泰(紀美野町みさと天文台)
Y30b	14:54	芸術作家は宇宙・天文分野に何を期待したか:天文台での作品制作・展示 玉澤春史(京都大学)
Y31b	14:54	美術館での宇宙展示企画、「宇宙を見る目」の試み 大西浩次(国立長野高)

## Y01a ストラッベの生涯と業績

渡辺憲昭 (千葉商科大学商経学部)

Strabbe(1741.6.20,Zwolle-1805.3.5,Amsterdam) の若い頃のことは全く知られていない。1760年(19歳)頃にアムステルダムに落ち着いた。アムステルダムでは、いくつかの事務所で会計係として働いた。塾を経営していて、自由な時間に商人たちのために算術の授業をおこなった。翻訳の仕事もおこない、アムステルダムのワイン計量係(ワイン樽の容積を量る係)も勤めていた。

1760, Clairaut の代数学および幾何学の本の翻訳を出版。あまり売れなかった。

1771, 「商人会計の基礎教育」を出版。多くの版を重ね, 19世紀半ばまで使用された。

1773, *Astronomia of Sterrekunde* 第1巻出版。第2巻(1775), 第3巻(1777), 第4巻と第5巻(1780)。

1778, 「アムステルダム数学協会」(現, Koninklijk Wiskundig Genootschap) を設立。

1782, 「数学協会」機関誌第1巻発行。

この後, 没年までに20冊前後の本を出版。

1804, 数学協会の運営から引退。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y02a 時の記念日と1920年に開催された「時」展覧会について

井上毅（明石市立天文科学館）、根本摩耶（NTT ファシリティーズ）、井村恵美（郵政博物館資料センター）、佐々木勝浩（国立科学博物館名誉館員）

6月10日は「時の記念日」である。時の記念日は1920（大正9）年に東京教育博物館（現国立科学博物館）で開催された「時」展覧会（1920年5月16日～7月4日）が契機となり誕生した。この展覧会では、東京天文台や逓信博物館等の機関や個人などから出品された時に関する多くの資料を展示され、約22万人の来館者があった。会期中に時間励行の呼びかけを行うことになり、天智天皇による日本最初の報時の日（671年6月10日）を時の記念日と呼ぶことになった。事業開催には東京天文台の平山清次、早乙女清房ら天文関係者も関わり、特に東京天文台技師の河合章二郎は熱心に事業の推進にあたった。時の記念日当日、5万枚のピラがまかれ、正午に東京中の鐘が一斉に鳴らされるなど、空前の盛況となった。博物館での展示を超え社会全体に大きな影響を与えたことは、現在の科学教育普及にも大いに参考になる出来事だったといえる。時の記念日や「時」展覧会については佐々木による先行研究を基礎として井上が追跡調査を行っている。一連の詳細については天文月報（第13巻第5～7号1920年）および図録（1920年発行）に詳しく記載され、出品物のリストもある。関東大震災や戦災を経ているため大半の資料の所在は不明であるが、国立天文台には東京天文台から出品された古暦や機器類が保存されていることが確認されている（2010年井上の調査による）。逓信博物館出品の資料については2014年に根本と井村の調査協力により郵政博物館資料センターに日時計、機器、絵図が良好な状態で保存されていることが判明した。これらは明治期の社会と時間の関係を知る貴重な資料である。本発表では、時の記念日の意義、「時」展覧会の出品物追跡調査で判明した新知見、2020年の時の記念日100周年に向けた企画構想について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03c 新城新蔵の宇宙進化論の理論的基礎に関する実証的研究

株本訓久 (武庫川女子大学)

本研究の目的は、新城新蔵(1873-1938)が提唱した宇宙進化論の理論的基礎となったものは誰の理論であったのか、ということを実証的に解明することにある。新城の宇宙進化論は、太陽系を含むすべての恒星、星団、銀河、宇宙に至るまでの形成と進化を、流星集団の重力収縮によって解釈することを試みた理論であり、1915年に京都帝国大学理科大学講習会「宇宙進化論」において、最初にその概要が発表された。宇宙進化論は新城自身が論じているように、J.N.Lockyer、G.H.Darwin、H.N.Russell、Thomas Jefferson Jackson Seeらの恒星進化論を基礎に形成されたものであった。これまで新城の宇宙進化論に関する天文学史的な研究は、山本一清、荒木俊馬、小暮智一ら京大宇宙物理学科の関係者によって行なわれている。それらにおいて、山本は「新城の宇宙進化論はJ.N.Lockyerの流星仮説とは何の関係もない」と述べる一方、荒木は「新城の宇宙進化論はJ.N.Lockyerの説を発展させた」と論じ、小暮は「新城の宇宙進化論はH.L.F. von Helmholtzの収縮説を基礎としているが、太陽系の生成の説明はI.Kantの説に近い」と解釈しているように、三者の見解は異なるものとなっている。さらに新城の宇宙進化論の形成に大きな影響を及ぼしたT.J.J.Seeの恒星進化論については、三者ともに全く言及していない。今回、本研究では新城の研究論文及び論著を詳細に調査し、宇宙進化論の形成過程を明らかにすることで、宇宙進化論の理論的基礎となった理論は誰のものであったのかを実証的に解明し、三者の見解が異なるものとなった原因、さらにT.J.J.Seeの理論の影響が見落とされた理由について一つの解釈を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a 超天文素人母による天文教育についての考察

富田朝木 (ひが企画)

私は、天文少女を子に持つ超天文素人母である。娘は、近くの高校の地学部と出会い、ご指導いただく機会に恵まれたおかげで、小学3年生の時に初めて日本天文学会ジュニアセッションでの発表(1)を経験した。現在も、当時と同じ「空の明るさ」をテーマに研究を続けており、静岡県、兵庫県、広島県、長崎県、カナダに住む友人たちとの共同観測も、企画している。最寄りの天文施設へも出入りし、いくつかの研究に参加した。さらに2013年からは、KISSプロジェクト(2)にも参加させていただいている。本発表では、娘の活動に付き添う私が、天文素人そして母親目線で、天文教育現場を考察する。 1) 第14回ジュニアセッション講演4 2) 東京大学木曾観測所を中心とした超新星探査プロジェクト

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y05a 小中学校の天文教育の中で宇宙開発を教える機会について

中野 多恵 (九州工業大学 理数教育支援センター)

九州工業大学では、平成 21 年に北九州市立児童文化科学館と共同で宇宙を身近に感じてもらうことを目的に宇宙教育の取り組みを始めました。同年、文部科学省の宇宙利用促進事業に採択され、「大学発小型衛星から紡ぐベンチャーマインド」というテーマで教材開発を行いました。平成 23 年度で事業は終了しましたが、平成 24 年度に「大学発小型衛星から育む未来の宇宙利用者たち」というテーマで同事業に採択されました。事業の一環として、北九州市立児童文化科学館に小中学生を対象とした宇宙クラブを設置し、クラブ員が大学生と一緒に宇宙について学んだり、衛星開発の一部を体験したりする講座を開講しています。今後、より多くの児童・生徒に宇宙開発や宇宙利用を知ってもらうには、学校現場などでの教育が不可欠ではないかと思うようになり、北九州市内の小学校と全国のプラネタリウム施設を対象に天文分野を教える際に、宇宙開発についてまで教えているかを調査をしました。これまでの活動の中で感じた天文教育と宇宙教育の違いや調査結果などを発表します。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y06a 新指導要領のもとでの「光とスペクトル」の取り扱い

貴村 仁, 福江 純 (大阪教育大学)

また2015年が国際光年とされたのを期に、新学習指導要領における「光とスペクトル」の取り扱いについて調べた。新指導要領は高校まで進んだが、小中高全体の学習内容を整理すると、小学校では光や色を感覚的にとらえる学習が中心となっており、中学校では小学校の繰り返しがあり、非常に学習内容が乏しく、高等学校(物理・地学)でいきなり深い内容を学ぶというカリキュラムになっていることがわかった。とくに中学校理科での内容の欠如は、光やスペクトル概念の深化・発展を大きく阻害すると考えられる。

小学校レベルでは、簡易分光器など学習内容に即した教材がまだまだ多く存在する。そのような教材を使用すれば、より良い形で光に関する学習を行えるだろう。また、中学校など学習内容が少ないところでは、その前後の学習の橋渡しとなるような形の補完教材を考え、学習内容を盛り込む必要がある。そこで今回は、スペクトルに注目したカリキュラムと、光の性質に注目したカリキュラムをそれぞれ作成し、高等学校の最終段階で学習する内容によりスムーズにたどり着くための手段の考察を行った。

天文学においても、測光観測を始め、分光観測での輝線、吸収線など光の与えてくれる情報から様々なことが考察できる。より良い光とスペクトルの学習は今後の天文学の発展にも関わる物となるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y07a          ブラックホールを題材にした天文教育ネットワークの形成へ

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、地球の3倍の質量をもつガス雲 G2が通過する予想がたてられ、そのとき銀河系中心で何が起きるのか、観測が活発化している。おりしも新学習指導要領では、中学校理科の第2分野で「銀河」と「銀河系」が導入された。しかし、これまで天文教育の中心は太陽系(惑星系)までであり、「銀河」や「銀河系」を素材とする教育プログラムはまだまだ例が少ない。また銀河系中心は可視光で見通すことができないため、学校現場での直接観測は困難であり、実感を得にくいという側面もある。

そこで、銀河系中心に「巨大ブラックホールが実在する」直接的な証拠を得るための天文学的知見や研究手法を、学校現場での科学リテラシー教育に役立て、宇宙に対する感性向上に活用させるプログラムを作るための天文教育ネットワークを組織し始めている。メンバーは、(銀河系中心)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が中心である。

現在、ブラックホールの天文学の状況や学校教育現場における「銀河」や「銀河系」の教材の状況のレビュー、及び、高校生向けブラックホール教材の作成にむけた検討やブラックホールの観測データを使った教材などのコンテンツ化を目的とした研究会を開催している。2015年度は、国際光(ひかり)年(IYL2015)の年でもあり、天の川銀河を含む広い研究者や教育者の連携を展開してゆきたい。このようなプログラムによって、研究者と教育者を連携させる新しい枠組みを作り、新しいスタイルの科学教育の創造を目指してゆきたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08a 仙台で行ったパークス 64m 電波望遠鏡の高校生対象の遠隔観測について

亀谷收, 縣秀彦 (国立天文台), 服部誠, 三澤浩昭 (東北大学), 小野寺正己, 亀谷光 (仙台市天文台), Robert Hollow, Ryan Shannon (CSIRO), 伊藤芳春 (聖和学園高校), 磯部欣一 (仙台第一高校)

PULSE@Parkes の活動は、オーストラリア国のオーストラリア連邦科学産業機構 (CSIRO) による Parkes 直径 64m 電波望遠鏡を遠隔操作してパルサーの観測を高校生たちに行わせる活動で、2007 年に開始し、これまで 1000 名以上の世界の高校生が参加している。この活動が 2013 年に引き続いて 2014 年も日本で行われた。2014 年 11 月に鹿児島大学、国立天文台三鷹、山形大学、仙台市天文台のそれぞれの場所で、開催された。本講演では、特に仙台市天文台で 11 月 16 日に行われた内容について詳しく報告する。

今回、仙台で行うに当たり、宮城県の高校だけでなく、参加者を広く呼び掛けたところ、25 名もの参加者が日本全国から集まった。去年の経験を踏まえて、開催方法について改良を加えた。昨年は、CSIRO スタッフによる英語の講義を理解できない生徒が多かったことを踏まえ、講義内容資料に日本語による訳を加え、講義時に日本語による訳と解説を同時に行った。更に、グループ分けには英語力と高校を分散させる配慮を行った。その結果、観測計画、観測、解析、成果発表のそれぞれについて、高校生が自主的に対応する事例がみられ、とても活発であった。

最後に、この活動は、豪日交流基金からの補助で実現した。今回の大学で天文学と関連分野を学ぶ多くの学生によるサポートにより、充実したものになった。今回の活動を実現するためにご助力下さった関係者の皆様に厚く感謝いたします。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y09b 次期学習指導要領における高等学校必修総合科目設置の検討

松本直記（慶應義塾高校/国立天文台），縣秀彦（国立天文台）

理数強化の高等学校の学習指導要領が2012年に先行施行されてから3年目となる。早くも次期学習指導要領改定に向けた検討が今年度にも開始されると言われており、2020年度以降の施行が予定されている。

高等学校理科教育において、天文学を扱う地学の履修率は低く、多くの高校生は在学中に授業で天文学に触れることはない。現行学習指導要領において、高等学校理科では物化生地の各分野に2単位の基礎科目を4科目設置した。多くの普通科高校は基礎科目3科目を履修し地学基礎の履修率は約3割にまで上昇したが、依然天文学に触れる生徒は少ない。

また、国際学力調査に伴うアンケート調査において、日本の高校生、中学生の学習肯定感は極めて低い。例えば高1年代を対象としたPISA2009調査では「学校は決断をする自信をつけてくれた」という問いに対し肯定的な回答をした日本の高校生の割合は49.8%に過ぎない。このように、日本における高等学校の理科教育は、学習分野の偏りが大きく、また学習肯定感が低いのが特徴である。

次期学習指導要領においては、科学技術立国として必要な科学力をさらに向上させる内容であるとともに、理工系に進学しない高校生にとっても魅力的かつエッセンシャルな内容とは何かを検討した。その実現のためには、学習対象が明確であること、生活と学習内容の関わりが意識できること、知識ではなく科学的な考え方を育成する内容であることが重要であると考えた。また、現行のように物化生地の分野別に学習するのではなく、積極的に科目間の関わりを取り入れ、様々な視点で科学を見ることで、効率的に科学リテラシーを涵養できると考えた。このような総合的な理科の科目を必修科目として高校1年生段階で設置することを提案したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y10b 高校生天体観測ネットワーク：皆既月食観測とその成果

塚田健（平塚市博物館）、大西浩次（長野高専）、金子雄祐（東洋大学・学生）、佐々木孝啓（会社員）、鈴木文二（春日部女子高校）、相馬充（国立天文台）、高村裕三朗（一宮高校）、谷川智康（三田祥雲館高校）、船越浩海（ハートピア安八天文台）、嶺重慎（京都大学）、渡部潤一（国立天文台）、ほか年会実行委員会一同

高校生天体観測ネットワーク (Astro-HS) は、全国の高校・高専の天文系部活動等を結ぶネットワークで、学校教員や天文学研究者、科学館職員等、天文教育普及活動に携わる有志によって運営されている。1998年度のしし座流星群を契機に発足し、2000年度からは流星群以外も観測テーマに加え、多くの高校生に幅広い天文現象の観測を体験してもらってきた。

2014年度は、10月8日の皆既月食を観測テーマとして取り上げた。今回は、夜遅くならないうちにその全経過が観測できるという好条件の月食であった。具体的テーマは、(1)色と形の変化を捉えよう（食の時刻を記録、月食のスケッチ）、(2)月の大きさを求めてみよう、(3)月までの距離を求めてみよう、(4)影の明るさの分布を求めてみよう、(5)食中の空の明るさを測ってみよう、(6)携帯電話で月食を撮ろうである。いずれも比較的簡便に観測・解析ができるテーマで、全国の高校生が観測を行い、Astro-HSのネットワークを活かして結果を集約することで、科学的にも意味ある成果が得られることが期待された。

月食に先立ち、テーマに沿って観測ガイドを作成し Astro-HS のウェブ上に公開した。観測結果は各グループが報告、運営委員会が集約できる形を整えた。幸い、皆既月食当日は一部を除いて晴天となり、各地から画像やデータが集まった。本発表では全国から寄せられた観測データとともに、活動の成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y11b 西はりま天文台での高校生・大学生の天文実習

高木悠平、伊藤洋一、石田俊人、高橋隼、本田敏志、森鼻久美子（兵庫県立大学西はりま天文台）、新井彰（京都産業大学）

兵庫県立大学西はりま天文台では、年間を通じて多くの高校生や大学生が来台し、天文観測などの実習が行われている。また、2002年より文部科学省が開始したスーパーサイエンスハイスクール (SSH) 制度により、高校教育中に最先端の科学技術に触れる機会が増え、西はりま天文台でも SSH 指定校の実習を目的とした利用者が増加している。

西はりま天文台は2012年より兵庫県立大学に移管された。これまでの公開天文台としての事業を展開しながら、大学付属天文台として研究観測にも注力している。そのため、西はりま天文台は公開天文台と大学天文台の2つの側面を持ち、観測天文学の最新の成果を伝えつつ観測を体験することができるという、天文観測実習により適した環境になっている。

これまでの西はりま天文台での観測実習は、利用者の要望に応えるという形で行われてきた。より多くの利用者に天文学の魅力を感じてもらうことを目標に据え、2014年度より高校生と大学生を対象とした実習の受け入れ体制を整備した。2014年の夏休み期間中には計18校が実習に参加し、整備前と比較すると、天文に関する実習を実施した学校数は倍増した。本公演では、整備した実習メニューの紹介と、初年度の運用成果および今後の検討課題を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y12b 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(2)

落井裕子, 濤崎智佳, 斉藤美妃(上越教育大学)

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。それらを補うために、本研究では高品質な全天画像が取得できるシステムの構築を行い、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た。システムの詳細は、2014年春季年会で報告済みである(Y03c)。

開発したシステムを用いて、太陽や星、月の日周運動に関する教育プログラムを開発し、教員養成課程の学生延べ60名を対象とした実践を4回行い、その効果を評価した。太陽の季節ごとの軌跡や各天体の1時間ごとの動き、太陽と月の季節ごとの南中高度に関する理解度を事前に調査した後、授業を行い、事後調査を行った。その結果、太陽が天球上を1時間に何度移動しているかについては、正解者が授業前の54名から授業後には60名全員に、春分・夏至・秋分・冬至の太陽の軌跡についての正解者も40名から52名に増加し、特に夏至と冬至での正解率が高くなっていた。月や星の日周運動に関しても、正解者が授業前よりも増加しており、全ての設問で授業前よりも授業後に正しく解答している学生が増加するなど、教育的効果が見られた。さらに、太陽の軌跡に関する設問では、季節ごとの南中高度の高さを理解は理解しているが、日の出・日の入りの方角を理解していないため、誤った解答につながっていることが明らかとなり、太陽の日周運動を理解させる上で、南中高度だけでなく、日の出・日の入りの方角についても認識させることが指導する上で重要であることが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y13b 夜空の明るさ測定における Sky Quality Meter の有効性検証

小野間史樹(星空公団), 柴山万優子(日本大学理工学部), 大川拓也(JAXA/ISAS), 佐藤幹哉(かわさき宙と緑の科学館), 原田泰典(国際航業株式会社), 小野智子, 福島英雄(国立天文台), 香西洋樹(さじアストロパーク佐治天文台)

近年, 夜空の明るさ調査において測定値が容易に得られることから Sky Quality Meter(SQM) を用いた調査結果が報告されている。一方, SQM には単素子かつ広視野のセンサが用いられており, 天候など測定値以外の情報が得られないことや外乱に弱いなどの課題が明らかになっている。このため, 我々は夜空の明るさ測定における SQM の有効性を検証した。検証では, SQM およびレンズ付きモデル(SQM-L) の2種類について, 実際の使用条件を模擬して 1.5 m の高さに設置し, 高さ 5 m の街灯に対する距離を変化させて測定を行った。同時に, デジタル一眼カメラ(Canon EOS Kiss X7)を用いた測定も行い, 測定値の比較を行った。

この結果, 背景が 18 等級/ ”程度の市街地において, 街灯からの距離が SQM では 20 m, SQM-L では 15 m 以内の範囲で照明の影響が顕著であり, 測定値に 0.1 等級/ ”以上のオフセットが生じることが確認された。これは, SQM および SQM-L が広い角度範囲に感度を持っているためであり, 街灯から 15 m 以上離れることが困難な市街地では, 正確な測定を行うことは難しいことを示している。このことから, SQM および SQM-L は, 市街地における光害調査を目的とした測定には不向きであることが明らかになった。

同時に測定を行ったデジタル一眼カメラでは, フードを用いた遮光を行うことで街灯から 2 m 程度でもオフセットが生じておらず, 市街地における調査での有効性を確認できた。講演では両者の特徴の比較も行い, 夜空の明るさ調査における測定手法について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y14c ルミエネーションによる恒星の色再現

塩津朱里, 木本晴夫 (名古屋市立大学), 松本桂 (大阪教育大学)

天文教育普及の場などで恒星について説明するとき、その「色」について言及することがある。しかし「色」は感覚的なものなので、人によって見え方や色名の認識の相違がある。そこで、われわれは、人は恒星を何色(色名)と表現するのか調査する必要性があると考えている。しかし、本物の恒星を使用する調査は、気象条件に左右されたり、1等星など明るい恒星には既成概念があるため難しい。そのため、恒星の色の見え方を調査する前段階として、点光源で正確に恒星の色を再現できる装置を検討し、その装置を使用して色の見え方を調査することが有効であると考えている。

本研究では、低分散分光観測により恒星のスペクトルデータを取得し、日本工業規格で定められている光源色を三刺激値に変換する方法で、取得した観測データを数値化した。次に、点光源で恒星の色を再現する実験装置として、フルカラーLEDを制御して色を表現できる装置「ルミエネーション」木本・トラフィックシム社(2008)を使用し、色再現を試みた。この時、色彩輝度計を用いて再現された色の正確さを確認した。その結果、恒星の観測データから恒星の色を再現することができた。

本発表では、以上の手法を紹介するとともに、今後ルミエネーションを使用して恒星の色の見え方について調査の可能性について検討したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y15c 自作分光器による太陽の自転速度の測定について

坂江隆志 (埼玉県立浦和西高等学校), 大辻賢一 (国立天文台)

本ポスターでは、自作した分光器で太陽の吸収線の観測を行い、吸収線のドップラー偏移の解析から太陽の自転速度を測定した結果について発表する。当自作分光器 (2012 年春季年会 Y09b、2014 年春季年会 Y24b で発表) で使用した回折格子は格子定数 1200 本/mm、ブレイズ波長 500nm、25×25mm の平面反射式である。これを市販の望遠鏡に設置することで、太陽のスペクトルを取得している。通常は 1 次のスペクトルを用いており、理論的波長分解能は 0.02nm である。一方、太陽の自転速度は赤道付近で約  $\pm 2\text{km/sec}$  でありこれを検出するには Na(D) 付近で 0.004nm の波長分解能が必要であるため、このままでは自転速度の検出は困難である。そのため、2 次のスペクトルを用い、吸収線をガウス近似して吸収線中心をサブピクセルまで求めて精度を上げた。

観測は、Na(D) 線付近 (約 600nm) で行い、太陽の日周運動を用いたスリットスキャンから太陽の大部分をカバーするスペクトロヘリオグラムを取得した。ここから、地球大気の水蒸気による吸収線 (589.1660nm、589.8166nm) を同定して 1 ピクセルあたりの波長を求め、この水蒸気の吸収線に対する、D1、D2 の間にある太陽光球に由来する Ni の吸収線 (589.2883nm) の波長偏移を求めて太陽全面における視線方向速度を計算した。その結果、太陽の自転速度のパターン (最大  $\pm 2\text{km/sec}$ ) が得られたほか、自転速度の緯度依存性 (差動回転) と思われる傾向を捉えることにも成功した。

今後は今回得られた差動回転の成分を差し引いた残差から、太陽の 5 分振動パターンや超粒状斑の検出に挑む予定である。また、各教育機関で当分光器のような小型軽量で安価なものが普及し、分光観測がより身近に広く行われるようになることを期待する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y16b 茨城大学太陽観測システムプロトタイプ製作

野澤恵、須藤謙人(茨城大学)

太陽活動と類似したプラズマ現象は、恒星や原始星で多く見られる。そのため地上での太陽観測を含め、太陽活動の究明は他の天体のプラズマ現象の理解に重要である。また、地上からの太陽観測は、太陽専門望遠鏡が主に活躍している。しかし専門望遠鏡での観測は、夜間は当然不可能であり、また天候によっても左右されてしまうため、単一地点での定常的観測は不可能と言える。そのため、各地に観測網を巡らし、複数での観測を行う観測システムが必要である。そこで必要不可欠となる全自動観測を目的として、望遠鏡への太陽導入、追尾、撮像、保存、格納、また撮像したデータ公開までを、望遠鏡、赤道儀、CCDカメラをPCで制御することで自動化を目指している。

現在望遠鏡を赤道儀に乗せ、PCから赤道儀の赤緯軸、赤経軸のそれぞれのモーターを制御することで観測を行っている。これらを利用して、定時に太陽を導入し、追尾、適切な露出に変更しながら撮像し続けるシステムを開発中である。このシステムにより、自動で毎日太陽を撮像し続け、太陽の突発的な現象や長期的変動を捉えるために撮像データの蓄積を行う。また小型軽量、安価であることから同型を複数用意し、多くの晴天率の良い場所での観測点を増やすことで、より恒常性の高い観測を行いたいと考えている。今回赤道儀に可視光望遠鏡を取り付けたものに、作成したモーターコントローラを取り付け、導入、格納以外自動で観測するシステムを構築することができた。これらのシステムの概要と課題及び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](#)

## Y17a 原始星形成直後の星周円盤の構造

塚本裕介（名古屋大学）、町田正博（九州大学）、奥住聡（東京工業大学）、岩崎一成（名古屋大学）、犬塚修一郎（名古屋大学）

星周円盤の形成進化過程を明らかにすることは原始星の進化や惑星形成過程の初期条件に制限をつけるために重要である。我々は非理想輻射磁気流体力学コードをもちいた原始星形成シミュレーションを行い原始星形成とその形成直後にその周囲に形成する円盤の構造をしらべた。その結果、今までに知られていなかった新たな現象としてファーストコア内で対流不安定がおき1000 K程度のガスがファーストコアから噴出する現象を発見した。この熱いガスからの輻射によって数10 AU程度の領域にわたってガスの温度が100 Kを超えることが見出された。このような温度環境の変化はコア内の化学組成進化に影響を与える可能性がある。等温収縮期、ファーストコア段階に磁気制動によって角運動量がガスから抜き去られるため、磁場を考慮した場合、円盤サイズは小さくなり、原始星形成直後には概ね1 AU以内であった。形成した円盤が遠心力サポートされていることも確認した。形成直後の円盤のToomreのQ値は1程度、プラズマベータ値は $10^{5-6}$ 程度であった。原始星形成直後はファーストコアのガスが円盤に降着しきっておらず、円盤への強い質量降着が続くことが予想される。円盤の質量は増加し続けることから、円盤の初期進化においては磁気回転不安定性とともに重力不安定性による角運動量輸送が重要である可能性が高い。本講演では、原始星形成に至るまでの進化と形成初期の円盤の構造についてより詳細に説明し、円盤長期進化への含意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](#)

## Y18c 宇宙背景放射偏光揺らぎと原初磁場

山崎大 (国立天文台)

銀河団スケールで観測により数  $\mu\text{G}$  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  $\text{nG}$  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、宇宙背景放射の偏光揺らぎにも影響する。

我々は、先行研究により、原初磁場を直接の起源とする BB mode 偏光揺らぎが、weak lensing effect 由来の偏光揺らぎと強く縮退する可能性を示した。当発表では、以上に加え、原初磁場のエネルギー密度を正しく考慮した場合、matter power spectrum の振幅を減少させ、結果的に weak lensing effect 起源の偏光揺らぎ減少させること考慮して、修正した原初磁場の偏光揺らぎへの影響を解説し、将来予想される観測結果からどのように原初磁場が制限できるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y19a           ドーム型スクリーンに投影する天体画像への臨場感・没入感に関する研究- 2- 恵まれた星空環境に属する視聴者に、デジタルデータの星空はどのように評価されるのか

松岡葉月 (国立民族学博物館), 村田拓也 (りくべつ宇宙地球科学館), 阪本成一 (国立天文台)

恵まれた星空環境に属する視聴者に、デジタルデータの星空はどのように評価されるのか。この問題意識から、国内有数の星空環境をもつ北海道陸別町の「りくべつ宇宙地球科学館」の4mエアドームにおいて、臨場感・没入感の観点から調査を行った。今回も前回と同様に発表者らが制作したプラネタリウム番組「誰も知らなかった星座～南米天の川の暗黒星雲」に用いている天体画像を用い、5か月間の上映期間中に一般視聴者からアンケートで回答を得た。前回の調査では、異なるドーム径やプロジェクター性能を持つ上映館でのアンケート結果の比較を通じて、画像精細度の高さは臨場感や没入感に部分的にしか影響しないこと、画像の精細度よりもドーム径が臨場感・没入感に影響する傾向が見られること、臨場感・没入感には視聴者の心理的側面や地域性などの環境要因の影響も見られることなどが明らかになってきた(松岡ほか、日本天文学会2014年春季年会)。これを踏まえて引き続き、物理・環境要因(元画像画素値、プロジェクター性能、ドーム径、立地条件など)と人的要因(視聴者の年齢、プラネタリウム経験、天体に関する知識・関心など)に着目し、これらの要因を臨場感・没入感に照らし合わせて研究を進めている。特筆すべき視聴者の背景は、都市部から遠いという当館の立地条件から、星を見るために来るという目的意識が極めて強く、天体望遠鏡の経験率も前年度までの上映館よりも特出して高い点である。講演では、特に環境要因の影響を考慮しつつ、当館の人的、および物理・環境要因と、臨場感・没入感の関連について紹介し、恵まれた星空環境でのドーム映像の果たす意味や効果について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y20c 磁場の3次元可視化モデルの製作

山崎雅輝, 山本拓也, 吉村章央, 當村一朗 (大阪府大高専)

電磁気分野の教育においては、目に見えない電場や磁場を扱うために初学者の直観的理解を促すことが難しい。磁場の2次元の可視化は比較的容易であるが、より進んだ理解のためには3次元モデルを提示することが望ましい。磁場の3次元可視化モデルには、磁性固体を用いたものの他、近年は磁性流体を用いたものもあるが、いずれの方式も磁場の強い場所に磁性体が集まってしまうと、奥の方の磁場の様子が見えにくくなる。

そこで我々は、今年度卒業研究の一環として、磁場の3次元可視化モデルの製作に3つの異なる方法で取り組んでいる。1つは従来同様に磁性固体を用いる方法で、糸で格子を作り、各格子点に磁性体を別の糸で取り付ける。その後、全体を油などの液体に浸け、各磁性体には比重が小さい材料を付加して重力を可能な限りキャンセルする。この方法では磁場が強い場所で磁力線が密になるという特徴を表すことは難しいが、磁場の立体分布が見通し良く観察できる。第2の方法は磁性イオン液体を用いるものである。磁性イオン液体は磁性流体と似ているが、全体が溶液であるため長時間放置しても分離しないのが特徴である。我々は本校の化学分野の教員の協力を得て磁性イオン液体を作成し、ほぼ完成の段階に達している。容器にはルービックキューブに類似した透明プラスチックケースの集合体を用いる。各キューブに磁性イオン液体を半分ほど入れてキューブを集積すると、各キューブの場所での磁場の様子が観察できる。3つめは、容器は上述の方法と同じで、磁性イオン液体の代わりに磁性流体を用いるものである。磁性イオン液体を用いた場合と比較することで、よりよい可視化モデルの実現に近づくことを目指す。

年会においては完成したモデルの外観や構造とともに、その性能評価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](#)

## Y21a 素核宇宙多機関連携プロジェクトの広報

吉戸智明, 永井智哉, 矢部あずさ (筑波大学), 入江敦子 (KEK)

2011年度に始まった文部科学省 HPCI 戦略プログラム分野 5「物質と宇宙の起源と構造」で行ってきた多機関連携の広報について、4年間の成果と今後の展望を述べる。また、広報の効果に関して主にコスト面から考察する。HPCI 戦略プログラム分野 5 は、国内 10 の大学・研究機関が参画し、スーパーコンピュータ「京」を使って素粒子、原子核、宇宙の計算科学を推進するプロジェクトである。計算基礎科学連携拠点（代表機関：筑波大学計算科学研究センター）が運営している。2020年運用開始予定のポスト「京」プロジェクトが始まっており、長期的な視野に立った広報が必要とされている。広報は組織マネジメントの一環であり、その目的は以下の3点に集約される。(1) 組織と社会のより良い関係を構築し、組織の存続・発展に寄与する。(2) 組織が運営判断をするのに必要な、内外の情報収集をする。(3) 集めた情報を活用し、社会への情報発信や組織運営に生かす。

広報戦略を立案のうえ (2) と (3) を実施して、(1) の達成を目指した。(2) HPCI 成果発表データベースにより、ワンストップかつリアルタイムの情報収集・発信を目指した仕組み作りを行っている。データベースは、高度情報科学技術研究機構が中心となり、理研計算科学研究機構と戦略プログラム分野 1~5 の協力で構築した。(3) 4年間でいった、プレスリリース、天文イベント実施、クォークカードゲーム制作と一般公開等への出展、ウェブマガジン、ムービー、カードゲームウェブ版の制作・公開を行った。以上の成果に関する考察を行い、今後の展望を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a **IAU アウトリーチ室 ( OAO ) の活動とその課題 - IAU100 周年に向けての提言 -**

縣 秀彦, 柴田幸子, Cheung Sze-leung ( 国立天文台/IAU・OAO )

国際的な天文普及を目指した国際天文学連合 ( IAU ) の OAO ( Office for Astronomy Outreach ) 室が国立天文台に設置された ( 2012 年 )。OAO の使命は天文学の普及活動であり、IAU のコミッション 55 と協力して CAP ( Communicating Astronomy with the Public ) 国際会議をほぼ 2 年毎に実施するとともに、CAP ジャーナルや OAO ニュースレターを編集・発行するなど、さまざまなアウトリーチ活動および天文学に関するサイエンスコミュニケーション活動を、発展途上国対象のみならず全世界に対してグローバルに実施しようとしている。本講演においては、IAU アウトリーチ活動の状況をレビューするとともに、直面する課題について考察する。

OAO 室は、2014 年 4 月から新体制の下、OAO コーディネータを中心に IYL ( International Year of Light ) 2015 ( 国際光年 2015 ) のうち、IAU が担当する Cosmic Light ( 宇宙からの光 ) 部門の推進や、太陽系外惑星系ネーミング事業等も進めている。個々の事業の国際的な状況について報告するとともに、1919 年には創立 100 周年を迎える IAU のアウトリーチ面での次期戦略についての私案を具体的に提案する。

参照 URL : <http://www.iau.org/public/> IAU・OAO 室について <http://www.capjournal.org/> CAP ジャーナル ( オンラインで閲覧可能 ) <http://www.iau.org/iyl/> 国際光年 2015・宇宙からの光 ( IYL2015・Cosmic Light ) <http://nameexoworlds.org/> 系外惑星系のネーミング ( NameExoWorlds )

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y23a 100回を迎えた愛知教育大学天文台一般公開

沢武文 (愛知教育大学)

愛知教育大学では、天文ミニ講座と天体望遠鏡を用いた観望会をセットにした愛知教育大学天文台一般公開を、一般市民を対象として定期的を実施しており、2015年1月で節目の100回目となる。

天文台一般公開がスタートしたのは2000年12月である。きっかけは、1997年3月に天文台の40cm反射望遠鏡が更新されたこと、大学も地域に対する社会貢献をすべきとの風潮が高まっていたこと、そして当時の大学院生の熱い働きかけがあったからである。第2回は2001年3月で、それ以降は奇数月の土曜日に、年6回のペースで開催してきた。天文台一般公開は、1時間ほどの天文ミニ講座と、その後の観望会で構成されている。観望会は40cm望遠鏡がメインだが、小型望遠鏡も数台用意し、参加者が自由に使えるようにしている。

2011年1月に60回目となり、それ以降は年10回と開催回数を増やして今回100回を迎えるに到った。2011年3月には、3D宇宙映像上映システムを導入し、「Mitaka」による「3D宇宙の旅」上映会を、観望会と同時に実施するようにした。その結果、雨天時の対応がしやすくなり、晴天時でも、天文台での混雑の緩和に役立っている。3D上映は学生が担当するため学生のモチベーションも上がり、学生にとってもよい刺激となっている。また、2014年3月には40cm赤道儀式望遠鏡が経緯義式60cmに更新され、観望会も実施しやすくなった。

これまでの98回までの参加者数は、一般公開全体では6175名で、このうち天文ミニ講座の参加者は4390名である。また、天文台一般公開以外にも、全国七夕同時講演会や日月食等の天文イベントに合わせ、特別観望会も数多く実施している。今回は、天文台一般公開100回目という節目の回数を迎えるにあたり、愛知教育大学における一般市民を対象とした天文普及活動のこれまでの取り組みについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y24a 「ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう2014」の実践とその結果について

矢治健太郎 (国立天文台)

太陽観測衛星「ひので」の観測データは研究だけでなく教育目的にも利用することが推奨されている。そこで、2010年より高校や公開天文台・科学館の太陽観測と共同観測を行う観測提案「ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう」を毎年実施してきた。この共同観測を行うことで、日頃太陽観測を行なっている高校生たちが、ひのでの観測データに関心を持ち、自分たちの太陽観測データと比較することを奨励する。これまで、中高等学校や天文教育施設だけでなく、大学の教育学部や天文同好会も参加し、ユニークな広がりを見せている。

2014年は7月21日から26日に実施し、14の学校・施設が参加した。うち7校は今回新しく参加した。そのほとんどが白色光による観測だが、6ヶ所がH線、3ヶ所がCaK線の観測による観測である。電波観測も1校行なっている。共同観測期間中は毎回、ひので側に観測領域をリクエストしている。観測期間中、晴天に恵まれたところも多く、連日黒点も出現した。7月25日にはひのでとプロミネンスの同時観測に成功し、自分たちの観測とひのでが観測したプロミネンスの微細構造を比較するいい機会となった。共同観測した学校の中には、都道府県の研究発表会で共同観測結果を発表しているところもある。

今回、共同観測を行うにあたり、参加校・施設に事前・事後のアンケート調査を行ない、共同観測や太陽という天体への意識がどう変化したか調査した。本講演ではこ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](#)

## Y25b TMTにおける国際的な教育・広報・普及活動の検討状況

青木和光, ほか国立天文台 TMT 推進室

国際協力で建設を進めている超大型望遠鏡 TMT では、プロジェクトとして教育・広報・普及活動などを検討するワーキンググループを組織し、メンバー国からそれぞれ参加をえて昨年から活動を行っている。グループは WEPOC とよばれ、これは Workforce pipeline, Education, Public Outreach and Communications の略称である。

当面の目標としては、TMT の米国内の社会貢献および建設地であるハワイにおける人材育成や教育活動を検討し、2015 年に米国国立科学財団 (NSF) へ提出する中間報告書にまとめることである。また、これらの活動を手始めに、国際プロジェクトの特色を活かしたこれらの活動全般を推進していくことを目指している。

2014 年 10 月には東京において会合を開き、天文学あるいは科学・技術における TMT の価値はなにか、それを活かせる活動はなにか、という議論を行った。また、日本の教育・広報普及活動について紹介し、意見交換を行った。WEPOC の活動状況を紹介し、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](#)

## Y26b ケンブリッジ大学を舞台に含めた天文教育プロジェクト

鈴木右文、 藤原智子、花田俊也、山岡均 (九州大学)

ここ数年進行中の九州大学の宇宙教育活動「ペガサスプロジェクト」では、英語教員を含んだ学際的体制を取っており(2014年春季年会 Y07b 等参照)、本発表では、このプロジェクトにおける文系教員・英語教育の立場からの貢献について報告する。

具体的な活動は、大学の正課英語授業における宇宙物理学をテーマとした英語購読教科書の採用や、天文学会主催の全国同時七夕講演会における文系的アプローチによる講演といったものであるが、特にケンブリッジ大学において実施される九大生専用の夏期英語・学術研修プログラムの中の天文教育は、ペガサスプロジェクトの国際的教育活動の最たるものであり、これを発表の中心に据える。

この研修の参加者の3人にひとり(10人前後)は、専門科目としてケンブリッジ大学の現職理系教員による「ケンブリッジにおける科学」を履修し、その科目の一環として、ケンブリッジ大学天文研究所を訪問し、所員によるミニ講義を受け、研究所内と19世紀に設置された天文台の見学を行っている。その教育内容を紹介すると同時に、実際に参加した学生の反応から、その意義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](#)

## Y27c 天文学者の地理的分布

藤沢健太 (山口大学)

天文学の発展には、最先端の研究に加えて、教育、そして文化としての学問の普及が必要である。これを実現するためには、社会の中に適切な数の天文学者が適切に分布し、各々の環境を生かした研究と教育をすることが必要と思われる。現在、天文学者は社会の中にどのように分布し、どのような研究や教育活動をしているのだろうか、また適切な天文学者のあり方とはいかなるもので、どのようにそれを実現できるだろうか。

この問題意識に従い、第一歩として天文学者の分布（所属機関と都道府県分布）を調べた。調査は日本天文学会会員名簿（2012年版）を資料とし、今回は対象を一般会員と学生会員に限定した。調査方法は（1）所属機関毎の人数を調べる、（2）所属機関の所在地を都道府県別に分類するというものである。対象となったのは一般会員 981 人、学生会員 358 人である（名簿に所属の記載のない方約 400 人は調査の対象外とした）。

所属機関別分布（一般会員）：国立天文台 15%、その他の国立研究機関 18%、旧帝国大学 26%、その他国立大学 18%、公立大学 3%、私立大学 16%、公共天文台 4%。一般会員は様々な機関・大学に分布している。（学生会員）：国立天文台 4%、その他の国立研究機関 3%、旧帝国大学 50%、その他国立大学 30%、公立大学 5%、私立大学 8%。学生は旧帝国大学・国立大学に強く偏って分布している。

地理的分布（一般会員）：33%(323人)が東京都に集中している。その他の集中地域は旧帝国大学所在地と大研究機関所在地（茨城県、神奈川県など）である。3県では一般会員（学生会員も）が0人、9県では一般会員が1人だった。天文学者は地理的に大きく偏った分布をしていることがわかる。都道府県別人口比を見ると、最も天文学者密度が高いのは京都府（一般会員 27 人 / 100 万人）である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y28b 国立天文台野辺山における地域連携事業の紹介

衣笠健三, 内藤明彦, 西岡真木子, 宮澤和彦, 御子柴廣, 篠原徳之, 齋藤正雄 (国立天文台野辺山)

国立天文台野辺山には年間約6万人の見学者が訪れており、2013年には、1982年の宇宙電波開所以来の累計見学者数が300万人に到達した。また、特別公開では毎年2500-3000人の来場者があるなど、従来より見学対応においてたいへん力を入れている観測所である。一方で、地元との地域連携においては、観望会などを活発に行っている時期もあれば、あまり活発ではない時期もあり、近年まで定常的な活動には至っていなかった。しかしながら、「野辺山観測所で行われている観測は地元の方々の協力なくしては成り立たない」という思いから、まず観測所で行われていることについて地元の方々に広報するという指針が改めて打ち出されてきた。

一方で、地元の自治体においては星や宇宙を資源とした観光の機運が高まってきている。例えば、南牧村は「日本三選星名所」の一つとなり、他の自治体と協力して星を観光資源としてPRしていくこととなった。また同様に、南牧村のある佐久広域連合でも交流人口創出プロジェクトにおいて、観光資源のひとつとして星空をPRする動きが始まっている。

これらの状況にあって、野辺山観測所では地域の方々に向けたイベントとして「地元感謝デー」を今年度初めて実施した。これは、隣接する信州大農学部野辺山ステーションと筑波大農林技術センターハヶ岳演習林との初めての共同イベントである。課題もあるが、「初めて何をやっているのかがわかった」という声を頂くなど、一定の手応えをつかんだイベントとなった。また他にも、特別公開での協力や、地域主催の企画である信州佐久星空案内人、宙ガールイベント「てぶら de 星空観賞会」といったイベントなど、地域と協力、連携した企画を実施してきた。本講演では、これらのイベントとともに野辺山観測所の地域連携活動全般について紹介をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y29a 紀美野町みさと天文台における地域住民と取り組む広報普及活動とその効果

矢動丸 泰, 山内 千里, 小澤 友彦 (紀美野町みさと天文台), みさと天文台友の会

紀美野町みさと天文台には、多くの公開天文台と同様、友の会がある。友の会は広報誌の共同発行やイベントを共同開催するだけでなく、天文台が行いづらい活動を実施することがある。例えば、大型スーパーでの出張観望会や天文関連グッズ（食品系）の企画販売などである。

これまでに販売された物に、探査機はやぶさの帰還にあわせて企画したイトカワクッキーがある。地元レストランが製作し、みさと天文台を始め、全国の天文台等で計4千個の販売実績がある。また、2014年皆既月食の際には「元祖皆既月食饅頭」を作った。友の会が中心となり和歌山市内の和菓子店と共同で開発し、みさと天文台は監修として協力した。中秋の名月イベントでお披露目した後、開発和菓子店や有名百貨店などで月食当日まで約1ヶ月間販売された。みさと天文台では皆既月食当日のみ販売した。

皆既月食饅頭の記事が朝日新聞デジタルで2014年10月3日に掲載されると、新聞だけでなく、ラジオやテレビなど様々なメディアが取り上げた。NHK総合「おはよう日本」午前7時台でも月食当日と翌日の2回紹介されたので、広告効果は非常に高かったといえる。今回の皆既月食に関する活動は、友の会の自由な発想や行動力を活かし、天文台は少しフォローをするだけで大きな効果を得ることができた例である。

本講演では、天文台が友の会と行っている活動内容を紹介するとともに、なかでも皆既月食に関して、マスコミ等への掲載状況や宣伝効果などの報告を行う。また、天文台と友の会で共同の活動する際の問題点や課題もあわせて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y30b 芸術作家は宇宙・天文分野に何を期待したか：天文台での作品制作・展示

玉澤春史、樋本隆太、河村聡人、磯部洋明

京都大学宇宙総合学研究ユニットでは2014年より「社会連携部門」が設立され、それまでも行っていた宇宙天文に関する一般向けのイベントをより積極的に仕掛け、学生の主体的な活動として支援する体制を整え、さらに一部についてはその分析の各種報告・論文化まで念頭におき、社会連携活動の業績化を考えている。

2013年には京都大学理学研究科の花山天文台を会場に芸術作品を制作、展示する企画を一般公開と関連させて行ったが、(日本天文学会2014年春季年会、玉澤、Y23a)2014年についても大学院生・天文台若手職員が主導して行った。説明会や作家との折衝段階で様々な着目点があり、特に芸術大学に赴いて行った説明会では、一部説明会を大学のカラーに合わせてアレンジするなど、個別要求に合わせた対応をとった。作品制作においても大学院生が関わり、特にサイエンスデータを取り込んだ作品については、担当となる大学院生が作家の要求を把握したうえで、専門性の高い資料を入手、作品に反映するなど、双方の理解と要求を直に確認しギャップを埋める作業が確認された。単純な知識伝達よりも踏み込んだ作業を意味し、双方の分野を理解することになり、科学コミュニケーションでしばしば行われている一方向の知識伝達・提供から双方向の知識理解へとつながりうる。また、天文台の利用に重点をおいた作品も存在し、作家の目を通して宇宙天文ファン以外がどのような点で天文台という施設に着目するかを議論を通して天文台関係者にあらわにしていった。いずれの場合も相手の専門により求められ提供する情報をアレンジする必要があることを示している。本発表ではこのような作家といった「対象を明確化させたうえでの科学コミュニケーション」について具体的に対応した内容から考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

## Y31b 美術館での宇宙展示企画、「宇宙を見る目」の試み

大西浩次 (長野高専), 鈴木幸野 (志賀高原ロマン美術館), 「宇宙を見る目」実行委員会

天文学は宇宙をどのように見てきたか。いま、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。その一方で、観測装置の高度化や観測結果の複雑さは、一般の人々にとって、前にも増して、天文学が遠い世界になりつつある。

私たちが宇宙に持っているいろんな感情をどのように表現することができるのであろうか。最新の天文学と人々の感覚をどのように繋いで行くことができるのであろうか。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する可能性がある。いま、長野県山ノ内町立「志賀高原ロマン美術館」では、2015年の夏企画として「宇宙を見る眼」展を行う予定である。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、(交渉中を含む)最先端技術の凝縮された機能美としての受信機や撮像装置など、実際の望遠鏡や電波望遠鏡に使用されている(使用された)装置とそこから導かれた科学的成果の図表や、波長による眼の違い(多波長によるリアルタイムの太陽像)さらには、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ゆきたい。

同時に、これらの企画の活動自体が、一つのアートであると捕らえている。また、新しい天文教育の創造の場であるとも考えている。そのため、現時点でも多様な企画を受け入れる可能性を残している。ぜひとも、皆さんと一緒に宇宙観を作り上げて行きませんか？

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)