

2017年 春季年会

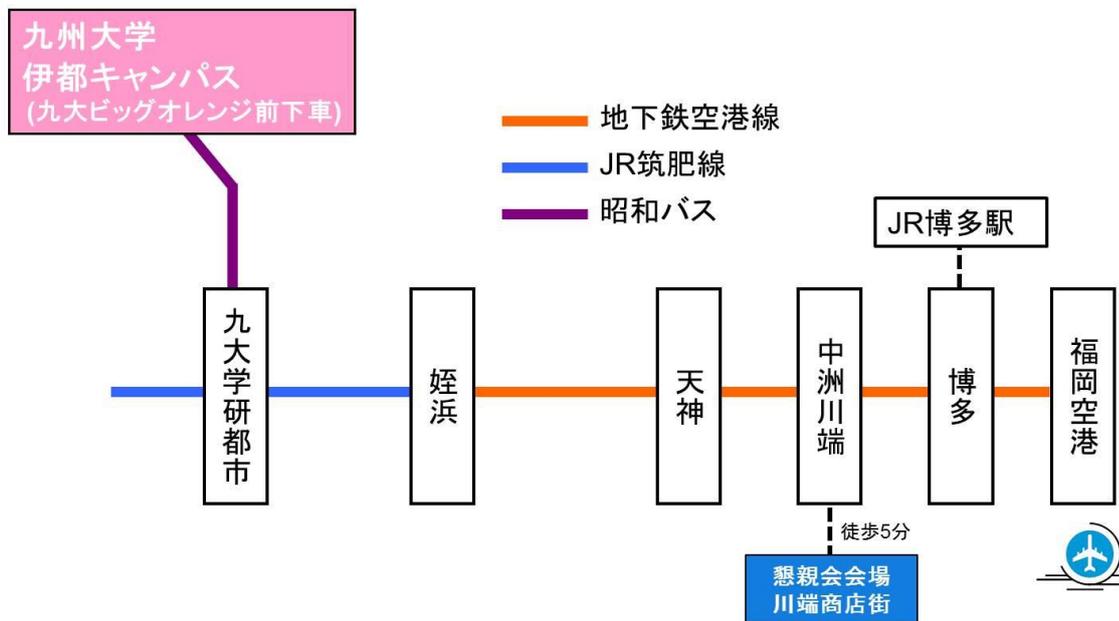
講演予稿集

電子版

於 九州大学

2017年3月15日(水) ~ 3月18日(土)

春季年会会場 九州大学伊都キャンパスのご案内



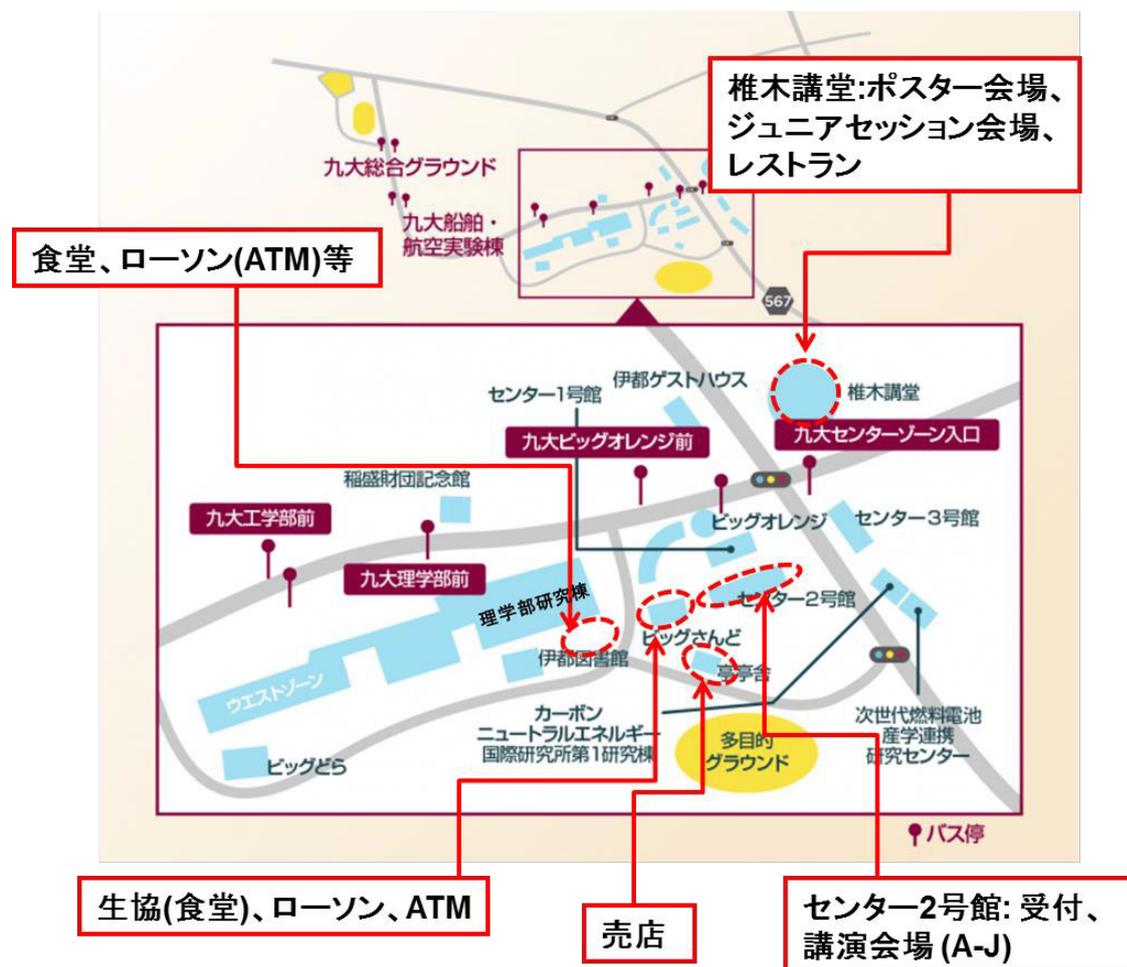
アクセス

- ・福岡空港駅から地下鉄空港線・JR 筑肥線で九大学研都市下車 約 45 分
- ・JR 博多駅から地下鉄空港線・JR 筑肥線で九大学研都市下車 約 30 分
- ・福岡空港、JR 博多駅どちらの利用者も姪浜・西新行き以外の電車は九大学研都市まで直通、姪浜・西新行きの電車は姪浜で唐津方面(唐津行き、西唐津行き、筑前深江行き、筑前前原行き)に乗り換え
- ・九大学研都市からは昭和バスで九大ビッグオレンジ前下車 約 30 分
(バスは渋滞のため時刻表より時間がかかる場合があります)
- ・西鉄福岡駅、天神バスセンターから西鉄バスで九大伊都キャンパス行きのバスもありますが、当日は大変な混雑が予想されるため、九大学研都市から昭和バスを利用することをお勧めします(バスターミナルを経由する都合上バスの増便が出来ません)。
- ・懇親会会場は、地下鉄空港線中洲川端駅の 5 番出口から徒歩 5 分の「川端商店街」で開催します。

九州大学伊都キャンパスへのアクセスは以下の HP もご参照下さい。

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/campus/ito/>

九州大学伊都キャンパスマップ



キャンパス内は全面禁煙です。喫煙は指定の場所をお願いいたします。

年会受付までは、九大ビッグオレンジ前下車徒歩2分です。

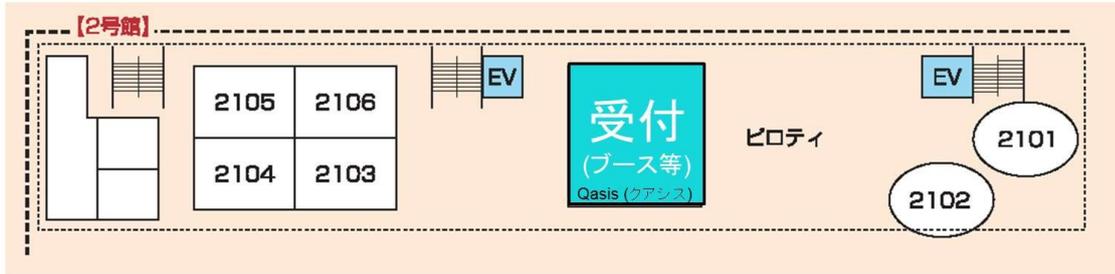
無線 LAN は eduroam のアカウントで接続可能です。eduroam 参加機関であれば取得できますので、あらかじめ取得をお願いします。eduroam 参加機関以外で無線 LAN が必要な参加者は受付でご相談下さい。

会場のセンター2号館隣にあるビッグさんどには、ローソンがあります。また、ATM は理学部研究棟前のローソン内、ビッグさんどと売店校舎店内にあります。伊都キャンパス内の食堂などについては以下もご参照下さい(春休み中ですので営業していない場合があります)

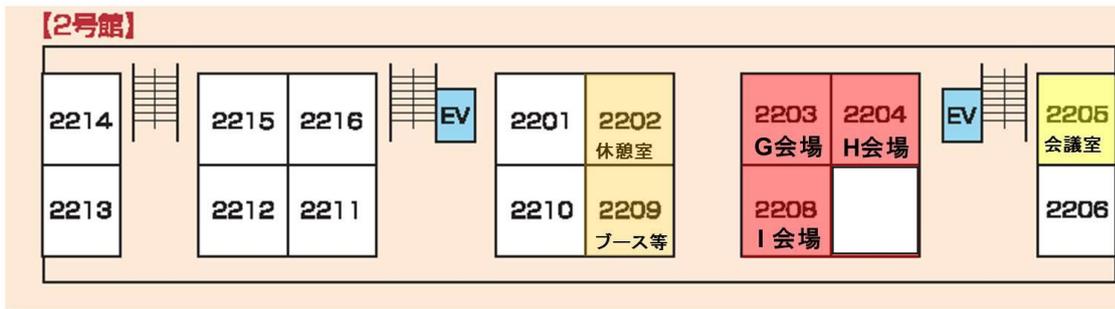
http://suisin.jimu.kyushu-u.ac.jp/ito_info/seikatsu.html

会場案内図

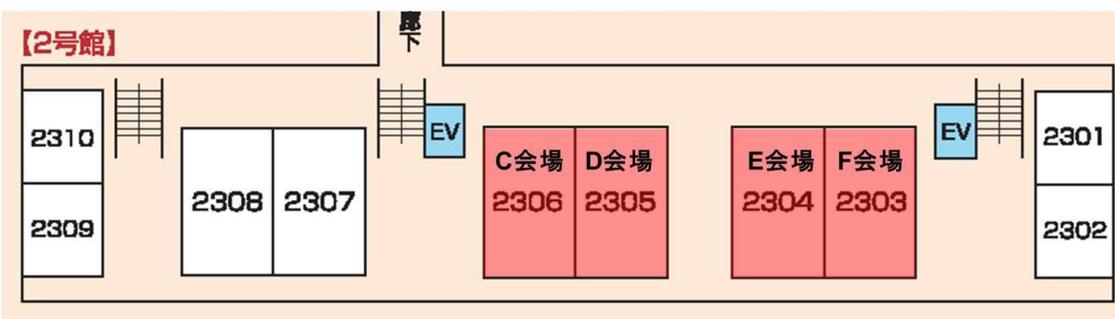
センター2号館1F



センター2号館2F



センター2号館3F

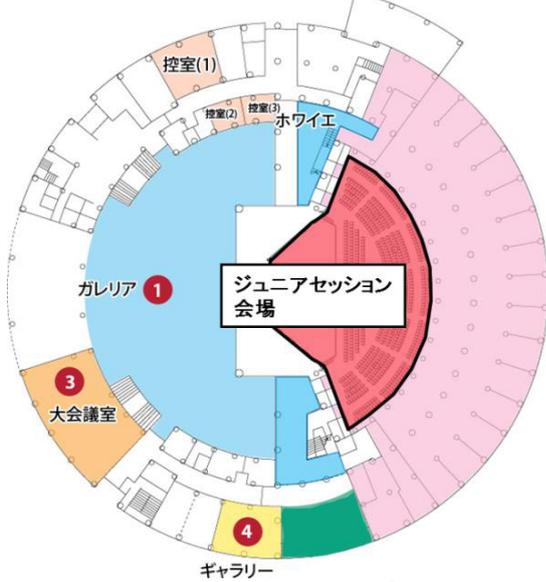


センター2号館4F

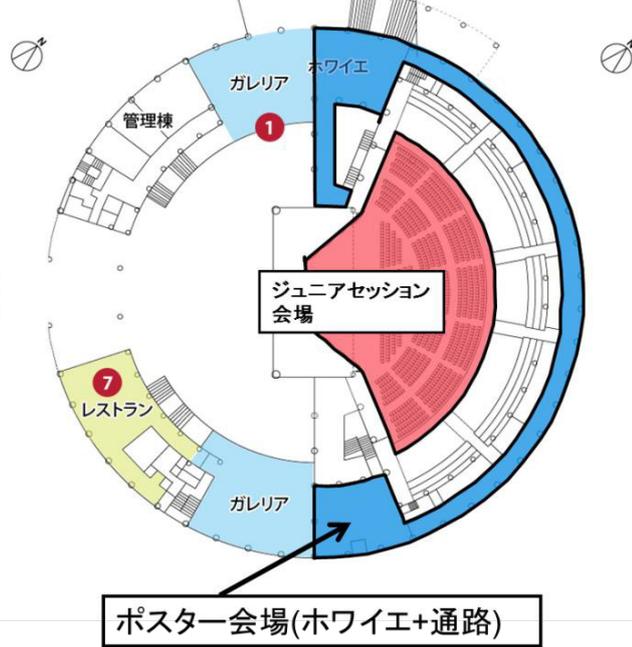


椎木講堂

椎木講堂1階



椎木講堂2階



福岡観光コンベンションビューローアプリ情報：

九大伊都キャンパスへのアクセス、グルメ、観光情報など

ようこそ、福岡へ 快適な旅をサポート “オールインワン”の便利なアプリが誕生！

Meeting Place Fukuoka

- アクセス** 地下鉄の乗り方は？
- グルメ** ラーメン屋さんはどこですか？
- 観光** 神社、寺院 などの観光名所
- ネットワーク** アクセスポイントの情報
- クーポン** 割引クーポン など



今すぐダウンロード



Meeting Place

福岡市 FUKUOKA CITY

FCVB 福岡観光コンベンションビューロー

口頭セッション 3月15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	【銀河核】	【星・惑星】	【銀河】	【星間現象】	【銀河団】	【コンパクト天体】	【超新星爆発】	【宇宙論】	【観測機器】
13:00	S01a	P201a	R01a	Q01a	T01a	W201a	K01a	U01a	V301a
13:12	S02a	P202a	R02a	Q02a	T02a	W202a	K02b K03b K04b	U02a	V302a
13:24	S03a	P203a	R03a	Q03a	T03a	W203a	K05a	U03a	V303a
13:36	S04a	P204a	R04a	Q04a	T04a	W204a	K06a	U04a	V304a
13:48	S05a	P205a	R05a	Q05a	T05a	W205a	K07a	U06a	V305a
14:00	S06a	P206a	R06a	Q06a	T06b T07b T08b	W206a	K08a	U07a	V306a
14:12	S07a	P207a	R07a	Q07a	T09a	W207a	K09a	U08a	V307a
14:24	S08a	P208a	R08b R09b R10b	Q08a	T10a	W208a	K10a	U09a	V308b V309b V310b
14:36	S09a	P209b P210b P212b	R11a	Q10a	-	W209a	K11a	U10a	V311a
14:48	S10a	P213b P214b P215b	-	Q11a	-	W211b W212b	K12a	U11a	V312a
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	V313b
15:15	特別セッション (A 会場)								
16:30	天文教育フォーラム (A 会場)								
18:00	理事会								

口頭セッション 3月16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	【銀河核】	【星・惑星】	【銀河】	【星間現象】	【銀河団】	【コンパクト天体 / 教育・他】	【超新星爆発】	【宇宙論】	【観測機器】
09:30	S11a	P216a	R12a	Q13a	T11a	W213a	K14a	U12a	V314a
09:42	S12a	P217a	R13a	Q14a	T12a	W214a	K15a	U13a	V315a
09:54	S13a	P218a	R14a	Q15a	T13a	W215a	K16a	U14a	V316a
10:06	S14a	P219a	R15a	Q16a	T14a	W216a	K17a	U15a	V317a
10:18	S15a	P220a	R17a	Q17a	T15a	Y01a	K18a	U16a	V318a
10:30	S16a	P221b P222b P223b	R19b R20b R21b	Q18a	T16a	Y02b Y03b Y04b	K19a	U17a	V319b V320b V321b
10:42	S17b S18b S19b	P224a	R22a	Q19a	T17a	Y05b Y06b Y07b	K20b	U19a	V322a
10:54	S20b S21b S22b	P225a	R23a	Q20a	T19a	Y08b Y09b Y10b	-	U20b	V323a
11:06	S23b S24b S25b	P226a	-	Q21a	T20a	Y12b Y14b Y17b	-	-	V324a
11:18	S26b S27b S28b	P227b P228b	-	Q22b Q23b Q24b	T21b T22b	Y18b	-	-	V325a
11:30	昼休み(代議員総会)(A会場)								
12:30	ポスター								
開始時刻	【銀河核】	【星・惑星】	【太陽】	【星間現象】	【観測機器】	【教育・他】	【星・惑星】	【コンパクト天体】	【観測機器】
13:30	S32a	P231a	M01a	Q25a	V201a	Y19a	P101a	W101a	V327a
13:42	S33a	P232a	M02a	Q26a	V202a	Y20a	P102a	W102a	V328a
13:54	S34a	P233a	M03a	Q27a	V203a	Y21a	P103a	W103a	V329b V330b V331b
14:06	S35a	P234a	M04a	Q28b Q29b Q30b	V204b V205b V206b	Y22a	P104a	W104a	V332a
14:18	S36a	P235a	M05a	Q31a	V207a	Y23a	P105a	W105a	V333a
14:30	S37a	P236a	M06a	Q32a	V208a	Y24a	P106b P107b P108b	W106a	V335a
14:42	S38a	P237a	M07a	Q33a	V209b V210b V211b	Y25a	P109b P110b P111b	W107a	V336a
14:54	S39a	P238a	M08a	Q34b Q35b Q36b	V212a	Y26a	P112b P113b P114b	W108a	V337a
15:06	S40a	P239a	M09a	Q38a	V213b V215b V216b	Y27a	P115a	W109a	V338a
15:18	S41a	P240a	M10a	Q39a	V217a	Y28a	P116b P117b	W110a	V339b
15:30	S42a	-	-	Q40a	-	-	-	-	-

口頭セッション 3月17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	【超新星残骸】	【星・惑星 / 恒星】	【太陽】	【星間現象】	【観測機器】	【銀河形成】	【星・惑星】	【コンパクト天体】	【観測機器】	
09:30	Z101r	P241a	M11a	Q41a	V218a	X01a	P118a	W111b W112b W113b	V340a	
09:42		P242a	M12a	Q42a	V219b V220b V221b	X02b X03b X04b	P119b P120b P121b	W114b W115b	V341a	
09:54		P243a	M13a	Q43a	V222a	X05a	P122a	W116a	V342a	
10:06		P244a	M14a	Q44a	V224a	X06a	P123a	W117a	V343a	
10:18		P245a	M15a	Q45a	V225a	X07a	P124a	W118a	V344a	
10:30		N01a	M16a	Q46a	V226a	X08b X09b X10b	P125a	W119a	V101a	
10:42		Z106a	N02a	M17a	Q47a	V227b V228b V230b	X12a	P126a	W120a	V102a
10:54		N03a	M18b M19b M20b	Q48a	V231a	X13a	P127a	W121a	V103a	
11:06		N04a	M23b M24b M25b	Q49a	V232a	X14a	P128a	W122a	V104b V105b V106b	
11:18		N05b N06b N07b	M26b M27b M28b	Q50a	V233a	X15a	P129b P130b P131b	W123a	V107b V108b V109b	
11:30	-	-	M29b	Q51b	-	X16b	-	-	-	
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
開始時刻	【超新星残骸】	【恒星】	【太陽】	【星間現象】	【観測機器】	【銀河形成】	【星・惑星】	【コンパクト天体】	【観測機器】	
13:30	Z107r	N09a	M30a	Q52a	V234a	X17a	P132a	W124a	V111a	
13:42		N10a	M31a	Q53a	V235a	X18a	P133a	W125a	V112a	
13:54		N11a	M32a	Q54a	V236a	X19a	P134a	W126a	V113b V114b V115b	
14:06		N12a	M33a	Q55a	V237a	X20a	P135a	W127a	V116a	
14:18		N13a	M34a	Q56a	V238a	X21a	P136a	W128a	V117a	
14:30		N14a	M35a	Q57a	V239a	X22a	P137a	W129a	V118a	
14:42		Z112a	N15a	M36a	Q58a	V240a	X23b X24b X25b	P138a	W130a	V119a
14:54		N16a	M37a	Q59a	V241a	X26a	P139a	W131a	V120a	
15:06		N17a	M38a	Q60a	V242a	X27b X28b X29b	P140a	W132a	V121a	
15:18		N18a	M39a	Q61a	V243b V244b V245b	X30a	-	W133a	V122a	
15:30	-	-	-	Q62b	-	X31a	-	-	V123b V124b	
15:45	会員全体集会 (A 会場)									
16:45	受賞記念講演 (A 会場)									

口頭セッション 3月18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	【超新星残骸】	【恒星】	【太陽】	【太陽系】	【観測機器】	【銀河形成】	【星・惑星】	【コンパクト天体】	【観測機器】	
09:30	Z113r	N19a	M40a	L01a	V246a	X33a	P141a	W134a	V130a	
09:42		N20a	M41a	L02a	V247a	X34a	P142a	W135a	V131a	
09:54		N21a	M42a	L03a	V248a	X35a	P143a	W136a	V132a	
10:06		N23a	M43a	L04a	V249a	X36a	P144a	W137a	V133a	
10:18		N24a	M44a	L05a	V250a	X37a	P145a	W138a	V134a	
10:30			N25a	M45a	L06a	-	X38a	P146a	W139a	V135a
10:42		Z118b	N26a	M46a	L07a	-	X39a	P147a	W140a	V136a
10:54			-	M47a	-	-	X40a	P148a	W141a	V137a
11:06			-	M48a	-	-	X41a	P149a	W142a	V138a
11:18			-	M49a	-	-	X42a	-	W143a	V139a
11:30		-	M50a	-	-	-	-	-	V140a	
11:42	-	-	M51a	-	-	-	-	-	V141a	
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
13:30	特別セッション (A 会場)									

<p>【Z1. 超新星残骸】(1)</p> <p>Z118b</p> <p>【K. 超新星爆発】(5)</p> <p>K02b K03b K04b K13c K20b</p> <p>【M. 太陽】(12)</p> <p>M18b M19b M20b M21c M22c</p> <p>M23b M24b M25b M26b M27b</p> <p>M28b M29b</p> <p>【N. 恒星】(5)</p> <p>N05b N06b N07b N08c N22c</p> <p>【P1. 星・惑星】(17)</p> <p>P106b P107b P108b P109b P110b</p> <p>P111b P112b P113b P114b P116b</p> <p>P117b P119b P120b P121b P129b</p> <p>P130b P131b</p> <p>【P2. 星・惑星】(14)</p> <p>P209b P210b P211c P212b P213b</p> <p>P214b P215b P221b P222b P223b</p> <p>P227b P228b P229c P230c</p> <p>【Q. 星間現象】(14)</p> <p>Q09c Q12c Q22b Q23b Q24b</p> <p>Q28b Q29b Q30b Q34b Q35b</p> <p>Q36b Q37c Q51b Q62b</p>	<p>【R. 銀河】(9)</p> <p>R08b R09b R10b R16c R18c</p> <p>R19b R20b R21b R24c</p> <p>【S. 活動銀河核】(15)</p> <p>S17b S18b S19b S20b S21b</p> <p>S22b S23b S24b S25b S26b</p> <p>S27b S28b S29c S30c S31c</p> <p>【T. 銀河団】(6)</p> <p>T06b T07b T08b T18c T21b</p> <p>T22b</p> <p>【U. 宇宙論】(4)</p> <p>U05c U18c U20b U21c</p> <p>【V1. 観測機器】(17)</p> <p>V104b V105b V106b V107b V108b</p> <p>V109b V110c V113b V114b V115b</p> <p>V123b V124b V125c V126c V127c</p> <p>V128c V129c</p> <p>【V2. 観測機器】(21)</p> <p>V204b V205b V206b V209b V210b</p> <p>V211b V213b V214c V215b V216b</p> <p>V219b V220b V221b V223c V227b</p> <p>V228b V229c V230b V243b V244b</p> <p>V245b</p>
--	---

【V3. 観測機器】(13)

V308b V309b V310b V313b V319b

V320b V321b V326c V329b V330b

V331b V334c V339b

【W1. コンパクト天体】(5)

W111b W112b W113b W114b W115b

【W2. コンパクト天体】(3)

W210c W211b W212b

【X. 銀河形成】(16)

X02b X03b X04b X08b X09b

X10b X11c X16b X23b X24b

X25b X27b X28b X29b X32c

X43c

【Y. 教育・他】(17)

Y02b Y03b Y04b Y05b Y06b

Y07b Y08b Y09b Y10b Y11c

Y12b Y13c Y14b Y15c Y16c

Y17b Y18b

【PDL】

【展示コーナー】

Exelis VIS(株)

宇宙航空研究開発機構

天文データセンター

天文情報センター

【Z1. 超新星残骸の多波長観測と理論研究の展開】

3月17日(金) 午前(9:30-11:30) [A会場]

Z101r	09:30	超新星残骸プラズマの X 線分光観測 澤田真理 (青山学院大学)
Z102r	10:06	超新星残骸観測から探る超新星爆発 富永望 (甲南大学)
Z103a	10:42	「ひとみ」衛星 SXS 精密 X 線分光器による Crab の熱的プラズマ放射の探査 辻本匡弘 (宇宙航空研究開発機構)
Z104a	10:54	超新星残骸 SN1006 における衝撃波直下での電子加熱と電離速度 加藤佑一 (東京大学)
Z105a	11:06	電波シンクロトロン偏光による超新星残骸磁場スペクトルの測定について 霜田治朗 (青山学院大学)
Z106a	11:18	南極氷床コアに刻まれた超新星カシオペア A の爆発年代 望月優子 (理化学研究所)

3月17日(金) 午後(13:30-15:30) [A会場]

Z107r	13:30	超新星残骸からの非熱的 X 線・ガンマ線放射の観測：現状と今後の展望 田中孝明 (京都大学)
Z108r	14:06	超新星残骸における宇宙線研究の到達点と展望：電波天文学の立場から 佐野栄俊 (名古屋大学)
Z109a	14:42	超新星残骸 IC 443 に付随する星間ガスと陽子起源ガンマ線の検証 吉池智史 (名古屋大学)
Z110a	14:54	超新星残骸からの陽子起源ガンマ線放射スペクトルの変調機構 井上剛志 (名古屋大学)
Z111a	15:06	高マッハ数衝撃波における電子のサーフィン・ドリフト加速 松本洋介 (千葉大学)
Z112a	15:18	超高エネルギーガンマ線による超新星残骸の観測の現状と展望 中森健之 (山形大学)

3月18日(土) 午前(9:30-11:00) [A会場]

Z113r	09:30	Now and the Future of Broadband Modeling of SNRs Shiu-Hang Lee (Kyoto University)
Z114a	10:06	NuSTAR 衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7-3946 の観測結果 辻直美 (立教大学)
Z115a	10:18	超新星残骸 Kes 79 に付随する星間ガス 栗木美香 (筑波大学)
Z116a	10:30	超新星残骸における MeV 陽子起源の中性鉄輝線放射 信川久実子 (奈良女子大学)
Z117a	10:42	カシオペア A の逆行衝撃波の固有運動とスペクトル変動の調査 佐藤寿紀 (首都大学東京/宇宙航空研究開発機構)
Z118b	10:54	Ia 型超新星残骸 Tycho に付随する “Fe knot” の組成と起源 山口弘悦 (NASA/GSFC)

Z101r 超新星残骸プラズマのX線分光観測

澤田真理 (青山学院大学)

超新星による衝撃波は星間ガスや親星由来のイジェクタを加熱し、数千万度の高温プラズマをつくる。高階電離した重元素イオンが放射する輝線群の大部分は 0.1–10 keV の軟X線帯域に含まれるため、X線分光は超新星残骸の観測的理解の上でユニークかつ不可欠な役割を果たしてきた。「すざく」XISをはじめとするX線 CCD カメラによる撮像分光観測ではいまなお新たな観測成果の報告がつついている。一方でこれまでの 30 倍近い精度での分光を可能にするX線マイクロカロリメータ SXS が「ひとみ」に搭載され、はじめて天体X線観測に成功した。本講演では、分光装置の発展も交えて、X線分光による超新星残骸プラズマの最近の観測成果を紹介する。

X線 CCD カメラによる観測では、元素組成比、電子温度、電離度がおもな測定量であった。明るい残骸でのイジェクタ分布の推定から、Ia 型残骸における重元素の階層化が確立する一方、非等方爆発を示唆する非対称分布の例も報告されている。爆発型推定では、希少元素も含めた組成パターン精密測定のほか、爆発環境における高密度の星周物質の有無の鉄輝線診断法も考案された。従来光子統計に乏しかった銀河中心・銀河面付近では、残骸そのものの新発見のほか、通常の進化とは逆に電離が進みすぎた過電離プラズマが相次いで発見された。その物理的成因には周辺環境が関連していると考えられ、起源解明には多波長的なアプローチが必要である。

X線マイクロカロリメータによる観測では、微細構造線の分離によるプラズマ状態の精密測定、低電離イオンの衛星線の分離による電離度の正確な決定に加え、ドップラー偏移の測定からプラズマのバルク運動、乱流運動、およびイオン温度という新たな観測量が測定可能になる。実際「ひとみ」搭載 SXS はその初期観測で超新星残骸プラズマのバルク運動の測定に成功した。今後の精密分光ミッションに対する期待もあわせて述べたい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z102r 超新星残骸観測から探る超新星爆発

富永望 (甲南大学)

超新星爆発は星が一生の最期に起こす大爆発である。その爆発には大きく分けて Ia 型超新星と重力崩壊型超新星がある。この二種類の超新星は、現在の宇宙に存在する重元素の起源としてそれぞれ重要な役割を持っており、白色矮星を親星とする Ia 型超新星は鉄族元素、太陽の 8 倍以上の質量を持つ大質量星を親星とする重力崩壊型超新星は酸素などの比較的軽い元素の起源である。これらの重元素は超新星の構造を探るためにも有用である。

近年、超新星爆発研究において多次元性が注目を集めている。例えば、Ia 型超新星における爆燃波の進展はレイリーテイラー不安定性を伴い複雑な 3 次元構造を持つことが示され、重力崩壊型超新星についても、1 次元球対称計算では爆発が実現しなかったものの多次元効果によって十分な爆発エネルギーを獲得できる可能性が示されている。あわせて観測的には、Ia 型超新星の色の多様性、重力崩壊型超新星爆発の偏光角度の波長依存性や後期スペクトルの形などの特徴が超新星放出物質の非球対称な構造に起因することが示唆されている。

しかし、系外超新星の観測には決定的に足りないものがある。それは、一部の天体を除き点源として観測され、分光、偏光観測によって非球対称性を導出しなければならない点である。これらと相補的な天体が一般に広がった構造で観測される超新星残骸である。超新星残骸では、爆発によって放出された元素の 2 次元あるいは 3 次元分布を観測し、その多次元性を詳細に検証することが可能である。また、爆発後時間が経過していないことから、ガンマ線観測によって放射性元素の崩壊を直接捉え、爆発的元素合成の現場を明らかにすることもできる。

本講演では、超新星爆発の爆発メカニズムおよび元素合成についてレビューした後、超新星残骸の観測から超新星爆発にどのような制限が可能か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](#)

Z103a 「ひとみ」衛星 SXS 精密 X 線分光器による Crab の熱的プラズマ放射の探査

辻本匡弘 (ISAS), 森浩二 (宮崎大), 山口弘悦 (GSFC), Herman Lee (京大), 「ひとみ」コラボレーション

X 線分光による超新星残骸のプラズマ診断は、その残骸を残した超新星爆発の起源を知る有力な方法である。しかし、超新星残骸の中には、集中的な探査にも関わらず、プラズマ放射の兆候が全く受かっていないものも存在する。その代表が Crab 星雲である。同星雲は SN 1054 に同定され、近年の研究では、この天体が電子捕獲型の超新星爆発によって生じたと推測されている (Tominaga et al. 2013)。電子捕獲型は、通常のコア崩壊爆発に比べて爆発エネルギーが 1 桁小さい。Crab 星雲は、電子捕獲型の可能性が高い唯一の歴史的超新星残骸として、その重要性が高まっている。Chandra X 線望遠鏡を用いた Crab 外縁部の撮像により、プラズマ放射量の上限が得られている (Seward et al. 2006)。この値は、Cas A などのコア崩壊型残骸での検出レベルより 2 桁も低い。

我々は、Chandra の撮像法と相補を成す分光法での結果を報告する。「ひとみ」衛星搭載 SXS 分光器を用いた。同器は、X 線マイクロカロリメータにより軌道上で初めて約 2 keV 以上の天体精密分光に成功した分光器である。ミッション終了直前に、Crab 星雲を 10 ks 観測した。パルサー星雲からの強烈なシンクロトロン放射に埋もれた熱的プラズマ放射のフィーチャーを探査し、輝線・吸収線共に、最も厳しい制限をつけた。

更に、これまでの撮像・分光法の結果を全て合わせ、様々なプラズマ温度とプラズマセルの大きさに対してプラズマ放射量の上限を求めた。ここから自己相似解により爆発エネルギーの上限を求め、そのエネルギーが 10^{50} erg 程度の電子捕獲型起源と矛盾しないという結果を得た。また、super AGB 星を前駆星とした爆発時の星周密度分布を仮定して HD 計算を実施し、仮定の妥当性を検証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z104a 超新星残骸 SN1006 における衝撃波直下での電子加熱と電離速度

加藤佑一 (東京大学), 勝田哲 (中央大学), 馬場彩, 中澤知洋 (東京大学)

超新星残骸の無衝突衝撃波では、種々の複雑なエネルギー散逸過程が起きているため、観測・理論ともに今日までその研究が続いている。衝撃波によって並進運動エネルギーの一部が熱エネルギーへと変換されるとき、粒子加速などを考えない理想的な強い衝撃波だと仮定すると、プラズマの個々の粒子は Rankine-Hugoniot 関係式に従って $kT_i = \frac{3}{16} m_i V^2$ (m_i, V : 粒子 i の質量と衝撃波速度) に加熱される。しかし、衝撃波後方で陽子やイオンから電子への熱緩和が、どのような物理過程を通して生じるのかという基礎的なことすら明らかになっていない。

その課題に挑むべく、我々は超新星残骸 SN1006 に注目した。本天体は地球から 2.2 kpc に位置し、球形でスムーズな形状なので衝撃波研究に最適である。本研究では、ほぼ熱的成分のみが存在する北西側に着目し、そこでの衝撃波の端から順にサイズ $15'' \times 140''$ の領域を計 3 つ作成して、X 線衛星 Chandra の観測からスペクトルを抽出した。それらを非平衡プラズマのモデルで再現して電子温度の変化を追うと、衝撃波直下から内側に向かって 0.55 ± 0.06 keV から 0.99 ± 0.24 keV まで温度が上昇する様子が見えた。ここでは衝撃波速度が 3000 km s^{-1} と報告されており (Katsuda et al. 2013)、これと天体までの距離から空間スケールを電子加熱の時間スケールに焼き直すことができる。その値と、種々の粒子が単純に衝撃波によって上式で加熱されたと仮定し、その後クーロン散乱を通して熱緩和が起こるとしたモデルを比較したところよく一致していた。よって SN1006 の北西側では、主に 17 keV の陽子から 0.01 keV の電子へクーロン散乱により熱伝達されていることが分かった。一方で、衝撃波直下での電離状態が、衝撃波加熱後の時間と密度に基づく予想より ≥ 2 倍速かった。これは例えば非熱的な電子による電離の寄与の可能性があるが、現状のデータではその証拠は得られておらず、将来の課題である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z105a 電波シンクロトロン偏光による超新星残骸磁場スペクトルの測定について

霜田治朗, Alex Lazarian, 井上剛志, 大平豊, 山崎了

超新星残骸 (SNR) は銀河宇宙線の加速現場と考えられており、その被加速粒子の振る舞いは磁気乱流の性質に強く依存すると考えられているが、磁場の直接測定が難しいことから現在もっとも不定性の大きいパラメーターとなっている。

一方で、SNR からの電波偏光放射は、その高い偏光度から宇宙線電子によるシンクロトロン放射と考えられており、その観測量から磁気乱流の性質を測定できる可能性がある。実際、星間媒質中での磁気乱流のスペクトラ指数が測定できることを近年 Alex Lazarian 氏の研究グループが理論研究により立て続けに示している。

しかしながら、SNR 内部ではレイリー・テイラー不安定性が駆動する磁気乱流や、上流の非一様媒質により衝撃波が波打ち駆動される磁気乱流など、独立のメカニズムで駆動される磁気乱流が複数存在することが期待され、星間媒質に対する先行研究が適用可能かどうか自明ではない。

本講演では Alex Lazarian 氏と共同で研究した SNR における磁気乱流のスペクトラ指数の測定可能性についての理論研究について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z106a 南極氷床コアに刻まれた超新星カシオペア A の爆発年代

望月優子, 中井陽一, 高橋和也 (理研), ほかドームふじ氷床コア解析チーム

天の川銀河内の超新星爆発で生成された放射性の ^{56}Ni の崩壊チェインから発する核線は、銀河内および地球の磁場の影響を受けずに地球に達すると、主に成層圏大気 (高度約 10-50km) と相互作用し、その化学成分に影響を与える。線到来に端を発した化学反応のリザーバーは、硝酸などの窒素化合物である。この化学成分の変動を地上のアーカイブでキャッチできれば、そのアーカイブは「線の測光望遠鏡」として機能する。

南極大陸の内陸に位置する日本の「ドームふじ基地」とその近傍で掘削される「氷床コア」は、この「線から紫外線にかけての測光望遠鏡」として機能し得る。氷床コアとは南極や北極の氷床から鉛直に掘削される円柱状の氷柱で、過去の地球大気の情報を取り込んでおり、主に気候変動の研究に用いられている。氷床コアの深度は年代に対応しており、より深いほどより過去にさかのぼる。

ドームふじ基地近傍では年間を通じての降雪量が少ないため、ドームふじ氷床コアはこれまで木の年輪と同様な「年層」の解析が難しく、年代決定における比較的大きめの不定性が天文情報の解析上の弱点であった。最近、詳しい年代決定が2本の浅層氷床コアについて行われ、この弱点も解消された。

本講演では、特に精度の良い年代決定がなされている西暦 1550 年から 1900 年にかけての期間に相当するドームふじ氷床コア中の硝酸イオン濃度変動に着目した過去の銀河系内超新星爆発の痕跡候補と、主に爆発年代が未だ確定していない超新星「カシオペア A」の爆発年代について報告する。我々のデータ解析によると、カシオペア A の爆発は西暦 1680 年と示唆され、ジョン・フラムステードの記録と一致した。講演では、ケプラー、ティコ、G1.9+0.3 のそれぞれの超新星爆発の痕跡候補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](#)

Z107r 超新星残骸からの非熱的X線・ガンマ線放射の観測：現状と今後の展望

田中孝明 (京都大学)

地球に降り注ぐ宇宙線のうち PeV 程度までのエネルギーを持つものは我々の銀河に存在する超新星残骸において衝撃波統計加速機構によって加速されていると考えられてきた。その仮説を検証し、さらには、宇宙線加速の物理を明らかにするためのプローブとして、X線・ガンマ線帯域の非熱的放射の観測は欠かすことができない。

「あすか」衛星は、SN 1006 からシンクロトロン X線放射を検出したことにより、超新星残骸において TeV を超えるエネルギーにまで電子が加速されていることを示した。その後、「すざく」衛星による広帯域観測や Chandra 衛星による高角度分解能観測などが、さらなる進展をもたらした。一方、ガンマ線帯域では、大気チェレンコフ望遠鏡が RX J1713.7-3946 など複数の超新星残骸から TeV ガンマ線の検出に成功し、高精度のスペクトルだけでなく X線に比肩する質の画像をも提供した。これによって X線や電波観測との比較が可能となり多波長のデータを用いた観測的・理論的研究が大いに発展した。さらに、GeV 帯域においても、Fermi 衛星や AGILE 衛星が、過去の検出器と比較して観測感度を格段に向上させ、特に IC 443 や W44 など分子雲と相互作用している超新星残骸から明るい放射を検出した。また、いくつかの超新星残骸のガンマ線放射については放射機構を π^0 崩壊であると同定するに至り、衝撃波において陽子が加速されている証拠を提示した。

本講演では、これまでの X線・ガンマ線による超新星残骸からの非熱的放射の観測の現状をまとめる。さらに、見えてきた課題と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](#)

Z108r 超新星残骸における宇宙線研究の到達点と展望：電波天文学の立場から

佐野栄俊 (名古屋大学)

超新星残骸は、 $10^{15.5}$ 電子ボルト (*knee* エネルギー) までの宇宙線加速の場として注目されている。加速理論としては、衝撃波面における Diffusive Shock Acceleration (DSA) モデルが広く受け入れられてきた。さらに、ここ 10 年のガンマ線・X 線観測技術の躍進によって、宇宙線加速の現場が捉えられつつある。それにも関わらず、陽子成分の加速や、*knee* エネルギーに迫る効率の良い粒子加速機構については、なおも議論が続いている。

SNR 周辺の星間物質の精査が、この問題の解決の鍵を握る。陽子成分が加速されていれば、SNR に付随する星間ガスとガンマ線放射の空間分布は概ね一致する。福井らは、年齢 $\sim 1,600$ 年の若い SNR RX J1713.7–3946 に付随する分子・原子ガスを特定し、ガンマ線との良い空間一致を示した (福井ほか 2012)。その後、類似する 3 つの SNR や、年齢 $\sim 10,000$ 年の SNR についても、同様の傾向が見出された (e.g., 福井 2013; 吉池ほか 2013)。これらはハドロン起源ガンマ線の必要条件であり、SNR における陽子加速を裏付ける観測的証拠となる。

さらに、非一様ガス分布への衝撃波の進入は、宇宙線加速を理解する上で欠かせない。佐野らは、RX J1713.7–3946 および RCW 86 に付随するガス塊周辺でのシンクロトロン X 線増光を捉えた (佐野ほか 2010; 2013; 2016)。これは、衝撃波相互作用による乱流磁場増幅の結果と解釈できる (井上ほか 2012)。さらに同領域では、電子の最大エネルギーが上昇しており、DSA の枠組みを超えた加速機構の存在に期待が高まっている (佐野ほか 2015)。

本講演では、電波観測による星間ガスの精査を軸とした、超新星残骸の宇宙線研究について現状をまとめる。加えて、現在進行中の研究プロジェクトや、今後の展望について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z109a 超新星残骸 IC 443 に付随する星間ガスと陽子起源ガンマ線の検証

吉池智史, 福田達哉, 佐野栄俊, 岡本竜治, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名大理)

超新星残骸 (SNR) は銀河系内の宇宙線陽子起源として最有力であり、ガンマ線 SNR はその重要な検証の場である。Middle-age ($\sim 10^4$ yr) の SNR は TeV 帯域で暗く、 $E_{\text{knee}} \sim 10^{15.5}$ eV までの宇宙線加速は行われていない一方で、GeV 帯域で明るく、*AGILE*、*Fermi* 衛星が二つの middle-aged SNR W44、IC 443 において、陽子起源ガンマ線で期待されるスペクトルの折れ曲がりを検出した (Giuliani et al. 2011; Ackermann et al. 2013)。しかし、この結果は標的陽子の特定が成されていない点で不十分と言える。星間陽子とガンマ線の詳細比較による標的陽子の特定は、若い ($\sim 10^3$ yr) SNR で 4 例 (e.g., Fukui et al. 2012; Fukuda et al. 2013) ある一方、middle-aged SNR では W44 の 1 例 (Yoshiike et al. 2013) のみしかない。以上から、IC 443 の標的陽子の特定は同様の検証例の年齢方向の拡張と共に、SNR における陽子加速の確証をより強める上で重要である。

今回、我々は IC 443 について、NANTEN2 望遠鏡による CO 観測、及び HI (CGPS)、ダスト (*Planck/IRAS*)、X 線 (*XMM-Newton*)、ガンマ線 (VERITAS) 観測から、SNR と星間ガスの付随関係と宇宙線陽子加速の検証を行った。まず、soft X 線の減光と $V_{\text{LSR}} \sim -3 \text{ km s}^{-1}$ の CO 分布との対応から、このガスが SNR の手前にあることが分かり、さらにこの -3 km s^{-1} 成分はガンマ線分布と良い対応を示した。一方で、HI は CO に比べ様に広がり、標的陽子としては分子ガスが優勢であった。この傾向は W44 と同じ一方で、若い SNR とは異なる。CO とダスト観測を用いて標的陽子量の定量を行った結果、加速宇宙線陽子のエネルギーは $\sim 10^{48}$ erg と見積もられた。この値は、宇宙線の逃走と SNR に対するガンマ線の filling factor を考えると、系内宇宙線のエネルギー密度の説明に矛盾ない値と言える。本講演では、以上について詳細を報告・議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z110a 超新星残骸からの陽子起源ガンマ線放射スペクトルの変調機構

井上剛志 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) は宇宙線の加速現場であると考えられており、加速された宇宙線 (陽子) を起源とするガンマ線放射は宇宙線の加速機構の理解に直結する重要なメッセンジャーである。しかしながら、伝統的なガンマ線放射スペクトルの理論は一様星間媒質構造を仮定した非現実的なものである。近年、Inoue et al. (2012) や、Gabicci et al. (2014) によって宇宙線陽子が SNR と相互作用する分子雲クランプに拡散浸透した場合のスペクトルが提案されており、その結果は Fermi 衛星によって観測されたスペクトルと無矛盾である。ただし、その理論も分子雲内部の磁気乱流スペクトルを仮定している。本研究ではガンマ線スペクトルの計算に必要な、宇宙線の拡散輸送方程式と Bell MHD 方程式を同時に解くことによって、分子雲内部の磁気乱流までも直接計算することに成功した。その結果、分子雲クランプに拡散浸透する宇宙線が Bell 不安定を励起することによって分子雲内部に特殊な磁気乱流状態を生成し、それによってガンマ線スペクトルが観測されたものと無矛盾なものに変調されることを発見した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z111a 高マッハ数衝撃波における電子のサーフィン・ドリフト加速

松本洋介, 天野孝伸 (東京大学), 加藤恒彦 (国立天文台), 星野真弘 (東京大学)

超新星残骸から放射されるさまざまな波長域での電磁場放射は、非常に強い(高いマッハ数の)衝撃波において電子がほぼ光速まで効率的に加速されていることを示唆してきた。衝撃波における荷電粒子の加速メカニズムとして衝撃波統計加速(DSA)が標準理論として挙げられるが、星間空間の冷たい熱的電子がどのようなプロセスを経てDSAへと至るかについては現在においても未解決問題である。DSAにいたる電子の前段階加速として、衝撃波ドリフト加速(SDA)・サーフィン加速(SSA)がこれまで提唱されている。また、近年の研究により、高マッハ数衝撃波では磁気乱流が卓越することも明らかになっている。そこで、SSAとSDAに加えて磁気乱流構造がどのようにして競合するかについて研究を行った。

スーパーコンピュータ「京」の計算資源を使用することにより、世界で初めて高マッハ数衝撃波の大規模3次元構造を第一原理的に明らかにすることに成功した。その結果、衝撃波前方ではBuneman不安定によるコヒーレントな静電場構造、遷移領域においてはイオンワイベル不安定による磁気乱流構造が共存することが明らかになった。電子はまず静電場と相互作用して、SSAによりエネルギーを獲得する。その後、衝撃波近傍では磁気乱流構造に散乱されながらも電場(逆)方向に運動しながらエネルギーを得るSDAを経ることが明らかになった。後者のSDAは強いピッチ角散乱を伴うため、断熱理論で制約されるSDAの加速限界を超えて、非断熱的に継続的に加速することが明らかになった。本発表では上記加速メカニズムについての詳細を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z112a 超高エネルギーガンマ線による超新星残骸の観測の現状と展望

中森健之(山形大学), 片桐秀明(茨城大学), 佐野栄俊, 福井康雄(名古屋大学), 山崎了, 大平豊(青山学院大学) ほか CTA-Japan consortium

地球で観測されている宇宙線は 10^{20} eV にも到達する非常に広範囲のエネルギーに分布しており、べき型のスペクトルを持つ。そのスペクトルには通称 knee と ankle と呼ばれる、べき指数が変わる特徴的な2つの折れ曲りがあることが知られている。特に $10^{15.5}$ eV 付近の折れ曲り knee は、銀河系内に起源を持つ宇宙線の最高到達エネルギーだと考えられているが、PeV にまで宇宙線陽子を加速していることが確実な天体 PeVatron は今まで発見されていない。宇宙線陽子は星間物質の核子と衝突すると、2次粒子として生成された中性パイオンの崩壊によりガンマ線を放射する。このガンマ線のエネルギーは元の核子の約 1/10 であるため、knee 以下の銀河系内宇宙線をトレースするには超高エネルギーガンマ線が良いプローブとなる。特に、PeVatron の探索には 100 TeV やそれ以上のエネルギーを持つガンマ線の観測が重要である。

大気チェレンコフ望遠鏡は数 10 GeV 以上の超高エネルギーガンマ線に感度を持ち、これまで多数の超新星残骸の観測が行われてきた。現在は南北半球で H.E.S.S.、MAGIC、VERITAS、FACT 望遠鏡が稼働中であり、次世代の大型天文台である Cherenkov Telescope Array が建造中(北半球)および開発中(南半球)である。また HAWC のような空気シャワーアレイによる走査型観測も進められている。本講演では、超高エネルギーガンマ線観測を通じて得られた超新星残骸の放射機構や宇宙線加速に関する知見を、多波長観測の重要性とともに概観する。合わせて、将来の観測に対する展望についても、我々が行ったシミュレーション結果を中心に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z113r Now and the Future of Broadband Modeling of SNRs

Shiu-Hang Lee (Kyoto University)

Confronted by the increasing quantity, quality and variety of observational data across the entire electromagnetic spectrum, SNR models nowadays must satisfy a set of constraints more stringent than ever. A self-consistent treatment of the vast and complex network of thermal and non-thermal physics involved in SNRs can no longer be considered a luxury but rather a necessity. In this occasion, I will overview the current status of broadband modeling for SNRs of young to dynamically evolved ages and its impacts so far on our understanding of particle acceleration at astrophysical shocks. I will also illustrate how ongoing efforts on connecting state-of-the-art supernova explosion simulations and SNR models will pave the future path towards understanding the physics and astrophysics of exploded stars 'from engine to remnant'.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z114a *NuSTAR* 衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7–3946 の観測結果

辻直美, 内山泰伸 (立教大学), 勝田哲 (中央大学), David Berge (University of Amsterdam), Felix Aharonian (Max-Planck-Institut für Kernphysik / Dublin Institute for Advanced Studies)

Knee(数 PeV) 以下のエネルギーを持つ宇宙線は、銀河系内の超新星残骸 (SNR) で生成されると考えられている。SNR RX J1713.7–3946 はシンクロトロン X 線と TeV ガンマ線放射が非常に強く、粒子加速機構として広く研究が進められてきた。私たちのグループは、2015 年 9 月と 2016 年 3 月にそれぞれ 50 ks、57 ks の露光時間で、*NuSTAR* 衛星を用いて北西領域の観測を行った。*NuSTAR* 衛星は、3–79 keV という硬 X 線観測に特化した衛星であり、特に 10 keV 以上の硬 X 線では、初めての撮像観測を実現している。*Chandra* 衛星による軟 X 線と *NuSTAR* 衛星による 20 keV までのスペクトルを合わせて解析することで、細かい構造のスペクトルの空間分布を調査した。北西領域における proper motion の測定から、外側のエッジで速度が速く、内側のフィラメント等は比較的遅いという結果が得られている一方で、X 線放射スペクトルにおけるカットオフエネルギーは空間的にほぼ一定であることが分かった。これは、単純な衝撃波統計加速による電子のシンクロトロン放射では説明できない。フィラメント構造は加速場所ではなく、局所的に磁場が強いために X 線放射が強くなっていることを示唆している。さらに本講演では、初めて撮像された硬 X 線イメージ (10–20 keV) において検出された、非常にハードな成分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](#)

Z115a 超新星残骸 Kes 79 に付随する星間ガス

栗木美香, 久野成夫, 永井誠 (筑波大学), 佐野栄俊, 稲葉哲大, 山根悠望子, 吉池智史, 福井康雄 (名古屋大), 瀬田益道 (関西学院大)

超新星残骸 (SNR) は、宇宙線加速起源の最有力候補とされ、その検証には星間ガスの精査やガンマ線、X 線との比較が必要不可欠である。ガンマ線と星間ガスの空間分布の一致から、宇宙線陽子起源のガンマ線の存在が確認された (e.g., Fukui et al.2012)。また、SNR の衝撃波と星間ガスの相互作用により、シンクロトロン X 線の増光や宇宙線電子の最大エネルギーの増大が確認されている (Sano et al. 2013, 2015)。ただし、検証例が少なく、視直径の大きな天体に限られていることが課題となっている。

Kes 79 は、*Fermi* 衛星で GeV ガンマ線が観測された mixed-morphology 型の SNR である。Green & Dewdney 1992 では、星間ガスの観測から $V_{\text{LSR}} \sim 105 \text{ km s}^{-1}$ の分子雲の付随が指摘された。その一方で、X 線と星間物質の詳細な比較がなされていない、ガンマ線源となる宇宙線陽子の標的としての星間ガスの特定には至っていない等の課題が残されていた。そこで我々は、野辺山 45 m 鏡での銀河面観測プロジェクト「FUGIN」で得られた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ の高分解能データを用いることで、Kes 79 に付随する星間ガスの詳細な探査を行い、先行研究とは異なる $V_{\text{LSR}} \sim 83 \text{ km s}^{-1}$ に付随する星間ガスを特定した (日本天文学会 2016 年秋季年会 栗木他)。

今回我々は、付随を特定した星間ガスについて、HI の膨張シェル構造を見出す等、整合性を確認するとともに、天体までの距離 $\sim 5.3 \text{ kpc}$ 、年齢 ~ 1 万年という値を得た。また、付随するガスの質量比は、分子成分の方が原子成分よりも 5 倍程度多いことが分かった。これは、周辺環境として分子ガスが支配的であることを意味しており、middle aged SNR に共通する特徴である。以上の結果を踏まえ、Kes 79 における宇宙線加速について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z116a 超新星残骸における MeV 陽子起源の中性鉄輝線放射

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

超新星残骸 (SNR) は、銀河宇宙線の加速源として現在最も有力な候補である。ガンマ線観測によって SNR で GeV 陽子が加速されている証拠が見つかってきた。宇宙線は低い帯域から徐々にエネルギーを得るので、MeV 陽子も大量に存在するはずだ。SNR で加速された MeV 陽子が周辺の分子雲に衝突すると、分子雲中の鉄原子を電離して 6.40 keV 輝線が放射される。しかし、これまでに宇宙線起源と考えられる 6.40 keV 輝線が見つかった SNR は 3C391 と Kes 79 のわずか 2 例しかない。我々はすざくのアーカイブデータを解析し、銀河面 ($6^\circ \lesssim l \lesssim 35^\circ$, $|b| < 1^\circ$) に位置する 4 つの SNR、W28、W44、Kes 67、Kes 78 から、強い 6.40 keV 輝線を発見した。銀河系には個々の天体に分解できない X 線放射が存在しており (銀河リッジ X 線放射)、その最大の特徴は中性鉄 (6.40 keV)、He 状鉄 (6.68 keV)、H 状鉄 (6.97 keV) からの輝線である。4 つの SNR は近傍の銀河リッジ X 線放射に比べて、6.40 keV 輝線だけが超過していた。約 6.40 keV の輝線は若い Ia 型 SNR に特有の高温未電離プラズマでも見られるが、今回の 6.40 keV 輝線は重力崩壊型 SNR からの放射であり、そのプラズマ構造や環境は Ia 型とは全く異なる。スペクトルと空間分布から、6.40 keV 輝線の超過は SNR で加速された低エネルギー宇宙線陽子起源である可能性が高い。輝線強度と水素柱密度を用いて陽子のエネルギー密度を見積もると $\geq 10 \text{ eV cm}^{-3}$ であった。これは星間空間での典型値 (1 eV cm^{-3}) より 10 倍以上多い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z117a カシオペア A の逆行衝撃波の固有運動とスペクトル変動の調査

佐藤寿紀(首都大、宇宙研)、勝田哲(中央大)、馬場彩(東京大)、石田學、前田良知(宇宙研)

カシオペア A は銀河系に属する若い(~ 340 年)重力崩壊型超新星の残骸であり、非熱的放射で明るいことから、銀河系内の宇宙線加速現場の候補として注目されている (e.g., Hughes et al. 2000; Aharonian et al. 2001)。特に、西側の領域においてはシンクロトロン X 線が卓越していると共に、 π^0 崩壊由来と考えられるガンマ線放射との相関も良いため、電子・陽子共に効率良く加速されている事が示唆される (e.g., Aharonian et al. 2001; Albert et al. 2007; Maeda et al. 2009)。また、この領域では、爆発中心へ向かって逆行する衝撃波も電波で確認されており (e.g., Anderson & Rudnick 1995)、そこで粒子が効率良く加速されていると考えられている (Helder et al. 2008)。しかし、その西側領域を特徴づけているともいえる逆行衝撃波の発生要因や粒子加速については、観測的な結果も少なく未だ謎が多い。

我々は、チャンドラ衛星による 2000–2014 年におけるカシオペア A の長期間にわたる観測データ (合計 9 観測) を用いる事で、それらの逆行する複数のショックフィラメント構造の固有運動をこれまでに無い精度で測定し、同時にスペクトル変動も調査した。固有運動は、 $\sim 0.13\text{--}0.20''/\text{yr}$ であり、残骸までの距離を 3.4 kpc と仮定すると $\sim 2,000\text{--}3,500$ km/s の速度で逆行している事が分かった。またそれらのフラックスとスペクトル形状は、十年単位では、系統的な増光や減光は確認されなかった。逆行する衝撃波の要因としては、濃い物質との接触の際に立つ“反射波”が有力と考える。その際、我々が観測した衝撃波速度を説明するには、通常の星間物質に比べ数倍程度の密度が必要である事が分かった。また、長期間のスペクトル変動が無い事は、衝撃波はほぼエネルギーを失わずに、かつ一定量の宇宙線電子を供給し続けている事を意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z118b Ia型超新星残骸 Tycho に付随する “Fe knot” の組成と起源

山口弘悦 (NASA/GSFC), 他

超新星残骸の X 線観測は、爆発噴出物 (イジェクタ) の化学組成や空間分布の調査を通して親星の爆発・元素合成メカニズムの本質にせまる有効な手段である。Ia 型超新星 SN 1572 の残骸 Tycho SNR は、層状に分布する Si や Fe のイジェクタに加えて、順行衝撃波面よりも外側に突出したクランプ状の局所構造を持つことが知られる。クランプは Fe の K 殻輝線で明るいため “Fe knot” と呼ばれ、その質量は $0.01M_{\odot}$ 程度である。

一般に Ia 型超新星の元素合成過程において、Fe は他の鉄族元素 (Cr, Mn, Ni) と同時に作られるため、その残骸の任意の局所領域においても両者は必ず共存する。しかし「すざく」および Chandra による観測の結果、Fe knot からは Fe $K\alpha$ 以外の輝線が一切検出されず、ほぼ純粋な「鉄の塊」であることが初めて示された (Yamaguchi et al., ApJ in press; arXiv:1611.06223)。プラズマの電離状態等を厳密に考慮した分析の結果、Cr/Fe, Mn/Fe, Ni/Fe の質量比上限値はそれぞれ 2.3%, 1.2%, 2.9% と求められた。この組成比を実現できる元素合成レジームは極めて限定的であり、(1) $T_{\text{peak}} = 5.3\text{--}5.7\text{ GK}$ かつ η (neutron excess) $\lesssim 2.0 \times 10^{-3}$ を満たす C+O 白色矮星の一部 (具体的には不完全ケイ素燃焼—核統計平衡間の遷移領域) か、(2) He 外層を持つ白色矮性の完全ヘリウム燃焼のいずれかしかない。両シナリオとも既存の爆発モデルの範疇では観測される局所構造を説明できないため、本結果は Ia 型超新星の爆発機構解明に向けた新たな切り口になりうると期待できる。講演を通じて日本の理論研究者の方々からアイデアを賜うることができれば幸いである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【K. 超新星爆発】

3月15日(水)午後(13:00-15:00) [G会場]

K01a	13:00	X線天文衛星「ひとみ」による超新星残骸 N132D の観測	信川正順 (奈良教育大学)
K02b	13:12	「ひとみ」衛星 SXS 精密 X 線分光器による G21.5-0.9 の熱的プラズマ放射の探査	佐藤寿紀 (首都大学東京/宇宙航空研究開発機構)
K03b	13:12	Kiso Supernova Survey (KISS) で発見された特異な II _n 型超新星 KISS15s の可視光測光分光追観測	小久保充 (東京大学)
K04b	13:12	極大前に緩やかな光度変化を示した Ib 型超新星 SN 2016bau の可視近赤外測光分光観測	河原直貴 (広島大学)
K05a	13:24	Iax 型超新星の観測的特徴と理論モデルとの比較	川端美穂 (広島大学)
K06a	13:36	低光度 IIP に分類される超新星 SN 2016bkv の早期測光分光観測	中岡竜也 (広島大学)
K07a	13:48	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた超光度超新星の探査	加藤貴弘 (東京大学)
K08a	14:00	ultra-stripped 超新星の観測的性質	守屋堯 (国立天文台)
K09a	14:12	ultra-stripped 超新星における爆発的元素合成	吉田敬 (東京大学)
K10a	14:24	中間質量ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊は爆発的元素合成を起こすのか?	谷川衝 (東京大学)
K11a	14:36	ニュートリノ集団振動による νp プロセス元素合成の促進	佐々木宏和 (東京大学)
K12a	14:48	原子核による前兆ニュートリノ放出	加藤ちなみ (早稲田大学)
K13c		非球対称な重力崩壊型超新星爆発における元素合成の大質量星質量依存性	藤本信一郎 (熊本高等専門学校)

3月16日(木)午前(09:30-10:45) [G会場]

K14a	09:30	超新星コアにおける非弾性散乱によるニュートリノのエネルギー変化	堀雄介 (早稲田大学)
K15a	09:42	中心エンジンによって駆動される超新星の放射効率	鈴木昭宏 (京都大学)
K16a	09:54	超新星爆発計算のための新しい初期条件の作り方	諏訪雄大 (京都大学)
K17a	10:06	人口親星モデルから探る超新星爆発メカニズムの系統的調査	山本佑 (早稲田大学)
K18a	10:18	Shellular 回転を伴っている高速回転する親星モデルの回転平衡形状	藤澤幸太郎 (早稲田大学)
K19a	10:30	iPTF13bvn の連星親星モデルの再検証	平井遼介 (早稲田大学)
K20b	10:42	二重白色矮星連星合体の SPH シミュレーション: NLTT12758 の合体と Ia 型超新星	佐藤裕史 (東京大学)

K01a X線天文衛星「ひとみ」による超新星残骸 N132D の観測

信川正順 (奈良教育大学), 山口弘悦 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 勝田哲 (中央大学), 澤田真理 (青山学院大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 中嶋大 (大阪大学), 馬場彩 (東京大学), Eric Miller (MIT), 他「ひとみ」コラボレーション

N132D は大マゼラン雲 (LMC) 内にある、X線で見える超新星残骸の1つであり、鉄など重元素の K 殻輝線を伴う熱的 X線をもち、LMC は常時観測できるため、N132D はこれまでの X線天文衛星の軟 X線検出器の校正観測に用いられてきた。

X線天文衛星「ひとみ」は、2種類の軟 X線検出器、SXS (軟 X線分光器) と SXI (軟 X線撮像器) の校正目的で超新星残骸 N132D を観測した。観測開始直後に衛星姿勢が乱れたため、SXS の視野内に天体を捕捉できたのは最初の1時間程度であったが、SXS は鉄や硫黄の K 殻輝線を検出した。硫黄輝線から求められる視線速度は LMC のものと矛盾がないことがわかった。一方、鉄輝線から視線速度 ~ 2000 km/s を測定することに成功した。これは LMC のものよりも有意に大きく、鉄イジェクタの非等方性を示唆する。小統計ながら視線速度を決定できたのは、SXS の優れた分光性能とエネルギー校正精度によるものである。また、広視野を有する SXI は、姿勢異常発生後も天体を捉え、 ~ 12 keV までの高統計のスペクトルを得た。本講演では、これらのデータ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](#)

K02b 「ひとみ」衛星 SXS 精密 X 線分光器による G21.5-0.9 の熱的プラズマ放射の探査

佐藤寿紀 (首都大、宇宙研)、辻本匡弘、前田良知 (宇宙研)、森浩二 (宮崎大)、山口弘悦 (NASA GSFC)、馬場彩 (東京大)、ほか「ひとみ」コラボレーション

G21.5-0.9 は、中心にパルサー星雲をもつ重力崩壊型超新星残骸であり、その放射は中性子星からのパルサー風によって加速された高エネルギー電子からの非熱的放射が卓越している。過去の観測では、パルサー星雲の外側にかすかに広がるハロー成分が確認されており、これが爆発によって形成されたシェル構造ではないかと考えられている (e.g., Slane et al., 2000)。しかし、それらの放射のほとんどが非熱的放射であり、イジェクタ由来の熱的プラズマ放射の兆候は乏しいため、その爆発の起源の推定が難しくなっている。一方で、北側のハロー内の塊構造からは、Mg、Si の輝線がわずかながら検出されており、この情報から、IIP, Ib, Ic 型いずれかの超新星によって形成された 200–1000 歳程度の残骸であると考察されている (Bocchino et al., 2005; Matheson et al., 2010)。

本講演では、この天体の「ひとみ」衛星搭載 SXS 分光器での観測結果を報告する。SXS は X 線マイクロカロリメータをもちいて軌道上ではじめて約 2 keV 以上での天体精密分光に成功した X 線分光器であり、その圧倒的なエネルギー分解能 (FWHM \approx 5 eV) によって、これまでに無い精度でプラズマ診断を行える。ミッション中に、我々は G21.5-0.9 の SXS による長時間観測 (約 157 ksec) に成功し、そのデータを用いて、パルサー星雲からの非熱的放射に埋もれたイジェクタ由来の熱的プラズマ放射の探査をした。結果として、2–10 keV のエネルギー帯内にいくつかの輝線・吸収線候補を確認し、最も厳しい制限をつけた。また、北側の塊構造の熱的放射成分に関しても、過去の観測との比較を行った。発表では、これらの結果を用いて、その爆発起源まで議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03b Kiso Supernova Survey (KISS) で発見された特異な II_n 型超新星 KISS15s の可視光測光分光追観測

小久保充 (東京大学)、諸隈智貴 (東京大学)、富永望 (甲南大学)、田中雅臣 (国立天文台)、KISS メンバー

我々は2012年以降、東京大学木曾観測所 1.05-m シュミット望遠鏡の広視野カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC) を用いた大規模プロジェクト Kiso Supernova Survey (KISS) を行ってきた (Morokuma et al. 2014, PASJ, 66, 114)。KISS15s は、2015年9月18日の KISS の観測によって、 $g = 19.71 \pm 0.07$ 等の超新星候補天体として発見された。母銀河は SDSS による測光/分光データなどから赤方偏移 $z = 0.038$ の低質量星形成銀河 (=blue cloud 銀河) であると見られ、KISS15s は母銀河中心から約 3 秒角 (2.3 kpc) 北西側に離れた位置に出現していた。KISS による発見の翌日 2015 年 9 月 19 日には西はりま天文台 2.0-m なゆた望遠鏡/LISS を用いて可視光低分散分光スペクトルを取得し、特徴的な広い線幅を持つ $H\alpha$ 輝線が検出されたことから、KISS15s は II_n 型超新星であると同定された。KISS15s に対する可視光測光分光追観測として、KISS による撮像観測を継続中であり、同時にアパッチポイント天文台 ARC3.5m 望遠鏡/DIS を用いて 3 回の低分散分光、1 回の高分散分光データを取得してきている。KISS15s の特徴として、2015 年 9 月の発見以降、1 年以上に渡って非常に緩やかな光度減少 (~ 0.9 等/年) を示した点が挙げられる。また、発見後半年間観測できた $H\alpha$ 広線幅 (半値全幅 $\sim 15,000$ km/s) の存在も著しい特徴の一つである。光度や線幅から推定される親星の質量放出率は $\dot{M} \sim 0.05 M_{\odot}/\text{年}$ となるが、このような質量放出率は II_n 型超新星の親星が青色超巨星であるという一般的理解と矛盾しない。本講演では、観測された測光、分光的性質から推定される KISS15s の物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04b 極大前に緩やかな光度変化を示した Ib 型超新星 SN 2016bau の可視近赤外測光分光観測

河原直貴, 川端弘治, 高木勝俊, 中岡竜也, 川端美穂, 志岐健成, 安部太晴, 廣地諄 (広島大学), 山中雅之 (甲南大学)

初期質量が $8-10M_{\odot}$ より大きい恒星は、進化の最終段階で中心核が重力崩壊を引き起こし、超新星となることが知られている。Ib 型超新星は水素外層が剥ぎ取られてる状態の親星における重力崩壊型超新星であると考えられている。一般的には $20-25M_{\odot}$ 以上の大質量星起源のシナリオが広く信じられてきたが、近年非常に後期の観測から伴星の存在が指摘されつつあり、連星間相互作用によって $10-15M_{\odot}$ 程度の小質量星であっても外層剥ぎ取り型星を説明するシナリオも提唱されつつある。親星の初期質量は大きな多様性を持つ可能性があり、爆発後の測光分光観測によって総噴出物質の性質に制限を与えることの重要性が増してきている。

本研究では、広島大学かなた望遠鏡を用いて 2016 年 3 月 13 日に発見された Ib 型超新星 SN 2016bau の可視近赤外線測光分光観測について採り上げる。この超新星は、当初ゆっくりとした光度変化を示し、質量の大きな親星を有することが期待されたが、極大以降は SN 2007Y と似た典型的な光度進化を示した。極大時の絶対光度、すなわち ^{56}Ni 生成量も SN 2007Y とよく似ていた。R バンドの光度進化は、LOSS サンプル (Li et al. 2011) の typical Ib とよく似ており、光度進化は典型的な Ib 型と矛盾ないことはほぼ明らかであるが、一方で、スペクトルからは He I の速度は典型的であるものの、Ca II IR triplet の線速度は典型的な Ib 型に比べて有意に遅い結果が得られた。これらの結果から、この超新星の大気構造が他の Ib 型超新星と異なっていることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K05a Ia 型超新星の観測的特徴と理論モデルとの比較

川端美穂, 川端弘治, 高木勝俊, 中岡竜也, 河原直貴 (広島大), 前田啓一 (京都大)

Ia 型超新星は、近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達する際、主要元素の一部である炭素の熱核暴走反応によって引き起こされると考えられている。Ia 型超新星の極大光度と減光速度には相関関係があることが知られており、宇宙論的な距離指標となっている。しかし近年になり、減光速度は典型的な Ia 型超新星と違いがないものにも拘らず、極大光度は 1 等以上暗いものが複数見つかってきた。この特異な Ia 型超新星は Iax 型超新星と呼ばれ (Foley et al. 2014)、低光度に加え、放出物質の速度が遅い、初期には高温のスペクトルを示すなどの特徴を示す。その親星と爆発機構はよく判っておらず、精力的に研究が進められている。Iax 型超新星のサンプル内には、Ia 型超新星と異なる極大光度と減光速度の相関があるのではないかと指摘されている (Foley et al. 2013 など)。しかし、データ点分布は離散的であり、全てを単一の群として扱って良いのかさえ判っていない。

本講演では Iax 型超新星の長期に亘って観測された例として SN 2014dt を追加し (詳細な観測については 2016 年春季年会 K05a を参照)、Iax 型超新星の後期の観測的特徴まで含んだ相関関係を議論する。Iax 型超新星は後期 (>100 日) になると、初期よりも多様性が顕著になる傾向が見られた。これは超新星の内部構造の違いを表している可能性がある。さらに、Iax 型超新星においていくつか提唱されている爆発モデルのうち、白色矮星が残骸として残る弱い爆燃波モデル (Fink et al. 2014, Kromer et al. 2015) を取り上げ、Iax 型超新星で示されている極大光度と減光速度の相関などを説明できるかどうか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a 低光度 IIP に分類される超新星 SN 2016bkv の早期測光分光観測

中岡竜也, 川端弘治, 高木勝俊, 川端美穂, 河原直貴, 安部太晴, 志岐健成, 廣地諄, 植村誠, 吉田道利 (広島大), 山中雅之 (甲南大), 田中雅臣 (国立天文台), 前田啓一 (京都大)

重力崩壊型超新星は太陽の 8–10 倍以上の質量を持つ大質量星が親星だと考えられ、その中でも比較的軽い、単独星の親星が爆発したものが IIP 型超新星 (SNe IIP) として現れると期待される。SNe IIP の中で際立った特徴を示すサブグループとして、SN 1997D-like な低光度 IIP 型超新星 (LL SNe IIP) が挙げられる。これらの超新星は典型的な SNe IIP の 1/2–1/10 の明るさしかなく、吸収線速度も半分程度に過ぎない。この超新星の起源となっている親星については、重力崩壊型超新星となるぎりぎりの質量を持つ星と、ブラックホールを生成しフォールバックを引き起こすような重い星の 2 つの異なるモデルが提唱されており、議論は収束していない。

我々は 2016 年 3 月 21.7 日 (UT) に発見された超新星 SN 2016bkv (8.1 Mpc) について、広島大学が所有するかなた望遠鏡を用いてモニター観測を行った。この超新星は当初、水素の細い輝線を有することから IIn 型超新星と分類され、我々の初期の観測でも星周物質との相互作用とみられる兆候が得られた。しかしその後の追観測の結果、爆発約 30 日後より水素の細い吸収線が現れ、その速度は典型的な SNe IIP と比べて 1/3 以下の速度 (~ 2000 km/s) で、プラトー後期のスペクトルの特徴が他の LL SNe IIP と類似していることから、LL SNe IIP の 1 つであると同定した。プラトーの長さは 140 日以上と、他の LL SNe IIP とより長めである。観測パラメータを SNe IIP のプラトー期のモデル (Popov 1993) を仮に適用すると、親星の外層質量として $25 \pm 5 [M_{\odot}]$ が導かれる。また、初期に見られた幅の狭い輝線の存在は星周物質が豊富であったことを示しており、親星の初期質量が大きかったことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K07a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた超光度超新星の探査

加藤貴弘 (東京大学), 田中雅臣 (国立天文台), 守屋堯 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 諸隈智貴 (東京大学), 安田直樹 (Kavli IPMU), 吉田直紀 (東京大学, Kavli IPMU)

超光度超新星は通常の超新星よりも約 100 倍の明るさをもつ宇宙の中で最も明るい現象の一つであり、現在赤方偏移 $z = 3.90$ もの遠方で発生した超光度超新星が観測されている (Cooke et al. 2012)。また、超光度超新星は大質量星の最期の姿と考えられており、広視野探査により遠方宇宙での超光度超新星の発生率を測定することは遠方宇宙の星形成を理解する上で重要な意味を持つ。

2014 年 3 月から 2016 年 3 月にかけて、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam 戦略枠観測として、COSMOS 領域をターゲットとした観測がおよそ 3ヶ月に一回の間隔で行われた。この観測データでは通常の超新星の探査を行うことはできないが、継続時間の長い超光度超新星の探査に対しては適している。本研究では、まず変動天体の探査を行い、1021 個の変動天体候補の中から超新星候補を選別する手法を考案した。その結果、361 個の超新星候補と約 600 個の活動銀河核候補を同定した。更に、発見した超新星の絶対光度を COSMOS 領域の測光赤方偏移カタログ (Laigle et al. 2016) を用いて求め、超新星候補のタイプ分類を行った。その結果、超光度超新星候補を 6 個同定することができた。また、Ia 型超新星と超光度超新星との中間光度 $-19 > M_{\text{peak}} > -21$ を持つ超新星も見つかった。これらのサンプルから赤方偏移 $1 \leq z \leq 2$ の超光度超新星の発生率を算出すると、近傍超光度超新星の観測と星形成率から推測される発生率に測定誤差の範囲内で一致することが明らかになった。

本講演では、これらの結果を報告し、2016 年 11 月から始まった本格的な超新星探査観測の展望を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08a ultra-stripped 超新星の観測的性質

守屋堯 (国立天文台), P. Mazzali (LJMU), 富永望 (甲南大学), S. Hachinger (LRZ), S. Blinnikov (ITEP), T. Tauris (MPIfR), 高橋亘 (東京大学), 田中雅臣 (国立天文台), N. Langer (ボン大学), Ph. Podsiadlowski (オックスフォード大学)

大質量星がコンパクト天体を伴星として持つ際、連星進化の結果として0.1太陽質量程度の質量しか放出しない重力崩壊型超新星が起こる。このような超新星は ultra-stripped 超新星と呼ばれている。ハッブル時間内に合体する中性子星連星は主に ultra-stripped 超新星を経て形成される可能性が高く (Tauris et al. 2013)、近々重力波で観測されるであろう中性子合体の親星の形成過程を理解するのに ultra-stripped 超新星は重要な役割を担う。我々は ultra-stripped 超新星を観測的に同定するために、その観測量である光度曲線とスペクトルを数値的に調べた。MESA を用いて親星の進化を重力崩壊まで追った後、爆発的元素合成の計算を行い、その結果を用いて光度曲線とスペクトルをそれぞれ輻射流体力学コードとモンテカルロ法を用いたスペクトルコードを用いて計算した。この結果、ultra-stripped 超新星は可視光域において10日程度で最大光度約-16等級に達することが分かった。求められた光度曲線とスペクトルを比較することにより、SN 2005ek、Ca-rich gap transients の一部、SN 2010X が ultra-stripped 超新星である可能性を示した。これらの天体が ultra-stripped 超新星であるとする、ultra-stripped 超新星は重力崩壊型超新星の数パーセント程度を占め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](#)

K09a ultra-stripped 超新星における爆発的要素合成

吉田敬 (東京大), 諏訪雄大 (京都大), 梅田秀之 (東京大), 柴田大 (京都大), 高橋亘 (東京大)

ultra-stripped 超新星はコンパクト星との連星系にある星が進化し連星相互作用により He 外層の大部分を失った星が起こす超新星である。この超新星は He 外層がほとんど存在せず酸素層も非常に薄くなりうる。この場合、爆発時に放出される質量は小さくなり連星系が解体しにくくなるため、コンパクト星連星の有力な起源天体になる。また、このような超新星の親星の中には軽い鉄コアを形成するものが存在し、これらの超新星の後に残る中性子星は中性子星連星の観測で見つかっている $1.24M_{\odot}$ 程度の小質量にもなり得る。一方、 $1.5M_{\odot}$ 程度の軽い CO コアを持つ ultra-stripped 超新星のシミュレーションからこのような超新星は電子捕獲型超新星のような弱い爆発になることが得られた (Suwa et al. 2015)。そこで、本研究では ultra-stripped 超新星の 2 次元ニュートリノ輻射流体シミュレーションを行い、その結果を用いて爆発時における元素合成について調べた。

我々は $1.45, 1.5M_{\odot}$ の CO コアが進化した ultra-stripped 超新星 (CO145, CO15 モデル) における元素合成を計算した。これらの超新星では約 $0.1M_{\odot}$ の物質が放出された。また、CO145, CO15 モデルでそれぞれ $0.01, 0.006M_{\odot}$ の ^{56}Ni が放出された。ejecta の最深部からは中性子過剰な物質が放出され、この中には Se-Kr という 1st peak r-process 元素が含まれた。そのため、ultra-stripped 超新星は電子捕獲型超新星と同様に r-process の 1st peak 元素の起源のひとつとなる可能性がある。発表では ultra-stripped 超新星の光度曲線の特徴や ejecta 最深部で生成される 1st peak r-process 元素の組成分布や生成量に関する不定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](#)

K10a 中間質量ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊は爆発的元素合成を起こすのか?

谷川衝, 佐藤裕史, 野本憲一 (東京大学), 前田啓一 (京都大学), 中里直人 (会津大学), 蜂巢泉 (東京大学)

星が巨大ブラックホール (MBH) の近傍を通過すると, その星は MBH によって潮汐破壊される. この現象を Tidal Disruption Event (TDE) とする. TDE はガスの少ない銀河でも起こるため, 活動的でない MBH の研究の手段として用いることができ, MBH の形成過程の解明に役立つ. また, $10^5 M_{\odot}$ 以上の MBH は白色矮星 (WD) の TDE を起こせない. このような MBH は WD を丸ごと吸い込むからである. WD の TDE を起こすのは中間質量ブラックホール (IMBH) 以下のブラックホールのみであるため, WD の TDE は IMBH 探査の指標となりうる.

WD は, TDE の最中に, 軌道面方向には引き延されるが, その垂直方向には圧縮される. この圧縮が衝撃波を発生させ, その衝撃波が WD を十分に加熱した場合には, WD で爆発的元素合成が起こりうる. これが本当なら, 大量の ^{56}Ni が合成され, WD の TDE は Ia 型超新星に似た現象となる. Rosswog et al. (2008; 2009) は, 原子核反応を同時に解く SPH シミュレーションを用いて WD の TDE を追った. その結果, WD の TDE では爆発的元素合成が起こることを報告した. しかし, 彼らはシミュレーション中で強い衝撃波が発生したことを示していない.

我々は, Rosswog らと同様のシミュレーションを高解像度で様々な WD に対して行い, WD で起こる爆発的元素合成の原因を精査した. その結果, 爆発的元素合成の原因は, 衝撃波ではなく, SPH 粒子の数が少ないときに起こる偽の加熱であることを明らかにした. また, 衝撃波は外層の密度の低い部分で発生するが, WD のほとんどの部分を加熱しない. すなわち TDE では爆発的元素合成はほとんど起こらない. これは, WD の TDE が, Ia 型超新星に似た突発天体にはならないことを意味する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K11a ニュートリノ集団振動による νp プロセス元素合成の促進

佐々木宏和 (東大天文), 梶野敏貴 (国立天文台, 東大天文), 滝脇知也 (国立天文台), 日高潤 (明星大), 丸山智幸 (日本大), Y.Pehlivan (ミマルシナン美術大), A.B.Balantekin (ウィスコンシン大)

ニュートリノどうしのコヒーレント散乱による非線形効果はニュートリノのルミノシティが著しく高い、超新星や中性子星合体などのコンパクト天体や、初期宇宙で起こると考えられている。重力崩壊型超新星においてバウンス後、コアから放出されるニュートリノは非線形効果により、多体系を成し、運動量によらない、ニュートリノ集団振動を引き起こす。集団振動によるニュートリノのスペクトルの変化は、外側の元素合成に多大な影響を与えることが示唆される。特に陽子過剰なガスフローでは、集団振動で増加した反電子ニュートリノが陽子に吸収され、過剰な中性子が生成されることが期待される。生成された自由な中性子により、温度が $T = 2 \sim 4 \times 10^9 \text{K}$ の領域で νp プロセスが促進され、 β 反応の停留点である ^{64}Ge 以降の陽子過剰な重元素が合成される。

本研究では球対称の爆発シミュレーションで得られた陽子過剰なガスフローを用いて、ニュートリノ集団振動を計算し、元素合成に応用した。集団振動の計算では3フレーバーで角度依存性を考慮した、より近似の少ない Multi-angle calculation を行った。講演ではニュートリノ集団振動の振る舞いと元素合成への影響を報告する。特に集団振動の効果で νp プロセスがどの程度、促進されるかに着目し、今回用いたガスフローで r プロセスや s プロセスでは合成されない起源が未解明な ^{92}Mo , ^{96}Ru の太陽組成を説明できるか議論する。本研究は重力崩壊型超新星での元素合成における、ニュートリノ集団振動の重要性を示すとともに、 ^{92}Mo , ^{96}Ru の起源解明の可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K12a 原子核による前兆ニュートリノ放出

加藤ちなみ (早大), 山田章一 (早大), 長倉洋樹 (Caltech), 古澤俊 (理研), 高橋亘 (東大), 吉田敬 (東大), 梅田秀之 (東大), 石徹白晃治 (東北大)

超新星爆発を起こす親星の進化は、中心核から大量に放出されるニュートリノによって決まっている。この段階に放出されるニュートリノを「前兆ニュートリノ」と呼んでいる。前兆ニュートリノの観測は、親星内部の情報を得る直接的な方法であり、恒星進化理論の証明の一端を担う可能性を秘めている。爆発自体に付随するニュートリノと比べて、一般に数も少なく、エネルギーも低いため、前兆ニュートリノの観測にはこれまで焦点があてられてこなかった。しかし、近年代表的な観測装置である S K や KamLAND など低バックグラウンド技術の開発が進められており、近い親星からであれば観測可能であることが分かった (C.Kato et al. 2015)。また、これまでの技術で比較的観測しやすかった反電子型だけでなく、Ar を用いた電子型のニュートリノが観測できる装置の開発が計画されている。

そこで、本発表では自身の先行研究で扱った熱的なニュートリノ放出に加えて、原子核によるニュートリノ放出についても計算を行い、親星の進化後半段階から中心部が重力崩壊し始め、コアバウンスするまでの前兆ニュートリノの包括的な研究の結果を発表する。また、これらをもとにして、様々なニュートリノ観測装置でのイベント数を見積もり、それら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](#)

K13c 非球対称な重力崩壊型超新星爆発における元素合成の大質量星質量依存性

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

本研究では, $(10.8 - 40)M_{\odot}$ をもつ 20 個程度の大質量星の超新星爆発における元素合成を調査した. ニュートリノ吸収・現実的状态方程式を考慮した 2 次元軸対称流体力学コードを用いて, コアバウンスから数秒に渡って放出ガスの dynamics を流体力学計算した. 中心部 (< 50 km) は計算領域には含めず, Ugliano 等 (2012) と同様のニュートリノコア・モデルを採用し, 流体力学計算から見積られる質量降着率を用いて, 原子中性子星から照射されるニュートリノ光度・温度の時間発展を見積った. ただし, ニュートリノコア・モデルに関する 2 種のパラメータ・セット (a,b) に対して計算を行った. セット (a) では, コアバウンスから 200-400 ミリ秒という早めのタイミングで超新星爆発が引き起こされ, セット (b) では, 400-600 ミリ秒に爆発が誘発された.

次に以上の流体力学計算結果に基づいて, Kr 以下の 463 核種を含む核反応ネットワークを用いて元素合成計算を行ない, 以下のことを明らかにした; (1) 爆発エネルギーおよび放出される ^{56}Ni , ^{57}Ni , ^{44}Ti 質量は, 大質量星の重力崩壊直前のコンパクトネス $\xi_{2.5}$ と強い相関を示す. Ugliano 等の球対称計算に基づく結果と同様に親星の質量との相関は弱い. これは大質量星進化の最終段階の対流および対流核における核燃焼の複雑な質量依存性を反映している. (2) 早めのタイミングの超新星爆発を導いたニュートリノコア・モデル (セット (a)) の場合には, SN1987A の観測値 (爆発エネルギーおよび放出される ^{56}Ni , ^{57}Ni , ^{44}Ti 質量) を再現する親星が存在する. (3) セット (a) の場合, 我々のモデル計算は, II-P 型超新星で観測される爆発エネルギーと放出される ^{56}Ni 質量の正の相関を再現する.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K14a 超新星コアにおける非弾性散乱によるニュートリノのエネルギー変化

堀雄介, 山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発のメカニズムとして最も有力視されている仮説は、ニュートリノ加熱メカニズムである。その仮説ではコアの反跳による衝撃波が生じた後、中心には静水圧平衡にある原始中性子星が形成され、ニュートリノを放出しながら冷える。このニュートリノが衝撃波下流の物質に吸収されることでエネルギーを与え、衝撃波が復活すると考えられている。したがってこの加熱量が十分かを明らかにすることが重要な課題である。ここでカギとなるのが加熱率はニュートリノのエネルギーに依るということである。そしてそのエネルギーは原始中性子星内での核子との非弾性散乱に影響される。先行研究ではニュートリノと核子の非弾性散乱は近似を用いて計算している。その問題点はエネルギー空間でのメッシュの切り方である。実際荒いメッシュ内で一様化することを行っているため数値的な拡散があると考えられる。

そこで、本研究ではそのわずかな非弾性散乱の効果をモンテカルロシミュレーションにより正確に計算し、ニュートリノのエネルギー分布がどのように平衡分布に近づくかを調べる。さらに先の近似をモンテカルロ計算にとりこんだ場合と比較することにより大規模シミュレーションで用いられている近似の妥当性を明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K15a 中心エンジンによって駆動される超新星の放射効率

鈴木昭宏, 前田啓一 (京都大学)

近年の無バイアスな変光天体サーベイによって、通常の超新星よりも 10-100 倍明るく輝く超高輝度超新星 (superluminous supernovae) の発見が相次いでいる。観測例の中には、光度曲線を時間積分して得られる放射エネルギーの総量が通常の超新星の爆発エネルギーの典型値である 10^{51} erg に匹敵するものもあり、どのようにしてその極めて明るい放射光度を実現するのかについては未解明な点が多い。この天体の起源を説明するシナリオとして、中心エンジンによって駆動される超新星の可能性が広く議論されている。このシナリオは、超新星が爆発した後に中心に残す高密度天体が何らかの理由で超新星エジェクタのエネルギーを注入し、エジェクタを光らせるというもので、中心エンジンとしては高速回転するマグネターからの双極子放射や、ブラックホール降着円盤などが考えられている。

我々は、中心エンジンからのエネルギー注入がある超新星エジェクタの流体力学的進化を 2 次元特殊相対論的流体力学シミュレーションによって計算し、その結果と 1 次元の解析的モデルとの比較を前回の年会 (2016 年秋季年会) において報告した。本講演では、中心エンジンによって注入されたエネルギーのうち、どの程度が放射エネルギーとして使うことができるかを考察した結果を報告する。まず、シミュレーションの結果から光球放射の光度と輻射温度を計算した結果を示す。また、1 次元解析的モデルに Arnett (1982) の放射拡散モデルを適用することで様々なエネルギー注入率に対して放射エネルギーの総量がどのように変化するかを考察した。その結果、 10^{52} erg のエネルギーを 10^6 秒程度の継続時間で注入した場合には、 10^{51} erg 程度の放射エネルギーを達成できることが分かった。さらに、シミュレーションの結果から推測されるスペクトルの特徴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](#)

K16a 超新星爆発計算のための新しい初期条件の作り方

諏訪雄大 (京都大学), Ewald Müller (MPA)

詳細な数値シミュレーションで超新星爆発が起こせるようになって久しい。しかし、シミュレーションで得られる爆発エネルギーやニッケル量が著しく小さいなど、いまだに観測と整合性のあるシミュレーションを実行することはできていない。数値計算に組み込まれている物理が不完全なのではないかと考えられており、様々な物理の影響が精査されている。

本講演では、初期条件の依存性について議論する。これまでのシミュレーションでは大質量星の進化計算結果を初期条件として用いていたが、それとは異なる初期条件の作り方を考案した。具体的には、エントロピーおよび electron fraction (Y_e) を質量座標の関数として与える。その結果、静水圧平衡の式が密度についての式として書き下せるので、これを解けば初期条件が得られることになる。エントロピーと Y_e の関数を選ぶことで、星の進化計算の結果が再現でき、また進化計算では作ることのできていない構造を作ることにも可能である。すなわち、星の進化計算結果を内包する、より広いパラメーター領域の初期条件を作ることが可能になったと言って良い。

こうして作った初期条件からシミュレーションを行った結果、1次元計算で爆発を起こすことに成功したので、紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K17a 人口親星モデルから探る超新星爆発メカニズムの系統的調査

山本佑（早稲田大学）

現在の重力崩壊型超新星爆発の理論研究は、ミクロとマクロ両面の物理過程を詳細に扱った第一原理的な数値計算が可能になったが、未だに爆発メカニズムの謎は残されたままである。残る大きな不定性として注目すべきは、星の進化から得られた重力崩壊前の親星構造である。本研究は、パラメータ化した親星構造が爆発のメカニズムにどう影響するか議論し、爆発エネルギーとニッケル質量へのフィードバックを考察する。これまでの結果から重いコアを持つ事自体は、爆発には必ずしも不利に働くわけではなく、むしろ accretion luminosity が有利に作用することを明かにした。ここではさらにエントロピー分布がどのような傾向を持つときに衝撃波のエネルギーがより多く保持することが可能なかを系統的に調べていき報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K18a Shellular 回転を伴っている高速回転する親星モデルの回転平衡形状

藤澤幸太郎 (早稲田大学), 山本佑 (早稲田大学)

質量が太陽質量よりも 10 倍程度以上重い大質量星はその進化過程で重元素を生成し、最後に中心部に鉄コアを形成して重力崩壊型超新星爆発を引き起こすと考えられている。この重力崩壊型超新星爆発の決定的な爆発メカニズムはいまだ明らかにはされていないが、爆発を引き起こす親星の回転が非常に重要であることが最近のシミュレーション結果から示されている。しかし親星の中心部分の回転を直接観測することは不可能であるため、親星が超新星爆発を引き起こす時に中心部分でどのような回転を伴っているかもまた大きな謎である。

親星の内部の角速度分布を求めるためには、回転を考慮した恒星進化計算を行う必要がある。しかし現在広く用いられている恒星進化計算では、星を球対称であると仮定して遠心力を 1 次的に平均化して構造を求めているため、高速回転により大きく歪んでいるような親星を正しく計算することができていない。高速回転する親星のモデルを構築するためには、2 次元の方程式を適切に解くことで構造を求める必要がある。

そこで、Fujisawa(2015) で開発した baroclinic 回転星を求める数値計算スキームを改良することで、鉄コアや外層などの多層構造を持ち、星の進化計算でよく用いられている shellular 回転を伴った高速で回転している親星の回転平衡形状を求める計算手法を開発した。さらに、この新しい計算手法を用いて Yamamoto & Yamada (2016) のパラメトリックな親星モデルや、恒星進化計算によって得られている超新星爆発計算によく用いられている親星モデルに基づいた回転平衡形状の解系列を求めることに成功した。本講演では、解の求め方や得られた解系列に関して議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K19a iPTF13bvn の連星親星モデルの再検証

平井遼介

iPTF13bvn は爆発前の画像が受かっている唯一の Ib 型超新星として盛んに研究されてきた。その豊富な観測データから親星のモデルに様々な制限がかけられているが、特に爆風質量が小さいことが強い制限となっている。そのような小さな He 星を作るには星風では質量損失が不十分で、連星相互作用が不可欠であるとされている。安定的な質量輸送で外層を取り除こうとすると、大きな質量の伴星が必要となる。我々の以前の研究から、この大きい伴星に超新星爆風が衝突した場合には伴星が大きく膨れ上がり可視光では明るくなるという予測を立てた。しかし最新の観測から、理論から予想される大きな質量の伴星が存在しないことが分かったため、安定的な質量輸送による連星進化モデルの再検討が必要となった。

本研究では改めて iPTF13bvn の親星の形成シナリオを構築することを目指す。まず、Eldridge et al. 2016 など示唆されている共通外層状態を経るようなシナリオを詳細に検証した。爆発前の画像から予測される親星の半径が比較的大きいため、爆発前の連星の軌道長半径もそれなりに大きくなくてはならない。しかし共通外層進化後には連星の公転軌道が非常に小さくなるためこのモデルは不適格であることがわかった。

今回新たなモデルとして、伴星がブラックホールであるというシナリオを提唱する。伴星がブラックホールであれば質量が大きくても観測にかからずに安定的な質量輸送で主星の外層を剥ぎ取ることができる。本講演では従来モデルの再検証の結果と、今回の新しいモデルの進化計算の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K20b 二重白色矮星連星合体の SPH シミュレーション : NLTT12758 の合体と Ia 型超新星

佐藤裕史 (東京大学)

白色矮星連星の合体は、Ia 型超新星の親星候補の 1 つ (Double degenerate scenario) と考えられている。我々は、3次元 Smoothed particle hydrodynamics (SPH) コードを用いて、炭素酸素 (CO) 白色矮星連星の合体についてシミュレーションを行い、Ia 型超新星に至りうるような合体の条件を検証した。その結果、合体時の初期条件、例えば、白色矮星の自転と公転の同期などが、合体の結果に影響を与えうることを示した。最近の観測から、二重白色矮星連星 NLTT12758 内に、強い磁場 (~ 3.1 MG) と比較的短い自転周期 (~ 23 min) を持った白色矮星が存在することが分かった。この連星系は、宇宙年齢内に合体することは出来ないものの、合計質量 ($\sim 1.5 M_{\odot}$) がチャンドラセカール限界質量を超えており、Ia 型超新星の親星となりうる系である。本研究で我々は、NLTT12758 の軌道進化を数値計算で追ひ、合体直前の連星系の状態、特に、自転と公転が同期しているかを調べた。また、軌道進化の結果を初期条件とし、SPH コードを用いて NLTT12758 の合体についてシミュレーションを行った。本発表では、得られた計算結果を用いて、NLTT12758 の合体が Ia 型超新星に至りうるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

3月18日(土) 午前(09:30-10:54) [D会場]

L01a	09:30	太陽系外縁小天体の個数密度に迫る OASES 恒星掩蔽モニタ観測@宮古島 有松亘(国立天文台)
L02a	09:42	超小型新宇宙探査機 PROCYON に搭載された LAICA 望遠鏡による 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の水分子の生成率 新中善晴(国立天文台)
L03a	09:54	WINERED による彗星 CN 分子バンド輝線の高分散分光観測 河北秀世(京都産業大学)
L04a	10:06	8世紀シリア語自筆写本における彗星画像 藤原康徳(総合研究大学院大学)
L05a	10:18	「あかり」遠赤外線全天画像に見られる黄緯 $\pm 17^\circ$ 小惑星ダストバンド構造 大坪貴文(東京大学)
L06a	10:30	小惑星探査ミッション「はやぶさ2」の現状と今後の運用について 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
L07a	10:42	土星リングにおける中間赤外線輝分布の変動 藤原英明(国立天文台)

L01a 太陽系外縁小天体の個数密度に迫る OASES 恒星掩蔽モニタ観測@宮古島

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

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES) は、直接観測では検出不可能なキロメートルサイズの太陽系外縁天体 (TNO) の個数密度に観測的制約を与えることを目指し、小口径の可視光望遠鏡を複数台用いて、TNO による恒星掩蔽イベントを探索する観測的研究プロジェクトである。我々は2016年の6月から9月にかけて、2台の観測システムを用いた OASES 掩蔽同時モニタ観測を沖縄県宮古島市にて実施した。キロメートルサイズの TNO による恒星掩蔽は予想される発生頻度が極めて低く (1年間で1恒星あたり 10^{-2} 回未満)、継続時間が1秒未満と短い現象である。そのため本研究では有効口径約 30 cm の Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph 光学系の主焦点に民生品の CMOS カメラを組み合わせ、約 4 平方度の有効視野内の恒星約 10000 個に対して、15 Hz のフレームレートで連続高速同時モニタ観測を実施した。さらに本研究ではモニタ観測で得られた膨大な同時観測データを効率よく解析し、サブ秒スケールでの恒星光度変化の検出に特化した解析プログラムを開発した。開発したプログラムを用いて、観測データ内の恒星に対して開口測光を実施し、ノイズ分布が必ずしも既知ではない光度曲線から掩蔽の継続時間に相当する時間スケールで減光している掩蔽イベント候補を検出することが可能となった。

本公演では2016年に実施した OASES 掩蔽同時モニタ観測について総括し、開発したデータ解析プログラムの詳細と OASES モニタ観測データへの適用例を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)
[スケジュールに戻る](#)

L02a 超小型新宇宙探査機 PROCYON に搭載された LAICA 望遠鏡による 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の水分子の生成率

新中善晴 (1,2), Nicolas Fougere (3), 河北秀世 (4), 亀田真吾 (5), Michael R. Cobmi (3), 池澤祥太 (5), 関あや菜 (5), 桑原正輝 (6), 佐藤允基 (5), 田口真 (5), 吉川一郎 (6) (1: 国立天文台, 2: 日本学術振興会特別研究員 PD, 3: ミシガン大学, 4: 京都産業大学, 5: 立教大学, 6: 東京大学)

彗星は原始太陽系円盤中で形成された氷微惑星の残存物であり、その核内部に揮発性分子の氷を保持している。彗星が太陽から 2.5AU 以内に近づくと彗星に最も豊富に含まれる水分子が活発に昇華し、その単位時間あたりの放出量 (生成率) は彗星活動の指標として用いられる。A'Hearn et al. (1995) は、力学的起源の異なる 32 個の彗星における揮発性分子の生成率の日心距離に対する変化から、彗星活動が経年変化する可能性を指摘した。

力学的に古い木星族短周期彗星の一つである 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星は、ESA のロゼッタ計画のターゲットとして、約 2 年間にわたり近日点通過を含む様々な日心距離において探査機から観測され続けてきた。しかし、探査機による観測は、彗星の極近傍 (水分子のコマの中) から行われていることがほとんどであり、探査機で観測した結果から彗星核全体での水分子のガス生成率を推定するにはコマ全体のモデルが必要となる。そのため、得られる水分子ガス生成率は、推定に用いるモデルに大きく依存することが指摘されている。一方で我々は、彗星コマ全体の観測から水分子の生成率の絶対値を推定することを目指して、超小型深宇宙探査機 PROCYON に搭載された LAICA 望遠鏡を用い、67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の Lyman α 輝線の撮像観測を実施した。観測は同彗星の近日点通過の約 1ヶ月後である。本発表では、観測結果およびロゼッタ探査機の結果との比較を行なうと共に、探査計画における地上や宇宙からのサポート観測の重要性についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a WINERED による彗星 CN 分子バンド輝線の高分散分光観測

河北秀世 (神山天文台)、新中善晴 (神山天文台, 国立天文台)、ほか WINERED 開発チーム

彗星では、可視から近赤外線波長域にかけて、コマ中に存在する各種分子が発するバンド輝線が多数、検出される。これらの分子輝線の観測から、彗星核内部に保持されている始原的な氷の組成、各種元素の同位体比などを明らかにすることが、太陽系の起源 / 物質化学進化を研究する上で重要である。近年、彗星分子に含まれる窒素原子の同位体比が、太陽系の元となった分子雲 / 原始惑星系円盤の化学進化という観点から注目されているが、そのために CN 分子の近紫外-可視光波長域に見られる B-X バンドが多く観測されてきた。しかし、同バンドは近紫外線波長域に近く (380nm 付近)、地球大気の減光の影響を受けやすい。そのため、太陽に接近することで明るくなる彗星においては、観測条件が悪いことが多い (地平高度が低い状態での観測となりがちである)。また、コマ中での彗星ダストによる減光もあり、その意味でも S/N の良いスペクトルを得るために不利となる。そこで本研究では、これらの減光の影響が少ない近赤外線 (1100nm 付近) 波長において、彗星 CN 分子の A-X バンドを観測した。観測は神山天文台に設置されていた近赤外線高分散分光器 WINERED を用いている (波長分解能: $\lambda/\Delta\lambda = 28,000$ の WIDE モードを使用)。観測日は 2013 年 11 月 30.8 日 (UT)、観測ターゲットは C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星である。また、観測と比較可能な彗星 CN 分子の A-X バンド輝線モデルが存在しないため、太陽光励起による蛍光発光モデルを新たに構築した。その結果、純粋な蛍光平衡状態だけではなく、分子間衝突等による励起の影響をも考慮することで、観測スペクトルの再現に成功している。発表では、炭素および窒素の同位体比導出について、現在の波長分解能での限界と、WINERED の HIRES-Y モード ($\lambda/\Delta\lambda = 80,000$) を利用した展望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](#)

L04a 8世紀シリア語自筆写本における彗星図像

藤原康德（総研大，極地研），早川尚志，玉澤春史（京都大学）他 Aurora 4D project メンバー

歴史文献における天文事象は，文章による記録もさることながらきわめて例は少ないながらも図として描かれるものもある．象徴的に描かれるものもある一方で，テキストと図象を歴史学と天文学の研究者が同時に詳細に検討することによって精度の高い情報源として利用することも可能である．8世紀に記されたシリア語の自筆写本を詳細に検討すると，欄外に描かれた図象が彗星などを示していることが示唆され，当時の観測位置や時期，さらに中国史料などの先行研究から該当する彗星を推定することができる．一部図象はダストテイルとプラズマテイルの描き分けをしている可能性がある．本講演では関連して見つかったオーロラらしき現象などその他の天文現象記録を紹介するとともに，8世紀における彗星の記録について様々な観点からの分析を報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L05a 「あかり」遠赤外線全天画像に見られる黄緯 $\pm 17^\circ$ 小惑星ダストバンド構造

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

赤外線衛星「あかり」の遠赤外線全天画像 (Doi et al. 2015, Takita et al. 2015) は、黄道光・黄道放射研究にとっても重要なデータである。IRAS や COBE/DIRBE など過去の赤外線衛星の観測により、黄道放射の空間的微小構造として、黄経方向に広がった小惑星ダストバンドが検出されていた。「あかり」の遠赤外線画像の短波長側 2 バンド ($65, 90 \mu\text{m}$) でも、明るさが数 MJy/sr 以下のダストバンド構造を明確に検出できている。高空間分解・高精細な「あかり」全天画像では、ハイパスフィルタなどの画像処理を施すことで、黄緯 $\pm 1.4^\circ, \pm 2.1^\circ$ と $\pm 10^\circ$ の主要 3 バンドに加え、過去の間中赤外線観測で存在を示唆されていた黄緯 $\pm 6^\circ, \pm 13^\circ, \pm 17^\circ$ 付近のより淡いバンド構造を、遠赤外線波長域でも 3σ レベルで検出できている可能性が高い (2016 年秋季年会、大坪他)。

この微小なバンド構造の中でも特に $\pm 17^\circ$ バンドは主要 3 バンドに次いで明るく、DIRBE のデータを基にした黄道光モデル (Kelsall et al. 1998) にも組み込まれているが、観測はこれまで中間赤外線のみで、遠赤外線での明確な検出は「あかり」が初めてである。この $\pm 17^\circ$ バンドは $\sim 2.2 \times 10^5$ 年前の衝突で形成された小惑星族である Emilkowalski cluster 起源であると考えられており、まだ全黄経の一部にしか広がっておらず、ダストバンド形成途中の状態を見ていると考えられる (Espy et al. 2015)。「あかり」遠赤外線画像中でも、この $\pm 17^\circ$ バンドは一部の黄経でのみ検出されている。本講演では、 $\pm 17^\circ$ ダストバンド構造について、「あかり」で検出された遠赤外線画像中の空間分布を紹介し、IRAS $25 \mu\text{m}$ の観測結果と組み合わせることで分かってきたダストの力学的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](#)

L06a 小惑星探査ミッション「はやぶさ2」の現状と今後の運用について

吉川真, 津田雄一, 佐伯孝尚, 中澤暁, 田中智 (JAXA), 渡邊誠一郎 (名古屋大学), はやぶさ2プロジェクトチーム

探査機「はやぶさ2」は、C型小惑星の(162173) Ryuguを探査し、表面から物質を地球に持ち帰るサンプルリターンミッションである。目的は、太陽系形成やその後の進化を探ることであるが、特に水や有機物に注目している。技術的には、新規技術の実証に加えてより確実に信頼性の高い往復探査を行うことを目指している。

「はやぶさ2」は2014年12月3日に打ち上げられ、これまで2年余りが経過した。打ち上げ直後のクリティカル運用とそれに続く初期機能確認運用を経て、2015年3月からは巡航フェーズに入っている。打ち上げからちょうど1年後の2015年12月3日には、地球に接近しスイングバイを行うことで軌道変更を行った。スイングバイ時には、搭載されたサイエンス機器によって、地球や月の観測にも成功した。現在は、2018年夏の小惑星到着を目指して引き続き巡航中である。巡航中では、イオンエンジンによる軌道制御に加えて、通信や軌道に関する各種の運用や、天体を撮影することで機器のチェックを行っている。このような巡航フェーズにおける運用と同時に、小惑星到着後にどのように探査機を運用していくかについても検討を行っている。「はやぶさ2」では、小惑星に到着後に「はやぶさ」よりも複雑な運用を行う。リモートセンシング観測やタッチダウンに加えて、表面には4つの機器を降ろすし、衝突装置というもので人工的なクレーターを作ることも行う。より安全に確実な運用を行うと同時に、サイエンスの成果を最大にするにはどのような運用を行うのがよいかを検討のポイントであるが、現時点ではRyuguについての情報が限られているため、いろいろ想定しながら検討を行っている。

本講演では、現在までの「はやぶさ2」の運用状況と、小惑星到着時の運用検討について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L07a 土星リングにおける中間赤外線輝分布の変動

藤原 英明 (国立天文台), 森島 龍司 (カリフォルニア大学ロサンゼルス校, NASA/JPL), 藤吉 拓哉 (国立天文台), 山下 卓也 (国立天文台)

中間赤外線における土星リングの性質を調べるために、2005年4月と2008年1月にすばる望遠鏡搭載の中間赤外線カメラ COMICS で撮影された高空間分解能画像を収集・解析した。得られた画像から、土星リングの中間赤外線輝度の動径分布を $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ の複数の波長で導出し、C, B, A リング及びカッシーニの隙間のスペクトルエネルギー分布 (SED) を得た。その上で、カッシーニ探査機による恒星の掩蔽観測の結果に基づき、各リングの光学的暑さを仮定することで、各リングの温度を求めた。

解析の結果、中間赤外線 SED から得られた C リングおよびカッシーニの隙間の温度が、B, A リングよりも高いことがわかった。これは、C リングおよびカッシーニの隙間に存在する粒子のアルベドが低いこと、リングが光学的に薄いこと、そしてそのためにリング内粒子の影の影響が小さいこと、に起因すると考えられる。

さらに2008年1月に撮影された中間赤外線画像では、C リングおよびカッシーニの隙間が B, A リングよりも顕著に明るいことがわかった。同時に、2005年4月に撮影された中間赤外線画像に対して、リングの中間赤外線輝度の動径分布が反転していることがわかった。

本発表では、得られたデータとその解析結果を示すとともに、土星リングにおける中間赤外線輝度の動径分布の反転が、季節変動で説明できることについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [C会場]

M01a	13:30	ALMA Scientific Verification (SV) data of solar observations 下条圭美(国立天文台)
M02a	13:42	太陽観測衛星将来計画の国際協力構築のための NGSPM-SOT による検討 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)
M03a	13:54	CLASP 再飛翔計画 ~ 紫外線偏光観測による磁場診断手法確立を目指して ~ 石川遼子(国立天文台)
M04a	14:06	SUNRISE-3 気球実験: 近赤外線偏光分光装置 SCIP の進展 勝川行雄(国立天文台)
M05a	14:18	多波長帯同時偏光分光観測装置の開発 阿南徹(京都大学)
M06a	14:30	IBIS - 「ひので」 - IRIS 共同観測による静穏領域フィラメント形成下の磁束キャンセレーション領域の3次元磁場構造の理解 久保雅仁(国立天文台)
M07a	14:42	ひので可視光狭帯域フィルター観測によるスピキュール根元のダイナミクス 末松芳法(国立天文台)
M08a	14:54	飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を持つ点状プラズマ塊の統計解析 廣瀬公美(京都大学)
M09a	15:06	飛騨天文台 SMART/SDDI を用いたフィラメント噴出現象の速度場解析 大辻賢一(京都大学)
M10a	15:18	He I 10830Å 吸収線で見たフィラメントの磁場の方向の統計的性質 花岡庸一郎(国立天文台)

3月17日(金)午前(09:30-11:45) [C会場]

M11a	09:30	熱対流の散逸について 堀田英之(千葉大学)
M12a	09:42	高粘性時の熱対流のエネルギー輸送について 新井祥太(千葉大学)
M13a	09:54	熱対流が担う上部対流層での磁場の構造形成 政田洋平(愛知教育大学)
M14a	10:06	「ひので」観測 10年: 最強の黒点磁場 岡本文典(国立天文台)
M15a	10:18	表面对流による水平方向磁場輸送における3次元性と磁場の影響評価 飯田佑輔(関西学院大学)
M16a	10:30	デコンボリューション解析による光球における対流速度場の3次元構造の取得 大場崇義(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
M17a	10:42	局所の日震学による高周波音波の生成領域の探査 神原永昌(総合研究大学院大学/国立天文台)
M18b	10:54	正則化 RL 法を用いた <i>Hinode</i> /SP の光球大気の画像回復手法の開発 大場崇義(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
M19b	10:54	CLASP で観測された Si III・O V 輝線の散乱偏光とその Center-to-Limb Variation 勝川行雄(国立天文台)
M20b	10:54	フィラメント消失前後の磁場構造の比較 海宝孝祐(茨城大学)
M21c		マイクロレンズ面分光装置による He I 1083 nm 線の観測 末松芳法(国立天文台)
M22c		太陽彩層の2次元高速分光観測 菅村一朗(大阪府立大学工業高等専門学校)
M23b	11:06	NOAA 活動領域 11692 における光球磁場構造の解析 土井崇史(東京大学)
M24b	11:06	太陽フレア活動と磁場の捻じれとの相関に関する統計解析 旭友希(名古屋大学)
M25b	11:06	太陽フレア予報の評価 久保勇樹(情報通信研究機構)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M26b	11:18	活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発 3 塩田大幸 (名古屋大学)
M27b	11:18	3次元リコネクション領域におけるプラズモイドの自発的構造形成 柴山拓也 (名古屋大学)
M28b	11:18	高速リコネクションと電気抵抗モデルの関係に関するシミュレーション研究 與那覇公泰 (名古屋大学)
M29b	11:30	正十二面体分割三角格子による太陽風定常解を取り入れた解適合格子 MHD シミュレーション 小川智也 (北里大学)
3月17日(金)午後(13:30-15:30) [C会場]		
M30a	13:30	太陽周期活動予測のための太陽表面速度の解析 藤山雅士 (名古屋大学)
M31a	13:42	太陽表面磁束輸送モデルによる次期太陽周期活動度予測について 飯島陽久 (名古屋大学)
M32a	13:54	京大・理・附属天文台による CaII K 太陽全面像の長期観測事業のまとめと今後の展望 坂上峻仁 (京都大学)
M33a	14:06	International Sunspot Number の改訂と東京天文台・国立天文台の黒点相対数 桜井隆 (国立天文台)
M34a	14:18	彩層伝播アルヴェーン波の非線形相互作用による境界透過率への寄与 河野隼也 (東京大学)
M35a	14:30	MHD シミュレーションを利用した太陽風速度モデルの再現性の評価 石田敏洋 (名古屋大学)
M36a	14:42	太陽風構造とコロナ質量放出の相互作用によるフラックスロープの変形と偏向 塩田大幸 (名古屋大学)
M37a	14:54	太陽風シンチレーションによる Crab パルサー巨大電波パルス間の非ボアソン性の評価 小林瑛史 (青山学院大学)
M38a	15:06	3次元太陽風グローバルシミュレーション: コロナホールによる高速流の影響の予測について 田光江 (情報通信研究機構)
M39a	15:18	非フォースフリー太陽大気磁場モデルに対する新しい磁気流体力学的緩和法 三好隆博 (広島大学)
3月18日(土)午前(09:30-11:54) [C会場]		
M40a	09:30	太陽コロナ中の磁力線に沿ったプラズマの分布 柴崎清登 (太陽物理学研究所)
M41a	09:42	Hinode/XRT を用いたマイクロフレアの統計解析 上村亮弥 (名古屋大学)
M42a	09:54	太陽、恒星フレアの EM-T スケーリング則の検証 行方宏介 (京都大学)
M43a	10:06	IRIS - 飛騨 共同観測: 多波長分光観測で探る太陽フレアのダイナミクス 鄭祥子 (京都大学)
M44a	10:18	太陽フレアカスプ領域への下降流と乱流運動の関係性 吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台)
M45a	10:30	太陽コロナにおける爆発的不安定性の臨界条件について 草野完也 (名古屋大学)
M46a	10:42	Evolution of Magnetic Twist in a Flare-Productive Active Region Johan Muhamad (ISEE, Nagoya University)
M47a	10:54	Gradient Boosted Trees による太陽フレア予測と時系列交差検証 西塚直人 (情報通信研究機構)
M48a	11:06	太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係 渡邊恭子 (防衛大学校)
M49a	11:18	太陽フレアにおける硬 X 線・電波放射の特徴解析と電子注入条件への示唆 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構)
M50a	11:30	太陽フレア放射スペクトル導出のための観測データ統計解析 西本将平 (防衛大学校)
M51a	11:42	Comparative study of energetic particle acceleration in solar corona and Earth's magnetosphere Shinsuke Imada (Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University)

M01a ALMA Scientific Verification (SV) data of solar observations

下条圭美 (国立天文台), ALMA 太陽観測開発国際チーム

ALMA 観測所では、5回目の共同利用期間である Cycle 4 (2016年10月~2017年9月) から太陽観測の共同利用を開始した。すでにいくつかの太陽観測は実行され、年会開催時にはPIへのデータ提供も始まっていると思われる。一方、Cycle 5 (2017年10月~) の Call for Proposal が間近に控えており、プロポーザルを準備するためには実際のALMA 太陽観測データを見るのが重要である。このような要望に対応するため、ALMA 観測所では Scientific Verification data (SV データ) というデモンストレーション用データを配布している。長らく太陽観測のSV データはなかったが、2016年12月現在、太陽SV データのパッケージングおよびデータ較正・画像合成マニュアルが完成しており、ALMA 観測所内での最終レビューが行なわれている状況である。年会開催時にはこれらのSV データは公開されていると思われるので、本講演では太陽SV データおよびその利用方法の紹介を行う。

公開される太陽SV データ (候補) は、主に2015年12月に行われた第6回太陽観測開発キャンペーン時に取得された観測データが主に使われおり、黒点、プロミネンス、リムなどの観測が含まれている。このキャンペーン中、7m アンテナ約10台、12m アンテナ約20台の計30台前後のアンテナを利用して観測が行なわれている。この利用アンテナ台数は Cycle 4 で保障されている利用アンテナ数 (50台) と比べ著しく少ない。そのため、太陽SV データの空間分解能・ダイナミックレンジ等は、共同利用で得られるデータより非常に悪いことを考慮して使う必要がある。また、太陽観測から合成した太陽ミリ波画像には、多くの場合視野全体が太陽で覆われるため、ALMA 観測で通常利用するノイズ評価方法が適応できない。この問題を解消すべく、太陽観測用のノイズ評価方法を開発した。これについても本講演にて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a 太陽観測衛星将来計画の国際協力構築のための NGSPM-SOT による検討

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

NGSPM-SOT (Next Generation Solar Physics Mission's Science Objectives Team) は、米国 NASA, 欧州 ESA, および日本 JAXA の国際協力で立ち上げる太陽観測衛星ミッションを検討するために、2016年7月に3つの宇宙機関の合意のもとで設立された検討チームである。NASA 指名の米国科学者4名、ESA 指名の欧州科学者4名、および JAXA 指名の日本科学者4名 (清水、一本、草野、原) の計12名のチーム、および observer (渡邊) であり、3宇宙機関の co-chairs のガイダンスの元で、2017年夏に最終報告書を提出する予定で、科学的検討を進めている。本講演は、チームの日本メンバの視点から検討状況についてお話しし、2020年中盤以降の太陽観測衛星ミッションについて議論する。

2015年に戦略的中型衛星公募に提案した SOLAR-C は科学的・技術的な優位性を高く評価されたが、欧州 ESA に提案された EPIC (European Participation In Solar-C) は不採択となった。この結果、SOLAR-C 当初案は大幅な尖鋭化が求められ、日本国内では戦略的中型衛星 (SOLAR-C 尖鋭化案) の他、公募型小型衛星などを利用した観測衛星案を検討し、2020年代中盤以降の青写真を再構築しようとしている。このような状況のなか、NGSPM-SOT の活動は、3つの宇宙機関間で協力・連携する素地を科学的検討から構築し、(新生)SOLAR-C を含む次期太陽観測衛星計画の立ち上げを強くドライブする重要な検討活動である。検討前半に SOLAR-C 当初案にとらわれず太陽研究の科学目的の精査を行い、後半に重点化すべき科学目的の達成に向けた実現方法の検討を進めている。コミュニティから得た white paper 提案33件も科学目的の精査 (明確化や尖鋭化) に大いに役に立っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a CLASP 再飛翔計画～紫外線偏光観測による磁場診断手法確立を目指して～

石川遼子, 久保雅仁, 成影典之, 鹿野良平, 原弘久, 篠田一也, 末松芳法 (国立天文台), 石川真之介 (宇宙科学研究所), 吉田正樹 (総合研究大学院大学), D. McKenzie, K. Kobayashi, L. Rachmeler (NASA/MSFC), F. Auchère (IAS), J. Trujillo Bueno (IAC), CLASP1 & 2 team

太陽物理学の最重要課題である「彩層・コロナ加熱問題」の解明には、太陽表面とコロナの連結領域である彩層・遷移層の磁場情報を得る事が必須である。我々は、紫外線領域の高精度偏光分光観測の可能性に着目し、その実現を目指した観測ロケット実験 CLASP シリーズを推進している。2015年9月の初飛翔 (CLASP1) では、ライマン輝線 (波長 121.6 nm) での偏光分光観測を世界で初めて成功させた。そして、一部の領域ではあるが、ハンレ効果 (磁場によって散乱偏光が変調を受ける効果) が働いている観測的証拠をつかみ、彩層上部遷移層の磁場情報を得る事ができた。その一方で、散乱偏光とハンレ効果をどうやってきりわけするのか、また、偏光をベクトル磁場情報へ焼き直す際にどのようにして解の一意性を担保するのか、という解釈の難しさも明らかとなった。そこで我々が次に着目したのが、波長 280 nm の電離マグネシウム線である。このスペクトル線は、ハンレ効果だけでなく、比較的解釈の容易なゼーマン効果も生じ、より確実にベクトル磁場を導出することができると期待される。我々は、無事帰還した CLASP 観測装置に最小限の改修を施し、このスペクトル線の偏光分光観測を世界に先駆けて実施したいと考えている。NASA の観測ロケットを用い 2019 年の打ち上げを目指しており、2015年7月に NASA へ提案書を提出した。日本は、CLASP1 に引き続き観測装置の開発を主導しているが、これまで複数の競争的研究資金を使って開発を進めており、2017年度よりフライトモデルの開発に着手しようという段階である。本講演では、CLASP2 で挑む科学課題、検討・開発状況、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](#)

M04a SUNRISE-3 気球実験：近赤外線偏光分光装置 SCIP の進展

勝川行雄, 久保雅仁, 原弘久, 末松芳法, 石川遼子, 鹿野良平 (国立天文台), 阿南徹, 永田伸一, 一本潔 (京都大学), Carlos Quintero Noda, 石川真之介, 清水敏文, 大場崇義 (ISAS/JAXA)

太陽彩層で発生する磁気リコネクションや磁気流体波動といった動的現象の偏光分光観測は、今後の太陽観測の中心課題である。そこで、近赤外線偏光分光装置 SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) を SUNRISE-3 国際共同気球実験に搭載し 2020 年に飛翔観測を実施する計画を提案している。光球・彩層の 3 次元磁場構造とその時間変化を定量的に明らかにするため、SCIP で観測するスペクトル線の精査を行い、最適な波長帯として Ca II 854 nm 線と K I 769 nm 線の 2 つの帯域を観測することとした。これらの帯域には、光球から彩層中部までを切れ目なく連続的にカバーできるスペクトル線があり、ゼーマン効果に高い感度を持つスペクトル線の組み合わせにより光球・彩層の 3 次元磁場構造を得る。口径 1m 望遠鏡の回折限界分解能 0.2 秒角で 10 秒間積算することで、彩層磁場観測に必要な 3×10^{-4} (1σ) の偏光測定感度を達成することができる。一方、高解像度・高精度偏光観測のための観測装置の検討を、SCIP を共同開発するドイツ・スペインと共に進めている。過去 2 度の SUNRISE 気球実験ではなされていない近赤外線観測を可能にする光学系の検討をドイツと行い、前置光学系 (ISLiD) として色収差の小さいミラー系に設計変更することにした。高精度偏光分光観測の鍵となるのは、回転波長板、高速読出カメラ、スキャンミラーを同期制御し、カメラ出力データを機上演算処理するシステムである。回転波長板駆動機構とスキャンミラー機構は、SOLAR-C や CLASP ロケット実験で開発してきたものを改良して搭載する。機上演算処理と観測制御システムはスペインと設計を進めている。各国で計画実現のためのミッション提案を行っており、順調にいけば 2017 年度からプロジェクトを開始できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a 多波長帯同時偏光分光観測装置の開発

阿南徹、黄于蔚、仲谷善一、一本潔、上野悟、木村剛一、二宮翔太（京都大学）

スペクトル線によって放射源や物理量に対する感度が違うため、1つのスペクトル線観測では不定な情報も複数のスペクトル線を偏光分光観測することで測定できるようになる。太陽観測では、複数波長帯の偏光分光データを比較することで、視線方向の磁場ベクトルの変化や、空間分解できない磁場の強度や方向分布などを測定できる。さらには、電場や粒子衝突に関する情報を診断できる可能性も生まれる。また、数10秒の時間スケール（～高精度な偏光分光データを1つ得るのに必要な時間）で変化する太陽現象を研究するためには、複数波長帯を同時に取得することも重要である。世界には複数の波長帯を同時に偏光分光観測できる装置として、大西洋カナリア諸島にある THEMIS 望遠鏡の MulTi-Raies (MTR、López Ariste et al. 2000) とアメリカ合衆国にある Dunn Solar Telescope の Spectro-Polarimeter for Infrared and Optical Regions (SPINOR、Socas-Navarro et al. 2006) がある。様々なスペクトル線の組み合わせを試行錯誤し、新たな物理量診断の開拓や将来の衛星望遠鏡で観測するスペクトル線の選定を行うためには膨大な観測時間が必要であるが、他国が運営し観測利用を国際公募する MTR (長期メンテナンス中) や SPINOR (今後閉鎖予定) では観測時間を確保しにくい。そのため私たちは飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に複数の波長帯を同時に偏光分光観測できる装置を開発した。DST には複数の波長帯を同時に分光観測できる水平分光器が設置されている。水平分光器に広い波長帯 (500nm から 1100nm まで) の偏光観測に適した回転波長板と偏光ビームスプリッターを新しく取り付け、複数の大容量高精度カメラと赤外カメラを回転波長板と同期させることで可視光・近赤外における任意の複数の波長帯で同時に偏光分光観測できる装置を開発した。偏光特性を測定する装置も新しく開発し、装置偏光のキャリブレーションも行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06a IBIS – 「ひので」 – IRIS 共同観測による静穏領域フィラメント形成下の磁束 キャンセレーション領域の3次元磁場構造の理解

久保雅仁 (国立天文台)

米国太陽観測所サクラメントピーク天文台のIBIS、「ひので」、IRISの共同観測を2016年6月1日から10日間実施した。反対極性の磁気要素が衝突後に光球から消えてしまう磁束キャンセレーションが観測ターゲットである。IBISによるFe I 617.3nm、Na I D1 589.6nm、Ca II 854.2nmの3つの吸収線における撮像偏光分光観測で、光球・温度最低層・彩層の物理情報を抽出することができる。これに加えて、「ひので」衛星で光球のベクトル磁場情報、IRIS衛星で彩層・遷移層での増光・速度場の情報を取得することで、磁束キャンセレーション領域を3次元的に理解することを目指す。磁束キャンセレーションを引き起こす反対極性の磁気要素へと伸びる小さな暗いフィラメントの端が、磁気要素の回転運動に伴い、引きずり込まれるような振る舞いを示すことをIBISで捉えた。これは、磁束キャンセレーション領域の光球もしくは光球面下でU字型の磁力線構造を持つことを示唆する(2016年秋季年会M12b)。また、静穏領域のダークフィラメント近傍のイベントでは、反対極性の磁気要素の上空を覆う長いフィラメントへと成長し、元々存在するフィラメントに融合していく様子が観測されている。これは、U字型の磁力線で磁気リコネクションが起き、繋ぎ変わった長い磁力線が形成されたと考えられ、活動領域で観測されるEllerman bombを説明するモデルとよく似ている。一方、IRISで観測された彩層・遷移層から放射されるMg II線やSi IV線でわずかな増光は見られるものの、その継続時間は数分程度で、磁束キャンセレーションやフィラメント形成の時間スケールと比べると圧倒的に短い。したがって、磁気リコネクションは、Ellerman bombの様に彩層で起きているわけではなく、より下層の光球や光球面下で発生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](#)

M07a ひので可視光狭帯域フィルター観測によるスピキュール根元のダイナミクス

末松芳法 (国立天文台)

ひので可視光望遠鏡による高空間、高時間分解能により、太陽彩層の至る所にジェット構造が見えることが明らかにされた。これらのジェットは太陽縁ではスピキュールと呼ばれ、光球の強い見かけ上単極の磁束管に根ざしていることは明らかであるが、その形成機構については未解明のままである。多くの理論モデルが提唱されているが、いずれも最終的には彩層で形成されるスローモード衝撃波が、彩層物質をコロナまで持ち上げるために大きな寄与をしている点では一致している。ひので可視光・磁場望遠鏡狭帯域フィルターの Na I D 線、Mg I b 線のドップラーグラムは太陽縁近く、太陽縁で、小さなジェット構造を示す。これらのスペクトル線の形成高度から、これらの小さなジェット構造は光球上部から温度最低層付近で形成されていることを意味しており、彩層ジェットの根元に対応していると考えられる。このことから、彩層ジェットは実際、光球からはじまっていることを意味しており、スローモード衝撃波も光球で形成される必要がある。ひとつの仮説として、強い磁束管周りの下降流が磁束管内に上方に伝播するスローモード波を励起するモデル (磁気ポンピング機構) があり、ひので狭帯域フィルター観測との対応を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a 飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を持つ点状プラズマ塊の統計解析

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

京都大学飛騨天文台の SMART 望遠鏡は 2016 年 4 月末に Solar Dynamics Dopplar Imager (SDDI) が新設され、2016 年 5 月より SDDI で定常観測を開始している。SMART/SDDI は太陽全面を $H\alpha$ 線とそのウィング（最高 $\pm 9.00\text{\AA}$ まで）を 0.25\AA 刻みで観測しており、およそ $\pm 400\text{km/s}$ までの視線方向速度場を検出することができる。

SDDI を用いた観測より、 $\pm 1.25\text{\AA} \sim \pm 2.00\text{\AA}$ の $H\alpha$ 線ウィングで、点状のプラズマ塊の運動が目視での調査で 1 時間当たり平均して 10 例以上見られることを発見した。これは視線方向速度にして $60 \sim 90\text{km/s}$ に相当する。特にウィングのマイナス側のブルーシフトとして見られるものが多く、運動している点状プラズマ塊の 8 割以上を占めていた。この点状プラズマ塊の運動は必ずしも黒点の周辺で見られるわけではなく、静穏領域で見られることも多い。また、さらに高速な成分を持つものもあり、視線方向速度にして 150km/s 程度の運動も 1 日 1 例程度みられた。

本講演ではこの 150km/s 程度の速さを持つ点状プラズマ塊について、マグネトグラムやほかの波長のデータと比較して議論する。また、高速成分を持つプラズマを検出するプログラムについても言及する。このプログラムは高速点状プラズマ塊の運動を捉えるだけでなく、上昇・下降するダークフィラメントの運動の検出にも利用することができ、宇宙天気的面からも役立つであろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09a 飛騨天文台 SMART/SDDI を用いたフィラメント噴出現象の速度場解析

大辻賢一, 関 大吉, 二宮翔太, 石井貴子 (京都大学), 旭 友希 (名古屋大学)

本発表では京都大学飛騨天文台の SMART/SDDI (Solar Dynamic Doppler Imager) で 2016 年 11 月 5 日に観測された静穏フィラメント噴出現象について報告する。このイベントでは、太陽北半球の静穏領域に存在していたフィラメントが不安定化して噴出する様子が地上・衛星観測から捉えられた。SDDI による観測により、 $H\alpha \pm 9\text{\AA}$ の波長域を 0.25\AA の波長分解能、時間分解能 15 秒の撮像データが取得された。このデータにクラウドモデルをあてはめることにより、フィラメントの視線速度場および励起水素原子の個数を見積もった。

その結果、視線速度場からはフィラメントの噴出の 30 分前からフィラメントの振動現象が観測された。振動周期は 15~20 分、波の伝搬速度はフィラメントの足元から上空の方向に 33 km s^{-1} であった。噴出時の最大視線速度成分は $\sim 100\text{ km s}^{-1}$ 程度に達した。一方、フィラメント中の励起水素原子の総量は噴出前 3 時間前から徐々に低下し、噴出開始と同時に急激な減少が見られた。

衛星観測からは、SDO/AIA の 304\AA で噴出後のフィラメントが膨張しながら上昇していく様子が観測された。見かけの移動速度は 60 km s^{-1} 程度であった。一方、SOHO/LASCO の C2/C3 で求めた見かけの移動速度はそれぞれ 290 km s^{-1} 、 460 km s^{-1} であった。これらの観測結果をもとに、SMART/SDDI を宇宙天気予報に用いるうえでの手法や課題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](#)

M10a He I 10830Å 吸収線で見えたフィラメントの磁場の方向の統計的性質

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)

我々は2010年以来、太陽フレア望遠鏡に搭載した赤外マグネトグラフにより He I 10830Å 吸収線他による太陽全面の full Stokes 偏光観測を行っている。我々の観測ではディスク上にあるフィラメントの He I 10830Å 吸収線での偏光を定常的にとらえており、これによりフィラメントの磁場を知ることができる。そこで今回は、蓄積されている多数のフィラメントのデータに基づき、直線偏光からわかるその磁場の方向 (磁場ベクトルは太陽表面に平行と仮定、また 180° 不定性は残る) の統計的性質を調べた。

解析に使用したのは、約6年間の観測の中でおおむね一定間隔に選んだ89日に観測された438個のフィラメントである。これらについて、その平均的な偏光の方向とフィラメントの軸方向の関係を求めたところ、北(南)半球のフィラメントでは磁場の方向が軸に対して時計(反時計)回りに回転している傾向があることがわかった。静穏領域のフィラメントでは89%、活動領域とその周辺のフィラメントでは74%がこの「半球の規則」に合致している。また回転角は10~30°に集中していて、強いシアーを示している。これらの結果は、グローバルな磁場パターンのもとで、ある一定のシアーを持つ磁気中性線上にフィラメントが生成されることを示している。

今回の結果はフィラメントに見られる筋状構造やリム外のプロミネンスの磁場から推定されていた傾向と一致しており、我々の観測はフィラメント磁場の直接測定により「半球の規則」を示しているものとなる。観測される磁場はフィラメントを囲むフラックスロープの底の磁場に対応していると考えられるので、我々の観測で見えている磁場の追跡により、最終的に惑星間空間へ放出されるフラックスロープの、CMEへと発展する磁場進化の過程の最初期をとらえることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11a 熱対流の散逸について

堀田英之(千葉大学)

熱対流の散逸の非一様性について、高解像度計算で調べ、低解像度モデリングへの示唆を得た。これまでの発表者の研究により、高解像度計算では、太陽の熱対流は磁場を非常に良く増幅することがわかった。その結果、太陽で観測されるような理論で考えられるより遅い熱対流を再現できる可能性がある。しかし、この状況を達成するには非常に高い解像度が必要であり、達成が容易ではない。そこで簡単なアイデアとして、磁場のローレンツ力を粘性で置き換えるという手法が考えられている。そのようなアプローチで問題となるのが、乱流の散逸である。太陽の熱対流のような統計的定常にある乱流は、与えられるエネルギーと粘性・磁気拡散によって散逸するエネルギーが等しくなる。つまり、重大な量の熱が定常的に内部エネルギーに加えられているのである。一様乱流では、特別な場所がないので、どこで散逸するかは問題とならないが熱対流のように上昇流と下降流で特徴が違う場合は、散逸領域の場所はその物理的特性に重大な影響を与えうる。そこで、発表者は磁場のない場合、磁場のある場合、磁気プラントル数が小さい場合について、散逸の場所がどのように変わるかを詳しく調べた。結果は、磁場がないときに比べて、磁場のあるときは対流層の底、そして下降流でより散逸が大きくなるということを見出した。低解像度で粘性を利用したモデリングをおこなうときはこのことに注意する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12a 高粘性時の熱対流のエネルギー輸送について

新井祥太, 堀田英之(千葉大学)

熱対流速度が遅いときのエネルギー輸送の振る舞いを調べるために、2次元流体シミュレーションを行った。近年、太陽熱対流シミュレーションで生み出される熱対流の対流速度が速すぎるものが観測・シミュレーションの両方から示唆されている。つまり、現実の太陽ではシミュレーションから予期されるよりもゆっくりとした熱対流が実現されているだろうということである。このような小さな対流速度を持つ熱対流がシミュレーションで実現されない理由として、対流速度の抑制に強く効く小スケールの磁場をつくるダイナモが、低解像度ゆえに実現できていないことが挙げられる。実際、Hotta et al. (2015) は高解像度計算を実行し、小スケールの磁場によるローレンツ力が対流速度を著しく抑えることを示している。さらに、現状では解像度を高くすれば高くするほど対流速度がより抑制されており、現実の太陽ではこの抑制が非常に強いのではないかと考えられる。しかし、対流速度が小さい場合でも、放射層から対流層へのエネルギーのインプットは変わらないため、熱対流が運ばなければならないエネルギーも変わらない。したがって、小さい対流速度で熱対流がどのようにエネルギー輸送を行っているのかを調べていく必要がある。

本研究では、小スケール磁場による対流速度の抑制の効果を粘性で置き換え、粘性を大きくして対流速度を小さくしていった時に、エネルギー輸送がどのように変化していくか調べた。その結果、(1)鉛直方向速度と温度擾乱の間の正の相関が強くなる、(2)温度擾乱が大きくなる、という2つの方法でエネルギー輸送の効率を良くしていることがわかった。この結果が太陽対流層における強い磁場を伴った熱対流で実現されていることを期待している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13a 熱対流が担う上部対流層での磁場の構造形成

政田洋平（愛知教育大学）、佐野孝好（大阪大学）

太陽黒点の特徴の一つに『磁場の収束性』がある。太陽内部のダイナモ生成磁束は、何らかの MHD 過程を経て収束した磁場構造に進化し、黒点として表面に出現すると考えられるが、その物理機構は未解明である。近年、太陽ダイナモのシミュレーション研究で、極性反転をともなう大局的磁場が再現されるようになってきたが (e.g., Ghizaru et al. 2010; Fan & Fang 2014; Hotta et al. 2016), ダイナモ生成磁束に顕著な収束性は無く、ダイナモと黒点形成はまだ直接的にはリンクされていない。表面活動領域のモデリング研究に目を移すと、広がった磁束から収束した磁場構造が自発的に形成される計算例が複数報告されているが、その物理機構に対する理解は不十分である (e.g., Stein & Nordlund 2012; Rempel & Cheung 2014; Käpylä et al. 2016)。

太陽黒点の形成機構を理解するために、我々は太陽型の強密度成層対流中での磁場の非線形進化を調べている。これまでの研究で、強密度成層下では、ダイナモ生成磁束が対流層表面付近で組織化し、収束した磁場構造が形成されることがわかってきた (Masada & Sano 2016)。天文学会 2016 年春季年会では、磁場の構造形成の原因が、乱流パンピングに起因して誘起される新しい不安定性である可能性を指摘した (M29a)。今回我々は、標準太陽モデル (c.f., Christensen-Dalsgaard et al. 1996) を使って、現実の太陽における乱流パンピング不安定性の 3 次元非線形進化を調べた。その結果、この不安定性に起因して、太陽表層に $\mathcal{O}(10^4)$ km の空間スケールと $\mathcal{O}(10^3)$ G の強度を持つ収束した磁場構造が形成されることがわかった。本講演では、不安定性のメカニズムや、磁場構造と対流パターン（粒状斑・超粒状斑）との関係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](#)

M14a 「ひので」観測 10 年：最強の黒点磁場

岡本文典, 桜井隆 (国立天文台)

太陽観測衛星「ひので」は打ち上げから 10 年が経過した。その間に撮られた膨大な量の観測データを総動員し、統計的研究を推進するには良い時期であると言える。

そこで我々は、「ひので」可視光望遠鏡の偏光分光器 (SOT/SP) が取得した全黒点データを用い、各黒点における最強磁場について、その強度や空間分布などについて調べた。その結果について、2 回に分けて報告する。

今回紹介するのは、観測された中で最も強い磁場強度を持つ黒点についてである。これは 2014 年 2 月 1 日から 6 日にかけて観測を行った活動領域 11967 で、約 3 時間おきのラスタースキャンを 31 セット得た。ここで注目すべきは、異なる極性を持つ 2 つの暗部の間に位置する明るい構造である。Milne-Eddington インバージョンを用いたベクトル磁場導出の結果、一番強い値は 6,251 G、そして太陽面にほぼ平行な水平磁場であった。この明るい構造の広域は 4,000 G 以上の磁場で占められ、5,000 G を超える水平磁場もほぼ 5 日間継続して存在する一方、黒点の暗部中心の最大磁場強度は 4,300 G 程度であり、1,000 G 以上の開きがある。

極性の異なる暗部間での強磁場形成のメカニズムについて、水平磁場強度とその向き、磁場の傾斜角、視線方向速度の空間分布と時間変化を総合的に検討し、次の結論を得るに至った。(1) 2 つの暗部の間で、それぞれが半暗部を形成するために競合している。(2) それに勝った側が相手の暗部境界まで半暗部を伸ばす。(3) エバーシェット流が相手のガスや磁場を押しつけて圧縮しつつ、暗部境界で下降流に転じる。この結果として、相手側の暗部境界付近で磁場が強められる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M15a 表面对流による水平方向磁場輸送における3次元性と磁場の影響評価

飯田佑輔 (関西学院大学), 堀田英之 (千葉大学)

太陽大気活動の周期性を理解するには、その起因となる表面磁場の周期性を理解することが基本的な重要課題となる。これまでの研究により、表面における磁場輸送は、表面磁束輸送ダイナモモデルとしてモデル化される。ここでは子午面還流と対流の2つの流れ場により、磁場の輸送される。対流による輸送は、Leighton(1965)により拡散項として取り入れられてきたが、第一原理から求められたものではない。一方で、高空間分解能観測データを用いた磁極追跡の結果からは、単純な古典拡散項ではなく超拡散の性質が多くの論文で確認されている (Lawrence et al., 2001; Abramenko et al., 2011; Gianattasio et al., 2014)。Iida (2016) では、解析の時間スケールを延ばすことで、超拡散はさらに大スケールで準拡散へその性質を変えることを見いだした。さらにその空間スケールから、ネットワーク磁場構造の磁場せき止め効果がグローバルな磁場輸送に大きな影響を持っているのではないかと考察した。しかし、そのような磁場集積構造が、グローバルな水平輸送にどれほど影響を持つかは明らかでない。

本研究では、磁場有り/無しの3次元熱対流数値シミュレーションにおいて、ラグランジュ粒子を水平方向/3次元に移流し、その輸送を調べた。それぞれの場合で異なったラグランジュ粒子の集積の様子が見られた。2次元よりも3次元移流を行った場合の方が、集積はより Diffuse となった。これは、鉛直方向の輸送によって、集積しにくくなることが考えられる。一方で、磁場が有る場合は無い場合に比べて、集積場所の長さが大きくなる様子が見られた。これは、磁場により流れ場がせき止められ、集積効果が上がっていることが考えられる。今回の数値シミュレーションでは、どのケースにおいてもグローバルに準拡散の性質を持ち、磁場集積構造はグローバルな磁場輸送に大きな影響を持ち得ることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16a デコンボリューション解析による光球における対流速度場の3次元構造の取得

大場崇義 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構), T.L. Riethmüller, S. K. Solanki (マックス・プランク研究所), 飯田佑輔 (関西学院大学), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

太陽表面層と定義される光球は、「粒状斑」と呼ばれる $1''$ 程度の大きさをもつ明るい無数の粒状構造と、その周囲を取り囲む暗い「間隙」で覆われている。これらは対流運動によって形成され、対流層から上昇してきた熱いガスが明るい粒構造を成し、やがて放射によって低温化することで周辺の間隙へと沈み込んでいくプロセスとして理解されている。Hurlburt et al. 1984 は、数値計算から、ガスの質量保存が速度場へ制限を加えるために間隙で強い下降流が生じることを指摘した。近年の数値計算結果においても、上昇流よりも高速な下降流を再現している。一方、高解像の光球観測から得られた結果は、下降流よりも上昇流の方が高速である (Yu et al. 2011)。我々は、これら理論計算と観測結果の不一致が生じる原因について、観測装置の結像性能 (点広がり関数 PSF) が影響している可能性があると考えた。そこで本研究では、上記の影響を取り除く画像回復 (デコンボリューション) 手法を提案し、高空間・高精度観測を実施している *Hinode*/SP を用いて光球の対流速度場を取得した (画像回復手法を検証した結果については別講演にて報告したい)。元のスペクトルデータにおいて高速な上昇流 (最大振幅: -2 km/s, $+1.5$ km/s) を示したのに対し、画像回復手法を適用したスペクトルからは、下降流が大幅に増幅されたことで上昇・下降流ともに同程度の値 (最大振幅: ± 3 km/s) を得ることができた。下降流が大きく増加した理由であるが、間隙周辺に分布している明るい粒状斑から放射された強い上昇流シグナルが寄与し、観測される際には下降流シグナルが大きくキャンセルされていたことが考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17a 局所的日震学による高周波音波の生成領域の探査

神原永昌、関井隆 (総合研究大学院大学/国立天文台)

太陽における音波の生成・伝播・減衰などを理解することは、内部構造診断のために必要な音波振動のパワースペクトルの精密なモデリングに重要である。また、音波生成領域を調べることは、太陽表面付近の乱流的対流の観測的研究の一環でもある。その他、遮断周波数を越える音波は上空に伝わるので、彩層の構造探査にも役立つ。波源の深さはグローバルな日震学から、およそ 400 km(Kumar and Lu 1991) などと報告されているが、詳細にはわかっていない。そこで今回、太陽表面の 2 点間を伝わる音波の伝播時間と伝播距離との関係を示す時間距離相関関数に、遮断周波数を越える周波数領域で二重リッジ構造が現れることに注目した。この現象は Jefferies et al. (1997) により地上観測で発見され、太陽観測衛星 SDO/HMI による観測からも確認出来る (2016 春季年会 M20a)。これは、反射率が高い低周波成分 (subcritical wave) と、反射率が低い高周波成分とが干渉を起こしているのではないかと Sekii et al. (2005) は指摘した。しかし、彼らはリッジ構造の詳細までは説明していない。われわれは、音波の反射率や波源の深さを適当に仮定して、波源から上方向に伝播しそのまま上空に抜けていく波、および波源から下方向に伝播し、太陽内部を屈折しながら伝わって光球へ戻ってから上空に抜けていく波の干渉を考えると、二重リッジ構造がよく説明できることを確かめた。これは、波源が光球より下にあると、時間距離相関関数上で相関が強くなる時間 (伝播時間として測定される) が両方で異なるためである。波源の深さが伝播時間にして数秒変化するだけで、相関関数の干渉パターンが大きく変化することを利用して、観測で現れる二重リッジ構造からどのように反射率や波源の深さに制限をつけられるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M18b 正則化 RL 法を用いた *Hinode*/SP の光球大気の画像回復手法の開発

大場崇義 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構), T.L. Riethmüller, S. K. Solanki (マックス・プランク研究所), 飯田佑輔 (関西学院大学), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

近年では大口径望遠鏡による宇宙空間からの衛星観測が可能になったことで、太陽大気の微細構造を診断できるようになった。しかしながら解像度を低下させる要因として、大気ゆらぎだけでなく、望遠鏡装置の結像性能 (点広がり関数 PSF) も考える必要がある。Danilovic et al. 2008 は、*Hinode*/SP における上記の影響について解析し、およそ2倍のコントラスト差が生じることを指摘した。PSF の補正を行うことで元の観測像を取り出すデコンボリューション手法は、いくつか提案されている。太陽分野においてリチャードソン-ルーシー (RL) 法と呼ばれる繰り返し演算による画像回復手法が用いられているが、解が収束性を持たずノイズを増大させる問題を抱えていた。そこで本研究では、ノイズの増幅を抑える正則化項を導入することで、復元精度の高い画像回復手法を開発することを目指し、数値計算で生成した模擬画像を用いて手法検証を行った。具体的には、数値大気計算コード (MURaM) で光球大気を再現したのちにスペクトル計算コード (SPINOR) を用いることで、計算大気から観測される「元画像」を取得する; 得られた「元画像」を、*Hinode*/SP の光路設計に基づいた PSF で劣化させ、さらにノイズを加えて「模擬画像」を生成する。「模擬画像」に本手法を適用することで、「元画像」がどれだけ回復可能かを解析した。その結果、「元画像」・「模擬画像」間での放射強度差の分布が15%の標準偏差を示していたのに対し、正則化 RL 法によって3%以下の精度まで画像復元できることを確認した。また、ノイズの増幅を優位に抑えられたことから、課題であった収束性についても正則化 RL 法は達成することができた。なお、本手法を観測データに適用した成果については別講演にて報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M19b CLASPで観測されたSi III・O V輝線の散乱偏光とそのCenter-to-Limb Variation

勝川行雄, 石川遼子, 鹿野良平, 久保雅仁, 成影典之, 坂東貴政, 原弘久, 末松芳法 (国立天文台), 後藤基氏 (核融合研), 石川真之介, 清水敏文, 常田佐久 (ISAS/JAXA), G. Giono (総研大), J. Trujillo Bueno (IAC), R. Manso Sainz (MPS), J. Stepan (ASU), F. Auchere (IAS), A. Winebarger, K. Kobayashi (MSFC)

CLASP(Chomospheric Lyman-Alpha SpectroPolarimeter) ロケット実験では、紫外線域の Ly α 121.57 nm 輝線以外にも、彩層・遷移層から放射される Si III 120.65 nm と O V 121.83 nm の輝線が観測できている。CLASP の高い偏光測定精度によって、暗いスペクトル線にも関わらず偏光がとらえられている。いずれのスペクトル線でも、スリットに沿って太陽のディスク中心側から縁(リム)にかけて偏光が変化する Center-to-Limb Variation (CLV) が見られる。特に、Si III 輝線 ($^1P_1 \rightarrow ^1S_0$) では、リムに近づくにつれてリムに垂直な直線偏光が増加する傾向が明らかで、その偏光度はリム近くで4%ほどであった。これは Ly α 輝線のウィングで見られる CLV とよく似た傾向である。O V 線 ($^3P_1 \rightarrow ^1S_0$) は禁制線(異重項間遷移線)であるため、Si III 輝線と比較してもさらに暗く、また Si III 輝線より顕著なリム増光が見えるため光学的に薄い線であると言える。O V 線は Ly α 線の広がったウィングにのっているため、ウィングを差し引いて O V 線起因の偏光度を求めると、リム近傍で約2%程度(誤差 $1\sigma = 0.4\%$)で、他の輝線と同様にリムに垂直な直線偏光を示すことが分かった。リムに垂直な直線偏光は、彩層・遷移層の薄いライン形成層中を光が通過し複数回散乱されるとき、鉛直方向の輻射場の寄与はほとんどなく、水平方向の輻射場が卓越する状況で発生する散乱偏光で説明できる。散乱偏光の CLV は、彩層・遷移層におけるライン形成層の光学的厚さや密度に依存するため、これらに制限を与えることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20b フィラメント消失前後の磁場構造の比較

海宝孝祐, 野澤恵 (茨城大学), 阿南徹 (京都大学), 塩田大幸 (名古屋大学)

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

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

我々は 2016 年 4 月 18 日 23 時 UT の活動領域 NOAA 12532 付近で, 1 時間後から 5 時間後にかけて消失するフィラメントの磁場, 消失前後の彩層・光球磁場の観測に成功した。光球のスペクトル線 Si I 10827 Å に Milne - Eddington 大気モデルを適用することにより, 光球における磁場を導出し, さらに彩層のスペクトル線 He I 10830 Å triplet のインバージョンコード HAZEL を用いて, 彩層及びフィラメントにおける磁場を導出した。本公演ではフィラメントの維持メカニズムを明らかにするために, 光球・彩層磁場によるコロナ磁場の外挿手法を用いて, フィラメントを維持できていたときの磁場構造と, 維持できなくなったときの磁場構造を比較し議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21c マイクロレンズ面分光装置による He I 1083 nm 線の観測

末松芳法 (国立天文台), 上野悟 (京都大学)

マイクロレンズアレイを用いた太陽用 2 次元面分光装置の開発を京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡水平分光器にて行っている。太陽で起こるジェット現象やフレアを始めとするダイナミック現象を的確に捉え、現象の正確な物理量を導出するためには、2 次元同時分光を行う必要がある。面分光を実現する方法にはいずれも一長一短があるが、マイクロレンズアレイを用いる手法は、既存の望遠鏡・分光器を利用して簡単に面分光観測が実現できる利点があり、今回、これまで用いた H α 線用のフィルターを He I 1083 nm 線用の 1.5 nm 幅ブロックフィルターに交換して、2016 年 7 月 28 日、29 日に 2 次元分光観測を実施した。観測領域は小さな黒点と太陽縁のプロミネンスで、視野約 10 秒角、時間分解能約 2.5 秒である。観測波長域には Si I 1082.7 nm 光球線や地球大気水蒸気の吸収線があり、波長同定に使える。スペクトル線の解析法、黒点、太陽縁での 2 次元単色像の作成方法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22c 太陽彩層の2次元高速分光観測

當村一朗 (大阪府大高専), 上野悟, 一本潔 (京都大学飛騨天文台)

太陽彩層における活動現象の時間スケールは、フレアがそうであるように最短で数秒ないしそれ以下である。したがって、それらを観測する際の時間分解能は少なくとも1秒程度が必要となる。我々は、京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡と水平分光器、イメージシフター、および高速度カメラを用いた彩層の2次元高速分光観測の研究を進めてきた。

2016年10月19日および20日(JST)に、今までのUSB3.0カメラの代わりにGig-Eカメラを用いることでフレームレート(今回の観測では124fps)をほぼ完全に安定させ、かつ補償光学系のチップチルト鏡により像のジッターを抑制した状態で、H線による2次元分光観測を行った。カメラの画素数は644 × 484ピクセル、ビット深さは12bitである。観測の結果、スリット方向108arcsec × スキャン方向70arcsecの領域を2秒ケーデンスで、同じく108arcsec × 140arcsecの領域を3.3秒ケーデンスで、最短約10分間から最長約60分間にわたり安定して連続観測することに成功した。

今回の観測ではフレアのような顕著なアクティビティには遭遇できなかったが、活動領域NOAA12602におけるブライトニングや、黒点を持たないプラージュ領域の時間変動などを捉えることができた。年会ではそ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](#)

M23b NOAA 活動領域 11692 における光球磁場構造の解析

土井崇史 (東京大学), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

太陽フレアは太陽大気中で起こる爆発現象であり、黒点近傍の磁場に蓄えられた自由エネルギーが突発的に解放されることにより起こる。大規模フレア発生前には、軟 X 線で観測される S 字型または逆 S 字型のコロナループ (シグモイド) が観測されることがある。これはコロナ磁場中にねじれた磁束ロープが形成されていることを示唆し、自由エネルギーが蓄積され大規模フレア発生の可能性が推察される。

本研究が対象とする活動領域 NOAA11692 では、2013/3/15 6:58(UT) に M1.1 クラスのフレアが発生した。光球表面では、大規模フレア発生領域ではよく見られる複雑なデルタ型黒点ではなく、一対の N・S 極からなる単純な双極磁場構造が形成されている。一方、コロナでは典型的なシグモイド構造がフレア発生前に形成されるが、シグモイド構造形成を促進する浮上磁場の存在や磁場の光球面運動 (磁気中性線へのコンバージングやシア運動) は確認できない。他にシグモイド構造形成に寄与するものとして、黒点磁場のねじれが考えられる。黒点磁場のねじれの空間分布を確認するには高精度なベクトル光球磁場データや速度場データを解析する必要がある。

本研究は、「ひので」衛星可視光望遠鏡のスペクトロポリメータが精密計測した空間分解能 0.3 のベクトル光球磁場データを用いて、M クラスフレア発生前後のコロナループ足元近傍のねじれパラメータとして、フォースフリー磁場係数の空間分布を調べ、上記のシグモイド構造形成可能性を検討した。その他、観測された磁場ベクトルとポテンシャル磁場との方位角・仰角の差 (twist shear 角・dip shear 角) を、コロナループの足元近傍において算出した。シグモイドの足元付近の領域について、dip shear の空間平均は約 9° (フレア発生 18 時間前) から約 1° (フレア発生 15 時間後) へ減少する傾向が得られた。これは磁気エネルギーの解放を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M24b 太陽フレア活動と磁場の捻じれとの相関に関する統計解析

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

太陽表面における突発的な磁気エネルギーの解放現象である太陽フレアは地球電磁気環境を大きく乱し、様々な社会影響も与える。このため、フレアの発生予測は宇宙天気予報にとって重要である。しかし、太陽フレアの発生機構は十分に解明されていないため、フレア発生の正確な予測は未だ実現できていない。一方、これまでの研究によって、活動領域の大きさや磁束量、磁気中性線上での磁気シアや磁場勾配などがフレア発生と一定の関係を持つことが示唆されている。また、最近、Kusano et al. (2012) は、磁気中性線近傍における強く捻じれた磁場中に現れる小規模磁場の磁気リコネクションがフレア発生のトリガとなることを示した。さらに、Ishiguro & Kusano (2016年春季大会 M25a, submitted to ApJ) は磁場の捻じれ (magnetic twist) がフレアとコロナ質量放出の原因となり得る不安定性の臨界状態を与える可能性を指摘した。

本研究では、こうした研究成果に基づいて、様々な活動領域の光球面磁場データに関する統計解析からフレア発生に関係した新たなパラメタを導出することを目的としている。本研究では、Solar Dynamics Observatory (SDO)/ Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) が観測した2012年から2016年までの活動領域のうち黒点面積が大きな294領域に対し、SDO/HMIの磁場データを使って各活動領域の様々な磁場パラメタと各領域で発生したフレアの総フラックスとの相関解析を行った。特に、磁場の捻じれに関係した磁場パラメタに注目した解析の初期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](#)

M25b 太陽フレア予報の評価

久保勇樹, 田光江 (情報通信研究機構)

宇宙天気予報は、太陽フレアや地磁気嵐など太陽地球システムの変動と、その社会インフラへの影響を予報することを目的としている。情報通信研究機構 (NICT) では、宇宙天気予報の発信を業務として 365 日休むことなく行っており、現在の形の宇宙天気予報が始まった 1992 年以降、多数の予報データが蓄積されている。

予報は、それがどのような特徴をもっているのかといった情報と共に利用されることで、初めて有用な情報となる。そのため、発信された予報の精度や特徴を評価することは重要な研究課題の一つである。気象予報分野では、予報評価研究は 1884 年に発表されたトルネード予報の評価に端を発し非常に長い歴史を持っているが、宇宙天気予報に関する評価研究はまだ始まったばかりであり、今後活発に進められるべき課題である。

本講演では NICT で発信している太陽フレア予報の評価研究について発表する。前回の発表では、2000 年～2015 年の 16 年間のカテゴリ予報データを用いた太陽フレア予報の評価手法について紹介した。しかし、太陽フレアの様はその発生頻度が太陽活動に顕著に依存する現象では、発生頻度が異なる時期のデータを同一に扱うと、誤った評価をしてしまう可能性があることが知られている。そのため、16 年間のデータを太陽活動レベルが概ね一定と考えられる 4 つの期間に分割し、各期間ごとの予報評価を行った。

その結果、観測データ等からフレアの発生の有無を判断する技術は、2000 年代前半に比べて若干ではあるが向上してきているように思われるという結果が得られた。本講演ではこの評価手法と結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26b 活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発3

塩田大幸 (名古屋大学), 井上諭 (Max Planck Institute), 山本哲也, 水野雄太, 草野完也, 増田智 (名古屋大学)

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

名古屋大学宇宙地球環境研究所では、前身の太陽地球環境研究所時代の2012年より活動領域のNLFFFを計算する磁場モデルの開発を行ってきた。このモデルは、Inoue et al. (2014) によるデカルト座標NLFFFコードをベースとした球座標NLFFFコードである (山本ら 2012年秋季年会 M07b、塩田ら 2013年秋季年会 M20b)。

2016年度に新たに導入された研究所の新計算機システム (CIDAS システム) を利用して、多くの太陽研究者がこのコードを利用して容易にNLFFFを計算できる環境を構築し、2016年11月より公開を開始した。このシステムでは、解析を行う研究者が自ら180度不定性の除去を行ったひので/SPおよびSDO/HMI SHARPシリーズのベクトル磁場観測データを入力として、ポテンシャル磁場・NLFFFの計算を行うことができる。2016年11月28日-12月1日に名古屋大学で開催された太陽フレアデータ解析ワークショップでは、参加者にコード利用方法の講習を行い、観測データと合わせた総合的な解析に利用してもらった。本講演では、公開を開始したコードの計算結果とそれを用いたコード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](#)

M27b 3次元リコネクション領域におけるプラズモイドの自発的構造形成

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

磁気リコネクションは太陽フレアにおけるエネルギー変換過程だと考えられている。しかし、磁気流体力学 (MHD) 近似を用いたリコネクション理論によるとエネルギー変換速度は観測に比べてはるかに低い。この「リコネクションの高速化問題」を解決する理論として我々は近年の研究でプラズモイドの発生に伴って今まで現れると考えられていなかった Petschek 型の拡散領域構造が形成し、高速化をもたらすというモデルを提案した (Shibayama et al. 2015)。しかし、これを含め今までの研究のほとんどは2次元空間での数値実験や理論に基づいており、現実の3次元に比べて対称性が良いため考慮に入れられていない不安定モードが存在する。プラズモイド不安定性においては再結合する磁力線成分と直行する波数成分を持つ斜めモードの不安定性が2次元では再現できない。斜めモードは2次元モードに比べて高い成長率を持つ場合があり (Baarlad et al. 2012)、その場合系の中で卓越すると考えられる。よって今まで研究されてきた2次元空間での理論が3次元空間に直接適用可能かは自明ではない。一方で、太陽フレアの観測でプラズモイドらしき構造が観測されることがあるが観測されるような大スケールのプラズモイド構造は2次元構造として観測されることが多い。

我々は理化学研究所の京コンピュータ及び名古屋大学の FX100 において大規模 MHD 数値実験を行うことで3次元プラズモイドの成長とそれらの相互作用に関する研究を行った。その結果、斜めモードの3次元プラズモイド構造の成長が確認され、それらが衝突やリコネクションによって構造を変化させる様子が見られた。結果としてできる中スケールの構造は比較的2次元であり、小スケールで成長する3次元構造が相互作用によって大局的な2次元構造を作る物理過程があると考えられる。本発表では研究の初期成果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28b 高速リコネクションと電気抵抗モデルの関係に関するシミュレーション研究

與那覇公泰、柴山拓也、草野完也（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

太陽フレアは太陽系でもっとも激しい爆発現象であり、コロナ磁場のつなぎ替え（磁気リコネクション）を通して、磁気エネルギーが熱や運動エネルギーに変換される過程であると考えられている。しかし、磁気リコネクション率は古典的な定常リコネクションモデル（Sweet-Parker モデル）から予想されるものよりもはるかに速いことが観測により確かめられている。このリコネクションの高速化機構の詳細は未解明であるが、リコネクションが生じる薄い電流層における2流体効果や運動論的不安定性による異常抵抗がリコネクションを高速化するとするモデルと、電流層のMHD不安定性によって形成される磁気島（プラズモイド）の運動がリコネクションを高速化するというモデルが提案されている。

本研究ではこの異常抵抗モデルとプラズモイドモデルの関係を明らかにするため、精密な2次元抵抗性MHDシミュレーションを実施し、電気抵抗の空間分布とリコネクションの高速化機構の関係を調べた。その結果、一様な抵抗ではShibayama et al. (2015)が見出したプラズモイドの運動による動的なペテック型リコネクションでリコネクションが高速化する一方、十分大きな異常抵抗を空間的に局所化すると定常ペテック型リコネクションが発生することを再確認した。さらに、その中間領域では定常ペテック型リコネクションが不安定化する領域があることを見出した。この結果に基づいて定常ペテック型リコネクションから動的ペテック型リコネクションに遷移する過程について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M29b 正十二面体分割三角格子による太陽風定常解を取り入れた解適合格子 MHD シミュレーション

小川智也（北里大学）、田光江（情報通信研究機構）、田中高史（九州大学、情報通信研究機構）、山下和之（山梨大学）

コロナ質量放出による衝撃波や、高速太陽風と低速太陽風の相互作用によって生じる共回転相互作用領域が地球に到達すると地磁気擾乱の原因となるため、それらを予測することが宇宙天気予報の観点から求められている。高精度の予測のため、数値シミュレーションによる太陽風構造の正確な再現が重要となる。

我々は、正十二面体分割三角格子を用いたシミュレーションの結果を解適合格子を用いたシミュレーションにつなぐ方法により、太陽風 MHD シミュレーションを実行した。正十二面体分割三角格子は、正十二面体を構成する五角形をそれぞれ5つの三角形に分割し、必要に応じてそれぞれの三角形をさらに4つの三角形に分割していくことで作られる格子である。これを半径方向に積み重ねていくと三次元格子が得られる。極座標格子と違って緯度経度依存性と特異点がないことが特徴であり、球対称的な問題を扱うのに適している。解適合格子は、高分解能が必要な領域にだけ微細な格子を張り、物理的構造の変化に合わせて格子構造も変化させていく動的格子である。分解能を維持しつつ、衝撃波などの構造を追う計算を効率的に実行できる。まず、太陽の自転とともに回転する系で正十二面体分割格子を用いた MHD シミュレーションを実行し、Wilcox 太陽観測所の光球面視線方向磁場の観測データに基づく定常太陽風を得る。次に、得られた太陽風を慣性系に移し、それを初期条件および内側境界条件として解適合デカルト格子を用いた MHD シミュレーションにつなぐ。これにより、太陽から遠ざかっても空間分解能を維持できる。本発表では、シミュレーション手法について解説し、幾つかの結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 太陽周期活動予測のための太陽表面速度の解析

藤山雅士, 今田晋亮, 飯島陽久, 町田忍 (名古屋大学)

太陽は約 11 年周期で活動の大きさが変動することが知られており、極大期、極小期を繰り返している。それに伴い人工衛星の故障や、通信障害を引き起こす要因となるフレアや CME の回数も変化する。そして、周期毎の活動の強さや周期の長さが異なることが過去の長期に渡る観測によって報告されている。そのため、長期的な宇宙開発計画のためには、太陽活動周期の予測が必要不可欠となる。太陽活動極小期において、極磁場の強さと次サイクルの太陽活動度には強い相関があることが知られており、現在の太陽活動極小期の極磁場を知る事は次期太陽サイクルを予測するのに有用である。より早く次サイクル予測を行うことを目的とし、極磁場を予測することを考える。そのために、表面磁束輸送モデル計算が有用である。その数値計算のためには様々なパラメータが必要となるが、本研究では差動回転、子午面循環流という 2 つの動きに着目する。太陽観測衛星 SDO/HMI と Hinode/SOT による磁場観測データを用いて、2 つの異なる方法 (Local Correlation Tracking (LCT)、Magnetic Element Tracking (MET)) でパラメータを算出するモジュールを開発し、実際のデータ解析に用いた。2010 年から 2015 年までの LCT による解析により、黒点出現領域に合わせて差動回転の速さが変化する傾向が見られた。これは先行研究 (Komm et al., 1993) の結果とよく一致する。また、子午面循環流に関して、極から赤道側への流れである counter cell が検出された。特に、Hinode の磁場観測データの解析によって、counter cell がかなり高緯度まで存在することが確認された。太陽周期活動に伴う自転速度、子午面循環流の変化について考察し、MET で検出した磁気要素の大きさや磁束量と速度の関係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](#)

M31a 太陽表面磁束輸送モデルによる次期太陽周期活動度予測について

飯島陽久, 今田晋亮 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学), 塩田大幸, 草野完也 (名古屋大学)

次期太陽周期における活動度の予測は、地球を取り巻く宇宙天気環境の変動を数年単位で予測する上で不可欠な課題である。現在最も成功している手法の一つが、太陽活動極小期における極磁場が次期太陽周期の振幅と非常に良い相関を持つことを利用する方法である。この相関は過去百年単位で経験的に成り立つことが確認されており、極大期から5-6年程度前もって活動度を予測することが可能になる。近年、太陽表面で観測される動径方向磁場の水平輸送を記述するモデルである表面磁束輸送モデルを用いて太陽活動極小期における極磁場を予測してやることで、更に数年前もって活動度を予測しようという試みが Hathaway & Upton (2016) や Cameron et al. (2016) によりなされている。彼らは今後浮上する活動領域を経験的にモデル化した上で、極磁場の強度を計算しているが、モデリングには任意性が強く、予測結果に大きな影響を与える可能性がある。

これを踏まえ、我々は表面磁場輸送モデルを用いた極磁場予測に対する浮上磁場項の影響を明らかにするため、観測データに基づく表面磁束輸送モデルの各スナップショットから、それ以降に浮上磁場が出現しない仮想的な設定で予測計算を実施した。その結果、サイクル中盤までは、新たな浮上磁場が存在しないと極磁場は数年の時間スケールで前極小期の値に近づいていくことが分かった。一方で、極小期の約4年前からは、新たな浮上磁場が存在せずとも極磁場が前極小期の値に戻ることはなくなった。これは、極磁場に寄与するのは赤道付近に浮上するサイクル後期の活動領域のみで、大部分の活動領域は十分高緯度に存在するために極磁場の反転にはほぼ寄与しないことを反映していると解釈出来る。さらに、2016年10月末までに得られる磁場データを用いて予測計算を行ったところ、次期サイクルの活動度は今サイクルと同じか少し弱い程度であるという予測結果を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M32a 京大・理・附属天文台による CaII K 太陽全面像の長期観測事業のまとめと今後の展望

坂上峻仁, 河瀬哲弥, 野津翔太, 野津湧太, 上野悟, 浅井歩, 津田敏隆 (京都大学), 柴山拓也 (名古屋大学), 北井礼三郎 (佛教大学)

太陽全面像の長期的な観測は、黒点数の 11 年周期の発見 (Schwabe 1843) を始めとして、太陽物理学に重要な進展をもたらしてきた。特に太陽の磁気活動に周期性が見られることは、太陽磁場生成機構の研究 (e.g., Hotta et al. 2016) や太陽地球環境の研究 (e.g., Ermolli et al. 2013) にとって大きな動機づけとなっている。

こうした研究に資する基礎的データとして、我々は京大・理・附属天文台の長期観測 (1928–1969 年) によって得られた CaII K 線 (393.4nm) 乾板スペクトロヘリオグラムのデジタル化・公開作業を進めてきた。CaII K 線は太陽大気下層の彩層で形成されるフラウンホーファー線で、紫外線放射強度の長周期変動 (cf. Solanki et al. 2013) のプロキシとして注目されているほか (cf. 太陽地球圏環境予測 PSTEP, 京大生存研・生存圏ミッション研究) その放射輝度の磁場強度依存性を活かして太陽の磁気活動の指標にもされている (Pevtsov et al. 2016)。

この事業は、1. 乾板データのスキャン、2. データのフラット処理、3. 定量的解析に必要な情報の整備 (FITS 形式データの作成) 4. IUGONET のメタデータ・データベースへの登録、の 4 工程から成る。このうち乾板データのフラット処理においては、浦和西高校の坂江教諭の協力のもと、CaII K 線の周縁減光曲線のデジタルデータを作成し、スキャンされた太陽像の静穏領域のプロファイルがその曲線に従うように処理を行った。本講演では、公開するデータのクオリティを保証することを目的に、上記各工程について言及し、定量的解析の初期成果を示すことで、データの科学的価値を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a International Sunspot Number の改訂と東京天文台・国立天文台の黒点相対数

桜井隆 (国立天文台), 藤森賢一

黒点相対数 Sunspot Relative Number: $R = k(10g + f)$ (g は群数, f は黒点の総数, k は望遠鏡の大きさや観測者の個人差を補正する係数) は, 1700 年から現在まで続く, 約 300 年にわたる太陽活動の重要な指標である。一方, 眼視観測による個人差や群分けに主観が入る余地があるなど問題点も指摘されていた。黒点相対数は 1980 年まではスイスのチューリヒ天文台, 1981 年以降はブリュッセルのベルギー王立天文台・黒点指数データセンター (<http://www.sidc.be/silso/>) が決定している。

2015 年 7 月に黒点相対数の大幅改訂 (新規の観測値だけでなく, 過去のデータに遡っての改訂) がなされた。名称も International Sunspot Number が推奨された (日本語としては「国際黒点指数」が適当か)。これを機に, 三鷹の黒点観測 (東京天文台, 国立天文台) に対する k の値の見直しを行ったので報告する。また, 1998 年に国立天文台の観測は, 観測者によるスケッチ観測から CCD 観測に移行し, k 値の比較もなされた (宮下他, 1999) が, 最近の観測値と国際黒点指数とのずれが大きくなってきたため, 1964 年から現在まで継続して同一装置で観測している藤森のデータも参照し, k 値の改訂を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M34a 彩層伝播アルヴェーン波の非線形相互作用による境界透過率への寄与

河野隼也, 横山央明 (東京大学)

太陽彩層およびコロナの加熱機構として、光球表面下の対流運動により励起される磁気流体波動による上空へのエネルギー輸送と散逸の説が提唱されている。特にアルヴェーン波は彩層上部、さらにコロナ上空の太陽風加速領域まで伝播すると考えられている。しかしその伝播と散逸過程は完全には理解されていない。彩層における波の伝播と散逸を調べることは、光球から外層コロナへと抜けていくエネルギー流束を見積もる上で重要である。彩層では強い成層により波の非線形性が大きく、磁気圧勾配による圧縮波の励起と衝撃波形成による散逸が加熱機構の1つとして考えられている。しかしこれまでの1次元数値計算による研究では、波の圧縮性が彩層境界における透過率に与える影響については詳しく調べられていない。

本研究では、対流層からコロナまで及び、鉛直方向に開いた磁束管において、光球表面から励起されるアルヴェーン波の彩層境界での反射率を1.5次元MHD数値シミュレーションにより議論する。これまでに我々は単一アルヴェーン波パルスの伝播を調べたが、今回の研究では光球表面において連続的に磁力線を揺らすことによりアルヴェーン波を励起し、その伝播について調べる。数値計算の結果、光球表面から上方伝播するアルヴェーン波は、遷移層からの反射波との非線形相互作用を通して、より高周波数成分へのカスケードを生じる。したがって遷移層における反射率が下がり、波はコロナへより透過しやすくなることが明らかとなった。また彩層中を下方伝播する波の大部分は光球表面から対流層へと透過する。彩層境界における波の透過を考慮に入れた上で、彩層加熱に寄与する波のエネルギ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](#)

M35a MHD シミュレーションを利用した太陽風速度モデルの再現性の評価

石田敏洋, 塩田大幸 (名大宇宙地球環境研究所), 鈴木建 (東大総合文化研究科), 藤木謙一, 草野完也 (名大宇宙地球環境研究所)

太陽コロナの加熱と太陽風の加速メカニズムは太陽物理学の最重要課題である。宇宙天気予報の分野では、太陽の磁場観測データから経験的に知られている関係を利用して太陽風速度を与えるモデルと組み合わせた MHD シミュレーションが用いられている。例えば、Shiota et al. [2014] では代表的な速度モデルである Wang-Sheeley (WS) モデル [Arge and Pizzo, 2000] を利用し 2007 年から 2009 年の内部太陽圏 (~2AU) の 3 次元 MHD シミュレーションを行った。このモデルでは大局的な高速太陽風と低速太陽風の地球への到来のタイミングはよく再現されたが、速度の定量的再現性が悪い期間があった。より正確で再現性の高い太陽風モデルを構築することは、太陽風の加速メカニズムに制約を与え、その理解を深めると共に、予測性の高い宇宙天気予報の実現のためにも重要である。本研究ではシミュレーションの内側境界条件を与えるために、2つの速度モデルを導入し地球軌道での太陽風の再現性を定量的に評価した。1つは WS モデル、もう1つは名古屋大学宇宙地球環境研究所の惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測によって得られた太陽風観測に基づく B/f モデル [Fujiki et al., 2015] である。シミュレーションの結果、B/f モデルの方が地球での in situ 観測をより再現することがわかった。また、B/f モデルによって再現性が顕著に向上した高速風の由来となる磁力線は太陽表面における活動領域の縁に接続していることがわかった。これは太陽表面の磁場強度の違いによる太陽風の変化を B/f モデルはより正確に捉えることができることを示唆している。これらの結果は Suzuki [2006] による膨張する磁束管中の太陽風加速の理論と非常に整合的であることから、太陽風の加速機構についても考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M36a 太陽風構造とコロナ質量放出の相互作用によるフラックスロープの変形と偏向

塩田大幸, 伊集朝哉 (名古屋大学), 林啓志 (中国科学院), 藤木謙一, 徳丸宗利, 草野完也 (名古屋大学)

コロナ質量放出 (CME) は、コロナプラズマがねじれた磁束管 (フラックスロープ) と共に惑星間空間へ放出される現象である。フラックスロープ中の南向きの成分を持つ部分が地球を通過すると地球磁気圏に擾乱を引き起こすため、地球に到来する磁場予測手法の確立は宇宙天気予報に必要な要素である。しかし、CME の発生・伝搬過程の理解が不十分なため、その予測については発展段階である。CME の発生・伝搬過程の重要な影響の一つとして、惑星間空間を伝搬するフラックスロープの伝搬方向が変わる「偏向」が観測される。

2015年3月17日に地球に到来した St. Patrick day イベントでは、太陽経度西 27 度にあった NOAA12297 で発生した C9.1 クラスフレアに付随する CME がサイクル 24 で最大規模の磁気嵐を引き起こした。つまり、CME が東方向に偏向を受け地球に到来したと考えられ、CME 前面の太陽風との相互作用が原因ではないかと示唆されている (Wang et al. 2016)。一方で、フラックスロープの磁場が弱まらずに地球に到来したため大規模磁気嵐を引き起こした。低速太陽風と高速太陽風の境界 (共回転相互作用領域) に CME が挟まれていたことが磁場が弱まらなかった原因の可能性が示唆されている (Kataoka et al. 2015)。

そこで本研究では、背景の太陽風の構造の違いによってフラックスロープの伝搬過程がどのように変化するかを調べるための 3 次元 MHD シミュレーションを用いた数値実験を行った。同一の CME を、低速太陽風の領域、高速太陽風の領域、低速-高速太陽風の境界付近に入射した 3 ケースの計算を行った。その結果、境界付近に入射したケースでのみ強い変形を受け、地球に到来した磁場が残りの 2 ケースよりも大きくなった。低速太陽風と高速太陽風の境界面との相互作用は磁場の膨張の妨げと東方向への偏向の両方に寄与す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](#)

M37a 太陽風シンチレーションによる Crab パルサー 巨大電波パルス間の非ポアソン性の評価

小林瑛史¹、寺澤敏夫²、三澤浩昭³、土屋史紀³、北元³、関戸衛⁴、岳藤一宏⁴、竹内央⁵、徳丸宗利⁶、山崎了¹、木坂将大¹、三上諒⁷、廣島渚^{7,8}; 1:青山学院大学、2:理化学研究所、3:東北大学、4:情報通信研究機構、5:宇宙航空研究開発機構、6:名古屋大学、7:東京大学、8:KEK 素核研

Crab パルサーは周期約 33ms でパルス状の放射が検出される天体で、その正体は地球から約 2kpc の距離にある自転する中性子星と考えられている。この天体からは、巨大電波パルス (Giant Radio Pulse; GRP) とよばれる通常よりも 10 倍以上も明るい電波パルスも散発的に検出される。個々の GRP の出現頻度は、これまでの主に 1GHz 以上の観測結果からポアソン分布に従うことが知られていた。

GRP は、地球で検出されるまでに太陽風中を伝搬する。このとき、太陽風の密度揺らぎによりシンチレーションの効果をj受ける。よって、たとえ GRP の出現頻度がポアソン分布に従うとしても、天体電波源の太陽風シンチレーションに通常見られるような相関特性時間が現れることになる。

そこで我々は、東北大学飯館、NICT 鹿島でそれぞれ 325MHz 帯、1.4GHz 帯を用いて、Crab パルサーの太陽離角が約 15 度、約 81 度の時期で観測を行った。その結果、325MHz 帯では太陽離角が約 81 度の場合に GRP 出現頻度がポアソン分布に一致するものの、約 15 度の場合はポアソン分布からの逸脱を確認した。一方で、1.4GHz 帯では太陽離角によらず頻度はポアソン分布に従っていた (寺澤ら、2015 年秋季年会)。

本研究では、GRP の出現頻度の変動から、太陽風シンチレーション効果に対するモデル化を行った。このモデルを用いて、周波数依存性、太陽離角依存性を含めた定量的な評価を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a 3次元太陽風グローバルシミュレーション：コロナホールによる高速流の影響の予測について

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

宇宙天気予報のリードタイムを延ばすことを目的に、情報通信研究機構（NICT）では太陽表面から地球軌道を含む領域のグローバル太陽風シミュレーションモデルの開発を行っている。地磁気擾乱を引き起こす要因の一つに、コロナホールからの高速流が挙げられる。太陽活動が低調な期間では、この回帰性擾乱の予測が重要になる。コロナホールは太陽の高緯度に位置することが多いが、低緯度付近まで発達することがあり、前周期から変化がある場合、地球軌道への影響の評価が困難なことがある。前回の年会で報告したように、我々のシミュレーションモデルは加熱モデルを入れることによりコロナ加熱、太陽風加速をして太陽風構造を求めており、太陽表面のコロナホールの再現が可能である。NICTでは data-driven 太陽風シミュレーションを運用しているが、形成されたコロナホールの影響が地球軌道へ到達して磁気圏擾乱の要因となり得るか、予報の検討のための情報を提供している。

ここでは、これまでのシミュレーション結果の中から、コロナホールの再現とその影響について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M39a 非フォースフリー太陽大気磁場モデルに対する新しい磁気流体力学的緩和法

三好隆博（広島大学）、草野完也（名古屋大学）、井上諭（Max-Planck Institute）

宇宙天気予報の実現に向け、太陽フレアやコロナ質量放出など太陽大気中の様々な爆発現象の予測は、最も重要な課題の一つである。これらの現象は太陽大気中に蓄積された磁気エネルギーの突発的な解放過程であると考えられるため、その発生・発達過程の解明や予測には太陽大気における磁場分布の情報が必要不可欠である。しかし、太陽大気磁場の3次元分布の直接観測は極めて困難である。そこで、光球面で観測されるベクトル磁場の2次元分布から、太陽大気中の磁場分布を再構成する手法がこれまで精力的に研究されてきた。特に最近では、非線形フォースフリー磁場モデルによって一部の観測結果を再現することが可能になった。

しかし、光球面ではプラズマベータ β が大きく ($\beta \sim \mathcal{O}(1)$)、観測から得られるベクトル磁場はフォースフリーではない。また彩層 ($\beta < 1$) においても、一般に、磁場分布はフォースフリー磁場から外れると予想される。そこで本研究では、光球面ベクトル磁場分布から、彩層とコロナを共に含む太陽大気における非フォースフリー平衡磁場を再構成する新たな磁気流体力学 (MHD) 的緩和法を提案する。非線形フォースフリー磁場に解が収束する従来の MHD 的緩和法を拡張し、磁場、速度場に加えて新たにスカラー場 (疑似的な圧力) の時間発展を考慮することにより、磁気静水圧平衡を満たす非フォースフリー磁場を求める。本講演では本手法の基礎方程式を示すと共に、その数値解法を検討する。また、2次元の数値実験を実行し、本手法の有効性を示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M40a 太陽コロナ中の磁力線に沿ったプラズマの分布

柴崎清登（太陽物理学研究所）

太陽コロナ中の熱的プラズマは磁化しており、その磁気モーメントは粒子間衝突によって失われることはない。よってプラズマは質量、電荷、それに磁気モーメントを持った粒子の集団としてとらえるべきである。媒質が磁気モーメントを有すると、磁気モーメントと磁場強度勾配の積に比例したケルビン力が働く。しかしこの力は通常の磁気流体力学（MHD）の運動方程式には含まれていない。そこで一流体のMHD運動方程式にケルビン力の項を加えて、太陽コロナ中の熱的プラズマの振舞いを検討する。具体例として、閉じた磁力線（コロナループ）に沿ったプラズマの空間分布を検討する。単位体積あたりの熱プラズマの磁気モーメントは、プラズマの圧力に比例し、磁場強度に逆比例し、その方向はまわりの磁場と逆向き（反磁性）である。よってケルビン力は、圧力に比例し、磁場強度勾配のスケール長に逆比例し、磁場強度勾配と逆方向を向く。通常磁場強度は大気の上空に向かって弱くなるので、ケルビン力は上向きである。一方重力は下向きなので、これらふたつの力のバランスによって、磁力線に沿ったプラズマのガス圧分布が決定される。圧力、重力、ケルビン力はすべてプラズマの密度に比例するので、粒子あたりの平均の力で考えるとわかりやすい。ケルビン力は温度に比例するので、ある温度以上では重力を凌いでプラズマの密度分布が逆転してループ上空の密度が高くなる。上空のプラズマが放射によって冷却すると、重力が勝るためにコロナレインとして落下する。このメカニズムによって活動領域での質量サイクルを理解することができる。ループ内のプラズマの温度が低いと、圧力分布は上方に向かって低下するが、そのスケール長は温度と重力によって決まる静水圧スケール長より長くなる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M41a Hinode/XRT を用いたマイクロフレアの統計解析

上村亮弥, 増田智 (名古屋大学), 鹿野良平 (国立天文台)

太陽物理学においてコロナ加熱は長年の大きな問題であるが、その加熱メカニズムはまだ理解されていない。その有力な説の一つである「マイクロフレア加熱」は以前から研究が進められてきている。しかし、Yohkoh/SXT による軟 X 線観測から $10^{27} \sim 10^{29}$ erg のエネルギーを持つマイクロフレアではコロナ加熱に十分なエネルギーが与えられないことと、べき乗則で表されるそのエネルギー頻度分布がより小さいエネルギーまで続くと仮定しても十分な量ではないことが分かっている (Shimizu 1995)。その後、より小さなエネルギー帯域でのマイクロフレア研究は、EUV 光での狭帯域フィルター観測では行われてきたが、加熱プラズマを遍く捉えられる軟 X 線観測ではあまり進展してこなかった。そこで本研究では、Yohkoh/SXT よりも時間・空間分解能に優れた軟 X 線望遠鏡・Hinode/XRT を用いてマイクロフレアを検出し、そのエネルギー頻度分布を求めた。解析には 2007 年 4 月 4 日 12:00UT~13:00UT に、XRT が Al poly/Ti poly と Al poly/Open の 2 種のフィルターで観測した活動領域 NOAA10949 のデータを用いた。Al poly/Ti poly フィルターによる 512×512 pixel の軟 X 線画像を 4×4 pixel の "macro-pixel" に区切り、各 macro-pixel ごとに輝度変化を調べた結果、視野 $527'' \times 527''$ で 1 時間の観測データから 84 個のイベントが検出された。また Al poly/Open フィルターによる軟 X 線画像との輝度比 (filter ratio) から各イベントの温度、エミッションメジャーを求め、その熱エネルギーを計算した。その結果、エネルギー頻度分布において $10^{25} \sim 10^{26}$ erg の範囲で -1.57 ± 0.13 のべき指数が得られ、より小さいエネルギー帯域においても、これまでと異なる頻度分布を持つ兆候は見られなかった。今回の解析手法とその結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M42a 太陽、恒星フレアの EM - T スケーリング則の検証

行方宏介、坂上峻仁 (京都大学)、渡邊恭子 (防衛大学校)、浅井歩、柴田一成 (京都大学)

フレアは、恒星表面で起こる爆発現象であり、磁気リコネクションを通して磁気エネルギーが解放されることで、突発的な増光が観測される。恒星フレアと太陽フレアにおいて、X線観測で得られるエミッションメジャー EM と温度 T の間に相関があることが発見されており (e.g., Feldmann et al. 1995)、磁気リコネクションの物理をもとにして、それらを統一的に説明しようとするフレアのスケール則 ($B \propto EM^{-1/5} T^{17/10}$, $L \propto EM^{3/5} T^{-8/5}$) が導出された (Shibata & Yokoyama 1999)。このスケール則は、分解して観測できない恒星フレアの物理量 (磁場の強さ B とフレアループの長さ L) を推定できるという可能性があり、実際の恒星フレアの観測に応用するためには、それらのスケール則の妥当性を検証する必要がある。

本研究では、Shibata & Yokoyama (1999) が導出した EM - T のスケール則を、空間分解して観測できる 77 個の太陽フレアにおいて統計的に検証した (Namekata et al. 2017, PASJ in press)。理論値に関しては、*GOES* の X 線データから filter ratio method を用いて EM と T を求め、さらに上記のスケール則を用いて磁場とループの長さを導出した。観測値のコロナ磁場は、*SDO/HMI* の光球磁場から外挿して求め、ループの長さは、*AIA94Å* の画像データから測定した。得られた理論値と観測値を比較したところ、ループの長さに関してはよく値が一致しており、コロナ磁場についても分散はあるが $B_{\text{Theory}} \propto B_{\text{Observation}}^{0.46}$ という関係が得られた。この結果は、恒星フレアの物理量の推定が可能であることを裏付けており、今後の恒星観測においても、分解して観測し得ない恒星表面の物理を解き明かすために重要な手掛かりとなると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M43a IRIS – 飛騨 共同観測：多波長分光観測で探る太陽フレアのダイナミクス

鄭祥子，坂上峻仁，浅井歩，上野悟，一本潔，柴田一成（京都大学），川手朋子（宇宙科学研究所），岡本文典（国立天文台）

太陽フレアは磁気リコネクションによって駆動される。太陽フレアで観測される硬 X 線放射や電波バーストは、磁気リコネクション領域付近で加速された高エネルギー電子の一部が高密な彩層に突っ込むことで、クーロン衝突やジャイロ運動がもたらす電磁放射として理解される。また、観測される彩層での強い発光と、その上空での軟 X 線放射は、局所的に高温となった彩層プラズマが急膨張することで生じるものと説明できる。しかし、上空から太陽面に向かうエネルギー注入の形態（高エネルギー粒子/熱伝導）やそのエネルギー量の時間発展、エネルギー注入に対する彩層プラズマの応答過程等については、観測的に未解明な部分が多い。

我々は、2014年11月10日23時55分(UT)頃に活動領域 NOAA12205 (N13W07) で発生した C クラスフレアについて、多機器多波長撮像分光観測データを取得した (HOP275)。Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS 衛星) では、分光スリット固定観測によって Mg II h/k/triplet、C II、Si IV、Fe XXI 線等のデータを、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡水平分光器では、分光スリットスキャン観測によって H α 、Ca II K/triplet(8542Å) 線のデータを得た。フレア中、エネルギー注入領域とみられる彩層の明るい領域を IRIS のスリットがとらえ、その領域はスリット方向に移動した。明るい領域が通過したスリット位置では、H α 、Ca II、Mg II、C II 等の彩層ラインや Si IV、Fe XXI 線でも放射強度が急激に増大したが、その直前の数十秒間に渡り、Mg h/k 線の短波長側のウイングが卓越した。放射強度が増大すると、彩層ラインや Si IV 線では波長中心が長波長側に移動し、長波長側のウイングが卓越した。解析結果からエネルギー注入に対する彩層プラズマの応答について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a 太陽フレアカスプ領域への下降流と乱流運動の関係性

吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 末松芳法, 原弘久, 勝川行雄 (国立天文台)

フレア初期にはフレアループトップのカスプ領域やフレアループ足元付近で乱流構造が報告されている。乱流構造は高エネルギー粒子の起源や加熱機構を考える上で重要である。2015年3月7日に太陽東側リムの活動領域 NOAA 12297 で起きた M9.2 クラスフレアでは、SDO (Solar Dynamics Observatory) 衛星による高時間分解能 (12 秒) の極端紫外線撮像観測、IRIS (Interface Region Imaging Spectrometer) 衛星によるカスプ領域の紫外線撮像分光観測が行われていた。SDO/AIA (Atmospheric Imaging Assembly) 131 Å フィルターイメージは、1000 万度の高温プラズマを表す Fe XXI (128.8 Å) 輝線に感度を持っており、その観測から、カスプ上空から太陽表面へ向かった下降流が確認できた。この下降流は先行研究 (Savage & McKenzie 2011; など) から磁気リコネクションにより生じた流出流だと考えられている。本フレアの下降速度は、フレア初期では ~ 200 km/s、後期には ~ 50 km/s として観測された。同様に IRIS Slit-Jaw 1330 Å フィルターイメージは、Fe XXI (1354.1 Å) 輝線に感度を持っており、その 62 秒間隔の撮像観測でも SDO 衛星と同じタイミングで下降流が確認できた。IRIS 衛星の分光観測においても、カスプ領域で Fe XXI (1354.1 Å) 輝線が確認でき、この輝線のスペクトル解析から、フレア初期では ~ 40 km/s の視線方向のドップラー速度と ~ 70 km/s の非熱的乱流速度が確認でき、後期にはそれぞれ ~ 20 km/s と ~ 30 km/s として確認できた。撮像観測により高速の下降流が見られるタイミングで、分光観測により大きいドップラー速度と非熱的乱流速度が確認できた。本講演では、IRIS 衛星と SDO 衛星の観測結果を用いて、視線方向の乱流運動と視線と垂直方向の下降流との関係性について、時間変化を比べて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M45a 太陽コロナにおける爆発的不安定性の臨界条件について

草野完也, 石黒直行 (名古屋大学)

太陽フレアやコロナ質量放出などの太陽面爆発現象は、太陽コロナ磁場に蓄積された磁気エネルギーの突発的な解放現象であると考えられている。我々はこれまでシミュレーションと観測データの比較から、これらの現象の基本メカニズムはコロナ磁場中に流れる電流が駆動する理想電磁流体力学 (MHD) 不安定性と磁気リコネクションの非線形フィードバックによる爆発的不安定性 (explosive instability) であるというモデルを提唱してきた (Kusano, et al. 2012)。しかし、その基礎となる不安定性のモードと不安定化条件については、トーラスモードやキンクモード及びそれらの不安定化パラメタである decay index や magnetic twist などが考えられるが、未だに明確な結論には達していない。一方、コロナ観測像の形態解析から、Moore et al. (2001) は2つのシア磁場の間でのテザー・カッティング・リコネクションが爆発の原因となることが提案している。さらに最近、石黒と草野 (2016年春季大会, submitted to ApJ) は、数値解析によってシア磁場中のテザー・カッティング・リコネクションの結果として現れるダブル・アーク状の電流構造がこれまで知られていないダブル・アーク不安定性を生み出すことを示した。本研究の目的は、テザー・カッティング・リコネクションによる不安定化の臨界条件を、数値解析で見出されたダブル・アーク不安定性の発生条件に着目して探ることにある。このため、Kusano et al. (2012) によって行われた多様な磁場構造に関するアンサンブル・シミュレーションの結果を再解析する共に、ベクトル磁場観測データに基づく非線形フォース・フリー磁場モデルとも比較することで、不安定性の臨界条件を決定する新たな物理パラメタ K を提案する。さらに、この K パラメタによるフレア発生予測の可能性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](#)

M46a Evolution of Magnetic Twist in a Flare-Productive Active Region

Johan Muhamad, Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University)

Active region with non-potential magnetic field in the region around the polarity inversion line (PIL) can accumulate huge amount of magnetic energy, which is necessary for producing solar flare. This non-potential magnetic fields can be manifested in the solar corona as a highly twist magnetic field lines. Therefore, understanding the characteristics of spatial and temporal distribution of magnetic twist of an active region is very important to clarify the mechanism of flare onset and also improve our capability of predicting a flare. In order to understand how the twist of magnetic fields is related to the onset of flare, we reconstructed the coronal model of AR NOAA 11158 and analyzed spatio-temporal evolution of magnetic twist. Non-linear Force-Free Field (NLFF) modeling is used to reconstruct coronal structure of AR 11158 during three consecutive days (2011-02-13 - 2011-02-15) when the active region crossed the area near the central meridian of the Sun and produced several flares. We calculated and analyzed the twist of magnetic field lines using the data from SDO/HMI. We found that the twist distribution for AR 11158 tend to increase during these three eruptive days. Twist distribution map also shows that the footpoints of the highly twisted field lines correspond well with the flare ribbons produced in several flares. Moreover, by discriminating this active region into several smaller different regions, we can show that each region may give different profile of twist that also correspond to the flare productivity. We also proposed a parameter that could be important to identify the region that is likely to produce a flare by analyzing its magnetic twist.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M47a Gradient Boosted Trees による太陽フレア予測と時系列交差検証

西塚直人、杉浦孔明、久保勇樹、石井守 (情報通信研究機構)

我々は、太陽観測データと機械学習を用いた太陽フレア予測モデルを開発してきた。太陽全面画像をもとに、各活動領域毎の光球ベクトル磁場、彩層発光、X線活動度といった特徴量を抽出し、今後24時間以内に発生する最大クラスのフレアを予測できるモデルを開発した(日本天文学会2016年春季年会 M44a 西塚ら)。しかしながら、予測モデルの標準的な評価手法は未だ確立されていない。また、予報運用を念頭においた学習・検証データが完全独立な厳しい条件下で予測を行った場合には、我々の開発モデルでもまだ十分な精度が出ていない。

本講演では、予報精度の検証を行うため、従来のフレア予測で用いられてきたK-分割交差検証ではなく、時系列交差検証という手法を新たに導入した。どちらもある視点では合理性があるが、予報運用の目的に対しては時系列交差検証の方が適している。さらに、Gradient Boosted Trees という学習アルゴリズムを新たに使用した。ブースティングは、損失関数を最も下げるように逐次的に弱学習器(ここでは決定木)を追加していく手法で、各ステップ毎のパラメタ最適化の際に勾配を求めて学習しなおすことで、より良い予報精度を達成する。我々はそれを太陽フレア予測に応用して、時系列交差検証を行った。その結果、TSS (True Skill Statistic) で評価した場合、Xクラスフレアに対して0.6、Mクラスフレアに対して0.8まで向上することが示された。また他の5つの学習アルゴリズムとも比較を行った結果、交差検証の手法の違いで順位が全く異なってしまうこともわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M48a 太陽フレアの impulsivity と白色光・CME との関係

渡邊恭子, 有馬伸, 堀巖允 (防衛大学校), 増田智 (名古屋大学)

太陽フレアにはその軟 X 線放射の継続時間により impulsive flare (継続時間が1時間以下) と長寿命フレア (LDE、継続時間が1時間以上) という分類がある。これらの分類は今現在も明確には定義されていないが、互いに異なる様相を示すことがある。impulsive flare は主に10分程度の強い非熱的現象を示し、ループトップの硬 X 線ソースが観測されたりする。一方、LDE は非熱的放射が緩やかに続き、巨大アーケード構造を示すことがあり、CME を伴うことも多い。このフレアの分類を明確に行うためには非熱的放射の継続時間の情報が必要であるが、既存の硬 X 線観測 (RHESSI など) を用いた場合、非熱的放射が緩やかに続く長寿命フレアからの硬 X 線が十分な強度で観測されていないことが少なくない。また衛星軌道のため硬 X 線放射の観測例自体も少ないことから、軟 X 線放射の時間微分が硬 X 線放射と形が似ているという Neupert 効果 (Neupert et al., 1968) を用いることによって、太陽フレアの急峻度 (impulsivity) を定義することを試みた。

我々はかねてより太陽フレアに伴って可視連続光の増光が観測される「白色光フレア」現象の統計研究を「ひので」可視光望遠鏡のデータを用いて行っているが、今回 impulsivity による白色光発光現象の違いについて検証を行った。「白色光フレア (WLF)」と「白色光を伴わないフレア (NWL)」において impulsivity を比較したところ、WLF の方が激しいフレアに伴っており、以前得られた「大量の加速電子」が「狭い領域」に「短時間」に降り込むことが白色光増光の鍵であるという結果 (北川, 2015 など) と同等の結論となった。また、impulsivity の違いによる CME の有無とその特徴についても検証を行ったが、CME の有無自体には impulsivity はあまり関係が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](#)

M49a 太陽フレアにおける硬X線・電波放射の特徴解析と電子注入条件への示唆

川手朋子 (宇宙航空研究開発機構), Victor F. Melnikov (Pulkovo Observatory)

太陽フレアで加速された電子を診断する方法として、ループに捕捉された電子からジャイロシンクロトロン放射する GHz 帯電波、および電子がコロナを伝搬した後密度の高い彩層で制動放射する硬 X 線がある。Kawate & Imada (2013) において、熱放射優勢のフレアでは高温 EUV 輝線の幅がループトップにおいて高くなり主な電波源が足元に位置する一方、非熱放射優勢のフレアでは輝線幅は足元で高くなり電波源はループトップ源が主となる結果が得られた。この結果から同論文中で加速初期における電子ピッチ角の違いを議論したが、電子のピッチ角分布について詳細な電子輸送を考慮した結果を示してはいない。

本研究では野辺山電波ヘリオグラフ、Reuven Ramaty High-Energy Solar Spectroscopic Imager で同時に観測された太陽フレアイベントの統計解析を行い、ループ中の電波源の位置、また各々で観測された電波・硬 X 線のフレアインパルス層におけるフラックスとスペクトルのべきの時間発展を調査した。その結果インパルスなフレアにおいて両者のピーク時刻にほぼ差はなく、両者ともべきが硬く、電波源はループトップに発生しやすいという結果が得られた。一方グラジュアルなフレアにおいてはその逆の兆候が現れた。これらの観測結果と数値計算による電子輸送・放射の特徴を比較することにより、観測結果と一致する電子の初期注入条件を調査した。その結果、ループトップから等方的なピッチ角分布で電子を注入した場合電波源はループトップに主に現れた。一方ループトップからループに沿った方向のピッチ角分布、ないし足元から電子を注入した場合、足元に電波源が現れ、ループに捕捉されやすく電波と硬 X 線に差が発生しやすい結果となった。本講演では統計解析結果および数値計算結果を示し、フレアの種別毎に異なる電子加速または注入条件を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M50a 太陽フレア放射スペクトル導出のための観測データ統計解析

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

我々は、太陽フレアと太陽地球圏環境への影響との関係を解明するために、太陽フレアの全放射スペクトルの導出を、観測データの統計的解析により進めている。本研究では、「ひのでフレアカタログ」に掲載されている太陽フレアのうち、C3クラス以上のイベントについて統計解析を行っており、フレアの軟X線強度とその発生位置、継続時間、活動領域の種類と面積をフレアの基本パラメータとして、他観測との比較を行っている。このうち、M3クラス以上のイベントについてはSolar Dynamics Observatory (SDO) に搭載されているExtreme Ultraviolet Variability (EVE) で得られた極紫外線強度との関係を調べており、これまでの解析結果から「軟X線強度」と「極紫外線強度」には正相関があることが分かった。また、5つの波長 (Fe VIII, Fe XII, Fe XV, Fe XVIII, FeXX) における「極紫外線の立ち上がり時間」は、高温ラインが早く、低温ラインが遅い傾向にあることがわかった。さらに、活動領域の面積の大きさ、またその面積の増加・減少に関わらず、規模・頻度ともに同等のフレアが発生しており、これは「軟X線強度」と「活動領域の大きさ」に明瞭な相関関係がないことを示唆している。今回は、Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) で得られた硬X線強度とスペクトルの変化についても調べ、非熱的電子の注入率と彩層蒸発の過程、極紫外線強度変化との相関についても考察を行った。本発表では、これらの関係を考察し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M51a Comparative study of energetic particle acceleration in solar corona and Earth's magnetosphere

S. Imada (Nagoya Univ.), M. Oka (UC Barkley), K. Watanabe (National Defense Academy), M. Hirai (Univ. Tokyo), H. Isobe (Kyoto Univ.), T. Minoshima (JAMSTEC)

One of the most famous rapid energy conversion mechanisms in space is a magnetic reconnection. The general concept of a magnetic reconnection is that the rapid energy conversion from magnetic field energy to thermal energy, kinetic energy or non-thermal particle energy. The understanding of rapid energy conversion rates from magnetic field energy to other energy is the fundamental and essential problem in the space physics. So far considerable effort has been devoted toward understanding the energy conversion rates of magnetic reconnection, and various typical features associated with magnetic reconnection have been observed in the Earth's magnetotail and the solar corona. In this talk, we first introduce the variety of plasma condition/parameter in solar corona and Earth's magnetotail. Later, we discuss what plasma condition/parameter controls the energy conversion from magnetic field to especially non-thermal particle. To compare non-thermal electron and ion acceleration during magnetic reconnection, we used Hard X-ray (electron) /Neutron monitor (ion) for solar corona and in-situ measurement (electron and ion) for magnetotail. We found both of electron and ion accelerations are roughly controlled by reconnection electric field (reconnection rate). However, some detail point is different in ion and electron acceleration. Further, we will discuss what is the major difference between solar corona and Earth's magnetotail for particle acceleration.

[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17日(金) 午前(10:30-11:30) [B会場]

N01a	10:30	すざく X 線変動天体の詳細解析及び Swift となゆたによる追観測	木下聖也(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
N02a	10:42	W UMa 型食連星系 TZ Boo の光度曲線変動と spot	大島修(岡山理科大学)
N03a	10:54	食連星 HW Vir の光度曲線解析	佐々井祐二(津山工業高等専門学校)
N04a	11:06	かんむり座 R の復光時におけるスペクトル変化	大島誠人(兵庫県立大学西はりま天文台)
N05b	11:18	高分散偏光スペクトルから読み解く β Lyr の双極アウトフローの起源	新中善晴(国立天文台)
N06b	11:18	VERA によるミラ型変光星 T UMa の位置天文観測	大山まど薫(鹿児島大学)
N07b	11:18	近・中間赤外線測光データを用いた AGB 星の機械分類	安部太晴(広島大学)
N08c		AGB 星で見ついている LSP 変光現象の起源について	高山正輝(兵庫県立大学)

3月17日(金) 午後(13:30-15:30) [B会場]

N09a	13:30	G,K,M 型星におけるフレアと恒星黒点の関係	前原裕之(国立天文台)
N10a	13:42	全天 X 線監視装置 MAXI によって得られた RSCVn 型星のフレア発生頻度	佐々木亮(中央大学)
N11a	13:54	ベイズ推定で迫るスーパーフレア星の巨大黒点の寿命及び差動回転の検証	幾田佳(京都大学)
N12a	14:06	X-ray study of stellar flares with MAXI/GSC: A universal correlation between the duration of a flare and its X-ray luminosity	坪井陽子(中央大学)
N13a	14:18	XMM-Newton を用いた太陽型星のスーパーフレア調査	杉田龍斗(中央大学)
N14a	14:30	The Herschel Planetary Nebula Survey (HerPlaNS): the best-fit dusty photoionisation model of the Galactic PN NGC6781	大塚雅昭(ASIAA)
N15a	14:42	RGB 及び早期 AGB 段階での質量放出率の理論的見積もり	保田悠紀(北海道大学)
N16a	14:54	長周期 Wolf-Rayet 連星系 WR 19 の X 線モニタリング観測 I	菅原泰晴(JAXA)
N17a	15:06	スーパーチャンドラセカール超新星候補 SN Ia 2012dn の赤外線超過: 放射起源である星周ダストの空間分布と親星への示唆	長尾崇史(京都大学)
N18a	15:18	初代超新星爆発におけるフッ素生成	柴田まさき(甲南大学)

3月18日(土) 午前(09:30-11:00) [B会場]

N19a	09:30	SDSS/SEGUE で見つかった超金属欠乏星の詳細組成解析 II	松野允郁(総合研究大学院大学/国立天文台)
N20a	09:42	超金属欠乏 AGB 星の水素混合による s 過程元素合成	須田拓馬(東京大学)
N21a	09:54	M 型星の近赤外高分散スペクトルにおける FeH 吸収線の振る舞い	石川裕之(総合研究大学院大学)
N22c		すばる/MOIRCS の多波長同時分光モニタリング観測により求めた褐色矮星の 3 次元構造	空華智子(国立天文台)
N23a	10:06	KIC11145123 の扁平率	関井隆(国立天文台)
N24a	10:18	KIC11145123 の内部回転	八田良樹(総合研究大学院大学)
N25a	10:30	A 型星 KIC11145123 の高分散分光解析	比田井昌英(東海大学)
N26a	10:42	赤色巨星の混合振動モードの再定式化と抑圧された双極子モード問題の考察	高田将郎(東京大学)

N01a すざく X線変動天体の詳細解析及びSwift となゆたによる追観測

木下聖也, 海老沢研, 水本岬希, 辻本匡弘 (宇宙科学研究所/東京大学)

宇宙から来た X 線は、大気に吸収され地上には届かない。そのため、X 線天体の観測には天文衛星を用いる他なく、研究にはとても強い制限がある。そのような理由から、X 線天体の数は他波長天体に比べてずっと少なく、種別が同定済みのものも少ない。新たな X 線天体を探索した先行研究として、X 線天文衛星すざくのアーカイブデータの網羅的な解析によって新たに 1000 以上の天体を発見したものがある (海老沢 他、2016 春季年会 V303b など)。我々は、そこから顕著な光度変化を示す 11 天体に対象を絞って詳細解析を行い、そのうち 9 天体が恒星フレアであることを突き止めた (木下 他、2016 年秋季年会 N05b)。

本研究では、(a) 天文衛星 Swift による追観測、(b) すざくアーカイブデータのさらなる詳細解析、(c) なゆた望遠鏡による地上での可視分光観測、の三つの手法を用いて、上記の研究で正体が判明しなかった 2 天体の同定を試みた。その結果を述べると、(a) では、すざくの位置決定精度の低さを補い、天体の場所をより正確に推定することができた。(b) では、2 天体のうちひとつ、X 線波長域において数万秒という長いスケールで増光していた天体は、2911 秒というより短いスケールでの周期的な変光を繰り返していたことから、連星系である可能性が高いと判明した。また (c) では、もうひとつの、X 線ライトカーブの形が通常の恒星フレアと異なっていた天体は、可視スペクトル中に H 輝線が見られないことから、星周に輝線を放射するものが存在しないこと、つまり、激変星や Be 星、牡牛座 T 型星などの天体ではないことが判明した。本講演では、解析結果およびこれらの新天体の特殊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](#)

N02a W UMa 型食連星系 TZ Boo の光度曲線変動と spot

大島 修 (岡山理科大学), 赤澤秀彦 (岡山理科大学), 藤井貢 (藤井黒崎観測所)

W UMa 型食連星系 TZ Boo は、発表される論文ごとに光度曲線の形が異なるという特異な系として有名であるが、その原因は特定されていない。今回 2016 年シーズンの我々の測光観測により、全変光幅 0.4 等に対して、2 つの極大光度の不揃い (O'Connell 効果) が 0.1 等を越えること、数ヶ月間という短期間の間に、2 つの極小の深さが少なくとも 1 回入れ替わるという、過去にない大きな変動が起こったことがわかった。

食連星系では、主極小と副極小の光度が入れ替わることは、2 つの成分星のサイズの大小または温度の高低が入れ替わることに相当する現象であると通常は理解されるが、そのようなことが数ヶ月間という短期間に起こることは考えにくい。そこで、成分星表面の spots の消長・移動でその現象を説明できないかを、WD コードを実装した光度曲線解析ソフト Phoebe を使って検討した。その結果、巨大黒点 (群) と巨大白斑が少なくとも 1 つずつ存在し、その消長で、観測された O'Connell 効果と極小光度の入れ替りという 2 つの現象を共に説明可能であることがわかった。

また、今回観測された食のタイミング変動 (O-C) は、過去 50 年間の傾向から推定されていた周期 30 年ほどの第 3 体による楕円軌道の光路差効果による予報では説明がつかない変化を示していることにも触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N03a 食連星 HW Vir の光度曲線解析

佐々井祐二（津山高専/食連星合宿ゼミ） 赤澤秀彦、大島 修（岡山理科大/食連星合宿ゼミ）
片山敏彦（観音寺市教育センター/食連星合宿ゼミ）

近接連星系 HW Vir ($V = 10.48 \sim 11.38$ 、アルゴル型) は、スペクトル型が sdB 型で非常に高温でサイズの小さい B 型準矮星を主星とし、M 型赤色矮星を伴星とする公転周期 0.1167 日の連星系である。Wood & Saffer (1999) は分光解析により、主星の有効表面温度を $T_1 = 28,488\text{K}$ と求めた。Lee et al. (2009) はこの分光データと共に Lee 達が観測した測光データを用い、年毎に僅かに減少する公転周期の解析から、連星系全体を周回する複数 (2 個) の周回惑星を初めて確認した。しかし、Beuermann et al. (2012) は HW Vir の最大食時間の解析から、内側を廻る惑星は射影質量 $14M_{\text{Jup}}$ の巨大惑星であり、外側を廻るのは惑星でなく、射影質量 $30 \sim 120M_{\text{Jup}}$ の褐色矮星または低質量星だと推定した。

赤澤は 2015 年 2 月 13 日 ~ 3 月 1 日にかけて、口径 28cm 望遠鏡を用いた測光観測を行い、Johnson B、V、 R_C 、 I_C フィルタの光度曲線を得た。我々は、赤澤の観測データを解析し物理パラメータを決定するための光度曲線解析ソフトとして、WD コードを実装する Phoebe を用いている。我々の解析では、Wood & Saffer (1999) の分光解析から B 型準矮星の有効表面温度、またサイズ情報を入れるため連星系の半長径を仮定した。グローバルパラメータのみの解析で、HW Vir の光度曲線をフィッティングでき、M 型赤色矮星の有効表面温度、両成分星の半径、質量、軌道傾斜角についてだけであるが、先行研究と同様の結果を得た。また、HW Vir の非常に大きい反射効果からスケール情報が入る可能性があり、現在、解析を進めている。本発表では解析の進捗状況を報告し、各位のアドバイスを仰ぎたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N04a かんむり座 R の復光時におけるスペクトル変化

大島誠人, 本田敏志 (兵庫県立大学西はりま天文台)

かんむり座 R 型変光星は、不定期的に数等級にわたる減光を特徴とする変光星である。この減光は、星の周囲に炭素のダストが形成されることにより星の光が著しく遮られることによって生じると考えられている。

このタイプの変光星のプロトタイプであるかんむり座 R は、平常光度 6 等の天体であるが、2007 年に減光を始め、14 等まで暗くなった。その後、数度の復光を示したものの、いずれも途中で再度減光に転じたため、現在にいたるまで平常光度に戻っていない。特に 2015 年春には、平常光度近くまで回復したにもかかわらず再減光に転じ、再び 14 等まで暗くなった。その後、2016 年夏から再度復光に転じている。

本研究では、減光中におけるスペクトルの時間発展を追うため、2015 年夏からの 1 年半にわたってこのかんむり座 R について分光観測を行った。かんむり座 R が示した光度変化の様子から、この期間はかんむり座 R 周囲が炭素ダストで被われている状態から、ダストが晴れつつある状態にあたりと考えられ、スペクトルの変化はその時期の星周構造を反映していると考えられる。観測には、西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡とそれに取り付けられた分光装置 MALLS を用いた。

本研究では、主に Na D 線に着目した。この線は、減光時にも顕著な輝線として観測されているが、単純なシングルピークではなく複数の鋭いピークを持って観測されており、やや blue shift を示している。このような特徴から、膨張成分に起因しており、また複数の速度成分を持っていることが示唆される。

また復光に伴い、Na D 線の等価幅は減少し、2016 年 9 月頃には輝線から吸収線へと変化した。本発表では、このような変化から示唆されるかんむり座 R 星周の構造変化についても考察する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05b 高分散偏光スペクトルから読み解く β Lyr の双極アウトフローの起源

新中善晴 (国立天文台), 池田優二 (フォトコーディング, 京都産業大学), 新崎貴之, 河北秀世 (京都産業大学)

β Lyr は早期型星 (B0.5V と B6-8II) からなる軌道周期 12.94 日の食連星系である (Harmanec & Scholz 1993, A&A, 279, 131 など)。これまでの可視赤外域における測光観測や分光観測によって、ロッシュローブを満たした伴星 (B6-8II) から大規模な質量降着が生じ、主星 (B0.5V) を取り囲むように光学的に厚い降着円盤が形成されていると考えられている (Harmanec et al. 1996, A&A, 312, 879 など)。また、偏光観測、高分散分光観測、電波干渉計によって、軌道面に対して垂直に分布する双極プラズマジェットが存在が示唆されているが、ジェットの起源はおろか詳しい幾何情報や運動についても全く明らかにされておらず、そもそもこの構造がジェットかどうかについてもコンセンサスが得られているとは言い難い (Hoffman et al. 1998, ApJ, 115, 1576 など)。

そこで我々は、京都産業大学神山天文台の 1.3 m 荒木望遠鏡に搭載されている高分散偏光分光器 VESPoLA を用いて、 β Lyr の全位相にわたる偏光分光観測を実施した。これまでにない高 S/N 比の $H\alpha$ の偏光スペクトルを詳細に解析した結果、(1) 軌道面と垂直に吹き出す双極アウトフローが確かに存在し、それらは系の外側に向かって加速運動していること、(2) このアウトフローは主星を源流として主星直径よりわずかに広い領域に大きな opening angle を持って分布しており、ジェットというよりは恒星風に近いと考えられること、が分かった。本発表では、今回の観測によって明らかになった双極アウトフローの空間分布および速度場の描像とその妥当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](#)

N06b VERAによるミラ型変光星 T UMa の位置天文観測

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

ミラ型変光星を含む長周期変光星には変光周期と明るさの間に周期光度関係 (Period-Luminosity Relation; 以下 PLR) と呼ばれる量的な関係があり、距離尺度として用いられる。鹿児島大学では、国立天文台 VERA による高精度な年周視差の測定と、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡による見かけの等級と変光周期の測定を組み合わせ、天の川銀河内のミラ型変光星に対する PLR の確立を目標に研究を行っている。現状では VERA 以外のアレイも含めた VLBI 観測による年周視差、光学望遠鏡による見かけの等級と変光周期がいずれも揃ったミラ型変光星は十数個ほどしかなく、その変光周期も 300 日 ~450 日の間の天体に集中している。そのため、それ以外の周期をもつ天の川銀河内のミラ型変光星の距離をより精度よく決定することができる PLR を求めるには、より多くかつ周期 300 日 ~450 日以外の周期を持つミラ型変光星について観測を進めることが必要である。今回、私たちはミラ型変光星 T UMa の水メーザーを VERA によって観測し、その年周視差が $\pi = 0.96 \pm 0.19$ ミリ秒角、距離は $D = 1.05^{+0.25}_{-0.17}$ kpc であることを求めた。また、鹿児島大学 1 m 光赤外線望遠鏡より、この天体の変光周期は 257 日で、近赤外線 K バンド見かけ等級は 2.79 等が得られた。ここから、絶対等級は $-7.31^{+0.39}_{-0.47}$ 等と求められた。今回の結果から、T UMa は Nakagawa et al.(2016) の PLR の外挿と誤差範囲内で一致し、周期 250 日 ~450 日の範囲が同一の関係で表わせることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N07b 近・中間赤外線測光データを用いた AGB 星の機械分類

安部太晴, 植村誠 (広島大学), 松永典之 (東京大学), 板由房 (東北大学), 池田思朗 (統計数理研究所)

AGB 星の炭素過剰星 (C-rich 星) と酸素過剰星 (O-rich 星) の分類には本来は分光データが必要であるが、測光データのみから分類できるのであれば、天体数が増えるため利点が多い。また、AKARI の $18\ \mu\text{m}$ の測光データはこの分類に有効だが近赤外線データと比べると天体数は多くない。そのため AKARI データを使わずに高精度な分類が可能ならば、分類対象とする天体を増やすことができる。本研究では 2MASS と AKARI、WISE の測光データをマージして、SIMBAD による C-rich 星と O-rich 星の分類を基に、分類に最適な色指数の組み合わせを機械判別によって調べた。

本研究はフィッシャーの線形判別を用いて分類を行った。分類に使用する色指数データは全ての組み合わせを試し、交差検証によって判別器の性能を評価した。全ての組み合わせを試したのは、分類の境界が、分類の参考とならない色指数に影響を受ける過適合を避けるためである。

解析の結果、AKARI の $9, 18\ \mu\text{m}$ のデータに加えて、WISE の $12, 22\ \mu\text{m}$ のデータを用いたものが高い分類正答率 (89.7%) を示した。これは、ダストの吸収線が $10\ \mu\text{m}$ と $20\ \mu\text{m}$ の付近にあるためと考えられる。 $18\ \mu\text{m}$ のバンドの等級データを除いたものでは、WISE の $12\ \mu\text{m}$ 、 $22\ \mu\text{m}$ と AKARI の $9\ \mu\text{m}$ の等級データを用いた判別器が最も正答率が高く、 $18\ \mu\text{m}$ データを含めた場合と比較して約 2 ポイント低い、87.9%となった。今回は全ての色指数を用いた判別器と、特に近赤外域の色指数を除いた判別器で正答率に有意な差はなかった。これらの結果から、分類結果の用途ごとに、許容できる正答率を設定し、課題によっては天体数を増やすことも可能である。本研究の判別手法は、従来の目視で分類する手法に比べて、客観性と正答率の面で利点があると言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08c AGB星で見つかっているLSP変光現象の起源について

高山正輝(兵庫県立大学), 板由房(東北大学)

大小マゼラン星雲や銀河系内のAGB星の変光星では、周期が400日1500日程度の長周期の変光現象が見つかっている。この長い周期はLong Secondary Period(LSP)と呼ばれている。明るいAGB星脈動変光星の25~50%の星でLSPの変光が見つかっている(e.g., Wood et al. 1999; Nicholls et al. 2009)が、その原因はよくわかっていない(e.g., Nicholls et al. 2009; Takayama et al. 2015; Saio et al. 2015)。ライトカーブの取得には長期間の連続観測が必須で、解析に使えるデータが限られていることから、先行研究ではOGLEのV, I bandなど可視光観測で得られたライトカーブからLSPの原因について議論されてきた。

本研究では61個の小マゼラン星雲のLSP変光星をサンプルとし、OGLEの他にIRSF SIRIUSカメラで取得された約10年間のJ, H, K bandのライトカーブ(Ita in prep)を加えた。更にU, B band(MCPS)、[3.6], [4.5], [5.8], [8.0] band(Spitzer)の測光データと併せて可視から中間赤外までの広い波長域のデータを解析し、星のbolometric luminosity L と有効温度 T_{eff} の周期的変動の振幅を見積もった。その結果、サンプルの67%の星は $(\Delta L/L) / (\Delta T_{\text{eff}}/T_{\text{eff}})$ の値が2.5~5.0の範囲に分布し、全サンプルのメジアン値は4.0であることがわかった。これはLSP変光は星の有効温度の変動を起源とし、またその際に星の半径は不変であるという説明と無矛盾である。そこで星の非動径脈動の双極子モードを仮定し、MARCSのモデルスペクトルと黒体放射のスペクトルを使った簡単な変光のモデルを作ると、可視・近赤外のLSP変光星の光度振幅を上手く説明出来ることがわかった。以上からLSP現象は星の脈動現象であると考えたと観測と矛盾しない。このことはSaio et al (2015)の理論的な予想と一致する。本講演ではこれらの成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](#)

N09a G,K,M 型星におけるフレアと恒星黒点の関係

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

晩期型主系列星における恒星フレアは、太陽フレアと同様に黒点付近に蓄えられた磁場エネルギーが磁気リコネクションによって、熱や運動エネルギーの形で解放されることで生じると考えられている。我々のグループがこれまでに行った、ケプラー宇宙望遠鏡のデータを用いた G 型主系列星におけるフレアの研究から、 10^{33} erg (最大級の太陽フレアで解放されるエネルギーの 10 倍) 以上のスーパーフレアを起こした星の大部分は 1-10% 程度の振幅の準周期的な変光を示し、太陽半球面積の数%の面積を持つ巨大黒点を持つと考えられること、フレアのエネルギーは測光的に見積もった黒点面積から推定される磁場エネルギーで説明できることなどが明らかとなった。

本研究では、G 型主系列星に加えて、K, M 型主系列星のフレアの統計的性質およびフレアと黒点の関係について、ケプラーのデータを用いて解析した結果を報告する。K, M 型星のフレアの発生頻度分布 (dN/dE) も、G 型星の場合と同じく指数 $-1.8 - -1.9$ のべき関数分布を示し、あるエネルギーのフレアの平均発生頻度は、K, M 型星の方が G 型星に比べ 10 倍程度高いことが分かった。一方で、M 型星で観測された最大のフレアのエネルギーは G, K 型星よりも小さいことが分かった。観測されたフレアのエネルギーの最大値と黒点面積の相関を調べたところ、星の温度に関係なく、黒点面積が同じであれば、フレアのエネルギーの上限値も同程度になることが分かった。M 型星において観測された最大のフレアのエネルギーが G, K 型星よりも小さいのは、M 型星は星の半径が小さいため、最大級の黒点の面積が G, K 型星よりも小さいことが原因と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N10a 全天X線監視装置 MAXI によって得られた RSCVn 型星のフレア発生頻度

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

星表面で起こるフレア現象はいつ起きるかわからない。発生の予測が困難な現象の観測には、サーベイ観測が有効である。MAXI は国際宇宙ステーションに搭載され、92 分で地球を 1 周し全天をサーベイする高感度全天 X 線モニター (Gas Slit State Camera: 2 – 30 keV, Solid-state Slit Camera: 0.5 – 12 keV) である。

この能力を用いて、我々は MAXI を用いて星フレアの無バイアスサーベイを行なった。7.25 年間で RSCVn (Algol) 型星 14 天体から 60 発のフレアを検出した。それらのフレアエネルギー (E) は $5e35 - 9e38$ erg であった。特にフレア星として知られる HR1099, Algol, II Peg, UX Ari, GT Mus からは各々 5 – 16 発のフレアを検出した。

先行研究により、フレアの発生頻度 (N) は $N \propto E^{-\alpha}$ に従うことがわかっている。RS CVn 型星における冪は 0.6 と、太陽や M 型主系列星の冪と同程度である (Osten & Brown 1999)。我々は、これら 5 天体それぞれのフレア発生頻度分布を作成した。このような大きなエネルギーに対する天体毎の頻度分布の作成は、今回が初めての試みである。本研究の結果、II Peg, UX Ari の冪はそれぞれ 0.44, 0.63 と先行研究とよく一致した。一方で Algol, GT Mus の冪は 1.10, 2.25 と先行研究に比べて急であることがわかった。HR1099 については、先行研究の冪に乗る成分 ($\alpha=0.55$) と、高エネルギー側で急激に落ち込む成分 ($\alpha=4.66$) があることを発見した。先行研究に比べて急な冪からは、その天体における最大フレアに近いエネルギーが MAXI で得られていることが示唆される。本講演では、これらの詳細な解釈について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11a ベイズ推定で迫るスーパーフレア星の巨大黒点の寿命及び差動回転の検証

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

フレアとは黒点近傍に蓄えられた磁気エネルギーに駆動される爆発現象である。ケプラー衛星の測光観測による太陽型星 (G 型主系列星) の解析から、 10^{33-36} erg の大規模なフレア (スーパーフレア) が報告されている (Maehara et al. 2012&2015; Shibayama et al. 2013)。スーパーフレア星の準周期的な光度曲線から巨大黒点の存在が示唆される (Notsu et al. 2013; Shibata et al. 2013)。また、分光観測からも星表面の巨大黒点の存在が数十天体において立証されている (Notsu et al. 2015)。しかし、巨大黒点の形成進化消滅の過程は全く分かっていない。スーパーフレアの発生過程の理解には、巨大黒点の解明が不可欠なので、黒点寿命や差動回転について、観測的に明らかにすることが必須である。

そこで本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法をスーパーフレア星の光度曲線に適用し (幾田他, 2016 年秋季年会 Z111b)、スーパーフレア星の巨大黒点の性質を調べた。この手法では、自転軸傾斜角、自転速度、差動回転速度、黒点温度、複数の黒点の位置や寿命などをパラメータとして、理論的に光度曲線を構成し、それらを最適化することによりパラメータの分布を推定できる。その結果から、(a) スーパーフレアと位相の関係 (b) 黒点の寿命 (c) 自転速度と差動回転速度の相関 を調べた。例えば (b) について、太陽黒点 (~ 数週間) よりも遥かに長い黒点寿命 (数ヶ月 ~ 数年) を持つ天体も確認された。また、(d) 分光観測やフーリエ変換の手法との比較も行った。本講演ではその詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a X-ray study of stellar flares with MAXI/GSC: A universal correlation between the duration of a flare and its X-ray luminosity

Yohko Tsuboi, Kyohei Yamazaki, Yasuharu Sugawara, Atsushi Kawagoe, Soichiro Kaneto, Ryo Iizuka (Chuo University), and the MAXI Team

Since the launch in 2009 August, with the unprecedentedly high sensitivity as an all-sky X-ray monitor, MAXI have caught more than a hundred of huge flares from stars. Most of them are from cool, active stars (RS CVn systems, an Algol system, dMe systems, a dKe system, Young Stellar Objects). With the total radiative energy of 10^{34-39} ergs, the MAXI detections have broken the record of the largest flaring magnitudes in each stellar categories (e.g. “RS CVn” and so on). The enlarged sample of intense flares have enabled us to do systematic studies in various viewpoints. One of the studies is our discovery of a universal correlation between the flare duration and the intrinsic X-ray luminosity, which holds for 5 and 12 orders of magnitude in the duration and L_x , respectively. In this talk, we will present recent studies for flares detected with MAXI.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N13a XMM-Newton を用いた太陽型星のスーパーフレア調査

杉田龍斗, 坪井陽子, 勝田哲, 矢吹健, 佐々木亮 (中央大学)

太陽における最大フレアエネルギー (10^{32} erg 程度) より桁違いに大きなエネルギーを解放するフレアをスーパーフレアという。前原、柴山らはケプラー衛星による可視光データを用いて太陽型星の光度曲線をサーチし、279 天体においてスーパーフレアを確認した。しかし X 線帯域における太陽型星からのスーパーフレア検出数は極めて少ない。今後、X 線帯域における統計的な研究の必要性が高まっている。

我々は X 線帯域で太陽型星からのスーパーフレアをサーチした。太陽型星のサンプルとしては X 線天文衛星 ROSAT で得られた 259 天体 (Pizzolato et al. 2003) の中から B-V 等級が 0.5 – 1.0 の 67 天体を抽出した。これらのうち X 線天文衛星 XMM-Newton のアーカイブデータになっている天体数は 18 であり、総数 135 のデータが存在した。これらをサーチした結果、少なくとも、単独星である G 型主系列星 4 天体から 5 発のフレアが起こっていたこと、フレアエネルギーは 10^{32} erg 程度であったことが分かった。

太陽型星におけるフレアの発生頻度 (N) とフレアのエネルギー (E) は $\frac{dN}{dE} \propto E^{-1.5}$ の関係にある (Maehara et al. 2012)。本研究においてそれぞれの天体に対する観測時間は最大で約 1 日であるにも関わらず、太陽フレアの最大規模程度のフレアが起こっていた。フレアの発生頻度から考えると、これらの天体は約 3 日間で 1 発のスーパーフレアを起こしうる天体であると示唆される。G 型主系列星 4 天体中 2 天体は自転周期が 15 日以上かつ年齢が 2 – 3 Gyr であった。太陽の自転周期が 27 日、年齢が 4.6 Gyr ということから、この 2 天体は太陽に極めて近い性質を持っていることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N14a The Herschel Planetary Nebula Survey (HerPlaNS): the best-fit dusty photoionisation model of the Galactic PN NGC6781

大塚雅昭 (ASIAA), 植田稔也 (デンバー大), You-Hua Chu (ASIAA), HerPlaNS consortium

We performed a comprehensive analysis of the planetary nebula (PN) NGC6781 in order to investigate physical conditions of atomic gas, dust grains, and molecules in the nebula and evolution of the central star based on our own *Herschel* data and the rich archival data in the wavelengths from UV to far-IR. *Spitzer*/IRS mid-IR spectrum shows the 6-9 μm and 11.3 μm PAH bands, pure rotational H_2 lines, and the featureless amorphous carbon dust continuum in $\sim 15\text{-}40 \mu\text{m}$. An excitation curve plot for the H_2 lines can be fitted by a single temperature curve. Comparison with theoretical shock models suggests that H_2 could be excited by shock interaction with the remnant AGB circumstellar envelope. We performed a detailed chemical abundance analysis. By comparing with AGB models, we found that the progenitor would be a 2.25-3.0 M_{\odot} star. The current evolutionary status and nebular elemental abundances of the H_2 -rich PN NGC6720 are in excellent agreement with NGC6781, suggesting that both PNe have originated from progenitor stars with similar masses and shared similar evolutionary paths. We constructed the photoionisation model using CLOUDY to be self-consistent with all the observations. About $\sim 40\%$ of the total dust mass measured in NGC6781 would be from warm-cold dust components. We found that other heating sources are necessary to explain the observed H_2 line fluxes. By introducing warm regions with a constant kinematic gas temperature $\sim 1000\text{ K}$ within PDRs, we obtained better fitting for the observed H_2 , CO, and OH line fluxes as well as the other derived quantities.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15a RGB 及び早期 AGB 段階での質量放出率の理論的見積もり

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

RGB 及び早期 AGB 段階での質量放出 (欠損) はその後の恒星進化に影響する。その結果水平分岐星の HR 図上での広がり、及び色等級図上での熱パルス AGB 星と RGB 星の個数比 (N_{TP-AGB}/N_{RGB}) といった観測可能量に影響する。さらに AGB 段階を通じて星間空間に放出されるダストの種類、形成量、及びサイズにも影響する。現状では恒星進化計算においてそれらの段階で使用される質量放出率は理論的見積もりに基づいておらず、連星系の観測データに基づく Reimers の式 (Reimers 1975) 及びその式に Alfvén 波の減衰、加熱による補正を施したもの (Schröder & Cuntz 2005) が採用される場合が多い。また近年種族合成モデルを用いた仕事 (Rosenfield et al. 2014; 2016) では N_{TP-AGB}/N_{RGB} を再現する上で早期 AGB 段階にて質量放出率がより高い方が望ましいと主張しているが理論的根拠に乏しい。

我々は理論的見地に基づいて、それらの段階での質量放出の駆動機構を解明し、定量的見積もりをするために星風モデルの開発を行っている。今回は単一星からの Alfvén 波の減衰、加熱過程による質量放出率を以下の手順で見積もった。まず恒星パラメータ組 (質量、光度、有効温度、表面密度) を恒星進化計算で導出した。その後それらを入力パラメータとし、また表面磁場を平均で 1 G とした上で星表面から彩層 (、及びコロナ) 領域を含めて星周領域の密度、速度、及び温度構造の進化を同時に追跡するコード (e.g., Suzuki 2007) を使用し電磁流体計算を行った。その結果、抵抗 (Spitzer 抵抗、両極性拡散) を考慮した場合、Schröder & Cuntz 2005 の式と比べて 2 桁以上質量放出率が低くなることが判明した。本講演では初期質量が 2 太陽質量、初期金属量が太陽金属量の場合の結果について詳細に述べ、また表面磁場の値や輻射場の取り扱いによ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](#)

N16a 長周期 Wolf-Rayet 連星系 WR 19 の X 線モニタリング観測 I

菅原 泰晴, 前田 良知 (JAXA), 坪井 陽子 (中央大学)

Wolf-Rayet 星の多くは連星系を成し (Rosslowe & Crowther 2014)、両者からの星風はその中間点で衝突して高温ガスを生成し、連星間距離に応じて、衝突領域が変化していくことが知られている。このガスを詳細に調べることで、X 線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 19(WC5+O9) は、近年、軌道要素が判明した長周期連星 (周期 10.1 年、離心率 $e = 0.80$) であり、ダストによる周期的な赤外線光度変動を起こすことが知られている (Williams et al. 2009)。2017 年 5 月に近星点を迎えると予想されており、急激な連星間距離の変動に伴う X 線吸収量や X 線光度の増加が期待される。

今回我々は、2016 年 5 月から 10 月にかけて、Swift 衛星及び XMM-Newton 衛星を用いて、8 回の即応観測を実施し (計 27 ksec)、WR 19 から初めて X 線スペクトルを取得することに成功した。光子統計は少ないものの、得られた X 線スペクトルは一温度熱放射モデル ($kT \sim 3$ keV を仮定) で再現され、X 線光度 $\sim 3 \times 10^{32}$ erg s⁻¹ (0.5–10.0 keV 帯域) を得た。また、得られた X 線吸収量は星間吸収量とエラーの範囲で一致した ($N_{\text{H}} \sim 1 \times 10^{22}$ cm⁻²)。これは、観測時の連星間距離が比較的長く (4–5 a.u.)、X 線放射領域が WR 星風による吸収をほとんど受けていないと解釈できる。

本講演では、これらの解析の結果を報告し、X 線観測から制限される WR 星の質量放出率について言及する。また、2016 年 12 月に実施された XMM-Newton 衛星による即応観測 (約 7 ksec) の結果も合わせて報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17a スーパーチャンドラセカール超新星候補 SN Ia 2012dn の赤外線超過：放射起源である星周ダストの空間分布と親星への示唆

長尾崇史, 前田啓一 (京都大), 山中雅之 (甲南大)

近年、典型的なものより明るい Ia 型超新星が発見されてきた。これらの超新星の光度を ^{56}Ni などの放射性崩壊で説明するには、爆発した天体としてチャンドラセカール限界質量より重い白色矮星を考える必要がある。その為、これらはスーパーチャンドラセカール超新星 (SCSN) と呼ばれており、その起源が大きな注目を集めている。Ia 型超新星の親星として、二つの有力なモデルが提案されている。白色矮星と非縮退星の連星である SD モデルと二つの白色矮星の連星である DD モデルである。しかし、このどちらが主な親星なのかは分かっていない。これらを観測的に区別する方法の一つに、星周物質を調べる方法がある。SD モデルでは、爆発前に伴星からの大きな質量放出が期待される為、比較的多くの星周物質を持つと予想されている。近年、SCSN 2012dn において、近赤外光度曲線の後期に超過が発見された (Yamanaka et al. 2016)。Yamanaka et al. (2016) では、超新星周囲のダストによる吸収/再放射がこの赤外線超過の起源であると、簡単なモデルを用いて提案した。本研究では、詳細なエコーモデルを用いて、この赤外線超過を説明できる星周ダストの空間分布を詳細に調べた。その結果、ダストの分布の形状は、開き角が 20[度] 程度、内側半径が 0.04[pc] 程度の円盤 (やジェット) 形状であることがわかった。さらに、動径密度分布は定常質量放出の時に期待される半径のマイナス二乗に比例するような分布であることがわかった。得られたダスト質量から親星の質量放出率を推定すると、 $1.2 \times 10^{-5} [M_{\odot}/\text{yr}]$ であった。これらの結果は、SCSN 2012dn の親星として SD モデルを強く支持する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N18a 初代超新星爆発におけるフッ素生成

柴田まさき, 富永望 (甲南大学)

宇宙における重元素は超新星爆発による元素合成によって生成され、金属量は時間と共に増加する。つまり、金属量が少ない星（金属欠乏星）は宇宙のより初期に生成された事を示しており、その化学組成は初代超新星爆発の元素合成を検証する上で重要である。しかし金属欠乏星の起源としての初代星爆発モデルは未だ明らかにされておらず、多様な親星や爆発エネルギー、爆発モデルでシミュレーションが精力的に行われている。

これまでの研究で、球対称な超新星爆発では金属欠乏星の元素組成を再現できない事が知られており、非球対称効果としてレイリーテイラー不安定性やジェット状超新星爆発が考えられている。ジェット状超新星爆発はガンマ線バーストや極超新星爆発の際に起こるモデルの一つとして考えられており、この爆発モデルを用いると球対称モデルに比べて、ジェットによる高エントロピー環境によって Ti, Co, Zn などが生成されやすくなり、金属欠乏星の元素組成比をよりよく再現する。一方で、これまで観測がないために注目されていなかったが、一部のジェット状超新星爆発モデルではフッ素が大量に生成されている例が存在していた。

そこで本研究では、フッ素の生成起源や条件を探る事がジェット状超新星爆発の証拠に繋がると考え、それらについて調査した。その結果、フッ素は水素層において、 $T_9 = 0.7 \sim 1$ の領域で比較的良好に生成される事が分かった。さらに爆発エネルギーやジェットの角度を小さくすると、フッ素の生成量が小さくなるという結果が得られた。また、フッ素を生成するためには、親星として外層に窒素が多く存在する必要がある事も明らかとなった。これらの結果は、金属欠乏星でフッ素が観測されれば、その起源は爆発エネルギーが大きく、回転の寄与によって外層に窒素を多く持つ星を親星とする超新星爆発である事を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N19a SDSS/SEGUE で見つかった超金属欠乏星の詳細組成解析 II

松野允郁 (総合研究大学院大学/国立天文台), 青木和光 (国立天文台)

金属欠乏星の組成には初期の銀河の化学進化が記されているとしてその研究が盛んになされている。中でもリチウムはビッグバンに迫ることのできる唯一の元素であり、また、恒星の進化に強く影響される数少ない元素でもある。リチウム組成を議論するためには明らかに進化の過程でリチウム含有量が減少している赤色巨星を避け、主系列段階の金属欠乏星の観測を行うことが不可欠である。しかしながら、主系列段階にあるような温度の高い金属欠乏星の組成解析がなされた例は未だ少ない。精度の高い組成解析を進めるためには、有効温度や表面重力といったパラメータの決定が重要となる。金属欠乏星では局所熱平衡の近似のあてはまりが悪くなるうえ、温度の高い主系列星では検出される吸収線の数少なく、鉄の吸収線から有効温度や表面重力を決定することは困難であった。そこで今回は主にバルマー線を用いて有効温度の導出を行った。加えて非局所熱平衡の影響を避けるため、明るい超金属欠乏主系列星 G64-12 を参照星として鉄の吸収線の差分解析を行った。バルマー線の解析と差分解析の結果からは、矛盾しない結果を得ている。また別の明るい金属欠乏主系列星 LP815-43 においても同様の解析を行った。さらにこの恒星については、恒星の色を利用し有効温度を、Gaia 衛星による年周視差の測定結果を利用し表面重力を求めることができる。いずれの手法においても誤差の範囲で矛盾しない値を得た。

本講演ではそれぞれの手法について、検出される吸収線の本数が与える影響やフォトンノイズの影響、パラメータ同士の相関について詳細に比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N20a 超金属欠乏 AGB 星の水素混合による s 過程元素合成

須田拓馬 (東京大学), Amanda I. Karakas (Monash 大学)

超金属欠乏星は、金属量 (鉄組成) が太陽の千分の一程度以下である星であり、銀河系ハローや近傍矮小銀河で見ついている。これらの星は宇宙初期に誕生したと考えられ、宇宙初期における化学進化や星形成史を探るのに有用なプローブである。特に、超金属欠乏星の中には炭素過剰星が多く存在していることが知られており、元素組成パターンや視線速度変動の観測から、AGB 星との連星間質量輸送を経た証拠が見ついている。

炭素過剰を示す超金属欠乏星は s 過程元素の過剰を示すものとそうでないものがあり、二つの種族に分類されると考えられている。前者は視線速度変動のモニタリングから、すべて連星に属しており、AGB 星からの質量輸送を受けて炭素と s 過程元素が降着したとする説が有力である。後者については、その起源は論争中であり、炭素の起源が AGB 星であるのか、または大質量星であるのか、理論的にも観測的にも決着は付いていない。

超金属欠乏星の恒星進化計算では、AGB 段階 (あるいは赤色巨星段階) において、水素層にある水素がヘリウム・フラッシュの対流層に取り込まれることにより、水素フラッシュおよび、その後の表面对流層侵入による核反応生成物のくみ上げが起こる。水素混合による爆発的な核反応は、数値計算が困難である一方、中性子捕獲反応による多様な元素生成のチャンネルが開かれるため、炭素過剰金属欠乏星の起源を探るうえで非常に重要である。

本研究では、AGB 段階における水素混合による元素合成を post-processing によって追跡し、水素混合による s 過程元素の内部分布を調査する。特に、ヘリウム・フラッシュによる対流層の成長と、水素混合による水素フラッシュが起こるタイミングに着目し、核反応と物質混合過程が星表面の元素組成、ひいては観測される超金属欠乏星の元素組成パターンにどのように反映され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](#)

N21a M型星の近赤外高分散スペクトルにおけるFeH吸収線の振る舞い

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

M型主系列星はその低温・低質量などの特徴から、太陽系近傍のハビタブル惑星を探すターゲットとして有力視されており、世界中でM型星周りに絞った惑星探査計画が進められている。これらの計画において惑星が見つかってくれば、各種惑星の存在度とその主星の金属量との相関について理解が進むと期待される。

しかしこれまでM型星の金属量決定は経験則による推定がほとんどだった。これは、M型星の可視光スペクトルは分子の吸収が強いため、より高温の星では有効な可視光高分散スペクトルを用いた方法が適用できなかったためである。しかし近赤外高分散分光装置が開発され始めた今後は、可視光よりもM型星からの放射が強く分子の吸収線も比較的少ない近赤外線領域において、高分散スペクトルを用いた方法が有用になると考えられる。ただし分子の吸収が一切無視できるわけではなく、特に目立つものとしてはFeH分子の吸収線がある。

近赤外高分散スペクトルを用いたM型星の金属量決定としては、Önehag et al. (2012), Lindgren et al. (2016)によるM5より早期の星を扱った研究があるが、FeHの吸収線について彼女らは、有効温度を決める際の複数の線のフィッティングに用いるにとどまっている。我々は、今後さらに低温の星も含めて解析するにあたり、FeHの各吸収線の振る舞いを丁寧に理解することが重要と考えた。我々は、ESOによるリダクション済み公開データCRIRES-POPのバーナード星の近赤外高分散スペクトルを用い、FeHの各吸収線の同定と等価幅の測定を行った。その結果、線強度が有効温度の仮定に敏感であることを確認した。Excitation potentialの低い吸収線においては、各線の等価幅から計算される金属量の値が大きくばらついたため、考えられる原因とその対処法について検討した。また、先行研究と同様に、原子の吸収線からは鉄やカルシウム、チタンなど組成の測定が可能であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N22c すばる/MOIRCS の多波長同時分光モニタリング観測により求めた褐色矮星の3次元構造

空華智子(国立天文台), 中島紀(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)

褐色矮星は、太陽のような恒星と地球や木星に代表される惑星との中間の質量を持つ天体である。褐色矮星の大気は分子によって支配されており、それに加え重元素で構成されるダストが存在しているため大変複雑である。そのため、分子やダストにより特徴づけられるスペクトルも大変複雑で理解が難しく、既存の大気モデルで広波長範囲のスペクトルを同時に説明することは未だ困難である。これは、褐色矮星のような非灰色大気をもつ天体は、波長ごとに異なる高度の情報を反映していることから、既存の大気モデルが褐色矮星の高度方向の構造を再現できていない、あるいは、水平方向に構造をもつとすれば、それを考慮する必要があることを意味している。

そこで我々は、波長領域 $1\text{--}20\ \mu\text{m}$ の同時分光モニタリング観測および理論大気モデルとの詳細比較を通して、褐色矮星の3次元大気構造を考慮した研究を進めている。第一段階として、分光観測で得られる様々な波長の分子吸収バンドをプローブにし対応高度における温度の時間変動を調査することで、大気の全体像の解明を目指している。2016年秋にすばる望遠鏡の多天体近赤外撮像分光装置 MOIRCS を用いて、 H 、 K バンド ($1.4\text{--}2.5\ \mu\text{m}$) における CH_4 (温度に敏感) の吸収バンドのモニタリング観測を実施した。本年会では、この観測に基づく分光モニタリング観測データの解析結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N23a KIC11145123の扁平率

関井 隆 (国立天文台 / 総研大), L. Gizon, A. C. Birch (MPS), 高田将郎, 柴橋博資 (東大), D. W. Kurtz (Central Lancashire 大), M. Bazot, O. Benomar (New York 大 Abu Dhabi 校), K. Sreenivasan (New York 大)

A型星 KIC11145123 は Kepler 衛星による4年間にわたる観測で、音波モードと重力波モードの両方で振動する hybrid oscillator であることがわかった (Kurtz et al. 2014)。固有モードの azimuthal order が m の場合、このモードを構成する波は m の正負に応じて自転軸の周りに反時計周り、または時計周りに伝わる。また、degree が l であるとする漸近的には、緯度方向に緯度 $\cos^{-1} \sqrt{m/(l+1/2)}$ まで伝わる。固有振動数 ν_{nlm} (n は radial order) は星が完全に球対称である時は m に依存しないが、星が回転している場合には波の伝播方向と自転の向きとの関係から m に関して奇数次の依存性が現われ (rotational splitting) $\nu_{nlm} - \nu_{nl,-m}$ を測定することで自転の速さがわかる。また、星が扁平であったりして構造が緯度に依存する場合、波の伝播は m の正負にはよらないが伝播領域の緯度範囲が m によるために m に関して偶数次の依存性が現われて、 $\nu_{nlm} + \nu_{nl,-m} - 2\nu_{nl0}$ を測定することで扁平率がわかる。この星の振動は非常にコヒーレントであり、固有振動数は高精度で測られる。自転に関しては、周期が約100日のほぼ一様回転であることが Kurtz たちによって報告されている。今回われわれは、この星の扁平率の測定に成功した (Gizon et al. 2016)。赤道半径と極半径の差 δR と星の半径 R との比は $\delta R/R \sim (1.8 \pm 0.6) \times 10^{-6}$ であり、これは太陽よりも1桁小さい。また、この扁平率は100日の自転周期から期待される扁平率の1/3程度でしかなく、何かが星の扁平率を下げていることになる。磁場がひとつの可能性であること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](#)

N24a KIC11145123 の内部回転

八田良樹, 関井隆 (国立天文台), 高田将郎 (東京大学)

恒星の内部回転はその星の動的構造の主要な成分として、またとくに磁場の生成に関わるダイナモ機構や恒星内部の元素混合に関係して、その理解は重要である。内部回転の推定には星震学的手法が用いられる。自転速度が遠心力の影響を無視できるほど遅い場合、観測値である固有振動数の rotational shift と内部自転角速度との間に線型関係が成り立つ。この線型方程式は同定された固有モードの数だけ立式できるので、最終的には連立方程式を解くことで内部自転角速度を推定することができる。

Kurtz et al. (2014) は、星震学的手法を用いて A 型星 KIC11145123 の内部自転角速度を推定し、この星はほぼ剛体回転であること、しかしコアの角速度が外層の角速度に比べて遅いことを見出した。この結果は角運動量輸送の過程に新たな制約を課す可能性がある。この結論自体は仮定したモデルに殆ど依存しないのだが、一方で実際に Regularized Least Square 法を使って逆問題を解くと、確かに外層が速い解を得たが、残差が大きいという問題が残った。

今回われわれは、彼らとは異なるアプローチ (Optimally Localized Averaging 法) で一次元の線型逆問題を再度行い、結果が RLS 法の場合と矛盾しないことを確かめた。これは、RLS 法を用いた場合の大きな残差は、逆問題がうまく解けていないことによるのではなく、KIC11145123 のモデルの誤差が大きいことによることを示唆している。また、Kurtz らは角速度が中心からの距離のみに依存すると仮定したのに対し、われわれは二次元の逆問題にも取り組んでいる。以上の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N25a A型星 KIC11145123 の高分散分光解析

比田井昌英 (東海大), D.W. Kurtz (Unv. Ctrl. Lancashire), 柴橋博資 (東大), S.J. Murphy (Unv. Sydney)

Kepler 衛星により観測された A 型星の KIC11145123 について、Kurtz et al.(2014,MNRAS,444,102) は星震学解析から、この星は Sct p-mode と Dor g-mode の両方の脈動をしていることを発見した。このことから、この星の中心核と表面の回転を初めて揺るぎ無く決定し、回転は周期約 100 日で、中心核と表面はほとんど同じ回転をしている剛体回転であることを示した。このような剛体回転を説明する角運動量輸送機構がどのようなものが問題である。さらに、このような遅い回転を示す A 型星のこの星の性質が問題である。遅い回転 (自転) をする A 型星には Ap、Am 星がある。しかし Ap 星は KIC11145123 で検出された p mode と g mode を持つことがこれまで知られていないので、当てはまらない。そのため、Am 星である可能性が出てくる。一方、blue straggler 星も遅い回転を示すことが知られている。従って、Kurtz らは、この星は Am 星あるいは blue straggler 星であろうと、予測した。

この予測を確認するために、2015 年 7 月に観測したすばる HDS による高分散分光データに基づき、この星の性質 (大気変数、自転速度、視線速度、化学組成、磁場など) を明らかにし、Am 星か blue straggler 星か、あるいは正常な A 型星なのか、について調べたので報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N26a 赤色巨星の混合振動モードの再定式化と抑圧された双極子モード問題の考察

高田将郎 (東大理), B. Mosser (Paris Observatory)

近年観測技術の進展により、数多くの赤色巨星の表面で微弱な振動(太陽型振動)が検出され、赤色巨星に「振動を用いて内部構造を探る」という星震学の手法を適用することかできるようになった。とくに、ここ10年ほどのあいだにCoRoT、Keplerといった宇宙探査機による高精度連続観測が実現され、赤色巨星の星震学は急速に発展しつつある。現在この分野で、特に関心を集めているトピックの一つに「抑圧された双極子モードの問題」がある。太陽型振動を示す赤色巨星では、さまざまな固有振動モードが検出されており、その表面での振動パターンにより、球対称(動径)モード、双極子モード、四重極子モードなどに分類される。このうち約1割弱の星では、なぜか双極子モードの振幅が、他の星の約10-70%と小さくなっているのである。最近になって、この現象は中心部(ヘリウム核)にある磁場によって振動モードを構成する波動が散乱されるために起きるとする注目すべき仮説が提唱された(Fuller et al., 2015, Science 350, 423)が、星の中心部に局在する磁場を直接検出することは難しく、最終的な結論を下すには詳細な検証が必要である。

本研究では、まず赤色巨星の太陽型振動の双極子モードを再定式化し、次にそれに基づいて抑圧された双極子モード問題の磁場による説明の妥当性を検討する。このモードは、中心の内部重力波と外層の音波という物理的に性質の異なる2種類の波動で構成される混合モードであり、従来は中心と外層で立つ異なる定常波が相互作用して星全体の固有モードを形成するという描像で記述されていた。これに対し、今回は中心から外層へ(あるいはその逆方向に)伝播する進行波の起こすトンネル効果という描像を採用する。新しい定式化にもとづくと、外層から中心核への波の透過率を観測的に決めることが可能となり、磁場説を詳細に検討できるようになる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [G会場]

P101a	13:30	AKARIによる星生成領域近赤外線氷吸収バンドの観測	尾中敬(東京大学)
P102a	13:42	Analyses of the AKARI Phase 3 Prism Slitless Spectroscopic Data of the Large Magellanic Cloud	Jin Zhang (The University of Tokyo)
P103a	13:54	Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 3	Jungmi Kwon (ISAS/JAXA)
P104a	14:06	次世代赤外線天文衛星 SPICA による星および惑星系形成過程の解明	深川美里(名古屋大学)
P105a	14:18	ASTE 望遠鏡による小質量星形成領域の高密度分子雲コア探査	徳田一起(大阪府立大学)
P106b	14:30	おうし座暗黒星雲における分子雲コアの大局的分布 II	有馬宣明(大阪府立大学)
P107b	14:30	OrionB 分子雲における超低質量天体の近赤外広域測光探査観測	大朝由美子(埼玉大学)
P108b	14:30	へび座分子雲における超低質量天体形成の観測的研究	小田達功(埼玉大学)
P109b	14:42	すばる望遠鏡広視野撮像カメラ HSC を用いたおうし座星形成領域における低質量天体探査	馬場はるか(総合研究大学院大学)
P110b	14:42	高銀緯分子雲における星形成の探査観測	平塚雄一郎(埼玉大学)
P111b	14:42	トラペジウムクラスターの赤外線長期撮像観測-2	伊藤綾香(法政大学)
P112b	14:54	ブライトリム分子雲の可視分光探査(2)	細谷謙介(兵庫県立大学)
P113b	14:54	FU Ori 型星 V960Mon の中分散分光モニター観測	高木悠平(国立天文台)
P114b	14:54	「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状(8)	山村一誠(宇宙航空研究開発機構)
P115a	15:06	「あかり」近・中間赤外線スリットレス分光アーカイブの作成: 1. 波長 9 μm 点源カタログ	山岸光義(宇宙航空研究開発機構)
P116b	15:18	逆位相補償を用いた IRAS05358+3543 の年周視差による距離決定及び内部運動	水窪耕兵(鹿児島大学)
P117b	15:18	大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測(4)	原田遼平(大阪府立大学)

3月17日(金)午前(09:30-11:30) [G会場]

P118a	09:30	大質量星形成におけるフィードバックと星形成率	田中圭(フロリダ大学)
P119b	09:42	大質量原始星周りでの HII 領域の形成進化とその観測的特徴	田中圭(フロリダ大学)
P120b	09:42	超大質量星形成における円盤の化学進化と安定性	松木場亮喜(東北大学)
P121b	09:42	低金属量星形成過程で駆動される原始星ジェットの可能性	樋口公紀(九州大学)
P122a	09:54	大質量星形成における角運動量輸送	松下祐子(九州大学)
P123a	10:06	The impact of ionizing radiation on the formation of a supermassive star in the early Universe	鄭昇明(東京大学)
P124a	10:18	初代星によるフィードバックを考慮した金属欠乏星形成環境	千秋元(甲南大学)
P125a	10:30	大質量星形成における輻射フィードバック効果の金属度・降着率依存性	福島肇(京都大学)
P126a	10:42	初代星形成期の自転が降着成長および降着円盤構造に与える影響	高橋実道(東北大学)
P127a	10:54	衝撃波圧縮を受けた低金属量ガス雲の熱進化と低質量分裂片の形成について	仲内大翼(東北大学)
P128a	11:06	原始惑星系円盤光蒸発の金属量依存性	仲谷峻平(東京大学)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P129b	11:18	降着流が原始星へ持ち込むエントロピーについて 國友正信 (名古屋大学)
P130b	11:18	ALMA 望遠鏡を用いたオリオン座分子雲中の原始星 (Class I 天体) 周囲の回転構造の研究 西海拓 (京都産業大学)
P131b	11:18	Relationship between Chemical Evolution of Carbon-Chain Molecules and Physical Evolution in High-Mass Star-Forming Regions Kotomi Taniguchi (SOKENDAI / Nobeyama Radio Observatory)

3月17日(金)午後(13:30-15:18) [G会場]

P132a	13:30	若い原始惑星系円盤の大域的渦状腕の起源 富田賢吾 (大阪大学)
P133a	13:42	ロスビー波不安定性によって形成する原始惑星系円盤上の巨大渦 小野智弘 (京都大学)
P134a	13:54	円盤と相互作用する中心星近傍の円盤・磁場構造に対する円盤磁場の影響 高棹真介 (名古屋大学)
P135a	14:06	Origin of Spiral Structures in the Disk around AB Aurigae: Multi-Epoch Subaru Observations Tomoyuki Kudo (Subaru telescope/NAOJ)
P136a	14:18	分子雲収縮中における連星の種の時間進化 佐塚達哉 (大阪大学)
P137a	14:30	Class 0/I YSOs 中の自己重力円盤における見かけ上の質量減少と微惑星形成 塚本裕介 (鹿児島大学)
P138a	14:42	Resolving Envelope to Disk Transition around the Class 0 Protostar, IRAS04368+2557 坂井南美 (理学研究所)
P139a	14:54	ALMA Cycle 2/3 のよる Class I 原始星 L1489 IRS の観測 崔仁士 (東京大学)
P140a	15:06	Role of the magnetic field in ≤ 100 AU: New insights on star formation revealed with ALMA Satoko Takahashi (National Astronomical Observatory of Japan; Joint ALMA observatory)

3月18日(土)午前(09:30-11:18) [G会場]

P141a	09:30	A Massive Dense Gas Cloud close to the Nucleus of the Seyfert galaxy NGC 1068 古屋玲 (徳島大学)
P142a	09:42	Giant Molecular Cloud Collisions as Triggers of Star Cluster Formation Benjamin Wu (NAOJ)
P143a	09:54	分子雲衝突の3次元高解像度数値シミュレーション 島和宏 (北海道大学)
P144a	10:06	W3 Main における分子ガス構造と星団形成との関係の解明3 齋藤弘雄 (筑波大学)
P145a	10:18	磁場に垂直に貫かれたフィラメント状星間雲の動的収縮 富阪幸治 (国立天文台)
P146a	10:30	垂直な磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の Jeans 不安定 花輪知幸 (千葉大学)
P147a	10:42	ALMA cycle 2 におけるオリオン KL 電波源 I の星周円盤とアウトフローの高空間分解能観測 廣田朋也 (国立天文台)
P148a	10:54	KaVA による大質量原始星候補天体 G357.967-0.163 に付随する水レーザージェットの高空間分解能観測 元木業人 (山口大学)
P149a	11:06	大質量星形成領域 G9.62+0.20 からの 6.7 GHz メタノールレーザー放射に見られる周期強度変動要因の観測研究 佐藤宏樹 (茨城大学)

P101a AKARIによる星生成領域近赤外線氷吸収バンドの観測

尾中 敬, 左近 樹, 木村 智幸 (東京大学), 下西 隆 (東北大学)

近赤外線領域には H_2O ($3.05\ \mu\text{m}$), CO_2 ($4.27\ \mu\text{m}$), CO ($4.67\ \mu\text{m}$), XCN ($4.62\ \mu\text{m}$) などの氷の吸収バンドが観測され、星間空間における氷の生成・変性の研究に重要な情報を与える。「あかり」衛星は warm mission phase 中に銀河面上の多くの星生成領域の近赤外線低分散スペクトル ($2\text{--}5\ \mu\text{m}$; $R \sim 100$) を取得した。これらのスペクトルに共通して見られる H_2O と CO_2 の氷の吸収の解析を行った結果、従来報告されている2つの氷の柱密度の間に相関が見られたものの、柱密度の小さい領域では CO_2 氷の柱密度がより少なくなる傾向が見られた。柱密度の相関は2つの氷がダスト表面上で同時に競合して生成される過程が一般の星生成領域でも支配的であることを支持する。一方、柱密度比の減少は同じスペクトル中で見られる PAH $3.3\ \mu\text{m}$ バンド、あるいは $\text{Br}\alpha$ の強度の増加と弱い相関を示し、星生成領域の進化とともに氷の組成が変化している可能性が示唆される。また減光量を示す $\text{Br}\beta$ と $\text{Br}\alpha$ の比と柱密度の関係からは、氷の存在に減光量の閾値があることが示される。今回得られた閾値は $A_v \sim 5$ でこれまで Taurus 領域で得られていた値と矛盾しない。これら星生成領域の「あかり」の近赤外線スペクトルの解析から示唆される星間氷の性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102a Analyses of the AKARI Phase 3 Prism Slitless Spectroscopic Data of the Large Magellanic Cloud

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

Since the Large Magellanic Cloud (LMC) is one of the nearest star-forming galaxies ($d \sim 50$ kpc), we are able to observe individual stars in it. Heavy elements have important influences on stars when they are forming, and there would be differences in the formation processes of young stars. By investigating young stellar objects in the LMC whose metallicity is about half of that of the solar neighborhood, we can obtain a new perspective on the process of star formation. Based on the AKARI/IRC Phase 2 data of the Large-area Survey of the LMC, a point source catalog (Ita et al. 2008; Kato et al. 2012) and a near-infrared spectroscopic catalog (Shimonishi et al. 2013) have been released to the public. The slitless spectroscopy of AKARI suffers contamination from overlapping nearby sources. Between Phase 2 and Phase 3, the dispersion direction was rotated by 180° respected to the detector array, resulting in different overlapping parts of spectra. By careful analyses, more spectral information can be derived which could not be obtained only by Phase 2 data.

We performed the data reduction of AKARI Phase 3 near-infrared spectroscopy ($2 - 5.5 \mu\text{m}$) of the LMC, which covers almost the same area as in Phase 2 ($\sim 10 \text{ deg}^2$). We have finished the initial process and investigated the flux calibration. We will report the progress of the data reduction as well as some of the results so far obtained.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 3

Jungmi Kwon (ISAS/JAXA), Motohide Tamura (The University of Tokyo/NAOJ), James H. Hough (University of Hertfordshire), Tetsuya Nagata (Kyoto University), and SIRPOL team

Polarimetry is a crucial tool for studying the physical processes in the interstellar medium, including star-forming regions. Especially, circular polarization (CP) is an important astronomical tool not only to study circumstellar structures but also to act as a potential surface biosignature on (exo)planets. We have been conducting a systematic near-infrared CP survey in star-forming regions, covering high-mass, intermediate-mass, using the SIRPOL imaging polarimeter on the Infrared Survey Facility 1.4 m telescope at the South African Astronomical Observatory. In our previous studies, the results have showed for the first time the universality of CP in star and planet forming regions. In this presentation, we show our new near-infrared imaging circular polarimetry results detected from Mon R2 and GGD 27, combined with linearly polarimetric results. The results that we found are consistent with dichroic extinction mechanisms generating the high degrees of CP in star forming regions.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104a 次世代赤外線天文衛星 SPICA による星および惑星系形成過程の解明

深川美里, 石原大助, 金田英宏, 犬塚修一郎 (名古屋大), 野村英子 (東工大), 野津翔太 (京都大), 本田充彦 (久留米大), 尾中 敬, 左近 樹 (東京大), 中川貴雄 (宇宙研), 芝井 広 (大阪大), 他 SPICA チーム

星・惑星系形成過程の解明は, SPICA 計画における主要科学目的の一つである。特に (1) 星形成における磁場の役割, (2) 原始惑星系円盤でのガスの散逸過程, そして (3) デブリ円盤へ至るまでの氷・ダストの物質進化を明らかにすることを目指す。我々は, SPICA チームの欧州側メンバーとともに, これら科学目的の設定や観測の具体的な検討を行ってきた。本講演では, その検討結果を報告する。

分子雲にはフィラメント状構造が普遍的に存在し, その形成には磁場が関与することが知られている。しかし, フィラメント内で星形成が起きる際の物理条件は理解されていない。SPICA の遠赤外観測装置 SAFARI には 100, 200, 350 μm での偏光撮像機能が搭載される予定である。これにより, 近傍の分子雲に対して, フィラメントの幅 0.1 pc を空間分解しながら, 幅広い密度領域 ($A_V \sim 0.5$ から >100) にわたり磁場構造を明らかにできる。さらに SAFARI での [OI] 輝線 (63 μm) 等の観測により, フィラメント形成における乱流散逸の役割も同時に解明できる。

星周円盤でのガス散逸は, 惑星の形成過程や軌道進化に大きく影響する。SAFARI を用いれば, HD 輝線 (56, 112 μm) の検出が多数の円盤に対して可能となり, 高精度のガスの定量 ($>10^{-4} M_{\odot}$) がようやく実現する。また, 中間赤外観測装置 SMI の高分散分光機能 (12–18 μm , $R \sim 28,000$) を用いると, $\text{H}_2\text{S}(1)$ 等の輝線の速度分解によって, 1–10 au 付近のガスの散逸過程を探ることができる。 H_2O 輝線を使えば雪線の位置の推定も可能になる。さらに, SAFARI による分光で, 氷 (40–70 μm) やダストの結晶化度・組成の進化を明らかにできる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105a ASTE 望遠鏡による小質量星形成領域の高密度分子雲コア探査

徳田一起, 有馬宣明, 原田遼平, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 松本倫明 (法政大学), 宮本洋輔, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

最近の ALMA 観測や理論シミュレーションにより、小質量星形成の初期段階における動的な描像が明らかになりつつある (Tokuda et al. 2014, 2016, Matsumoto et al. 2015) が、この一般性/多様性を含めた星形成の初期条件を追求するには、原始星形成の直前もしくは直後に相当する天体の統計的な研究が必要である。しかし、そのような段階に相当する高密度な分子雲コアの数は絶対数が極めて少なく、かつその密度の高まりを確認するためのサブミリ波帯高密度ガストレーサーの高励起線の観測が必ずしも十分ではなかった。

我々は、内部に $\sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$ の高密度領域がある MC27/L1521F の ALMA による観測結果に基づいて、 H^{13}CO^+ (4-3) 輝線が分子雲コア中心部に潜む高密度天体を探るために有用であるという道筋を得た。そこで、原始星形成直前の段階にあると思われる高密度分子雲コアの同定を目的とし、IRAM 30m により得られた 1.2 mm 帯ダスト連続波のピークが $120\text{--}330 \text{ mJy } 20''\text{beam}^{-1}$ 程度と比較的強い (上記の MC27/L1521F の 0.5–1.4 倍に相当)、おうし座領域の 7 つの分子雲コアの中心 1 点に対して ASTE 望遠鏡を用いた H^{13}CO^+ (4-3) 輝線等による高感度観測を行った。このうち、5 つが星なし分子雲コア、及び 2 つが VeLLO (Very Low-Luminosity Object) を内部に含むコア (比較のための MC27/L1521F と IRAM04191) である。1 点あたりの感度は、 T_A^* スケールで $T_{\text{rms}} \sim 10 \text{ mK}$ ($dv = 0.2 \text{ km s}^{-1}$) を達成した。ダスト連続波が比較的弱いもの ($120\text{--}170 \text{ mJy beam}^{-1}$ で全て星なしコア) は 2/4 天体、強いもの ($120\text{--}330 \text{ mJy beam}^{-1}$) は全ての天体で、 H^{13}CO^+ (4-3) の 50–100 mK のエミッションを検出し、コア内部に潜む星形成直前的高密度 ($\sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$) ガスの有無を判別するための有力な情報を得ることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106b おうし座暗黒星雲における分子雲コアの大局的分布 II

有馬宣明, 徳田一起, 原田遼平, 前澤裕之, 小川英夫, 大西利和 (大阪府立大学), 西村淳 (名古屋大学)

近年のミリ波・サブミリ波の観測的研究により高密度分子ガス塊の理解は大きく進み、 H_2 個数密度 10^5 cm^{-3} 程度の分子雲コアの性質が、星の初期質量関数を決定している可能性が高いことなどが明らかになってきた (e.g., Onishi et al. 2002) が、これら分子雲コアの形成条件や環境等の理解を深めるにはコアの周辺を含めた広い領域の観測が要求されていた。我々は大阪府立大学 1.85 m 望遠鏡を用いて 2010–2014 年度までに観測したおうし座領域全面に対する ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2-1$) データの解析を進めており、これまでに低柱密度環境下での分子雲コアの検出 (大崎他 2014 年秋年会, 徳田他 2016 年秋年会) 等を報告してきた。

本講演では ^{12}CO , ^{13}CO でトレースできる分子雲の物理量と C^{18}O でトレースできる分子雲コア (密度 $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) の分布の関係について紹介する。 C^{18}O ($2-1$) は、主に密度に敏感な $^{13}\text{CO}(2-1)/^{12}\text{CO}(2-1)$ 比がクラウド全体の平均値である 0.2 以上で、かつ ^{13}CO ($1-0$) 輝線から求めた柱密度が $\geq 3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ の領域に多く分布する。このことから、大局的に 10^4 cm^{-3} 程度の高密度領域を形成しているクラウドはコアの周囲も高い柱密度かつ高密度になっていることが伺える。しかし、低柱密度かつ $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$ 比が比較的低い領域に存在する C^{18}O 分子雲コアも見出すことができた。この分子雲コアは L1495 領域の北側 $\sim 3 \text{ pc}$ に位置し、おうし座分子雲を構成する主なフィラメント構造からは孤立している。この分子雲コアのサイズおよび質量はそれぞれ、 $\sim 0.3 \text{ pc}$, $\sim 4 M_{\odot}$ 程度であり、 C^{18}O ($2-1$) 輝線を用いて同定した他の分子雲コアの典型値と同程度である。これらの結果は、この分子雲コアは必ずしも周囲のクラウドのガス総量や密度に依存せずに形成されたことを示唆しており、分子雲コアの形成条件を探る上で重要な天体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](#)

P107b OrionB 分子雲における超低質量天体の近赤外広域測光探査観測

大朝由美子，北島隆太郎，渡邊千夏（埼玉大学）

星の初期質量関数 (IMF) は、質量が軽くなるほど天体数が増加する増加関数で表されるが、超低質量側の IMF が場所によらず一様に増加するか、折れ曲がりを持つかは明らかでない。そこで我々は、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 IMF、環境による形成の差異等を探るべく、若い褐色矮星や惑星質量天体が十分検出可能な可視/近赤外探査観測プロジェクトを進めている。

本研究では、大質量星形成領域であるオリオン B 分子雲 (OriB) を観測対象とした。OriB は、OB 型星を含む天体が集団的に形成されている質量 \sim 数 $10^4 M_{\odot}$ の巨大分子雲 (距離 $\sim 400\text{pc}$) である。同様の大きさを持つオリオン A 分子雲中のトラペジウム領域では、超低質量天体が多数見つかり、その IMF が $\sim 0.2 M_{\odot}$ でピークを持つことが複数の観測で報告されているが、OriB では明らかではない。そこで、NGC2068/NGC2071、双極分子流やジェットを伴う FUOri 型星 V1647Ori を含む OriB 北領域における超低質量天体の分布を調べることを目的として、UKIRT3.8m 望遠鏡と WFCAM を用いた広域近赤外測光探査観測 (~ 0.9 度四方) を行った。JHK3 バンドの 10 限界等級は、VISTA オリオン探査観測より 1 等以上深く ($K > 19$)、二色図から赤外超過の見られる Class II 天体候補が千天体以上同定された。OriB の年齢を 1 Myr と仮定して進化トラックを基に質量を求めると、その大半が褐色矮星や惑星質量天体候補であった。また、NGC2068 領域については、すばる望遠鏡/MOIRCS による深い近赤外観測データを取得して解析するとともに、同領域の Spitzer 望遠鏡/IRAC カタログ (Megeath et al. 2012) と同定された天体については、合わせた二色図や SED を調べた。これら超低質量天体の IMF や、T タウリ型星/褐色矮星/惑星質量天体の分子雲における空間分布や、トラペジウム領域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](#)

P108b へび座分子雲における超低質量天体形成の観測的研究

小田達功, 大朝由美子 (埼玉大学)

超低質量天体と呼ばれる褐色矮星・惑星質量天体は、非常に暗いため観測数が少なく (e.g. Oasa et al. 1999)、その普遍性や形成進化過程など未解明の部分が多い。本研究では、低温で分子雲に埋もれた超低質量天体の探査を行うため、UKIRT3.8m 望遠鏡と広視野赤外線撮像装置 (WFCAM) を用いて、近赤外線測光観測を行った。

研究対象は、近傍の中質量星形成領域 (~260pc) であるへび座分子雲とした。へび座分子雲は大きく3つの領域 (A, B, South) に分けられ、電波観測等により、分子雲の様子や非常に若い天体の存在が判明している。最も分子雲密度が高いA領域については、すばる望遠鏡による超低質量天体の近赤外探査観測が行われており、褐色矮星や惑星質量天体は分子雲密度の小さい領域で形成されやすいことが示唆されている (佐藤 2015 年修士論文)。

本研究では、フィラメント構造を持つ分子雲であるB領域とSouth領域について、超低質量天体形成の有無を調べた。B領域は分子雲密度は高くないが、 ^{13}CO ガスと1.1mm連続波ダストの密度が共に高い領域と、ガスもしくはダスト密度は高いがダストもしくはガス密度は低い領域を含んでいる。South領域はClass0/I天体が多く発見されており、星形成の非常に早い段階であることが知られている。解析結果から、全領域で超低質量天体候補が同定された一方、ガス・ダスト比の異なる領域において超低質量天体候補の個数比に違いが見られた。また、質量関数は質量が軽いほど増加する傾向が見られたが、褐色矮星質量域では領域により違いが見られた。同じ分子雲内でも環境の異なる領域において、超低質量天体の形成に違いがあるのかもしれない。本講演では超低質量天体の空間分布と分子雲のガス・ダスト密度との関係や質量関数をもとにA領域とB領域、South領域で比較を行い、へび座分子雲における超低質量天体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](#)

P109b すばる望遠鏡広視野撮像カメラ HSC を用いたおうし座星形成領域における低質量天体探査

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

近年のディープサーベイによって、褐色矮星と惑星の境界付近の質量をもつ天体が星形成領域およびフィールド双方で検出されるようになってきた。しかしこれらのような惑星質量天体はその形成過程について観測的に解明されたわけではなく、理論的に複数の形成過程が提案されている。褐色矮星や惑星質量天体の存在数や形成の過程を理解することは、恒星の初期質量関数の低質量端の決定のために非常に重要である。初期質量関数は星の相対的な存在量を星の質量の関数として表すもので、観測的および理論的に非常に重要な関数である。しかし観測においても、惑星質量天体が非常に暗い天体であることから十分な精度での観測結果が得られておらず、形成過程への制限がついていないのが現状である。

おうし座星形成領域は年齢約 1Myr、距離が約 140 pc の星形成領域で、その若さと近さから惑星質量天体の探査に最も適した領域の一つである。いっぽう、若い星が広い領域に分布しているためその探査には広視野の深い撮像観測が不可欠である。我々はすばる望遠鏡超広視野撮像装置 HSC を用いておうし座星形成領域のうち 13.5 平方度の領域を *i* 'バンドと *z* 'バンドで撮像観測を行い、これまでになく深さで広範囲での観測結果が得られた。本講演ではこの観測の解析結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110b 高銀緯分子雲における星形成の探査観測

平塚雄一郎、大朝由美子(埼玉大学)、伊藤洋一(兵庫県立大学)、山本宏昭(名古屋大学)

星形成は銀河円盤付近の高密度分子雲で多く起こると考えられている。一方で、密度の低い銀緯 $\geq \pm 30^\circ$ に位置する高銀緯分子雲は、星なし分子雲とも呼ばれていて、分子雲を対象とした ^{12}CO 、 ^{13}CO 等で電波観測が行われているが、可視や近赤外での前主系列星探査観測例はほぼない。そこで、我々は高銀緯分子雲中で低質量星や褐色矮星などの形成が起こっているかどうか、そしてどのような特徴を持つかを調べる観測的研究を進めている。また、銀河面の分子雲との星形成の描像に違いがあるのかを調べ、高銀緯での星形成過程の解明の助けとする。

本研究では2006年~2015年にTタウリ型星の $\text{H}\alpha$ 輝線探査を目的としてハワイ大学の2.2m望遠鏡とWFGS2(広視野グリズム分光撮像装置)を用いたスリットレス可視分光観測を行った。観測対象はMagnani et al.(1985)で同定された分子雲及び参照領域としてペルセウス座分子雲とおうし座分子雲の合計3.2平方度である。本講演ではMBM55の約0.7平方度分について解析を進め、近傍にあるHLCG92-35(2015秋季年会 大朝)と比較した。MBM55は C^{18}O は検出されず、星形成の証拠が見つかっていないが、可視分光観測で分子雲の低密度領域にWTTS候補が2天体見ついている。本研究は、各領域で $\text{H}\alpha$ 輝線が検出されたTタウリ型星候補天体を複数同定した。さらに、ROSAT、USNO、2MASS、WISE、AKARIなどの多波長測光値を用いて、これらのTタウリ型星候補天体について、二色図やSEDを作成しディスクやX線検出の有無、距離の推定を行った。またHR図と進化トラックから質量と年齢の算出を行い、分子雲の電波CO強度図とTタウリ型星候補天体の空間分布を求めた。

本講演ではMBM55と近傍にあるHLCG92-35について、 $\text{H}\alpha$ の等価幅やディスク、X線検出の有無、HR図の結果から、Tタウリ型星候補が高銀緯分子雲中で形成したのか、その場合の星形成率について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111b トラペジウムクラスターの赤外線長期撮像観測-2

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

我々は南アフリカの IRSF1.4-m 望遠鏡に SIRIUS(SIRPOL) 赤外線カメラを付けて撮像された、2000年、2005年、2014年に取得された赤外線画像（JHK_s バンド）を解析をすることで、地球に最も近い大質量星形成領域にあるトラペジウムクラスター中の変光星（YSO）を検出し、その性質を調べている。

昨年 of 春季年会では検出した 45 星の変光星に対して、変光パターンを定量化して示す新しい手法を提案し以下の報告をした。大部分の変光星 (36/45) は、2000 年から 2014 年にかけて、増光して青くなったか減光して赤くなったかのどちらかで、変光幅が大きいものほど色の変化も大きかった。このことから視線方向の星周円盤中の物質の柱密度の変化が変光の原因で、その変化のタイムスケールは数年～10 年程度であることが示唆された。

本講演では、45 星それぞれの赤化ベクトルを求め、その傾きを星間減光の赤化ベクトルの傾き G_{JH} と比較した結果を報告する。2000-2005/2000-2014 の間の変光で、 $G_{\text{JH}} \pm 30^\circ$ を持つもの、 100° 以上異なるもの、中間のものはそれぞれ、14/8、4/3、27/34 星であった。このことから、45 星のうち約 2/3 の変光は星間減光に関わるのと同種の物質の柱密度の変化であると示唆される。しかし、残りの変光星の傾きは G_{JH} とは大きく外れていて単純な星間減光では説明できない。Carpenter et al.(2001) も、我々より広視野を 2 年間観測して約 1000 個の変光星を見つけ G_{JH} と大きく異なる傾きを持つ星 2 個を見いだしているが、今回の長期間観測により、このような星の頻度はかなり高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](#)

P112b ブライトリム分子雲の可視光分光探査 (2)

細谷謙介、伊藤洋一 (兵庫県立大学)

前主系列星の進化については、おうし座分子雲などの低質量星形成領域で詳細な研究が行われてきた。たとえば Bertout et al. (2007) は年周視差の測定をもとに、Tタウリ型星は年齢とともにH α 輝線が弱くなることを明らかにした。Takagi et al. (2014) は、高分散分光観測による表面重力の測定から、Tタウリ型星は年齢とともに近赤外超過量が小さくなることを示した。このように、静かな環境での星形成については多くの知見が得られている。それでは隣接するOB型星から大量の紫外線放射を浴びるブライトリム分子雲(BRC)で形成される前主系列星の進化は、おうし座分子雲の前主系列星の進化と同様なのだろうか。我々はインド Girawali 天文台の IUCAA 2m 望遠鏡を用いて、15 個の BRC について 6563 \AA を中心とした狭帯域で分光観測を行った。その結果 186 個の H α 輝線天体を検出した。これらの R バンド等級は 10 ~ 18 等程度で 0.5 太陽質量程度の低質量 YSO と考えられる (2016 年秋季年会 P136b)。BRC ではおうし座分子雲と比べて K バンドでの超過を示し H α 輝線の強い天体が少ないことがわかった。また、BRC では K バンドの超過を示し H α 輝線の弱い天体が多いことが分かった。これらの天体は 3 μm 帯で超過を示す。また、H II 領域である IC1396 には K バンドの超過を示し H α 輝線の強い天体、K バンドの超過を示し H α 輝線の弱い天体が両方とも多数存在することがわかった。講演ではこれらの結果について報告し、周囲の環境による星形成活動の違いを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113b FU Ori 型星 V960Mon の中分散分光モニター観測

高木悠平（国立天文台）、本田敏志、高橋隼、森鼻久美子、伊藤洋一、（兵庫県立大学西はりま天文台）、大朝由美子（埼玉大学）

FU Ori 型星 V960 Mon について、増光後約 1 年 3 か月に渡り分光モニター観測を行った。FU Ori 型星の増光は、前主系列段階にある星で起こる集中的な質量降着に伴って生じる。一般的に FU Ori 型星は 5 等程度の大きな増光を示し、増光期間は数年から数十年ほどである。この増光期における質量降着率は $10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 程度であり (Kenyon et al. 1988)、一般的な T タウリ型星のおおよそ 10^3 倍で、前主系列段階の質量降着の大部分を占めるフェーズである。

これまでに観測されている FU Ori 型星は数が限られており (e.g., FU Ori, V1057 Cyg)、いくつかの測光モニター観測の例はあるものの分光モニター観測がなされた例は非常に少ない。Powell et al. (2012) は FU Ori に対する分光モニター観測を行い、青方偏移した吸収成分の変動から降着に伴う星風の周期性などを導出したが、FU Ori 型星のアウトバーストの一般的な描像を得るにはまだ観測例が足りていない。

我々は、2014 年におおよそ 3 等増光した V960 Mon について、兵庫県立大学西はりま天文台のなゆた望遠鏡/可視中低分散分光装置 MALLS を用いてモニター観測を行った。得られたスペクトルは G 型巨星のスペクトルをスムージングさせたものとよく一致し、FU Ori 型星のスペクトルに見られる一般的な特徴を有している。さらに、 $H\alpha$ 線には P Cygni プロファイルが見られ、質量降着と星風の活動を反映すると考えられる輝線成分・吸収成分の変動が確認された。本講演ではこれらの観測結果から、この FU Ori 型星の性質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](#)

P114b 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (8)

山村一誠 (ISAS/JAXA)、「あかり」チーム

赤外線天文衛星「あかり」の取得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。「あかり」データは、処理に特別なツールとスキルを必要とするが、2013年4月より活動している「あかりデータ処理・解析チーム」では、あらかじめ処理を施したデータプロダクトを作成・公開することで、ユーザーが必要なデータを検索・閲覧し、ただちに科学的解析に取りかかることを可能にし、「あかり」データのより広い天文学研究への利用を進めようとしている。

現在我々は「遠赤外線微光天体カタログ」、「中間赤外線全天イメージマップ」、「遠赤外線スロースキャン観測データ」、「中間赤外線スロースキャンデータ」、「遠赤外線 FTS 分光データ」を、今年度中の公開を目標に作成中である。講演・ポスターではこれらのデータの内容を紹介し、星形成研究を中心とした科学研究への効果的な利用方法について議論する。

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

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115a 「あかり」近・中間赤外線スリットレス分光アーカイブの作成: 1. 波長 $9 \mu\text{m}$ 点源カタログ

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

現在、「あかりデータ処理・解析チーム」は、「あかり」の残した貴重なデータを天文学研究に有効に活用するため、“Science Ready” なデータを公開するべく、データ処理・解析・アーカイブ活動を進めている。その活動の一環として、我々は近・中間赤外線スリットレス分光カタログの作成を行っている。「あかり」スリットレス分光では、観測視野 ($10' \times 10'$) 全体に対して、一度に一定方向に光を分散させることによって、多数の点源天体からのスペクトルを取得することができる。しかしスリットレス分光は、その光の分散方法のため、近隣天体とのスペクトルの重なりが避けられない。そのため、重なりの有無を判断し、信頼できるスペクトルのみを抽出する必要がある。この問題を解消するため、我々はスペクトルと同時に取得されている参照イメージデータから、視野内の点源天体のカタログを作成し、その空間情報をもとにスペクトルの重なりの有無を判断しようと試みている。

本発表では、「あかり」MIR-S チャンネル (分光波長 $4.6\text{--}13.4 \mu\text{m}$) の観測時に取得される、波長 $9 \mu\text{m}$ の参照イメージデータから点源カタログを作成したので、その概要を報告する。スリットレス分光のデータが取得できる全 870 観測 (のべ 24 平方度の観測視野に対応) に対する解析を行い、点源検出を行ったところ、約 57,000 天体、検出限界感度 0.3 mJy のカタログが得られた。この検出限界感度は、WISE W3 バンド (波長 $12 \mu\text{m}$) の感度 0.86 mJy よりも有意に深い。このカタログは、スリットレス分光カタログの作成に伴う副産物ではあるが、これ自身が科学的価値のあるデータのため、スペクトルに先行して公開することを検討している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116b 逆位相補償を用いた IRAS05358+3543 の年周視差による距離決定及び内部運動

水窪耕兵, 半田利弘, 中川亜紀治, 永山匠 (国立天文台), VERA プロジェクトチーム

IRAS05358+3542 は、大質量星の周囲に様々な分子雲とアウトフローがあり、ジェットが存在も示唆されている。この領域は運動学的距離 1.8kpc が得られているが、(l,b)=(173.4845,+02.4337) に位置しているため信頼性が非常に低い。そこで、年周視差による IRAS05358+3543 は、大質量星の周囲に様々な分子雲とアウトフローがあり、ジェットが存在も示唆されている。この領域 距離決定をするために、2013 年から 2015 年にかけて VERA で行われた水メーザーの観測を解析した。解析方法は、参照電波源が弱いため逆位相補償を用いた。位相補償では参照電波源を見つけることができなかったが、逆位相補償では参照電波源を見つけることができた。その結果、 $1.150 \pm 0.068\text{mas}$ の年周視差を測定し、固有運動を得ることができた。だが、361mas しか離れていないメタノールメーザー源に対する VLBA の観測では、 $0.602 \pm 0.022 \text{ mas}$ の年周視差が得られている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117b 大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測 (4)

原田遼平, 大西利和, 徳田一起, 森岡祐貴, 高田勝太, 本間愛彩 (大阪府立大学), 西合一矢, 河村晶子, Erik Muller (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Annie Hughes, Jean-Philippe Bernard(IRAP), Margaret Meixner(STScI), Omnarayani Nayak(Johns Hopkins Univ.), Marta Sewilo(NASA/GSFC), Remy Indebetouw(Univ. of Virginia, NRAO), Tony Wong(Univ. of Illinois)

大質量星のほとんどは巨大分子雲 ($10^5 M_{\odot}$ 以上) の中で形成されると考えられている。しかし、大小マゼラン雲において、*Spitzer*, *Herschel* の観測により、巨大分子雲から離れている孤立した大質量原始星が多く存在することが報告されているが、その母体となる分子雲の情報は得られていなかった。我々は、大マゼラン雲において、「なんてん」で検出された分子雲から 200 pc 以上離れているという条件の下で、Mopra, ALMA 望遠鏡を用いて大質量原始星方向を高分解能観測 (~ 0.4 pc) を行い、質量数百から数千 M_{\odot} 、大きさ数 pc のコンパクトな分子雲を検出した (原田ほか 2015 年秋季年会)。

今回、 $^{13}\text{CO}(1-0, 2-1)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ の 3 輝線を用いて LVG 計算により原始星に付随する分子ガスの物理状態を求めた。得られた密度は $3-9 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ であり、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線から求めた LTE 質量や ビリアル質量を分子雲を球と仮定して計算した密度と factor 3 程度以内で一致しており、比較的密度が高い分子ガスに関しては $\text{CS}(2-1)$ 輝線を検出した。分子ガスの密度は、銀河系内の大質量星形成領域の分子雲 (例えば、オリオン座分子雲) の CO 輝線から求めた密度 ($\sim 1 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$) よりも数倍高いことが明らかになった。原始星方向に分子輝線の強度ピークをもつ分子ガスの典型的な温度は 20–40 K で、原始星方向で高くなっている様子は見られないことから、原始星によって加熱されているわけではなく、分子ガスが本来持つ温度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](#)

P118a 大質量星形成におけるフィードバックと星形成率

田中圭, Jonathan C. Tan (フロリダ大学), Yichen Zhang (理化学研究所)

大質量星は星間物質の物理的・化学的進化に重大な影響を与える天体である。しかし、その形成過程は小質量星形成と比べ、まだ十分に理解されているとは言えない。理論的な側面から言えば、形成中の大質量星自身が放つ強力な輻射によるフィードバックの理解が大切な鍵と考えられている。過去10年で輻射圧に関する理論研究は大きく進展をみせているが、小質量星形成でも重要となる磁気円盤風や、初代星形成で強力とされる光蒸発、さらには恒星風による質量放出というあらゆるフィードバックを同時に考慮した研究例はまだ存在しない。

本研究 (Tanaka et al. 2017) では、分子雲コア崩壊による大質量星形成における複数のフィードバックの影響を理論モデルを用いて調べた。初期分子雲コアの質量 M_c と周辺クランプ面密度 Σ_{cl} をパラメータとして、フィードバックを考慮した中心星への質量降着率を、原始星進化と共に整合的に解き、星形成率 (初期コア質量に対する降着終了時の星質量) を求めた。結果として (1) 小質量星形成と同様に、円盤風が最も強力なフィードバックで星形成率を 0.3–0.5 程度に制限すること, (2) 輻射圧は、 $\Sigma_{cl} \lesssim 0.3 \text{ g cm}^{-2}$ 環境で星質量が $\gtrsim 100 M_\odot$ に達するような場合には、星形成率を大きく下げること, (3) 光蒸発は、ダストによる電離光子吸収によって、その影響は弱まること, (4) 恒星風はほぼ無視できること, (5) 少なくとも $300 M_\odot$ 程度までは、フィードバックによって限界質量は決まらないこと, などがわかった。本講演では輻射フィードバックの金属量依存性や初代星形成との関連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](#)

P119b 大質量原始星周りでの HII 領域の形成進化とその観測的特徴

田中圭, Jonathan C. Tan (フロリダ大学), Yichen Zhang (理化学研究所), Jan E. Staff (バージニアイランド大学)

大質量星形成と小質量星形成の大きな違いの1つは、大質量原始星から放射される電離光子によって HII 領域が形成される点にある。HII 領域からの free-free 連続波と再結合線は、大質量原始星の進化段階の観測的診断にも利用することができる。そこで本研究 (Tanaka et al. 2016) では、理論モデルと輻射輸送計算を用いて、大質量原始星周りでの HII 領域の形成進化とその観測的特徴を調べた。

原始星質量が $10\text{--}20M_{\odot}$ まで成長すると Kelvin-Helmholz 収縮が進み、電離光子放出率が急激に高くなり HII 領域の形成が始まる。初期段階では強力なアウトフローが「壁」の役割を果たし、HII 領域はアウトフロー軸付近に閉じ込められることがわかった (outflow-confined HII 領域)。その後、電離光子放出率が $\sim 10^{47} \text{ s}^{-1}$ まで上昇すると HII 領域はこのアウトフローの「壁」を突き破り拡大する。しかし、密度の高い降着円盤とエンベロープ付近は中性のまま保たれるので、HII 領域はアウトフローと同様の双極形状になることが分かった。さらに我々は輻射輸送計算を用いて HII 領域からの電波放射の特徴を調べた。双極型 HII 領域からの free-free 放射フラックスは $\sim 100(\nu/10 \text{ GHz})^{0.5}(d/\text{kpc})^{-2} \text{ mJy}$ 、その見かけのサイズは 10GHz で $\sim 500 \text{ AU}$ 、そして $\text{H}40\alpha$ の線幅はおよそ 100 km s^{-1} であった。これらは観測されている電波ジェット/電波ウィンドの性質と整合的な値である。

本ポスター講演ではさらに 3次元 MHD シミュレーション (Staff et al. 2015) より得られた密度構造を用いて、outflow-confined HII 領域のより詳細な構造と時間変動についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P120b 超大質量星形成における円盤の化学進化と安定性

松木場亮喜, 高橋実道, 大向一行 (東北大学)

観測により、赤方偏移 $z \sim 7$ の初期宇宙に質量 $\sim 10^9 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホールが存在することが示唆されている。この観測事実から、初期宇宙環境下で巨大な質量を持つ天体を迅速に形成するシナリオが求められている。その形成シナリオとして有力視されているのがダイレクトコラプスシナリオである。ダイレクトコラプスシナリオとは、超大質量星と呼ばれる $\sim 10^5 M_{\odot}$ の星がその死後に残す同程度の質量を持つブラックホールを種として、超大質量ブラックホールを形成するシナリオである。超大質量星を形成するためには、その原始星周囲の円盤からの降着率が高いことが必要である。高い降着率の下では、原始星からの輻射によるフィードバックを抑えることができるため、原始星は高い降着率を保って成長し、超大質量星になると期待される。しかし、高い降着率をもつ円盤は自己重力的に不安定化しやすく、分裂を起こす可能性がある。円盤が分裂することで、原始星への降着率は時間変動をするようになり、原始星の成長に影響を及ぼすと推察される。円盤は高い降着率の他にも温度が低いほど分裂しやすく、その冷却過程は円盤中のガスの化学進化に依存する。先行研究となる Schleicher et al. 2016 において、円盤中のガスの化学進化について論じられている。しかしその中で用いられている冷却関数は、球対称な構造の冷却率をよく再現する関数であり、冷却の取り扱いに課題を残していた。

そこで本研究は円盤の場合に則した冷却関数を用いて、一次元定常降着円盤の始原ガスの化学進化、そして冷却過程を詳細に追った。そうすることで、超大質量星形成における自己重力円盤中のガスの分裂について調査した。この結果から基づき、円盤の安定性と原始星から超大質量星への成長について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P121b 低金属量星形成過程で駆動される原始星ジェットの可能性

樋口公紀, 町田正博 (九州大学), 須佐元 (甲南大学)

銀河系内のガス雲の観測によると、 μG 程度の磁場が存在する。理論研究から、磁場が存在すると、原始星からアウトフローやジェットが駆動されることが考えられている。これらのフローの駆動により、角運動量をガス雲中心部から外部に輸送することができるため、原始星の形成が可能となる。つまり、星形成過程での「角運動量問題」を解決できることが示唆される。角運動量問題は、銀河系内の星形成過程のみならず、過去の宇宙や銀河系外の星形成過程においても、同様に存在すると考えられる。しかし、これらの環境で起こる星形成過程で、角運動量をどのように輸送するかは、現在 ($Z/Z_{\odot} = 1$) と宇宙初期 ($Z/Z_{\odot} = 0$) の星形成過程を除いて、調べられていない。そこで、今回我々は、低金属量環境 ($0 < Z/Z_{\odot} < 1$) での星形成過程に注目する。この環境下における星形成過程で、アウトフローやジェットが駆動されると、角運動量問題を解決する手がかりとなる。さらに、強力なジェットが駆動される場合、周囲の物質をかき乱し、周囲の星形成に影響を与える可能性がある。以上より、アウトフローやジェットの駆動可能性を調べることは、宇宙の進化を理解する上で非常に重要である。

本研究では、低金属量環境において、ガス雲から原始星が形成するまでの、3次元非理想磁気流体力学 (MHD) シミュレーションを行った。計算の結果、低金属量環境で生じる星形成過程において、ジェットが駆動するものと駆動しないもの、さらに、分裂が起こるものと起こらないものがあることがわかった。この結果を踏まえ、低金属量環境で起こる星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](#)

P122a 大質量星形成における角運動量輸送

松下祐子, 町田正博 (九州大学), 細川隆史 (京都大学), 櫻井祐也 (東京大学)

大質量星は、周囲の環境に影響を及ぼすために宇宙の進化に重要な役割を果たしていると考えられる。一方で、その形成過程は未だに解明されていない。そこで、星形成過程で普遍的に駆動されているアウトフローに着目して、大質量星の形成過程を探っている。磁気アウトフローは、降着ガスの掃き集めや星間空間への物質の放出により、星形成効率や角運動量輸送に重要な役割を果たしている。星形成過程において、角運動量問題が存在するが、低質量星では、初期に分子雲コアが持っている大部分の角運動量がジェットやアウトフロー (磁気制動) により輸送されることが分かっている。大質量星においても、角運動量問題が存在すると思われる。したがって、大質量星の場合、どのような機構が角運動量輸送を最も効率的に行っているのかを調べるために、磁場の散逸の効果を含めた3次元磁気流体力学 (MHD) シミュレーションを行った。

大質量星の場合も、低質量星同様に主にアウトフローで角運動量を輸送していることが分かった。しかし、低質量星と比較すると、アウトフロー以外、例えば、円盤分裂などによる角運動量輸送も効果的に行われている可能性がある。今回の発表では、どのような機構がどの程度角運動量輸送に貢献しているのかを報告する。また、アウトフローの物理量を観測の場合と比較する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a The impact of ionizing radiation on the formation of a supermassive star in the early Universe

鄭昇明 (東京大学) M. Latif (IAP)

A massive primordial halo near an intensely star forming galaxy may collapse into a supermassive star (SMS) and leave a massive black hole seed of about $10^5 M_{\odot}$. To investigate the impact of ionizing radiation on the formation of an SMS from a nearby galaxy, we perform three-dimensional radiation hydrodynamical simulations by selecting a pair of massive dark matter halos forming at $z > 10$. We find that rich structures such as clumps and filaments around the source galaxy shield the cloud from ionizing radiation. In fact, in some cases cloud collapse is accelerated under ionizing radiation. This fact suggests that the ionization of the cloud's surroundings helps its collapse. Only strong radiation at the early stage of structure formation can halt the cloud collapse, but this is much stronger than observationally allowed value. We also explored the effect of ionizing radiation on a sample of 68 halos by employing an analytical model and found that increase in the mean density of the gas between the SMS forming cloud and the source galaxy protects the gas cloud from ionizing radiation as they approach each other. Thus, we conclude that ionizing radiation does not prevent the formation of an SMS in most of the cases.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P124a 初代星によるフィードバックを考慮した金属欠乏星形成環境

千秋元, 須佐元 (甲南大学)

銀河系外縁部 (ハロー) には宇宙年齢程度の長寿命の星が観測されており、その中には太陽近傍と比較して金属量の小さい星 (金属欠乏星) があるが、小質量かつ低金属量の星の起源は未解明である。我々が以前行った低金属量ガス雲の収縮シミュレーションにより、金属量 $\gtrsim 10^{-5} Z_{\odot}$ では、ダスト冷却によって星形成ガス雲の分裂が促進され、小質量星が形成される傾向となることがわかった。ただし、そのシミュレーションでは、金属とダストを一様に与えた初代星形成ハローを初期条件としていた。金属とダストは初代星の超新星爆発によって供給されるので、それらの分布は非一様であると考えられる。今回、我々は流体シミュレーションを用いて、金属欠乏星形成環境を詳細に調べた。まず、初代星の紫外線放射による周囲のガスの水素原子の電離と水素分子の解離を輻射輸送計算を用いて解き、続いて超新星爆発による衝撃波の伝播と金属の拡散過程を追った。初期条件として、赤方偏移 ~ 20 で形成される質量 $2 \times 10^5 M_{\odot}$ と $8 \times 10^5 M_{\odot}$ のミニハローを用いた。初代星質量には不定性があるので、それぞれのハローに対し、重力崩壊型 (CCSN) および対不安定型超新星 (PISN) となる $30 M_{\odot}$ 、 $200 M_{\odot}$ の初代星を考慮する。その結果、ハローの重力ポテンシャルが初代星の輻射エネルギーより大きい場合、電離波面が広がらず、続く超新星爆発による金属の拡散が抑制されることがわかった。金属を含むガスは再びハローに降着し、その場で金属欠乏星が形成されると考えられる。また、PISN モデルでは H II 領域の密度が小さく ($\sim 1 \text{ cm}^{-3}$)、超新星爆発によって金属がハローのビリアル半径以上に拡散されることがわかった。衝撃波の伝播を 10^7 年追った限りでは、金属を含むガスは再収縮しなかった。これは、PISN の重元素組成を持つ金属欠乏星が極端に少ないという観測結果と整合する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P125a 大質量星形成における輻射フィードバック効果の金属度・降着率依存性

福島 肇 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学)

銀河の形成・進化において、大質量星は紫外線放出による HII 領域形成、超新星爆発による重元素放出により多大な影響を与える。このため、初期宇宙の低金属度環境下において形成される星質量を調べることは銀河形成過程を考察する上で重要である。

大質量形成において、質量増加に伴って原始星輻射も大きくなり、降着流内に含まれるダスト粒子への輻射圧や HII 領域の形成により質量降着が抑制される。輻射フィードバックが有効となる原始星質量は星形成環境の金属度と降着率に依存する。低金属度環境では降着流内のダスト粒子の数密度が減少し降着流にかかる輻射圧が弱くなる。また高降着率の場合には降着流全体が持つ運動量が大きくなるため、ダスト層へのフィードバックが有効となる原始星質量は大きくなる。HII 領域形成についても高降着率の場合には HII 領域半径が小さくなり、より大質量星が形成可能となる。

本発表では、定常・球対称を仮定し原始星への降着流解を求めた結果について発表する。ここでは、輻射輸送計算をすることでダスト粒子が降着流へもたらす輻射圧を計算し、輻射フィードバック効果を評価する。また低金属度環境 ($Z < 10^{-3} Z_{\odot}$) については、HII 領域形成を評価することで限界質量を導出する。得られた結果をもとに限界質量の金属度・降着率依存性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a 初代星形成期の自転が降着成長および降着円盤構造に与える影響

高橋実道, 大向一行 (東北大学)

初代星は、金属汚染や紫外線による電離等を通して周囲のガスに影響を与えるため、宇宙の進化を理解する上で重要な役割を果たすと考えられている。これらの初代星の影響を明らかにするためには、初代星の質量が重要となる。これまでも初代星の質量については多くの研究がなされてきたが、近年、原始星の自転の効果により初代星の質量が制限される可能性が指摘された (Lee and Yoon 2016)。

原始星が構造を維持するためには、星表面で輻射力と遠心力より重力が大きい必要がある。これを $\Omega\Gamma$ -limit と呼ぶ。回転速度が十分大きく遠心力と輻射圧の和が重力と釣り合うような原始星はそれ以上高速で回転することはできず、角運動量を持ったガスが降着できなくなる。Lee and Yoon 2016 では、初代星は形成過程でこの $\Omega\Gamma$ -limit に達し、その後は原始星へのガス降着率が減少することで、初代星の質量が $20\text{-}40M_{\odot}$ に抑制されると主張している。しかし、原始星の回転速度の進化は原始星とその周囲の降着円盤の間の角運動量輸送によって決まるが、この先行研究の主張は原始星からの輻射の影響を考慮していない降着円盤の計算に基づいているという点で不十分であった。

そこで、本研究では原始星からの輻射による加熱および輻射力を考慮した上で降着円盤の定常解を求め、初代星形成過程において原始星に角運動量を持ち込まずに高いガス降着率を維持することが可能であることを示した。このことから、原始星の自転の影響を考慮しても初代星の質量は抑制されないことが期待される。また、この結果に基づき、初代星形成過程での降着円盤構造の進化についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P127a 衝撃波圧縮を受けた低金属量ガス雲の熱進化と低質量分裂片の形成について

仲内大翼, 大向一行 (東北大学)

重元素を含まない始原ガス雲から形成される種族 III 星は典型的に $100 M_{\odot}$ と大質量であったと考えられている。一方で近傍宇宙で観測される星々は重元素を含み典型的質量は太陽質量程度かそれ以下である。このような大質量から低質量への星形成モードの遷移を引き起こしたのはダストによる冷却であったと考えられている。

星形成モードの遷移が起きた時期は、初代銀河が形成された時期にも相当する。このような時期では、銀河形成に伴い発生した衝撃波のため圧縮加熱された状況から冷却を開始するガス雲の存在が想定される。Safranek-Shrader et al. 2010 において銀河形成シミュレーションから示唆される密度、温度を初期条件として、衝撃波圧縮を受けた低金属量ガス雲の熱進化が調べられた。その結果、ダストが存在しない場合でも、ガスに含まれる金属量が $3 \times 10^{-3} Z_{\odot}$ を超える場合には $10 M_{\odot}$ を下回るような低質量の分裂片が形成する可能性のあることが示された。

しかしながら、彼らの調べた状況設定は限定的であり、低質量の分裂片が形成する具体的な条件が明らかとなったとは言い難い。そこで本講演では様々な金属量やダスト量、外部紫外線照射下において、衝撃波圧縮を受けた低金属量ガス雲の熱進化を計算する。分裂片の質量を系統的に調べ、ダストがない場合でも低質量の分裂片が形成されるのか、またその条件はどのようなものであるかを調べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128a 原始惑星系円盤光蒸発の金属量依存性

仲谷峻平, 細川隆史, 吉田直紀, 野村英子, Rolf Kuiper

原始惑星系円盤は有限の時間で消失することが観測的に知られている。この時間を円盤の寿命という。円盤寿命は近傍星団の観測から、およそ数百万年であると示唆されてきた (e.g., Haisch et al. 2001)。一方、近年の銀河外縁部星団の観測から、低金属量環境下では円盤の寿命がおよそ百万年以下と、太陽近傍に比べ短いことが示唆された (e.g., Yasui et al. 2010)。寿命を含めた円盤消失に関する観測事実を、統合的に説明できるものの一つとして光蒸発がある。光蒸発とは、中心星や近傍星からの高エネルギー光子 (遠紫外線; FUV、極超紫外線; EUV、X 線) 照射により加熱された円盤物質が、円盤系の重力を振り切って円盤上空に流れ出す現象のことを指す。本研究では、金属量を変えて光蒸発のシミュレーションを遂行することで、円盤寿命の金属量依存性を明らかにする。

本研究では、流体コード PLUTO(ver. 4.1) に輻射輸送・ガス加熱/冷却・ダスト温度計算モジュールを実装したコードを用いた。初めは、EUV による水素電離加熱および FUV による光電加熱のみを取り入れてシミュレーションを遂行した。光電加熱は、その加熱率が金属量 (ダスト量) に依存するために、結果的に誘起される光蒸発流の形状や物理/化学的特徴、光蒸発による質量損失率が金属量に依存することが明らかになった。また、この光蒸発率の金属量依存性を、解析モデルを用いて説明した。本研究で得た光蒸発率の金属量依存性は、X 線光蒸発率の金属量依存性 (Ercolano & Clarke 2010) のように金属量に対して単調な傾向を示すものではなく、 $Z \sim 0.3Z_{\odot}$ で光蒸発率が最大になる傾向を示すものである。ただし、Ercolano & Clarke (2010) では静的な見積もりから光蒸発率を導いているものであるため、流体シミュレーションにより光蒸発率を導いて比較する必要がある。したがって、本研究の次過程で、X 線加熱も取り入れたときの光蒸発率の金属量依存性を明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P129b 降着流が原始星へ持ち込むエントロピーについて

國友正信，犬塚修一郎（名古屋大学）

近年，低質量星の前主系列進化が活発に議論されている．標準的な前主系列進化の描像は，星は大きな半径とともに誕生した後，林トラック，ヘニイトトラックを経て準静的に収縮し，主系列星となる，というものである．しかし近年，主質量降着期における原始星への降着流のエントロピーが低い場合には，これまでの標準的な描像とは大きく異なる前主系列進化を辿りうるということが明らかになった．例えば低エントロピーな降着流の場合には，標準的な進化に比べて前主系列星の半径は1桁，光度は2桁以上も小さくなりうることが示された．従って，降着流のエントロピーを決定することは若い星の進化の理解に非常に重要である．本講演では，質量降着期における降着流のエントロピーを決定する第一歩として，1次元の降着円盤の進化を計算し，星周円盤内縁のエントロピーについて議論する．質量降着率が大きい場合には，円盤内縁での温度構造は，粘性加熱と鉛直方向のエネルギー流束に加えて，動径方向の輻射によるエネルギー流束およびエントロピーの移流も重要になる．これらの効果を考慮し，様々な質量降着率や原始星質量に対してエントロピーを決定した．得られた結果を用いて，原始星進化およびその後の前主系列進化に対する影響を議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130b ALMA 望遠鏡を用いたオリオン座分子雲中の原始星 (Class I 天体) 周囲の回転構造の研究

西海拓 (京都産業大学), 高橋智子 (国立天文台/合同アルマ観測所), Edward B. Fomalont (NRAO/合同アルマ観測所), 富阪幸治 (国立天文台), 町田正博 (九州大学), 中西康一郎 (国立天文台)

我々より最近傍に位置するオリオン巨大分子雲中では、フィラメント状構造を持つ分子雲中で活発な星形成が行われている。我々は ALMA 望遠鏡を用いることで、領域内の Class I 天体の一つである MMS7 に対して $^{12}\text{CO}(2-1)$ と $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ の高空間分解能観測を行った。 $^{12}\text{CO}(2-1)$ 輝線イメージでは、すでに存在の知られている東西方向に伸びる分子流の根元部分のガス ($|v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}| \leq 2.1 \text{ km s}^{-1}$) を検出した。 $(v_{\text{sys}}: \text{系の速度}, v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}: \text{系の速度に対するガスの速度})$ 一方、 $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ 輝線からは、分子流と垂直方向に伸びた高密度ガスの検出に成功した。速度構造を解析した結果、(i) 高速度成分ガス ($|v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}| = 1.7 - 3.8 \text{ km s}^{-1}$) は原始星周辺 $\sim 1200 \text{ AU}$ 以内に集中しており、(ii) 低速度成分ガス ($|v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}| \leq 1.7 \text{ km s}^{-1}$) は $\sim 10^4 \text{ AU}$ スケールで広がる構造を持つことが明らかとなった。これら検出されたガスは (i) 原始星周辺の円盤状構造と、(ii) 剛体回転的なエンベロープ構造に対応する。前者は今回の高空間分解能観測で初めて検出された成分であり、後者は以前の $\text{H}^{13}\text{CO}^+(1-0)$ を用いた研究で報告されている大域的なコアの回転運動につながる成分であることが示唆された。本発表では、中心星からの距離 (半径) と速度の関係を $(v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}) \propto r^{-\alpha}$ (r : 中心星からの距離, $\alpha = 0.5 - 1.0$) で考察することにより、位置 - 速度図 (PV 図) を利用して観測データとモデルの比較から原始星に付随する円盤状構造の特徴について議論を行う。本発表は、2016 年 8 - 9 月に行われた国立天文台・総合研究大学院大学サマースチューデントプログラムにおけるチリ・合同アルマ観測所での実習の結果に基づいたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131b Relationship between Chemical Evolution of Carbon-Chain Molecules and Physical Evolution in High-Mass Star-Forming Regions

Kotomi Taniguchi, Masao Saito, Tetsuhiro Minamidani (SOKENDAI/Nobeyama Radio Observatory), & T. K. Sridharan (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

Carbon-chain molecules are well known as good chemical evolutionary indicators of starless cores and star-forming cores in low-mass star-forming regions, but the relationships between chemical evolution and physical evolution have not been studied well. In addition, there are few studies about observations of carbon-chain molecules toward high-mass star-forming regions, in contrast to low-mass star-forming regions. We carried out survey observations of HC₃N and HC₅N at the 45 GHz band toward 17 high-mass starless cores (HMSCs) and 35 high-mass protostellar objects (HMPOs) with the 45-m radio telescope of the Nobeyama Radio Observatory. We find a positive correlation between the integrated intensity of HC₃N and 1.2 mm continuum flux in both HMSCs and HMPOs, which means that HC₃N is a dense gas tracer. The fractional abundances of HC₃N and HC₅N are higher in HMSCs than in HMPOs, which suggests that both species decrease in star-forming cores, as well as low-mass star-forming regions. We also recognize a negative correlation between the column density of HC₃N and the luminosity-to-mass ratio (L/M), which is a parameter for the age of cores. The results also suggest that HC₃N is destroyed by UV radiation from the IRAS sources, as generally considered.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132a 若い原始惑星系円盤の大域的渦状腕の起源

富田賢吾 (大阪大学), 町田正博 (九州大学), 細川隆史 (京都大学), 櫻井祐也 (東京大学), Chia Hui Lin (National Taiwan University)

ALMA により原始惑星系円盤の多様な構造が明らかになりつつある。その中でも最近報告された Elias 2-27 の星周円盤 (Pérez et al. 2016, Science) は大域的な 2 本の顕著な渦状腕を持つ、大変興味深い天体である。このような渦状腕の起源としては重い円盤の重力不安定性が有力であるが、重力不安定性による渦状腕は差動回転のために巻き込まれ短時間で消失することが知られている。そのためこの渦状腕の起源は大きな謎であった。

我々は分子雲コアから原始星・星周円盤が形成される過程について、母体分子雲コアがほぼ消失するまでの長時間に渡る抵抗性磁気流体シミュレーションを行った。これは観測的には分子雲コアに埋もれた Class-I 段階から、外層がほぼ消失した Class-II 段階への遷移期に対応する。その結果、我々は円盤は進化過程全体を通じて重力不安定状態にあり、渦状腕が形成されることを示した。特に、これまでの理論的予測通り渦状腕は巻き込みによって短時間で消失するが、円盤がすぐにまた重力不安定になるために何度も渦状腕が再形成されることが分かった。そのため円盤が重く重力不安定状態にあれば十分高い確率で渦状腕が観測されると期待される。

更にこの結果を元に、RADMC-3D 輻射輸送計算コードを用いて、ALMA による観測のシミュレーションを行った。その結果、中心星の質量と温度、円盤の質量と半径、円盤及び渦状腕の明るさ等、ほぼ全ての観測結果を再現することに成功した。このことから我々は Elias 2-27 の星周円盤中の渦状腕の起源は重力不安定性であると結論付けた。もし同様の天体が多数存在すれば、形成過程の円盤は重く重力不安定状態にあることを示唆しており、原始惑星系円盤の形成過程のみならずその後の惑星形成過程においても極めて重要な意義がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P133a ロスビー波不安定性によって形成する原始惑星系円盤上の巨大渦

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

近年、ALMA 望遠鏡などによる最新の観測によって、方位角方向に偏った非軸対称構造を持つ原始惑星系円盤の存在が明らかになってきた。このような原始惑星系円盤が持つダスト分布は、サブミリ波連続光の観測から強い非軸対称性を持つことが分かっている。また、ガス輝線観測や理論モデルを組み合わせることによって、ガス分布についても弱い非軸対称性を持つことが示唆されている。観測される非軸対称構造を説明するモデルの一つとして、大スケールのガス渦を用いるものがある。円盤中の流体不安定によってガス渦を形成し、そのガス渦がダストを集積する。しかし先行研究では、流体不安定性によって形成されるガス渦の動径サイズには上限があり、最大のガス渦でも観測を説明するには足りないと考えられてきた。そのため、観測で期待されるほど大きなガス渦をどのように作るのかが問題になっている。

我々は、ガス渦を形成する流体不安定性の一つであるロスビー波不安定性について調べた。ロスビー波不安定性は、密度分布に鋭いピークが存在する時に不安定となり、円盤中にガス渦を形成する。線形安定性解析の結果、大きな密度変化が存在するのであれば、大スケールガス渦を形成しうることを明らかにした。観測される非軸対称円盤は円盤内側に穴が空いており、大きな密度変化が存在すると期待される。さらに、athena++を用いた2次元数値流体計算によって、大きなガス渦の形成を確認した。本発表では、今回の計算によって得られた知見を、非軸対称構造を持つ円盤として知られている HD 142527 の観測と比較しつつ、円盤非軸対称構造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](#)

P134a 円盤と相互作用する中心星近傍の円盤・磁場構造に対する円盤磁場の影響

高棹真介（名古屋大学）、富田賢吾（大阪大学）、鈴木建（東京大学）

前主系列段階にある星は kG オーダーの強い平均磁場を持つことが知られている。この強磁場によって星は星周円盤と相互作用しながら進化していると考えられている。円盤内縁付近の現在の理解では、内縁は星の磁気圏との角運動量交換によって共回転半径付近に位置し、降着流は円盤内縁から星の磁場に沿って降着してくる。この描像は Ghosh & Lamb (1979) を皮切りに約 40 年に渡って理論的・数値的に研究されてきてほぼ標準的なモデルとされているが、過去のシミュレーションは様々な数値的困難を理由に 2 次元を仮定したり円盤乱流を解かずに乱流粘性を人工的に与えたりするなど、モデルの検証に十分なものになっていない。これは星への降着率の観測的推定や星のスピンの進化の理解に重要な問題である。そこで我々は最近開発された Athena++ コードで 3 次元磁気流体シミュレーションを行い、過去に避けられていた問題に真っ向から取り組んできた。今回の発表では、磁気回転不安定性 (MRI) によって乱流化した円盤と星の磁気圏の相互作用を調べ、円盤内縁付近のガス・磁場構造や降着流の構造を調べた結果に関する現状報告を行う。星近傍における円盤磁場の分布や強度についての理解は乏しいため、円盤磁場の強度をパラメータにとりパラメータ調査を行った。我々が調べたパラメータの中には、星の磁気圏磁場の大部分が円盤磁場とリコネクションしてしまい、磁気圏が消えて円盤が星表面までつながってしまうような場合も見つかった。この種のシミュレーションは Romanova らのグループで盛んに行われてきたが、我々の得た結果は彼らと異なっている。その原因として彼らの用いた境界条件や厳しいタイムステップを抑えるために取った彼らの手法に問題があると考えている。本講演では、数値的困難を乗り越えるために取ってきた我々の手法を紹介するとともに、円盤磁場が星磁気圏の構造・存在に与える影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P135a **Origin of Spiral Structures in the Disk around AB Aurigae: Multi-Epoch Subaru Observations**

Tomoyuki Kudo (Subaru telescope/NAOJ), Jun Hashimoto(ABC/NAOJ), Motohide Tamura (UTokyo /ABC/NAOJ) and SEEDS collaborators.

One of the most important topics in the disk studies is to characterize the asymmetries in the disks such as spiral arms observed via the high contrast near-infrared imaging during the Subaru SEEDS survey. The mechanism responsible for creating such spiral features is still unclear; one possibility is that such features may be caused by young planets in the process of forming in the disk. To investigate how spiral arms form, we conducted new Subaru/HiCIAO dual-beam polarimetric observations ($1.6 \mu\text{m}$) of the disk and their associated spiral structures around the Herbig Ae star AB Aur, and compared the morphology of these new data against earlier epoch imagery obtained ~ 6 years ago. A spatial resolution and an inner working angle are achieved to $0.''06$ (~ 9 AU) and $0.''1$ (~ 14 AU), respectively. We revealed possible four spiral arms in the inner part ($\lesssim 70$ AU) of the disk, of which two arms are newly found. By comparing known arms with earlier epoch imagery, we confirmed the spiral structures hardly change morphology over time. We also analyzed L' band ($3.8 \mu\text{m}$) imagery obtained with Subaru/IRCS, and put an upper-limit mass of a planetary companion at 5σ : 15 and $7 M_{\text{Jup}}$ at 100 and 200 AU, respectively. Based on a variation of spiral structures and an upper-limit planetary mass, we conclude that less-massive unseen planet(s) at a wide-orbit ($a \gtrsim 100$ AU) may be responsible for the spiral structures.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136a 分子雲収縮中における連星の種の時間進化

佐塚 達哉, 田中 優, 長峯 健太郎 (阪大理), 釣部 通 (茨大理)

観測されている主系列星や前主系列星の多くは主星 (質量の重い星) と伴星 (質量の軽い星) から成る連星系であることが知られており、更に連星の連星間距離や質量比 (伴星の質量/主星の質量)、連星質量などの統計的な性質も調べられている。観測を説明する様な連星系の形成過程を明らかにするためには、分子雲コア収縮中の分裂によって形成された「連星の種」が周囲のエンベロープを降着させる段階を理解することが重要である。先行研究では一定の角運動量かつ定常的な質量密度分布を持つガスの連星への降着が数値流体力学計算されてきたが、実際の星形成領域でのエンベロープは角運動量分布や質量密度分布を持っている。そこで我々は連星の種と、質量密度分布と角運動量分布を持った周囲のエンベロープを、連星の種の初期質量比とガス温度をパラメータとしてモデル化し、連星の種へのガス降着を3次元数値流体力学計算することで連星間距離や質量比の短期的な時間進化を調べた。計算には Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法のコードである GADGET-3 を用い、またガスの自己重力とガス降着による連星の軌道や質量の変化は無視した。計算の結果、初期質量比が臨界的な質量比 $q_c = 0.25$ よりも大きい場合には質量比は増加し、 q_c よりも小さい場合には質量比は減少した。またガス温度が q_c に与える影響は小さい事も分かった。次に我々は数値流体力学計算の結果を用い、連星間距離と質量比の長期的な時間進化を解析的に見積もった。その結果、連星の質量比は q_c によって定性的に決定され、連星間距離は初期質量比によらず増加することが分かった。この結果は連星間距離の短い連星の観測と矛盾しており、数値計算には取り入れていないガスの自己重力やガス降着による連星の軌道の進化が連星の形成過程に重要な影響を及ぼし得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](#)

P137a Class 0/I YSOs 中の自己重力円盤における見かけ上の質量減少と微惑星形成

塚本裕介 (鹿児島大学/理化学研究所), 奥住聡 (東工大), 片岡 章雅 (ハイデルベルク大学)

Class 0/I YSOs への応用を念頭にエンベロープからの降着が続いている自己重力円盤中でのダスト構造をダストの成長方程式を解く事によって調べた。

その結果、円盤のダストガス質量比は $1/200$ - $1/300$ と ISM の典型的な値より $1/2$ から $1/3$ 低くなる事がわかった。さらに、円盤からのダスト熱放射は、ダストの成長によるオパシティの減少の影響も受けるため ISM のダスト質量比とミクロンサイズのダストを仮定した場合にくらべて、 $1/3$ から $1/5$ 程度となる。このことから、ダスト熱放射から見積もられたガス円盤の質量は $1/3$ から $1/5$ ほど実際の値より小さくなる。この結果と Class 0/I YSOs の円盤の観測結果を比べる事で、いままで考えられてきた以上に Class 0/I YSOs 中には自己重力円盤が存在すると結論づけられる。

また、我々は微惑星が形成する軌道半径にも注目した。Okuzumi+12 の微惑星形成モデルによると微惑星の形成半径はガス面密度の増加関数である。一方で自己重力円盤のガス密度は理論的最大値である。したがって、自己重力円盤での微惑星形成半径を調べる事で微惑星形成が可能な最大の半径が決定できる。我々の結果からこの最大半径は 1 太陽質量の星では 20 AU 程度である事がわかった。これよりも外側での微惑星の存在を説明するには惑星の外側移動といった微惑星を外側に運ぶメカニズムが必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](#)

P138a Resolving Envelope to Disk Transition around the Class 0 Protostar, IRAS04368+2557

坂井南美, 樋口あや (理研), 大屋瑤子, 渡邊祥正, 山本智 (東大), Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch (IPAG), 花輪知幸 (千葉大), 廣田朋也 (NAOJ), 相川祐理 (筑波大), 酒井剛 (電通大)

We have resolved for the first time radial and vertical structures of the almost edge-on envelope/disk system of the low-mass Class 0 protostar L1527 at a resolution of $0.1'' - 0.3''$ (15 – 30 au) for 0.8 mm band with ALMA. While a thin infalling-rotating envelope (~ 50 au) is seen in the CCH emission outward of about 150 au, its thickness is increased by a factor of 2 inward of it, as reported in the ASJ meeting 2016 fall (P122a). The transition is located between the centrifugal radius (200 au) and the centrifugal barrier (100 au) of the infalling-rotating envelope. It seems that the gas is stagnated in front of the centrifugal barrier and moving along the direction vertical to the mid-plane. The SO emission is concentrated around and inside the centrifugal barrier. The rotation motion of the gas containing SO is found to be decelerated around the centrifugal barrier. A part of the angular momentum could be extracted by the gas moving away from the mid-plane around the centrifugal barrier. If it is the case, the centrifugal barrier may be related to launching mechanisms of disk winds or outflows. According to our new analysis, H_2CO emissions traces a part of the inner disk as well as the envelope while CS emission does the outflow in addition to the envelope. By using all these results, we will discuss a possible mechanism of the angular momentum loss around the centrifugal barrier.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P139a ALMA Cycle 2/3 による Class I 原始星 L1489 IRS の観測

崔仁士 (東京大学), 大橋永芳, 齋藤正雄, 西合一矢 (国立天文台), 麻生有佑 (東京大学), Hsi-Wei Yen (ESO), 高桑繁久 (鹿児島大学), 相川祐里 (筑波大学), 富阪幸治 (国立天文台), 町田正博 (九州大学), 富田賢吾 (大阪大学), 小屋松進 (国立天文台),

星形成過程において, 原始星の周りには原始惑星系円盤と呼ばれる円板状の構造がほぼ普遍的に形成される。原始惑星系円盤は惑星形成の母体となる他, 原始星への質量降着や角運動量の輸送の媒介としても働き, 星惑星形成において重要な役割を果たしている。このことから, 星惑星形成過程を理解する上で, 円盤の力学的進化の過程を明らかにすることは重要である。今回, 我々は円盤構造を持つと考えられる Class I 原始星 L1489 IRS に対して, ALMA Cycle 2 と 3 にて今までより高い空間分解能で観測を行い, そのうち, 1.3 mm, 0.9 mm 連続波, $C^{18}O$ J=2-1, $C^{18}O$ J=3-2 について解析を行った。空間分解能は最大で $0.28'' \times 0.19''$ が達成された。連続波観測では, 中心星の位置にピークが見られ, 東西方向に $3''$ 程度にわたって伸びる円盤を反映している分子流に直交する構造が見られた。一方で, $C^{18}O$ J=2-1 と J=3-2 では中心星の位置にピークは見られず, それぞれ $0.5''$ 程度ずれた位置にピークが確認され, その外側では, 東西方向に $5''$ 程度にわたって伸びている構造が見られた。連続波では中心星の位置にピークが見られたが, $C^{18}O$ ではそうではなかったことから, 中心の円盤部分ではガスの散逸が進んでいることが予想される。 $C^{18}O$ J=2-1 と J=3-2 の強度を比較したところ, J=3-2 の方が強度は高く, その比 J=3-2/J=2-1 は最大で 2 程度であった。このことから, ガスは比較的高温で低密度であると言える。今回, 5σ 以上で検出されたフラックスは, ALMA Cycle 0 の $C^{18}O$ J=2-1 の結果と比較して約 17% であり, 多くの広がった構造が分解されている。本講演では解析結果から明らかになったガスの物理状態について詳しく報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P140a **Role of the magnetic field in ≤ 100 AU: New insights on star formation revealed with ALMA**

Satoko Takahashi (NAOJ/JAO), Masahiro Machida (Kyushu Univ.), Kohji Tomisaka (NAOJ), Paul T. P. Ho (ASIAA), Josep-Miquel Girart (CSIC-IEEC), Ed B. Fomalont (NRAO/JAO), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Paula S. Teixeira (Univ. of Vienna), and Ramprasad Rao (ASIAA)

With the longest baseline currently available with ALMA, we have performed linear polarization observations in 1.1mm continuum emission toward a candidate of the youngest intermediate mass protostellar source embedded within the Orion Molecular Cloud. We have achieved the spatial angular resolution of $0''.03 \times 0''.02$ that corresponds to the linear size scale of ≈ 10 AU at the distance to the source. Our image demonstrated in great details the distribution of material and changes of measured polarization vectors within a size scale of similar to the solar system. Detected polarization vectors are spatially resolved and clearly show organized structures. Assuming that the grain alignment caused by the radiation torque plays a major role for the observed polarized emission, our result suggests: (1) that the magnetic field vectors are parallel to the major axis of the detected disk-like structure which is consistent with the cloud scale magnetic field direction, (2) while the magnetic field associated with surrounding structure is almost perpendicular to the field associated with the disk-like structure. The changes of field directions from outer area to the central disk-like structure could be explained by the toroidal wrapping of the magnetic fields as predicted by the recent numerical simulations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P141a A Massive Dense Gas Cloud close to the Nucleus of the Seyfert galaxy NGC 1068

古屋 玲 (徳島大学), 谷口 義明 (放送大学)

Using the ALMA archival data of both ^{12}CO (6–5) line and 689 GHz continuum emission towards the archetypical Seyfert galaxy, NGC 1068, we identified a distinct continuum peak separated by 15 pc from the nuclear radio component S1, the AGN, in projection. The continuum flux gives a gas mass of $M_{\text{gas}} \sim 2 \times 10^5 M_{\odot}$ and bolometric luminosity of $L_* \sim 10^8 L_{\odot}$, leading to a star formation rate (SFR) of $\sim 0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. Subsequent analysis on the line data suggest that the gas has a size of $2R_{\text{eff}} \sim 10 \text{ pc}$, yielding to mean H_2 number density of $n_{\text{H}_2} \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$. We therefore refer to the gas as “massive dense gas cloud”: the gas density is high enough to form a “proto starcluster” whose stellar mass of $M_* \sim 10^4 M_{\odot}$. We found that the gas stands a unique position between galactic and extragalactic clouds in the diagrams of star formation rate (SFR) vs. gas mass proposed by Lada et al. (2012) and surface density of gas vs. SFR density by Krumholz and McKee (2005). All the gaseous and star-formation properties may be understood in terms of the turbulence-regulated star formation scenario. Since there are two stellar populations with the ages of 300 Myr and 30 Myr in the 100 pc-scale circumnuclear region, we discuss that the nucleus of the galaxy has experienced at least three episodic star formation events with a tendency that the inner star-forming region is the younger. Together with several lines of evidence that the dynamics of the nuclear region is decoupled from the entire galactic disk, we discuss that the gas inflow towards the nuclear region of NGC 1068 may be driven by a past minor merger (Furuya, R. S., & Taniguchi, Y., 2016, PASJ, in press, arXiv:1609.02400).

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P142a Giant Molecular Cloud Collisions as Triggers of Star Cluster Formation

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

We study giant molecular cloud (GMC) collisions and their ability to trigger massive star cluster formation. Star formation sub-grid models are added to our three dimensional magnetized, turbulent, colliding GMC simulations. Two primary models, with variation of parameters, are explored: (1) “ Density- Regulated, ” i.e., fixed efficiency per free-fall time above a set density threshold; (2) “ Magnetically-Regulated, ” i.e., fixed efficiency per free-fall time in regions that are magnetically supercritical. Contrasting colliding and non-colliding scenarios, we compare the star formation rate over time, the spatial clustering of the stars via a minimum spanning tree (MST) method, and the resulting kinematics of the star particles in comparison to the natal gas. Key properties of the star-forming gas, such as filament vs. magnetic field orientations, mass-to-flux ratio, density, and temperature, are analyzed and compared with observations of young cluster-forming regions in the Galaxy.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P143a 分子雲衝突の3次元高解像度数値シミュレーション

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

大質量星形成を実現するメカニズムとして、分子雲衝突による衝撃波圧縮が有力な候補である。分子雲衝突によって形成されたとする大質量星形成領域の観測結果が多数報告されている。そうした観測との比較や大質量星形成の可能性を調べるために我々は分子雲衝突の数値シミュレーションを行っている。シミュレーションにはAMRコードである *Enzo* を用いて分子雲同士の衝突を計算する。高密度の格子に対して星粒子を導入することで分子雲中での星形成過程を調べる。

これまでのシミュレーションでは球対称密度分布のガス球を仮定し、ガス球同士の正面衝突の計算を行っていた。これは理想化された初期条件であり、現実はより複雑な分子雲衝突が予想される。そこで今回新たに、銀河スケールのシミュレーションから得られたデータを使用した。銀河ディスクの数値シミュレーションでは、形成された分子雲同士が様々な角度や速度差で衝突している様子が確認できている。その中からいくつかのデータを選び出し、それを新たな初期条件として計算を行った。新しい結果とこれまでの結果を比較し、分子雲衝突の特徴や大質量星形成の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P144a W3 Main における分子ガス構造と星団形成との関係の解明 3

齋藤弘雄 (筑波大学), 土橋一仁 (東京学芸大学), 齋藤正雄 (野辺山宇宙電波観測所)

銀河系内におけるほとんどの星は星団として形成され、近年の研究より星団は 0.5 pc 前後のクラump構造を母体として形成されることがわかってきた。W3 Main 領域は W3-W4-W5HII 領域複合体内でも若い星形成領域であり、IRS5 大質量原始星群を初めとする多くのコンパクト HII 領域が存在する星団形成領域である。また、EAST (SMS1), WEST (SMS2/3), SE と呼ばれた高密度クラumpの存在も知られている。本研究では、W3 Main 領域における星団形成とガス構造の関係を調べるため、分子ガスの構造や運動状態の解明を進めている。

これまでの解析から 5 pc x 5 pc の領域で 24 個のクラumpを同定し、その物理量範囲は半径 0.10 – 0.31 pc、輝線幅 0.5 – 3.8 km/s、質量 10 – 500 M_{\odot} であった。次に、物理状態について調査した結果、質量と輝線幅、平均密度と輝線幅との間に正の相関があり、ビリアル平衡に近いシステムであることも確認された。特に、ビリアル比が小さい (~ 0.5) クラumpが少ないことを踏まえると、大質量クラump形成に関して、運動の大きさが必要条件であり、ガス密度の高さが十分条件であると考えられる。さらに、クラumpの形成環境を調べるため、より大きな構造について調査を行った。W3 Main 領域には EAST の存在する -38 km/s 成分と WEST の存在する -43 km/s 成分が知られているが、-38 km/s 成分には、さらに複数の速度成分が存在することがわかった。これらの成分は EAST を中心に枝分かれするように分布しており、クラumpはこの 1 pc 弱の太さの「枝」構造内に存在していることがわかった。一方、-43 km/s 成分には特徴的な構造は見られず、2 pc 弱の卵型の構造が広がっている。この成分では、孤立した楕円構造に 2 個のクラump (SMS2/3) が形成されたと考えられる。本講演では、クラumpとその周囲の構造との物理量や物理状態の関係を明らかにすることで、クラump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](#)

P145a 磁場に垂直に貫かれたフィラメント状星間雲の動的収縮

富阪幸治 (国立天文台) 松本倫明 (法政大学)

Herschel 宇宙望遠鏡の観測により、分子雲が、多くのフィラメント状構造により成り立っていることが示された (André+2010)。フィラメント状の構造は分子雲の基本構造と考えられる。一方、近赤外の偏光 (Sugitani+2011) や Planck 衛星のサブミリ波偏波 (Planck Collab. XXXV 2015) の観測から、星間磁場はフィラメントに垂直であることが示された。磁場に垂直に貫かれた等温のフィラメント状星間雲は以下に示す臨界線密度以下に対して平衡状態を持つ (Tomisaka 2014) $(M/L)_{\text{cr}} \simeq [22.4(\phi_0/5\mu\text{G pc}) + 13.9(c_s/190\text{ms}^{-1})^2]M_{\odot}\text{pc}^{-1}$ (ここで ϕ は単位長さあたりフィラメントを貫く磁束の 1/2、 c_s は等温音速を表す)。

今回、この平衡フィラメント $(M/L) < (M/L)_{\text{cr}}$ の動的安定性を調査した結果を報告する。AMR 自己重力入り磁気流体力学コード SFUMATO (Matsumoto 2007) を用い、平衡解に $A = \delta\rho/\rho$ の密度揺らぎを与え (A は平均 = 0、偏差 = 10^{-2} の正規乱数を格子ごとに与えるか、 $A = 10^{-2} \cos(2\pi z/L_z)$ 型で与えた) 重力収縮を発生させた。フィラメントの長さ方向には周期境界条件を課した。フィラメントの長さ (L_z) を変えることで、不安定性の波長依存性を調べた。その結果、ある波長 λ_{cr} が存在し、それより短い場合 ($L_z < \lambda_{\text{cr}}$) は振動、長い場合は ($L_z > \lambda_{\text{cr}}$) 不安定 (すなわち ジーンズ型の不安定性) を示した。このとき、磁場は、 λ_{cr} を伸ばす働きを示す。分裂片の質量は磁場がない場合 ($\beta_0 = \infty$) に比べ、フィラメント周囲のプラズマ β が $\beta_0 = 0.1$ で 5 倍程度大きくなることがわかった。不安定性が成長すると、非線形段階で暴走的収縮を起こす。このとき生じる擬似ディスクは、大域的な磁場に垂直に形成され、フィラメントは、磁場方向から見ると、収縮しつつあるディスク同士の間がくびれた、磁場とフィラメント両方に垂直方向から見ると、ディスク部分がくびれた 構造を取る事が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P146a 垂直な磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の Jeans 不安定

花輪知幸 (千葉大学), 工藤哲洋 (長崎大学), 富阪幸治 (国立天文台)

星形成領域には細長く伸びたフィラメント状分子雲が多く見られる。これらの分子雲が分裂して分子雲コアが生まれる際に、フィラメントに垂直な磁場は分裂を妨げる方向に働く (cf. 工藤ほか 2016 年秋季年会)。本講演では磁場による安定化を線形安定性解析により定量化した結果を報告する。

今回の解析では、分子雲は等温で軸方向 (z) に無限に長く伸びていて、動径方向 (r) には自己重力と圧力が釣り合っているとした。また初期の磁場は軸に垂直で一様であると仮定した ($B_0 = B_0 e_x$)。これらの設定は 2016 年秋季年会 (工藤ほか P132a) で報告した MHD シミュレーションと同じである。

上記の仮定のもとで、摂動方程式は成長率 σ に対する固有値問題となる。本解析では変位ベクトル ξ を使って摂動方程式を書き表しこれを差分化し数値計算ライブラリー LAPACK を用いて成長率 σ を求めた。フィラメントの軸から十分に遠いところでの変位は、(1) 十分に小さい (固定境界)、(2) 一定に近づく (自由境界条) の 2 種類を調べた。前者は磁力線の根元が動かない、後者は磁場の捩れが十分遠くまで伝っている、と仮定したことに対応する。求められた成長率は分裂の波数 k と磁場の強さの関数となる。

固定境界条件を採用すると、プラズマ β がフィラメントの軸で $\beta = 4$ でも、成長率が半分ぐらいに下がる。さらに $\beta \lesssim 1.7$ では不安定なモードが消える。自由境界条件を採用すると、磁場がいくら強い場合でも、不安定なモードが残る。ただし磁場が強い場合の不安定モードは圧縮性が弱く、重力収縮に直接はつながらない。フィラメントの軸付近では弱い磁場でも周囲では密度が低いために、成長率や不安定モードによる変位には磁場の影響が現れる。磁場があるとどちらの境界条件でも、最も成長の速い分裂モードの波長は長くなる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P147a ALMA cycle 2 におけるオリオン KL 電波源 I の星周円盤とアウトフローの高空間分解能観測

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

我々は、大質量星形成領域オリオン KL にある原始星候補天体「電波源 I」(距離 420 パーセク; Kim et al. 2008) に付随する星周円盤やアウトフローの力学的性質を解明するため、ALMA サイクル 2 において 420-500 GHz 帯 (バンド 8) の水 (H_2O) 分子輝線、一酸化ケイ素 (SiO) 分子輝線を観測した。観測は基線長約 2 km のアレイ配列で行われ、空間分解能は 0.12 秒角を達成した。観測の結果、電波源 I では振動励起状態や同位体も含む 10 本程度の H_2O 、 SiO 輝線が検出された。

電波源 I で検出された H_2O 、 SiO 輝線のうち、比較的低い励起状態 ($E_u < 1000$ K) のものは北東-南西方向に 0.5 秒角 (200 天文単位) 程度の広がりを持つ構造を示しており、過去の低い分解能での干渉計観測でも検出されている低速度の双極分子流 (Plambeck et al. 2009) をトレースしていることが明らかになった。一方、振動励起状態も含む高エネルギー ($E_u > 1000$ K) の輝線は 0.2 秒角 (80 天文単位) 程度のコンパクトな分布で、長軸はアウトフローと直交する北西-南東方向に伸びた構造をしている。これらはミリ波・サブミリ波連続波の構造とも一致しており (Hirota et al. 2016a)、電波源 I に付随する高温・高密度な星周円盤、あるいは円盤から噴出されているアウトフローの根元付近 (Hirota et al. 2012, 2014, 2016b) をトレースしていると考えられる。検出された輝線のモーメント 1 マップにはアウトフローの軸と直交する速度勾配があり、回転運動の徴候を示している。本発表では、各分子輝線がトレースする力学的構造について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P148a KaVA による大質量原始星候補天体 G357.967-0.163 に付随する水メーザージェットの長期 VLBI モニター観測

元木業人 (山口大学), 松本尚子 (国立天文台/山口大学), 廣田朋也 (国立天文台), 杉山孝一郎 (茨城大学), 蜂須賀一也 (国立天文台), James O. Chibueze (University of Nigeria)

降着期の大質量原始星候補天体は、ミリ波以上の高周波帯において降着円盤/エンベロープによる光学的厚みが大きく、星近傍環境 (~ 100 AU) の高分解能観測には一定の限界が予想される。そこで我々は ALMA を用いた星近傍環境の直接観測に向けて、遮蔽の影響を最小にできる”Face-on”の降着系を伴った天体に着目した研究を進めている。これまでに雛形天体である G353.273+0.641 (以下 G353) に対する多波長イメージングから、高速の水メーザージェットを伴う天体がそうした若い”Face-on”天体の良い候補であることが示された。

本研究では第二の G353 型天体を発見すべく、極めて高速 (~ 200 km s⁻¹) な水メーザースペクトルを示す大質量原始星候補天体 G357.967-0.163 に対して、降着系の見込み角を決定するため日韓 VLBI 観測網 (KaVA) を用いた長期高周波 VLBI モニター観測を行った。計測されたジェットの見込み角は視線方向から 30° 程度であり、雛形天体 G353 の場合 (8° – 16°) に比べてやや大きな見込み角を持つことが分かった。ATCA を用いた SED 測定から両者はセンチ-ミリ波帯で非常に良く似た SED を示しており、母天体の進化段階が同程度であることが示唆されているが、メーザーの変動性や速度分布に一定の違いが見られており、こうした違いは見込み角の差に起因している可能性がある。今後はすでに取得済みの ATCA による分子輝線探査データや既存の ALMA アーカイブデータなどを活用し、母天体の性質や詳細な星周構造についても比較を進める予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P149a 大質量星形成領域 G9.62+0.20 からの 6.7 GHz メタノールメーザー放射に見られる周期強度変動要因の観測研究

佐藤宏樹，杉山孝一郎，齋藤悠，米倉覚則，百瀬宗武 (茨城大学)

大質量星形成領域から検出される赤外線励起のメタノールメーザーには周期的な強度変動を示すものがある。研究対象とした天体 G9.62+0.20 は距離 5.2 kpc にある大質量星形成領域 (Sanna et al. 2009) で、複数の強度変動メタノールメーザー放射のスペクトル成分が観測されている。その中でも周期的に変動を示す成分は 243.3 ± 2.1 日で間欠的に変動している (Goedhart et al. 2014)。この変動を説明する理論モデルとして Colliding Wind Binary (CWB) モデル (van der Walt et al. 2009) が提唱されている。

本研究は各成分の強度変動を時間と空間分布の両面から詳細に捉え、周期強度変動要因として CWB モデルが妥当であるか検証することを目的とした。まず、日立 32m 電波望遠鏡 (日立局) を用いて 6.7 GHz 帯で対象天体を数日間隔でモニターし、14 のスペクトル成分を検出した。周期解析の結果、既知成分の 244_{-11}^{+12} 日周期の間欠的変動を捉えると共に、既知の周期変動成分より視線速度の大きい 3 成分について同様の周期変動を発見した。ピーク時から静穏期の強度に戻るまでに 80 日程度かかる既知成分に対して、新検出成分は 20 日から 60 日程度と短い。その要因として種光子の増減傾向の違いなどが考えられる。次に、強度変動を示すメーザー源の空間分布決定のために、Japanese VLBI Network (VERA4 局と、山口局、日立局の計 6 局) を用いて VLBI 観測を行った。対象天体の 6.7 GHz 帯観測では前例のない、強度ピーク時 (2016 年 5 月 14 日) と静穏期 (同 6 月 10 日) の両方で観測を行った。その結果、日立局の単一鏡観測で新検出した速度成分のうち 2 成分の検出に成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

3月15日(木)午後(13:00-15:00) [B会場]

P201a	13:00	原始惑星系円盤におけるダストの整列と偏光観測予測	田崎亮(京都大学)
P202a	13:12	HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の磁気駆動降着	奥住聡(東京工業大学)
P203a	13:24	永年重力不安定性の非線形発展 2: 円盤の大局的進化	富永遼佑(名古屋大学)
P204a	13:36	低密度ダストの重力不安定による岩石微惑星形成	辰馬未沙子(東京大学/国立天文台)
P205a	13:48	円盤形成段階での氷ダストの合体成長と氷微惑星形成	本間謙二(東京工業大学)
P206a	14:00	iSALE を用いた重力支配域での衝突計算	末次竜(産業医科大学)
P207a	14:12	大規模 N 体計算による惑星形成: 100 万粒子を用いた微惑星集積	押野翔一(国立天文台)
P208a	14:24	地球型惑星形成における微惑星の衝突破壊の重要性	小林浩(名古屋大学)
P209b	14:36	原始惑星系円盤における電子加熱による磁気乱流の抑制: 成層構造を考慮した磁気流体数値計算	森昇志(東京工業大学)
P210b	14:36	ダストからガスへの摩擦反作用を考慮した原始惑星円盤ガスの粘性進化	金川和弘(シュチェン大学)
P211c		原始惑星系円盤におけるガス円盤とダスト円盤の共進化	今枝佑輔(工学院大学)
P212b	14:36	デッドゾーン内側境界周辺における円盤構造とダストの濃集	植田高啓(東京工業大学)
P213b	14:48	捕獲された微惑星の周惑星円盤内での分布	末次竜(産業医科大学)
P214b	14:48	巨大衝突による天王星の衛星形成	石澤祐弥(京都大学)
P215b	14:48	高速回転する褐色矮星の構造とその進化計算	藤澤幸太郎(早稲田大学)

3月16日(木)午前(09:30-11:30) [B会場]

P216a	09:30	微惑星衝突による形状進化: 弾性体 SPH 法による微惑星衝突の数値計算	杉浦圭祐(名古屋大学)
P217a	09:42	定常な周惑星円盤における微衛星形成	芝池諭人(東京工業大学)
P218a	09:54	ケンタウルス族 Chariklo の環の構造	道越秀吾(筑波大学)
P219a	10:06	惑星散乱と木星型連惑星の形成	長沢真樹子(久留米大学)
P220a	10:18	GJ1214 b におけるダスト雲鉛直分布の大気金属量に対する依存性	大野和正(東京工業大学)
P221b	10:30	様々な元素組成・温度構造を持つ太陽系外ガス惑星大気の平衡化学構造	野津翔太(京都大学)
P222b	10:30	氷成分に富む巨大氷惑星の赤外放射強度	黒崎健二(名古屋大学)
P223b	10:30	短周期岩石惑星における Na 主成分大気の流出構造推定	伊藤祐一(東京大学)
P224a	10:42	A High-contrast Polarimetry look of T Tau Circumstellar Environment	Yi Yang (SOKENDAI/NAOJ)
P225a	10:54	Differential Grain Growth in the Spiral Structure of the LkH α 330 Disk	Eiji Akiyama (NAOJ)
P226a	11:06	遷移円盤天体 HD 100453 周囲の円盤の高解像度撮像観測から示唆される傾いた内側円盤の存在	武藤恭之(工学院大学)

(次頁に続く)

【P2. 星・惑星形成】

P227b 11:18 ASTE 望遠鏡を用いたデブリ円盤の $[C\ I]^3P_1-^3P_0$ 観測 樋口あや (理化学研究所)

P228b 11:18 ホットジュピター HAT-P-54 b の近赤外線撮像観測 多葉田晴日 (兵庫県立大学)

P229c ガリレオ衛星食を用いた木星上層大気分光研究及び系外惑星観測への応用 市川隆 (東北大学)

P230c 低質量星に対する CME の UV 放射供給による生命存在領域の拡大 大石碧 (防衛大学校)

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [B会場]

P231a 13:30 ALMA 望遠鏡を用いた Sz 91 を取り巻く遷移段階円盤の詳細構造の解明 塚越崇 (茨城大学)

P232a 13:42 Herbig Ae 型星 HD169142 原始惑星系円盤の ALMA Band 7 高解像度観測 本田充彦 (久留米大学)

P233a 13:54 スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527 の超解像イメージング 山口正行 (東京大学/国立天文台)

P234a 14:06 T タウリ型星におけるダスト円盤消失タイムスケール 前嶋宏志 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)

P235a 14:18 赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線全天観測による残骸円盤と中心星の年齢との関係の研究 小島拓也 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)

P236a 14:30 視線速度法による G, K 型巨星周りでの短周期惑星および複数惑星系の発見 宝田拓也 (東京工業大学)

P237a 14:42 実視連星系の星周に付随する伴天体の探査 加藤則行 (兵庫県立大学/天文科学センター (西はりま天文台))

P238a 14:54 すばる IRD の視線速度解析パイプラインと現実的な視線速度精度 平野照幸 (東京工業大学)

P239a 15:06 星震学を応用した系外トランジット惑星系のスピン軌道傾斜角の統計的解析 上赤翔也 (東京大学)

P240a 15:18 MuSCAT によるトランジット惑星観測: 運用 2 年目の観測成果と今後の展望 成田憲保 (東京大学)

3月17日(金)午前(09:30-10:30) [B会場]

P241a 09:30 多色同時測光による CVSO 30 のトランジット状減光の原因特定 鬼塚昌宏 (総合研究大学院大学)

P242a 09:42 K2 ミッションによって観測された天体の複数波長帯でのトランジット追観測 宮川浩平 (東京工業大学)

P243a 09:54 Ks-band での WASP-12b のトランジット観測 笠嗣瑠 (総合研究大学院大学)

P244a 10:06 はやぶさ 2 の近赤外分光計 (NIRS3) による系外惑星としての地球観測 市川隆 (東北大学)

P245a 10:18 太陽系外惑星データベース ExoKyoto の開発 山敷庸亮 (京都大学)

P201a 原始惑星系円盤におけるダストの整列と偏光観測予測

田崎亮 (京都大学/東京工業大学), Alexandre Lazarian (University of Wisconsin), 野村英子 (東京工業大学)

我々は、ダストの輻射整列理論をもとに、原始惑星系円盤におけるダストの整列過程について検討した。本研究では、3次元輻射輸送シミュレーションを用いて、円盤中の各場所における輻射トルクの大きさを計算し、それをもとに中間赤外線・ミリ・サブミリ波域における偏光観測予測を行った。

輻射トルクによるダストの整列過程では、ダストの歳差運動の歳差軸が整列軸となる。星間空間においては、ダストは磁場周りを Larmor 歳差運動するため、磁場に対して整列していると考えられている。しかし、今回、円盤中の mm サイズのダストの場合、Larmor 歳差運動が円盤ガスによる抵抗によって妨げられるため、ダストが磁場に整列することは困難であることがわかった。その代わりに、このようなダストは輻射トルクを成因とする輻射歳差運動が支配的な歳差運動となるため、輻射フラックスの向きにダストが整列することがわかった。従って、このようなダストをトレースすると考えられるミリ・サブミリ波での円盤偏光撮像観測においては、磁場の構造ではなく、輻射場の構造をトレースするような偏光ベクトルが観測されることになる。一方で、円盤表層に存在するマイクロサイズのダストも磁性体に欠乏している場合は、同様に、輻射フラックスの向きに整列する。しかし、ダストが超常磁性体を豊富に含む場合、円盤表層のガス密度の薄い領域で磁場に対する整列が可能である。このような表層のマイクロサイズのダストは中間赤外線の偏光撮像観測によって観測が可能であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a HL Tau 周囲の原始惑星系円盤の磁気駆動降着

長谷川靖紘 (JPL/Caltech), 奥住聡 (東京工業大学)

近年のアルマの長基線ミリ波観測によって、若い星 HL Tau の周囲の原始惑星系円盤には多重のダストリングが存在することが明らかになった (ALMA Partnership et al. 2015)。これらのリングの輪郭が明瞭であることから、ミリ波放射を担っているダストは円盤の赤道面付近に沈殿していることがわかっている。このことは、この円盤の乱流が弱い(ダストのサイズにもよるが、 α パラメータ換算で $\alpha < 10^{-3}$) ことを示唆している。しかし一方で、この円盤の質量降着率は低くなく、 $10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 程度はあると推定されている (Beck et al. 2010)。

本研究では、このような顕著なダスト沈殿と高い降着率を同時に説明しうる1つのメカニズムとして、磁気遠心力風による円盤降着に注目した。従来、円盤の外側領域 (10 au 以遠) におけるガス降着は、主として磁気流体不安定 (MRI) のつくる乱流によって駆動されると考えられてきた。しかし、両極性拡散を考慮した近年の磁気流体数値計算によって、MRI 乱流は円盤の外側でもある程度抑制されることが明らかになってきた (Simon et al. 2013; Zhu et al. 2015)。一方、磁気遠心力風が遠方に運ぶ角運動量が、円盤を貫く磁場が強い場合には相当量に及ぶことも明らかになっている。我々は、近年の磁気流体計算によってもたらされた、磁気乱流と磁気遠心力風それぞれの角運動量輸送効率、そして赤道面での乱流拡散係数のデータを解析公式化し、円盤外側におけるダストの沈殿度とガス降着率を広いパラメータ範囲で詳しく調べた。その結果、円盤を貫く磁場の磁気圧がガス圧のおよそ 10^{-4} 前後で、かつミリ波放射を担うダストの半径が数 mm よりも大きければ、我々の用いる磁気駆動降着モデルが HL Tau 円盤でのダスト沈殿度と降着率を同時に説明することを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P203a 永年重力不安定性の非線形発展 2 : 円盤の大局的進化

富永遼佑, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の観測によって原始惑星系円盤の多様な構造が明らかになりつつある。特にアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) によって観測された多重リング構造は惑星形成理論の解明のために重要である (e.g., ALMA Partnership et al. 2015)。観測されているリング形成機構として永年重力不安定性によるものが考えられている。永年重力不安定性とは原始惑星系円盤内のダストとガスの摩擦によって起こる不安定性である。この不安定性は自己重力安定な円盤においても起こるため微惑星形成法として提唱された (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014, Shadmehri 2016)。さらに Takahashi & Inutsuka (2016) は ALMA Partnership et al. (2015) によって報告された HL Tau のリング構造が永年重力不安定性によって説明されうることを線形解析によって示した (cf. Latter & Rosca 2017)。しかし微惑星形成過程やリング形成過程を詳細に解析するためには、永年重力不安定性の非線形発展を調べる必要がある。

我々は数値計算を用いて永年重力不安定性の非線形解析を行っている (2016 秋季年会)。永年重力不安定性の成長時間は円盤の回転周期と比べて非常に長いため、数値散逸を回避して流体計算を行う必要がある。そこで本研究では Symplectic 法を流体力学に応用した新しい長時間計算法を開発した。新たに開発した計算法では Lagrange 的に定式化を行うことで空間差分に起因する数値散逸も回避している。この計算法を用いて永年重力不安定性の非線形計算を行い、ダスト流体が先行して非線形成長段階に入ることが示された。さらにダストリングは非線形成長の末に崩壊することがわかった。これは永年重力不安定性による微惑星形成を示唆する。本講演ではこれらの結果を踏まえた永年重力不安定性の非線形発展について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a 低密度ダストの重力不安定による岩石微惑星形成

辰馬未沙子（東京大学/国立天文台）、道越秀吾（筑波大学）、小久保英一郎（国立天文台/東京大学）

原始惑星系円盤中でのダストの合体成長の結果、ダストはコンパクトな構造ではなく多孔質で低密度な構造になると考えられている。Kataoka et al. (2013) では、低密度な氷ダストが付着成長しガス圧や自己重力によって圧縮されることで、中心星へと落下することなく氷微惑星が形成できることを示した。また、Michikoshi & Kokubo (2016) ではこの自己重力圧縮過程で重力不安定が起こる円盤の条件を求め、標準的な円盤モデルでは乱流強度が強すぎなければ ($\alpha \lesssim 7 \times 10^{-3}$) 重力不安定が起こることがわかった。最近になって、Arakawa & Nakamoto (2016) はシリケート粒子がナノメートルサイズであれば、氷ダストの場合と同じように、多孔質で低密度な岩石ダストから付着成長とガス圧や自己重力による圧縮によって、岩石微惑星が形成できることを示した。

本研究では、多孔質で低密度な岩石ダストからなるダスト層が自己重力圧縮の過程で重力不安定を起こすかどうかを調べた。モデルではダストのナノ粒子半径を 2.5 nm、物質密度を 3 g cm^{-3} とし、様々なダスト質量やダスト平均内部密度に関して、ダストの平衡ランダム速度を重力散乱、衝突、ガスによる抵抗、乱流との相互作用を考慮して求め、Toomre の Q を計算した。その結果、最小質量円盤モデルでは、中心星からの距離が 1 au で、乱流強度が弱ければ ($\alpha \lesssim 10^{-4}$)、ダスト進化が重力不安定を起こす $Q < 2$ となる領域を通過することがわかった。本講演では、重力不安定を起こすことのできる乱流強度の上限の見積もりを詳細に説明し、その物理的意味に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P205a 円盤形成段階での氷ダストの合体成長と氷微惑星形成

本間謙二, 中本泰史 (東京工業大学)

微惑星は惑星のビルディング・ブロックとなる天体であり、微惑星がいつどこで形成されるかを明らかにすることは重要な問題である。氷微惑星は氷ダストが衝突・合体成長と共に高空隙率な内部構造をとることで直接合体成長により形成可能であることが示されている (Okuzumi et al. 2012, Kataoka et al. 2013) が、これらの研究では円盤の進化の影響や、氷ダストの合体成長が始まるタイミングに関しては考慮されていない。

氷ダストの合体成長は原始惑星系円盤の形成段階で円盤中に氷ダストが十分な数密度で存在すれば、すぐに始まるはずである。本研究では、形成段階の円盤中で氷ダストの合体成長が起きているという状況を考え、分子雲コアからの質量降着のある円盤モデルを用いて氷ダストの内部密度進化も含めた氷ダストのサイズ分布進化を調べた。また円盤進化に伴うスノーラインの移動とその内外で起こる氷ダストの昇華と凝縮を考慮した。

本研究の計算の結果、氷微惑星はスノーラインが内側に移動した後のすぐ外側で合体成長により形成可能であることがわかった。これは、氷微惑星形成に十分な量の氷ダストがスノーラインのすぐ外側に供給されるからである。またこれらの結果は氷微惑星は原始惑星系円盤が若い段階から形成されうることを示し、また、氷微惑星の形成領域に制約を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P206a iSALE を用いた重力支配域での衝突計算

末次竜 (産業医科大学), 田中秀和 (東北大学), 小林浩 (名古屋大学), 玄田英典 (東京工業大・ELSI)

太陽の周りの公転している惑星や小天体は天体同士の衝突による合体、及び破壊で形成された。そのため衝突現象は太陽系形成において非常に重要な過程といえる。これまでに衝突現象は、数多くの先行研究で室内実験や数値計算などの手法で調べられてきた。特に天体がどの程度破壊されるかは初期の衝突エネルギー QD (初期のインパクターの運動エネルギーを標的天体の質量で割った単位質量あたりのエネルギー) に依存するため、大規模衝突への境界となる標的天体の質量が元の半分となる時のエネルギー QD^* の値は精力的に調べられてきた (e.g., Benz & Asphaug 1999)。しかしながら、近年の高解像度の SPH 法による数値計算結果から QD^* の値が計算解像度に依存することが明らかとなった (Genda et al. 2015)。高解像度の SPH 計算の場合、 QD^* の値が従来の約 1/10 となり、これは天体が従来よりも破壊されやすいことを示唆しており、天体形成に大きな影響を与える可能性がある。一方でこの結果が SPH 法という計算手法に依存している可能性もあるため、本研究では異なる計算手法 (メッシュ法) によって QD^* の解像度依存性を調べ、高解像度の SPH 法で求められた QD^* の値と比較する。

本研究では、多くの研究者に利用されている iSALE を使って調べる。計算の結果、計算条件が同じ場合でも解像度の違いだけで最大破片の質量が異なることが明らかとなった。また、最大破片の質量も解像度が高くなるにつれて収束していくことがわかった。さらに QD^* を見積もった結果、Genda et al. (2015) の結果とほぼ同様な値となり、メッシュ法においても天体は従来よりも壊れやすいという結果となった。今後、物質強度などを考慮して QD^* がどのように変化するのか調べていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P207a 大規模 N 体計算による惑星形成：100万粒子を用いた微惑星集積

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

これまで N 体計算を用いることにより、微惑星から惑星へと集積合体していく段階で暴走的成長過程や寡占的成長過程 (Kokubo & Ida 1998) が発見されてきた。この段階においては微惑星間の重力相互作用が系の進化に重要な役割をはたす (Wetherill & Stewart 1989, Ida & Makino 1993) ため、 N 体計算が重要な手段となっている。しかし、惑星形成においては微惑星の近接相互作用を精度よく計算する必要があり、これまで並列化を用いた大規模計算が困難なため使われる粒子数は数十万体が限界であった。

最近我々が開発した PENTACLE コードはこの問題を解決し、100万体を超える大規模計算が可能な並列 N 体計算コードである。微惑星集積段階において、微惑星は円盤ガスからの抵抗を受けることが知られているが、この効果は小さい微惑星ほど高い。より小さい微惑星を取り扱うことにより重力相互作用によるエネルギー等分配がくずれ、系の進化が変わることが示唆されているが (Goldreich et al. 2004, Morishima 2017)、これまで粒子数を増やすことが困難だったため確認されていなかった。今回、PENTACLE コードを使用して粒子数を変えた計算を行い粒子数が異なる計算結果の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 地球型惑星形成における微惑星の衝突破壊の重要性

小林浩, 佐藤雄太郎 (名古屋大学)

太陽系の地球型惑星は火星程度の大きさの原始惑星同士の衝突によって形成されたと考えられており、巨大衝突ステージと呼ばれる。これまでの研究で、巨大衝突ステージの N 体シミュレーションが行われ、確かに巨大衝突は起こり地球型惑星が形成されるが、その結果できる惑星の離心率は非常に大きい (Chambers & Wetherill 1998, Chambers et al. 2001)。そこで、地球型惑星が形成された後に離心率を下げるメカニズムが必要になる。地球型惑星の離心率を下げるメカニズムとして力学的摩擦が有力である (O'Brien et al. 2006, Morishima et al. 2010)。このため、本研究でも原始惑星の周りに小さな微惑星が多数存在しているような系を考える。この系では微惑星と原始惑星の力学的摩擦により、地球型惑星の離心率は下がり、微惑星の離心率は上がる。このとき、離心率の上昇した微惑星はランダム速度が大きいため高速衝突を起こして壊れる。壊れて小さくなった破片は中心星からの輻射圧で飛ばされて失くなる。つまり衝突破壊の結果、微惑星円盤の面密度は下がり、力学的摩擦が効果的に効かないことが予想される。これまでの研究では計算コストの問題から微惑星の破壊を取り扱えず、この効果は調べられていない。本研究では従来の N 体シミュレーションに統計的手法を加えることで微惑星の衝突・破壊を取り扱うことにした (Morishima 2015, Kobayashi & Tanaka 2010)。このハイブリッド計算を用いて、微惑星の衝突・破壊が地球型惑星の離心率の時間進化に与える影響を調べた。その結果、典型的なサイズの微惑星 (半径 10km) では、力学的摩擦よりも微惑星の破壊が効くため地球型惑星の離心率を十分に下げられないことが明らかになった。本研究ではさらに、力学的摩擦と衝突・破壊のタイムスケールを議論することにより、地球型惑星の離心率を現在の観測値まで下げられる微惑星のサイズや面密度に対する制限を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209b 原始惑星系円盤における電子加熱による磁気乱流の抑制: 成層構造を考慮した磁気流体数値計算

森昇志 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤の乱流粘性は、円盤内の角運動量輸送を担い、円盤進化に大きな影響を与える。現在、円盤乱流の起源として有力な候補は磁気回転不安定性 (MRI) である。MRI が十分発達し磁気乱流が卓越すると、強電場が発生し、その強電場によって電子を加熱する (電子加熱)。我々はこれまでに、加熱された電子がダストに効果的に吸着される効果に着目し、磁気乱流に与える影響を調べてきた。つまり、電子がダストに吸着されると、電離度が減少しオーム散逸が増幅するため、電子加熱によって円盤の磁気乱流が抑制されると予想できる。2016年春季年会では、我々は電子加熱によってオーム散逸が増幅する効果をモデル化し、非成層構造の磁気流体計算を行った。その結果、電子加熱がよく効く場合に、磁気乱流が完全に抑えられることを示した。

本研究では、前回の計算で無視していた円盤の成層構造を考慮し、電子加熱の効果を考慮した磁気流体計算を行う。今回は、予備計算として、電離度の鉛直方向依存性は無視し一定値を与えときの計算結果を紹介する。計算の結果、計算領域の鉛直方向全域で電子加熱が発生することが分かった。また、電子加熱が発生すると、電気抵抗が上昇し磁気乱流が抑制されることを確認した。しかしいったん磁気乱流が抑制した後に、整列磁場が増幅され、整列磁場による磁気応力が発生することも分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210b ダストからガスへの摩擦反作用を考慮した原始惑星円盤ガスの粘性進化

金川和弘 (シュチェチン大学), 武藤恭之 (工学院大学), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤において円盤ガスは乱流を起源とする粘性によって角運動量を外側に輸送することで進化する。また、円盤ガスは円盤に含まれる固体微粒子(ダスト)とも角運動量をやり取りする。ダストは円盤ガスとの摩擦によって角運動量を失い、円盤の内側に落下する。同時に、円盤ガスはダストから角運動量を受け取り、円盤外側に移動する。従来、ガスの粘性進化を考える場合、ダスト密度がガス密度に比べ非常に小さいことが仮定され、ダストとの摩擦によるガスへの影響は無視されてきた。しかしながら、近年のALMA望遠鏡などによる円盤の直接撮像観測によって、ダストが集積していると思われるダストリング構造をもつ原始惑星系円盤が多数発見されている。このようなダストが集積している場所では、ダストとの摩擦がガスの粘性進化にも影響を及ぼしている可能性がある。

本研究では、Nakagawa et al. (1986) を拡張し、ダストとガスの摩擦に加えガスの粘性を考慮したガスおよびダストの定常状態での解析解を導出した。その結果、ダストサイズがある程度大きければ(ストークス数が1程度)、ダスト密度がガス密度に満たない場所でもガスの粘性進化が有意に遅くなることが分かった。さらに、粘性が十分に小さければダストとの摩擦によって円盤ガスが円盤外側に移動する可能性も明らかになった。本発表ではこの結果を示すとともに、ガスとダストの摩擦を取り入れた流体計算の結果も併せて紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211c 原始惑星系円盤におけるガス円盤とダスト円盤の共進化

今枝佑輔 (工学院大学)

どのような位置にどのような惑星が生まれるか、その惑星にどのような物質が持ち込まれるかを知るためには、原始惑星系円盤内での固体成分の移動を知ることが重要であり、これまで多くの研究がなされてきた。しかしながらその際、ガス円盤はバックグラウンドとして定常解を考えたり、ガス円盤のみの進化を独立に解くことが多い。ガス成分と固体成分の質量比が典型的には 100 倍ほども違うことが、そのように取り扱う理由である。

しかしこの質量比は、時間進化の中でいろいろと変わりうる。そこで本発表では Nakagawa+1986 の定式化に立ち戻り、粘性トルクによるガス円盤の時間進化も考慮に入れることでダストとガスの動径方向及び方位角方向の移動速度について再定式化を行った。その際、ダストからガスへのバックリアクションを取り入れることで、固体成分が濃集する領域ができた場合には、ダスト円盤の運動がガス円盤の時間進化を決める可能性を矛盾なく取り扱えるよう考慮した。

その結果、ダストの動径移動については圧力勾配パラメタ η に比例する移動速度と、粘性トルクによる降着速度の和で決まることを確認した。これは従来から知られているとおりである。一方でガスの移動速度については、 η に比例する速度成分にダストとガスの密度比 ρ_d/ρ_g が掛けられたうえで両者の和を取ることで求められることがわかった。そのため典型的な場合についてその移動速度を見積もると、固体粒子のストークス数が 1 程度の領域で両者の効果は同程度になることがわかり、固体粒子の移動がガス円盤の局所的な進化に影響を与える可能性が示唆された。

この結果が、実際に大局的に円盤進化にどのような影響をもたらすのか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212b デッドゾーン内側境界周辺における円盤構造とダストの濃集

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

岩石惑星の種とされる岩石微惑星の形成は、惑星形成理論における大きな問題の一つである。微惑星は、原始惑星系円盤と呼ばれるダストとガスから成る円盤の中で形成されるが、岩石質ダストが破壊されやすいという問題から、ダストの直接合体成長による岩石微惑星形成は困難である。そこで、岩石微惑星の形成モデルとして、デッドゾーン内側境界における重力不安定が提案されている。デッドゾーン内側境界とは、円盤ガスが ~ 1000 K程度となり熱電離することで乱流粘性が大きく変化する領域のことである。この領域ではダストが動径方向に濃集し、ダスト層の重力不安定あるいはストリーミング不安定によって岩石微惑星が形成されると期待されている。本研究の目的は、デッドゾーン内側境界周辺の円盤構造を明らかにすることで、そこへのダスト濃集を議論するための基礎を作ることである。

最新の流体・輻射平衡計算 (Flock et al. 2016) から、円盤内縁領域では、ダストの昇華・凝縮により階段状の温度分布をとることが明らかになった。本研究では、Flock et al. (2016) の結果を基に、中心星輻射が支配的な原始惑星系円盤の温度分布の解析解を導出した。その結果、ダスト・ガス比が変化することで円盤温度がダストの昇華温度で保たれるような領域が存在し、そのすぐ外側では、ダスト昇華面への中心星輻射により温度が決まることがわかった。これらを考慮すると、デッドゾーン内側境界の位置は従来の見積もりよりも2-3倍程度外側に位置することが期待される。本発表では上記の内容を基に、デッドゾーン内側境界におけるダストの濃集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](#)

P213b 捕獲された微惑星の周惑星円盤内での分布

末次竜 (産業医科大学), 大槻圭史 (神戸大学)

木星や土星などの巨大惑星の周りには、衛星が公転している。こうした衛星はほぼ円軌道で惑星の赤道面を公転している。そのため巨大惑星の形成過程において惑星周りに形成された周惑星円盤内で衛星は誕生したと考えられている。現在の衛星形成モデルでは、周惑星円盤に降着するガス流とともに流入してくるダストサイズの固体物質が衛星の主な材料物質と考えられている。ところが、最近の軌道計算を用いた固体物質の周惑星円盤への供給過程を調べた研究から、衛星の材料となった固体物質は従来のダストサイズのものだけでなく、比較的大きな固体物質 (10m-1km) も、周惑星円盤に供給されることが明らかになった。しかしながら、周惑星円盤に供給された固体物質の円盤内での空間分布は、衛星の形成や軌道進化に大きな影響を与えるにも関わらず、ほとんど解明されていない。そこで本研究では周惑星円盤からのガス抵抗によって捕獲された固体物質の周惑星円盤内での空間分布を軌道計算を用いて調べた。計算の結果、周惑星円盤内にある固体物質は、ガス抵抗によって捕獲され順行方向に公転するもの、逆行方向に公転するもの、そして捕獲されず円盤を通過していくものの三種類に分類できることが明らかとなった。それらの面数密度を求めた結果、現在の木星のガリレオ衛星が公転している領域において捕獲された固体物質が分布することがわかった。また惑星軌道近傍の固体物質のギャップによる非一様分布を考慮した場合、周惑星円盤内の面数密度はギャップの拡大とともに減少していくことが明らかとなった。得られた数値計算結果をもとに、周惑星円盤内におけるダストと捕獲された固体物質の面密度を簡単に比較した結果、捕獲された微惑星は微惑星の捕獲前の軌道が円軌道に近い時にダストよりも卓越することがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214b 巨大衝突による天王星の衛星形成

石澤祐弥, 佐々木貴教, 細野七月 (京都大学)

天王星は他の太陽系内惑星と異なり、公転面に対して赤道面が約 90 度と大きく傾いている。さらに、天王星の主な衛星はおよそ天王星赤道面上に分布しており、惑星形成期に衛星が形成される周惑星円盤がすでに公転面に対して傾いていたと考えられる。これらを説明するシナリオとして、巨大衝突 (ジャイアントインパクト, GI) モデルが考えられる (Slattery et al., 1992)。比較的大きい原始惑星同士の衝突により周囲に破片が散らばってデブリ円盤が形成され、円盤中でデブリが重力によって集められ衛星になるという説である。GI モデルならば赤道傾斜角の大きなずれを説明できる可能性がある。それを論じるためには、まず天王星の衛星形成を説明できる必要がある。しかし、GI モデルによる天王星衛星形成の詳細な検証は未だ成されていない。そこで、本研究ではその検証を進める。

第一段階として、微衛星形成終了時から衛星形成までを、重力 N 体計算を用いて考える。地球の月形成は GI モデルによる説明が有力とされており、先行研究も多い。特にデブリ (微衛星) 集積による月形成については多くの N 体計算が行われている (e.g., Ida et al., 1997)。その手法を参考に、天王星周りでの微衛星集積によって衛星が形成される過程を N 体計算で検証する。

重力 N 体計算では衝突と合体を含め、円盤の様々な初期条件に対して 4 次のエルミート法を用いて時間発展を計算した。また計算を行うにあたって、大規模並列粒子計算のためのフレームワーク、FDPS (Framework for Developing Particle Simulator) を実装した計算コードを用いた。この計算から得られた結果をもとに、周惑星円盤の初期条件や合体成長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](#)

P215b 高速回転する褐色矮星の構造とその進化計算

藤澤幸太郎 (早稲田大学), 佐藤裕史 (東京大学)

恒星は一般的に回転しており、大質量星の中には形状が大きく歪むほど高速で自転している天体もいる。一方で太陽などの小質量天体の多くは磁気ブレーキが働きスピンドアウンするため、大質量星に比べて自転速度が遅いことが観測から明らかになっている。さらに近年の観測技術の進展により、より質量が小さい天体の自転も明らかになってきている。いくつか観測されている系外惑星の自転速度は、いずれも典型的な小質量星よりも速く、その形状は自転によって大きく歪んでいると考えられている (藤澤 & 佐藤 日本天文学会 2016 年秋季講演 P230b)。

恒星よりも軽く惑星よりも重たい褐色矮星の自転は、系外惑星の自転よりも数多く観測されている。褐色矮星の場合は系外惑星とは異なり、高速回転から低速回転まで様々な速度を持った褐色矮星が見つかってきている。その中の一部は非常に高速で回転しており、自転による遠心力が強くなり大きく歪んでおり、星としての形状を保つ限界の速度、ブレイクアップ速度付近で回転していることが観測から示唆されている。このような褐色矮星の構造を議論するためには、星を球対称的に取り扱うのでは不十分であるため、遠心力による形状の歪みを考慮した回転平衡形状を求める必要がある。

そこで本講演では、Fujisawa (2015) で開発した高速回転する回転星の構造を求める数値計算コードと、褐色矮星の熱進化計算を求める数値計算コードを組み合わせることで、回転する褐色矮星の構造計算と進化計算を行った。その結果、熱進化による冷却に伴い半径が収縮するため、ブレイクアップ速度付近までスピンドアウンすることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216a 微惑星衝突による形状進化：弾性体 SPH 法による微惑星衝突の数値計算

杉浦圭祐, 犬塚修一郎, 小林浩 (名古屋大学)

近年のその場観測やライトカーブの詳細な解析により, 多くの小惑星はイトカワのような球から離れた不規則な形状をしていることが明らかとなってきた. このような不規則な形状は微惑星の衝突破壊・合体によって形成されたと考えられており, 衝突条件とその結果できる天体の形状を関連付けることにより, 太陽系の過去の姿に迫ることができる.

微惑星のような比較的小さい天体の場合, 自己重力だけではなく物質強度や粉々になった岩石間の摩擦力も重要となってくる. 我々は微惑星の衝突破壊, 及び重力再集積によってできる天体の形状を調べるため, 弾性体力学に拡張された Smoothed Particle Hydrodynamics 法の計算コードを開発した (Sugiura and Inutsuka 2016a, 2016b submitted to JCP). さらにひび割れ破壊のモデル (Benz and Asphaug 1995) 及び摩擦のモデル (Jutzi 2015) も計算コードに導入した. 開発した計算コードは自己重力も同時に計算しているため, 衝突破壊とその後の重力再集積を統合的に取り扱うことができる.

我々はこの計算コードを用いて, 半径 50km 程度の岩石微惑星どうしの衝突の数値計算を, 衝突条件を様々に変えながら実行した. 本講演では衝突によってできる最大天体の形状と衝突条件の関連性, 及びそのような不規則な形状ができるメカニズムについて議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P217a 定常な周惑星円盤における微衛星形成

芝池諭人 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 佐々木貴教 (京都大学), 井田茂 (東京工業大学)

木星の四つの巨大氷衛星は周惑星円盤内でダストが合体成長して形成された、とする説がある (e.g. Canup and Ward 2006, Sasaki et al. 2010)。しかし、これまで研究されてきたのは微衛星から衛星への成長過程のみであり、ダストから微衛星への成長過程は研究されてこなかった。本研究では、周惑星円盤内での微衛星形成過程を検討した。

周惑星円盤にガスと共に進入したダストは互いに衝突して合体成長するが、同時に、周囲のガス抵抗を受けて角運動量を失い木星へと落下する。この時、ダストの運動はストークス数 St (ダストの運動が周囲のガスの運動に馴染むまでの制動時間を無次元化した数) によって決まる。ダストが成長するにつれて St は大きくなり、 St が 1 の時にダストの落下速度は最大となる (Nakagawa et al. 1986)。従って、 St が 1 を超えるまで成長した場合に限って、ダストは微衛星まで成長できる。本研究では、ダストとガスの流入量及び乱流の強さを変えた場合に、定常を仮定した周惑星円盤の中で、ダストが St が 1 を超えるまで成長できるか検討した。

結果、 St はダスト/ガス流入質量フラックス比 $\dot{M}_{\text{dust}}/\dot{M}_{\text{gas}}$ と乱流の強さ α によって決まり、“ $\dot{M}_{\text{dust}}/\dot{M}_{\text{gas}} \gtrsim 1$ かつ $\alpha < 10^{-2}$ ” の場合のみ、微衛星形成が可能であるとわかった。なぜなら、 $\dot{M}_{\text{dust}}/\dot{M}_{\text{gas}}$ が大きい方が、周惑星円盤のガス面密度が下がってダストが受けるガス抵抗が小さくなり、落下が遅くなる。同時に、ダスト同士の衝突率も上がり成長しやすい。また、 α が小さい方が、ダスト同士の衝突速度が下がり破壊が起きにくくなるためである (Wada et al. 2009)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P218a ケンタウルス族 Chariklo の環の構造

道越秀吾 (筑波大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

掩蔽観測により, ケンタウルス族 Chariklo に 2 重環が発見された (Braga-Ribas et al. 2014). その光学的厚さは, 土星の A 環や天王星の δ 環に匹敵するほど高い. これまでは巨大惑星には高密度環が確認されていたが, ケンタウルス族のような小さな天体においては初めての発見である. そのため, このような小さな天体の周りの環の起源, 構造, 安定性などは十分に調べられていない. そこで, 本研究では環全体におよぶ大域的 N 体シミュレーションを用いて, 環の構造と安定性について調べた.

様々なパラメータでシミュレーションを行なった結果, 環を構成する粒子が Chariklo と同じ密度である場合, 環は動的時間スケールで分裂し, アグリゲートが形成されることがわかった. 環粒子の密度が Chariklo の密度の 0.7 倍程度よりも小さい場合は, 動的時間スケールでは分裂せず環の大域的形状が維持される. しかし, 局所的には, 重力不安定が発生するため, 自己重力ウェイク構造とよばれる微細非軸対称構造が形成されることがわかった. この構造により, 環の粘性拡散が飛躍的に速まり, 粒子サイズが数メートル程度の場合, およそ 100 年程度で環は拡散すると見積もられる. 環が長時間維持されるためには, 粒子サイズが十分に小さいか, 羊飼い衛星が必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](#)

P219a 惑星散乱と木星型連惑星の形成

長沢真樹子（久留米大学），荒川創太，井田茂（東京工業大学）

系外惑星系では，複数の木星型惑星が形成され，軌道が不安定となって，形成された場所から大きく散乱される軌道進化過程が提案されている。惑星同士の散乱の過程では，二つの惑星が近接遭遇することがあり，この際に潮汐散逸が生じると，二つの惑星が連惑星となり，互いの周りをまわりながら，中心星の周りを公転する惑星系が形成される。

惑星散乱が生じた時に連惑星が形成される確率は，惑星の近接距離と関係し，およそ10%程度で，惑星の存在する軌道長半径にあまり依存しない。多数の近接遭遇の数値計算から，連惑星の形成確率が，考慮する潮汐力や，離心率などの惑星の初期条件に対しどのように依存するかについても求めた。また，トランジット観測による連惑星の観測可能性についても簡単に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a GJ1214 bにおけるダスト雲鉛直分布の大気金属量に対する依存性

大野和正, 奥住聡 (東京工業大学)

系外惑星大気の透過光の観測は、系外惑星の内部構造を探る有力な手段である。近年、地球と海王星の中間サイズの系外惑星（スーパーアース）の多くが、大気分子の吸収を示さないような透過光スペクトルを持つことが明らかとなってきた。このような“平坦”なスペクトルの1つの解釈は、高高度に存在する雲が下層の大気を覆い隠しているというものである。したがって、透過光スペクトルから大気の情報を引き出すためには、雲の鉛直分布が大気の性質（金属量や組成など）をどのように反映しているかを理解することが必須となる。しかし、従来の系外惑星雲モデルは、雲粒子の形成・成長過程を大幅に簡略化して取り扱っている。このため、スーパーアースの大気組成に対する強い制約が得られていないのが現状である。

我々は、雲形成の多様な微物理を取り入れた新しい雲モデルの構築を目指しており、これまでに雲粒子の凝縮と衝突合体の両方を考慮したモデルを完成させた（天文学会 2016 年春期年会）。今回は、平坦な透過スペクトルをもつスーパーアース GJ1214 b に我々のモデルを適用し、雲の鉛直構造の大気金属量に対する依存性を調べた。我々のモデルは、雲の凝結核 (CCN) の数密度と大気金属量をパラメータとしており、大気温度圧力構造と渦拡散係数の鉛直分布は大気金属量と整合的な値を使用している。モデル計算の結果、CCN の数密度が高いほど、より上層まで雲が広がることがわかった。これは、凝縮成長で到達可能な最大の粒径が、CCN 数密度が高いほど小さくなるためである。また、観測が示唆する GJ1214 b の雲の高度は、大気金属量が太陽組成の 10 倍と仮定した場合に最も説明しやすいことが新たに分かった。本講演では、核形成理論を用いた CCN 数密度の推定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](#)

P221b 様々な元素組成・温度構造を持つ太陽系外ガス惑星大気の平衡化学構造

野津翔太(京都大), 野村英子(東京工業大), Catherine Walsh (Leeds大), Christian Eistrup (Leiden大)

原始惑星系円盤(以下、'円盤')内では凍結温度の違いにより、分子種ごとにスノーラインの位置は異なると考えられる。その為、円盤ガス・ダスト中のC/O比は、中心星からの距離に応じて変化すると考えられる。例えばH₂Oスノーラインの外側では、多くの酸素がH₂Oの形でダスト表面に凍結する一方、炭素の多くはCOなどの形で円盤ガス中に留まるので、ガス中でC/O比が大きくなる。また、近年太陽系外ガス惑星大気のC/O比が見積もられ始めているが、観測されたホットジュピターの中にはC/O~1のガス大気を持ち、円盤外側での形成・大気獲得を示唆するものも存在する。この様に円盤と惑星大気のC/O比を比較する事で、惑星大気獲得・移動の過程に制限を加えられる事が検討されている(e.g., Öberg et al. 2011, Eistrup et al. 2016)。

これまで我々は、円盤の化学反応ネットワーク計算と放射輸送計算の手法を用いて、円盤内のスノーライン位置とC/O比の分布や、それらを同定するのに適した分子輝線の調査を進めてきた(e.g., Notsu et al. 2016a, ApJ, 827, 113; 2016b, ApJ submitted.)。今回我々は、まず Guillot et al. 2010の手法を用いて、中心星からの照射で決まる系外ガス惑星大気の放射平衡な物理構造を計算した。その上で、系外惑星大気の化学構造と惑星形成環境の関係を探るべく、中心星からの距離、およびC, O, Nの元素組成比などを様々に変えた場合について、系外ガス惑星大気の化学平衡計算を行った。その結果、大気温度が減少するとCH₄の組成が増加する傾向が見えた。また同様の大気物理構造の場合でも、C/O比が太陽の値に比べて高くなると、大気下部でCH₄, HCNなどの組成が増加する事などが見えてきた。講演では、観測で得られた系外ガス惑星大気の化学構造との関連についても簡単に議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P222b 氷成分に富む巨大氷惑星の赤外放射強度

黒崎健二（名古屋大学），生駒大洋（東京大学）

宇宙望遠鏡によるサーベイ観測により多数の系外惑星の発見が報告されているが，その中でも海王星サイズ惑星の発見数が最も多い．海王星サイズの天体は質量・半径の関係から，組成が縮退することが知られているが，惑星大気の組成によって惑星放射強度に違いが出るのならば，直接撮像により区別が可能であることが期待される．今後，TESS や JWST，WFIRST といった宇宙望遠鏡の稼働により，惑星半径，質量，惑星放射光に関する詳細な観測データが得られることが期待される．これら海王星サイズ天体の熱放射を観測可能性を議論することは，惑星の組成や進化を議論する上で極めて重要である．

本研究では，大気中に大量の氷成分を保持した場合における，惑星放射強度の時間変動を求めた．計算の結果，比較的若い巨大氷惑星の場合，主星と惑星のコントラストが 10^{-9} 以上になることがわかった．また，大気中の氷成分の質量比やメタン，アンモニアの存在比による影響も議論し，今後の宇宙望遠鏡により観測が期待されるかを議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P223b 短周期岩石惑星における Na 主成分大気の流出構造推定

伊藤祐一, 生駒大洋 (東京大学)

現在までに、地球の 1-10 倍の質量を持つ、あるいは地球の 1-2 倍の半径を持つスーパーアースと呼ばれる系外惑星が 1000 個近く発見されている。それらの中には、岩石が主成分であると考えられるほどの密度を持ち、中心星近傍を周回している短周期岩石惑星が複数存在する (CoRoT-7 b など)。短周期岩石惑星は、中心星に非常に近いために、地表面が蒸発するほど高温で、Na を主成分とする岩石蒸気大気をまとっていると推測される。この岩石蒸気大気が実際に検出されれば、岩石惑星であることの直接的な証拠やその惑星の形成過程に対する重要な制約を得ることが期待される。最近のトランジット観測 (Ridden-Harper et al., 2016) から、比較的低密度な短周期岩石惑星である 55 Cnc e で、Na が惑星半径 (赤外のトランジット半径) の 2.5 倍まで広がっていることが検出された。この Na 膨張は、55 Cnc e が岩石惑星であり、岩石蒸気大気が流出していることを示すものかも知れない。しかし、このような大気の流出を定量的に明らかにした検討はこれまでなく、その解釈は不透明である。

本研究では、55 Cnc e の Na 膨張を解釈する検討の第一歩として、中心星からの紫外線照射によって流出する Na 大気の構造を明らかにした。このとき、Na およびそのイオンのみを大気成分と仮定し、各成分の光熱化学反応を加味した球対称 1 次元の非粘性多成分流体方程式を計算し、定常解を推定した。また、光電離の際の光子エネルギーの吸収、及び各分子の第一励起状態からの放射冷却を Escape Probability に基づいて考慮した。本モデルから、Na 大気は、上層で主成分がイオンとなるほど高温化すること、電離による平均分子量低下にも伴い大きい流出率を持つことが示された。ただし、Na の高度分布は、55 Cnc e の観測よりも低い 1.1 惑星半径までしか膨張していなかった。本検討及びその不足点を踏まえ、Na 膨張の要因 (他の大気成分など) 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](#)

P224a A High-contrast Polarimetry look of T Tau Circumstellar Environment

Yi Yang, Satoshi Mayama(SOKENDAI/NAOJ), Saeko Hayashi (Subaru Telescope), Motohide Tamura (University of Tokyo), Jun Hashimoto (Astrobiology Center), HiCIAO/AO188/SEEDS team

As a triple star system with possible protoplanetary disks, research towards T Tau, the prototype of T Tauri star, could undoubtedly be beneficial for us to understand the planet/disk formation and evolutions process in multiple star systems. In this talk, we will present the recent Subaru/HiCIAO high-contrast polarimetry observation result of T Tau in H band, which shows a complicated circumstellar environment around this triple-star system. In our observation, we confirm the existence of some structures ever detected in some previous high contrast observations, like hydrogen ro-vibrational emission-line observations and near infrared continuum (J/H/K bands) observations. After comparing the appearance and positions of these structures observed in different bands and time, we successfully constrain the origins and directions of the outflows in this system, as well as the disk sizes around each component stars. This result will be quite helpful for us to improve our understanding of T Tau, as well as the planet/disk evolution process in binary/multiple systems.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P225a Differential Grain Growth in the Spiral Structure of the LkH α 330 Disk

Eiji Akiyama (NAOJ), Jun Hashimoto (ABC/NAOJ), Haiyu Baobabu Liu (ESO/ASIAA), Jennifer I-Hsiu Li (Univ. of Illinois/ASIAA), Motohide Tamura (ABC/NAOJ/Univ. of Tokyo), and SEEDS/HiCIAO/AO188 team

Grain growth represents an initial step toward planet formation since it involves the coagulation of approximately micron-sized dust residing in protoplanetary disks around young stars. We have conducted H-band (1.6 μm) linear polarimetric observations and 0.88 mm continuum interferometric observations toward a transitional disk around the LkH α 330. The observations show a pair of asymmetric spiral arms in the disk. We discuss the origin of the spiral arms and suggest that a massive unseen planet is the most plausible explanation based on recent global hydro simulations. The possibility of grain growth causing the asymmetric structure of the spiral arms was investigated through the opacity index (β) by plotting the observed SED slope between 0.88 mm from our SMA observation and 1.3 mm from literature. The results imply that grains are indistinguishable from ISM-like dust in the east side ($\beta \sim 2.0$), but much smaller in the west side ($\beta \sim 0.7$), indicating differential grain growth or dust trapping in the spiral arms. Combining the results of near-infrared and submillimeter observations, it suggests that the disk structures spiral arms from the mid-plane to the upper surface, and that grains grow to millimeter size near the disk mid-plane. Future observations at centimeter wavelengths and differential polarization imaging in other bands (Y to K) with extreme AO imagers are required to understand how large dust grains form and to further explore the dust distribution in the disk.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226a 遷移円盤天体 HD 100453 周囲の円盤の高解像度撮像観測から示唆される傾いた内側円盤の存在

Z. Long, R. Fernandes, M. Sitko (シンシナティ大学), K. Wagner (Space Science Institute), 武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (NINS), K. Follette (スタンフォード大), C. Grady (Eureka Scientific), 深川美里 (名古屋大学), 長谷川靖紘 (JPL), 眞山聡 (総研大), M. McElwain (NASA), D. Oh (NAOJ), 田村元秀 (東大), 鶴山太智 (東大), J. Wisniewski (オクラホマ大), Y. Yang (NAOJ)

原始惑星系円盤の高解像度観測の進展により、多様な姿をした原始惑星系円盤が見つかってきている。本発表では、Gemini 望遠鏡に搭載された高空間分解能観測装置 GPI を用いて得られた、HD 100453 周囲の原始惑星系円盤の観測結果について紹介する。HD 100453 は、100 パーセク程度の距離に位置する 1.7 太陽質量程度の星で、M 型の伴星が 110 天文単位程度の場所に存在する。この天体には、リングとスパイラル状の構造を持った円盤が存在することが、VLT 望遠鏡搭載の SPHERE による観測で知られている。

今回、GPI を用いて、Y, J, K1 の 3 バンドの高解像度偏光撮像撮像を行った。コロナグラフを用いない観測モードを用いることで、中心星から 0.1 秒角程度の場所の構造までを多色で明らかにすることができた。また、他の星を同時に観測することで、J, K1 バンドについては、円盤の絶対的な偏光強度分布を明らかにした。

観測の結果、リング状構造の内側が 20 天文単位程度であることや、リングに二つの切れめがあることが明確に示された。さらに、モンテカルロ放射輸送計算に基づくモデル計算によって、観測されたリング構造の切れめについて詳しい解析を行った。その結果、この切れめが、中心星のごく近くに存在する傾いた円盤の影によるものであるとすると、内側の円盤は外側の円盤に対して 45 度程度傾いていることが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227b ASTE 望遠鏡を用いたデブリ円盤の $[C\ I]^3P_1-^3P_0$ 観測

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

デブリ円盤は、原始惑星系円盤内で惑星形成がほぼ完了し、ガス成分が散逸され始め、ダストの残骸がリング状に集まり光っていると解釈されている。このようなガス成分の散逸は、惑星形成に様々な影響をもたらし、特に地球型惑星の最終段階の巨大衝突ステージを引き起こす重要な段階であり、我々はこれらの過程を観測と理論モデルを合わせて明らかにしたいと考えている。

原始惑星系円盤からデブリ円盤へのガスの散逸過程を観測的に理解することは難しいが、近年 ALMA 望遠鏡を用いたデブリ円盤のガス観測が進んでおり、49 Ceti や β Pic では CO ガスが検出されている。またこのガスの起源は (1) 原始惑星系円盤の生き残りである可能性、(2) ダストからの昇華などによる 2 次的なガス生成の 2 つの可能性が考えられているが、これまでの研究で、 β Pic は 2 次ガス、その他の CO が検出されたデブリ円盤は 1 次ガスである可能性が示唆されてきた (2016 年秋季年会 P211b)。さらに β Pic に関しては、Herschel による $[C\ II]/[O\ I]$ 観測が行われ、C/O 比が太陽系の値とは合わない可能性が示唆されている。我々はこの C/O 比が、デブリ円盤のガスの起源の理解につながると考え、これまで $[C\ II]/[O\ I]$ の観測が行われているデブリ円盤、49 Ceti と β Pic に対して、ASTE 望遠鏡を用いて $[C\ I]^3P_1-^3P_0$ 観測を行った。その結果、49 Ceti で強度が弱いながらも $[C\ I]$ を検出 (S/N=4) し、 β Pic では上限値をおさえることに成功した。本講演では $[C\ I]$ の結果から物理量を導出し、Herschel の結果と合わせて C/O 比を見積もることで、デブリ円盤内のガスの形成過程、そして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](#)

P228b ホットジュピター HAT-P-54 b の近赤外線撮像観測

多葉田晴日、伊藤洋一、高橋隼（兵庫県立大学）

系外惑星の観測手法のひとつとしてトランジット法があり、これによって惑星の公転周期や半径がわかる。また、トランジットが起きているとき、主星からの光の一部が惑星の大気を通過し、部分的に吸収されることがある。この吸収は波長依存性を持ち、特定の原子や分子の遷移により大気の光学的厚みが増すため、惑星の半径が大きくなる。このことから、多波長でのトランジット観測を行うことで、惑星の大気について知ることができる。

ホットジュピター HAT-P-54 b は可視光のトランジット観測により公転周期が 3.799847 日、惑星半径が $0.944 \pm 0.028 R_J$ と求められている (Bakos et al. 2014)。我々は、西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡「なゆた」に近赤外域 J($1.22 \mu\text{m}$) H($1.65 \mu\text{m}$) K($2.16 \mu\text{m}$) の 3 バンドを同時に撮像できる近赤外撮像装置 NIC を搭載し、2015 年 3 月 19 日にこの惑星系を観測した。トランジット前後を含めおよそ 3 時間で 30 秒の露出を繰り返した。得られたデータを詳細に解析した結果、トランジット時に J バンドで 0.0301 ± 0.0018 等級、H バンドで 0.00311 ± 0.0014 等級、K バンドで 0.0308 ± 0.0023 等級の減光がみられた。

講演では、観測で得られた減光率から得られた HAT-P-54 b の半径を可視光観測から得られた半径と比較し、惑星大気について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P229c ガリレオ衛星食を用いた木星上層大気分光研究及び系外惑星観測への応用

山門峻, 津村耕司, 市川隆 (東北大学), 秋田谷洋, 川端弘治, 伊藤亮介, 中岡竜也 (広島大学)

近年、観測技術が向上し、太陽系外惑星が多数発見されているだけでなく、その惑星自体の大きさや大気の組成に関する観測が進んでいる。系外惑星の大気について、トランジット観測を用いて、主星光が惑星大気を通過した透過光を見る手法が最も有効であるが、現在までに分光観測を行った例はまだ少なく、測光観測が主である。そこで今回我々は、将来、系外惑星のトランジット分光観測による透過スペクトルの観測を目標として、透過光を観測するという点で類似点のあるガリレオ衛星食で近赤外分光観測を行った。

通常、木星は地球より外側に位置するため、木星表面で太陽光を反射した光しか観測することができないが、衛星食を観測することで、木星大気の透過光を衛星で反射した光として地球で観測することができる。本観測には東広島天文台かなた 1.5 m 望遠鏡の HONIR を使い、木星を周回するガリレオ衛星のうち、ガニメデが木星の影から出現する瞬間の衛星食を、近赤外線領域 ($1.5 \mu\text{m} \sim 2.4 \mu\text{m}$)、 $R \sim 340$ 、露出時間 4.6 s で連続分光観測を行った。観測は 2016 年 5 月 2 日に行い、食の時刻 21:59 ~ 22:12 の間に合計 78 フレームを取得することができた。そして、木星上層大気の透過スペクトルを解析した結果、木星大気中の CH_4 と $\text{H}_2\text{O ice}$ による吸収が時間変化していく様子を捉えることに成功し、そこから密度を見積もることで鉛直方向の分布の違いも検出することができた。本観測の結果と現在行われている系外惑星のトランジット観測の結果を合わせることで、将来の系外惑星分光観測において大気構造を知るために必要な観測精度に制限を与えられると示唆される。加えて、木星の透過光を観測した例はほとんどなく、合わせて木星上層大気の構造についても示唆を与えることが出来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](#)

P230c 低質量星に対する CME の UV 放射供給による生命存在領域の拡大

大石碧, 渡邊恭子, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

宇宙における生命居住可能領域であるハビタブルゾーン (HZ) と UV が生体に与える影響を考慮した UV ハビタブルゾーン (UV-HZ) が重複する場合、恒常的な生命発生と進化の可能性はある。言い換えれば、「永続的生命発生および進化の可能性」が期待できる。しかしながら、両者の重複領域は約 $1.0 \sim 1.5 M_{\odot}$ と非常に限定的である。つまり、寿命の長さ故に生命の存在が示唆されている $1.0 M_{\odot}$ 以下の低質量星はこの範囲から外れており、その原因は UV 放射量の不足である。そこで、前回の講演において低質量星の magnetically active phase において発生する強大なコロナ質量放出 (CME) の力学進化モデル (温度: $T_{\text{CME}} = 55000 \text{ K}$, エネルギー: $E = 10^{35} \text{ erg}$) を考え、これによる UV 放射量 $L_{\text{CME,UV}}$ の増加を考えた。その結果、CME 光度 $L_{\text{CME,bol}}$ は約 $2.8 \times 10^{17} \text{ J/s}$ 、 $L_{\text{CME,UV}}$ は約 2280 J/s であり、これによる UV 放射量増加により、特に UV-HZ 外側境界 $d_{\text{out,uv}}$ が遠方へ移動し重複領域が $0.3 M_{\odot}$ 以上に拡大することがわかった。しかしながら、今回は中心星からの距離に伴って変化する CME の温度や明るさを考慮していなかった。そこで今回、それぞれの距離に対応した T_{CME} 、 $L_{\text{CME,bol}}$ および $L_{\text{CME,UV}}$ を算出し、UV-HZ モデルに適用した。その結果、ZAMS と TMS において $L_{\text{CME,UV}}$ のピークが異なるため、重複領域が $0.8 M_{\odot}$ 以上となることがわかった。これは、 T_{CME} と $L_{\text{CME,bol}}$ の上昇に対して $L_{\text{CME,UV}}$ が単純に増加しない温度領域が存在するためである。本講演では、 T_{CME} の変動に伴う UV-HZ 領域の変化、また低質量かつ低金属量の中心星における生命存在領域の拡大 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](#)

P231a ALMA 望遠鏡を用いた Sz 91 を取り巻く遷移段階円盤の詳細構造の解明

塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大), 齋藤正雄, 川邊良平, 工藤智幸, 大橋永芳 (NAOJ), 橋本淳 (ABC), 北村良実 (JAXA), 田村元秀 (東大), S. Andrews, D. Wilner (CfA)

遷移段階円盤は、内側に穴構造を持つ原始惑星系円盤であり、円盤進化と惑星系形成を調べる上で重要な天体であると考えられている。おおかみ座分子雲にある低質量星 Sz 91 を取り巻く円盤は、赤外線散乱光分布に最も大きい穴構造を持つ遷移段階円盤の一つであり ($R_{in} = 65$ au)、またその中で最も軽い円盤質量を持つため ($M_d = 2.4 \times 10^{-3} M_{\odot}$)、遷移段階円盤の進化段階を探る上で重要なターゲットであると考えられる。近年の SMA や ALMA の観測により、実際に穴構造が解像されるとともに、対称なダストリング構造が見出された。また、ガス放射も検出されており、ダスト分布とは大きく異なった、広がった分布を持つことも示唆されている。

我々は、Sz 91 の円盤のより詳細な構造を明らかにするため、ALMA 望遠鏡を用いた 345GHz 連続波および CO(3-2) と HCO⁺(4-3) 輝線放射の高感度観測を行った。観測の結果、半径 117 au に集中するリング状ダスト円盤を確認することができた。ダストリングの幅は長軸で 32.4 ± 0.4 au、短軸で 44.2 ± 0.6 au であった。このアスペクト比は、幾何学的に薄い円盤では説明できず、ダストリングに 15 au 程度の厚みが存在することを示唆している。一方、CO および HCO⁺ の輝線放射はおよそ 400 au ほど広がっており、ダストリングの内側にも放射が見られた。どちらの放射も、ダストリングの長軸 (P.A. = 18.4°) 方向に、ケプラー回転で再現可能な大局的な速度勾配を示していた。CO 放射には、さらに複雑な速度構造が存在しており、モデルを用いた解析から、二つのケプラー回転が重なった構造で再現出来ることがわかった。これは、フレアアップした円盤表層の、手前側と奥側からの CO 放射を捉えていると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P232a Herbig Ae 型星 HD169142 原始惑星系円盤の ALMA Band 7 高解像度観測

本田充彦 (久留米大学), 塚越崇, 百瀬宗武 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 金川和弘 (University of Szczecin), 野村英子 (東工大), ほか

Herbig Ae 型星 HD169142 の原始惑星系円盤を ALMA Band 7 にて高解像度観測 (分解能 $0.16'' \times 0.12''$) を行ったので、その結果について報告する。HD169142 は近赤外電波に渡って先行研究が多数存在し、cavity/gap が報告されている天体である。また、その cavity/gap に対応するような、近赤外線 L' band (Reggiani et al. 2014, Biller et al. 2014) や VLA 7mm (Osorio et al. 2014) における惑星候補天体の検出報告があり、円盤における惑星形成を探る上で興味深い天体である。

観測は ダスト連続波 (波長 $\sim 0.9\text{mm}$), および $^{12}\text{CO}(J=3-2)$, $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線に対して行った。まず、ダスト連続波に関しては、2重リング構造の明瞭な空間分解に成功した。また、CO ガス輝線に関しても、ダスト放射とは微妙に異なるが、類似の構造を検出した。 ^{12}CO , および ^{13}CO のデータを用いて、 ^{13}CO の光学的厚さ $\tau_{^{13}\text{CO}}$ の動径分布を求め、ダストのみならず、CO ガスにおいても、面密度 gap の検出に成功した。このような面密度 gap の原因として容易に想起されるのは、形成中の惑星である。観測された gap 深さや幅から、Kanagawa et al. 2015, 2016 の経験式を用いて、 $R \sim 47\text{AU}$ の gap に適用すると、惑星質量 $M_p = 0.1 \sim 3M_{\text{Jupiter}}$ が示唆される。

ただし、先行研究で報告されている惑星候補天体をサポートする証拠は得られなかった。むしろ VLA 7mm source に関しては、該当位置に点源は観測されず、存在すら疑問が呈される形となった。また、内側の近赤外線 L' ソースに関しても、特にそれをサポートする構造等は見られなかった。講演ではこれらの惑星候補天体、および進行中であろう惑星形成の描像について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P233a スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527 の超解像イメージング

山口正行 (東京大学/国立天文台), 秋山和徳 (MIT Haystack Observatory), 片岡章雅 (Heidelberg University), 塚越崇 (茨城大学), 永井洋, 川邊良平, 本間希樹 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 池田思朗 (統計数理研究所) ほか

近年の ALMA 望遠鏡の観測によって、原始惑星系円盤の内部構造に複数のギャップ構造や非軸対称な構造が数多く発見され、惑星形成過程の理解が急速に進んでいる。このような高分解能サブミリ波観測は、ギャップ構造を形成する惑星質量の見積もりや、ダストの集積機構の解明等で必要不可欠である。特に高品質なイメージング処理を行い、そこから正確な輝度分布やギャップ幅の見積もりを行うことが望ましい。ALMA 望遠鏡をはじめとする電波干渉計では、観測データのイメージングで主に CLEAN と呼ばれる手法が用いられてきた。これに対して近年では、電波干渉計の新たなイメージング手法であるスパースモデリングが着目されている。スパースモデリングとは、“解がスパースに表現される”という仮定の下で解を推定する手法で、従来法では解けない電波干渉計の劣決定問題を適切に解くことができる。この手法は、CLEAN よりも高品質な画像復元が可能であり、特に回折限界を超える超解像の領域では、それが顕著であることが示されている。そこで本研究では、原始惑星系円盤 HD142527 の ALMA による実観測データにスパースモデリングを適用し、この手法からイメージがどのように改善されるのかを調査した。その結果、回折限界以下の超解像領域で CLEAN よりも高品質のイメージが得られることを確認した。本講演では、観測シミュレーションや、より高分解能の観測データを合わせたイメージの評価を行い、イメージング手法の改善によって、ALMA による原始惑星系円盤の観測にどのような恩恵が期待できるのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P234a Tタウリ型星におけるダスト円盤消失タイムスケール

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

原始惑星系円盤 (以後, 円盤) とは, 星形成初期段階とされる T タウリ型星 (TTS) の周囲に存在するガスと固体微粒子 (ダスト) の円盤である. TTS は $H\alpha$ 輝線強度の強い「古典的 TTS (CTTS)」と弱い「弱輝線 TTS (WTTS)」に分類される. 前主系列星は CTTS から WTTS へ進化すると考えられており, 円盤は星の年齢とともに散逸・降着するが, 詳しい散逸機構はよくわかっていない. 円盤のダスト熱放射は赤外域での中心星に対するフラックス超過 (赤外超過) として観測される. 異なる波長での赤外超過減衰を調べることで, 円盤の異なる領域のダスト消失時間を見積もることができる. 例えば, 近赤外での超過減衰タイムスケールに比べ遠赤外超過減衰時間が長ければ, 内側円盤から散逸する理論を支持する証拠となる. しかし, WTTS からの遠赤外線は微弱で検出が困難なため, 個別 WTTS 天体の観測だけでは遠赤外線の強い天体にバイアスがかかる可能性がある.

本研究では, 赤外線天文衛星「あかり」の全天サーベイ観測データを用いて, 平均的な TTS 遠赤外線超過減衰タイムスケールを調べた. 全天サーベイデータ (65, 90, 140, 160 μm 波長帯) を用いることで多くの TTS を調べられる. ただし, 個々の TTS, 特に WTTS の遠赤外線での検出は困難であるため, TTS の位置で遠赤外線マップの強度を重ね合わせるスタック解析を行うことにより, WTTS の微弱な赤外線の検出を試みた. 解析の結果, 90 μm 波長帯では, 平均的な CTTS (224 天体) と WTTS (485 天体) の赤外線強度に有意な差が確認された. この結果は CTTS から WTTS への進化過程において, ダスト円盤が消失していることを示している. 本発表では, 他波長での赤外超過減衰タイムスケールとの比較・考察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](#)

P235a 赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線全天観測による残骸円盤と中心星の年齢との関係の研究

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

残骸円盤は主系列星の星周円盤であり、微惑星同士の衝突などによって二次的に生成されたダスト円盤であると考えられている。残骸円盤の進化過程の標準モデルである steady state collisional evolution model (Wyatt et al. 2007) によれば、残骸円盤のダスト量は中心星の年齢に反比例して減衰する。これまで、A 型星、24, 70 μm について、残骸円盤と中心星の年齢との関係が調べられてきたが、天体数が限られていた。そこで、大きなサンプル数で残骸円盤の平均的な描像を調べるため、遠赤外線領域で全天サーベイを行なった赤外線天文衛星「あかり」を用いて、全天に渡り残骸円盤と中心星の年齢との関係を調査した。ただし、典型的な残骸円盤からの放射は「あかり」点源カタログの感度より小さく、残骸円盤を個別に解析するのは難しい。そこで、可視光観測による星の位置に基づく「あかり」遠赤外線全天画像のスタック解析を行なった。

A 型星に対して 90 μm でスタック解析を行なったところ、予想される星の photosphere からの放射に対して、残骸円盤の量の指標である赤外線超過が確認された。A 型星の赤外線超過は、中心星の年齢と共に減衰し、その減衰時間は、24 μm における赤外線超過の減衰時間 150 Myr より明らかに長かった。これは、より星からの距離が遠い冷たい残骸円盤ほど寿命が長いことを示唆している。さらに、今回の解析結果は steady state collisional evolution model に従うことも明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P236a 視線速度法による G, K 型巨星周りでの短周期惑星および複数惑星系の発見

宝田拓也, 佐藤文衛 (東工大), 大宮正士, 原川紘季, 泉浦秀行, 神戸栄治, 竹田洋一, 安藤裕康, 小久保英一郎 (国立天文台), 吉田道利 (広島大), 伊藤洋一 (兵庫県立大), 井田茂 (東工大)

これまで視線速度 (RV) 法によって発見された約 500 個の系外惑星の内、中質量星周りの惑星の検出数は 100 個程度であり、サンプル数の少なさから太陽型星周りの惑星と比べると十分な統計的理解は未だできていない。我々は、恒星質量が惑星形成・進化に与える影響を明らかにすることを目的に、岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡および高分散分光器 HIDES を用いて約 300 個の G, K 型中質量巨星に対する視線速度サーベイを 15 年以上行っている。本講演では、この観測から新たに発見された 2 つの惑星系について報告する。

HD127243 (G3IV, $0.89 M_{\odot}$, $11.5 R_{\odot}$) からは、最小質量が $0.85 M_{\text{Jup}}$ 、軌道長半径が 0.18 AU である惑星が検出された。今回、主星の質量を等時曲線から新たに決め直したところ低質量巨星であることが分かったが、これまで発見された半径が $10 R_{\odot}$ を超える巨星周りの惑星の中では最小の軌道長半径を持つ。

HD138905 (K0III, $1.52 M_{\odot}$, $11.1 R_{\odot}$) は 2 つの惑星を持つ複数惑星系であり、最小質量と軌道長半径はそれぞれ $1.03 M_{\text{Jup}}$ 、1.24 AU と $4.65 M_{\text{Jup}}$ 、2.19 AU であることが分かった。巨星周りの複数惑星系は検出数が少なく、半径が $10 R_{\odot}$ を超える巨星周りでは BD +202457 (Niedzielski et al., 2009) と η Ceti (Trifonov et al., 2014) に続いて今回が 3 例目である。

また、両天体に対して吸収線輪郭解析 (2016 年春季年会 P206a) 及び Ca II H 線強度の解析を行った結果、RV 変動との相関は見られなかった。このことから今回確認された RV 変動は恒星の表面活動ではなく惑星の軌道運動によるもの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](#)

P237a 実視連星系の星周に付随する伴天体の探査

加藤則行, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 佐藤文衛 (東京工業大学)

我々は、2003年3月より実視連星系を成す恒星17天体に対して、視線速度法による未知の伴天体の探査を行った。2007年11月まで岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡と高分散分光器HIDESを用いて視線速度をモニターした。その結果、視線速度が周期変化する1天体と、単調変化する4天体を同定した。この成果は、Toyota et al. (2009)にまとめた。本研究は、Toyota et al. が報告した視線速度に変動を持つ5天体に対して、フォローアップ観測を実施した。データの連続性を保つため188cm望遠鏡とHIDESを使用し、視線速度のモニターを2007年12月から2012年9月まで行った。

観測の結果、視線速度が単調変化する4天体のうち、2天体は恒星質量、1天体は惑星質量の伴天体を保持すると明らかになった。残りの1天体は、単調変化の傾向が変わることは無かった。Toyota et al. が報告した周期変化する視線速度を持つ1天体について、その視線速度変動は伴天体の軌道運動に起因する場合と、恒星の表面活動に起因する場合が指摘されている。このことについては、本講演にて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P238a すばる IRD の視線速度解析パイプラインと現実的な視線速度精度

平野照幸，佐藤文衛（東工大），小谷隆行，葛原昌幸（ABC/国立天文台），大宮正士，原川紘季，福井暁彦（国立天文台），成田憲保，田村元秀（東京大学/ABC/国立天文台），黒川隆志（国立天文台/農工大），西川淳（国立天文台/総研大/ABC），すばる/IRD チーム

ハビタブルゾーン内の地球型系外惑星を探索する上で低温度星は格好のターゲットである。低温度星は質量半径ともに小さく，またハビタブルゾーンも中心星に近いため，その中の惑星は太陽型星まわりに比べて視線速度，トランジットともにより大きな観測シグナルを生み出す。一方，低温度星は可視光で暗く，これまで確立された観測手法による探索が難しいことが知られている。そこで我々は低温度星が相対的に明るくなる近赤外で高分散分光観測を行って低温度星の高精度な視線速度を測定するため，すばる望遠鏡に搭載予定の近赤外分光器 IRD の開発を進めてきた（例；2011 年秋季年会: V27a, P82a, 2013 年秋季年会: V236a, 2014 年春季年会: P231a）。IRD は波長の精密較正のため，天体の光と一緒にレーザー周波数コムを分光し，Y, J, H バンドの高分解スペクトルから約 1 m s^{-1} の視線速度測定精度を達成することを目標としている。

2014 年の秋季年会（P232a）にて，視線速度測定シミュレーションを実施して理想的な状況下で達成可能な視線速度精度について報告した。その後，IRD は検出器の変更を始めとして実質的な性能の更新があったため，最近より現実的な状況下で視線速度測定シミュレーションを行って，IRD で達成可能な視線速度精度を再度評価した。本講演では，より具体的になった視線速度測定のパイプラインについて概観した後，現在の IRD の性能を考慮した現実的な視線速度測定精度について報告する。特に，(1) 検出器のピクセルスケール，(2) 読み出しノイズ，(3) 視線速度解析に使える波長域，(4) 分光器の instrumental profile，の影響について具体的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)
[スケジュールに戻る](#)

P239a 星震学を応用した系外トランジット惑星系のスピン軌道傾斜角の統計的解析

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

太陽系外惑星系において、主星の自転軸と惑星の公転軸のなす角 (スピン軌道傾斜角; ψ) の値とその分布は、系外惑星の形成過程及びその後の軌道進化を反映する重要な指標である。通常この ψ は直接観測が困難であり、観測可能量である惑星の公転軌道傾斜角 (i_{orb})、 ψ の天球面上への射影角 (λ)、主星の自転傾斜角 (i_*) の3つから推定される。ここでトランジット惑星については i_{orb} はほぼ 90° に近く、また λ はトランジット中の視線速度に現れるロシター効果から決定される。一方 i_* に関しては、従来は間接的にしか推定できなかったが、近年 *Kepler* による長期間高精度測光観測のデータを利用し太陽型星の星震を計測して決定する方法が普及しつつある。

本研究では、まず *Kepler* によって観測されたトランジット惑星系に着目し、先行研究 (Campante et al. 2016a) を上回る数の天体に対し星震解析を行い i_* を決定した。さらに、惑星を i_{orb} と i_* が既知の *Kepler* サンプル、及びそれ以外の観測から i_{orb} と λ が既知のサンプルの2つに大別し、それぞれについて元の ψ の分布を推定した。本講演では、両者のサンプルが予言する ψ の分布について、互いに整合的か、また単惑星/多重惑星系について有意な差は見られ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](#)

P240a MuSCAT によるトランジット惑星観測：運用2年目の観測成果と今後の展望

成田憲保 (東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 福井暁彦 (岡山天体物理観測所), 日下部展彦 (アストロバイオロジーセンター), 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠 (総合研究大学院大学/国立天文台), 平野照幸 (東京工業大学), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台), ほか MuSCAT/MuSCAT2 チーム, ESPRINT チーム

MuSCAT (Multi-color Simultaneous Camera for studying Atmospheres of Transiting exoplanets) は、岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡に搭載された系外惑星のトランジット観測用の 3 色同時撮像装置である (2014 年秋季年会 V218a, Narita et al. 2015)。MuSCAT は 2014 年 12 月 24 日のファーストライトから試験観測を経て、2015 年から岡山天体物理観測所の共同利用観測装置として公開されている。

本講演では、MuSCAT の運用 2 年目の観測成果について概要を紹介し、特に K2 のフィールド 5 で発見されたトランジット惑星 EPIC211525389b の発見確認観測を中心に報告する。この惑星は金属量の多い G 型星を周期約 8.27 日で公転する、約 3.6 地球半径のサイズを持つホットネプチューンである。K2 と MuSCAT によるトランジット観測から、この惑星の公転周期を約 6 秒の誤差で決定することができた。また、K2 で観測されたトランジットだけから求めたトランジット予報と MuSCAT で観測されたトランジットの時刻が 30 分程度 (2σ 程度) ずれていることが確認された。これは EPIC211525389b のまわりに別の惑星が存在することを示唆しているかもしれない。その存在を確認するため今後のトランジット周期変動の観測および長期的な視線速度観測が望まれる。

また成果の報告と合わせて岡山天体物理観測所の共同利用が終了する 2018 年以降の MuSCAT の運用の展望と、現在スペイン・カナリア諸島の TCS1.5m 望遠鏡用に開発中の MuSCAT2 の展望についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P241a 多色同時測光による CVSO 30 のトランジット状減光の原因特定

鬼塚昌宏（総合研究大学院大学/国立天文台）、福井暁彦（岡山天体物理観測所）、成田憲保（東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台）、平野照幸（東京工業大学）、日下部展彦（アストロバイオロジーセンター）、笠嗣瑠（総合研究大学院大学/国立天文台）、田村元秀（東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台）

トランジットホットジュピター候補天体 CVSO 30b は前主系列星の周りを回る、最も若いトランジット候補天体である。この天体のライトカーブは形状が変化するなどの通常のトランジットとは異なる現象が報告されており、偽検出の可能性も含めて議論が進められている。

本講演では岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡/MuSCAT を使用した、CVSO 30 の減光の可視三色での同時測光の結果について紹介する。この観測では一つの減光を同時に複数波長で測定することにより、CVSO 30 の減光の波長依存性を定量的に測定することができた。その結果、得られた波長依存性はトランジットホットジュピターの大気を仮定したレイリー散乱や主星の重力減光では説明することができないほど大きなものであった。今回の結果からはダストによる掩蔽が示唆されており、より詳細な理解には波長分解能を高めるための多天体分光測光観測が求められる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P242a K2 ミッションによって観測された天体の複数波長帯でのトランジット追観測

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

ケプラー宇宙望遠鏡は2009年3月にはくちょう座方向のトランジット惑星を探索するミッションとして打ち上げられ、系外惑星のトランジット観測から現在までに2000個以上の系外惑星を確認している。しかし、2013年3月には望遠鏡の2つの姿勢制御装置が故障し、はくちょう座方向のモニター観測が不可能になった。このため、太陽の輻射圧を利用した姿勢制御を行い、黄道面沿いのターゲットのトランジットによる減光を観測するK2ミッションに切り替えられた。

トランジット観測による惑星探索では、偽検出を排除することが大きな課題である。これを確かめる手法のひとつとして、複数の波長帯でのトランジット追観測が挙げられる。本手法はトランジット中心星の他に1つ以上の恒星が系に含まれているとき、複数の恒星のコントラストの違いから、各波長帯によって観測される光度曲線の食の深さが異なる現象を利用している。今回、我々はK2ミッションで得られた2つのトランジット惑星候補に対して、MuSCAT、ISLE(岡山188cm)、SIRIUS(南アフリカ IRSF)による複数の波長帯でのトランジット測光追観測を行った。この結果、興味深いことに、これまでK2ミッションでの測光データから惑星系であると思われていた0.1%の減光を持つ系が連星系であり、それとは対照的に食連星であると思われていた2.4%の減光を持つ系が巨大惑星を含む惑星系である可能性が高い事が示唆された。これらの結果を踏まえて、多色測光の有用性について具体的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P243a Ks-bandでのWASP-12bのトランジット観測

笠嗣瑠（総合研究大学院大学/国立天文台）、川島由依（東京大学）、福井暁彦（岡山天体物理観測所）、成田憲保（東京大学）、鬼塚昌宏（総合研究大学院大学）、生駒大洋、田村元秀（東京大学）

WASP-12b は平衡温度が 2500K と非常に温度の高いベリリーホットジュピターと呼ばれるトランジット巨大ガス惑星である。これまでに多くのトランジット観測が可視から近赤外までで行われているが、 $2\mu\text{m}$ 帯でのトランジット観測は行われていなかった。Sing et al.(2013) はハッブル宇宙望遠鏡/WFC3, STIS, スピッツァー宇宙望遠鏡/IRAC を用いて、WASP-12b の大気はエアロゾルの特徴を持つと示唆している。しかし、Stevenson et al.(2014c) はスピッツァー宇宙望遠鏡/IRAC のデータに系統誤差があることを指摘しており、近赤外でのトランジット観測が重要になっている。今回、我々は Ks-バンド ($\sim 2\mu\text{m}$) で WASP-12b のトランジットを 2 回観測した。我々のトランジット観測結果は Sing et al.(2013) のエアロゾルモデルとやや異なっていた (1.1σ)。理論透過光スペクトルを作成し、今回のトランジット結果は clear な大気と一致することがわかった。さらに WASP-12b の大気について理解を深めていくにはより詳細な近赤外 ($> 2\mu\text{m}$) での観測が求められる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P244a はやぶさ 2 の近赤外分光計 (NIRS3) による系外惑星としての地球観測

市川隆, 津村耕司 (東北大学), 北里宏平 (会津大学), はやぶさ 2 NIRS3 チーム

はやぶさ 2 の近赤外分光計 NIRS3 を用いて、スイングバイ時に地球の様々な場所 (南極、大陸砂漠、海など) の観測を行った。それに加え、はやぶさ、Galileo などの探査機アーカイブデータを用いて、波長 $1\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ の地球の場所による違いや、月や木星などの他の惑星と比較した時のスペクトルの特徴について解析を行った。これまで探査機や地球照による観測によって地球を系外惑星として見た時の詳しい大気成分の研究が多く行われてきたが、地球型系外惑星の大気の詳細な分光の技術開発は難しく、並行して、トランジット観測による惑星大気の透過光の観測や第 2 食時の反射光の高精度での観測技術の向上が待たれる。南極は非常に大気が安定しており、水蒸気も極めて少ないことから、地上での赤外線トランジット観測としては最適の場所と期待されている。そこで南極 2.5m 望遠鏡に搭載予定の近赤外線での 3 色同時撮像多天体分光装置を開発している。近赤外線には H_2O 、 CH_4 、 CO_2 、 CO などの分子の吸収帯が多く存在する。地球型系外惑星では $1.9\mu\text{m}$ の水吸収は非常に強いと予想されるが、地上観測の場合、地球大気の水蒸気の影響を強く受ける。しかし南極では少ない水蒸気と、吸収量の変動も非常に小さいことから、この波長でも十分に高い性能で観測可能である。また $3\mu\text{m}$ より長い波長では惑星からの熱放射が観測されるが、南極では大気温度が低いことから (-70°C)、長い波長での観測精度も高く、ホットジュピターなどとの分類も可能となる。極夜の時は連続して 5ヶ月以上観測できるので、繰り返し観測による S/N の向上も期待できる。そこで筆者らは分子帯を含む多色測光による惑星の分類方法を提案している (Lundock et al. 2009)。本研究ではさらに、探査機での観測を基に、南極での観測に最適化した水の分子の波長を加えた中帯域フィルターを用いる分類方法を提案する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P245a 太陽系外惑星データベース ExoKyoto の開発

山敷庸亮, 細野七月, 黒木龍介, 村嶋慶哉, 佐々木貴教, 土井隆雄, 佐藤啓明, 真柳和也, 野津翔太, 野津湧太, 伊藤岳陽, 嶋田侑治 (京都大), 芝池論人 (東工大), 石川裕之 (総研大), 下崎紗綾, 藤田汐音 (滋賀県立守山高校)

太陽系外惑星データベース ExoKyoto を開発・公開した。ExoKyoto では、現在までに発見された系外惑星の基本情報のほか、アルベドを仮定した惑星の推定温度や推定軌道、主星の情報などを一覧表示することができる。また、他のデータベースとの相互参照が可能な他、欠損データ (惑星質量、半径等) の推定値表示、Stellar 画面や Google Sky を用いた系外惑星や周辺星の表示等、既存のデータベースにはない新機能が含まれる。推定機能を用いて欠損データを補間すると、これまで発見された系外惑星については、Sub-Neptune サイズ ($1.9\text{-}3.1R_{\text{earth}}$) が最も多く (967 個)、次に Super-Earth サイズ ($1.2\text{-}1.9R_{\text{earth}}$) が多いという分布が得られた (681 個)。更に系外惑星の公転周期・半径・推定質量 (Larsen & Geoffrey, 2014) や、トランジットパラメータ (最大減光率)、および主星の情報 (位置、等級、スペクトル型等) 等を元に、観測ターゲット選定への活用も可能である。現在は希望者にデータベースの配布を行っている他、HP 上 (exoplanetkyoto.org) で系外惑星データ・関連記事の公開を行っている。

また ExoKyoto では、現在までに発見された系外惑星系、および 12 万個を超える恒星系に対し、Kopparapu et al. (2013)、太陽系相当天文単位 (SEAU) 等異なる定義のハビタブルゾーンを数値・軌道図の双方で表示し、相互比較する事が可能である。例えば Kepler-560b は SEAU の定義ではハビタブルゾーン範囲内に存在するが、Kopparapu et al. (2013) の定義では範囲外となる。講演では、ExoKyoto の特徴・開発状況・今後の観測研究への応用等について簡単に説明した上で、異なるハビタブルゾーン定義を用いた系外惑星の統計結果等を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Q. 星間現象】

3月15日(水)午後(13:00-15:00) [D会場]

Q01a	13:00	野辺山 45-m 鏡と ALMA による近傍銀河に対するラインサーベイ観測	中島拓 (名古屋大学)
Q02a	13:12	W3(OH) 領域の巨大分子雲スケールの化学組成	西村優里 (東京大学)
Q03a	13:24	大質量星形成領域 Sgr B2(M) における HC ₃ N の同位体比の高精度決定	小山貴裕 (東京理科大学)
Q04a	13:36	低質量星形成領域 L1527 における長鎖炭素鎖分子の検出	荒木光典 (東京理科大学)
Q05a	13:48	Diagnosis of dust crystallinity based on "Sum rule"	茅原弘毅 (大阪産業大学)
Q06a	14:00	国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙曝露実験 (3)	左近樹 (東京大学)
Q07a	14:12	大質量星形成領域 S106 の未同定赤外 (UIR) バンドの観測	木村智幸 (東京大学)
Q08a	14:24	Looking at PAH Distribution and Anomalous Microwave Emission of the Lambda Orionis Region with AKARI	Aaron C. Bell (University of Tokyo)
Q09c		多環芳香族炭化水素 (PAHs) と複数水素原子の反応メカニズム	福澄孝博 (北海道大学)
Q10a	14:36	光学的厚みを考慮したフィッティングによる銀河系ダスト柱密度全天マップ作り	梨本真志 (東北大学)
Q11a	14:48	ダスト放射で探るマゼラン流における低金属量ガスの分布の解明	古賀真沙子 (名古屋大学)
Q12c		アンドロメダ銀河の伴矮小楕円体銀河における星間物質の大域的進化	釜谷秀幸 (防衛大学校)

3月16日(木)午前(09:30-11:30) [D会場]

Q13a	09:30	銀河宇宙線 Li の過剰と新星爆発放出物質	川中宣太 (京都大学)
Q14a	09:42	スーパーバブル 30 Doradus C における衝撃波-星間ガス相互作用	山根悠望子 (名古屋大学)
Q15a	09:54	4 個の若いシェル状 TeV ガンマ線超新星残骸における宇宙線陽子の定量	福井康雄 (名古屋大学)
Q16a	10:06	GeV ガンマ線超新星残骸 HB 21 の X 線観測による過電離プラズマの発見	鈴木寛大 (東京大学)
Q17a	10:18	超新星残骸 W44 超高速成分の磁気流体シミュレーション	野村真理子 (慶應義塾大学)
Q18a	10:30	Cassiopeia A 周辺星間ガスの観測的研究	稲葉哲大 (名古屋大学)
Q19a	10:42	分子雲衝突による Spitzer Bubble の形成; S44, S121, S143	服部有祐 (名古屋大学)
Q20a	10:54	ATCA の電波観測に基づく W50/SS433 の偏波解析	酒見はる香 (九州大学)
Q21a	11:06	フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡によるカメレオン座分子雲領域の星間物質の探査	林克洋 (名古屋大学)
Q22b	11:18	星形成領域 Ophiuchus, Lupus I, Orion B, Serpens, S106 における近赤外赤化則	渡邊千夏 (埼玉大学)
Q23b	11:18	近赤外線狭帯域フィルター観測による銀河面リッジ X 線放射構成種族の探査	森鼻久美子 (兵庫県立大学)
Q24b	11:18	2 ダスト・1 ガス三流体方程式を用いた大質量星からの輻射フィードバック	一色翔平 (北海道大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

3月16日(木)午後(13:30-15:42) [D会場]

Q25a	13:30	大マゼラン雲における水素原子ガス衝突による R136 形成 柘植紀節 (名古屋大学)
Q26a	13:42	双子スターバースト領域 NGC6334 と NGC6357 による分子雲と星形成の観測的研究 横山景子 (名古屋大学)
Q27a	13:54	野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ : 1. DR21/W75N 領域における分子雲衝突による星形成トリガーの可能性 西村淳 (名古屋大学)
Q28b	14:06	野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ : 2. C ¹⁸ O core properties 竹腰達哉 (国立天文台)
Q29b	14:06	野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ : 3. CN データから探る分子の光解離反応 山岸光義 (宇宙航空研究開発機構)
Q30b	14:06	野辺山 45m 望遠鏡を用いた銀河系における最遠方分子雲の検出 松尾光洋 (鹿児島大学/国立天文台)
Q31a	14:18	FUGIN: W51 領域における CO multi-line 解析 (2) 藤田真司 (筑波大学/国立天文台)
Q32a	14:30	FUGIN: シェル状の速度構造をもつ分子ガス 津田裕也 (明星大学)
Q33a	14:42	FUGIN: 銀河系外縁部 (3) 松尾光洋 (鹿児島大学/国立天文台)
Q34b	14:54	FUGIN: 大質量星形成領域 W33 の CO 輝線観測 III 河野樹人 (名古屋大学)
Q35b	14:54	銀河系ディスクへの低温ガス降着に伴う宇宙線加速と非熱的放射 井上進 (理化学研究所)
Q36b	14:54	無衝突磁気リコネクションにおける電子軌道解析 銭谷誠司 (国立天文台)
Q37c		2 流体プラズマ波動乱流中での粒子加速過程について 格和純 (東北大学)
Q38a	15:06	相対論的衝撃波で励起される大振幅電磁波の作用 岩本昌倫 (東京大学)
Q39a	15:18	磁場散逸を含んだ相対論的磁気流体流れの減速について 田中周太 (甲南大学)
Q40a	15:30	Thermal Synchrotron Radiation By Double Tearing Mode Reconnection – Application to High-Energy Flare Phenomena 高本亮 (東京大学)

3月17日(金)午前(09:30-11:45) [D会場]

Q41a	09:30	An origin of high velocity compact clouds: Dynamical signature of intermediate mass black holes Guo Yansong (Nagoya Univ.)
Q42a	09:42	銀河系核周円盤近傍における複数の小型高速度コンパクト雲の発見 竹川俊也 (慶應義塾大学)
Q43a	09:54	最新の分子輝線データに基づく高速度コンパクト雲 CO 0.02–0.02 の新解釈 岩田悠平 (慶應義塾大学)
Q44a	10:06	VERA による Sgr B2 領域の位置天文観測 酒井大裕 (東京大学)
Q45a	10:18	セファイドを用いた銀河面偏光観測 善光哲哉 (京都大学)
Q46a	10:30	銀河系中心領域における磁気活動の解明 柿内健佑 (名古屋大学)
Q47a	10:42	階層的ベイズ推定法を用いた銀河系中心分子雲の物理状態/化学組成の測定 田中邦彦 (慶應義塾大学)
Q48a	10:54	Formation of Galactic Prominence in Galactic Central Region Chih-Han Peng (Chiba Univ.)
Q49a	11:06	分子雲衝突による銀河系中心 50km/s 分子雲での大質量星形成 上原顕太 (東京大学)
Q50a	11:18	CO 多輝線観測による Proto-superbubble 候補天体 $L = -1.2^\circ$ 領域の詳細研究 辻本志保 (慶應義塾大学)
Q51b	11:30	銀河系中心 50km/s 分子雲で発見された分子雲フィラメント 上原顕太 (東京大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

3月17日(金)午後(13:30-15:34) [D会場]

Q52a	13:30	中性子星合体起源の r プロセス元素宇宙線	小宮悠(東京大学)
Q53a	13:42	「すざく」衛星による LOOP-I/NPS 構造の系統探査	秋田誠博(早稲田大学)
Q54a	13:54	超新星残骸 Cassiopeia A 北東ジェット X 線放射の詳細解析	池田拓馬(立教大学)
Q55a	14:06	X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 W28 (G6.4-0.1) の観測	尾近洸行(京都大学)
Q56a	14:18	X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 G306.3-0.9 の観測	立花克裕(京都大学)
Q57a	14:30	超新星残骸 W44 からの拡散硬 X 線成分の発見	内田裕之(京都大学)
Q58a	14:42	すざく衛星を用いた超新星残骸 W49B の再結合優勢プラズマの観測	山内茂雄(奈良女子大学)
Q59a	14:54	超新星残骸 IC 443 からの過電離プラズマの成因	松村英晃(京都大学)
Q60a	15:06	X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 CTB1 の観測	桂川美穂(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
Q61a	15:18	NuSTAR/Suzaku による最も明るいガンマ線超新星残骸 N132D の観測	馬場彩(東京大学)
Q62b	15:30	「すざく」衛星による地球周辺からの太陽風電荷交換 X 線イベントの系統探査	伊師大貴(首都大学東京)

Q01a 野辺山 45-m 鏡と ALMA による近傍銀河に対するラインサーベイ観測

中島 拓 (名古屋大学), 高野 秀路 (日本大学), 河野 孝太郎, 田村 陽一, 泉 拓磨, 谷口 暁星, 安藤 亮 (東京大学), 瀧崎 智佳 (上越教育大学), 原田 ななせ (ASIAA), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

近年、周波数方向に無バイアスに広帯域を観測する「ラインサーベイ」によって多数の分子スペクトルを検出することで、近傍銀河の物理・化学的な研究が積極的に行われている。特に銀河の活動性 (スターバーストや AGN) と分子組成・分子存在度との間の関係性を解明することは、重要な研究テーマとなっている。

我々は 2009~2011 年にかけて、野辺山 45-m 鏡によるレガシープロジェクトとして、総観測時間 500 時間に及ぶ近傍銀河 (NGC 1068、NGC 253、IC 342) の 3-mm 帯 (84–116 GHz) ラインサーベイを実施した (Takano et al. 2013)。これにより各銀河で約 20 種の分子を検出し、AGN を持つ NGC 1068 とスターバースト銀河 NGC 253 及び IC 342 の 1 kpc スケールでの分子組成と分子存在度の違いを明らかにした (Nakajima et al. 2011; 2013 など)。しかしながら、野辺山 45-m 鏡の観測ではビームサイズが大きく (HPBW~18'')、それらの分子の分布が分からないため、特に AGN の化学組成への影響を詳細に明らかにすることはできなかった。

そこで我々は ALMA を用いて、NGC 1068 に対する 3-mm 帯のイメージング・ラインサーベイを提案した。これまでに cycle-0 (PI: S. Takano), cycle-1 (PI: S. Takano), cycle-2 (PI: T. Tosaki; T. Nakajima) の 4 つの観測が 2012~2015 年にかけて実施され、それらのデータを合わせると、85–111 GHz に渡るほぼ完全な 3-mm 帯ラインサーベイが完了した。これにより、野辺山の観測で検出した ^{12}CO を除く全ての分子に対して、その分布を 0.5~4'' という高い空間分解能で得ることができた。本講演では、45-m 鏡でのラインサーベイによって明らかにした大局的な結果を示した後、ALMA によるイメージング・ラインサーベイの初期解析結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a W3(OH) 領域の巨大分子雲スケールの化学組成

西村優里 (東京大学), 渡邊祥正 (東京大学), 原田ななせ (台湾中央研究院), 下西隆 (東北大学), 坂井南
美 (理研), 相川祐理 (筑波大学), 河村晶子 (国立天文台), 山本智 (東京大学)

近年の観測感度の向上に伴い、系外銀河においても化学組成を観測的に調べられるようになり、その特徴が明らかになってきた (LMC: 西村他、2015 年春季年会、IC10: 西村他、2015 年秋季年会)。こうした系外銀河の観測では、望遠鏡のビームサイズは近傍銀河でも巨大分子雲 (GMC) スケール (数十 pc) に相当するため、銀河系内の分子雲で観測されているような分子雲コアスケール (0.1pc) の化学組成とそのまま比較することはできない。それらの関係を調べるため、我々は銀河系内の GMC のマッピングスペクトル線サーベイを行っている。本研究では 2015 年 3 月、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて、銀河系内の W3(OH) 領域をターゲットに、9.0 pc×9.0 pc の 3 mm 帯マッピング観測を行った。W3(OH) は銀河系外域に位置する、星形成活動の活発な領域である。

その結果、9.0 pc 四方で平均したスペクトルは、ホットコアのスペクトルと比べて、(1) コア付近に存在する分子種 (CH_3OH , HC_3N , CH_3CCH) は輝線強度が弱くなるが、(2) 全体的に希薄ではあるものの広い領域に渡って存在している分子種 (CCH) は、輝線強度が相対的に強くなるという 2 つの特徴が見られた。また、この平均スペクトルは、M51 や LMC といった系外銀河のスペクトルと、分子種、相対強度の点で似ていることもわかった。分子雲のどの領域が平均スペクトルにどう寄与するかを調べるため、 ^{13}CO の積分強度で領域を 5 つ (70 K km/s 以上, 50-70 K km/s, 30-50 K km/s, 10-30 K km/s, 10 K km/s 以下) に分け、それぞれの領域のスペクトルを作ったところ、10-30 K km/s の領域が、9.0 pc 四方の平均スペクトルと似た特徴を示すことがわかった。この結果から、系外銀河のスペクトルは分子雲コアの周辺に広がる希薄な領域の化学組成をよく反映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](#)

Q03a 大質量星形成領域 Sgr B2(M) における HC₃N の同位体比の高精度決定

小山 貴裕 (東京理科大学)、安部 凜 (東京理科大学)、宮崎 彩音 (東京理科大学)、荒木 光典 (東京理科大学)、高野 秀路 (日本大学)、久世 信彦 (上智大学)、住吉 吉英 (群馬大学)、築山 光一 (東京理科大学)、遠藤 泰樹 (国立交通大学)

星間空間での元素同位体比は、銀河の化学進化を明らかにする上で重要な指針となる。特に星間分子の四割を占める炭素鎖分子の ¹³C 同位体種の存在比は、炭素鎖の伸長過程を考える上で大変興味深い。しかし、炭素鎖分子が多数報告されている我々の銀河の中心領域において、炭素鎖分子の ¹³C 同位体種の高精度な測定は、これまで報告されていなかった。そこで我々は、比較的単純な炭素鎖分子である HC₃N を用いて、銀河中心領域での ¹³C 同位体種の高精度測定を行った。

野辺山宇宙電波観測所の 45 m ミリ波望遠鏡を用いて、Sgr B2(M) に対して 3 mm 帯で観測を行った。ビーム幅は、18."2 であった。実質的な積算時間 (総 ON 点時間) は約 4 時間である。

今回、HC₃N の三つの ¹³C 同位体種、H¹³CCCN、HC¹³CCN、HCC¹³CN について $J = 10 - 9$ 遷移を観測した。また、HC₃ については $J = 11 - 10$ 遷移も観測した。そこから各同位体種の柱密度の比は $1 : 1.03(4) : 0.99(3)$ と求め、全ての炭素位置でほぼ同じであることが明らかになった。誤差は既報の値より一桁小さく、Sgr B2(M) における HC₃N の ¹³C 同位体種の存在比を初めて高精度で決定できた。HC₃N について、おうし座暗黒星雲 TMC-1 (シアノポリインピーク) などの Starless dark cloud では、窒素原子と隣り合った炭素原子で ¹³C の同位体濃縮が起こることが報告されているが、Sgr B2(M) ではそのような傾向は見られなかった。これは Sgr B2(M) が TMC-1 より高温であり、同位体交換反応が起こり難いためだと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04a 低質量星形成領域 L1527 における長鎖炭素鎖分子の検出

荒木光典（東京理科大学）、高野秀路（日本大学）、坂井南美（理研）、山本 智（東京大学）、小山貴裕（東京理科大学）、久世信彦（上智大学）、築山光一（東京理科大学）

炭素鎖分子は、黒鉛、ダイヤモンドに次ぐ炭素の第3の形態といわれ、発見されている星間分子種の4割を占める。そして、これまで晩期型星周雲と暗黒星雲で数多く発見されてきた。近年、それに加えて低質量星形成領域でも検出されている。その代表例が低質量星形成領域 L1527 である。しかし、長鎖炭素鎖分子については、L1527 ではおうし座暗黒星雲 TMC-1（シアノポリインピーク）より少ないとされている。そこで今回、L1527 の化学組成の全体像を描くため、長鎖炭素鎖分子の存在量を調べた。

観測は、アメリカ国立電波天文台の GBT 100 m 電波望遠鏡を用いて、42-44 GHz 帯にて行なった。2015 年 3 月から 5 月の観測結果は、2015 年秋季年会 Q04b で報告した。この時点で、 CH_3CCCCCH ($\text{CH}_3\text{C}_4\text{H}$) を本天体で初検出した。さらに、同年 9 月から 10 月までの追加観測により、 C_7H 、および C_6H の電子励起状態 $2 \rightarrow 1/2$ も検出した。また、 $\text{CH}_3\text{C}_4\text{H}$ について、弱い遷移 $K = 2$ も検出できた。

これまでに得られている TMC-1 と L1527 での炭素鎖分子の柱密度（存在量）を比較すると、一般に、炭素鎖が長くなると、L1527 での柱密度が少なくなる傾向がある。 $\text{CH}_3\text{C}_n\text{H}$ ($n=2,4$) と HC_nN ($n = 5, 7, 9$) では、この傾向が表れている。しかし、linear- C_6H_2 と C_7H の場合、その傾向からずれ、L1527 でも存在量が TMC-1 と同程度であった。よって、L1527 において、多くの長鎖炭素鎖分子の存在量が、TMC-1 と同程度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](#)

Q05a Diagnosis of dust crystallinity based on "Sum rule"

茅原弘毅 (大産大教養), 小池千代枝 (立命館大理工)

星周ダストとしての結晶質シリケートの室内分光実験において、スペクトルの形状（吸収ピークの位置、半値幅、強度）に影響するパラメータは複数存在することがわかっている。それらのうち、結晶構造の秩序の程度（結晶性）は、観測をよりよく説明するために、注目すべき重要な要素の一つである（Murata et al. 2007, Imai et al. 2009 など）。本研究では、固体分光の基礎的原理である総和則（Sum rule）に基づいて、分光学的にダストの結晶性を診断する方法を示す。

固体分光学の基礎原理において、共鳴振動（吸収帯）の積分強度は試料物質の単位体積当たりの振動子の数を表すと解釈される。また、総和則は、物質の物性が変化しない限りにおいて、この積分強度が定数となることを保証する。この原理に立つと、もし、結晶内の格子構造に不規則性が生じれば、振動子の数は減少し、それに伴い吸収帯の積分強度も減少することが予想される。ここで、 $(積分強度) = (半値幅) \times (ピーク強度)$ と近似すると、結晶性（積分強度）が同じなら半値幅とピーク強度は反比例の関係を持つはずである。

これを実験的に検証するために、結晶質星周ダストとして知られている、オリビン ($Mg_xFe_{1-x})_2SiO_4$ を様々な方法を用いて粉碎し、異なる結晶性をもつ試料をいくつか用意して、温度を変えながら（300, 200, 100, 50 K）スペクトルを測定した。吸収帯の半値幅とピーク強度のプロットを作ると、各試料のデータ点がきれいな反比例曲線にのることがわかり、結晶性が高いほど積分強度が大きいことが確認できた。また、積分強度は温度変化をしないことも確かめられた。すなわち、理想的な分光測定を行うことが出来れば、或る1温度でのスペクトルを取得するだけで、相対的な物質の結晶性診断が可能になるということである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q06a 国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙曝露実験 (3)

左近 樹, 尾中 敬 (東京大学), 木村誠二 (電気通信大学), 木村勇氣 (北海道大学), 中村正人 (日本大学), 市村 淳 (ISAS/JAXA), 小川奈々子, 大河内直彦 (JAMSTEC), 稲富裕光 (ISAS/JAXA), 和田節子

進化した星が終焉を迎える際に重元素に富んだガスを宇宙空間にまき散らす過程で凝縮したダストは、星周空間を離れ、星間ダストとして宇宙空間を漂い、やがて分子雲にとりこまれ次世代の星形成サイクルに寄与すると考えられる。星間ダストの真の姿を理解しようとする試みは、多くの研究を通じて成されて来たが、依然として、我々が実験室で扱うダストと、実際に宇宙空間に存在するダストの同一性が確認できた例はほとんどない。QCC プロジェクトは、国際宇宙ステーション (ISS) きぼう実験棟簡易曝露実験装置 (ExHAM) を利用し、実験室で合成したダストを含む 40 種以上のダスト試料を約一年間宇宙環境に曝露し、試料が被る物質変性を探る実証研究である。主な実験試料として、急冷炭素質物質 (QCC) や窒素を含有した炭素質ダストなどを含む。これらは、芳香族 / 脂肪族の炭素-炭素結合や炭素-水素結合、炭素-窒素結合などの様々な構造を有し、特に過酷な星周環境で獲得する性質を明らかにする事は、様々な天体環境に観測される未同定赤外 (UIR) バンドの担い手の姿を知る上で、鍵になると考えられる。我々は、2016 年 5 月 26 日より ISS きぼう ExHAM 上での宇宙曝露実験を開始し、384 日間の宇宙曝露実験を経て回収された実験サンプル EE64-I および EE64-II を、2016 年 9 月に筑波宇宙センターで受け取った。表面状態の観察の後、赤外顕微分光透過率測定および赤外顕微 ATR 分光測定などを実施し、曝露前後での変化の調査を開始した。本講演では、特定の変性要因の影響を調べる目的で平行して実施する地上対照実験 (2MeV および 100KeV のプロトン照射実験など) の結果と併せて、最新の分析の進捗結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 大質量星形成領域 S106 の未同定赤外 (UIR) バンドの観測

木村智幸, 左近樹, 尾中敬 (東京大学)

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

大質量星形成領域 S106 は 1.7kpc の距離に存在し、大質量 YSO である IRS4 を中心として HII 領域を形成している。S106 では IRS4 をはじめとする多くの YSO からの UV 輻射場が存在し、UIR バンドが観測されることが報告されている (van den Ancker et al. 2000)。本研究ではすばる望遠鏡に搭載された中間赤外分光観測装置 COMICS を用いて、S106 の HII 領域中心部に存在する幾つかの赤外線放射を示す構造に対して $0''.33 \times 40''$ 長スリット分光と撮像観測を行い、 $7 \sim 13\mu\text{m}$ の $R \sim 250$ の低分散スペクトルについて解析した結果を報告する。この波長域では、特に広がった構造領域で、顕著な UIR $7.7\mu\text{m}$, $8.6\mu\text{m}$, $11.2\mu\text{m}$ バンドが観測されたほか、1つの熱源付近では、シリケートの吸収の他、 $8.5\mu\text{m}$ に幅の広いバンド構造が観測された。複数のスリットポジションで取得したスペクトルの分析から、異なる天体構造を持つ領域でのスペクトルの差異に加えて、高い空間分解能を活かしてそれぞれのポジションにおけるスリットに沿った方向で見られるスペクトルの空間変化も検出することができた。本講演では、観測された UIR バンドの空間変化の原因を説明する PAH および炭素質ダストの性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q08a Looking at PAH Distribution and Anomalous Microwave Emission of the Lambda Orionis Region with AKARI

Aaron Bell, Takashi Onaka(U. Tokyo), Frederic Galliano (CEA), Ronin Wu (Obs. Paris), Daisuke Ishihara, Hidehiro Kaneda (Nagoya U.), Yasuo Doi, Takafumi Ohtsubo (U. Tokyo), Martin Giard (IRAP)

The anomalous microwave emission (AME) continues mystify those studying dust at both the infrared wavelengths, and on into the microwave domain. What physical mechanism/s produce this strongly dust-correlated microwave (20 to 70 GHz) galactic foreground? We investigate the hypothesis that AME arises from rapidly spinning polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH type molecules. The AKARI space telescope contributed a wealth of data across the whole sky. We focus on the Infrared Camera (IRC) all-sky maps, centered at 9 and 18 μm . The 9 μm band offers a unique band-shape, and coverage of several major unidentified infrared band (UIR) features, otherwise called “the PAH features”. Here we investigate the PAH and dust emission of an AME prominent region, the Lambda Orionis molecular ring. We map the PAH abundance across this wide (10 degree) structure, and compare to the AME spatial variation, finding a difference between the molecular ring portion and the central, warm dust dominated region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09c 多環芳香族炭化水素 (PAHs) と複数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。このように大きな有機分子は、宇宙における生命期限への関与や「ぼやけた星間線」(diffuse interstellar band) を引き起こす分子の可能性の観点からも注目されている。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。既に、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強く結合することが知られている。計算により、2つ目の水素原子も PAHs 面内の炭素原子に発熱的に結合し、新たな C-H 結合を生成することを見出した。2つ目の水素原子が付くサイトにより安定性がどのように違うかも含め、報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10a 光学的厚みを考慮したフィッティングによる銀河系ダスト柱密度全天マップ作り

梨本真志（東北大学）、服部誠（東北大学）、下西隆（東北大学）、土井靖生（東京大学）、大坪貴文（東京大学）

銀河系内には無数のダスト粒子が散在しており、それぞれのダストは星間輻射場 (ISRF) の紫外線や可視光を吸収した熱エネルギーを、遠赤外線からミリ波帯で熱放射として放出している。我々は、AKARI 遠赤外線全天地図を元に、銀河系内ダストの柱密度および星間輻射場強度の全天分布地図作成を一つの目標に据えて、物理モデルに基づいた星間ダストの放射モデルを用いたスペクトルフィッティングコードの開発を行なっている。先行研究では、光学的にうすいことが暗黙の仮定として用いられているが、系内の大半領域でダスト柱密度が大きく、この仮定が成立していない。そこで光学的厚みが1あるいは1を超える領域に対してセルフコンシステントなフィッティングを行なう手法を開発した。本発表では、この手法の説明を行い、AKARI 遠赤外線全天マップに適用して得られた全天地図を紹介する。銀河面などの高密度領域ではマップに違いが顕著に現れた。光学的厚みには周波数依存性があり観測周波数に応じて同一視線方向でも見えている領域が顕著に異なることが分かった。このことを利用してダストの視線方向分布など、さらなる情報を引き出せ得るか議論する。更にサブミリ波ミリ波域での星間ダストによる光学的厚みの全天地図を示し、WMAP や PLANCK のデータを用いて宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎ及び偏光分布地図作成時に使われてきたこれまでの手法の検証を行なった結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11a ダスト放射で探るマゼラン流における低金属量ガスの分布の解明

古賀真沙子, 福井康雄, 立原研悟, 山本宏昭, 佐野栄俊, 林克洋, 早川貴敬, 岡本竜治 (名古屋大学)

マゼラン流は大小マゼラン雲から 140° にわたって尾をひくように分布した中性水素ガスである。銀河回転モデルから大きく外れた視線速度をもつ高速度雲として 1970 年代初頭の 21 cm 線の観測により発見され (Wamier & Wrixon 1972)、その後間もなく、その成立に大小マゼラン雲の力学的相互作用 (潮汐力等) が関係していることが理論および観測の両面から示唆された (e.g. Mathewson et al. 1974, Fujimoto & Sofue 1976)。このガス流の起源については発見当初から議論が続いていた。近年 HST および VLT を用いた、マゼラン流に沿った 6 つの領域での背景の活動銀河核からの吸収線の観測により、各領域の重元素量が明らかになり、ガス流の大部分はより低金属量の小マゼラン雲起源で、大小マゼラン雲に近い一部の領域は大マゼラン雲起源である可能性が示された (Fox et al. 2013)。我々はこれまで、銀河系内の HI の積分強度 (W_{HI}) と *Planck* 衛星によるダスト放射パラメータ (353 GHz におけるダストの光学的厚み τ_{353} 等) の関係を詳細に研究し、星間水素を精密に定量する手法を確立してきた (Fukui et al 2015 他)。本研究では、2016 年に公開された HI の高分解能全天サーベイである「HI4PI」を用い、銀河系内での W_{HI} と τ_{353} の関係と、マゼラン流での同関係を比較することで、ダスト量が系内に比べて有意に少ない領域を抽出することに成功し、その結果が Fox らによる先行研究の結果を支持することを確認した。この際、HI の速度情報等を用いて前景成分の分離も試みた。本研究により、これまで背景クエーサーからの吸収線などを使って局所的にしか理解されていなかったマゼラン流の低金属量ガスの、空間的な分布の全貌が明らかになった。本講演では解析手法の詳細を示し、マゼラン流の起源を探る上での本研究の意義を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q12c アンドロメダ銀河の伴矮小楕円体銀河における星間物質の大域的進化

釜谷秀幸（防衛大学校）

矮小楕円体銀河における星間物質の大域的進化は、その重力ポテンシャルの小ささのため超新星爆発などによる内因的な流出（銀河風）の影響を強く受けることが知られている。その星間物質の流出には銀河間物質による外圧が効く場合がある。また、矮小楕円体銀河は伴銀河であることが多く、親銀河起源の強い銀河風の影響も無視できない。つまり、矮小楕円体銀河の星間物質の進化を理解するためには、環境効果を被る開放系として物理モデルを組み立てる必要がある。

ところで、最近、アンドロメダ銀河周りの矮小楕円体銀河における詳細な赤外線観測が行われた。興味深いことに、NGC147では有意なダストは検出されず、NGC185ではダストが検出されている。この二つの矮小楕円体銀河は、親銀河からの距離も大きく変わらず、ペアを成していると強く期待されている。実視等級の差も1等ほど大きく変わらず、形態分類もdE5とdE3(dE5とする研究もある)と似ている。興味深いことは、NGC147の最後の星形成は30億年前である一方、NGC185では最近まで継続されていた。

本研究では、このダスト量の違いをヒントに両矮小楕円体銀河における星間物質の大域的進化の差を詳らかにすることが目標である。まず、これらへの環境効果はお互いに近いので同程度であることが分かる。さて、両者での星形成史は異なるため、NGC185では長く星間物質が保持される必要がある。さらに、そこで検出されたダスト温度は低いことから、ダストは輻射源から遠いと解釈できる。そうすると、内因的銀河風の効率に差が必要となることが分かる。講演では、この効率差を生む重力源（暗黒物質質量）の差異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](#)

Q13a 銀河宇宙線 Li の過剰と新星爆発放出物質

川中宣太（京都大学）、柳田昭平（茨城大学）

銀河宇宙線に含まれるリチウムは、標準的には炭素などのより重い宇宙線原子核が星間空間を伝搬中にガスと衝突、破碎することで生成される（二次成分）と考えられている。このとき、そのエネルギースペクトルは陽子やヘリウムなど超新星残骸で加速されるような宇宙線原子核（一次成分）に比べ、べきがソフトになることが予想される。ところが最近の宇宙線検出装置 AMS-02 の最新の報告により、 ~ 100 GeV 以上のエネルギーでリチウムのスペクトルが予測よりもハードになっており、陽子やヘリウムなど一次成分と似た振る舞いを示していることが分かった。このことは地球近傍にリチウムを一次成分として加速するような宇宙線源が存在することを示唆している。一方、伴星からの質量降着によって起こる白色矮星の新星爆発に伴い、大量の 7 -リチウムが合成され星間空間に放出されることが、最近の観測から明らかになっている。そこで我々は、一度新星爆発を起こした白色矮星がしばらく後に Ia 型超新星爆発を起こし、その残骸が新星爆発の放出物質を掃くことによって放出物質中のリチウムが加速され一次成分の宇宙線となる、というシナリオを考察した。この超新星が地球から ~ 1 kpc 程度の距離で $\sim 10^5$ 年前に起こり、その残骸において衝撃波粒子加速は他の通常の超新星残骸と同様の効率で起こると考えたとき、予測されるフラックスおよびエネルギースペクトルは AMS-02 で得られたデータとよく一致することが分かった。また、陽子、ヘリウム、炭素など他の銀河宇宙線原子核に現れる影響についての議論、CALET 実験への予言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](#)

Q14a スーパーバブル 30 Doradus C における衝撃波-星間ガス相互作用

山根悠望子、佐野栄俊、稲葉哲大、吉池智史、馬場崎康敬、三石郁之、山本宏昭、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) の衝撃波と星間ガスの相互作用は、高エネルギー放射や宇宙線加速に影響を与える。佐野ほか (2013, 2015) は、SNR RX J1713.7-3946 における分子雲とシンクロトロン X 線放射の精査を行い、X 線と分子雲分布に sub pc スケールの反相関関係が見られること、分子雲方向で光子指数が小さくなっていることを見出した。これらは衝撃波-星間ガス相互作用による、ガス塊周辺での乱流磁場増幅の結果と解釈できる。現象の普遍性を探るためには、様々な性質の SNR やその複合体での追検証が必要である。

30 Doradus C は、大マゼラン雲 (LMC) の SNR 複合体で、シンクロトロン X 線や TeV ガンマ線で非常に明るい。またシェル部分では、10 pc 四方領域ごとの詳細な X 線スペクトル解析も行われている (馬場崎ほか 2017)。これまでに我々は、ASTE による $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線観測により、23 個の分子雲クランプを同定した。このうち 3 個は X 線と CO の分布が pc スケールで空間的に一致する。また 16 個は数 pc から 10 pc スケールの反相関がある。残りの 4 個は空間的一致と反相関関係の 2 つの特徴を持つ (天文学会 2016 年秋季年会 山根ほか)。

今回我々は、RX J1713.7-3946 が LMC の距離にある時どのように観測されるかを調べ、30 Doradus C における X 線と CO との関係の意味を考察した。また、CO とシンクロトロン X 線の光子指数分布 (Γ) を比較した結果、CO の強度が高い場所では、光子指数の値が小さくなっていることを見出した ($\Gamma \sim 2.5$)。この傾向は RX J1713.7-3946 と共通する。以上の結果を踏まえ、本講演では 30 Doradus C における衝撃波-星間ガス相互作用について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15a 4個の若いシェル状 TeV ガンマ線超新星残骸における宇宙線陽子の定量

福井康雄, 佐野栄俊, 福田達也, 吉池智史 (名古屋大学)

銀河系内の宇宙線陽子は超新星残骸において加速されている可能性が高い。これを検証するために福井らは、最も代表的なシェル状 TeV ガンマ線超新星残骸 RX J1713.7–3946 において標的となる星間陽子の空間分布を精密に定量し、ガンマ線と好く対応することを示した (福井他 2012)。特に、水素「原子」の役割の重要性を見出し、宇宙線陽子加速の必要条件を観測的に提示したことに福井他 (2012) の新規性がある。この手法は、これまでに4個の若い超新星残骸 (他に RX J0852.0–4622, HESS J1731–347, RCW 86) に適用され、以下の知見が得られた。

- 1) ガンマ線は星間陽子と空間的に良く対応し、ガンマ線の起源は主に宇宙線陽子にある。星間陽子の密度が下がると、電子起源ガンマ線も副次的に寄与する。
- 2) 標的陽子としては、水素原子と水素分子がほぼ同程度に寄与する。
- 3) 宇宙線陽子の総エネルギーはおおむね 10^{48} – 10^{49} エルグである。ただし、星間水素の空間分布は非一様であるため、ガンマ線に寄与する宇宙線陽子は1個のSNRについて全体の1/10程度と推定される。シェル外に脱出する宇宙線も考慮すると 10^{49} – 10^{50} エルグが宇宙線の全エネルギーの下限を与える。
- 4) 水素の精密定量は宇宙線陽子定量の鍵であり、サブミリ波におけるダストの光学的厚さを利用した手法 (福井他 2014, 2015) が精度が高く、星間陽子定量の誤差は10%程度におさえられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a GeVガンマ線超新星残骸 HB 21 の X 線観測による過電離プラズマの発見

鈴木寛大、馬場彩、中澤知洋（東京大）、澤田真理（青学大）、小山勝二（京都大）

銀河系内宇宙線は、超新星残骸 (Supernova Remnant: SNR) の衝撃波面などで加速されていると考えられているが、その加速と伝搬の過程は十分には解明されていない。衝撃波が加熱したプラズマが発する熱的 X 線放射から、加速環境の温度や密度、電離状態などを調べるのが重要である。興味深いことに、近年、陽子加速の証拠である GeV ガンマ線放射を示す SNR のほとんどから電子温度よりも電離温度が高い過電離プラズマが発見されており (e.g. Yamaguchi et al. 2009)、これらは分子雲との衝突などの共通の物理から起こっている可能性がある。

この関連を探るため我々は SNR HB 21 に着目した。この SNR は分子雲と相互作用し、GeV ガンマ線強度は既知の GeV ガンマ線 SNR と比較して 1 桁程度低い (Pivato et al. 2013)。そのため HB 21 は、既知の明るい GeV ガンマ線 SNR と GeV で光らない SNR の中間に位置すると言え、GeV ガンマ線放射とプラズマの過電離の関連性を調べ、陽子加速の理解を進めるのに最適な天体である。

我々は「すざく」衛星で HB 21 南部を 132 ksec 観測した。スペクトルは Si, S の輝線が強く、電離平衡プラズマより電離温度を高く要求することから、我々はプラズマの一部が過電離状態にあることを示した (鈴木他、2016 年秋季年会)。今回、我々は詳細な解析から、 0.78 ± 0.02 keV の電離平衡プラズマに加えて 0.17 ± 0.01 keV の過電離プラズマが必要であることを示した。過電離成分の初期温度は電離平衡成分の電子温度と同じとして矛盾がなく、電離平衡プラズマの一部が分子雲との相互作用により急冷却されて過電離したと解釈ができる。このことから、GeV ガンマ線放射とプラズマの過電離が分子雲と衝撃波の相互作用という共通の物理から起こるという仮説を支持する結果を得たと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17a 超新星残骸 W44 超高速成分の磁気流体シミュレーション

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

超新星残骸 W44 は II 型超新星爆発の残骸であり、約 $3 \times 10^5 M_{\odot}$ の巨大分子雲と相互作用している。我々はこれまで、同天体のミリ波サブミリ波帯分子スペクトル線観測によって、W44 分子雲中で空間的に拡散した微弱な高速度 wing 成分に加えて、一カ所に局在した超高速成分 (bullet) を発見した。この bullet は $0.5 \text{ pc} \times 0.8 \text{ pc}$ 程度の空間サイズを持ち、視線速度は W44 分子雲から負方向に 100 km s^{-1} もの速度幅を持つ。また、最近の ASTE 10m 望遠鏡及び野辺山 45m 望遠鏡を使用した詳細観測によって、bullet は $\sim 10^{48} \text{ erg}$ という莫大な運動エネルギーを持つことがわかった。これは W44 衝撃波が等方的に膨張した場合に bullet の立体角へ配分されるエネルギーよりも二桁近く大きい。

我々は空間・速度構造・エネルギーに基づき、W44 衝撃波による圧縮分子層にブラックホールが高速で突入するという bullet 形成過程を提案している (山田他、2016 秋季年会 Q36a)。しかしながら、質量 $\sim 10 M_{\odot}$ のブラックホールへの純粋な Bondi-Hoyle Lyttleton 降着過程のみでは $\sim 0.1 \text{ pc}$ 程度の空間スケールを持った構造を作ることは難しい。このことを踏まえ、本研究では超新星残骸による圧縮分子層中の磁場を考慮し、コンパクト天体突入モデルの磁気流体シミュレーションを行った。その結果、数 $100 \mu\text{G}$ の磁場を持つガス層中をコンパクト天体が $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ で突き抜けた場合に、bullet と非常によく似た空間・速度構造が現れることがわかった。本講演では、この結果に加えて、密度・質量・エネルギーについて観測との比較を行い、bullet の起源としてブラックホール突入モデルの妥当性について検討する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18a Cassiopeia A 周辺星間ガスの観測的研究

稲葉哲大, 佐野栄俊, 山根悠望子, 吉池智史, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) は knee energy までの宇宙線の加速源の有力候補として考えられている。宇宙線加速の結果として、電子のシンクロトロン X 線放射や陽子起源 γ 線放射が期待されるが、これらの高エネルギー放射は星間ガスと SNR の相互作用と密接に関わっていることが近年の研究で明らかになってきた (e.g., Fukui et al. 2012; Sano et al. 2013, 2015)。しかしながら、これらは年齢 2000–10000 年程度の SNR に限定されており、特に年齢 ~ 100 年程度の SNR においては未だに詳細な解析が進んでいなかった。

Cassiopeia A は年齢 ~ 340 年程度の若い SNR であり、X 線や γ 線で明るい特徴を持つ。我々は、野辺山 45 m 望遠鏡による高分解能 $^{12}\text{CO}(1-0)$ データを用いて、X 線との空間分布の比較や $^{12}\text{CO} 2-1/1-0$ 比によって相互作用の可能性のある分子雲を特定した (天文学会 2016 年秋季年会 稲葉ほか)。

しかし、それらの分子雲は SNR シェル付近だけでなく、シェルの外側でも広範囲にわたって高励起状態にあることを発見した。これは SNR との相互作用だけでは説明できず、熱源となる赤外線点源も存在しない。したがって、別の励起機構の存在が示唆される。そこで、*Planck* 衛星のダスト温度分布や FCRAO 望遠鏡の $^{12}\text{CO}(1-0)$ データを用いて、SNR 周辺の星間ガスの状態をこれまでより 1 桁大きな空間スケールにわたって解析した。さらに、新たに $^{13}\text{CO}(2-1)$ 輝線を用いた LVG 解析により SNR シェル周辺の分子雲の物理的状态についても詳細な解析を行った。

本講演では以上の結果を踏まえ、SNR Cassiopeia A 周辺の星間ガスの性質について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q19a 分子雲衝突による Spitzer Bubble の形成; S44, S121, S143

服部有祐, 大濱晶生, 長谷川敬亮, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史 (NAO)

近年、我々は大質量星形成領域として Spitzer Bubble に注目している。Spitzer Bubble は赤外線 $8 \mu m$ でリング状の構造を持つ天体で、Churchwell et al. (2006, 2007) によって約 600 天体がリストされている。このリング状構造の起源が Spitzer Bubble が内包する大質量星からの星風によって形成されていると考えられてきたが (e.g., Weaver et al.1977)、我々名古屋チームはこの天体が分子雲衝突によって形成された天体であると考えこれまで NANTEN2 望遠鏡, Mopra 望遠鏡 ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線), ASTE 望遠鏡 ($^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線) を用いて 90 天体近くの Spitzer Bubble を観測してきた (2014 年秋季年会、他多数報告)。

分子雲衝突の候補天体に共通する特徴として大きく 3 つが挙げられる; 1) 視線速度の異なる 2 つの分子雲の存在、2) 2 つの分子雲が相補的な分布をしている、3) 星風による膨張運動では説明できない速度構造を持つ。今回新たに S44, S121, S143 の 3 天体において分子雲衝突によって形成されたと考えられる観測結果が得られ、いずれの天体も先述の特徴を満たしていることが分かった。本講演では今回新たに得られた 3 天体の結果とこれまでに得られた結果を比較し、分子雲衝突の進化段階や Spitzer Bubble の構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q20a ATCAの電波観測に基づくW50/SS433の偏波解析

酒見はる香, 町田真美 (九州大学), 中西裕之, 赤堀卓也, 藏原昂平 (鹿児島大学), 赤松弘規 (SRON),
Jamie Farnes (Radboud University)

W50は銀河系内の巨大な電波星雲である。その起源や形態についてはこれまでに活発に研究が行われており、解明されたことも多い。しかし、W50の起源が超新星爆発なのか (Downes et al. 1986) 星風なのか (Konigl 1983) など、議論が収束していない問題もある。W50の中心にはマイクロクエーサーSS433が存在し、速度約0.26cのジェットを噴出している。このジェットがW50の形態に影響を与えているということはこれまでも考えられてきた。そこで我々は、SS433のジェットとW50がどのような相互作用をしているのかということをも磁場構造の解析から理解しようと考えた。そのために高感度・広帯域・高分解能を持つ電波望遠鏡ATCAで観測した周波数1.4–3.0 GHzのデータを用いて、W50東側先端付近の偏波解析を行った。

W50東側先端付近において南北に渡って全強度の高い領域をジェットのターミナルショックであると考えて、Faraday rotation measure (RM)の分布を調べた。結果、北側では22–61 rad/m²、南側では326–327 rad/m²と、南北でRMが大きく異なることを確認した。このことから、一つの連続した構造だと考えていた領域が、二つの別の構造である可能性を示した。また、同領域のX線観測に見られるリング状構造 (Brinkmann et al. 2007)に沿ってRMの分布を調べた。結果、RMの変動は、リングに沿った円環状磁場と、リングの動径方向の磁場の重ね合わせで再現できることを示した。更にリング上の偏波角から磁場の向きを調べたところ、東側の磁場はリングに沿い、西側では磁場がリングに直交している点を初めて明らかにした。

本講演では、これまでに得られた結果とともに、その解釈、課題点を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21a フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡によるカメレオン座分子雲領域の星間物質の探査

林克洋, 岡本竜治, 山本宏昭, 福井康雄 (名大理), 水野恒史 (広大理), 日高直哉, 田島宏康, 奥村暁 (名大ISEE)

宇宙線と星間物質の核子相互作用によって生じる GeV ガンマ線は、星間物質の熱的・化学的状态に依存しない星間ガスのよいトレーサーである。フェルミ衛星搭載の LAT 検出器は、その高い感度によって銀河系内の多くの拡散ガンマ線を捉え、太陽系近傍領域から銀河系スケールに渡って、星間物質や宇宙線の分布を明らかにしてきた。カメレオン座分子雲領域は、太陽系から ~150 パーセクの距離に位置し、 $10^4 M_{\odot}$ スケールの分子ガスをもつ比較的星形成活動の穏やかな分子雲領域として知られる。これまでも GeV ガンマ線による精力的な研究が行われてきた (e.g., Ackermann+12, ApJ 755, 22; Planck Collaboration XXVIII, 2015)。それらの研究では、星間ガスを原子・分子成分および HI や CO でもトレースできないガスの 3 つに分類し、HI や W_{CO} の輝線強度、およびダストの光学的厚さなどの指標との間に線形性を仮定して、宇宙線スペクトルやガスの質量などについて議論している。一方で最近のガスの柱密度とダストの光学的厚さの相関研究から、ガスの濃い領域において、それらが単純な比例関係から逸脱することが示されている (e.g., Roy+13)。本研究では、プランク衛星の観測によって得られたダストの光学的厚さ (τ_{353}) をベースとするトータルガスの柱密度 (N_{H}) モデル (e.g., Fukui+14,15) について、 τ_{353} と線形および非線形な関係をもつ N_{H} マップをガンマ線データと比較することで、最適なガスのモデルの探索を行った。その結果、 τ_{353} に対して N_{H} が冪 ~ 1.3 乗に比例するモデルが最もガンマ線データをよく再現することを見出した。この非線形性は、ガスの濃い領域でのダストの進化が反映された結果だと考えらえる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22b 星形成領域 Ophiuchus, Lupus I, Orion B, Serpens, S106 における近赤外赤化則

渡邊千夏, 大朝由美子, 小田達則, 北島隆太郎, 星久樹, 前原雄太, 榎本藍子 (埼玉大学)

分子雲などのガスとダスト密度の高い領域は、可視光において減光が大きく、見通すことが困難である。一方で、近赤外線はダストによる減光を受けにくく、このような領域の減光研究に適している (e.g. Naoi et al. 2006)。近赤外波長における減光波長依存性は、 $E(J-H)/E(H-K) \sim 1.7$ (Rieke & Lebofsky 1985) の赤化則が多く使われているが、場所によって異なることが示唆されており、銀河中心方向では $E(J-H)/E(H-K) \sim 2$ と大きいことが報告されている (Fritz et al. 2011)。一方、分子雲におけるガス/ダスト比は場所によって異なるが、それと赤化則の関係について完全には理解されていない。そこで、近赤外測光観測から統一的手法で赤化則を求め、様々な環境をもつ分子雲で比較することで、その関係性を探りたい。

本研究では、大～低質量星の様々な星形成領域を対象とした UKIRT/WFCAM による広視野かつ深い近赤外測光観測プロジェクトのデータを使用した。同じ望遠鏡・観測装置で得られた観測データを用いて赤化則を求めることで、測光システムに依存せずに比較が可能となる。領域としては、これまで我々が進めてきた、(1)L1689 と L1709 (Ophiuchus) 領域 ($l \sim 353^\circ, b \sim 16^\circ$)、(2)Lupus I ($l \sim 339^\circ, b \sim 16^\circ$)、(3)Orion B ($l \sim 205^\circ, b \sim 15^\circ$)、(4)Serpens ($l \sim 30^\circ, b \sim 5^\circ$)、(5)S106 ($l \sim 76^\circ, b \sim -0.6^\circ$) の計 3.2 平方度を対象とした。各領域の K バンド等級及び減光量毎に色超過図や JHK 二色図、及びカーネル法を用いたコントラストを作成し、それぞれの赤化則を求めた。これより、等級が暗くなるほど赤化則がゆるやかになる傾向や、領域による赤化則の差異が見られた。

本講演では、領域ごとに求めた赤化則を CO やサブミリ波、遠赤外線観測のデータと比較し、分子雲に付随するガス・ダストと赤化則の関係を求めるとともに、分子雲におけるそこでの星形成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](#)

Q23b 近赤外線狭帯域フィルター観測による銀河面リッジ X 線放射構成種族の探査

森鼻久美子 (兵庫県立大学)、辻本匡弘 (JAXA/ISAS)、永山貴宏 (鹿児島大学)、海老沢研 (JAXA/ISAS)

天の川銀河を X 線でみると、明るい点源の背景に、銀河面に沿って放射される見かけ上広がった X 線放射がある。この放射は尾根状に分布し、「銀河面リッジ X 線放射 (以下、リッジ放射)」と呼ばれる。その起源は長年謎であったが、近年、高空間分解能を持つチャンドラ X 線衛星により暗い X 線点源の重ね合わせである可能性が高まった。我々はこれまで、暗い X 線点源の種族を X 線と近赤外線により探ってきた。その結果、リッジ放射を構成する種族には、これまで予測されていた強磁場激変星、フレア星に加えて、X 線でハード、近赤外線で低温星のスペクトルを持つ新たな種族が存在し、激変星とともにリッジ放射のハード成分に寄与する可能性を示唆した (Morihana et al., 2016)。激変星、新種族はともに X 線でハードなスペクトルを示し、その違いは近赤外線スペクトル中に表れる。激変星が $\text{Pa}\beta$ ($1.28 \mu\text{m}$) と $\text{Br}\gamma$ ($2.16 \mu\text{m}$) の輝線を示すのに対し、新種族はそれらを示さない。しかし、分光観測をリッジ放射領域全体で行うことは現実的でない。そこで、 $\text{Pa}\beta$ と $\text{Br}\gamma$ にのみ透過幅を持つ狭帯域フィルターを用いて、リッジ放射構成天体の分類を試みた。我々は、南アフリカ天文台 IRSF 望遠鏡 SIRIUS の $\text{Pa}\beta$ ・ $\text{Br}\gamma$ 狭帯域フィルターを用いて、2015、2016 年に一部のリッジ放射領域の狭帯域フィルター観測を行った。狭帯域フィルター観測では視野内の天体の輝線成分の有無を一度に判別可能だが、天体スペクトルが傾きを持つため、輝線波長での連続光成分を正しく見積もる必要がある。我々は、輝線波長の両側で連続光成分を取得することで、連続光成分を見積もった。その結果、狭帯域フィルターデータで $S/N > 30$ が得られた $K_s < 11 \text{ mag}$ の天体に対して、輝線成分の検出の可能性が見られ、本手法によるリッジ放射構成種族の種族分類の有効性が見えてきた。本ポスター講演では、これまでに観測を行った領域の解析結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q24b 2ダスト・1ガス三流体方程式を用いた大質量星からの輻射フィードバック

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

前学会において, Inoue (2002) において観測的に予想されていたように, 大質量星からの輻射圧によって HII 領域内にダストのない領域が形成される事を, ダスト・ガス二流体方程式の数値シミュレーションを用いて報告した. (2016年秋年会 X10b 参照)

本研究では, 前回の研究を発展させ, 大小2サイズのダストとガスの三流体方程式を計算する手法を開発した. そして, この新たな手法を用いて大質量星からの輻射によって HII 領域内のダストサイズ分布がどのように変化するかを追った. この時, ダスト抗力としては, ダストとガスの衝突による抗力とダストチャージによる抗力の影響を考慮している. また, ダストチャージについては, 大小それぞれのダストについてダストチャージを解いている. シミュレーションの初期条件としては, 中心に光源を置き, 球対称にガスとダストを分布させた. ガスの成分としては H, He とした. ダストについては, $0.1 \mu\text{m}$ と $0.01 \mu\text{m}$ のグラファイトを用いた. 光源は O 星を模した黒体放射をする星を中心に置いた.

数値シミュレーションの結果, 大きいダストは小さいダストと比較してガスからの抗力が弱いために, 選択的に HII 領域の中心部から輻射圧によって追い出されることを示した.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25a 大マゼラン雲における水素原子ガス衝突による R136 形成

柘植紀節、佐野栄俊、山本宏昭、立原研悟、井上剛志、福井康雄（名古屋大学）、戸次賢治（ICRAR/西オーストラリア大学）、千葉証司（東北大学）

大質量星団の形成メカニズムを解明することは銀河進化をはじめ、宇宙の構造形成を解明する上で重要である。近年の研究により、星間雲同士の衝突による大質量星形成機構が注目されている (Fukui et al.2014;2015;2016)。

R136 は大マゼラン雲に含まれる大規模星団であり、 $10^5 M_{\odot}$ もの質量を持つ。非常に明るい HII 領域の中心には $200 M_{\odot}$ を超える大質量星が存在する (Crowther et al. 2010)。これらの特徴から R136 の形成過程を明らかにすることは、球状星団の形成過程の理解にも繋がる重要な課題と考えられる。これまで我々は、ATCA & Parkes (Kim et al. 2005) による HI データを解析し、R136 に付随する 2 つの異なる速度を持つ原子ガスと、両者をつなぐ中間速度成分の存在を明らかにした。これらの解釈として、大小マゼラン雲の潮汐相互作用による水素原子ガス同士の衝突という描像を提案し、R136 形成との関連性を指摘した (天文学会 2016 年秋季年会柘植ほか)。

今回我々は、新たに *Planck* 衛星による 353 GHz での光学的厚み (τ_{353}) と HI 強度の比較を行った。結果として、原子ガス同士が衝突している領域では、それ以外の領域よりも、HI 強度に対する τ_{353} の値が約 2 分の 1 となっていることが分かった。これは、衝突領域では、ガスに対するダスト量が減少していることを示唆する。さらに衝突領域に注目すると、R136 のある北部では HI 吸収線が見えており、さらに南部よりも星間減光量が多いことが分かった。北部では R136 形成に寄与したガスが、衝突後にディスク成分を突き抜け手前側にあると解釈できる。本講演ではこれらの結果から、大小マゼラン雲の潮汐相互作用と星形成、星間物質の性質が、統一的に理解できることを論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a 双子スターバースト領域 NGC6334 と NGC6357 による分子雲と星形成の観測的研究

横山景子、佐野栄俊、立原研悟、服部有祐、福井康雄（名古屋大学）、鳥居和史、水野範和（国立天文台）

NGC6334 と NGC6357 は多数のクラumpや星団を含む若いスターバースト領域であり、強い減光を受けている。この領域は名古屋大学の NANTEN2 望遠鏡の CO(J=1-0) の解析から、分子雲衝突による大質量星形成が示唆されている（2014 年天文学会秋季年間での鳥居他講演）。今回、分子雲衝突を検証するために、さらに NANTEN2 の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 、ASTE 望遠鏡の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ と $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ 、および ATCA による SGPS(Southern Galactic Plane Survey) の H_I のデータを用いて解析を行った。その結果、NGC6334 において CO(J = 2-1)/(J=1-0) 輝線強度比が 2 つの成分をつなぐブリッジ部で高くなっていることを明らかにした。また、より高い空間分解能をもつ CO(J=3-2) 積分強度分布はクラumpに分解され、それらのうち 4 つには赤外線源が付随していることを分かった。さらに、分子雲の存在する領域で H_I は強い吸収を示し、低温で高密度な原子ガスが付随することを確認した。NGC6357 でも同様の特徴が見られ、銀河腕内の分子雲の相互作用により多数の分子雲衝突が 100pc オーダーで広範囲にわたり見られることが明らかになった。本講演では以上の解析結果の詳細について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27a 野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ : 1. DR21/W75N 領域における分子雲衝突による星形成トリガーの可能性

西村淳 (名古屋大), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大), 谷口琴美 (総研大), 竹腰達哉, 南谷哲宏 (NAOJ), 徳田一起 (大阪府大)

Cygnus-X は距離 ~ 1.4 kpc に位置する巨大分子雲であり、OB アソシエーションに囲まれた非常に活発な星形成領域として有名である。領域は、DR21 や W75N が含まれる North と、DR15 や IRAS 20290+4052 が含まれる South に分かれており、それぞれ $M_{\text{mol}} \sim 10^5 M_{\odot}$ 程度の質量を有している。North は South に比べてガス密度が高く、星形成がより活発であることが報告されている。一方で領域全体をカバーする CO の高分解能観測はこれまで存在せず、両分子雲の特徴の違いやその起源、星形成状況への理解は限定的であった。

我々は、NRO45/FOREST を用いて Cygnus-X に対する North/South 全域を含む無バイアスサーベイ観測を行った。観測は 2016 年 1 月より 5 月にかけて実施し、9 平方度をナイキストサンプリングでカバーした。輝線は $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CN}(1-0)$ を同時観測し、典型的な T_{rms} は 0.47 K (^{13}CO , HPBW=16", $dv=0.5$ km/s, T_{mb} scale) である。得られた CO データを用いて、DR21 周辺の分子ガスの速度構造を詳細に調査したところ、DR21 を構成する -2 km/s 成分に加えて、 8 km/s 付近にも分子ガス分布を同定した。DR21 から W75N にかけて広がる -2 km/s のフィラメント構造に沿って、 8 km/s 成分は型抜きされたように CO 強度が弱くなっている。さらに、DR21, W75N では分子雲衝突天体で特徴的に検出される 2 速度間をつなぐブリッジ成分も検出された。また、*Spitzer* による赤外減光と CO 分布との対応は、分子ガスの過去の衝突を示唆している。本講演では、DR21/W75N における分子雲衝突の可能性を進行中の星形成との関係を含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q28b 野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ : 2. C¹⁸O core properties

竹腰達哉 (NAOJ), 藤田真司 (筑波大), 西村淳 (名古屋大), 谷口琴美 (総研大), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 徳田一起 (大阪府大), 松尾光洋 (鹿児島大), 南谷哲宏 (NAOJ)

Cygnus-X 領域は、距離 1.4 kpc と大質量星形成領域としては近傍にあり、 $\sim 5 \times 10^6 M_{\odot}$ もの大量の分子ガスを持つ、系内最大級の巨大分子雲である。North/South の大規模な分子雲複合体に別れており、その間には 50 個以上の O 型星を含む、銀河系内最大級の OB アソシエーション Cygnus OB2 が位置している。そのため、銀河系内では珍しい極めて大規模な散開星団形成の現場として、星団形成過程の理解や星間物質へのフィードバックを理解するうえで、最適な天体であり、高分解能の分子ガス観測によって、それぞれの領域における物理状態を明らかにすることは、分子雲進化や大質量星形成過程を理解するうえで重要である。

我々は、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST による ¹²CO/¹³CO/C¹⁸O/CN 輝線のサーベイ観測を、Cygnus-X の主要な星形成領域を含む、約 9 平方度に対して実施した。C¹⁸O コアは水素分子密度が 10^4 cm^{-3} 程度の高密度の分子雲コアをトレースしており、その統計的性質を明らかにすることは、初期質量関数など分子雲から星形成へ至る過程を明らかにする上で重要である。そこで、C¹⁸O データに対して Dendrogram を用いたところ、観測領域から 130 個もの C¹⁸O コアを同定した。これらのコアは典型的に、ピリアル質量が 10–100 M_{\odot} 、半径が $< 0.5 \text{ pc}$ 以下であり、太陽系近傍の小質量星形成領域で発見されている C¹⁸O コアの物理的特徴と矛盾しない。また、North と South 領域間においては、コアの物理量の違いは見られず、高密度コアの物理的性質が、広がったガスの状態に支配されていないことを示唆する。本講演では、大質量星形成領域における C¹⁸O コアの星形成活動性の違いによる物理量の違い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](#)

Q29b 野辺山 45 m Cygnus-X CO サーベイ: 3. CN データから探る分子の光解離反応

山岸光義 (ISAS/JAXA), 西村淳 (名古屋大), 竹腰達哉, 南谷哲宏 (NAOJ), 徳田一起 (大阪府大), 谷口琴美 (総研大), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大)

大質量星にともなう UV は、周囲の星間環境を大きく変化させる。星間分子を中心に考えると、光解離を通じた分子の破壊や、逆にダスト表面での分子の生成を活発化させるなど、大きな影響が考えられる。したがって、星間物質、星間化学の観点では、星間分子と UV の関係を理解しておくことは重要である。しかし、電波観測から星間分子と UV の相互作用を調べた研究は、Orion でわずかにあるのみで、あまり十分に行われていない。

我々は、野辺山 45m Cygnus-X CO サーベイの中で、 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O に加えて、CN の広域マップを取得した (サーベイの詳細は、先の西村らによる講演を参照)。CN は、主に HCN の光解離によって生成されと考えられているため、UV のプローブとなりうる。また Cygnus-X は、活発な大質量星形成活動を示す領域であるため、星間分子と UV の相互作用を調べるのに非常に適した領域である。サーベイの結果、Cygnus North, South の 20 あまりの領域から、CN 輝線 (hyper-fine を含む) を検出することに成功した。CN 検出領域を赤外線のマッピングと比較したところ、CN は DR21 や W75N などの大規模星形成領域に加えて、多くが UV の影響を受けて生成されたと考えられる構造に付随していることが分かった。各領域での CN/ C^{18}O 積分強度比を調べたところ、領域ごとに大きなばらつきが見られた。特に Cygnus OB2 からの影響を受けていると考えられる DR18 では、CN/ C^{18}O ~2.8 と DR21 における積分強度比 (~1.3) と比較しても有意に高かった。これらの結果は、UV の卓越した領域で光解離によって CN が生成されていることをサポートしており、CN の UV プローブとしての有用性を示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30b 野辺山 45m 望遠鏡を用いた銀河系における最遠方分子雲の検出

松尾光洋, 中西裕之 (鹿児島大学), 南谷哲宏, 鳥居和史, 齋藤正雄, 澤田剛士, 安井千香子, 廣田晶彦 (NAOJ), 久野成夫 (筑波大学), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 小林尚人, 三戸洋之 (東京大学), 長谷川隆 (ぐんま天文会)

銀河の外縁部は、内縁部に比べ金属量やガス密度が低いいため、銀河形成時の環境に近いと考えられている。そのような環境での星形成は未だ十分に理解されておらず、またその母体となる分子雲の観測的研究も少ないのが現状である。一方、近年では多くの系外銀河に可視光ディスクより広がった extended ultraviolet (XUV) disk があることがわかってきた。この起源としては OB 型星による UV 放射が考えられており、 $H\alpha$ 放射もあることからガスの存在と星形成が示唆されている。しかしながら、分子雲の存在が示唆されながらも系外銀河においては分解能、感度の観点から検出が難しい。銀河系外縁部においても、これまで星ディスクの半径は銀河中心距離 $R = 14$ kpc と考えられてきたが、OB 型星が $R = 30$ kpc まで広がっていることが示唆されていること、 $H\text{ I}$ の面密度も $< 1 M_{\odot} \text{ pc}^{-2}$ となっており、XUV disk をもつ可能性がある。

そこで我々は、OB 型星が $R = 30$ kpc まで広がっていると示唆されている領域に対して CO 観測を行った Nobeyama Outer Galaxy Survey のデータを用いて分子雲を探したところ、運動学的距離で $R = 29$ kpc の位置に存在する分子雲を検出した。この分子雲はこれまで検出されているどの分子雲よりも遠方にあると考えられ、XUV disk と近い環境でも分子雲が存在することが確認された。この分子雲の半径と線幅は分解能と同程度の 1.7 pc と 1.5 km s^{-1} であり、一般的な CO-to- H_2 変換係数を用いて導出した質量は $90 M_{\odot}$ であった。本講演では、この分子雲が OB 型星を形成する可能性があるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q31a FUGIN: W51 領域における CO multi-line 解析 (2)

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

W51 は銀河系で最も活発な大質量星形成領域の一つである。領域全体に分布する HII region や、視線上で複雑に重なり合う様々な速度の分子雲などが特徴的である。また、W51 の西側 (W51B) の分子雲が超新星残骸 (W51C) と相互作用していることなどが先行研究で示唆されている。我々は、NRO レガシープロジェクト FOREST Ultra-wide Galactic plane survey In Nobeyama (FUGIN; 風神) の一部としてこの領域に対し、高空間分解能 ($\sim 18''$) の ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=1-0$) 3 輝線同時観測を行った。2016 年春季年会にて W51 全体の分子雲ごとの性質の違いを発表したが、さらに今回我々は現在も星形成が活発な W51 の東側 (W51A) の最も複雑な分子雲の内部構造を詳細に調べた。ここは分子雲 ($> 10^5 M_{\odot}$, > 10 pc) 同士の衝突が示唆されており、特にその中心部 (< 10 pc) は 17 個もの O 型星が 0.8 Myr という短い期間内に形成されていることから starburst と言われている分子雲である。我々の調査で、衝突の中間の速度で $\text{C}^{18}\text{O}/^{13}\text{CO}$ ($J=1-0$) 比が高い (> 0.2) ことや、衝突現場の付近では ^{13}CO ($J=3-2$)/ ($J=1-0$) 比が非常に高くなっている (> 1.3) ことがわかった。これらはそれぞれ高密度と高温であることを意味しており、この領域では分子雲同士の衝突によって衝突面が急激に圧縮され、誘発的に形成された大質量星の輻射が周囲を加熱していると考えられる。また、この結果とは別に、W51C を中心とした膨張するシェル状の構造 (半径 ~ 30 pc) を持つ分子雲が W51A の複雑な領域内に存在することがわかった。これは、W51B だけではなく W51A の分子雲も超新星残骸と深く関連している可能性を示唆する新たな結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a FUGIN: シェル状の速度構造をもつ分子ガス

津田裕也, 小野寺幸子 (明星大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (NAOJ), 西村淳, 河野樹人 (名古屋大学), 松尾光洋 (鹿児島大学), 藤田真司, 久野成夫 (筑波大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 他 FUGIN チーム

シェル状の構造は, 分子雲や星の形成過程において分子ガスがみせる形のひとつである. 我々はNRO レガシープロジェクト FOREST Ultra wide Galactic plane survey In Nobeyama (FUGIN) によって得られた詳細な分子ガス分布から, シェル状の構造をもつ分子ガスの統計的な研究を行っている. FUGIN はその観測領域を無バイアスにサーベイしているため, シェルのような特徴的な分子ガスを新たに見つけるのに有用であり, 2015 年春季年会においては, 2014 年までの観測データを用いた FUGIN (旧 NRO 銀河面サーベイプロジェクト) の成果として, シェルのサイズ分布や他波長との比較を行った. これらのシェルは視直径で $5 \sim 35''$ であり, また赤外線観測データとの比較で Spitzer bubbles とよく一致するものなども見つかった. 今回はこれらとは別に銀経銀緯座標の分子ガスマップからではなく, Position-Velocity 図から見つかった速度幅の大きなシェル状の構造について報告する. P-V 図上でシェル状の構造をもつこの分子ガスは, 速度幅 40 km/s で 5 pc 程度の広がりを持ち, P-V 空間上で膨張運動を示唆する円弧状の構造をしている. また $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ から見積もられる質量は $1.6 \times 10^4 M_{\odot}$ で, 膨張だとするとそのエネルギーは $6.5 \times 10^{48} \text{ erg}$ である. しかし見つけた領域に重なるような超新星残骸や HII region を伴う活発な星形成領域は同定されておらず, 他波長の観測 (GLIMPSE IR, VLA GPS 20cm) においても特徴的な構造は見られない. この点に注目して, エネルギー源の検討, また膨張ではなく分子雲衝突による形成についても議論したい.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a FUGIN: 銀河系外縁部 (3)

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

銀河系外縁部は、銀河系内縁部と比較すると金属量やガス密度が低いため、銀河形成時の環境と似ていると考えられている。そのような環境での星形成を知ることは銀河形成の手がかりとなるため重要であり、星の母体となる分子雲の研究が重要となる。特に $R \sim 13.5$ kpc でガス密度が減少に転じており、Far Outer Galaxy と呼ばれ、一つの指標となっている。そのような距離より遠方の分子雲を検出できる分子ガスサーベイは少なく、特に銀河系第三象限での高分解能かつ広範囲の銀河面分子ガスサーベイはない。

そこで我々は、野辺山 45m 電波望遠鏡と FOur-beam REceiver System on the 45-m Telescope (FOREST) を用いた NRO レガシープロジェクトである FOREST Ultra-wide Galactic plane survey In Nobeyama (FUGIN) の一環として ^{12}CO ($J = 1-0$), ^{13}CO ($J = 1-0$), C^{18}O ($J = 1-0$) の 3 輝線同時観測で銀河系外縁部である銀河系第三象限の銀河面サーベイを行っている。昨シーズンでは 2015 年 12 月 25 日から 2016 年 4 月 24 日の間に計 98 時間の観測を行い、31 平方度の領域を観測した。これまでの観測を含めると合計 48 平方度の領域となり、広範囲の銀経を観測することができた。dendrogram を用いて分子雲同定を行ったところ、 $R \sim 13.5$ kpc を境に分子雲の数、半径、線幅、質量が大きく変化することがわかった。本講演では昨シーズンの観測報告とともに、銀河系第二象限に対する FCRAO のデータと比較しながら $R \sim 13.5$ kpc での変化を星ディスクや warp 構造といった観点から議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q34b FUGIN : 大質量星形成領域 W33 の CO 輝線観測 III

河野樹人, 立原研悟, 大濱晶生, 西村淳, 福井康雄 (名古屋大), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台野辺山), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大), 山岸光義 (ISAS), FUGIN チーム

太陽の8倍以上の質量を持つ星は大質量星と呼ばれ、超新星爆発や紫外線を放射し、周囲の星間物質や銀河進化に大きな影響を与える。しかし、大質量星の形成メカニズムは未だ明らかになっていない。近年、NANTEN2による分子雲の広域観測の結果から、巨大星団や赤外線バブルにおいて、分子雲同士の衝突による大質量星形成が提案されている。大質量星は進化が速く、母体分子雲を散逸するため形成初期段階を解明することは非常に重要であると考えられる。そこで我々は、若い大質量星形成領域 W33 に着目し、NRO レガシープロジェクト FUGIN の一環として、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O (1-0) 輝線観測を行った。2016 年秋季年会において、輝線強度比、Spitzer 赤外線画像との空間分布の比較から 35 km s^{-1} , 58 km s^{-1} の2つの速度成分が W33 に付随している可能性が高いことを示した。今回、我々は新たに進化段階の異なる星形成領域である W33Main, W33A, W33B, W33B1 の4つのクランプに着目し、 ^{12}CO (1-0) から励起温度を求め ^{13}CO (1-0)、 C^{18}O (1-0) データから、クランプの柱密度 ($N(\text{H}_2)$)、質量 (M_{clump})、水素分子個数密度 $n(\text{H}_2)$ を見積もった。また、W33 Main, W33A においてアウトフローを検出し、ウイングの速度成分から質量、運動量、運動エネルギーを見積もった。解析の結果、柱密度、質量、水素分子個数密度はおよそ $N(\text{H}_2) = 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $M_{\text{clump}} = 10^3 - 10^4 M_{\odot}$, $n(\text{H}_2) = 10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$ であることがわかった。また、4つのクランプのうち最も進化の進んだコンパクト HII 領域 W33 Main が $T_{\text{ex}} = 30 \text{ K}$, $n(\text{H}_2) = 10^5 \text{ cm}^{-3}$ であり、最も高密度であることがわかった。本講演では、W33 領域の個々のクランプの物理量と W33 領域全体での星形成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](#)

Q35b 銀河系ディスクへの低温ガス降着に伴う宇宙線加速と非熱的放射

井上進(理研), 内山泰伸(立教大), Matthieu Renaud(LPTA/Montpellier), 和田桂一(鹿児島大)

我々の銀河系では、ハローもしくは銀河系外からディスクに向かって、比較的低温・低金属量のガスが継続的に降着し続けていることが、理論的にも観測的にも示唆されており、銀河系および星間物質の形成・進化を理解する上で重要であると考えられている。このガス降着過程を直接反映している現象の一つとして、High Velocity Cloud (HVC) と呼ばれ、銀河面から離れた領域を 100 km/s 以上の速度で運動している HI ガス雲が多数存在することが知られている。これら HVC は、銀河面と衝突することで、観測されている HI フィラメントやシェル構造の一部を説明できる可能性も指摘されている。

我々は、HVC と銀河面の衝突で起きる衝撃波において、予想される宇宙線加速と非熱的放射の考察を行った。特に、低金属量の HVC 内部に生じる逆行衝撃波、もしくは銀河系外縁部での衝突における前方衝撃波では、その寿命の間に衝撃波の熱的冷却が効かず、宇宙線陽子が ~ 100 TeV まで加速されうる。観測される銀河宇宙線への寄与は、多くても一割程度であると推定される一方、空間的に広がった GeV-TeV 帯域の高エネルギーガンマ線放射が予想される。このような放射は、HESS による銀河面サーベイで発見された未同定 TeV 源や、Fermi 衛星による全天サーベイで見つかった未同定 GeV 源の一部として、すでに観測されている可能性がある。特に、角直径が 1 度以下の“compact HVC”に起因するものは、一部の未同定 TeV 源に見られる“forbidden velocity wing”と呼ばれる HI 構造との相関も解釈できる。今後の多波長観測への予言として、二次電子起源の弱い電波・X線放射、星形成領域との無相関、銀河系外縁部での存在、などがあげられる。将来的には、このような非熱的放射が、銀河系と星間物質の形成・進化に対して貴重な新情報をもたらすと期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36b 無衝突磁気リコネクションにおける電子軌道解析

銭谷誠司 (国立天文台), 長井嗣信 (東京工業大学)

宇宙空間でおきる磁気爆発現象 (磁気リコネクション) の振る舞いは、プラズマ粒子の複雑な運動によって支配されている。その中でも電子の運動は、プラズマ系の物理を考えるうえの最小構成要素である。リコネクション系の電子運動は、主にプラズマ粒子シミュレーションによって研究されてきたが、最近のシミュレーションが巨大になりすぎたせいもあって個々の電子軌道を見ることは少なくなっていた。また、基本的な軌道のタイプも1980年代に出揃ったと考えられていた。

今回、我々は、リコネクション系の電子運動を検証するために、プラズマ粒子シミュレーションで得た2000万個の仮想電子の軌道を徹底サーベイした。その結果、静電場に跳ね返されて中央平面を横切らない軌道など、これまで知られていなかった5種類以上の新しい軌道を発見した。これらの軌道の存在は、既に完成したと思われていた粒子軌道論に拡張を迫るものである。また、驚くべきことに、これらの軌道を通る電子は数の大半を占めているため、軌道の理解のうえに構築された多くの理論モデルを再考する必要がある。この発表では、軌道を通る粒子の力学やプラズマ衛星観測への示唆を議論する。

また、上流プラズマ条件が不揃いな非対称タイプの磁気リコネクションについても軌道解析の結果を示し、対称型リコネクションとの共通・相違点を議論する。

- Zenitani & Nagai, *Phys. Plasmas* **23**, 102102 (2016)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q37c 2流体プラズマ波動乱流中での粒子加速過程について

格和 純

宇宙の活動的現象と乱流的なプラズマ中での荷電粒子の輸送過程との関係は、観測に照らし広く議論されている。例えば銀河団ハロー、AGN ジェットやローブ、太陽フレアといった高エネルギー現象や、星間空間における宇宙線の伝播などがあり、そこで期待されるプラズマの性質も様々に異なる。理論的には輸送過程/効率を系統的に明らかにすることが一つの課題であり、MHD スケールの乱れの中でのイオンや非熱的電子の輸送が比較的詳細に調べられてきた。

本研究では、低エネルギーの、特に電子の輸送が影響を受ける2流体プラズマスケールの乱れ場中での輸送過程に注目する。これまでに、微小振幅の波動乱流の仮定の下でも、強い波動-粒子相互作用によって従来の解析的評価の仮定が破綻することが指摘されている。加えて波動の特性はプラズマの性質に依って複雑に変化する。これらを考慮し、講演では2流体プラズマ波動乱流中でのテスト粒子の運動を数値的に解くことによって輸送過程を調べた結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a 相対論的衝撃波で励起される大振幅電磁波の作用

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

高エネルギー宇宙線 ($> 10^{15.5}$ eV) の起源は未解明であるが、近年のガンマ線や X 線での観測により、活動銀河核やガンマ線バーストといった高エネルギー天体が生成場所の候補だと考えられるようになった。このような天体が相対論的衝撃波を形成し、粒子を加速して高エネルギー宇宙線を生成しているというのが有力な説だが、その具体的な粒子加速機構は明らかになっていない。近年、Chen et al.(2002) が相対論的衝撃波における航跡場加速による超高エネルギー宇宙線 ($> 10^{18}$ eV) 生成の可能性を指摘して以来、航跡場加速への関心が高まっている。最近では、Hoshino (2008) が、衝撃波面でのシンクロトロン・メーザー不安定 (Hoshino & Arons, 1991) により励起された大振幅電磁波が、衝撃波上流で航跡場加速を引き起こすことを 1 次元 Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションを用いて示した。しかしながら、多次元系の相対論的衝撃波では、特に電磁波の性質に関して以下に挙げる 2 つの問題が生じ得る。まず、多次元系では波の位相混合が起こりコヒーレンスが失われ、航跡場加速に必要なポンデロモーティブ力を及ぼすことができない可能性がある。次に、多次元系ではワイベル不安定が起こり得るため、シンクロトロン・メーザー不安定と競合により電磁波の振幅が小さくなる可能性がある。よって、高エネルギー天体での相対論的衝撃波に航跡場加速を適用するには、多次元系での電磁波を調べる必要がある。

我々は上記のことを受け、2次元 PIC シミュレーションを用いて、相対論的衝撃波で励起される大振幅電磁波の性質を調べた。その結果、たとえワイベル不安定が生じたとしても電磁波の振幅は航跡場加速を生じさせるのに十分な大きさがあり、かつポンデロモーティブ力を及ぼせるほどのコヒーレントを保っていることがわかった。これらの結果を踏まえ、多次元系での相対論的衝撃波における航跡場加速を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q39a 磁場散逸を含んだ相対論的磁気流体流れの減速について

田中周太 (甲南大学), 當真賢二 (東北大学), 富永望 (甲南大学)

宇宙における高エネルギー現象では、相対論的な流れが大きな役割を果たしていることがわかっている。つまり、活動銀河核に見られる超光速現象やガンマ線バーストのコンパクトネス問題、パルサー星雲という非常に低密度で高温な天体体を説明するには相対論的流れの存在が欠かせない。これらの相対論的流れの加速機構については1960年代から長年研究されており、近年では磁気駆動型の加速機構が主流である。

一方で我々がここで注目するのは相対論的流れの減速である。特にパルサー星雲においてはこの相対論的流れの減速について問題視されてきた、それが磁化率問題である。磁化率問題とはパルサー星雲の上流プラズマであるパルサー風が非常に小さな磁化率を持つことを要求する問題で、根元のパルサー磁気圏で電磁場優勢のパルサー風プラズマの磁化率を下げる様々な方法が考案されてきた。磁化率問題はエネルギーの保存を考えると、電磁場エネルギーを粒子のエネルギーに変換する流れの加速問題に帰着されるが、元来の主張がパルサー星雲における効率良い流れの減速であるということが重要である。

本研究では最近の相対論的磁気流体の加速に関する研究でよく用いられる磁場散逸を考慮して、相対論的磁気流体流れの減速を議論する。亜音速の星風の超音速への加速問題では、ラパール管同様にうまく遷音速点を通る流れが要求される。これは磁気駆動風でも同様であり、減速を考える場合も遷音速点の通過が不可欠である。我々は磁場散逸の効果を含めてこの問題を考えた。磁場散逸は磁化率を下げるため、減速解において流れの減速に寄与するが、同時にアルフベン速度が減少するために、亜音速流れを遷音速点さらには超音速流れへと導く可能性がある。パルサー星雲に適用して、磁場散逸による減速がどのような場合に可能かを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q40a Thermal Synchrotron Radiation By Double Tearing Mode Reconnection – Application to High-Energy Flare Phenomena

高本亮

近年様々な高エネルギー天体からのフレア現象が観測されている。それらの中には理論的な説明が難しいほど高エネルギーの光子を出しているものも存在している。例えば蟹パルサー星雲で観測されているフレア現象は、370MeV を超えるエネルギーの光子を約8時間に渡って出し続けていることが観測で示されている。しかし通常の粒子加速で得られる synchrotron 放射の最高エネルギーは約160MeV 程度であり、蟹パルサー星雲からのフレア光子のエネルギーを説明する物理機構は未だ解明されていない。

本講演では我々が近年提唱した、Double-Tearing Mode(DTM) と呼ばれる爆発的不安定性によるフレアモデルについて説明を行う。DTM は複数枚の電流面が磁気リコネクションによる inflow によって相互作用し衝突する際に非常に短い間にその間の磁場のエネルギーを散逸する物理機構である。本講演では、我々が行った相対論的散逸磁気流体シミュレーションの結果と、DTM から得られる synchrotron 放射スペクトルとそのフレア現象への応用について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q41a An origin of high velocity compact clouds: Dynamical signature of intermediate mass black holes

Guo yansong ,Shu-ichiro Inutsuka

Recently, new evidence of intermediate-mass black hole has been suggested by Oka et al. (2016). They observed molecular line emission from a high velocity compact molecular cloud (CO-0.40-0.22) in the central molecular zone (CMZ) of Milky Way Galaxy using radio telescope. The CO-0.40-0.22 cloud possesses extremely broad velocity width $\sim 100\text{km/s}$. They suggested that such a peculiar velocity structure is caused by gravitational scattering of a 10^5 solar mass black hole by comparing simple test particle orbits. Such an existence of an intermediate mass black hole may provide a support for the “ bottom-up ” formation scenario of massive black holes. However, their interpretation of the observation of large velocity dispersion neglected the effects of catastrophic heating, dissociation, and ionization by tidal compression and shock wave propagation during the gravitational scattering process. These effects may drastically change the gas state and the appearance of molecular line emissions. To analyze more realistic dynamics of gravitational scattering of a cold molecular cloud, we perform full 3D hydrodynamics simulations using a newly implemented high-resolution shock capturing numerical scheme called “ Godunov smoothed particle hydrodynamics ” (Inutsuka 2002) with non-equilibrium chemistry and radiative cooling/heating effects (Koyama & Inutsuka 2000)).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q42a 銀河系核周円盤近傍における複数の小型高速度コンパクト雲の発見

竹川俊也, 岡 朋治, 野村真理子, 岩田悠平, 徳山碩斗, 辻本志保 (慶應義塾大学)

銀河系中心核は高温かつ高密度の分子ガスリング (銀河系核周円盤; CND) に取り囲まれており、さらにその外側 (中心核から投影距離約 15 pc) には 2 つの巨大分子雲 (GMC; M=0.02–0.07 および M=0.13–0.08) が隣接している。特に M=0.13–0.08 は CND と物理的に接触している可能性があり (Takekawa et al. 2017)、これら GMC は中心核の極近傍に位置すると考えられる。CND の起源は未解明であるが、1 つの説として、中心核のつくる重力ポテンシャルに GMC が捕獲され潮汐破壊を受けることで形成されたというシナリオが提唱されている。

我々のグループは、CND の起源および周囲の分子雲との関連性を調べるために、2016 年の 2 月から 5 月にかけて James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) を用いて、HCN $J=4-3$ および $J=3-2$ 輝線による銀河系中心核周辺の詳細なイメージング観測を行った。観測領域は、CND、M=0.02–0.07、M=0.13–0.08、そして高速度コンパクト雲 (HVCC) CO 0.02–0.02 を含む $0.15^\circ \times 0.12^\circ$ の領域である。HVCC は、極端に大きな速度幅 ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$) と小さな空間構造 ($< 10 \text{ pc}$) を持つ分子雲の総称で、銀河系中心部に多数存在することが知られている (e.g., Oka et al. 1998)。観測の結果、CND の近傍に複数の HVCC を新たに発見した。今回発見された HVCC の大きさはいずれも 1 pc 程度で、これまでに知られている HVCC よりも小さいものであった。これらの小型 HVCC は、CND の母体となる GMC が中心核により潮汐破壊される過程で生じた「断片」である可能性がある。本講演では、CND およびその周りに発見された小型 HVCC の物理状態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](#)

Q43a 最新の分子輝線データに基づく高速度コンパクト雲 CO 0.02–0.02 の新解釈

岩田悠平, 岡 朋治, 竹川俊也, 徳山碩斗, 辻本志保 (慶應義塾大学)

銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) に存在する分子雲は、円盤部のそれらと比較して高温かつ高密度であり、かつ広い速度幅を持つという特徴がある。そのような特徴を持つ CMZ の中でも、特に速度幅が広く ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$) 空間的にコンパクト ($d < 10 \text{ pc}$) な天体は高速度コンパクト雲 (High-Velocity Compact Cloud; HVCC) と呼ばれる。HVCC の起源は完全には解明されていないが、一部の HVCC は明瞭な膨張シェル構造を有し、特に高い温度・密度が示唆されることから、多くは超新星爆発起源であると考えられてきた。銀河系中心核 Sgr A* から約 5' 東に位置する HVCC CO 0.02–0.02 も、そのようなシェル型 HVCC であり、膨大な運動エネルギー ($\sim 10^{51.5} \text{ erg}$) と高い CO $J=3-2/J=1-0$ 強度比で特徴づけられる天体である。加えて、この HVCC には、隣接するアーク構造の内部に赤外線点源の集中が見られることから、超新星爆発起源は間違いのないものと考えられてきた (Oka et al. 1999, 2008)。

近年、我々のグループでは、NRO 45m、ASTE および JCMT を用いた分子スペクトル線による銀河系中心部のイメージング観測を展開してきた。その結果から、アーク構造に対応する明瞭な HCN $J=4-3$ 輝線の膨張シェル構造を $V_{\text{LSR}} = 50\text{--}130 \text{ km s}^{-1}$ の速度範囲に検出した。これに加えて、その速度範囲を超過 ($V_{\text{LSR}} \sim 150 \text{ km s}^{-1}$) した高速度成分を、膨張シェルからやや離れた位置に確認した。この事は、CO 0.02–0.02 が一つの膨張シェル構造のみに駆動されたものではなく、他の要因も関与している可能性を強く示唆するものである。今回我々は、この特異成分について点状重力源による散乱モデルの適用可能性を検討した。このモデルは、Sgr C 領域のやや南に位置する HVCC CO–0.40–0.22 において成功を収めたものである (Oka et al. 2016)。その結果、この高速度成分に隣接する位置に $10^4 M_{\odot}$ 程度の点状重力源を置くことで位置-速度図上の挙動を再現できることが分かった。この点状重力源は、大質量星が既に死に絶えた高密度星団または中質量ブラックホールの可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q44a VERA による Sgr B2 領域の位置天文観測

酒井大裕 (東京大学)、永山 匠、小山友明、本間希樹 (国立天文台)

Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる銀河系中心から数百パーセクの領域は非円運動が卓越している。その領域のダイナミクスを正確に理解するには視線速度の測定だけでなく、視線方向に直交した固有運動の測定により三次元的な運動を得る必要がある。VLBI 観測による位置天文観測では、分子雲に付随するメーザー源の三次元的な運動を測定することが可能である。我々は、日本国内の VLBI 観測網である VERA を用いて水メーザー源の年周視差と絶対固有運動を測定することで CMZ 領域の三次元速度マップの作成を目指している。

今回、我々は Sgr B2 に付随する水メーザー源の位置天文観測を行い、年周視差と絶対固有運動の測定に成功した。また、Sgr B2 のサブコンポーネントである Sgr B2M 領域の水メーザー源の内部運動の詳細な測定を初めて行った。観測は VERA を用いて 2014 年から現在まで約 2 か月間隔で行われている。結果として、年周視差 $\pi = 0.105 \pm 0.035 \text{ mas}$ と絶対固有運動 $\mu_{\text{RA}} = -2.23 \pm 0.03 \text{ mas yr}^{-1}$, $\mu_{\text{Dec}} = -2.57 \pm 0.16 \text{ mas yr}^{-1}$ を得た。Sgr B2M 領域は複数の星形成クラスターが混在しており、水メーザーの内部運動はそれぞれの HII 領域の周囲に分布するような結果が得られた。また、Sgr B2M 領域の北側に位置する Sgr B2N 領域の水メーザー源を検出し、この 2 つの領域の相対運動の測定も行った。本講演では、Sgr B2 領域以外の CMZ 領域の位置天文観測を進めるための方針や課題点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](#)

Q45a セファイドを用いた銀河面偏光観測

善光哲哉, 栗田光樹夫, 木野勝, 長友竣, 長田哲也 (京都大学), 松永典之 (東京大学), 西山正吾 (宮城教育大学), 中島康 (一橋大学)

偏光観測は星間磁場の方向、強度を求める有力な手法である。Kpc スケールの磁場構造を議論するには、距離が求められる脈動型変光星に対して偏光観測を行うことが重要である (2016 年春季学会)。今回は、銀河面の大局的な磁場構造を調べるために観測領域を拡大し、銀経が -10° から $+10^\circ$ 、銀緯が -1.7° から $+2^\circ$ の領域に存在する脈動型変光星の JHK_S 近赤外偏光を観測した。対象天体は、すでに周期が同定されている 21 個のセファイド (Dékány et al. 2015) で、観測には今年の 6 月から 2 週間、南アフリカ天文台の 1.4m 望遠鏡 IRSF と SIRPOL を用いた。

偏光観測の結果、21 個のうち 16 個のセファイドの偏光が求まった。セファイドの距離は、Matsunaga et al. (2016) で既に議論されており、今回はその手順と同じく、周期光度関係 (Matsunaga et al. 2013) と減光則 (Nishiyama et al. 2006) を用いた。16 個のセファイドの距離は 11kpc から 13kpc の間に存在する。近赤外偏光観測で広い領域を偏光サーベイしたものはほとんどなく、さらに距離情報がある銀河面の偏光マップはこれまで存在していない。11 個のセファイドの偏光は、銀河面に対して -20° から $+30^\circ$ と平行に近い向きに揃っている。一方で、銀経が -6.3° から -9.3° にある残り 5 個のセファイドの偏光は、銀河面に対して $+40^\circ$ から $+70^\circ$ と大きく傾いた偏光を示していることが分かった。観測された偏光は、整列したダストの層によって生じる偏光を 10kpc 以上積分した結果であり、銀河面に平行な渦状腕の磁場が支配的であると考えられる。しかし、5 個のセファイドの偏光が銀河面に対して大きく傾いていることから、視線方向に大規模な垂直磁場構造が存在す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](#)

Q46a 銀河系中心領域における磁気活動の解明

柿内健佑 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学), 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史 (NRO),
町田真美 (九州大学), 松元亮治 (千葉大学)

銀河系中心領域における分子雲では銀河回転に沿った回転速度成分だけでは説明できないような複雑な速度構造を内包していることが観測から分かっている。この構造形成のメカニズムや形成過程については未だ明らかにされていない。そこで我々が注目しているのは、これまであまり議論されてこなかった磁場の影響である。銀河系中心近傍数 100pc 以内における磁場の強さは局所的に 0.1-1mG (Morris et al. 1992), 全体的に少なくとも $50\mu\text{G}$ 以上の強さがあると観測的に示唆されている (Crocker et al. 2010)。これは宇宙空間の平均的な磁場の強さの数 μG を大きく上回り、十分に磁気活動が星間ガスの力学構造に影響を与えられ考えられる。

これを理論的に検証するために, Suzuki et al.(2015) は銀河系中心領域における磁気流体の 3 次元グローバル計算を行った。本研究ではこの数値計算結果を用いて, Suzuki et al.(2015) では未解析であった鉛直方向の運動, 特に磁場の鉛直構造に沿って落下するガスの下降流について詳細な解析を行い, 鉛直方向のガス運動が観測的な速度構造に与える影響について調べた。この下降流の速度はパーカー不安定性による重力エネルギーの解放によって上空から銀河面に向かうに従い, 約 100km/s 程度まで加速する。本研究は, 実際の分子雲中においても磁気活動によってガスの鉛直方向へ運動が励起され, 複雑な速度構造の一因となりうることを示すものである。2016 年春季年会においては, この下降流領域の位置速度図との対応関係について議論した。本講演では, この鉛直方向の磁気活動に焦点を当て, 数値計算結果と磁気スロープ落下モデルとの比較を行い磁気活動と速度構造との関連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](#)

Q47a 階層的ベイズ推定法を用いた銀河系中心分子雲の物理状態/化学組成の測定

田中邦彦 (慶應大)

銀河系中心分子雲の特殊な物理的・化学的特徴は過去の研究で繰り返し言及されてきた話題である。近年では種々の大型望遠鏡によるミリ波-サブミリ波帯での大規模なサーベイによって種々の分子輝線のデータの蓄積が進み、それらを総合して詳細な物理状態/化学組成のマップを描くことが可能になってきた。本講演では、主要な9種の分子とその ^{13}C 同位体からの13輝線のサーベイデータを用い、水素分子の柱密度、体積密度、ガス運動温度を、分子存在量比と ^{13}C 同位体比とともに空間-速度の3次元上で測定した結果を報告する。解析では2016年春季年会で報告した階層的ベイズ推定(HB)法を用い、一般的な最尤推定(ML)法に比べて種々の不確定要因(キャリブレーション誤差、one-zone LVG 近似からの逸脱等)に対して堅牢な推定を実現した。ML法では大半のデータ点に対して現実的な値域での解が得られなかったが、HB解析によって、HCN $J=1-0$ 輝線のデータを外れ値として除外し、残り12輝線の強度分布をよく再現するパラメータ分布を求めることができた。主な結果として(1)(COを除く)8種の分子存在比の空間変動の80%以上は体積密度との相関成分と高速/低速衝撃波の影響によって説明できることを示し、また(2)高温領域と星形成領域との相関は良くなく、既知の熱源を伴わない高温分子雲が多数存在することを見出した。さらにHCN $J=4-3$ マップを用いて同定された206個の高密度クランプに対し、クランプのサイズ、速度分散、質量をパラメータに加えた主成分解析及び判別分析を行った。(3)パラメータ空間は速度-線幅関係と、体積密度-Virialパラメータ(=Virial質量/質量)反相関の二つの相関関係で記述され、(4)大質量星形成メーザーの有無を示す判別関数は、Virialパラメータと概ね一致した。衝撃波が化学組成を支配しているとともに、星形成に至る分子雲進化が高い乱流圧によって抑制されていることを裏付ける結果である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q48a Formation of Galactic Prominence in Galactic Central Region

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

We carried out 2.5-dimensional resistive MHD simulations with cooling/heating to study the formation mechanism of molecular loops observed at Galactic central region (Fukui et al. 2006; Fujishita et al. 2009). Since the molecular loops are low temperature, dense filaments surrounded by hotter, lower density medium. They are similar to solar prominence. We study the formation mechanism of molecular gas in rising magnetic arcade based on the in-situ prominences formation model proposed by Kaneko & Yokoyama (2015), in which prominences are formed by thermal instability in helical magnetic flux ropes formed by imposing converging and shearing motion at footpoints of the magnetic arch anchored to the solar surface. We extended this model to Galactic center scale (a few hundreds pc). Numerical results indicate that magnetic reconnection taking place in the current sheet formed inside the rising magnetic arcade creates dense blobs confined by the rising helical magnetic flux ropes. Thermal instability taking place in the flux ropes forms dense ($\sim 30 \text{ cm}^{-3}$), cold molecular filaments floating at high Galactic latitude. The mass of the filament increases with time, and can exceed $10^5 M_{\odot}$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q49a 分子雲衝突による銀河系中心 50km/s 分子雲での大質量星形成

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

銀河系中心領域には Sgr A* から銀河面に沿って 300pc の範囲内に Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる分子雲複合体が存在している。この CMZ には、円盤領域に比べ高密度で高温度で広い速度幅を持った分子雲がいくつも分布し、円盤領域には見られないような高密度で明るく若い大質量星団が存在している。このような大質量星団が形成されるメカニズムの候補として分子雲同士の衝突などが考えられている。先行研究から銀河系中心 50km/s 分子雲 (50MC) で、 $\text{SiO}(v=0, J=2-1)$ と $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$ の輝線比の高い馬蹄形の構造をもった衝撃波構造が発見されている。さらに、 $\text{CS}(J=1-0)$ 輝線の観測から同定された分子雲コアのコア質量関数 (CMF) の傾きの違いから、50MC は分子雲衝突による大質量星形成領域の候補天体の 1 つであると考えられている。

そこで、我々は ALMA 望遠鏡による高空間分解能・高感度・広領域の 50MC の観測を $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J=1-0)$, $\text{SiO}(v=0, J=2-1)$ 輝線を使って行なった (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi)。その結果、 $T_{\text{R}} = T_{\text{B}}(\text{SiO})/T_{\text{B}}(\text{H}^{13}\text{CO}^+)$ が高い馬蹄形の構造が確認された。先行研究に比べ空間分解能が 10 倍以上向上しているため、詳細な衝撃波構造も明らかになり、衝撃波の理解が進むと期待される。さらに、 H^{13}CO^+ 輝線のマップをもとに Clumpfind アルゴリズムを用いて高密度分子雲コアの同定を行なったところ、94 個の高密度分子雲コアを同定することができた。これらの分子雲コアの CMF は、円盤領域の OrionA 分子雲で求められている同輝線による CMF に比べ、最大質量が大きく大質量コアが相対的に多い分布になっていることが分かった。さらに、50MC 内の T_{R} の高い領域の CMF は低い領域に比べ、最大質量は同程度で大質量コアの多い分布をもつことも分かった。本講演では、これらの結果に加えメタノールレーザーとの位置関係についても発表し、分子雲衝突による大質量星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](#)

Q50a CO 多輝線観測による Proto-superbubble 候補天体 $l = -1.2^\circ$ 領域の詳細研究

辻本志保, 岡朋治, 竹川俊也, 山田真也, 岩田悠平, 徳山碩斗 (慶應義塾大学)

銀河系中心核から数百パーセクにわたって広がる Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる領域は、高温高密度な分子ガスが集中する特異な領域である。CMZ 内のガスは非常に複雑な運動状態にあり、広い速度幅を持っている。CMZ の広域マッピング観測により、私たちは CMZ 内に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 ($d < 5 \text{ pc}$) を持つ特異な分子雲、高速度コンパクト雲 (HVCC) を多数発見している (e.g., Oka et al. 1998)。中でも CO $J=3-2/J=1-0$ 輝線強度比が極めて高い HVCC が $l=+1.3^\circ$ 領域と $l=-1.2^\circ$ 領域に存在している。特に $l=+1.3^\circ$ 領域の HVCC は多重シェルの一部であり、それらの高速度端には SiO 輝線で明るいスポットが確認されている。このことから、同領域には分子雲中に深く埋もれた大質量星団が存在し、複数回の超新星爆発によって superbubble を形成する過程の初期段階にあるものと解釈されている (Tanaka et al. 2007)。

今回、私たちは $l=+1.3^\circ$ 領域のほぼ対称位置にある $l=-1.2^\circ$ 領域について、JCMT で取得した CO $J=3-2$ 輝線データおよび NRO 45m 望遠鏡で取得した CO $J=1-0$ 輝線データの精査を行った。その結果、同領域中の HVCC CO-1.21-0.12 も膨張シェルの一部であり、さらに複数の膨張シェルが付随することを見出した。これらのシェルそれぞれの質量と膨張速度 ($V_{\text{exp}} \sim 60 \text{ km s}^{-1}$) から、運動エネルギーは $\sim 10^{51} \text{ erg}$ 程度と評価でき、これは複数回の超新星爆発に相当する。一方で、この位置には明確な赤外線および X 線の対応天体が存在しない。これらの性質は $l=+1.3^\circ$ 領域のそれに酷似しており、ここにも $10^4 M_\odot$ 程度の星団が潜んでいるものと推測される。また、今回見出された膨張シェルの年齢は西から東に向けて若くなっており、星団がこの方向に移動している可能性を示唆している。本講演では $l=-1.2^\circ$ 領域の多重膨張シェルの物理状態及び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](#)

Q51b 銀河系中心 50km/s 分子雲で発見された分子雲フィラメント

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

赤外線天文衛星 Herschel の銀河系円盤領域におけるサーベイ観測により, 多くの分子雲でフィラメント状構造が発見された. この観測結果から, 円盤領域では星生成の母体となる分子雲が普遍的にフィラメントの形態で存在しており, フィラメントの幅は星形成の有無やその柱密度 (フィラメント間に3桁程度の差がある) に関係なく $\sim 0.1\text{pc}$ 程度であることが明らかになった. さらに, 柱密度が $\sim 10^{22}\text{cm}^{-2}$ より大きい領域で, フィラメントに沿って原始星や高密度分子雲コアが存在していることが明らかとなり, 円盤領域ではフィラメントの密度と星形成活動度には密接な関係があることが分かってきている. 一方, 銀河系中心領域の CMZ では, これまでフィラメント状の構造は1例のみ報告されているため, 普遍的な存在かどうか明らかではなかった. そこで, 我々は ALMA 望遠鏡による高空間分解能・高感度の CS($J = 2 - 1$) 輝線の観測 (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi) を行ない, 多くのフィラメント状構造を 50km/s 分子雲で発見した. CMZ の分子ガスは円盤領域に比べ速度幅が広く, 高密度で高い温度 ($15 - 50\text{km/s}$, 10^3cm^{-3} , $\sim 10^{1-2}\text{K}$) を持っており性質が大きく異なるにもかかわらず, 我々の観測から銀河系中心領域の分子雲にも, 円盤領域の分子雲と同様にフィラメント状構造が普遍的に存在していることが明らかになった. 今回, 初めて銀河系中心領域で DisPerSE アルゴリズムを用いたフィラメントの同定を行なった. その結果, 27本の分子雲フィラメントを同定することができた. これらのフィラメントに対して幅, 柱密度, 単位長さあたりの質量を見積もったところ, それぞれ $0.15 - 0.38\text{pc}$, $2 \times 10^{22-23}\text{cm}^{-2}$, $\sim 1 \times 10^2 - 1.4 \times 10^3 M_{\odot}/\text{pc}$ と求まった. Herschel の結果や Orion A 分子雲の分子輝線, 連続波のアーカイブデータから求めたフィラメントの幅に比べ $\sim 2 - 3$ 倍程度太い結果となった.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q52a 中性子星合体起源の r プロセス元素宇宙線

小宮悠 (東京大学)

中性子星連星の合体は、r プロセスによる超重元素合成の有力な起源天体と考えられている。中性子星合体が実際に r プロセスの主要な起源天体であれば、超重元素宇宙線の観測にも中性子星合体の寄与がみられる可能性がある。特に、中性子星合体からの放出物は光速の 0.2 倍程度と大きな速度で放出されるため、高エネルギー粒子となる割合が高いと考えられる。近年、Kyutoku & Ioka (2016) が、中性子星合体時に reverse shock で加速された宇宙線の寄与を議論しているが、彼らの議論では宇宙線の拡散や減衰過程が考慮されていない。

本研究では、宇宙線の伝播過程におけるエネルギー損失などを考慮して、超重元素宇宙線の拡散を計算した。R プロセス元素の宇宙線は陽子の場合と比べて電荷が大きいため、ionization energy loss が強く効き、数万年でエネルギーを失う。中性子星合体は銀河系で数十万年に一度ほどしか起きない稀な現象であるため、そこを起源とする宇宙線は太陽系に到達する前に十分減衰して、現在の観測にはかからない可能性が高いことが分かった。

一方で、過去に太陽系近傍で中性子星合体が起きたことがあれば、その時期の宇宙線強度には大きな影響があったと考えられる。そして、隕石に残された宇宙線の痕跡を測定する手法を用いれば、過去数億年の超重元素宇宙線の累積強度を知ることができる。隕石測定と、衛星などを用いた現在の宇宙線強度測定との差から、中性子星合体起源の宇宙線の寄与を観測的に特定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](#)

Q53a 「すざく」衛星による LOOP-I/NPS 構造の系統探査

秋田誠博, 片岡淳 (早大理工), 戸谷友則, 祖父江義明 (東大理), 井上芳幸, 中島真也 (ISAS/JAXA)

North Polar Spur (以下 NPS) は ROSAT 衛星により得られた軟 X 線全天マップで一際大きく輝く巨大構造である。電波帯域で見られる巨大円状構造 LOOP-I の一部であり、銀河面から北側の方向に銀緯にして 50 度以上の領域に広がっている。また同様な巨大構造として、ガンマ線帯域でフェルミバブル、マイクロ波帯域で WMAP Haze が発見されている。近年ではこれらの構造を説明する銀河中心ブラックホールの活動または銀河中心の星形成活動が考えられている。しかしこれらの構造に付随する熱的プラズマの性質は未だ不明となっており、起源の解明には至っていない。特に NPS はガンマ線で見つかったフェルミバブルの淵をなぞるように位置しており、その関連性が示唆される。我々のグループは過去に「すざく」衛星と SWIFT 衛星によるフェルミバブル周辺領域の X 線解析を行い、フェルミバブル部分に 0.3 keV の高温プラズマが普遍的に存在していることを明らかにした。他にバブル北西部の観測から、バブルの淵を境に熱放射率が 50 % 程度変化すること、バブル内外における熱的・非熱的圧力がほぼ釣り合っていることがわかっている。これらの結果より、NPS がバブル形成時に圧縮・加熱された銀河ハローガスである可能性が示唆される (Kataoka et al.2013,2015,Tahara et al.2015)。このように NPS 部分の研究は行われているが、NPS を含む大規模構造 LOOP-I の X 線研究はあまりなされていない状況である。

我々は、「すざく」衛星による LOOP-I 周辺の観測データを新たに解析した (LOOP-I "ON" を 15 領域、LOOP-I "OFF" を 9 領域。総観測時間 540ksec)。その結果、"ON" 領域には高温 (0.3 keV)、高密度なプラズマが存在することがわかった。またこのプラズマに含まれる金属量は 0.2 太陽組成量で良く表された。本講演では、今回解析した「すざく」衛星による観測結果を報告し、その物理的解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q54a 超新星残骸 Cassiopeia A 北東ジェット X線放射の詳細解析

池田拓馬, 吉浦 勲, 内山泰伸 (立教大学)

超新星爆発で生成される 44 チタンは半減期 60 年で電子捕獲によりスカンジウムに崩壊し、その後半減期 4 時間で陽電子放出により安定なカルシウムへと崩壊する。この 44 チタンは爆発時に星中心のいわゆる質量カット付近で生成され、その生成量や空間分布は爆発の様相を強く反映する。そのため 44 チタンの放射性崩壊に伴って放出される硬 X 線やガンマ線ラインの観測がこれまで数多く行われてきた。特に超新星残骸 Cassiopeia A ではガンマ線ラインが明確に捉えられ、さらに最近の *NuSTAR* 衛星の観測からチタン崩壊による 68/78 keV の硬 X 線ライン放射の空間分布が明らかになった。我々はそのチタンの $K\alpha$ 線の有無を *Chandra* 衛星を用いて検証し、北東ジェット領域においてチタンの $K\alpha$ 線を発見した。プラズマモデルから推定された北東ジェット領域に存在するチタンの質量は $10^{-5}M_{\text{sun}}$ 程度であり、この量は過去の *NuSTAR* 衛星などのチタン 44 に関する観測結果からは説明できない。我々は爆発的要素合成の観点から、検出したチタンを安定な同位体である 48 チタンであると推定した。本講演ではジェットの生成メカニズムに迫るため、*Chandra* 衛星を用いた様々な元素のライン X 線の詳細解析、ジェットの速度測定、そして X 線時間変動の解析結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q55a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 W28 (G6.4-0.1) の観測

尾近洸行, 鶴剛, 内田裕之, 田中孝明, 松村英晃 (京都大学)

W28 (G6.4-0.1) は電波ではシェル状に広がり、X線では中心集中している形状から Mixed-Morphology 型に分類される超新星残骸 (SNR) である。X線天文衛星「すざく」の観測から、W28 の中心部に電離過程より再結合過程が優勢な過電離プラズマが存在することがわかっている (Sawada & Koyama 2012)。

現在、この過電離プラズマの詳しい形成過程はよくわかっていない。有力なモデルとして星間物質 (ISM) や分子雲といった周囲の物質からの熱伝導冷却によってプラズマの温度が下がる熱伝導モデルと、衝撃波が密度の濃い星周物質から密度の低い ISM に広がる際に断熱膨張してプラズマの温度が下がる断熱膨張モデルの 2 つが提案されている。断熱膨張モデルの場合、プラズマの電離状態の空間分布は大域的にほぼ一樣になると予想される。一方で熱伝導モデルの場合は SNR と周囲の物質の衝突領域でプラズマの過電離状態が大きく異なると予想される。

そこで、今回我々は分子雲との相互作用が観測されている W28 北東側のシェル (Claussen et al. 1997; Arikawa et al. 1999) に注目し「すざく」による観測を行った。スペクトル解析の結果から W28 北東部にも過電離プラズマが存在することを発見した。本講演では中心部と北東部のプラズマの電離状態の比較からこの天体の過電離プラズマの起源を議論し、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](#)

Q56a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 G306.3–0.9 の観測

立花克裕, 内田裕之, 松村英晃 (京都大学), 澤田真理, 伊藤優汰 (青山学院大学), 馬場彩 (東京大学)

Ia 型超新星は宇宙に存在する鉄族元素の主要な供給源であり、その残骸 (SNR) は爆発機構や銀河系内の重元素汚染史を知るうえで格好の研究対象である。しかし Ia 型 SNR は中心天体を残さないため一般に同定が難しく、鉄輝線強度や電離状態からこれまでに確定したサンプルは ~10 個程度と希少である (Yamaguchi et al. 2014)。

G306.3–0.9 は、2011 年 *Swift* の銀河面サーベイで新たに発見された SNR である。*Chandra* による追観測で、数 pc のサイズから年齢は数千年と推定された (Reynolds et al. 2013)。さらに *XMM-Newton* によって強い Fe-K 輝線が発見され、Ia 型であることが示唆されている (Combi et al. 2016)。近年の Ia 型 SNR の観測によると、中心で合成される Fe は Si, S など外層の元素よりも電離度が低い傾向にあり、これは希薄な環境で元素の階層構造を保ったまま爆発したと解釈される (e.g., Hayato et al. 2010)。一方 Combi らは、Fe とその他の元素を同じ電離状態で説明している。重元素の混合が起きている可能性も否定できないが、Fe-K 輝線の統計が少ないため、より高統計のデータでの再検証が必要である。

我々は Fe の真の電離状態の測定を目的とし、エネルギー分解能に優れた「すざく」の 190 ks の高統計データの解析を行った。その結果、輝線中心は 6.47 ± 0.01 keV と測定でき、O-like に近い低電離であることがわかった。さらに全バンドのスペクトル解析から、Fe はその他の元素より高温 (>3 keV) 低電離 ($\sim 2.3 \times 10^{10}$ s cm³) を要求し、これより Si や S などの外層の元素より最近加熱されたことを明らかにした。また、星間吸収量 $(1.2-1.3) \times 10^{22}$ cm⁻² から、ほぼ銀河系の端に位置すると予想され、このことから我々は G306.3–0.9 の年齢を 4–6 千年と推定した。これまでに確定した Ia 型 SNR の中で最も熱的進化の進んだサンプルのひとつと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q57a 超新星残骸 W44 からの拡散硬 X 線成分の発見

内田裕之, 田中孝明 (京都大学)

W44 は約 20,000 年前に大質量星の爆発によって生じた比較的明るい銀河系内超新星残骸のひとつである。東西から押し潰されたような扁平な構造は、この天体が大小の分子雲に挟まれる星間密度の濃い領域で成長したことを示している。電波では明確にシェル状、X 線では中心集中していることから、典型的な Mixed-morphology 型に分類される。X 線天文衛星すざくによる先行研究から我々は、W44 中心部の X 線スペクトルがこの形態で多く見られる過電離プラズマで説明できることを示した (Uchida et al. 2012)。またこの研究で我々は、中心パルサーから北に ~ 5 pc 離れた位置に $\Gamma \sim 1.2$ の拡散した硬 X 線成分を発見したが起源の特定には至っていない。

硬 X 線成分の放射領域はパルサー風星雲 (1×0.5 pc; Petre et al. 2002) から十分遠い距離にあり、直径数 pc の既知の分子雲 “C12” (Seta et al. 2004) と隣接している。今回我々は拡散硬 X 線成分の全貌を明らかにするために、すざくで W44 の複数点の追観測を行い全域に渡る高統計の X 線データを得た。この結果、硬 X 線成分がパルサーの南側にも広がり、全体として大まかに電波シェルに沿うように分布していること、C12 分子雲の南北で強度が高く反相関を示唆することを発見した。こうした観測事実は硬 X 線成分の起源が、過電離プラズマの成因と同様に W44 の周辺環境と密接に関連する可能性を示している。本発表では、W44 の熱的・非熱的成分の空間分布とパラメータの詳細を報告し、現時点で考えられる両者の起源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](#)

Q58a すざく衛星を用いた超新星残骸 W49B の再結合優勢プラズマの観測

山内茂雄, 南沙里, 杉江直緒, 信川久実子 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 小山勝二 (京都大)

W49B は銀河面上に位置し, 電波シェルの内側に熱的 X 線放射を持つ Mixed Morphology SNR である。すざく衛星による先行研究でスペクトルに He-like Fe による放射性再結合連続成分の構造が発見され, 通常の超新星残骸の進化過程には現れない再結合優勢プラズマ (RP) を持つことが明らかになった (Ozawa et al. 2009, ApJ, 706, L71)。現在のところ RP は Mixed Morphology SNR のみから発見されており, Mixed Morphology SNR と RP の進化・形成過程は密接なつながりがある可能性が高い。RP の形成過程の調査には, 先行研究で行われた 5–12 keV バンドにとどまらず, 広いエネルギー帯のスペクトルからプラズマの物理状態を明らかにする必要がある。そこで, 私たちはすざく衛星で取得した光子統計のよいデータを用い, 1–12 keV バンドのスペクトル解析を行った。

5–12 keV バンドのスペクトルは, 初期温度を 5 keV と仮定すると電子温度が約 1.4 keV, 再結合パラメータが約 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ の RP モデルで再現できるが, この成分だけで 1–12 keV バンドのスペクトル全体を再現することはできず, 低温の成分が必要である (2013 年日本天文学会春季年会にて報告)。今回, RP 成分を詳しく調査し, Si, S 等の He-like, H-like ion からの輝線強度比は Ar, Ca, Fe, Ni を良く再現する RP モデルでは説明することができず, 異なる RP 成分が必要であることがわかった。講演では, スペクトル解析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](#)

Q59a 超新星残骸 IC 443 からの過電離プラズマの成因

松村英晃, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 尾近洸行, 立花克裕 (京都大学)

ほとんどの超新星残骸 (SNR) の熱的プラズマは電離が優勢な未電離プラズマであるが、IC 443 や W49B などのいくつかの SNR からは再結合が優勢な過電離プラズマが発見されている。過電離プラズマの生成起源については諸説あり、現在も議論的である。

IC 443 は東と西で形状の異なる電波シェルを持つ SNR である。電波シェルの中に、北東を中心とした X 線放射が見られる。X 線天文衛星 ASCA による観測で、水素様とヘリウム様まで電離した元素の輝線フラックス比から北東領域のプラズマが過電離状態にあることが示唆された (Kawasaki et al. 2002)。その後のすざく衛星の観測により、この北東領域から再結合連続放射が発見され (Yamaguchi et al. 2009) 過電離プラズマの存在が確固たるものとなった。IC 443 には分子雲が付随していることが知られている。CO $J = 2 - 1$ および CO $J = 3 - 2$ の電波観測より IC 443 の南東領域で強い放射が見られ (Xu et al. 2011)、この領域で SNR の衝撃波と分子雲の衝突していることが期待できる。

我々はすざく衛星による IC 443 の北東、南東、北西の三つの観測領域を解析した。0.6–10 keV の広いエネルギー帯域でのスペクトル解析の結果、北東領域だけでなく南東領域からも過電離プラズマを発見した。南東のプラズマの電子温度は北東のプラズマのものよりも有意に低い値であった。一方で、北西のプラズマは電離タイムスケールが $n_e t \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ であり、電離平衡に近いことが分かった。本講演では、これらの場所ごとに大きく異なるスペクトルから IC 443 の過電離プラズマの成因に迫る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q60a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸CTB1の観測

桂川美穂 (東京大学, ISAS/JAXA), 中島真也 (ISAS/JAXA), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA, 東京大学), Herman Lee (京都大学)

電波ではシェル状に明るく、X線では中心集中した構造を持つ超新星残骸(SNR)はMixed-morphology(MM) SNRと呼ばれるが、その形成過程にはまだ多くの議論があり、観測的な系統探査が重要である。CTB1(G116.9+0.2)はそのようなMM-SNRの一つであり、電波の観測によって、シェル構造だけでなく、北東にシェルが破れたような特異な構造(gap)が発見されている(e.g., Velusamy & Kundu 1974)。また、ASCAやChandraを用いたX線の観測からも北東に伸びる熱的なX線放射が確認されている(e.g., Lazendic & Slane 2006, Panuti et al. 2010)。しかし、その形成過程を解明する鍵となる電離状態やアバングスの空間分布を、精度良く決めるには至っていない。

そこで我々は、広がった天体に対して高い感度を持つX線天文衛星「すざく」でCTB1を計60ks観測し、プラズマの電離状態やアバングスの評価を行なった。O, Ne, Mg, Siの輝線を分離することで、電子温度とイオンの電離状態を正確に導き出した。その結果、電子温度は先行研究とコンシステントな ~ 0.3 keVだが、電離状態は平衡状態よりも進んだ過電離であることを発見した。さらに、北東部はシェル内部よりもアバングスが2倍高く、ejecta起源であることを示唆している。これはCTB1の北東部がシェル内部からのbreakoutによるものなのか、北東部が爆発中心なのかを解明する重要な手がかりである。本講演では、CTB1の過電離プラズマ発見の報告と、特異な構造の起源を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q61a NuSTAR/Suzaku による最も明るいガンマ線超新星残骸 N132D の観測

馬場彩 (東大), 山崎了, 大平豊, 澤田真理 (青学大), 寺田幸功 (埼玉大), 小山勝二 (京大), 山口弘悦 (NASA/GSFC), 勝田哲 (中央大)

超新星残骸 (SNR) からの硬 X 線やガンマ線は、その衝撃波面で粒子が相対論的エネルギーに加速されている直接的証拠である。一方、加速・冷却もしくは逃亡のタイムスケールなどはまだよく分かっておらず、SNR の宇宙線への寄与の定量的評価はこれからの課題である。ヒントとなりうるのが、広帯域スペクトルである。RX J1713-3946、Vela Jr. など若い SNR は主に TeV ガンマ線で輝いているのに対し、W44, IC443 など比較的年老いた SNR からのガンマ線は GeV 程度に折れ曲がりをもつ。これは、加速された粒子が冷却もしくは逃亡するタイムスケールが SNR 年齢に比べて短い可能性を示している。

N132D は大マゼラン雲にある SNR である。シンクロトロン X 線が発見されていないことから、若い SNR から中年齢へと移行しつつあると考えられる。近年 H.E.S.S. と Fermi がこの天体からガンマ線を発見した。そのスペクトルは TeV 帯域まで伸びており、若い SNR のものに近い。また、ガンマ線光度は 10^{36} erg s⁻¹ と SNR の中で最も明るい。これらから、N132D は若い SNR と年老いた SNR を結ぶ重要な天体であると考えられる。

我々は非熱的 X 線の検出を目指して N132D を NuSTAR と「すざく」で観測し、15 keV まで伸びる連続 X 線、He 状に電離した鉄からの K α および K β 輝線、H 状に電離した鉄からの Ly α 輝線を有意に検出した。連続 X 線は鉄の radiative recombination continuum でおおよそ説明ができ、N132D 中の鉄を含む高温プラズマは過電離状態である可能性を示唆した。これは年老いたガンマ線 SNR 共通の特徴であり、N132D が若い SNR からの進化途中であることを示唆している。この他、中性鉄輝線や非熱的 X 線の検出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](#)

Q62b 「すざく」衛星による地球周辺からの太陽風電荷交換X線イベントの系統探査

伊師大貴 (首都大), 石川久美 (ISAS), 江副祐一郎, 大橋隆哉 (首都大)

近年、X線天文衛星「すざく」などによって、地球周辺からの電荷交換放射 (Solar Wind Charge eXchange, SWCX) が確立してきた (Snowden et al. 1994 ApJ, Fujimoto et al. 2007 PASJ, Ezoe et al. 2010 PASJ, Ishikawa et al. 2013 PASJ など)。太陽風に含まれる酸素などの多価イオンが、地球周辺の中性大気に含まれる水素原子などと電荷交換反応を生じ、軟X線 (0.2–1 keV) で輝線を出すというものである。本放射は前景放射となるため、天体観測や軟X線背景放射への寄与として重要な上、太陽風観測衛星のデータを併用すれば、地球の超高層大気である外圏や、磁気圏内でのプラズマ輸送過程の情報を得る手がかりとなる。

我々は「すざく」の公開データから SWCX イベントの系統探査解析を行った。SWCX 放射の観測には、低バックグラウンドかつ 1 keV 以下で高いエネルギー分解能を持つ「すざく」XIS が適している。公開データから、軟X線バックグラウンドの時間変動を探査し、有意な変動があったものと太陽風との相関を調べて、有意な相関があるものを SWCX イベントとみなす (Ezoe et al. 2011 PASJ, Ishikawa et al. 2013 PASJ)。我々はこれまでに 2005 年 8 月から 2011 年 9 月の 2031 データを解析し、38 の SWCX イベントの抽出に成功した (石川 天文学会春季年会 2012)。我々は、同様の手法を 2011 年 10 月以降のデータに適用し、新たに 3 の SWCX イベントを発見した。酸素バンド (0.5–0.7 keV) のライトカーブは、WIND 衛星の太陽風イオンフラックスと良い相関を示す。スペクトルには炭素や酸素の輝線の輝線が含まれ、地球外圏からの SWCX 放射と考えて問題ない。本講演では「すざく」の公開データの結果をまとめて、磁気圏の構造との相関や、外圏密度分布について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

3月15日(水)午後(13:00-14:48) [C会場]

R01a	13:00	「あかり」赤外線全天データで探る早期型銀河ダストの無バイアスな描像 金田英宏(名古屋大学)
R02a	13:12	「あかり」赤外線全天観測による早期型銀河の星形成の系統的研究 國生拓摩(名古屋大学)
R03a	13:24	「あかり」赤外線分光観測で探る星形成銀河における炭化水素ダストの変成 近藤晶乃(名古屋大学)
R04a	13:36	「あかり」中間赤外線の減光を利用した NGC2403 の銀河ハロー領域におけるダスト質量の推定 鶴飼壮太(名古屋大学)
R05a	13:48	銀河系内拡散光の観測で探る星間ダストの散乱特性 佐野圭(東京大学)
R06a	14:00	Emergence of a stellar cusp by a dark matter cusp in a low-mass compact ultra-faint dwarf galaxy 井上茂樹(東京大学)
R07a	14:12	矮小銀河の化学力学進化から探る銀河内での重元素の混合効率 平居悠(東京大学)
R08b	14:24	星種族による金属量分布の違いから探る Sculptor dSph の化学進化 本間英智(国立天文台)
R09b	14:24	初代銀河の衝突で誘起される球状星団形成について 荒田翔平(東北大学)
R10b	14:24	鉄 K 殻輝線精密診断による銀河系拡散 X 線放射の起源 信川正順(奈良教育大学)
R11a	14:36	銀河系バルジ領域における拡散 X 線強度と近赤外星数面密度の空間分布比較 長友竣(京都大学)

3月16日(木)午前(09:30-11:00) [C会場]

R12a	09:30	Stellar mass and star formation rate relation of infrared-bright dust-obscured galaxies selected with AKARI far-infrared all-sky survey 鳥羽儀樹(ASIAA)
R13a	09:42	近赤外から遠赤外線広帯域観測に基づくヒクソン・コンパクト群構成銀河の活動度の調査 池内綾人(東京大学)
R14a	09:54	近赤外線吸収観測が示唆する超高光度赤外線銀河内部の星形成領域における苛烈な紫外線環境 道井亮介(東京大学)
R15a	10:06	Shock-induced Starbursts in the Nearby Merging LIRG VV 114 with ALMA 齊藤俊貴(東京大学/国立天文台)
R16c		衝突銀河 NGC 3256 における分子ガスアウロフローの RADEX モデリング 道山知成(総合研究大学院大学/国立天文台)
R17a	10:18	Development of the Multi-Parameter Star Formation Law: II Shinya Komugi (Kogakuin University)
R18c		銀河の性質と分子ガスの中心集中度の関係:統計的研究 II 隈井泰樹(熊本学園大学)
R19b	10:30	近傍 LIRG の星形成活動 大橋宗史(東京大学)
R20b	10:30	水素再結合輝線強度比異常が示唆する超高光度赤外線銀河の高密度星形成 矢野健一(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
R21b	10:30	Cosmic-Ray Driven Galactic Winds from an Ultraluminous Galaxy Akimi Fujita (Faculty of Engineering, Shinshu University)
R22a	10:42	銀河風の遷音速モデルと星形成銀河への応用 五十嵐朱夏(筑波大学)
R23a	10:54	新たなディスクトレーサーとしての OH/IR 星の VLBI 位置天文観測 中川亜紀治(鹿児島大学)
R24c		制限付き Post-Newtonian の N 体シミュレーションコード開発 立川崇之(早稲田大学)

R01a 「あかり」赤外線全天データで探る早期型銀河ダストの無バイアスな描像

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

近傍の早期型銀河は、主に年老いた星から構成される古い銀河であり、星間ガス・ダストを比較的わずかの量しか含まない系である。それでも、星形成活動や銀河核活動を弱いながらも示す銀河が多数、存在する。近年、「あかり」や Spitzer、Herschel などによる高感度な衛星観測によって、多くの早期型銀河において検出限界以上の量の星間ダストが存在することが分ってきた。これらの起源は大きく分けて2つの可能性、つまり(1)古い星の質量放出や cooling flow などの内因、あるいは、(2)銀河合体や銀河間ガス降着などの外因が考えられるが、どちらが重要かについてクリアな結論には至っていない。星間ダストの存在は星形成や物質循環に大きな影響を与えるため、銀河がどのように進化を終えるのかを理解するには、早期型銀河に残存するダストの無バイアスな描像を捉えることが重要である。

我々は、HyperLeda カタログの形態分類をもとに、距離 100 Mpc 以内に存在する早期型銀河 (E、S0、Sa) の全 8000 天体に対して、「あかり」全天データを用いて遠赤外線フラックス測光を行った。具体的には、波長 90 μm バンドと 140 μm バンドの画像に対して、各銀河の有効半径から領域を決めた aperture 測光、および 2 次元 Gaussian fitting 測光を行った。その結果、およそ 10% の銀河から、両バンドのフラックスが有意に検出され、かつ両測光方法で矛盾のない結果を得た。そのような銀河に対して、ダスト質量を見積もった結果、古い星からの質量放出で期待される量より 1 – 2 桁以上も多くのダストを含む銀河が多数、存在することが分かった。本講演では、ダスト放射光度と星光度・X 線光度の関係、ダスト量と HI・CO ガス量との関係、銀河形態（楕円銀河・レンズ状銀河）によるダスト特性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](#)

R02a 「あかり」赤外線全天観測による早期型銀河の星形成の系統的研究

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

一般に、早期型銀河は年老いた星が支配的なため、星形成活動が不活発で銀河進化の末期にあると考えられている。通常の星形成銀河が早期型銀河へ進化する過程として、銀河合体や活動銀河核による星形成の抑制が議論されているが、その詳細は良く理解されていない。

本研究では、ATLAS^{3D} サーベイ (Cappellari et al. 2011) により CO ガスなどが観測された近傍の早期型銀河 260 天体に対し、ダスト放射に着目して星形成の性質を調べた。初めに、「あかり」や WISE 衛星の観測データから波長 2 – 140 μm にわたる赤外線光度を得て、各光度を比較した。その結果、CO ガスが未検出の銀河では星の光度と 9、18 μm 光度が相関する一方、CO ガスが検出された銀河は、この相関に対して 9、18 μm 光度が超過を示した。この相関は、赤外線放射が星に起因すると解釈できるが、CO 検出銀河の超過成分は、ダスト放射によるものと考えられる。この超過成分と分子ガスの関係を調べるため、各天体の spectral energy distribution を多環芳香族炭化水素 (PAH)、温かいダスト、冷たいダスト放射に分離したところ、これらの光度は分子ガス質量と強い相関を示すことが分かった。特に、PAH 光度と分子ガス質量の相関は、分子ガスが星形成の材料であることを強く示唆する。PAH 光度から求めた星形成率は $0.01 - 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ と、星形成銀河に比べると低い値であった。

次に、ATLAS^{3D} サーベイで得られた原子・分子ガスの質量と放射領域サイズを用いて、星形成率とガス質量の面密度の関係を調べたところ、星形成銀河と同じ冪 1.4 の関係に従うことが分かった。これは、早期型銀河の星形成効率は、星形成銀河と同程度であることを意味する。このことから、早期型銀河で星形成が不活発なのは、星形成抑制メカニズムが原因ではなく、星形成の材料となる星間物質が減少しているためと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a 「あかり」赤外線分光観測で探る星形成銀河における炭化水素ダストの変成

近藤晶乃、金田英宏、鈴木仁研、村田勝寛、國生拓摩、石原大助、大藪進喜 (名古屋大学)、山岸光義 (ISAS/JAXA)

星形成銀河には、異なるサイズや成分、構造を持った様々な種類の豊富なダストが存在する。これらのダストは、光電効果を通して星間ガスを暖めたり、表面での触媒反応で分子の形成を促進するなど、銀河の物質進化において重要な役割を果たす。そのダストの一種には、多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) や、鎖状炭化水素 (Aliphatic Hydrocarbons) などから構成される炭素質ダストが存在し、それぞれの物理的・化学的性質に応じたスペクトルを赤外域で放射する。しかし、これらの炭化水素ダストの形成や破壊メカニズムは、完全には理解されていない。

そこで、本研究では、物理状態が異なる様々な銀河に対して、aliphatic や aromatic 炭化水素ダスト放射の光度 (L_{ali} , L_{aro}) と赤外線光度 (L_{IR}) との関連性を調べることで、どのようなプロセスで炭化水素ダストが変成を受けているのかを調査した。サンプルは、活動銀河核を持つ銀河を除いた、赤方偏移 $z < 0.3$ の純粋な星形成銀河 123 天体である。これらの銀河に対して、「あかり」近赤外線分光観測データを用いて、 L_{ali} と L_{aro} の光度比 ($L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$) を求めた。また、「あかり」、IRAS、WISE の測光観測データを用いて、銀河の星形成活動度を示す L_{IR} を求めた。その結果、 L_{IR} が高い銀河ほど、 $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が低い傾向にあり、特に L_{IR} が $10^{12}L_{\odot}$ を超える超高光度赤外線銀河では、 $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が極端に低くなるものが存在することが分かった。さらに、先行研究の銀河の形態分類のデータと比較すると、 $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が低い銀河の多くは、衝突銀河であることが分かった。以上の結果は、星形成活動や銀河衝突によって、炭化水素ダストの形成及び破壊が生じている可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04a 「あかり」中間赤外線の減光を利用した NGC2403 の銀河ハロー領域における
ダスト質量の推定

鶴飼壮太 (名古屋大学)、山岸光義 (ISAS/JAXA)、金田英宏、鈴木仁研、岡部愛 (名古屋大学)

銀河内の星形成活動などによって銀河ハローへ流出したダストは、大きな空間スケールでの物質循環を担う重要な存在となる。しかしハローダストからの放射は、銀河円盤起源のものに比べて暗いため、一部のエッジオン銀河を除いて直接検出することは非常に難しい。そこで我々は、ダストの吸収フィーチャー (波長 $9.7 \mu\text{m}$) を「あかり」の波長 $7, 11 \mu\text{m}$ 帯を用いて観測することによって、間接的にハローダストを検出するというアプローチを試みている。波長 $7, 11 \mu\text{m}$ バンドでシリケート系ダストの吸収を観測した場合、 $7 \mu\text{m}$ 帯よりも $11 \mu\text{m}$ 帯で強く減光を受ける。そのため、視線方向上にダストが多い領域では、 I_7/I_{11} 比が系統的に大きくなると期待される。

本講演では、このアイデアに基づいて近傍銀河 NGC 2403 ($i \sim 60^\circ$, $\text{SFR} \sim 1 M_\odot/\text{yr}$) に対する解析を行った結果を報告する。 I_7/I_{11} 比の空間分布を調べた結果、P.A. と垂直な方向に大局的な勾配があることがわかった。一般に、中間赤外線帯の放射源は、多環芳香族炭化水素 (PAH) であると考えられている。しかし、PAH の性質は銀河スケールでは一定のため、PAH によって大きな勾配が生じたとは考えにくい。そこで我々は、銀河円盤から出た中間赤外線が、ハローの通過距離に応じて減光されているという描像を提唱する。 I_7/I_{11} 比の空間変化をモデル化し、典型的な星間ダストモデルを介してダスト質量 M_{abs} を概算したところ $5 \times 10^8 M_\odot$ と求めた。つまりこの結果は、NGC 2403 のような穏やかな銀河のハローにも、大量のダストがあるという可能性を示唆している。一方、Herschel による遠赤外線放射の観測から、同じ星間ダストモデルを用いてダスト質量 (M_{em}) を求めたところ、 $M_{\text{em}}/M_{\text{abs}} \sim 10$ という矛盾した結果が得られた。本講演では、この矛盾の原因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](#)

R05a 銀河系内拡散光の観測で探る星間ダストの散乱特性

佐野圭 (東京大学, ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大学)

銀河系内拡散光とは、星間ダストによる星光散乱成分であり、紫外線から近赤外線で観測される。銀河系内拡散光のスペクトルは、星間ダストのアルベドやサイズ分布を制限するのに有用である。また、ダスト粒子サイズが電磁波の波長と同程度の場合に起こるミー散乱では前方への散乱が強くなる。その前方散乱の程度に応じて、銀河系内拡散光は低銀緯ほど明るくなるという銀緯依存性を有することが理論的に予言されていた。我々は Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE) によって得られた近赤外線の全天マップを解析し、銀河系内拡散光の銀緯依存性を観測することに成功したが、得られた銀緯依存性は非常に急であり、現状の星間ダストモデルより前方への散乱が強くなければ再現できない。しかし、銀緯依存性の理論式の計算に用いられた Henyey-Greenstein の位相関数は、現状の星間ダストモデルの位相関数を再現しないことが指摘されていた。そこで、我々は星間ダストモデルの散乱角依存性を再現する位相関数を用いて、銀河系内拡散光の銀緯依存性を再計算した。すると、以前の理論式よりも急な銀緯依存性が得られた。したがって、観測された銀緯依存性を説明するためには、星間ダストモデルに比べてそれほど前方散乱が強い必要はない。その一方で、新たな理論式でも、観測された急な銀緯依存性を完全に説明するには至らなかった。それを説明するためには、従来のダストモデルより大きいダスト粒子や、球形でないダストによる散乱を加味する必要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](#)

R06a Emergence of a stellar cusp by a dark matter cusp in a low-mass compact ultra-faint dwarf galaxy

井上 茂樹

Recent observations have been discovering new ultra-faint dwarf galaxies as small as ~ 20 pc in half-light radius and $\sim 3 \text{ km s}^{-1}$ in line-of-sight velocity dispersion. In these galaxies, dynamical friction on a star against dark matter can be significant and alter their stellar density distribution. The effect can strongly depend on a central density profile of dark matter, i.e. cusp or core. In this study, I perform analytic computations using the Chandrasekhar formula and N -body simulations to study how dynamical friction change a stellar density profile and how different it is between a cuspy and a cored dark matter haloes. This study shows that, if a dark matter halo has a cusp, dynamical friction can cause shrivelling instability which results in emergence of a stellar cusp in the central region $\lesssim 2$ pc. On the other hand, if it has a constant-density core, dynamical friction is significantly weaker and does not generate a stellar cusp even if the galaxy has the same line-of-sight velocity dispersion. In such a compact and low-mass galaxy, since the shrivelling instability by dynamical friction is inevitable if it has a dark matter cusp, absence of a stellar cusp implies that the galaxy has a dark-matter core. I expect that this could be used to diagnose a dark matter density profile in these compact ultra-faint dwarf galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07a 矮小銀河の化学力学進化から探る銀河内での重元素の混合効率

平居悠 (東京大学), 斎藤貴之 (東京工業大学)

銀河内で放出された元素がどの程度の効率で周囲のガスと混合するのかは未だ明らかになっていない。銀河系や局所銀河群の矮小銀河の超金属欠乏星における α 元素組成比 ($[\alpha/\text{Fe}]$) は、星ごとの分散が 0.2 dex 程度と小さいことが知られている。一方、 r プロセス元素組成比 ($[r/\text{Fe}]$) は、銀河系ハローでは、3 dex 以上の大きい分散があり、典型的な矮小楕円体銀河では、銀河系ハロー星に比べてやや低い傾向にある。これらの化学組成は、銀河中で放出された元素の混合過程と深く関連しており、銀河の化学力学進化計算と金属欠乏星の観測により、銀河中での元素の混合効率を制限できる可能性がある。本研究では、銀河内での元素の混合効率を明らかにすることを目的とし、元素の混合過程を考慮した矮小銀河の N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics 計算を行った。異なる元素の混合効率を仮定して計算した結果、 $[\alpha/\text{Fe}]$ は元素の混合効率に大きく依存しなかった。これは、 α 元素を放出する超新星爆発の頻度が十分に高いため、1 回のイベントで放出された α 元素が銀河中に拡散するより早く銀河全体が α 元素で汚染されたことを示唆する。一方、 $[r/\text{Fe}]$ を用いると、より強く混合効率を制限できる。小さい混合効率を仮定した場合、観測と比べて極端に高い値の $[r/\text{Fe}]$ を持つ星が生まれる。矮小楕円体銀河に見られる低い $[r/\text{Fe}]$ を説明するためには、混合効率は、乱流理論から予測される値の 10^{-1} 以上である必要がある。さらに、混合効率が大きいほど、元素組成比の分散は小さくなる。これらの結果は、 r プロセス元素と α 元素の起源天体の違いを反映している可能性を示唆している。 r プロセス元素は α 元素に比べて低い頻度で放出されるため、銀河の r プロセス元素分布には、元素の混合過程が大きく影響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](#)

R08b 星種族による金属量分布の違いから探る Sculptor dSph の化学進化

本間英智 (国立天文台)

こと座 RR 型変光星 (RRL) は低質量の比較的短時間で変光する変光星であり、距離指標として用いられるだけでなく、10 Gyr 以上前の古い星種族を反映している天体でもある。そのため RRL の金属量は、銀河のごく初期の化学進化を反映している。Sculptor 矮小楕円体銀河 (dSph) において発見された RRL では、その金属量の測定によって矮小銀河の初期の化学進化について研究が行われている。これまで我々は、矮小銀河の色等級図から推定された星生成史に従って化学進化を計算するモデルを用いて、赤色巨星分枝星 (RGB) の金属量分布を説明することによって、矮小銀河の化学進化について調べてきた。しかしこれまでの化学進化モデルでは、観測データとの比較の際には RGB や RRL といった星種族の違いは考慮されていなかった。本研究ではこれら星種族の違いによる金属量分布への効果を考慮し、さらに RGB と同時に RRL の金属量分布もモデル解析に加えることによって、特に Sculptor dSph の初期の化学進化について詳しく調べた。その結果、これまでの化学進化モデルでは矮小銀河の RGB および RRL の金属量分布を同時には説明できず、Sculptor dSph の初期の ~ 2 Gyr における星生成史および化学進化に対してより細かいタイムスケールで議論できることが分かった。本講演では、星種族の違いを化学進化モデルに反映することによって詳しく調べられるようになった Sculptor dSph の初期の化学進化について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09b 初代銀河の衝突で誘起される球状星団形成について

荒田翔平 (東北大学/大阪大学), 矢島秀伸 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学)

我々の天の川銀河にはおよそ 160 個の球状星団が存在する。球状星団とは数十万個もの星が数パーセク以内に密集した、非常に密度の高い星団である。観測的には古くから調べられており、天の川銀河に存在する球状星団のほとんどが 100 億年以上の年齢を持つこと、太陽に比べおよそ 1/10 倍から 1/100 倍の金属量の星から成ることなどが知られている。このように球状星団は宇宙初期に形成され、宇宙再電離に寄与した可能性もあるため、宇宙論の観点からも興味深い天体であるが、その形成や進化のメカニズムについては未解明のままとなっている。Trenti et al.2015 では宇宙論的な N 体シミュレーションを行い、球状星団は初代銀河の合体時に形成された可能性が高いことが提案された。そこで今回我々は、初代銀河の合体時のガスダイナミクスを 3 次元流体シミュレーションで詳細に調べ、球状星団形成の可能性を探った。その結果、現在の球状星団の金属量 (0.1-0.01 太陽金属量) の場合、銀河衝突に伴う衝撃波後面にて熱的不安定性によって多数のガスクランプの形成が確認された。しかし球状星団の母体となるような大質量のガスクランプは形成されなかった。これはより大きなスケールでの熱的不安定性によるクランプ形成が銀河のダイナミクスによって阻害されるためである。現在の球状星団よりも低い金属量 (0.001 太陽金属量) の場合では、熱的不安定性は起こらないが、銀河中心に大量のガスが輸送されることで、球状星団程度の質量のガスクランプが形成されることが示唆された。この大質量ガスクランプは重力不安定性により分裂し星団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](#)

R10b 鉄 K 殻輝線精密診断による銀河系拡散 X 線放射の起源

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

銀河系には個々の天体に分解できない拡散 X 線放射が存在し、その空間分布から、銀河中心 (GCXE)、バルジ (GBXE)、リッジ (GRXE) の 3 成分に分解できる。GCXE、GBXE、GRXE の起源として、強磁場激変星 (mCV)、弱磁場激変星 (non-mCV)、コロナ星の連星系 (AB) といった点源の集まりとする説が有力視されている。我々は FeI K α ($E = 6.40$ keV)、FeXXV He α ($E = 6.68$ keV)、FeXXVI Ly α ($E = 6.97$ keV) 輝線の等価幅に注目し、「すざく」アーカイブデータを用いて、GCXE、GBXE、GRXE、および上記の点源のスペクトル解析を行った。GBXE のスペクトルは mCV、non-mCV、AB のスペクトルの足しあわせで概ね再現できた。一方、GRXE のスペクトルは、FeI K α と FeXXV He α 輝線で有意な超過が残った。つまり、mCV、non-mCV、AB 以外で、冷たいガスと高温プラズマの両方を兼ね備えた成分が必要である。GCXE のスペクトルは、鉄とニッケルのすべての K 殻輝線で大きな超過を示した。その中でも最も超過が大きいのは FeI K α 、FeXXV K α 、FeXXVI Ly α 、FeXXVI Ly β 輝線であった。FeI K α 、FeXXV K α 、FeXXVI Ly α のスケールハイトが Central Molecular Zone (CMZ) と近い値であることを合わせて考慮すると、超過成分は CMZ の極限環境における高エネルギー活動と関連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](#)

R11a 銀河系バルジ領域における拡散X線強度と近赤外星数面密度の空間分布比較

長友竣, 長田哲也, 栗田光樹夫, 木野勝, 善光哲哉, 鶴剛 (京都大学), 山内茂雄, 信川久実子 (奈良女子大学), 信川正順 (奈良教育大学), 西山正吾 (宮城教育大学)

銀河系の広い範囲にわたって、点源として分解できない拡散したX線 (GDXE) が観測されている。この放射は連続成分に加え、光学的に薄い熱的プラズマからの放射と考えられる鉄輝線 (6.7 keV, 6.97 keV)、6.4 keV の中性鉄由来の輝線からなる。鉄輝線の空間分布から、GDXE は銀河面、バルジ、銀河系中心の3成分に分けられると考えられる (Yamauchi et al. 2016)。GDXE の放射源として、「真に広がったプラズマ説」と「点源説」があるが、両説とも GDXE のスペクトルから空間分布までを説明するには至っていない。点源説の根拠として、GDXE を極めて深い観測によって点源に空間分解したこと、その観測領域のX線強度と近赤外線面輝度の比が「銀河面」での比と整合することがあげられるものの、実はその領域はバルジであり、また3輝線の分解も行われていない。

我々は、バルジ領域の鉄輝線強度分布が明らかになっている Yamauchi et al. (2016) の銀緯 -5° までの12領域 ($l = 0^\circ$, $l = 1^\circ.5$ で各6領域) において、VISTA Variables in the Via Lactea (VVV) の H, K_S バンドデータから星数面密度 (以下、星数分布) を求めた。近赤外線の「面輝度」分布とX線強度分布とを比較していた多くの先行研究とは異なり、星数分布は個々の星に対して減光補正と前景星の除外が可能なので、正確な比較ができると期待される。銀河系中心周辺の星数面密度分布を求めた Yasui et al. (2015) と同様の方法でM型巨星の星数分布を求めた結果、スケールハイトは約2度だった。この値は6.7 keV, 6.97 keV 輝線強度分布と一致しており、6.4 keV 輝線分布とは異なる。本講演では星数分布をさらに詳細に報告し、鉄輝線の放射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](#)

R12a Stellar mass and star formation rate relation of infrared-bright dust-obscured galaxies selected with AKARI far-infrared all-sky survey

Yoshiki Toba (ASIAA), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Wei-Hao Wang (ASIAA), Hideo Matsuhara (ISAS/JAXA), Masayuki Akiyama (Tohoku Univ.), Tomotsugu Goto (NTHU), Yusei Koyama (NAOJ), Youich Ohyama (ASIAA), Issei Yamamura (ISAS/JAXA)

We investigate the star forming activity of a sample of infrared (IR)-bright dust-obscured galaxies (DOGs). Since IR-bright DOGs are likely to correspond to be a maximum phase of star formation and/or active galactic nucleus (AGN) activity in the context of major merger scenario, they could be a crucial population in galaxy formation and evolution. Combining the IR-bright DOGs (flux at $22 \mu\text{m} > 3.8 \text{ mJy}$) discovered by Toba & Nagao (2016) with *AKARI* far-IR (FIR) all-sky survey bright source catalog version 2, we selected 64 DOGs with FIR data. We estimated their IR luminosity, star formation rate (SFR), and stellar mass for a subsample of 11 IR-bright DOGs with spectroscopic redshift ($0.05 < z < 1.0$) based on the spectral energy distribution fitting. We found that (i) *WISE* $22 \mu\text{m}$ and *AKARI* $90 \mu\text{m}$ luminosity at observed frame are good indicators of IR luminosity for IR-bright DOGs and (ii) the contribution of AGN to IR luminosity increases with IR luminosity. By comparing the stellar mass and SFR relation for our DOG sample, control sample of *AKARI*-detected galaxies, and literature, we found that most of the IR-bright DOGs lie significantly above the main sequence of star-forming galaxies at similar redshift, indicating that the majority of *AKARI*-detected IR-bright DOGs are starburst galaxies (Toba et al. 2017 to be submitted).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13a 近赤外から遠赤外線広帯域観測に基づくヒクソン・コンパクト群構成銀河の活動度の調査

池内 綾人, 左近 樹, 尾中 敬 (東京大学), Frederic Galliano (CEA/Saclay), Ronin Wu (LERMA / Observatoire de Paris)

銀河の星間ダストは、主に大質量星による紫外線や活動銀河核のエネルギーを受けて赤外線で再放射を行う為、銀河の赤外線スペクトル観測から最近の銀河の活動度を知ることが出来る。中間赤外線波長域に見られる未同定赤外線バンドやガスによる輝線の観測からは、星間物質の物理状態を細やかに把握することが可能である。一方、遠赤外線熱放射からは、ダスト質量の大部分を占めるサブミクロンサイズのダストの質量に対する制限が得られるが、 $100\mu\text{m}$ を超える波長域では、Herschel 衛星の登場までは十分な空間分解能で精度の良い観測を行うのが困難であった。本研究では潮汐相互作用が働いていると考えられるヒクソン・コンパクト銀河群 (HCGs) の赤外線ダスト放射の観測に基づいて、潮汐相互作用が銀河の活動度に与える影響を調査した。まず、あかり衛星近・中間赤外線カメラ (IRC) のスリットレス分光観測及びあかり, Spitzer, Herschel 衛星の撮像観測で、構成銀河の全てが観測された銀河群である HCG 56 及び 92 のデータ解析を行い、各構成銀河の赤外ダスト放射の詳細な SED を構築した。さらに、各構成銀河の赤外線ダスト SED fitting を実施し、PAH 放射/全赤外線放射強度及び銀河の星質量に対する星形成率を導出した。本講演では、これらの結果に基づいて、各構成銀河の現在の星形成の活動度を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14a 近赤外線吸収観測が示唆する超高光度赤外線銀河内部の星形成領域における 苛烈な紫外線環境

道井亮介 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 磯部直樹 (東京工業大学), 馬場俊介, 矢野健一 (東京大学, ISAS/JAXA)

Ultraluminous Infrared Galaxy (ULIRG; $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\odot}$) は赤外線で見ると、中心部で爆発的星形成が起こっている銀河である。しかし ULIRG 内部と銀河系の星形成領域の物理的性質の違いは明らかでない。この違いを探る指標として我々は $3.0 \mu\text{m}$ の H_2O ice の吸収と $3.4 \mu\text{m}$ の脂肪族炭化水素の吸収を提案する。銀河系での星形成の母体は dark cloud ($A_V > 5 \text{ mag}$ の分子雲) であり、diffuse cloud ($A_V \sim 1 \text{ mag}$) と対をなす。 H_2O ice/脂肪族炭化水素の吸収は、それぞれ dark/diffuse cloud のみを選択的に反映することが知られている。従ってこれらを組み合わせると ULIRG の紫外線環境の情報が得られる。銀河系の dark/diffuse cloud と ULIRG の比較にはこれらの吸収の正確な評価が必要となるが、観測上の制約などから従来の研究では正確に評価されているとは言い難い。

そのため我々は、赤外線天文衛星「あかり」による ULIRG 約 50 天体の近赤外線分光観測を利用し、 $2.5 - 4.0 \mu\text{m}$ に渡って統一的なスペクトルフィッティングを行った。吸収近傍の他 feature の寄与も適切に考慮することで、正確な光学的厚みのリストの構築に成功した。従来研究 (e.g. Imanishi et al. 2008, PASJ, 60, S489) と今回の結果を比較すると、 H_2O ice では平均して光学的厚み τ は $\tau_{\text{this work}} \sim 0.3\tau_{\text{previous}}$ 程度となる。また今回の結果から、全ての ULIRG において $\tau_{\text{H}_2\text{O ice}}$ は、星形成領域が dark cloud の量的拡張である場合に期待される値よりも小さいことが判明した。これは ULIRG 内部の星形成領域は diffuse cloud 成分が寄与し、苛烈な紫外線環境下にあることを示唆する。本講演では従来の光学的厚み評価からの比較とともに、ULIRG 内部の紫外線環境の議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15a Shock-induced Starbursts in the Nearby Merging LIRG VV 114 with ALMA

Toshiki Saito (UTokyo, NAOJ), Daisuke Iono (NAOJ, SOKENDAI), Ryohei Kawabe (NAOJ, UTokyo, SOKENDAI), and VV 114 research group

We present high sensitivity, high resolution observations of multiple HCN, HCO⁺, and CH₃OH rotational lines toward the nearby bright mid-stage merger VV 114 with ALMA Band 3, 4, 6, and 7. VV 114 is known to have dust and gaseous filament (6 kpc length) across the progenitor's galaxies. The filament harbors three distinctive regions; a hard X-ray AGN, starbursting clumps, and Overlap region at the collision front. With deriving excitation conditions under LTE and optically-thin assumptions, we find that CH₃OH abundance ($X_{\text{CH}_3\text{OH}}$) peaks at the Overlap region, whose value is almost an order of magnitude larger than the nuclear region. This indicates that the presence of AGN and starburst activities suppress $X_{\text{CH}_3\text{OH}}$ at the nuclear regions by strong photodissociation (i.e., efficient destruction) and/or desorption of the precursor molecule CO (i.e., inefficient production), and merger-induced shocks enhance $X_{\text{CH}_3\text{OH}}$ at the Overlap region. We also find that Σ_{SFR} strongly correlates with line ratios and flux densities of HCN and HCO⁺, indicating that star formation may govern the physical properties of dense gas ISM in the filament of VV 114, although the putative AGN position doesn't fit to this scenario. In addition, we found that the star formation efficiency doesn't simply correlate with the dense gas fraction. By adopting the turbulence-regulated star formation model, we suggest that the Overlap region has diffuser and more turbulent dense gas properties relative to dense gas at the eastern nucleus. This is consistent with the shock explanation of the $X_{\text{CH}_3\text{OH}}$ enhancement at the Overlap region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R16c 衝突銀河 NGC 3256 における分子ガスアウトフローの RADEX モデリング

道山知成 (総研大/国立天文台), Kazimierz Sliwa (MPIA), 伊王野大介 (総研大/国立天文台), 他

分子ガスアウトフローは星形成の材料やブラックホールに降着するガスを吹き飛ばすことで銀河進化に影響を与える。しかし、そのメカニズムの詳細はわかっていない。近年のサブミリ波干渉計観測で系外銀河のアウトフローが直接観測できるようになった。衝突銀河 NGC 3256 は南北の中心核において、それぞれ分子ガスアウトフローか CO 輝線を用いて確認されており (Sakamoto et al., 2014)、南側は AGN 起源北側は爆発的星形成起源だと考えられている。本発表では、衝突銀河 NGC 3256 に着目し、HCN (1-0), HCO⁺(1-0), CO (2-1) の分子ガスアウトフロー観測を紹介する。これら全ての輝線において、アウトフローの観測に成功した。C0 (3-2)/CO (1-0) や HCN (1-0)/CO (1-0) 比等から、AGN 起源アウトフローは爆発的星形成起源のアウトフローと比較して加熱圧縮メカニズムが強く影響していることがわかった。さらに、RADEX モデリングとベイズ統計解析を適用し、分子ガスアウトフローの温度密度の推定も行った。それぞれのアウトフローでは、温度密度の推定値に統計的に優位な差は見られなかった。しかし、この解析結果は輝線比による議論を完全に否定するものではなく、より high-J 輝線の観測がより精度の高い物理状態の見積もりには必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17a Development of the Multi-Parameter Star Formation Law: II

Shinya Komugi (Kogakuin Univ.), Rie E. Miura, Hiroyuki Kaneko (NAOJ), Tomoka Tosaki (Joetsu Univ. of Education), Sachiko Onodera, Yuya Tsuda (Meisei Univ.), Nario Kuno (Univ. of Tsukuba), Yutaro Kitagawa, Kentaro Motohara, Ken Tateuchi (Univ. of Tokyo)

In ASJ 2013b (R23a), we reported on the discovery of a set of scaling relations between physical conditions of the ISM and star formation activities at the scale of GMCs, utilizing the principle component analysis. Physical parameters considered were star formation rates, total molecular gas masses, dense molecular gas masses, stellar masses, dust masses and evolutionary stages of GMCs. Here we present a re-analysis of the results with updated data. The two CO lines show the strongest correlation, with minor modulations from the star formation rate. The correlation between dust mass and star formation rate is also prominent, indicating that dust may trace molecular gas better than CO at these scales. In order to verify these results in another galaxy, we further present results from an ASTE 12CO(J=3-2) survey of 42 star forming regions within the southern spiral galaxy NGC300. We compare the 12CO(J=3-2) flux with 12CO(J=2-1) detections at APEX, catalogued star formation rates, stellar cluster ages, and dust emission from the literature. The relations are consistent with those observed in M33.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18c 銀河の性質と分子ガスの中心集中度の関係：統計的研究 II

隈井泰樹（熊本学園大学）

渦状銀河における分子ガスの動径方向の分布の決定要因を解明するために、我々は前回、様々な文献から観測データを収集して、近傍銀河の分子ガスの中心集中度と親銀河の構造や kinematics を表す観測量の関係について統計的調査を行い、分子ガスの中心集中度に対するバルジや円盤部の非軸対称構造（バーや渦状腕）の寄与を示唆する結果を得た（日本天文学会 2016 年春季年会・R18c）。今回、我々はデータを増やしてより詳しい統計的調査を行って、前回の結果を確認すると共に、いくつかの新しい結果を得た。その主なものを以下に示す。

(1) 回転速度の大きな銀河は分子ガス質量の中心集中度が低い。他方、銀河中心の星の速度分散と分子ガス質量の中心集中度の間には顕著な相関は見られない。

(2) バルジの全体に対する質量比が大きな銀河では分子ガス質量の中心集中度は大きい。一方、そのような銀河では分子ガス密度の中心集中度は小さい。これらの関係はバー構造を持つ銀河と持たない銀河で異なる傾向がある。pseudo-bulge を持つ銀河では上記の相関はより顕著であり、またそれらの銀河ではバルジの Sersic index と分子ガスの中心集中度には正の相関がある。

(3) 非軸対称構造（バーや渦状腕）の銀河円盤の構造への寄与が大きな銀河では分子ガス質量、および分子ガス密度の中心集中度が高い。

(4) 同じ回転速度もつ銀河や同じハッブルタイプの銀河で比べたときに、銀河団や規模の大きな銀河群の銀河、あるいはまわりの局所銀河密度が非常に高い銀河で、分子ガス質量の中心集中度の低い銀河は稀である。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、分子ガスを中心集中させる機構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](#)

R19b 近傍 LIRG の星形成活動

大橋宗史、本原顕太郎、小西真広、高橋英則、舘内謙、北川祐太郎、寺尾恭範、加藤夏子、吉井讓（東京大学）、小麥真也（工学院大学）

我々はチリのアタカマに設置された miniTAO/ANIR の Pa α のデータを用いて、空間分解された Stellar-mass/SFR (Star Formation Rate) main sequence を近傍 LIRG (Luminous Infrared Galaxies) で調べた。

LIRG とはその全赤外光度が $L(8-1000\mu\text{m}) > 10^{11}L_{\odot}$ と赤外線で非常に明るい種族であり、その特徴のひとつとして大きな減光と、ダストに深く埋もれた爆発的な星形成活動が挙げられる。星形成活動を支えている物理機構を調べるためには、銀河内の各領域での星質量面密度やガス質量面密度、星形成率面密度などの空間情報を知ることが非常に有益となる。しかし星形成の指標としてよく用いられる可視輝線や紫外連続光では減光を激しく受け、中間・遠赤外線では空間分解能が不足するため、ダストに深く埋もれた星形成領域の様子を詳細に知ることが非常に困難である。そこで我々は miniTAO/ANIR で取得された、近傍 LIRG の Ks バンド撮像および水素電離輝線 Pa α (静止系波長 1.875 μm) 狭帯域フィルタ撮像データに着目した。

我々は約 40 天体について星形成率と星質量の空間マップを作成した。その結果、1kpc 以下のスケールにおいても星質量と星形成率の相関関係 (Spatially resolved Star Formation Main Sequence) が成り立つことが明らかになった。ただしその分散や offset は天体によって大きく異なり、その物理状態や形成過程、進化段階が異な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](#)

R20b 水素再結合輝線強度比異常が示唆する超高光度赤外線銀河の高密度星形成

矢野健一 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), Matthew Malkan (UCLA), 磯部直樹 (東京工業大学), 白旗麻衣 (株式会社ジェネシア), 馬場俊介, 道井亮介 (東京大学, ISAS/JAXA), Vanshree Bhalotia (UCLA)

水素再結合輝線は、その強度比が理論的に求まり、電離光子の良い指標となるため、銀河の星形成活動を調べるため広く用いられている。今回我々は「あかり」の観測から、爆発的星形成を行う超高光度赤外線銀河 ($L_{\text{IR}} \geq 10^{12} L_{\odot}$) において、赤外線 $\text{Br}\alpha$ ($4.05 \mu\text{m}$)、 $\text{Br}\beta$ ($2.63 \mu\text{m}$) の輝線強度比が、通常の星形成領域とは全く異なる例があることを発見した。このことは、これらの銀河の星形成環境が特異な物理状態にあることを示唆する。

49 天体の $2.5\text{--}5.0 \mu\text{m}$ 近赤外線スペクトルの解析から、29 天体で $\text{Br}\alpha$ 、 $\text{Br}\beta$ 輝線を検出し、その強度比を求めた。このうち 3 天体で、 $\text{Br}\beta/\text{Br}\alpha$ 輝線強度比が、通常用いられる case B における理論値 (0.565) に比べ有意に高く (最も高い天体で 1.03 ± 0.04) なっていた。塵による減光では短波長の $\text{Br}\beta$ 輝線がより強く減光され、 $\text{Br}\beta/\text{Br}\alpha$ 強度比は減少する。このため、観測された輝線強度比は case B と塵による減光では説明することができない。

我々はまず、この異常が他の輝線の混入などでは説明できないことを明らかにした。次に、水素を励起する機構として再結合、衝突励起、共鳴励起の 3 つを考え、強度比異常の原因を考察した。この結果、高密度環境において再結合効率が上がり、電離領域内の中性水素の量が増えることで $\text{Br}\alpha$ 輝線が optically thick になる場合、強度比異常が起こり得ることを見出した。また、Cloudy によるシミュレーションを用いて、ガス密度が $n = 10^8 \text{ cm}^{-3}$ の場合に、観測された強度比異常が説明できることを明らかにした。この結果は、これらの銀河では $n = 10^8 \text{ cm}^{-3}$ の高密度環境において星形成が行われており、莫大な赤外線光度を生み出す一因と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](#)

R21b Cosmic-Ray Driven Galactic Winds from an Ultraluminous Galaxy

Akimi Fujita (Shinshu University), Mordecai-Mark Mac Low (American Museum of Natural History)

In our most recent models of galaxy formation, halos with masses $\sim 10^{12} M_{\odot}$ overproduce stars at the present epoch. This mass appears to be the transition mass at which the main driver of regulating star formation (SF) is supernova (SN) feedback below and active galactic nucleus (AGN) feedback above. However, models of SN feedback at this scale have only included thermal energy to date. We therefore run simulations of galactic winds from such a galaxy including both SN thermal energy and cosmic-rays (CR). We use a galaxy with $5 \times 10^{12} M_{\odot}$ that resembles a local ultraluminous galaxy, in which SN thermal feedback alone is no longer effective in loading a large amount of gas from its deep potential, but AGN feedback still remains quiescent. We use a two-fluid model for the thermal gas and relativistic CR plasma with isotropic CR diffusion in the ENZO adaptive mesh refinement code. We employ a finest resolution of 0.2pc to resolve shocks and swept-up shells and their fragmentation by Rayleigh-Taylor instability. Our preliminary results show that the lower compressibility of the CRs drives a more effective outflow, and that CRs thicken the shells lowering their densities by a factor of a few, and so reduce radiative loss of thermal energy as well as the amount of fragmentation, compared to our pure SN thermal energy-driven wind. We will show the effects of CR pressure on accelerating fragmented shells out to the halo and discuss its role in regulating future SF.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a 銀河風の遷音速モデルと星形成銀河への応用

五十嵐朱夏、森正夫（筑波大学）、新田伸也（筑波技術大学）

銀河からガスが流出する銀河風は、銀河進化を決定する重要な現象であるとともに、銀河間空間の化学進化に影響する。我々は、球対称定常遷音速銀河風のポリトロピック流体モデルを用いて、遷音速銀河風の基本的性質について議論を行ってきた。その結果、ダークマターハロー質量分布やエネルギー量などによって、遷音速銀河風には音速点が形成される半径の全く異なる2種類の遷音速解が存在することがわかった (Igarashi et al. 2014)。この2種類の遷音速解の存在は、銀河質量や星形成率などの違いが、銀河風加速過程を大きく変化させる可能性を示している。

今回、このモデルを近傍の星形成銀河で観測されている銀河風速度 (Heckman et al. 2015, 2016) に適用することで、質量流束や mass loading rate と、観測された銀河星質量や星形成率との関係を予想した。ここで、mass loading rate は銀河風の質量流束を超新星爆発の質量放出率で割ったものである。その結果、質量流束は星質量や星形成率が増加するほど大きくなる一方、mass loading rate は減少することがわかった。mass loading rate は銀河風が星間物質を巻き込むことで増加することから、この関係は、小質量銀河の方が大質量銀河よりこの巻き込みが起きやすいことを示す。また、パラメータによっては、大質量銀河の mass loading rate が1より小さくなることもあり、これは、大質量星から放出された質量が全て流出することなく、一部が銀河内にとどまる可能性を示している。さらに、我々は、高赤方偏移星形成銀河の1つであるライマンアルファ輝線銀河への適用も行った。本研究では、2つの適用結果を比較し、星形成銀河の銀河風加速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](#)

R23a 新たなディスクトレーサーとしてのOH/IR星のVLBI位置天文観測

中川亜紀治(鹿児島大学), 倉山智春(帝京科学大学), 関戸衛, 岳藤一宏, 川合 栄治(NICT) 井上 颯太, 山崎理史(鹿児島大学)

質量が $1 - 8M_{\odot}$ の星はその進化の末期にAGBと呼ばれる段階を経るが、このとき周期100 - 1000日程度の変光を示す。ここでの質量放出は激しく、銀河の化学組成などに影響すると考えられる。我々はVERAを用いて天の川銀河内のMira型変光星の多角的な観測的研究を進めており、これまでに10を超える星の距離を年周視差から決定し、成果をNakagawa et al. (2016)などで報告している。Mira型変光星は周期300日前後に集中するが、周期1000日を超える変光星も少ないながら確認されており、それらの星の多くはOH/IR星として分類される。本講演ではこうした極めて長い周期を示す星に対する新たな観測的研究をその科学的背景と共に紹介する。

Feast. (2008)によると周期1000日の星は質量が $4M_{\odot}$ 程度と考えられる。また星の進化の一般的な説明からその年齢は数億年と考えられる。数百万年程度の年齢を持つ星形成領域と違い、数億年の年齢を持つ天体の精密な位置天文観測例は今のところ皆無である。こうした星の位置天文観測を進めて、位置や運動を精密に計測することで、これまでに例のない年齢の天体について銀河系動力学モデルとの比較が可能になると考える。また周期 - 光度関係の確立が出来れば、更に多くの天体で距離などの情報取得が容易となり、観測と理論モデルの両面からの銀河動力学理解につながると考えられる。この研究を進めるため、OH/IR星によく付随するOH, H_2O , SiOのいずれかのメーザーを用いたVLBI位置天文観測を検討している。2016年11月にNICT鹿島宇宙技術センター34m望遠鏡で行ったOHメーザーの探査及びモニターを見据えた試験観測の結果や、中間赤外バンドでの周期 - 光度関係に関する予備的研究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](#)

R24c 制限付き Post-Newtonian の N 体シミュレーションコード開発

立川崇之 (早大理工研, お茶大理)

Sgr A* をはじめとして, 様々の銀河の中心に巨大ブラックホール (SMBH) が存在することが示唆されているが, その形成過程は様々なシナリオが提唱されており, まだ決定的なシナリオが確立されていない (Rees, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **22**, 471 (1984)).

形成過程の一つとして, 重い恒星の寿命が尽きてブラックホールになり, それらの集団が合体して SMBH になるというシナリオが考えられている. また, 中間質量ブラックホール (IMBH) が周囲の天体を取り込んで成長し SMBH が形成されるというシナリオが考えられている.

このような重力を主要な相互作用とする多体系の進化のシナリオを考える際に, 重力の強いブラックホールを取り扱うには一般相対論的效果が無視できないと考えられる. そこで本研究では Newton 重力に一般相対論的效果を取り込んだ, Post-Newtonian の N 体シミュレーションを行う. 手始めとして, 中心に IMBH のような天体が存在するとし, IMBH と恒星の相互作用は Post-Newtonian で評価し, 恒星同士の相互作用は Newton 重力で取り扱う, 制限のついた Post-Newtonian の N 体シミュレーションを取り扱う (Will, Phys. Rev. D **89**, 044043)).

一般に Post-Newtonian の N 体シミュレーションでは, 相互作用は $O(N^3)$ のオーダーになるが, 制限をつけることにより $O(N^2)$ に減らすことができる. また, この相互作用は各々の天体について並列に計算することができるため, GPGPU の技術を用いて高速化することができる. 本発表では GPGPU の技術を用いたコードの実装とその実行速度などの評価, およびコードを用いたシミュレーションのテスト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](#)

【S. 活動銀河核】

3月15日(水)午後(13:00-15:00) [A会場]

S01a	13:00	高感度 VLBI 電波観測による M87 ジェットの spine-sheath 構造の検出 秦和弘 (国立天文台)
S02a	13:12	43/86 GHz 周波数帯での VLBI 観測とスパースモデリングを用いた M87 中心核構造の研究 田崎文得 (国立天文台)
S03a	13:24	活動銀河 M87 の相対論的ジェットからの電波放射 高橋和也 (東北大学)
S04a	13:36	電波銀河 NGC 1275 の X 線と可視でのモニター観測 志岐健成 (広島大学)
S05a	13:48	多周波電波モニターで探るブレーザー DA55 のガンマ線フレア放射領域 新沼浩太郎 (山口大学)
S06a	14:00	ジェットを伴う潮汐破壊現象におけるガンマ線放射の探索と放射機構の解明 田中康之 (広島大学)
S07a	14:12	ブレーザー PKS 1749+096 の可視偏光観測から探るジェットの磁場構造 植村誠 (広島大学)
S08a	14:24	Disk-Jet Connection in Active Supermassive Black Holes 井上芳幸 (宇宙航空研究開発機構)
S09a	14:36	相対論的衝撃波中の宇宙線加速における加速時間の理論研究 野上雅弘 (青山学院大学)
S10a	14:48	ブレーザーにおける Hard Sphere 的粒子加速の観測的傍証 浅野勝晃 (東京大学)

3月16日(木)午前(09:30-11:30) [A会場]

S11a	09:30	活動銀河核ウィンドにおける宇宙線加速・非熱的放射と銀河フィードバックへの示唆 井上進 (理化学研究所)
S12a	09:42	クェーサーのアウトフローに見られる時間変動傾向の起源 堀内貴史 (信州大学)
S13a	09:54	IRAS 08572+3915 分光観測が示唆する分子アウトフローの起源の多様性 中川貴雄 (宇宙航空研究開発機構)
S14a	10:06	AGN 輻射駆動噴水モデル: Circinus galaxy での検証 和田桂一 (鹿児島大学)
S15a	10:18	The Second Galactic Center Black Hole?; Possible Detection of Accreting Ionized Gas onto the Galactic Center IRS13E Masato Tsuboi (宇宙航空研究開発機構)
S16a	10:30	高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 中における点状電波源の発見 岡朋治 (慶應義塾大学)
S17b	10:42	低質量超巨大ブラックホールの可視光度変動 谷口由貴 (東京大学)
S18b	10:42	電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの中間赤外線超過 磯部直樹 (東京工業大学)
S19b	10:42	VLBI 観測による High- z クェーサーの構造研究 古谷庸介 (山口大学)
S20b	10:54	NGC 1275 の新しいサブパーセクスケールのジェットの発見と降着円盤 藤田裕 (大阪大学)
S21b	10:54	自己無矛盾なラインフォース駆動型円盤風モデルの構築 野村真理子 (慶應義塾大学)
S22b	10:54	磁気張力による活動銀河核アウトフローのフィードバック効率の上昇 朝比奈雄太 (国立天文台)
S23b	11:06	3次元モンテカルロ輻射輸送計算による Circinus galaxy の分子ガス構造の解明 福重亮佑 (鹿児島大学)
S24b	11:06	高感度 VLBI 観測から探る 2 型セイファート銀河 IC2560 中心核の回転メーザー円盤 伊佐見薫 (筑波大学)
S25b	11:06	クェーサー 3C 323.1 の紫外-可視域連続光スペクトル中の偏光成分の起源 小久保充 (東京大学)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

S26b	11:18	活動銀河中心核における狭輝線領域の物理状態 米倉健介 (鹿児島大学)
S27b	11:18	理論モデルから予言される活動銀河核の“観測可能割合” 白方光 (北海道大学)
S28b	11:18	Subaru / Hyper Suprime-Cam を用いた高赤方偏移における低光度クェーサー探査 仁井田真奈 (愛媛大学)
S29c		OJ 287 の 2015 年アウトバースト時における電波強度変動 澤田-佐藤 聡子 (鹿児島大学)
S30c		BALQSO 視線における intrinsic NAL の探査 伊東大輔 (信州大学)
S31c		High-resolution imaging of H ₂ O maser towards the type 2 Seyfert NGC 1068 Yoshiaki Hagiwara (Toyo University)
3月16日(木)午後(13:30-15:42) [A会場]		
S32a	13:30	「ひとみ」による NGC 1275 の観測：初の活動銀河核 Fe-K α 輝線の精密分光 野田博文 (東北大学)
S33a	13:42	ひじょうに大きな吸収を受けた活動銀河核の「すざく」広帯域 X 線スペクトル系統解析 谷本敦 (京都大学)
S34a	13:54	活動銀河核から放射される X 線の時間変動と時間遅れ (ラグ) の解釈 水本岬希 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S35a	14:06	SWIFT J2127.4+5654 における時間変動を用いたモデル依存しない成分分解 三宅克馬 (東京大学)
S36a	14:18	セイファート銀河の広帯域 X 線スペクトル変動に対する統一的な解釈 (2) 楠絵莉子 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S37a	14:30	狭輝線 1 型セイファート銀河 NGC 4051 の X 線時間変動解析 II 清野愛海 (東京大学)
S38a	14:42	eROSITA による北黄極ディープサーベイ領域の隠された活動的銀河核の探査計画 松原英雄 (宇宙航空研究開発機構)
S39a	14:54	3–500 μ m IR properties of the 70-month <i>Swift</i> /BAT AGN Kohei Ichikawa (NAOJ, Columbia University)
S40a	15:06	「あかり」衛星遠赤外線全天探査で探る超大光度赤外線銀河種族 秋山正幸 (東北大学)
S41a	15:18	次世代赤外線天文衛星 SPICA による活動銀河核研究 大藪進喜 (名古屋大学)
S42a	15:30	中性水素起源の 21cm 線観測によるクェーサーの数分布の推定と観測可能性 竹内太一 (名古屋大学)

S01a 高感度 VLBI 電波観測による M87 ジェットの spine-sheath 構造の検出

秦和弘 (NAOJ), 浅田圭一 (ASIAA), 中村雅徳 (ASIAA), 紀基樹 (KASI/NAOJ), 他

活動銀河核 (AGN) から噴出する相対論的ジェットの内層構造の解明は高エネルギー天文学における長年のテーマである。これまでのブレーザー・電波銀河の多波長観測から、ジェット内部は単一の流れではなく、中心軸付近では速い流れ、外縁部では比較的遅い流れが包むという、多層構造モデル (いわゆる spine-sheath 構造) が AGN ジェット内部構造のパラダイムになりつつある。この描像によると、ジェットの見込み角が小さいブレーザーでは強く Doppler boost された spine 成分が卓越し、見込み角の大きな電波銀河では外縁の sheath 成分が放射を卓越すると考えられている。しかしながら、この描像の正当性に決定打を与える証拠はまだない。というのも、1つのジェットの中で spine と sheath の両方の成分を同時に撮像した観測例が未だに無いからである。

M87 は最近傍の電波銀河の 1 つである。これまでの電波観測から M87 ジェットは limb-brightening 構造 (外縁部が明るく、中心軸領域は暗い) を持つことはよく知られているが、多層構造の存在は (他の limb-brightening 天体同様) 間接的な示唆にとどまっていた。ところが最近、浅田らの VSOP データ再解析によって、M87 ジェットの中心軸付近に放射の「谷」ではなく「尾根」として映る成分の存在が示唆され、多層構造の傍証が得られ始めている (Asada et al. 2016 ApJ)。

我々はこれを受けて 2015 年 12 月、米国の VLBA と phased-VLA を結合した VLBI アレイを用いて M87 ジェットの嘗てない超高感度イメージング観測を行った。その結果、従来の limb-brightening 構造に加え、ジェットを中心軸上に、根元から約 10pc にわたって細く長く伸びる新たなリッジ成分を高い SNR で検出した。本成果は M87 ジェット内部に多層構造の存在を強く示唆するものであり、講演では速度場、駆動源についても詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a 43/86 GHz 周波数帯での VLBI 観測とスパースモデリングを用いた M87 中心核構造の研究

田崎文得 (国立天文台), 秦和弘 (国立天文台/総研大), 秋山和徳 (MIT), 池田思朗 (統計数理研究所), 倉持一輝 (東京大/国立天文台), 本間希樹 (国立天文台/総研大)

我々が開発した、『スパースモデリング』という新しい画像復元手法を使って、M87 中心核近傍を超長基線電波干渉計 (VLBI) で観測したデータから画像復元を行った。VLBI データからの画像復元は、観測量である複素ビジビリティに対して画素数が多い劣決定問題であるが、画像解の持つ情報の数 (値がゼロでないピクセルの数や隣り合うピクセルとの値の差がゼロでない組の数) が観測量よりも少ないと見なせることを利用して、問題を解くのが本手法である。

本研究では、43 GHz と 86 GHz の観測データでジェットの根元を復元し、従来の画像復元手法 (CLEAN; Hada et al. 2016 など) と比べてより詳細にジェットのダブルリッジ構造を捉えることに成功した。この構造はコアから少なくとも 100 マイクロ秒角 (43 GHz) と 90 マイクロ秒角 (86 GHz) の距離から始まっていることがわかり、CLEAN と比較して 1.5 – 6 倍もコアに近い構造を検出することができた。また二次元ガウス分布を仮定してコアの大きさを測定すると、全値幅が最大で 190 マイクロ秒角 (43 GHz) と 90 マイクロ秒角 (86 GHz) であり、それぞれシュバルツシルト半径の 27 倍/13 倍程度であると見積もることができた。これらの結果は、CLEAN の復元結果からビームサイズの寄与を除いて見積もられたコアサイズとほぼ一致し、いずれの周波数帯でも電波コアが広がった構造を持つ可能性が示唆された。

本発表では、これらの成果を報告するとともに、M87 ジェットの詳細なダブルリッジ構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S03a 活動銀河 M87 の相対論的ジェットからの電波放射

高橋和也 (東北大), 眞賢二 (東北大), 紀基樹 (KASI), 中村雅徳 (ASIAA), 秦和弘 (NAOJ)

M87 は比較的近傍に存在する中心ブラックホール質量が大きい活動銀河であり、VLBI 観測によって銀河中心から噴出する相対論的ジェットの細かい構造が明らかにされてきている。その電波ジェットの際立った特徴として、rim brightening と呼ばれるジェットの縁の明るい構造が知られている。電波ジェットは超巨大ブラックホールと降着円盤の系から磁場を介して噴出するプラズマからの電磁放射で光っていると考えられているが、観測される rim brightening を再現するジェットの理論モデルは現在まで知られていない。今回我々は、M87 の相対論的ジェットの構造を force-free 近似の下でモデル化し、そこから得られるシンクロトロン電波像を計算した。特に rim brightening に着目し、理論的に予言される像と VLBI 観測結果を比較することによって、M87 の相対論的ジェット構造に対して制限をつけた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a 電波銀河 NGC 1275 のX線と可視でのモニター観測

志岐健成, 深沢泰司, 田中康之, 植村誠, 川端弘治, 高木勝俊, 川端美穂, 中岡竜也, 安部太晴, 河原直貴, 廣地諄 (広島大学), 伊藤亮介 (東工大)

NGC 1275 はペルセウス銀河団の中に位置する電波銀河である。この天体は電波からガンマ線領域まで広い帯域で輝いていることが知られており、広帯域 SED はブレーザーよく似た構造を示す。特にガンマ線領域では短期間の激しい光度変動が報告されており (例えば ATel#8219 など)、これは中心に存在する活動銀河核のジェットに起因するものだと考えられている。一方で可視光・X線の領域では輝線の存在が確認されており、これらの領域では降着円盤からの放射が支配的である。過去の研究では可視光・X線領域における明確な光度変動はないとされてきたが (e.g. Yamazaki et al. 2013)、近年の研究では銀河核ジェットに起因するX線とガンマ線の同期した光度変動が指摘されている (Fukazawa et al. 2016)。このことから可視光域を含む広い波長帯域に渡って銀河核ジェットに由来する増光が期待される。

広島大学が所有するかなた望遠鏡は可視光と近赤外線の撮像・偏光撮像が可能である。我々はかなた望遠鏡を用いて NGC 1275 の可視光領域の長期的なモニター観測を行っている。さらに2015年10月にFermi衛星が検出したガンマ線の増光時には可視・近赤外領域の偏光観測を連続して行った。またSwift衛星とFermi衛星のX線・ガンマ線のアーカイブデータとこれらの結果を比較した。その結果、NGC 1275 のX線光度は2015年以降も上昇傾向にあり、X線光度とガンマ線光度の間に相関の兆候がみられた。本公演ではNGC 1275 の可視・近赤外の光度変動と偏光度変動の結果を報告するとともに、X線・ガンマ線との相関を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a 多周波電波モニターで探るブレーザー DA55 のガンマ線フレア放射領域

新沼浩太郎(山口大学), Orienti M., D'Ammando F., Lico R. (INAF/IRA), 紀基樹(KASI/NAOJ), 秦和弘(NAOJ), ほか GENJI プログラムメンバー

我々は2010年より国内のVLBI観測網VERAを用いたガンマ線AGNのモニタープログラム”GENJI”によって、DA55の高頻度VLBI観測を継続している。DA55は赤方偏移0.859に位置するブレーザーであり、Flat Spectrum Radio Quasar もしくは Low Synchrotron Peaked BL Lac に分類されている。また、Fermi ガンマ線望遠鏡の観測開始以来、LAT 検出器によって継続的に GeV ガンマ線が検出され続けている天体の一つでもある。

2013年1月末にDA55で発生したガンマ線及び可視光でのフレア(ATel#4779)の直前からGENJIプログラムによる22GHz帯の高頻度モニター(週に1度程度)を行っており、ガンマ線に遅れてVLBIフラックスが像光していく様子を詳細に捉えることに成功した。単一鏡で得られている他波長の電波観測結果を確認したところ、ミリ波からセンチ波にかけて増減光が遅延しつつも同様の振る舞いを示していることがはっきりと見て取れた。また最も波長の短い1mmにおいても、ガンマ線フレアのピークから100日以上遅れて増光のピークに達していることがわかった。他のブレーザーにおいても大規模なガンマ線フレアが発生した場合、DA55と同様に電波帯では波長が長くなるにつれて電波フレアの発生に遅延が見られることが報告されてきているものの、ガンマ線フレアとミリ波帯の電波フレアのピークは同期していることがほとんどであった。ガンマ線フレア後の電波帯での振る舞いについてDA55と他のブレーザーとの間に見られる差異を説明する可能性の一つとして、ジェットにおけるフレア発生領域の光学的厚みの違いを検討している。本講演ではDA55の光度曲線に見られるガンマ線フレアと電波フレアの関係およびその発生領域に関して議論した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06a ジェットを伴う潮汐破壊現象におけるガンマ線放射の探索と放射機構の解明

田中康之 (広島大学), 井上芳幸 (ISAS/JAXA)

潮汐破壊現象 (Tidal Disruption Event, TDE) では、星が巨大ブラックホールの近傍を通過する際に潮汐力によって破壊され、その一部がブラックホールに降着することによって、明るいフレアが発生すると考えられている。TDE は主として可視光と X 線で観測されており、フラックスが時間の $-5/3$ 乗に比例して減衰していくことが理論的に予言され、観測的にも確認されている。一部の TDE については、電波での対応天体の検出やエディントン光度を超える X 線光度から、ジェットの存在が示唆されているものも存在している。例えば、2011 年に Swift/BAT で検出された Swift J1644+57 では、可視 ~ X 線放射はジェットからの非熱的放射であると考えられている (e.g., Burrows et al. 2011, Kawamuro et al. 2016)。

このようなジェットを伴ったと考えられる TDE 5 例について、我々はフェルミ衛星のデータを用いて MeV/GeV ガンマ線放射を探索したが、有意なガンマ線放射は検出されなかった。この解析から得られたガンマ線フラックスの上限値とともに、Swift/XRT, UVOT のデータ解析から可視/UV/X 線フラックスを導出し、広帯域スペクトルを構築した。そして、プレーザーの SED モデリングで広く用いられている one-zone Synchrotron self-Compton plus external-Compton モデルを適用し、電子分布や磁場強度などの推定を行った。本講演では、これらの解析結果を報告し、SED モデリングと得られた物理量から放射機構を推定した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S07a ブレーザー PKS 1749+096 の可視偏光観測から探るジェットの磁場構造

植村誠 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学)

活動銀河核のなかでもブレーザーはビーミング効果によってジェットからの放射が卓越している。可視光ではシンクロトロン放射の強い偏光が観測され、ジェット内の磁場構造を知る手掛かりとなる。特に、偏光角の回転はジェットの折れ曲がり構造や螺旋磁場構造を、また、偏光角の分布の偏りはジェット内の大局的な磁場構造をそれぞれ反映する現象として注目されている。

今回、我々はこれまで偏光の時間変動が詳しく調べられていない BL Lac 型天体 PKS 1749+096 (OT 081) について、広島大学かなた望遠鏡が得た偏光データを用い、その時間変動の挙動を詳しく調べた。その結果、この天体の偏光方位角は 40—50 度、及び -60—-20 度に集中する傾向が見られた。さらに、40—50 度の集中は、数日のタイムスケールのフレアがその極大時期に示す偏光方位角であることがわかった。また、いくつかのフレアは偏光方位角の回転、もしくは大きな変動を示した。一方、-60—-20 度の集中は、数十日のタイムスケールで継続する活動期が減衰期に入るときの偏光方位角であることがわかった。電波ジェットの天球面上の方位角は下流では約 40 度であることが報告されている。このことから、フレアは放射領域の磁場がジェットの方向にほぼ垂直になるときに極大となり、減衰期は磁場がジェットとほぼ平行になることがわかる。

フレアはスペクトルがハードになり、偏光度の上昇を伴うが、いずれの極大も光度の極大に先行する傾向が見られた。これらの結果から、ジェット内を螺旋状に移動する衝撃波によるシナリオが考えられる。偏光方位角の偏りはドップラーファクターが最大になる角度として、また、減衰期は衝撃波の衰退後、ジェット下流に移動した高エネルギー電子からの放射として解釈できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a Disk–Jet Connection in Active Supermassive Black Holes

井上芳幸 (宇宙科学研究所), 土居明広 (宇宙科学研究所), 田中康之 (広島大学), Marek Sikora (CAMK),
Gregorz Madejski (SLAC)

We report our study on the disk-jet connection in supermassive black holes by investigating the properties of their optical and radio emissions. We use the SDSS-DR7 and the NVSS catalogs. Our sample contains 8461 quasars with detection both at 1.4 GHz and SDSS optical spectrum. Based on SDSS datasets, we have an information of virial masses of their central galactic black holes. Using this sample, we investigate the correlation among the jet power (P_{jet}), the bolometric disk luminosity (L_{disk}), and the black hole mass (M_{BH}). We find that the jet powers correlate with the bolometric disk luminosities as $\log P_{\text{jet}} = \log L_{\text{disk}} + (-0.81 \pm 6.2 \times 10^{-3})$. This suggests that the jet production efficiency of $\eta_{\text{jet}} \simeq 7.1_{-5.5}^{+25.3} \times 10^{-3}$ assuming the disk radiative efficiency of 0.1 implying low black hole spin parameters and/or low magnetic flux for radio selected quasars. But it can be also due to dependence of the efficiency on geometrical thickness of the accretion flow which for quasars accreting at the disk Eddington ratios $0.01 \lesssim \lambda \lesssim 0.3$ is expected to be small. We also investigate the fundamental plane of our samples among P_{jet} , L_{disk} , and M_{BH} . Although the fundamental plane can be given by $\log P_{\text{jet}} = (9.1 \pm 0.54) + (0.79 \pm 1.3 \times 10^{-2}) \log L_{\text{disk}} + (-0.038 \pm 1.5 \times 10^{-2}) \log M_{\text{BH}}$, we could not find a statistically significant correlation between M_{BH} and P_{jet} . We further investigate the relation between λ and the radio loudness R . As previously discussed, there is a weak negative correlation between λ and R with the correlation coefficient of -0.18 .

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S09a 相対論的衝撃波中の宇宙線加速における加速時間の理論研究

野上 雅弘 (青山学院大学)

ガンマ線バーストや活動銀河核、パルサー風などでは、相対論的衝撃波が形成され、そこで粒子が加速されていると思われる。相対論的衝撃波加速中での粒子加速のこれまでの研究は、乱流磁場による荷電粒子の散乱過程を Monte Carlo シミュレーションを用いて計算しており、磁場と荷電粒子の相互作用を正確に解いていないため、乱流磁場中の粒子の運動を正確に反映していない可能性がある。

本研究では、磁場と衝撃波速度構造を3次元空間中に解析的に与え、MHD条件より電場を与える。与えられた電磁場構造中の荷電粒子の運動方程式をテスト粒子として数値的に解くことで、被加速粒子のエネルギースペクトルや加速時間について調べた。その結果、平行衝撃波において被加速粒子のエネルギースペクトルのべき指数が先行研究である Monte Carlo シミュレーションを用いたものに比べ、ハードになることがわかった。これは、乱流磁場の長波長成分によって局所的な斜め衝撃波が形成されたためである。また、加速時間のエネルギー依存性についても、先行研究に無い折れ曲りを発見した。本講演では、主に相対論的衝撃波加速における加速時間について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10a ブレーザーにおける Hard Sphere 的粒子加速の観測的傍証

浅野勝晃, 林田将明 (東大宇宙線研)

ブレーザーの放射スペクトルは、電子によるシンクロトロンと逆コンプトン放射でよく説明される。しかし、その電子の最大エネルギーは、超新星残骸のような非相対論的な衝撃波での加速と比べて、相対的に低く、スペクトルも時に衝撃波理論よりも Hard なものが散見される。また理論的にも相対論的な衝撃波では粒子加速が困難になることが指摘されていた。我々は代替モデルとして、乱流による遅い電子加速過程を提唱しており、このモデルは低い電子の最大エネルギーと、Hard なスペクトルを共に良く説明できる。本講演では今までの Mrk 421 と 3C 279 に加え、その他のブレーザーに我々のモデルを適用した結果を報告する。その結果、多くのブレーザーでは電子の加速時間がエネルギーに依らない、いわゆる Hard Sphere 的な加速モデルが観測を説明するのに好都合であることがわかった。これは Fast Wave などの圧縮性乱流によって粒子が加速している可能性を示唆している。従来の Alfvén 波による粒子加速と異なり、圧縮性乱流では、磁場のエネルギー密度がそれほど支配的でなくても効率的な加速が実現され、観測されている磁場強度とも無矛盾である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11a 活動銀河核ウィンドにおける宇宙線加速・非熱的放射と銀河フィードバックへの示唆

井上進 (理研), Ruo-Yu Liu (MPI für Kernphysik), 村瀬孔太 (Penn State)

近年、多くの活動銀河核において、高速・高強度の降着円盤風の観測的証拠が見つかってきている。これらAGN ウィンドは、重元素を含むバリオン組成で、主に熱的プラズマから成り、広角度に渡って放出されている点で、ジェットとは性質を異にする。AGN ウィンドは、母銀河ガスに熱的・力学的フィードバックを及ぼすことで、観測されている銀河・ブラックホール共進化の主因となっていると推測されているが、その物理については不明な点が多い。

AGN ウィンドと母銀河の星間ガスが相互作用する際、強い衝撃波が起きるはずで、そこでは高エネルギー電子・陽子加速とそれに伴う非熱的放射が予想される。我々はこの過程をモデル化し、一部のセイファート銀河や電波銀河と同定されている高エネルギーガンマ線など、いくつかの既存の観測事実をうまく説明できることを示した。さらに、今後の非熱的放射のさらなる観測から、ウィンドの形成機構や銀河フィードバックの物理に関する貴重な情報が得られる可能性を議論する。また、超高エネルギー宇宙線や高エネルギーニュートリノとの関連についても触れる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S12a ケーサーのアウトフローに見られる時間変動傾向の起源

堀内 貴史, 三澤 透, 小山田 涼香, 和田 久, 伊東大輔 (信州大学), 諸隈 智貴 (東京大学)

ケーサーの降着円盤より放出されるガス流 (アウトフロー) は円盤から角運動量を排除し、質量降着を促すためケーサーの成長には欠かせない要素である。従来のアウトフロー研究ではケーサーのスペクトル上の広吸収線 (BAL; $\text{FWHM} \geq 2,000\text{km/s}$) が用いられてきたが、モデルフィットによる物理量の評価が可能な mini-BAL ($500\text{km/s} \leq \text{FWHM} < 2,000\text{km/s}$) や狭吸収線 (NAL; $\text{FWHM} < 500\text{km/s}$) が近年着目されている。これらの吸収線は時間変動を示すことが知られているが、その原因はいまだに解明されておらず、特に mini-BAL、NAL ケーサーについてはほとんど調べられていない。

本研究では時間変動の原因として現在最も有力な電離状態変動シナリオ (ケーサーの光度変動がアウトフローの電離状態に変化を与えた結果、吸収線が変動するという過程) を検証すべく、明るい mini-BAL、NAL ケーサーに対する測光・分光同時モニター観測を行った。観測はそれぞれ木曾 105cm シュミット望遠鏡/KWFC と 188cm 反射望遠鏡/KOOLS を用いて 3 年にわたり行った。その結果、ケーサー HS1603+3820 の減 (増) 光と CIV mini-BAL 等価幅の増加 (減少) 傾向が 9 ヶ月の時間差を伴い同期する様子が確認された。このことは光度変動がアウトフロー中のイオンの存在比に影響を与えている可能性を示唆する。また CIV mini-BAL の等価幅に対する Structure Function を用いて、長期間 (静止系で最大約 4 年) における時間変動傾向を調べた。さらに、その mini-BAL の時間変動傾向を先行研究の BAL の変動傾向と比較した。本講演では mini-BAL に対する電離状態変動シナリオを考察すると共に、BAL の時間変動傾向との比較結果も議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S13a IRAS 08572+3915 分光観測が示唆する分子アウトフローの起源の多様性

中川貴雄 (ISAS/JAXA), 白旗麻衣 (ジェネシア), 臼田知史 (国立天文台), 矢野健一, 馬場俊介, 道井亮介 (東大理), ISAS/JAXA), 磯部直樹 (東工大)

銀河における星形成活動は、赤方偏移 $z = 1 \sim 2$ の宇宙から現在の宇宙にかけて、大きく減少していることが分かっている。この原因として、活動銀河核からのアウトフローが星形成活動を阻害しているという仮説が提唱されている。そのため、活動銀河核からのアウトフローの起源を明らかにすることが重要課題となっている。

活動銀河核からのアウトフロー起源の解明に向け、活動銀河核をもつ赤外線銀河 IRAS 08572+3915 に着目した。本銀河では、CO 回転輝線の観測 (e.g. Ciccone et al. 2014, A&A, 562, A51) と、遠赤外線 OH 線の吸収観測 (e.g. Veilleux et al. 2013, ApJ, 776, 27) により、 $v \sim -1000$ km/s の分子アウトフローの存在が報告されている。

一方、我々は、IRAS 08572+3915 の近赤外線の CO 振動回転遷移線 ($\Delta v = 1, \Delta J = \pm 1$) の観測から、分子アウトフローの存在を報告した (Shirahata et al. 2013, PASJ, 65, 5)。ただし、その速度は $v \sim -170$ km/s と、他の観測で示された速度よりも、はるかに遅いものであった。

そこで、我々は、高速アウトフローの存在の可能性を探るべく、IRAS 08572+3915 について、近赤外線の CO 振動回転遷移線の観測結果を再解析した。その結果、他の観測が示す $|v| \sim 1000$ km/s の高速分子流の存在を、CO 振動回転遷移線でも示唆する結果を得た。ただし本解析結果は、(1) $|v| \sim 1000$ km/s の高速流の column density は、 $v \sim -170$ km/s の成分の数分の 1 しかないこと、(2) 分子流の速度分布は、単一視線上においても、連続的に分布するのではなく、離散的に分布していることを示している。特に (2) は、活動銀河核からの分子アウトフローの起源が単一ではなく複数存在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](#)

S14a AGN 輻射駆動噴水モデル：Circinus galaxy での検証

和田桂一、福重亮佑、米倉健介（鹿児島大学）、Marc Schartmann（Swinburne 工科大学）、Rowin Meijerink（Leiden 大学）

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、NLRを除いて、これらの構造が直接観測で分解されたわけではない。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未だに理解が進んでいない。

われわれは、多次元輻射流体計算にもとづき、AGN 近傍 sub-pc ~ 数 10 pc 領域のガス構造を決める新しいメカニズムとして、Radiation-driven Fountain（輻射駆動噴水モデル）を提案している（Wada 2012）。これは、降着円盤からの非等方輻射を受けた dust を含むガスが輻射圧と X 線加熱により、非定常アウトフローや AGN 近傍に戻るバックフローを形成し、それによって幾何学的・光学的に厚い準定常構造を作る、というものである。中心核を隠すトーラス状構造を準定常的に維持するメカニズムが自然に入り、1 型/2 型セイファートの SED の違い（Schartmann et al. 2014）や、X 線観測から示唆される中心核に対する遮蔽率の光度依存性も説明できる（Wada 2015）ことに成功している。

本講演では、この輻射駆動噴水モデルを最も近傍の 2 型セイファート銀河である、Circinus Galaxy に適用した結果、SED などが観測と一致することを示す。このモデルでは、トーラス状構造のみならず、アウトフローや、電離ガス領域、低温分子ガス円盤など複雑な多相構造が形成される。これらの構造が AGN の内部構造とどのように関連す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](#)

S15a The Second Galactic Center Black Hole?; Possible Detection of Accreting Ionized Gas onto the Galactic Center IRS13E

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Makoto Miyoshi (NAOJ), Kenta Uehara (the University of Tokyo), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin University), Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum)

The IRS 13E complex is a very intriguing IR object identified within 0.2 pc from the Galactic center, Sgr A*. Although the complex should be disrupted by the strong tidal force of Sgr A* ($M \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$), the main member stars seem to be physically bound. One of the possible speculations is that a dark mass, like an intermediate mass black hole (IMBH) in the complex prevents its disruption although there are some objections to accept the IMBH.

We analyzed the DDT observation of the Galactic Center with ALMA and obtained the channel maps with very high resolution ($0.4'' \times 0.3''$) and very high sensitivity (0.8 mJy/beam) in Hydrogen recombination line, H30 α . We found an ionized gas with a very wide velocity width ($\Delta V \gtrsim 500$ km/s) toward the IRS13E complex with ALMA. Our detected ionized gas is very compact ($\lesssim 0.4''$). The ionized gas is presumably accreting onto the IMBH embedded in the IRS 13E complex. The enclosed mass is estimated to be $10^{4-5} M_{\odot}$ from the compactness and the wide velocity width. This mass is enough to bound the main member stars. However, the mass apparently conflicts with the upper limit mass of the IMBH around Sgr A* which has been derived by the long-term VLBA astrometry.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S16a 高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 中における点状電波源の発見

岡 朋治、岩田悠平、野村真理子、竹川俊也、山田真也、徳山碩斗（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。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。その空間速度構造は、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。我々は、ここ数年展開してきた詳細な分子スペクトル線観測に基づき、CO-0.40-0.22 の位置-速度空間における特徴的な挙動が $10^5 M_{\odot}$ の点状天体による分子雲の重力散乱によって説明出来ることを示した。その後 ALMA cycle 1 で行われた CO $J=2-1$ および HCN $J=3-2$ 輝線によるイメージング観測の結果も、この解釈を支持するものであった。

今回、我々は ALMA cycle 1 で取得した連続波データの解析を行い、HVCC CO-0.40-0.22 内に極めてコンパクトな電波源 CO-0.40-0.22* を検出した。この CO-0.40-0.22* の形状・角度サイズは合成ビームのそれと完全に一致する。フラックス密度は $8.2 \pm 0.4 \text{ mJy}$ (@231 GHz) および $9.7 \pm 0.7 \text{ mJy}$ (@266 GHz) であり、スペクトル指数はやや inverted であった。観測視野内に検出された点状の連続波電波源はこれ一つであり、この位置に背景のサブミリ波銀河が偶然入り込む確率は 0.03% 以下である。観測された電波強度および X 線強度の上限値から推測される CO-0.40-0.22* の広帯域スペクトル形状は、Sgr A* を (1/500) 倍したものに consistent である。以上の観測事実は、この CO-0.40-0.22* が HVCC CO-0.40-0.22 を重力散乱した点状天体、即ち $10^5 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールである事を示唆するものである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S17b 低質量超巨大ブラックホールの可視光度変動

谷口由貴, 諸隈智貴, 土居守 (東京大学)

宇宙初期の種ブラックホール形成や、クエーサーの進化を理解する上で、近傍の低質量超巨大ブラックホール ($M_{\text{BH}} \lesssim 10^6 M_{\odot}$) の性質を調べることは非常に重要である。

近年、SDSS などのサーベイにより、多数の低質量超巨大ブラックホールを持つ活動銀河核 (AGN) が同定されてきたが、クエーサーのようなより大質量のものに比べると、その暗さや少なさから、低質量側の天体の性質の理解はあまり進んでいない。そこで、我々は、低質量 AGN をより効率よく同定するために、可視光の短時間光度変動を利用した手法による探査を行っている。光度変動が降着円盤起源であるとする、ブラックホール質量が小さいほど力学的タイムスケールが短くなり、より短時間での変動が期待される。現在までに、より重いブラックホール ($M_{\text{BH}} \gtrsim 10^6 M_{\odot}$) を持つ AGN では、ブラックホール質量が小さいほど短時間での光度変動示すことが観測的に見つかっている。このことから、1 日以下の短いタイムスケールでの光度変動を示す天体探査が、 $M_{\text{BH}} \sim 10^6 M_{\odot}$ 以下の低質量超巨大ブラックホールサンプルの効率的な獲得につながると考えており、実際にこの手法により、すばる望遠鏡を用いて、 $z \sim 0.16$ の $2.7 \times 10^6 M_{\odot}$ の低質量超巨大ブラックホールの同定に成功した。

一方で、低質量側のブラックホール質量と光度変動タイムスケールの相関はまだ観測的に明らかになっていない。本研究では、1.05m 木曾シュミット望遠鏡を用いて、2012 年から 2015 年までに得られた超新星サーベイデータに加えて、今まで調べられていなかった 1 時間以下のタイムスケールの追加観測データを取得し、低質量超巨大ブラックホールの光度変動を評価した。その結果、低質量超巨大ブラックホールを持つ AGN の中から、変動の兆候を検出した。また、短時間可視光度変動を利用する探査手法の可能性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S18b 電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの中間赤外線超過

磯部 直樹 (東工大), 小山 翔子 (Max-Planck-Institut für Radioastronomie), 紀 基樹 (KASI), 新沼 浩太郎 (山口大), 和田 武彦, 中川 貴雄, 松原 英雄 (宇宙研)

電波銀河から噴出するジェットの後端に存在するシンクロトロン電波で明るく輝くコンパクトな領域をホットスポットと呼ぶ。ホットスポットはジェット後端の強い衝撃波と考えられており、宇宙線の加速源の有力な候補天体と考えられている。電波銀河 Pictor A の西ホットスポットは、特に電波フラックスが大きいホットスポットの一つである。その最大の特徴は、近赤外線・可視光で検出された数少ないホットスポットであるという点であり、これは粒子加速が高いエネルギーまで進んでいることを意味する。また、このことはシンクロトロンのピークが中間赤外線帯域に存在することを示唆しており、中間赤外線スペクトルの形が粒子の加速機構や加速領域の物理量を敏感に反映すると期待出来る。しかし、これまで中間赤外線による研究は、あまり行われてこなかった。

そこで我々は、Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) による中間赤外線の全天カタログに着目し、Pictor A 西ホットスポットの対応天体を探索した。その結果、WISE の 4 バンド (3.4, 4.6, 11, 22 μm) すべてにおいて、対応天体を検出した。WISE による中間赤外線スペクトルは折れ曲がりを見せず、エネルギー指数 $\alpha_{\text{IR}} = 1.1$ 程度のべき型スペクトルをしていることが分かった。この指数は、シンクロトロン電波の指数 $\alpha_{\text{R}} = 0.74$ (Meisenheimer et al. 1997) よりも大きい。にもかかわらず、中間赤外線スペクトルは電波スペクトルと滑らかにはつながらず、11, 22 μm でのフラックスは、電波スペクトルの延長と比べて有意に超過する事がわかった。このことは、シンクロトロン電子のエネルギー分布が、衝撃波面で起こる一次のフェルミ加速による理論的な予想分布と比べて、高エネルギー端で超過していることを示唆する。この超過がどうして生じるのかについて、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](#)

S19b VLBI観測による High- z クェーサーの構造研究

古谷庸介, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学), Z.Q. Shen (上海天文台)

AGN には未解明な課題が多い。そのうちの1つに AGN 形成に要するタイムスケールの問題がある。これまで行われた観測によると、宇宙開闢から約 10 億年の宇宙に AGN が見つかっている。この遠方 AGN は High- z クェーサーと呼ばれ、 $z < 2$ にある AGN と多くの類似性を示す。一方、High- z クェーサーにのみ見られる特異性も確認されている。その中でもっとも顕著なものが天体サイズである。 $z < 2$ で見られる双方に構造を持った電波銀河と同様の構造が $z > 4$ でも確認されているものの、そのサイズは $z < 2$ の電波銀河に比べ 1/1000 程度と非常に小さいものが多い。また、High- z クェーサーの中には、GHz 帯にピークを持ち、強い電波放射をするものの存在が確認されている。

我々の周りに存在する AGN と High- z クェーサーの違いは、これらが存在する宇宙の周辺環境の違いに依存している可能性が考えられる。そこで、天体のサイズと宇宙年齢の関係をより詳細に議論し、周辺環境との関係を明らかにするため、我々は High- z クェーサーの候補天体に対して、JVN の 7 局による VLBI 観測を行い、High- z クェーサーの VLBI イメージのサンプル数増加を目指した。

現在、13 天体中 9 天体 ($4.403 \leq z \leq 4.705$) の観測が終了しており、6 天体のデータ解析が終了している。その中でFRINGEが検出されたのは 2 天体である。さらに、イメージングができたのは 1 天体 ($z = 4.309$) であり、ビームサイズ 2.02 pc に対して点源であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20b NGC 1275 の新しいサブパーセクスケールのジェットの発見と降着円盤

藤田裕 (大阪大学), 永井洋 (国立天文台)

NGC 1275 はペルセウス座銀河団の中心銀河であり、近傍であることから詳しく観測されている。VLBI によるこれまでの観測では、中心核 (3C 84) の南側に \sim pc の長さのジェットが観測されており、これは 2005 年ごろに始まった AGN 活動に伴うものと考えられている。今回我々は VLBA による NGC 1275 のアーカイブデータ (15, 43 GHz) を解析したところ、中心核の北側の $\lesssim 1$ pc の領域で、南側のジェットのカウンタージェットと考えられる新たなジェットを発見した。このジェットの観測から、ジェットや AGN 降着円盤について多くの情報を得ることができた。

まず南北のジェットの長さの比から、視線方向に対するジェットの角度が $65^\circ \pm 16^\circ$ であることがわかった。NGC 1275 からはガンマ線が検出されているが、この大きな角度はガンマ線の放射メカニズムがブレーザーと同じものではないことを示唆する。北側のジェットは南側のジェットに比べて大きく減光されており、これは北側のジェットが降着円盤の裏に位置するためであると考えられる。減光の割合から、円盤のガス密度が $\gtrsim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ であることがわかり、さらに減光の周波数依存性は、円盤がかなり非一様であることを示している。円盤の半径方向の構造はべき則に従うこともわかった。さらにジェット先端付近のガス密度は $\sim 8 \text{ cm}^{-3}$ と求められた。

Ref: Fujita & Nagai, 2017, MNRAS, 465, L94

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S21b 自己無矛盾なラインフォース駆動型円盤風モデルの構築

野村真理子 (慶應義塾大学)、大須賀健 (国立天文台/総研大)

活動銀河核 (AGN) の輻射スペクトルに観測される青方偏移した吸収線は、ジェットとは異なるアウトフローの存在を示唆している。中でも、X線スペクトル上に現れる鉄吸収線によって発見された Ultra Fast Outflow (UFO) は噴出速度が光速の 10–30% に達し、ジェットに匹敵する大きなエネルギー放出率を持つ。このため巨大ブラックホールの成長過程や母銀河の星形成に甚大な影響を及ぼしている可能性が指摘されているが、その加速メカニズムはわかっていない。我々はラインフォース駆動型円盤風 (e.g., Proga & Kallman 2004) が UFO の有力モデルであることを明らかにした (Nomura et al. 2016, Nomura & Ohsuga accepted [arXiv:1610.08511])。ラインフォースとは中間電離状態の金属元素が紫外光を束縛-束縛遷移で吸収する際に受ける力である。

しかしながら、このモデルは円盤風の噴出による円盤の質量降着率の変化を正しく考慮していないという問題があった。降着率が変わって輻射強度が変化すると、円盤風の放出率も変わるので、降着率と放出率は本来同時に決定すべきものである。特に、明るい AGN の場合には質量放出率が質量降着率に匹敵すると考えられるので、放出率と降着率、および円盤風の構造を自己無矛盾に扱うことは重要である。そこで、我々は円盤風の噴出に伴う質量降着率の減少を考慮した輻射流体シミュレーションを行い、質量保存が成り立つ自己矛盾のないラインフォース駆動型円盤風の理論モデルを構築した。その結果、円盤風の噴出によって円盤の内側 ($\lesssim 100R_S$) では光度が下がり、これまでの見積もりよりも小さな質量放出率を持った円盤風が噴出することがわかった。本ポスターではその結果を報告し、ラインフォース駆動型円盤風による質量・エネルギー放出及び中心核への質量降着について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S22b 磁気張力による活動銀河核アウトフローのフィードバック効率の上昇

朝比奈雄太 (国立天文台), 野村真理子 (慶應義塾大学), 大須賀健 (国立天文台/総研大)

銀河中心の大質量ブラックホール質量 M と銀河バルジの速度分散 σ には強い相関関係 ($M - \sigma$ 関係) があることが知られており、ブラックホールとその母銀河が共進化していることを示す証左の1つであると考えられている。この相関関係は活動銀河核 (AGN) からのフィードバックによって生じている可能性があり、フィードバック機構の可能性として AGN アウトフローが挙げられている。Wagner 等は AGN アウトフローの非一様な星間空間へのフィードバックの流体シミュレーションを実施し、フィードバック効果が重要であることを示している。しかし星間磁場の影響については調べられていなかった。

我々は、一様な初期磁場を仮定し、 10^7 K の高温なガスと 10^4 K 程度の星間雲が非一様に分布した空間に、AGN アウトフローが伝播する 3次元磁気流体シミュレーションを実施することで、星間雲はアウトフローの動圧だけではなく、磁気張力によっても加速され、星間雲の速度分散が上昇することを明らかにしてきた。本発表ではジェットが高密度な星間雲の分布した領域を突き抜け、速度分散が飽和するまで計算した結果を報告する。ジェットのエネルギー流束が M に比例することを仮定し、速度分散の極大値を比較することで観測されている $M - \sigma$ 関係 ($M \propto \sigma^{4-5}$) と矛盾しない結果を得ることができた。またジェットの速度が変化しても磁気張力による速度分散の上昇値は変わらないため、エネルギーの小さいジェットほど磁場による影響は相対的に大きくなることを示した。磁場を考慮しない計算では $M \propto \sigma^4$ の相関関係を得ることができ、また磁場を考慮することで $M \propto \sigma^5$ に近づくという結果を得ることができた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S23b 3次元モンテカルロ輻射輸送計算による Circinus galaxy の分子ガス構造の解明

福重亮佑、和田桂一 (鹿児島大学)、泉拓磨 (東京大学)、富阪幸治 (国立天文台)

分子線観測は活動銀河核 (AGN) 周辺の構造を解明するのに有効な手段のひとつである。近年、ALMA などによるミリ波、サブミリ波領域での高分解能観測技術の発達により、分子ガスから放射される輝線を用いて AGN 周辺の分子ガスの詳細な構造が明らかになりつつある。一方で、3次元理論シミュレーションを用いれば観測結果だけでは断定しづらい AGN 周囲の星間ガスの3次元構造や、その起源の推測が可能となる。

そこで今回、分子輝線に対する non-LTE 輻射輸送計算においてモンテカルロ法を用いた3次元理論シミュレーションにより、代表的なセイファート銀河のひとつである Circinus galaxy の AGN 周辺の3次元構造を調べた。先行研究として Circinus galaxy の銀河中心から 32^3 立体的な輻射輸送計算が行われており (和田講演参照)、このモデルの流体データ (3次元の温度、密度、速度構造を含む) を基にして輻射輸送計算を行った。モンテカルロ法とは乱数を用いて擬似光子の伝播シミュレーションを行う方法であり、今回は Wada, Tomisaka (2005) の手法を用いた。

シミュレーションの結果、Circinus galaxy の AGN 周辺からの分子ガスからの一酸化炭素分子 (CO) による分子線放射の放射強度分布を得ることができた。本講演ではこの結果と、ALMA の Cycle3 および Cycle4 の観測データと比較し、Circinus galaxy の構造について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S24b 高感度VLBI観測から探る2型セイファート銀河IC2560中心核の回転メーザー円盤

伊佐見薫, 中井直正 (筑波大学), 山内彩 (国立天文台)

2型セイファート銀河IC2560中心核領域の水蒸気メーザーのVLBI観測の結果について報告する。IC2560は距離が約26Mpcにある渦巻銀河で、Braatzら(1996)によってパークス64m鏡でsystem成分の水蒸気メーザーが検出され、石原ら(2001)によって野辺山45m鏡を用いてred-shifted成分とblue-shifted成分が検出されていた。IC2560の中心核領域の水蒸気メーザーは、VLBA+phased VLAを用いて1996年と1998年にsystem速度成分が(石原ら2001)、2000年にsystem速度成分、red-shifted成分およびblue-shifted成分の分布が観測されたが(山内ら2012)、感度が不十分であった。そこで我々は2010年にHSA(VLBA+GBT)で3成分の高感度観測を行った。

本研究では、2010年に行った観測データを解析し、IC2560中心核付近の水蒸気メーザーの分布を調べた。その結果、system速度成分、red-shifted成分およびblue-shifted成分がほぼ直線上に並んでおり、red-shifted成分とblue-shifted成分はほぼケプラー回転をしていることがわかった。これは中心核にあるedge-onの回転円盤を示している。本講演ではこの回転メーザー円盤の物理量、中心天体の性質及び銀河の距離測定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](#)

S25b クエーサー 3C 323.1 の紫外-可視域連続光スペクトル中の偏光成分の起源

小久保充 (東京大学)

Kishimoto et al. (2004) によって行われたクエーサー偏光分光サーベイ観測によって、静止系波長 4000\AA 以下の紫外波長域において偏光成分フラックスが急激に減少しているクエーサーが5天体発見された。彼らは観測された偏光成分フラックスの紫外域減少について、古くからブラックホール降着円盤モデルで予言されてきたが観測できていなかった、降着円盤内の輻射輸送効果によって生じる広がったバルマー吸収端に対応する特徴であると主張した。しかし、これらの偏光成分紫外域減少が確認されているクエーサーについて、紫外-可視域観測スペクトル中の降着円盤放射成分を抽出するまったく別の手法である光度変動成分スペクトルに着目すると、降着円盤放射スペクトルはスムーズな冪型であり、バルマー吸収端のような特徴は見られないことが指摘されている (Kokubo 2016, PASJ, 68, 52)。

我々はこれらのクエーサーの紫外-可視域連続光スペクトル中の偏光成分の起源を明らかにするため、Kishimoto et al. のクエーサーサンプルのうちの1天体 3C 323.1 について、過去の偏光観測の文献値を集め、偏光成分と無偏光成分の時間変動を調べた。その結果、3C 323.1 中の偏光フラックス成分は以下のような観測的特徴を持つことが分かった: (1) 偏光成分スペクトル中に見られる広い線幅の吸収構造は時間変動を示す; (2) 偏光フラックス成分と無偏光フラックス成分の時間変動は1年以下の時間スケールで同期している。これらの時間変動の観測的性質から、3C 323.1 の連続光無偏光成分は降着円盤放射そのものである一方で、偏光成分は、赤道面方向に放射された降着円盤放射光子が、その軌跡上に存在する何らかの時間変動する吸収体 (例えば円盤風) による吸収を受けた上で、赤道面上に存在する自由電子により我々の視線方向にトムソン散乱されてきたものであると示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S26b 活動銀河中心核における狭輝線領域の物理状態

米倉健介、和田桂一 (鹿児島大学)、長尾透 (愛媛大学)

活動銀河中心核 (Active Galactic Nucleus; AGN) の内部構造の空間分解は近傍 AGN であっても直接的には厳しい。しかし、AGN 周辺の星間ガスには光学的に分解出来る狭輝線領域 (Narrow Line Region; NLR) が存在している。NLR スペクトルからは禁制線が見つかっており、その輝線強度を用いることで NLR ガスの電子密度と電子温度を推定することができる。

本研究の目的は AGN の理論モデル中に NLR を同定し、その物理状態を明らかにすることである。AGN 周辺の星間ガスのモデルには密度構造と温度、速度構造を含む多次元輻射流体計算にもとづいた輻射駆動噴水モデル (Wada 2012) を用いた。このモデルと光電離シミュレーションコード Cloudy (Ferland 1998) を使って降着円盤から放射される光の輻射輸送を解いた。Cloudy の計算結果より電離ガスにおける禁制線の輝線強度を得た。一視線方向に対して Cloudy で得られた禁制線を含む特定の輝線の強度比 ($[\text{OI}]/\text{H}\alpha - [\text{OIII}]/\text{H}\beta$) を使って分光診断 (BPT) 図 (Kewley et al. 2006) を作成することで AGN からの輻射性アウトフロー中に NLR として特徴付けられる領域が形成されることが分かった。また、BPT 図上において NLR であると診断された領域に対して密度と温度、電離度を元のモデルのデータより得た。これにより観測される NLR の物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S27b 理論モデルから予言される活動銀河核の“観測可能割合”

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 川口 俊宏 (札幌医科大学)

活動銀河核 (AGN) の光度関数は X 線, 可視光, 赤外線などの波長帯の観測によって高赤方偏移 $z \sim 6$ 程度までが明らかになりつつあり, AGN の進化を明らかにするのに重要な役割を果たしている.

AGN の放射の大部分を担う降着円盤の周囲には, 電離吸収体や約百 pc スケールのトーラス構造が存在することが示唆されており, これらの構造によって AGN の光は吸収・減光を受ける. そのため, 異なる波長で観測された AGN は全体の一部にすぎず, AGN 全体の進化を知るためには, 個々の波長で AGN の“観測可能割合”を求める必要がある.

我々は, 準解析的銀河形成モデルを用いて, この“観測可能割合”を軟 X 線, UV 1450 Å, 可視 B-band について理論的に予言したので, その初期成果を報告する. 本研究では, まず $z \lesssim 1.0$ で硬 X 線 (2-10 keV) で全ての AGN が観測可能であると仮定する. Compton thick AGN の割合については未解明な部分が多いが, Ricci et al. (2015) で, $z \sim 0.055$ では Compton thick AGN の割合は約 7.6% と見積もられている. 準解析的銀河形成モデルで得られる硬 X 線の AGN 光度関数を観測と矛盾なく説明できることを確かめた後, 観測で得られている上記 3 波長帯での光度関数を再現するために必要な“観測可能割合”を求めている. 本発表では, 主に $z \lesssim 1$ の結果を示し, 最後により高赤方偏移の“観測可能割合”について議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S28b Subaru / Hyper Suprime-Cam を用いた高赤方偏移における低光度クェーサー
探査

仁井田真奈, 長尾透 (愛媛大学), 池田浩之 (国立天文台), 秋山正幸 (東北大学), 松岡健太 (京都大学),
鳥羽儀樹 (ASIAA), 小林正和 (呉高専), 谷口義明 (放送大学), 他 HSC Project 51 team

巨大ブラックホールの形成・進化を明らかにするためには、幅広い赤方偏移と質量の範囲において巨大ブラックホールの性質を調査することが重要である。過去のサーベイにより光度ごとにクェーサーの個数密度進化が調査され、高光度クェーサーほど早期に個数密度のピークを迎えることが分かってきた。クェーサーの光度は巨大ブラックホールの質量と相関があるため、この傾向はより大質量の巨大ブラックホールほど早期に成長のピークを迎えたことを示す。しかし過去のサーベイでは高赤方偏移の低光度クェーサーの探査は困難であり、 $z > 5$ の質量の小さい成長初期の巨大ブラックホールについては良く分かっていない。そこで本研究では、広視野・高感度の Subaru / Hyper Suprime-Cam を用いた Subaru Strategic Program によって取得された大規模撮像データを基に、 $z \sim 5$ の低光度クェーサー探査を行った。我々は color selection により $\sim 86 \text{ deg}^2$ のデータから、 $-27.5 < M_{1450} < -22.5$ の $z \sim 5$ クェーサー候補天体を 232 個選出した。これらの候補天体から各光度ごとに priority の高い天体を選出し、Cerro Tololo Inter-American Observatory / 4m Blanco telescope と Subaru / FOCAS を用いて 8 天体の分光観測を進めている。分光観測の結果、多くのスペクトルが顕著な $\text{Ly}\alpha$ 広輝線を示し、候補天体の多くが実際に $z \sim 5$ クェーサーであることが確認できた。これにより、我々の選出条件が効果的であることが確認できた。また、巨大ブラックホール質量の推定に有用な C IV 輝線が検出できた天体もあった。本講演ではこの分光観測結果についての詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S29c OJ 287 の 2015 年アウトバースト時における電波強度変動

澤田-佐藤聡子 (鹿児島大学), 新沼浩太郎 (山口大学), 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 紀基樹 (韓国天文研究院), 秋山和徳 (MIT Haystack Observatory), 小山翔子 (MPIfR)

BL Lac 型天体 OJ 287 は、電波からガンマ線にいたる広い観測波長領域で激しい強度変動を持ち、特に可視光域で約 12 年毎にダブルピークのアウトバーストを示すことでよく知られている。この周期的なアウトバーストの説明として、ブラックホール連星モデルが提案されてきた。このモデルによれば、主ブラックホールの降着円盤に伴ブラックホールが衝突した時に発生する高温ガスからの熱的放射がアウトバーストとして観測される。

一方、電波では必ずしも可視光のアウトバースト時と同時に強度が上昇するとは限らず、しばしば数ヶ月以上経過後に増光が見られることが過去の観測より示されている。このたび我々は、VLBI 観測網 VERA を用いて 2015 年 10 月から 2016 年 4 月にかけて OJ 287 の VLBI モニター観測を実施した。本講演では、2015 年 12 月のアウトバースト前後の時期における OJ 287 の中心約 10 pc 内の範囲のコアジェット成分の 22 GHz 帯連続波強度変動について報告する。

我々のモニター結果では、2015 年 12 月から 2016 年 3 月初めまでは 22 GHz の連続波フラックスは 2.5 Jy 程度とほぼ一定であった。が、2016 年 3 月末から 4 月までの期間に明らかな増光現象が見られた。また得られた VLBI 電波画像により、2015 年 10 月以降の電波強度増光は中心のコアジェット成分が寄与していること、そして 2013 年頃見られた南西方向 1 mas のジェット成分は検出感度以下まで減光していることが明らかとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S30c BALQSO 視線における intrinsic NAL の探査

伊東大輔, 三澤透, 堀内貴史 (信州大学)

QSO アウトフローガスの理解は AGN 進化・銀河進化を議論するうえで欠かせない。アウトフローガスは、QSO のスペクトル中に存在する吸収線に着目することで観測的に調べることができる。アウトフローに由来する吸収線 (intrinsic な吸収線) は、一般的に BAL、mini-BAL、intrinsic NAL の 3 種類に分類される。これら 3 種類の吸収線の検出の有無をアウトフローガスのジオメトリから説明するのが、「アウトフローガス角度依存モデル」である。一般的な角度依存モデルによれば、BAL/mini-BAL が検出された視線においては、intrinsic NAL の存在は期待されない。しかし、これらのカテゴリーに属する吸収線が、同時に検出されるか否かを目的とした統計調査は行われていないため、実際は両者がオーバーラップしている可能性も残されている。

そこで我々は、SDSS BALQSO カタログ (Gibson et al.2009) をもとに、ESO のアーカイブから、VLT/UVES あるいは VLT/X-shooter で取得された BAL/mini-BALQSO の高分散分光データを集め、それらに対する intrinsic NAL の探査プロジェクトに着手した。なお、intrinsic NAL の特徴である、line locking、時間変動、部分掩蔽の存在を確認することにより、QSO とは無関係な吸収体を起源とする intervening NAL と区別した。数天体に対する予備調査を行った結果、少なくとも一部の BAL/mini-BALQSO は intrinsic NAL を持つことが分かった。本講演ではこの予備調査の詳細な結果を提示し、解析結果を説明できるような角度依存モデルを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S31c High-resolution imaging of H₂O maser towards the type 2 Seyfert NGC 1068

Yoshiaki Hagiwara (Toyo University)

Using MERLIN (Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network), high-resolution imaging observations of 22 GHz H₂O maser in the type 2 Seyfert galaxy, NGC 1068 were made at about 20 milliarcsecond angular resolution, which were aimed for imaging off-nuclear jet maser known in the galaxy in order to probe a region where jet-interstellar medium interaction occurs. No off-nuclear masers have been detected in our observations, perhaps due to the variability of the strength of the masers. The masers located nearby the nucleus of the galaxy lying at blue-shifted and the galactic systemic velocity were detected in our observations. The positions of these nuclear masers were pin-downed, resulting the fact that the detected nuclear maser positions coincide with the continuum nucleus obtained by the MERLIN continuum observations at lower frequencies within uncertainties. The masers arise near from the central engine of the galaxy, which is consistent with the results of earlier VLBI measurements.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S32a 「ひとみ」による NGC 1275 の観測：初の活動銀河核 Fe-K α 輝線の精密分光

野田 博文 (東北大 学際)、「ひとみ」コラボレーション

活動銀河核 (AGN) からの X 線スペクトルには一般に、巨大ブラックホール (BH) 近傍からの連続 X 線が周辺の冷たい物質で光電吸収を受けた結果生じる、6.4 keV の Fe-K α 輝線が現れる。しかし、その起源は長年論争が続いており、速度幅が $\gtrsim 2000 \text{ km s}^{-1}$ の輝線を生成する BH から sub-pc 離れた広輝線領域 (e.g., Gandhi et al. 2015) や、輝線速度幅が数百 km s^{-1} になる pc スケールのダストトラス (e.g., Fukazawa et al. 2016) など、複数の領域が候補として挙っている。この論争に決着をつけるには、AGN からの Fe-K α 輝線の精密分光が鍵となる。

我々は、X 線天文衛星「ひとみ」に搭載した精密軟 X 線分光装置 (SXS) により、ペルセウス座銀河団の中心に存在する電波銀河 NGC 1275 からの Fe-K α 輝線を、史上初めて $\sim 5 \text{ eV}$ という高いエネルギー分解能で捉えることに成功した。その結果、輝線の等価幅は $\sim 10 \text{ eV}$ であり、速度幅は $\sim 500\text{--}1400 \text{ km s}^{-1}$ (FWHM) と精密に求めた。速度幅が広輝線領域の輝線と比較して有意に小さいことから、NGC 1275 の Fe-K α 輝線はダストトラスか、それより遠い領域で生じることが分かった。さらに、軟 X 線望遠鏡 (SXT)+SXS の角度分解能を考慮することで、輝線の放射源の空間的広がり、NGC 1275 を中心に ~ 30 秒角 ($\sim 12 \text{ kpc}$) 未満という制限を得た。

NGC 1275 ではさらに、周囲の数十 kpc にわたってフィラメント状に分子雲 (e.g., Salome et al. 2006) が存在するため、ダストトラスに加えて、Fe-K α 輝線を発生している可能性があった。そこで、BH 近傍からの連続 X 線と銀河団プラズマの熱的制動放射による分子雲の照射をモデル化したモンテカルロシミュレーションを行った結果、 10 eV という等価幅を持つ Fe-K α 輝線を作り出すのは難しいことが判明した。これらの網羅的な解析の結果、NGC 1275 の Fe-K α 輝線はダストトラス起源であることが初めて見えてきた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S33a ひじょうに大きな吸収を受けた活動銀河核の「すざく」広帯域X線スペクトル系統解析

谷本敦, 上田佳宏, 川室太希 (京都大学), Claudio Ricci(チリ・カトリカ大学), 栗木久光, 寺島雄一 (愛媛大学)

銀河中心の超巨大ブラックホールと母銀河は、互いに影響を及ぼしながら、共進化してきた。その起源を理解する上で重要な天体が、ダストやガスにより隠された活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) である。特にトーラスの水素柱密度が $\log N_{\text{H}} \geq 24 \text{ cm}^{-2}$ を超える、非常に大きな吸収を受けた AGN は、Compton-thick AGN (CTAGN) と呼ばれる。その中心核構造を解明する為には、透過力の優れた硬 X 線による観測が必須である。

Swift/BAT による硬 X 線 (14–195 keV) 掃天観測は、吸収に対するバイアスを最小限に抑えた近傍 AGN サンプルを提供している。我々は、Swift/BAT 70ヶ月カタログの追及観測で発見された CTAGN 候補 (Ricci et al. 2015) に着目し、特に X 線天文衛星「すざく」により観測されている 12 天体について、広帯域 X 線スペクトルの系統的な解析を行った。まず、透過成分のコンプトン散乱の効果を無視あるいは過剰に補正した単純な解析的モデルでは、真の光度の見積もりを系統的に間違える可能性があることを発見した。そこで、モンテカルロシミュレーションに基づいた部分球対称トーラスモデル (Ikeda et al. 2009, ApJ, 692, 608) を適用した。その結果、多くの CTAGN において、トーラスによる自己吸収を受けていない反射成分が非常に強いことを発見した。この事実は、トーラスの密度が一様ではなく、非一様な分布をしていることを示唆している。本講演では、今回の得られた結果と中程度の吸収を受けた AGN の結果 (Kawamuro et al. 2016, ApJS, 225, 14) を比較し、CTAGN とそれ以外の AGN が本質的に異なる種族なのかどう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](#)

S34a 活動銀河核から放射される X 線の時間変動と時間遅れ (ラグ) の解釈

水本岬希 (JAXA/ISAS, 東京大), 森山小太郎 (京都大), 海老沢研 (JAXA/ISAS), 嶺重慎 (京都大), 川中宣太 (京都大)

活動銀河核から放射される X 線は、中心ブラックホール近傍の物理を反映していると考えられている。最近になり、多くの活動銀河核の X 線スペクトルにおいて、鉄 K 輝線周辺の X 線が周辺のエネルギーバンドに比べ数百～数千秒遅れて観測されることが分かってきた。この X 線ラグを説明する一つのモデルとして、極端なカーブブラックホールにおいて降着円盤の最内縁付近で反射された X 線が、一般相対論的な light bending 効果を受けて遅れてやってくるというモデルが考えられている。このモデルは非常に小さな X 線放射領域 (“lamp post”) を要求し、lamp post の変動を円盤からの反射成分が遅れて追うことで、観測されるラグを説明する。

一方、活動銀河核の root-mean-square (RMS) スペクトルを計算すると、鉄 K 輝線付近の変動率が大きく低下することが知られている。この現象も同様に lamp post モデルで説明しようが、RMS スペクトルを説明するためには円盤からの反射成分が変動しない必要があるのに対し、ラグを説明するためには円盤からの反射成分が lamp post の変化に応答して変動する必要があり、単純な lamp post モデルでこの両者を同時に説明可能であるかどうかは、自明ではない。

そこで今回我々は、様々なパラメータ (スピン、lamp post の高さ、円盤の見込み角、円盤の内縁 / 外縁半径など) の組みあわせに対して、一般相対論的な数値計算を行い、どのような X 線エネルギースペクトル、RMS スペクトル、ラグが観測されるかを計算した。本講演では、これらのシミュレーションの結果を示すとともに、観測との比較を通して活動銀河核の構造にどのような制限が与えられるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S35a SWIFT J2127.4+5654 における時間変動を用いたモデル依存しない成分分解

三宅克馬（東大理）、野田博文（東北大学）、山田真也（首都大）、清野愛海、中澤知洋（東大理）、
牧島一夫（理研）

AGNのX線スペクトルは、光子指数 $\Gamma \sim 2$ のべき関数(PL)型一次放射成分、その反射成分などから成ると考えられてきた。我々はこれまで、時間変動を利用したモデル依存しない成分分解手法により、一次放射PL成分は単一ではなく複数存在することを、様々なセイファートI型(Sy1)AGNで確認した(e.g. Noda et al. 2011, Miyake et al. 2016)。我々は降着率の大きく時間変動の激しい狭輝線I型セイファート銀河(NLS1)についても、この描像が成り立つかを確かめるため、同様の時間変動解析を行った。

SWIFT J2127.4+5654は、 $z = 0.0144$ 、質量 $1.5 \times 10^7 M_{\odot}$ のNLS1で、*NuSTAR*と*XMM-Newton*で300 ksの同時観測がされた。この時の2–10 keVフラックスは $3.0 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で、2倍以上の激しい時間変動が見られた。スペクトルは $\Gamma = 2.08$ 、カットオフエネルギー $E_c = 108 \text{ keV}$ のPLとその反射成分、相対論的鉄輝線で解釈されている。また、3–5, 5–8 keVのクロスパワースペクトルから200–550 sのラグが検出され、これは相対論的鉄輝線によるものと考えられている。(Marinucci et al. 2014)。

今回は我々の手法を用いて、SWIFT J2127.4+5654の2–70 keVの広帯域スペクトルを3000 sのタイムスケールに対して変動の早い成分と遅い成分に分解することに成功した。変動の早い成分は、 $\Gamma = 2.1$ 、 $E_c \sim 100 \text{ keV}$ のPL成分だけではなく、相対論的な反射成分から成る。一方で変動の遅い成分には、遠方での反射成分とそれに付随する幅の狭い鉄輝線に加え、やはりもう一つのPL成分を必要とすることが示された。この成分は、我々がいくつかのSy1で確認している、第二の一次放射が存在するという描像で解釈することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S36a セイファート銀河の広帯域X線スペクトル変動に対する統一的な解釈(2)

楠絵莉子, 海老沢研, 水本岬希 (東京大学, ISAS/JAXA), 鮫島寛明 (京都産業大学)

セイファート銀河が示す特徴的な X 線スペクトル変動を説明する、物理的描像の異なる複数のモデルが存在する。その一つである Variable Double Partial Covering (VDPC) モデルは、視線上に二層構造をなす電離吸収体を仮定し、それが X 線源を部分的に覆い隠す割合 (部分吸収率) が変化することによって、10 keV 以下の短時間 X 線スペクトル変動を説明する。このモデルは低エネルギー側のスペクトル変動を良く再現するが、高エネルギー側ほどモデルからのずれが顕著になることから、それを説明する独立な変動成分の存在が示唆されていた。そこで、我々は 3–78 keV で過去最高感度を誇る X 線天文衛星 NuSTAR を活用し、より広帯域なデータに対する VDPC モデルの有効性の検証を始めた (楠 2016 年秋季年会 S22b)。

NuSTAR と XMM-Newton または「すざく」との同時観測アーカイブデータを利用して、0.2–78 keV に渡り顕著な時間変動を示す 5 天体 (MCG-6-30-15, MCG-5-23-16, NGC 4593, NGC 1365 と Swift J2127.4+5654) を選び、解析を行った。その結果、天体毎のわずかな違いを除き、5 天体すべてのエネルギースペクトルを同じモデルでフィットすることができた。また、約 1 日より短い時間スケールにおいては、観測されたスペクトル変化、ライトカーブ、変動率のエネルギー依存性を、部分吸収率 (主に <10 keV に影響する) とべき型の連続放射の強度 (主に >10 keV に影響する) という二つのパラメータの独立な変化だけで説明することができた。さらに、様々な観測装置の応答関数を仮定して観測シミュレーションを行い、VDPC モデルと他のモデルを分別できるかどうかを調べた。その結果、現在の観測装置で分別は困難だが、マイクロカロリメータを用いて吸収線の縮退を解けば、部分吸収率の絶対値が求まり、それによって VDPC モデルと他のモデルを分別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](#)

S37a 狭輝線1型セイファート銀河 NGC 4051 のX線時間変動解析 II

清野愛海 (東大理), 野田博文 (東北大), 三宅克馬, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

セイファート1型活動銀河核 (Sy1) のX線スペクトルには、ベキ関数型 (PL) の1次放射成分が複数存在することが、時間変動解析によって観測的に明らかになってきた (Noda et al. 2013, 2014)。そこで本研究では、Sy1よりもブラックホール (BH) 質量が小さく降着率のエディントン比が高いと考えられている狭輝線1型セイファート銀河 (NLS1) である、NGC 4051 の「すざく」データを解析している。2008年の観測データから、明るい時と暗い時の差分をとったスペクトルを作成して変動成分を評価した上で、不変な成分を含めた解析から、変動するPL成分とその反射成分に加え、変動しない第3の成分が必要なことがわかった (2016秋の講演)。

今回は、短い時間変動を抽出するため、2008年11月6-12日の観測を、20-30 ks 単位に23個に分割した上で、500 s ピンのライトカーブを用いて明るい時と暗い時の差分スペクトルを得た。これにより、20 ks より遅く変動する成分を除去した。この変動は、電離吸収のかかった単一のPLでよく表すことができたため、この差分スペクトルと時間平均スペクトルを、変動PLの Γ を共通にして2.0-45 keVの帯域で同時フィットした。時間平均スペクトルには、反射成分と、第3成分として、吸収を受けたハードな独立PL成分、部分的に吸収を受けた変動PL成分、相対論的效果を受けた反射成分の3通りのモデルを加えた。すべての成分に共通の電離吸収をかけた。1つ目のモデルで $\chi^2/\text{d.o.f} = 272/243$ と最もよくスペクトルを再現できた。この成分は、 $N_{\text{H}} \sim 5.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と強い吸収を持ち、 $\Gamma \sim 1.6$ と変動PL成分に比べハードであった。一方で、2週間後の観測との差分スペクトルには単一PLのみでは硬X線側に残差があり、第3成分も変動していることが示唆された。このように500 sでは変動せず、2週間では変動するという特徴を表すものとしても、ハードPLモデルが最もらしいと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S38a eROSITA による北黄極ディープサーベイ領域の隠された活動的銀河核の探査計画

松原英雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), 宮地崇光 (UNAM), 大井渚 (関西学院大), 後藤友嗣 (国立清華大), 他 NEP 多波長ディープサーベイチーム

近年、約 120 億年前から現在までの星形成史・超巨大ブラックホール成長史の概略が明らかになってきた。しかし、ブラックホール成長史は正しいか、塵やガスに隠された活動的銀河核 (AGN) が見過ごされているのではないか? という課題が残っている。そこで北黄極 NEP-Wide 領域に於いてこれまでに取得した可視～赤外多波長データの整備と共に、2017 年度に打ち上げられる予定の X 線天文衛星 eROSITA による史上初の深く広い X 線データを新たに取得する。これにより塵やガスに隠され見過ごされていた高光度 AGN を多数発見し、その統計的な性質の議論、例えば光度 (活動度) の進化を解明する。これにより未解決課題: 星形成活動の $z \leq 1$ での下降とブラックホール成長史の関係性の研究に新たな道を拓きたい。

eROSITA はドイツが中心となって開発した X 線サーベイ望遠鏡であり、ロシア・ドイツ共同開発の Spectrum RG 衛星に搭載され 0.2 – 12 keV の X 線領域において角分解能 15 秒の全天サーベイを史上初めて行う。北黄極の可視性は極めて高く、多数回の観測を繰り返すことで $z = 1 - 2$ の高光度 AGN の検出に必要な感度を達成することができる。本講演では約 5 平方度の NEP-Wide 領域において eROSITA の X 線データを含む多波長データから隠された AGN (特に Compton-Thick AGN) を抽出する手法と予想検出数について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)
[スケジュールに戻る](#)

S39a 3–500 μm IR properties of the 70-month *Swift*/BAT AGN

K. Ichikawa (NAOJ, Columbia University), C. Ricci (PUC), Y. Ueda, K. Matsuoka, T. Kawamuro (Kyoto University), Y. Toba (ASIAA), B. Trakhtenbrot, M. Koss (ETH Zurich)

We investigate the near- (NIR) to far-infrared (FIR) photometric properties of a nearly complete sample of local active galactic nuclei (AGN) detected in the *Swift*/Burst Alert Telescope (BAT) all-sky ultra hard X-ray (14–195 keV) survey. Out of 606 non-blazar AGN in the *Swift*/BAT 70-month catalog at high galactic latitude of $|b| > 10^\circ$, we obtain IR photometric data of 604 objects by cross-matching the AGN positions with catalogs from the *WISE*, *AKARI*, *IRAS*, and *Herschel* infrared satellites. We find a good correlation between the ultra-hard X-ray and mid-IR (MIR) luminosities over five orders of magnitude ($41 < \log(L_{14-195}/\text{erg s}^{-1}) < 46$). Informed by previous measures of the intrinsic spectral energy distribution of AGN, we find FIR pure-AGN candidates whose FIR emission is thought to be AGN-dominated with low starformation activity. We also show that the completeness of the *WISE* color-color cut in selecting *Swift*/BAT AGN increases strongly with 14–195 keV luminosity. The result is based on the paper of Ichikawa et al. (2016), accepted to ApJ, arXiv:1611.09858.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S40a 「あかり」衛星遠赤外線全天探査で探る超大光度赤外線銀河種族

秋山正幸, 野田博文, 渡邊達朗, Abdurrouf (東北大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), Yongming Liang, Tian Qiu, Jiming Yu, Guangwen Chen (USTC, China)

赤外線ダスト放射の光度が $10^{13} L_{\odot}$ を超える超大光度赤外線銀河は、赤外線銀河種族の中でも最も光度が高く、最も強い AGN 活動に付随していると考えられている。これまでの超大光度赤外線銀河は AGN の中でも特に broad-line を示す QSO に付随するケースがほとんどであったが、これは遠赤外線種族の理解がコンプリートで無いことに起因し、暗い可視光天体に対応する遠赤外線種族を見落としていたためである可能性がある。

我々は「あかり」衛星で行われた遠赤外線での全天探査のデータと WISE 衛星による中間赤外線での全天探査データ、VLA FIRST 探査での電波探査データ、スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) の可視光探査データを組み合わせることにより、7,000 平方度を超える領域で、IRAS 探査よりもやや深い遠赤外線源について、ほぼ完全に可視光の対応天体を見つけることが出来た。この探査は Herschel 衛星で行われた広域探査よりもやや浅いが、面積は 10 倍以上広い。IRAS 探査よりもやや深いだけでなく、遠赤外線での空間分解能が上がることにより、高い信頼性で暗い可視光天体との対応がつく。これにより遠赤外線での探査サンプルとしてはユニークなパラメータスペースをカバーするサンプルが構築出来た。

可視光対応天体の中には i バンドで 20 等を超える暗い天体もあり、これらは赤方偏移で 1 付近に分布し遠赤外線での光度が 10^{13} - $10^{14} L_{\odot}$ に相当する超大光度赤外線銀河であると考えられる。可視光では銀河の放射が支配的であることから、中間赤方偏移にある隠された QSO のユニークなサンプルが構築出来る。本講演では「あかり」遠赤外線源の他波長での同定結果とそれを用いた超大光度赤外線銀河のサンプルの構築について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S41a 次世代赤外線天文衛星 SPICA による活動銀河核研究

大藪進喜、金田英宏(名古屋大)、磯部直樹(東工大)、河野孝太郎、尾中 敬(東京大)、和田武彦、中川貴雄、松原英雄、山田 亨(宇宙研)、長尾 透(愛媛大)、今西昌俊(国立天文台)、芝井 広(大阪大)、他 SPICA チーム

次世代赤外線天文衛星 SPICA の中間・遠赤外線観測能力は、活動的銀河核 (AGN) の全貌研究においても非常にユニークかつ強力である。本講演では、欧州側と行ってきた SPICA での AGN 観測の検討結果を報告する。

宇宙の歴史において、塵に覆われた銀河が重要な役割を担っていることは、知られている。しかし、宇宙の赤外線光度がピークを迎える赤方偏移 1-3 の時代において、塵に覆われた銀河のエネルギー源が何であるかは、まだ理解されていない。SPICA の高感度赤外線分光能力は、[O IV] や [Ne V] といった AGN 由来の輝線を直接測定することで、赤方偏移 1-3 の塵に覆われた銀河の AGN 診断を行い、塵に覆われた宇宙の歴史における AGN の形成・進化を明らかにすることができる。

また、宇宙の星形成率が、赤方偏移 1-2 から現在に向かって減少していることは知られている。この減少を説明するためには、星形成活動を抑制するメカニズムが必要になると考えられており、現在議論が活発に行われている。そして、星形成活動を抑制するメカニズムの有力な候補一つが、AGN のアウトフローである。SPICA の中・高分散赤外線分光能力は、赤方偏移 1-2 の AGN から分子スペクトル線の P-Cygni profile を検出することにより、宇宙の星形成史への AGN アウトフローの影響を直接調べることが可能である。

そして、SPICA の波長 $34 \mu\text{m}$ 帯の広域高感度サーベイ能力は、赤方偏移 6 の AGN を大量に検出する予定である。高赤方偏移 AGN の新しいサンプルは、TMT や ALMA の新たな観測天体となると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S42a 中性水素起源の 21cm 線観測によるクェーサーの数分布の推定と観測可能性

竹内太一, 田代寛之, 市来淨與 (名古屋大学)

赤方偏移 $z > 6$ におけるクェーサーの観測によって、宇宙が誕生して約 10 億年を経る間に、すでに質量が太陽質量の数十億倍にも達する超巨大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが明らかになった。このような SMBH の形成シナリオを考えると、更に高赤方偏移の宇宙初期でも、SMBH 形成の種となる天体 (クェーサー) が存在することが示唆されている。しかしながら、更なる高赤方偏移におけるクェーサーの観測が難しいことから、未だ詳細な描像は得られていない。

そこで本研究では、高赤方偏移にある中性水素の超微細構造起源の 21cm 線に注目する。21cm 線のシグナルは、中性水素ガスの状態に依存している。そのため、SMBH の種となりうるクェーサー天体の付近では、光子の影響により中性水素ガスが温められ、クェーサー天体特有の 21cm 線シグナル構造を示す。これにより、21cm 線を用いて高赤方偏移でのクェーサー天体の数分布の赤方偏移進化を探ることができる。

本研究では、Press-Schechter 理論に基づいた簡単なクェーサー天体の数分布の赤方偏移進化モデルをいくつか仮定し、将来の SKA 観測で検出可能なクェーサー天体の数分布を推定し、それらの進化モデルの判別可能性を検証する。さらに SMBH 形成シナリオ解明の手掛かりに成り得るクェーサー天体の質量関数などに言及する事が可能であるかも議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

3月15日(水)午後(13:00-14:36) [E会場]

T01a	13:00	「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱 II 佐藤浩介 (東京理科大学)
T02a	13:12	X 線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析 中島真也 (宇宙航空研究開発機構)
T03a	13:24	X 線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の重元素量測定とその解釈 山口弘悦 (NASA/GSFC)
T04a	13:36	「ひとみ」によるペルセウス座銀河団からの 3.5keV ライン X 線の探査 田村隆幸 (宇宙航空研究開発機構)
T05a	13:48	「ひとみ」SXS 精密分光による銀河団プラズマの新 X 線スペクトル構造探査 澤田真理 (青山学院大学)
T06b	14:00	「ひとみ」によるペルセウス座銀河団のガス速度測定: (1) 速度構造 一戸悠人 (首都大学東京)
T07b	14:00	「ひとみ」によるペルセウス座銀河団のガス速度測定: (2) 輝線の非ガウス性とイオン温度への制限 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構)
T08b	14:00	「すざく」衛星による Abell2163 銀河団外縁部の詳細な解析 伊東雅史 (東京理科大学)
T09a	14:12	「すざく」で観測した近傍銀河団・銀河群のエントロピー分布 佐々木亨 (東京理科大学)
T10a	14:24	「すざく」による Abell 262 銀河団内の鉄質量と銀河分布の方向依存性 菅野祐 (東京理科大学)

3月16日(木)午前(09:30-11:30) [E会場]

T11a	09:30	Joint Strong and Weak Lensing Analysis of the Massive Cluster J0850 Kenneth Wong (NAOJ)
T12a	09:42	速度分散を用いた HSC サーベイ銀河団の質量測定 濱端亮成 (東京大学)
T13a	09:54	HSC-SSP サーベイにおける可視銀河団サンプルの構築 大栗真宗 (東京大学)
T14a	10:06	Hyper Suprime-Cam データに基づいた超銀河団 CL0016 中にある銀河とダークマターの関係 桜井準也 (総合研究大学院大学)
T15a	10:18	FRB を使った銀河団外周部 WHIM の探査 藤田裕 (大阪大学)
T16a	10:30	すざく衛星を用いた A222/223 ブリッジ領域におけるミッシングバリオン探査 服部詩穂 (奈良女子大学)
T17a	10:42	ALMA によるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の初観測 北山哲 (東邦大学)
T18c		Chandra による銀河団 SPT-CL J0619-5802 の X 線対応天体の発見 宮崎諒平 ()
T19a	10:54	A1835 銀河団のクールコア中に埋もれていた渦巻構造の発見 上田周太郎 (宇宙航空研究開発機構)
T20a	11:06	すざく衛星による Triangulum Australis 銀河団の超高温領域と非熱的 X 線放射の探査 鷹簀颯太 (山形大学)
T21b	11:18	衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 領域の広がった電波放射の探査 赤堀卓也 (鹿児島大学)
T22b	11:18	Subaru/HSC サーベイ領域にある重量級銀河団の X 線観測による質量推定 II 宮岡敬太 (広島大学)

T01a 「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱 II

佐藤浩介, 古川愛生, 佐々木亨, 松下恭子 (東京理科大), F. Paerels (Columbia), I. Zhuravleva (Stanford), 山口弘悦 (NASA/GSFC), 中島真也 (ISAS/JAXA), 深沢泰司, 大野雅功 (広島大), 「ひとみ」コラボレーション

ペルセウス座銀河団中心部では Fe He- α の共鳴線の光学的厚さが 1 を超えており、共鳴散乱の測定は輝線幅から求めたガスの速度を相補的に決定でき、かつアバダンス測定に与える不定性も制限できるので重要である。「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線分光器 SXS は軌道上でも優れたエネルギー分光能力 (5 eV@6 keV) を実現した (e.g., 2016 年秋季年会 辻本講演)。よって、SXS は高階電離した鉄輝線の微細構造も分離できるため、共鳴線とその他の輝線比から共鳴散乱の「強度」の直接観測が可能となった。「ひとみ (ASTRO-H)」SXS は、計 230 ksec ペルセウス座銀河団の中心部を観測し、中心領域でのガスの乱流速度を決定した (Hitomi collaboration 2016, 2016 年秋季年会 松下講演)。一方、我々は得られた He-like Fe He- α の共鳴線と禁制線、及び He- β のライン比は光学的に薄いプラズマモデルから期待されるよりも共鳴線が $\sim 20\%$ 程度弱いことを明らかにした (2016 年秋季年会 佐藤講演)。加えて、XMM 衛星のペルセウス座銀河団観測で得られた温度と密度をもとにおこなった共鳴散乱のモンテカルロシミュレーションの結果 (2016 年秋季年会 古川講演) とも比較した。

今回我々は、SXS のゲイン、応答関数等の較正をアップデートしたデータを用いて解析を行なった。また、Fe He- α complex 付近の輝線の強度を正確に評価するためにサテライト線の影響を考慮した。サテライト線は 1 本 1 本の強度は弱いものの、本数が多いために強度の評価には重要である。本講演では、多温度構造の影響の可能性などの系統誤差の評価も含めてペルセウス座銀河団での共鳴散乱の有無について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析

中島真也 (ISAS/JAXA), 松下恭子, 佐藤浩介 (東京理科大), 山口弘悦 (NASA/GSFC, メリーランド大) Aurora Simionescu, 田村隆幸 (ISAS/JAXA), Marshall W. Bautz (MIT)

ペルセウス銀河団の中心部で観測される高温プラズマは、その温度・密度から予測される放射冷却時間が銀河団の年齢よりも短く、何らかの加熱メカニズムを必要とする(クーリングフロー問題)。有力な説は、中心の活動銀河核 NGC1275 からのジェットによるフィードバックだが、いまだに多くの議論があり、決着はついていない。このメカニズムに迫るためには、観測的にプラズマの温度分布や電離状態を決定することが鍵となる。

X線 CCD を用いたこれまでのペルセウス銀河団観測では、主に連続 X 線の形状と Fe 輝線の強度からプラズマ温度を決定しており、多温度や非平衡状態といった複雑なプラズマ状態を解くのは難しかった。われわれは、X線 CCD の約 30 倍のエネルギー分解能を持つ、「ひとみ」搭載の X 線マイクロカロリメータ SXS を用いて観測を行い、ペルセウス銀河団の中心放射スペクトルから Si, S, Ar, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni の各輝線を明確に分離することに成功した。これらの輝線強度を用いることで、プラズマの温度や電離状態を、連続成分とは独立に評価することができる。その結果、ほとんどの元素の輝線強度は連続成分から求めた温度とコンシステントであるが、H-like Fe Ly α 輝線はそれよりも強く、より高い温度を要求することが分かった。その要因として、単純な 2 温度プラズマの描像だけでなく、再結合優勢な電離非平衡状態や電荷交換反応の寄与も考えられる。本公演では、それらの可能性について検討するとともに、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](#)

T03a X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の重元素量測定とその解釈

山口弘悦 (NASA/GSFC, メリーランド大), 松下恭子, 佐藤浩介, 佐々木亨 (東京理科大), 中島真也, Aurora Simionescu (宇宙研), Marshall W. Bautz (MIT), Michael Loewenstein (NASA/GSFC)

宇宙に存在する鉄族元素 (e.g., Fe, Ni, Mn) は、白色矮星の爆発的核融合による「Ia型超新星」を主要起源とする。したがって銀河団ガスに含まれる鉄族元素の組成は、所属銀河内で過去に起こったIa型超新星の物理的性質を知る重要な手がかりとなる。しかしNiやMnの輝線は一般に弱く、従来のCCD検出器 ($E/\Delta E \approx 40$ @ 6 keV) では連続スペクトル (制動放射) や強いFe輝線からの分離が原理的に難しかった。そのため、これらの組成比測定には常に大きな系統誤差が伴っていた。この問題を抜本的に解決したのが「ひとみ」の主力検出器SXSである。SXSは空前の分光能力 ($E/\Delta E \approx 1500$ @ 6 keV) を軌道上で実現し、銀河団ガス中の重元素量 (特に低組成元素) の測定精度を飛躍的に向上させた。

我々は「ひとみ」の初期観測でペルセウス座銀河団から得たSXSのスペクトルを分析した。その結果、鉄族元素の相対組成 (i.e., Cr/Fe, Mn/Fe, Ni/Fe) は、いずれも太陽近傍の星の組成と一致することが初めて示された。この事実は、Ia型超新星の性質や元素合成機構が母銀河の星形成率等によらず宇宙全体で一様であることを示唆する。また、白色矮星は「チャンドラセカール限界」として知られる $1.4 M_{\odot}$ に近づいた場合にのみ、爆発時に電子捕獲反応 ($p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$) を起こし、Mnや安定核Niなどの中性子過剰元素を効率的に生成する。これを考慮すると、ペルセウス座銀河団内で過去に起こったIa型超新星の約半数は、チャンドラセカール限界に達することなく爆発した可能性が高い。講演ではこの解釈に至る詳細と、本成果の宇宙論・宇宙物理学的意義について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a 「ひとみ」によるペルセウス銀河団からの3.5keV ライン X 線の探査

田村隆幸, ひとみコラボレーション

Bulbul et al. (2014) らは、多数の銀河団の X 線スペクトルを足し合わせたデータから、プラズマ起源では説明できない未同定ラインを 3.5keV 付近に検出した。この信号の起源として、ダークマター候補の仮想粒子の一つである「ステライルニュートリノ」が検討されてきた。別の研究グループからも、銀河団及び銀河から同じエネルギーの信号が検出されたという報告もある。その中でも、最も強い信号がペルセウス銀河団から検出されたと報告されている。ただし、これまでの測定は、全て CCD によるもので、エネルギー分解能が不十分で、非常に弱い信号を分光検出できていない。我々は、5eV 程度のエネルギー分解能を持つ「ひとみ」衛星のカロリメータによってこの銀河団を観測し、高精度な X 線スペクトルを世界で初めて取得した。3.5keV 付近の未同定ラインを探査し、信号は検出されなかった。その上限値は、Bulbul et al. (2014) の検出値を 99%以上の信頼度で棄却する。3.5 keV ラインの起源として、硫黄イオンの電荷交換反応によるという提案 (Gu et al. 2015) もある。これらの起源の判別についても議論をおこなう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05a 「ひとみ」SXS 精密分光による銀河団プラズマの新X線スペクトル構造探査

澤田真理 (青学大), J. Kaastra (SRON, Leiden U.), L. Gu, 赤松弘規, J. de Plaa, C. de Vries (SRON), R. Smith, A. Foster (CfA), 小高裕和 (KIPAC), M. Leutenegger, M. Markevitch C. Kilbourne, 山口弘悦 (NASA/GSFC), G. Brown (LLNL), F. Paerels (Columbia U.), 太田直美 (奈良女子大), 田村隆幸, 中島真也, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 松下恭子, 佐藤浩介 (東理大), R. Mushotzky (U. of Maryland), 大橋隆哉 (首都大), ほか「ひとみ」コラボレーション

銀河団をはじめとする宇宙の希薄な高温プラズマは、精密X線分光による基本的物理量(温度・元素組成・速度構造など)の直接測定によってその理解が飛躍的に進むと期待される。スペクトルデータから物理量を導き出すうえで不可欠なのがプラズマコードである。プラズマコードによる放射モデルと実観測スペクトルとのずれは、検出器較正やプラズマコードそのものの不完全性・不定性に起因することがしばしばである。しかし、放射モデルには考慮されていない未発見の物理現象がデータに反映されている可能性もある。

われわれは「ひとみ」衛星搭載X線マイクロカロリメータSXSによってペルセウス座銀河団の中心部を観測し、世界で初めて鉄K殻輝線も含む帯域での銀河団プラズマの精密X線分光を実現した。SXSが得たスペクトルは、ケイ素から鉄・ニッケルまでのK殻輝線を含む2-9 keVの帯域をカバーしており、現代のプラズマコードにとっての試金石となる。「ひとみ」原子物理チームは、この精密スペクトルをもちいてプラズマコードの性能・系統誤差評価を行うとともに、これまでのX線観測では分光能力不足で検証できなかった新しいスペクトル構造の探査をおこなった。本講演ではとくに、高温プラズマが冷たい中性ガスと衝突した際に起きる電荷交換反応、衝撃波や活動銀河核によるエネルギー注入がつくる非熱的電子との相互作用、の2つについて、探査結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T06b 「ひとみ」によるペルセウス座銀河団のガス速度測定: (1) 速度構造

一戸悠人 (首都大), 飯塚亮 (ISAS), 井上翔太 (大阪大), 上田周太郎 (ISAS), 太田直美 (奈良女子大), 北山哲 (東邦大), 佐藤浩介 (東京理科大), 田中桂悟 (金沢大), 田村隆幸 (ISAS), 辻本匡弘 (ISAS), 藤本龍一 (金沢大), 前田良知 (ISAS), および「ひとみ」コラボレーション

ペルセウス座銀河団は X 線で最も明るい銀河団であり、「ひとみ」衛星の初期運用期間中に軟 X 線分光器を用いて 4 ポインティング、合計 320 ksec 観測された。Hitomi collaboration (2016) により、中心銀河である NGC 1275 の周辺 $3' \times 3'$ の領域の 230 ksec 分 (2 ポインティング分) のデータが解析された。その結果、中心核付近を除く領域における銀河団ガスの視線方向の速度分散が 164 ± 10 km/s であること、そして視野内での速度変化が 150 ± 70 km/s であることがわかり、その結果は日本天文学会 2016 年秋季年会で報告された (The Hitomi collaboration; T07a など)。

一方で、上記で解析された 2 ポインティングの他に、中心から西に $3'$ 程度離れた領域の 47 ksec の観測、また、南東に $0'.5$ 程度離れた領域の 43 ksec の観測が存在する。我々は、より大きな空間スケールの速度構造を調べるために、Hitomi collaboration (2016) とは空間的に異なる領域をカバーするこれらの観測のデータも解析した。その結果、上記の値と同程度の視線方向速度分散を得た。また、エネルギーゲインキャリブレーション・PSF 効果・系統誤差の見積もりをより洗練させ、結果の実質的な信頼性が向上した。本講演では、空間分布の観点から視線方向速度分散や速度場を見積もり、解析の詳細を含めた結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T07b 「ひとみ」によるペルセウス座銀河団のガス速度測定: (2) 輝線の非ガウス性とイオン温度への制限

上田周太郎 (ISAS), 飯塚亮 (ISAS), 一戸悠人 (首都大), 井上翔太 (大阪大), 太田直美 (奈良女子大), 北山哲 (東邦大), 佐藤浩介 (東京理科大), 田中桂悟 (金沢大), 田村隆幸 (ISAS), 辻本匡弘 (ISAS), 藤本龍一 (金沢大), 前田良知 (ISAS), および「ひとみ」コラボレーション

ペルセウス座銀河団は X 線で最も明るい銀河団であり、「ひとみ」衛星の初期運用期間中に軟 X 線分光器 (SXS) を用いて 4 ポインティング、合計 320 ksec 観測された。Hitomi collaboration (2016) により、中心銀河である NGC 1275 の周辺 $3' \times 3'$ の領域の 230 ksec 分 (2 ポインティング分) のデータが解析された。その結果、中心核付近を除く領域における銀河団ガスの視線方向の速度分散が 164 ± 10 km/s であること、そして視野内での速度変化が 150 ± 70 km/s であることがわかり、その結果は日本天文学会 2016 年秋季年会で報告された (The Hitomi collaboration; T07a など)。

SXS は広がった放射に対してもエネルギー分解能 ~ 5 eV という圧倒的な分光性能を持つ。そのため SXS を用いて複数の輝線の幅を測定することで、輝線の非ガウス性の探査や、乱流による広がりやイオン温度による広がりを切り分けることが可能となった。我々はペルセウス座銀河団の SXS の中心部の観測データを解析し、これらの精密測定を行った。その結果、輝線の形状は、中心から数分角の空間スケールの中ではガウス分布からの有意なずれは認められず、このスケールにおける乱流の速度分布もガウス分布と整合していることがわかった。またイオン温度への制限が銀河団ガスで初めて得られ、電子温度と整合している示唆を得た。

本講演では、これらの結果と解析の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T08b 「すざく」衛星による Abell2163 銀河団外縁部の詳細な解析

伊東雅史、松下恭子、佐藤浩介、佐々木亨 (東京理科大学)、太田直美 (奈良女子大学)

重力における加熱のみを考慮した数値シミュレーションによれば、銀河団の加熱指標であるエントロピーは銀河団中心からの距離の 1.1 乗に依存して増加する。しかし X 線観測衛星「すざく」による観測結果では、エントロピーは十数個の銀河団において銀河団中心から r_{500} までしか上昇せず、銀河団外縁部ではほぼ一定の値となることが確認された (e.g., Kawaharada et al., 2010)。一方で、Eckert et al. (2013) は電波観測衛星「Planck」による圧力分布と X 線観測衛星「ROSAT」で求めたガス密度分布から、エントロピーが銀河団外縁部でも上昇することを Abell2163 銀河団を含む 18 個の銀河団で示した。

2015 年秋の天文学会の結果に引き続き、「すざく」衛星による Abell2163 銀河団 ($kT = 13.40\text{keV}$, $z = 0.203$) の観測データをヴィリアル半径の 2 倍程度まで解析を行った。今回我々は「すざく」衛星と「Planck」衛星の結果と精密に比較するため、「すざく」衛星の結果の円環領域を調整し比較を行った。銀河団外縁部では ICM の放射が微弱になる為、銀河団の ICM 成分と我々の銀河系から放射される可能性のある $\sim 1\text{ keV}$ 程度の放射 (Yoshino et al., 2009; Sekiya et al., 2014) との区別が非常に難しくなる。また、バックグラウンドモデルに含まれる CXB の輝度の解析結果により銀河団外縁部の ICM 成分に影響を与える可能性もあり得る。そこで、バックグラウンドモデルに ICM 成分又は銀河系成分 ($\sim 1\text{ keV}$ 成分) を考慮し解析を行うと共に、解析から得られた CXB の輝度を $\log N$ - $\log S$ 関係より評価し、さらに CXB を点源の揺らぎを考慮し解析結果と比較した。銀河団外縁部の領域では 1 keV 成分の輝度が一定となった為、銀河系成分の放射ではないかと考察した。また、銀河系成分を考慮しても r_{500} より外側では、エントロピーの上昇は見られず、理論予測より低い結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T09a 「すざく」で観測した近傍銀河団・銀河群のエントロピー分布

佐々木亨, 松下恭子, 佐藤浩介, 横田佳奈, 栗山翼, 菅野祐 (東京理科大学), 赤松弘規 (SRON), 藤田裕 (大阪大学), 中澤知洋 (東京大学), 岡部信広 (広島大学), 大橋隆哉 (首都大学東京), 太田直美 (奈良女子大学), 田村隆幸 (ISAS/JAXA), 滝沢元和 (山形大学)

銀河団高温ガスのエントロピーは温度と密度により定義されるパラメータで、温度よりも銀河団の熱的な歴史を反映している。銀河団が成長するほど降着するガスは強い衝撃波を受けるため、エントロピー分布は半径の1.1乗に比例すると考えられていた (Tozzi et al. 2001)。X線天文衛星「すざく」によって測定された中規模より大きい銀河団のエントロピー分布は、どの銀河団も r_{500} (~ ビリアル半径の半分) より外で一定となった (e.g. Sato T. et al. 2012)。この原因として、高温ガスの温度の急激な減少 (Okabe et al. 2014)、電子温度とイオン温度のずれ (Hoshino et al. 2010) などが考えられている。一方で「すざく」で観測された2 keVの銀河群のエントロピーは r_{500} より外でも増加を続ける傾向が報告されている (Humphrey et al. 2012)。これは銀河群自体の熱的な歴史が r_{500} より外で銀河団と異なる可能性を示唆している。

今回、我々は統計的に銀河団・銀河群のエントロピー分布を調べるために、「すざく」でビリアル半径まで観測された近傍 ($z < 0.06$) の1-8 keVの銀河団・銀河群を13個解析した。ビリアル半径付近の観測では我々の銀河系の放射を正しく測定することが重要なため、Sekiya et al. (2014) などで報告されている1 keV程度の銀河系からの放射を考慮し、系統誤差として評価とした。その結果、ビリアル半径付近でも銀河群は銀河団に比べて規格化したエントロピーが高い傾向が見られた。本講演ではX線望遠鏡による銀河団中心からの迷光が観測量に与える影響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](#)

T10a 「すざく」による Abell 262 銀河団内の鉄質量と銀河分布の方向依存性

菅野祐、松下恭子、佐藤浩介、佐々木亨 (東京理科大学)、一戸悠人 (首都大学東京)

銀河団には、銀河内の恒星や超新星爆発によって生成、拡散された重元素を含む大量のガスが閉じ込められており、銀河団ガスに含まれる元素量と元素を生成したであろう構成銀河の分布を調べることは、銀河団の重元素汚染史を知るためにも重要である。「すざく」衛星により銀河団のビリアル半径付近までの温度と鉄質量が初めて求められるようになったが、中規模銀河団での報告例は少なく、銀河群と銀河団をつなぐサンプルとしても有用である。我々は「すざく」を用いて Abell 262 銀河団の外縁部までの観測提案を行い、フィラメント方向とフィラメントに垂直な方向の2方向について温度や密度をビリアル半径まで求めた (2015 年秋季年会菅野講演)。

「すざく」による Abell 262 銀河団外縁部の観測時期は太陽風が強く、太陽風電荷交換反応の影響が大きい時間帯がある。太陽風電荷交換反応は ~ 1 keV まわりに輝線を出すため、銀河団ガスの温度や密度の解析に影響するので、太陽風電荷交換反応のモデルを用いて詳細な解析が必要である。電荷交換反応の効果を考慮に入れてもフィラメント方向がフィラメントに垂直な方向と比べて、温度や密度が高いことが今回確かめられた。また、近赤外線での銀河の観測データ (2MASS) から Abell 262 銀河団の構成銀河の分布を調べると、フィラメント方向がフィラメントに垂直な方向と比べて、銀河の密度が明らかに高いことがわかった。鉄質量と銀河光度の分布の比は球対称を仮定している結果が多いものの、フィラメントとそれ以外の方向それぞれの鉄質量-銀河光度比を今回新たに求めた。本講演では、Abell 262 銀河団の鉄や銀河、銀河団ガスの方向依存性について議論するとともに、複数の方向について外縁部まで観測されている他の銀河団の方向依存性の結果とも比較し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T11a Joint Strong and Weak Lensing Analysis of the Massive Cluster J0850

Kenneth Wong (NAOJ), et al.

We present a combined strong and weak lensing analysis of the J085007.6+360428 (J0850) field, which contains the massive cluster Zwicky 1953. Using Subaru/Suprime-Cam $BVR_cI_c i' z'$ imaging along with spectroscopic redshifts from MMT/Hectospec, we perform a weak lensing shear analysis to derive constraints on the mass distribution in this field, including the massive cluster at $z = 0.3774$, a smaller foreground halo at $z = 0.2713$, and galaxies projected along the line of sight. We use a multiply-imaged galaxy identified in the Suprime-Cam imaging data with a photometric redshift of $z = 5.03$ to add an additional strong lensing constraint, which improves the mass model and the corresponding magnification map. From our analysis, we calculate the virial mass of the primary cluster to be $M_{\text{vir}} \sim 2.8 \times 10^{15} M_{\odot}$, making J0850 an ideal field for taking advantage of lensing magnification to search for high-redshift galaxies, complementary to existing surveys such as the *HST* Frontier Fields.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T12a 速度分散を用いた HSC サーベイ銀河団の質量測定

濱端亮成, 大栗真宗 (東京大学), ほか HSC-SSP 銀河団ワーキンググループ

銀河団の性質の赤方偏移進化を調べる事は宇宙論、および銀河の研究において非常に重要である。SDSS 等の既存の広視野可視サーベイ観測では、検出感度の制限により赤方偏移 0.3 以上の銀河団を一様に探し出し統計的に解析する事は困難であった。しかし、Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイを基にして作成された銀河団カタログは広い天域にわたって赤方偏移 1.1 まで検出できている。

銀河団カタログを宇宙論や銀河進化の研究に応用するためには、これら銀河団カタログの質量を正確に見積もることが必要不可欠である。銀河団の質量を測定する手法の一つに銀河団のメンバー銀河の速度分散を用いる手法がある。これは各銀河団内の中心銀河と衛星銀河の視線方向の速度差を赤方偏移を用いて測定し、その速度差の分布と銀河団の質量をヴィリアル平衡を用いて関係付けるものである。分光によって正確に赤方偏移が測定されている銀河の数が限られているため、この手法では個々の銀河団の質量を測定することはできない。しかし、複数の銀河団をスタックすることで銀河団のメンバー銀河の数 (richness) と質量を対応させることができる。

今回我々は HSC の DR1-WIDE を用いた銀河団カタログ (Oguri et al. 2017) に上記の速度分散の手法を適用することで、比較的高い赤方偏移での銀河団の質量とメンバー銀河の数 (richness) の関係 (Mass-Richness Relation) を測定することができた。本講演では、これらの結果を紹介するとともに Mass-Richness Relation の赤方偏移進化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T13a HSC-SSP サーベイにおける可視銀河団サンプルの構築

大栗真宗 (東京大学), ほか HSC-SSP 銀河団ワーキンググループ

2014年に開始されたHSC-SSPサーベイはすばる望遠鏡に搭載されたHyper Suprime-Cam (HSC)を用いて5バンド (*grizy*) で5年かけて広い領域を撮像するサーベイ観測である。まだサーベイは途中だがそのうちのWideレイヤーではすでに200平方度以上の天域の観測を完了している。

可視サーベイによる銀河団探査は例えばSloan Digital Sky Survey (SDSS) で盛んに行われているが、その浅さゆえにSDSSでメンバー銀河を十分に同定して検出できる銀河団は $z = 0.3$ 程度以下の比較的low redshiftに限定される。一方でHSC-SSPサーベイでは $z = 1$ の高赤方偏移においても十分にメンバー銀河を同定し銀河団を検出できる。

本講演ではHSC-SSPサーベイのS16Aデータセットに対してCAMIRAアルゴリズム (Oguri 2014) を適用し銀河団サンプルを構築した結果を報告する。赤方偏移 $0.1 < z < 1.1$ の範囲でリッチネス > 15 の条件で、約2000個の銀河団を検出した。分光カタログとの比較により銀河団の測光的赤方偏移も精確であることが確かめられ ($\text{bias} < 0.005$, $\text{scatter} < 0.01$)、またX線銀河団やモック銀河カタログとの比較により銀河団の検出効率も十分に高いことが示された。この銀河団サンプルは銀河進化や重力レンズなど様々な研究に応用され始めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T14a Hyper Suprime-Cam データに基づいた超銀河団 CL0016 中にある銀河とダークマターの関係

桜井準也 (総合研究大学院大学), 宮崎聡, 浜名崇, 田中賢幸 (国立天文台), 樋口祐一 (ASSIA), 内海洋輔 (広島大学)

宇宙の大規模構造は、銀河がほとんど存在しないホイトとそれらを取り囲むフィラメント状の構造によって形成されており、銀河の多くはフィラメント状の構造が交差するところに銀河団という密集した形で存在していると考えられている。本研究では、特に銀河団が密集した超銀河団領域を探索し、こうした巨大構造に含まれる銀河団と孤立した銀河団の性質に違いがあるかを調査することにした。

2014 年より、Hyper Suprime-Cam の本観測が始まり、その GTO 時間を使って超銀河団領域である CL0016 を観測した。CL0016 には、分光同定された銀河団が多数存在しており、X 線観測からもいくつかの銀河団の存在が確認されている (Tanaka et al. 2009)。本研究では、その中でも特に赤方偏移 0.55 にある 3 つの銀河団の性質について銀河とダークマターの両面から調査することとした。ダークマターの情報については、弱い重力レンズ効果による質量分布図からすでに得られている。一方、銀河については色の情報を用いて銀河団銀河を選び出し、予測される銀河団半径内にいる各銀河団銀河の星質量を足し合わせることで、それぞれの銀河団全体の星質量を見積もった。両者の比をとり Stellar Mass Fraction を求めてみると、先行研究でもあるようにダークマター質量が大きいほど Stellar Mass Fraction が小さくなる傾向が見られた。これに対し、X 線観測から求まる銀河団のガス質量との比をとった Gas Mass Fraction ではダークマター質量が大きいほど Gas Mass Fraction が大きくなるのが期待される。発表では Stellar Mass Fraction の評価および Gas Mass Fraction の結果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T15a FRB を使った銀河団外周部 WHIM の探査

藤田裕 (大阪大学), 赤堀卓也 (鹿児島大学), 梅津敬一 (ASIAA), Craig L. Sarazin (Virginia), K.-W. Wong (Eureka Scientific)

宇宙のバリオンの多くを占めると考えられている Warm Hot Intergalactic Medium (WHIM) のかなりの割合は、銀河団周辺部に存在すると考えられているが、観測が困難でその性質はほとんどわかっていない。一方、WHIM は銀河団に落下する過程で衝撃波を通過することで加熱され、高温の銀河団ガスになると考えられている。最近のすざくの観測で、銀河団外周部の銀河団ガスのエントロピーが予想より低いことがわかっているが、その理由を明らかにするためには、WHIM が銀河団ガスになる過程を調べる必要があり、そのためには銀河団周辺部の観測が必要不可欠である。しかし、X線では銀河団のビリアル半径を超えるような領域の観測は大変難しい。

本研究で我々は、多数の Fast Radio Burst (FRB) の dispersion measure を観測することで、銀河団周辺部の WHIM の密度の情報を得られることを示した。さらに Sunyaev-Zel'dovich (SZ) 効果の観測もあれば、圧力の情報も得られるので、それと組み合わせて WHIM の温度も推定できることも示した。定量的な評価を行うために、Square Kilometer Array (SKA) と Planck による模擬観測を行ったところ、密度に関してはビリアル半径の2倍以上の領域まで、圧力と温度に関しては1.5倍程度の領域まで有意な情報が得られることがわかった。本手法は、銀河団間のフィラメントに存在する WHIM の観測や、銀河団ガスの非一様性の研究にも有用であろう。

Ref: Fujita et al. 2016, ApJ, in press (arXiv:1609.03566)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T16a すざく衛星を用いた A222/223 ブリッジ領域におけるミッシングバリオン探査

服部詩穂, 太田直美 (奈良女子大学), 赤松弘規 (SRON)

近傍宇宙では遠方宇宙で観測されたバリオン量に比べ半分以上が未検出である。これらミッシングバリオンは 10^5 – 10^7 K の中高温銀河間物質 (WHIM) として大規模構造に沿って分布していると予想されている。 $z = 0.21$ に位置する A222/223 はその銀河団間を結ぶようにフィラメントが存在し、過去の XMM 衛星による観測から温度が 0.91 ± 0.25 keV の WHIM の存在が報告されている (Werner et al. 2008)。今回我々は高い感度と安定したバックグラウンドを特長とするすざく衛星を用いて、銀河団間のブリッジ領域の WHIM 探査を行った。これにより、XMM とは独立に温度や存在量に制限をつけることを目指した。

我々は、軟 X 線領域に高い感度を持つ XIS1 検出器のデータからブリッジ領域の X 線スペクトルを抽出した。この X 線スペクトルがバックグラウンド成分に加え銀河団ガスの熱的放射と WHIM 放射の和で表されるとして、モデルフィットを行った。すると、この領域の銀河団ガスの温度は (4.0 ± 1.1) keV である一方、WHIM 成分の温度は (0.43 ± 0.12) keV であるという結果を得た。このとき WHIM 成分の有意性は、スペクトルフィットにおいてバックグラウンドと銀河団成分のみを考えた場合と比較すると、F 検定により約 99.8 % であった。また WHIM 放射の X 線表面輝度は $(1.6 \pm 1.0) \times 10^{-6}$ photons/cm²/s/arcmin² であり、 $Z = 0.2$ solar およびガスの奥行き $L=2.5$ Mpc を仮定して overdensity (宇宙の平均水素密度との比) を求めると $\delta = 380 \pm 125$ となった。

今回の結果は、A222/223 ブリッジ領域における WHIM の存在を支持するが、XMM の報告より低いガス温度を持つことを示唆している。本講演では、スペクトル解析の詳細を報告し WHIM の性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T17a ALMAによるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の初観測

北山哲(東邦大), 上田周太朗(ISAS/JAXA), 高桑繁久(鹿児島大), 堤貴弘(NRAO), 小松英一郎(MPA), 赤堀卓也(鹿児島大), 伊王野大介(国立天文台), 泉拓磨(東京大), 川邊良平(国立天文台), 河野孝太郎(東京大), 松尾宏(国立天文台), 大栗真宗(東京大), 太田直美(奈良女子大), 須藤靖(東京大), 滝沢元和(山形大), 吉川耕司(筑波大)

スニヤエフ・ゼルドビッチ(SZ)効果は、X線とは独立かつ相補的な高温プラズマの観測手段であるが、信号が微弱であるため、高空間分解能観測は従来極めて困難であった。近年進展が著しいSPT, ACT, PLANCK等による観測データも、その空間分解能は1分角よりも大きく、特に遠方銀河団の内部構造を探るには不十分である。我々は、初めて5秒角の空間分解能での熱的SZ効果観測を実現することにALMA Band 3を用いて成功したので、その結果と意義について報告する。

最初に観測した天体は、RX J1347.5-1145であり、 $z = 0.451$ に位置する。15 σ 以上の高信頼度で検出された熱的SZ効果強度のピークは、チャンドラ衛星によるX線強度ピークとは11秒角(60kpc)ずれており、クールコアの外側に位置することが明らかとなった。また、SZ効果のピーク付近のガス温度が20 keVを超えていることも、複数の方法により示され、すざく衛星による硬X線観測からも存在が示唆されていた非常に高温なガスの位置がほぼ同定された。これらの結果は、この銀河団が、顕著なクールコアを維持しつつも激しい衝突過程にあることを示唆している。さらに、 $z = 0.597$ に位置するPhoenix cluster (SPT-CL J2344-4243)についても同等の空間分解能観測データを取得したので、その解析経過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](#)

T18c Chandra による銀河団 SPT-CL J0619-5802 の X 線対応天体の発見

宮崎諒平, 坪井陽子, 勝田哲 (中央大学), 上田周太郎, 飯塚亮, 菅原泰晴 (宇宙航空研究開発機構), 磯辺直樹 (東京工業大学), 北山哲 (東邦大学)

近年、Sunyaev-Zel'dovich 効果 (SZ 効果) サーベイ観測により多くの銀河団が発見され、従来では観測の難しかった high- z の銀河団も多数見つけている。見つかった銀河団の質量推定はいくつかの scaling relation を用いて行われているが、それらの系統誤差を抑えるために他波長による mass calibration が求められている。銀河団を満たす高温ガス (ICM) の観測は X 線帯域で行うのが最も効率が良いため、X 線のフォローアップ観測の重要性が高まっている。

SPT-CL J0619-5802 は $z = 0.54$ に位置し、SZ 効果により発見された銀河団である (Bleem et al. 2015)。我々は X 線天文衛星 Chandra による観測の結果、SPT-CL J0619-5802 と重なる位置に拡がった X 線放射を発見した。観測データの解析により、X 線表面輝度分布は β モデルとよく一致し、その冪は 0.59 と求まった。また X 線放射が ICM 由来だとすると、その温度は 5.9 keV になることが判った。これらの値は銀河団として典型値であるため (Mitsuishi et al. 2014; Ota & Mitsuda 2004)、X 線放射と SPT-CL J0619-5802 の関連性が示唆される。加えて、SZ 効果から推定される距離を用いると、X 線光度は $6.4 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ となった。この値もまた銀河団として典型値である。以上のことから、我々の発見した X 線放射は SPT-CL J0619-5802 の対応天体であると結論づけた。

解析で得られた温度と銀河団の質量との scaling relation (Vikhlinin et al. 2009) から、SPT-CL J0619-5802 の質量を $M_{500} = 4.1 \times 10^{14} M_{\odot}$ と導出した。また、 β モデルと静水圧平衡仮定を用いた場合、 $M_{500} = 4.2 \times 10^{14} M_{\odot}$ を得た。両質量は、SZ 効果の観測により得られた質量 ($M_{500} = 4.11 \times 10^{14} M_{\odot}$) 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](#)

T19a A1835 銀河団のクールコア中に埋もれていた渦巻構造の発見

上田周太郎 (ISAS/JAXA), 北山哲 (東邦大学), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA, 総研大)

近年、高い角度分解能を持つ欧米の X 線天文衛星を用いて、銀河団中心部の X 線表面輝度分布中に見られる微細な構造を調べる研究が進んでいる。いくつかの銀河団で、X 線画像から平均成分を差し引くと、残差に渦巻状の構造が現れるものがあることが判っていた。この構造を作り出すものとして有力視されているのが、比較的軽い銀河団との衝突により中心部の暗黒物質が揺り動かされ、それに銀河団高温ガス (ICM) が引きずられる gas sloshing である。

A1835 は $z = 0.2532$ に位置し、非常に重く中心部にクールコアが形成されている銀河団である。X 線表面輝度は軸対称性が高く、リラックスした銀河団だと考えられてきた。我々は、*Chandra* 衛星が観測した 193 ksec のデータを用いてこの銀河団の中心部の詳細な画像解析を行った。独自のアルゴリズムを用いて計算した平均成分を差し引くことで、正負それぞれの残差を持つ、大きさが 80 kpc 程度の 2 つの渦巻構造があることを発見した。渦巻のある領域から取得した ICM のスペクトルを解析し、両領域で温度差が 1.5 keV、密度が 1.5 倍違うことが判った。一方で ICM の圧力は両領域で同程度になっており、圧力平衡になっていることを示唆する。A1835 の渦巻構造は、これまで見つかったものの中では最もサイズが小さく、クールコアとその周辺を直接つなぐように分布している。これは、minor merger による gas sloshing が起源であるとする、merger からの経過時間が比較的短いことを示唆している。ただし、サイズが比較的小さいことから、中心 AGN による影響も排除しきれない。

本講演では、これらを詳述する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T20a すざく衛星による Triangulum Australis 銀河団の超高温領域と非熱的 X 線放射の探査

鷹箸颯太 (山形大), 滝沢元和 (山形大), 板花まどか (山形大), 中澤知洋 (東京大)

いくつかの銀河団において 10 keV を大きく超える超高温成分からの放射が存在することが報告されている。このような温度を正確に測定するには硬 X 線領域まで含めた解析が必要である。また、電波ハローや電波レリックのような非熱的電波放射領域を持つ銀河団では CMB 光子と高エネルギー電子との逆コンプトン散乱による非熱的 X 線が存在するはずであり、その探査にも硬 X 線観測は重要である。

Triangulum Australis 銀河団は近傍 ($z \simeq 0.05$) に位置し、X 線放射が $20' \times 20'$ ほどに広がる銀河団である。先行研究では中心部に 15 keV 程度の超高温成分があることが示唆されている (Markevitch et al. 1996)。さらに、近年の電波観測では電波ハローを持つことが発見された (Scaife et al. 2015)。

今回我々は、すざく衛星に搭載されている X 線 CCD 検出器 (XIS) と硬 X 線検出器 (HXD) を用いて Triangulum Australis 銀河団を観測した。XIS のデータから表面輝度ピークを中心とした複数の領域でスペクトル解析を行い温度分布を求めると、最も高温なのは中心部 ($r < 1.5'$) で $kT = 10.64 \pm 0.20$ keV であった。 $1.5' < r < 4.5'$ では 10.1 ~ 10.6 keV 程度であり南方がやや高温となった。これは Markevitch et al. (1996) の結果と異なるものであり、超高温領域は見つからなかった。また、電波ハローでの逆コンプトン散乱による非熱的 X 線を探査するため、XIS と HXD のデータを併せて用い、熱的放射モデルと非熱的放射モデルを組み合わせてフィッティングした。その結果、スペクトルは単独の熱的放射モデルでもよくあっており、非熱的放射を積極的に入れる必要はなかった。現在非熱的放射フラックスの上限について解析を進めており、ここから磁場強度の制限を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T21b 衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 領域の広がった電波放射の探査

赤堀卓也¹⁾, 加藤佑一²⁾, 中澤知洋²⁾, 小澤武揚³⁾, Gu Lyli⁴⁾, 滝沢元和⁵⁾, 藤田裕⁶⁾, 中西裕之¹⁾, 岡部信弘⁷⁾, 牧島一夫²⁾ (¹ 鹿児島大, ² 東京大, ³ 国立天文台, ⁴ SRON, ⁵ 山形大, ⁶ 大阪大, ⁷ 広島大)

衝突銀河団は X 線の不規則な形態に加えて電波ハロー・レリックが観測されることが多い。そのため、衝突に伴う衝撃波や乱流と、粒子加速や磁場増幅との関連性が議論されてきた。衝突する 2 つの銀河団の局面は、互いが接近する前期とすれ違い遠ざかる後期とに大きく分けられる。これまで、比較的高マッハ数 ($M \sim 2 - 4$) の衝撃波を有する後期衝突銀河団は数十例研究されている。一方で、相対的に低マッハ数 ($M \sim 1.5$) の衝撃波を有すると予想されている前期衝突銀河団は、例に限られ理解が進んでいない。

CIZA J1358.9-4750 (CZ1359) は X 線観測から前期衝突銀河団と示唆されており、その 2 銀河団の連結領域に年齢が約 70 Myr、 $M \sim 1.3$ の衝撃波が見つかった (Kato et al. 2015, PASJ, 67, 71)。そこで我々は、稼働中のセンチ波電波干渉計としては南半球最大の ATCA (Australia Telescope Compact Array) を用いて、CZ1359 領域を波長 16 cm 帯域で初めて深い観測を行った。その結果、典型的な電波ハロー・レリックを想定した場合の信号雑音比が 10 に対応する感度を得て、CZ1359 領域に広がった電波放射が有意にないことを確かめた。講演ではこの結果を報告すると共に、宇宙線と磁場とのエネルギー等分配を仮定した場合の磁場強度などの物理量の上限值を示す。電波放射が強くない物理的理由として、衝撃波の年齢が非常に若いことなどが考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T22b Subaru/HSC サーベイ領域にある重量級銀河団のX線観測による質量推定 II

宮岡敬太、岡部信広、北口貴雄、深沢泰司(広島大学)、大栗真宗(東京大学)、HSC Cluster Members

すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC SSP) サーベイ領域で、現在観測された銀河団のうち、*XMM-Newton* 衛星の X 線データから静水圧平衡を仮定して全質量を求め、可視光線領域の物理量等を比較したので、報告する。用いたサンプルは *ROSAT* 衛星の MCXC カタログから近傍 ($z < 0.4$) かつ重量級 ($M_{500} \geq 2 \times 10^{14} M_{\odot}$) の銀河団 22 個であり、そのうち 12 個は、*XMM* で観測済みで、残りの 10 個は我々が観測提案した。

前回の年会(宮岡他、T02a)では、*XMM* データから銀河団ガスの密度および温度の半径分布、そして静水圧平衡を仮定して全質量を求め、先行研究と比較し、解析手法の正当性を検証した。この解析ツールを XCASE (XMM Cluster Analysis Software with ESAS) と名付け、HSC 銀河団コミュニティに公開し、より堅牢な解析手法を目指し、共同開発を続けている。今回は、このツールを使って得られた X 線物理量(温度、ガス質量、全質量)と、CAMIRA algorithm (Oguri 2014) により得られた、HSC SSP サーベイで観測された銀河団の可視光線物理量 (richness, stellar mass, Oguri et al. in prep) の相関関係を議論した。その結果、少ないサンプル数ではあるが、richness と全質量にべき関数的相関が見られ、バリオンフラクションにおいては宇宙マイクロ波背景放射の観測と同様の傾向が見られた。また、各銀河団の richness で規格化したプロジェクション温度分布は、サンプル銀河団で同様の半径依存性を示し、先行研究で示唆されている銀河団の性質とおおむね矛盾ないものである。本講演では 22 個のサンプルの解析を進め、統計量を増やし、より有意な結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

3月15日(水)午後(13:00-15:00) [H会場]

U01a	13:00	ポイドによる宇宙論の検証 I –赤方偏移変形の線形モデルとシミュレーションによる検証– 西澤淳(名古屋大学)
U02a	13:12	宇宙論的ポイド形成におけるダークエネルギーの影響 遠藤隆夫(名古屋大学)
U03a	13:24	ポイド形状の赤方偏移進化 簀口睦美(名古屋大学)
U04a	13:36	宇宙定数問題は人間原理で説明できるか? 銀河形成モデルによる検証 須藤貴弘(東京大学)
U05c		宇宙定数 による光の曲がり と Gauss-Bonnet の定理 荒木田英禎(日本大学)
U06a	13:48	POLARBEAR-1 実験による重力レンズ起源 B モード偏光観測の最新結果と米国の地上将来 CMB 実験計画 茅根裕司(カリフォルニア大学)
U07a	14:00	Weak lensing effect と CMB 偏光揺らぎに対する原初磁場の影響 山崎大(茨城大学)
U08a	14:12	宇宙マイクロ波背景放射によるアインシュタインの等価原理の検証 田代寛之(名古屋大学)
U09a	14:24	Axion inflation with interference and CMB anomaly 飯田遼(名古屋大学)
U10a	14:36	宇宙磁場が熱的 SZ 効果を通して CMB 温度の非等方性に与える影響 箕田鉄兵(名古屋大学)
U11a	14:48	On the cross-correlation between the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect and local galaxy density: Constraining the local universe 真喜屋龍(Kavli IPMU, Max Planck Institute for Astrophysics)

3月16日(木)午前(09:30-11:00) [H会場]

U12a	09:30	バリオン音響振動の再構築法による宇宙大規模構造のアンチエイジング 日影千秋(東京大学)
U13a	09:42	バリオンダークマター間の超音速相対運動を含む暗黒時代の構造形成 浅羽信介(名古屋大学)
U14a	09:54	重元素の超微細構造線を用いた中高温銀河間ガスの観測可能性について 渡邊歩(筑波大学)
U15a	10:06	A robust way to measure the galaxy clustering statistics up to Nyquist wavenumber with Fast Fourier Transform 斎藤俊(Max-Planck-Institut für Astrophysik, Germany)
U16a	10:18	SDSS 銀河団カタログの弱重力レンズ効果と数値宇宙論の比較による銀河団質量の検証 II 村田龍馬(東京大学)
U17a	10:30	地球磁場を用いたアクシオン様粒子起因のX線放射の探索 山本亮(宇宙航空研究開発機構)
U18c		SDSS と HSC を組み合わせた重力レンズキューサー探査 加用一者(東京工科大学)
U19a	10:42	A を用いたアインシュタインの相対性理論について。A とは地表のエネルギーを 1 とする場合のエネルギーの比です。光子がブラックホールに吸い込まれる原理。どの軌道で吸い込まれるか。 小堀しづ
U20b	10:54	電磁気がマイナスの宇宙からビッグバンになり、インフレーションに成り背景放射に成った過程と宇宙の形と、インフレーションが存在した事の証拠 小堀しづ
U21c		クォークの軌道エネルギーと粒子の中の回転 小堀しづ

U01a ボイドによる宇宙論の検証I-赤方偏移変形の線形モデルとシミュレーションによる検証-

西澤淳 (名古屋大学), 石山智明 (千葉大学), 市來淨與, 長谷川賢二, 蓑口睦美, 遠藤隆夫 (名古屋大学)

本講演では、宇宙大規模構造に見られるボイドを用いた宇宙論的解析の結果を報告する。ボイドは大規模構造の低密度領域であり、宇宙の体積の大部分を占める構造である。その形状は一般には非常にいびつであるが、宇宙原理により多数のボイドで平均すると、その密度プロファイルは球形となることが期待される。

我々がこの宇宙に浮かぶ真球の大きさを観測するときには、視線と垂直方向には球の見込み角を、視線方向には手前と奥の構成物の赤方偏移差を利用する。これを実際のスケールに変換する時には、宇宙論パラメータを仮定する必要がある。ここで誤った宇宙論パラメータを仮定すると、ボイドの形状が歪んでしまう。これは AP テストと呼ばれており、BAO(バリオン音響振動)を用いた解析が精力的に行われている。

また、ボイドは銀河の赤方偏移サーベイなどで観測されるが、銀河の固有速度によっても、観測されるボイドの形状は歪んでしまう(赤方偏移変形)。我々は Kaiser の公式をボイド-ダークマターの相互相関関数に適用することで、スタックしたボイドの平均プロファイルを赤方偏移変形込みでモデル化し、更に中心部付近での弱非線形性を避けるために、半径毎の stretching parameter を導入した。N 体シミュレーションによる解析の結果、無バイアスな宇宙論測定ができることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U02a 宇宙論的ボイド形成におけるダークエネルギーの影響

遠藤隆夫, 西澤淳, 市來淨與 (名古屋大学)

宇宙の加速膨張を担うとされるダークエネルギーの解明は、現代宇宙論における最大の課題の一つである。 Λ CDM モデルは空間的に一様なエネルギー密度を持つダークエネルギーを仮定し、現在標準的なモデルとなっているが、その正体についてはわかっていない。本研究ではダークエネルギーの流体的性質を宇宙大規模構造から制限することを目指す。

そこで本研究ではダークエネルギー流体を一般化し、ダークエネルギーの密度・圧力が空間的に揺らいでいる場合を想定し、ダークエネルギーの揺らぎが宇宙の構造形成に与える影響を調べる。Basse et al. (2011) ではダークエネルギーの状態方程式パラメータ w と音速 c_s を時間変化しないパラメータとして扱い、ダークエネルギーの揺らぎが球対称崩壊モデルに与える影響を報告している。本研究ではこの方法をボイドと呼ばれる宇宙の中の低密度領域の形成へ応用し、その際、球対称なトップハット型密度分布をもつボイドを仮定した。その結果、ダークエネルギーの音速の違いがボイドの成長に与える影響はわずかであることが判明した。

さらに本研究では Sheth and van de Weygaert (2004) で導入されたボイドの分布関数を用いて、ダークエネルギーの揺らぎがボイドのサイズ分布に与える影響も求めた。本講演ではダークエネルギーの揺らぎがない場合の分布関数と比較した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U03a ボイド形状の赤方偏移進化

簗口睦美, 西澤淳, 松原隆彦 (名古屋大学)

近年の大規模な銀河赤方偏移サーベイを背景に、ボイドを用いた研究が精力的に進められている。ボイドは銀河の少ない領域であり、それ自体が興味深い物理対象であると同時に、重力理論等のテストにも用いることができる。最近の研究では例えば、Hamaus et al. 2015 が N 体シミュレーションデータを用いてボイドの中心密度、半径、成長率などの相関をまとめている。また Nadathur 2016 は、 Λ CDM シミュレーションと観測データ (BOSS DR11) とのボイドのサイズ分布の差が 6 % 以内に収まることを報告している。ボイド (数十 Mpc) は、銀河団 (数 Mpc) に比べ、大規模な揺らぎの情報を含み得る。その赤方偏移依存性は背景時空の性質、その非等方性は宇宙原理の確認などの観点から、厳密な議論が必要とされる重要な要素である。

本講演では、ボイド形状の赤方偏移進化について系統的に調査した結果を報告する。N 体シミュレーションを用いてボイドの合体形成過程を時系列に従い追跡し、その時間進化の様子を詳細に調べた。さらに、摂動論による数値解と比較することによって、ボイドの進化過程の理解を試みた。その結果、双方において、ボイドの楕円率は時間とともに増大することを見出した。シミュレーションにおいては個々のボイドにおいてもこの傾向が見られたが、摂動論においては、摂動の次数などによってその結果に差が生じた。本講演では得られた一連の結果について報告し、摂動論の妥当性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a 宇宙定数問題は人間原理で説明できるか？銀河形成モデルによる検証

須藤 貴弘, 戸谷 友則 (東京大学), 真喜屋 龍 (Kavli IPMU, MPA), 長島 雅裕 (文教大学)

Λ CDM モデルは宇宙を良く記述できるが、宇宙定数の観測値 Λ_{obs} を説明できていない。特に真空のエネルギーを宇宙定数と解釈すると、予想される値 Λ_{vac} は Λ_{obs} より 55 桁程度大きいとされる。一方 Λ_{obs} は 0 ではなく、ちょうど今、物質と同程度のエネルギー密度を持つ。こうした問題へのアプローチの一つに人間原理の適用がある。 Λ があまりに大きいと、加速膨張により物質の重力収縮が妨げられ、銀河が形成できず、人間のような生命体 (観測者) も誕生しない。観測者が生まれるという条件から宇宙定数の値を制限するのが (弱い) 人間原理である。

先行研究 (e.g. Efstathiou 1995; Martel 1998; Peacock 2007) では様々な値の Λ を持つ宇宙で、ダークマターの重力収縮を計算し、宇宙定数が Λ_{obs} より小さく観測される確率 $P(<\Lambda_{\text{obs}})$ が 1-10% と著しく低くはないことを示している。しかし、これらの研究では生命の誕生を考えるのに重要な、ガス冷却や星形成といったバリオン物理は取り入れられていない。更に先行研究では生命が生まれうる銀河のダークハロー質量は銀河系のそれと同等である、といった条件 (閾値) を設定しているが、銀河系よりずっと小さな銀河にも生命が誕生する可能性はある。

本研究では、銀河形成の準解析的モデルを用いて人間原理により宇宙定数の観測値を自然に説明することは可能であるか検証した。準解析的モデルでは観測量と合致するようバリオン物理が取り入れられており、 Λ の観測者数への影響をより現実的な状況で計算できる。 Λ は平坦な確率分布に従い、観測者の数が宇宙に存在する星質量密度に比例すると仮定すると、生命誕生の閾値などを入れることなく、 $P(<\Lambda_{\text{obs}}) = 6.7\%$ という小さくない値が得られた。宇宙が誕生する際に Λ が様々な値を取り得るならば、人間原理から宇宙定数の観測値を説明することは可能であると言える。また、生命の存在確率が金属量に依存する場合についても、本研究で初めて調べた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U05c 宇宙定数 による光の曲がり と Gauss-Bonnet の定理

荒木田英禎 (日本大学)

宇宙定数 が重力場中における光の湾曲に影響を与えるかどうかという問題は、古くて新しい未だ決着を見ない問題であり、ながらく は光の曲がりには影響しないものと考えられてきたが、Rindler and Ishak (Phys. Rev. D, 76, id. 043006, 2007) により、宇宙定数が光の湾曲に寄与するとする論文をきっかけとして、この基本的問題への関心が高まっている。

これまでこの問題を日本天文学会 2012 年春季年会 (U08b: 荒木田, 葛西), 日本天文学会 2016 年春季年会 (U12c: 荒木田) において議論してきたが、この問題を複雑にしているのは、宇宙定数を含む Schwarzschild-de Sitter/Kottler 時空においては、時空が漸近的に平坦にならないために、ユークリッド幾何学の平行線公準 (公理) が成り立たず、Schwarzschild 時空で行うように観測点における光の曲がり角の 2 倍を全曲がり角とおくことができないという事情による。

本研究では、漸近的に平坦にならない時空における光の曲がり角の問題を解決するために Gauss-Bonnet の定理による解法を考察する。この Gauss-Bonnet の定理を用いた光の曲がりの先行研究として Gibbons & Werner (CQG 2008) による Schwarzschild 時空への応用や、Ishihara *et al.* (PRD 2016) による Schwarzschild-de Sitter 時空への応用がある。本発表では、多くの研究で区別なく用いられている運動の積分 $1/b^2 \equiv E^2/(c^2L^2)$ を Schwarzschild-de Sitter/Kottler 時空と Schwarzschild 時空とで区別したうえで、Gauss-Bonnet の定理を応用し、宇宙定数 の光の曲がりへの寄与を再考察し、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](#)

U06a POLARBEAR-1 実験による重力レンズ起源 B モード偏光観測の最新結果と米国の地上将来 CMB 実験計画

茅根裕司, 高倉理 (阪大理学部), 田島治 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 西野玄記 (KEK 素核研), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR-1 実験は宇宙の極初期に起こったとされるインフレーションの検証と、ニュートリノ総質量の測定を目指した地上実験である。その実現の為、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の偏光観測をチリのアタカマ砂漠、標高 5,200m で行っている。POLARBEAR-1 は、超高感度な 1274 個の超伝導検出器 (transition-edge sensor, TES) と 3.5 m の専用望遠鏡 (FWHM=3.5 arcmin) を用いることで、インフレーションの直接的な証拠となる原始重力波起源 B モード偏光 (大角度スケール)、およびニュートリノ総質量に感度を持つ重力レンズ起源 B モード偏光 (小角度スケール) の両方を測定することが可能な実験である。2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モード偏光に焦点を当てた deep survey 観測、それ以降は原始重力波起源 B モード偏光に特化した wide survey 観測を実施してきた。

2014 年春季年會に於いて、初年度のデータ解析による世界で初めての重力レンズ起源 B モード偏光の自己相関スペクトルを報告して以来、今までに関連する結果と、実験の進捗状況を報告してきた。本発表では最新の解析結果、特に 2012 年から 2014 年までのすべてのデータを使った重力レンズ起源 B モード偏光の結果を報告する。また、米国の地上将来 CMB 実験計画である Simons Observatory 及び CMB Stage-IV 実験についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a Weak lensing effect と CMB 偏光揺らぎに対する原初磁場の影響

山崎大 (茨城大学)

磁場は、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。宇宙論においても例外ではない。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 (Cosmic Microwave Background: CMB) や物質密度揺らぎの進化に無視できない影響を与える。

原初磁場の光子-バリオン流体の音速を増加させる効果と、ポテンシャルの時間進化に対する影響により、 $\ell < 1000$ の比較的大角度スケールで、CMB の音響振動ピークを大角度スケールへずらし、振幅を減少させる。同様に、物質密度揺らぎの空間分布を示す matter power spectrum (MPS) にも影響し、MPS のピークを大スケールへずらし、波数 $k = 0.01\text{Mpc}^{-1}$ 以上の振幅を減少させる。

物質密度揺らぎは、weak lensing effect のソースである。結果として原初磁場のエネルギー密度を正しく考慮した際は、weak lensing effect に由来する CMB 偏光揺らぎも減少させると予想できる。

私は、原初磁場エネルギー密度を考慮し、weak lensing effect に由来する成分を含めた CMB 偏光揺らぎに対する原初磁場の影響を解析した。当発表では、その解析結果に加え、観測による原初磁場の制限について議論した結果も解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a 宇宙マイクロ波背景放射によるアインシュタインの等価原理の検証

田代寛之, 新居舜, 新田大輔 (名古屋大学)

アインシュタインの等価原理は、一般相対性理論の重要な基礎原理の一つである。この原理により、物体が感じる時空の構造はその物体のエネルギーによらない、つまり、一般相対性理論では時空の計量にエネルギー依存性が現れることはない。宇宙論でのこの原理の帰結の一つに、宇宙赤方偏移のエネルギーの非依存性があげられる。したがって、もし宇宙赤方偏移のエネルギー依存性が確認されれば、宇宙論的スケールにおいてアインシュタインの等価原理が破れていることになる。

本講演では、宇宙赤方偏移にエネルギー依存性が存在するなら、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) に黒体放射スペクトルからのズレが生じることを示し、そのズレの測定がアインシュタインの等価原理の検証となることを議論する。さらに、CMB の周波数スペクトル観測である COBE/FIRAS の結果より、宇宙赤方偏移のエネルギー非依存性が 10^{-5} の精度で確認できたことも合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09a Axion inflation with interference and CMB anomaly

飯田遼 (名古屋大学), 市来浄與 (名古屋大学), 小林達夫 (北海道大学), 浦川優子 (名古屋大学)

WMAP や Planck 衛星による宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測では、CMB の温度揺らぎの角度パワースペクトラムにおいて多重極モーメント (l) が $l \sim 20 - 40$ の大スケールで、単純なインフレーション模型が予想するべき乗則に従うスペクトラムから、 $2 \sim 3\sigma$ ずれているデータ点があることが指摘されている。このずれは、CMB アノマリーと呼ばれている。CMB アノマリーは、初期パワースペクトラムが、べきスペクトラムからずれていたことを示している可能性がある。

本研究では、超弦理論において予言されるアクシオン場が引き起こすインフレーション模型において、べきスペクトラムからのずれを説明できるかどうか検証する。アクシオン場のポテンシャルは、典型的には振動項を持つことが知られており、一般には複数の異なる振動数をもつ振動項が現れる。本研究では、このような一般的な状況を想定し、アクシオン場のポテンシャルとして、 $V(\phi) = V_{\text{sr}} + \Lambda_{\text{mod}}^4 (1 + \delta \cos(\frac{\phi}{f_{\text{amp}}})) \cos(\frac{\phi}{f_{\text{osc}}})$ を考える。ここで、 V_{sr} はスローロールインフレーションのポテンシャルで、 ϕ はインフラトン、 $f_{\text{amp}}, f_{\text{osc}}$ はアクシオンの持つ振動数をそれぞれ表している。このポテンシャルの特徴として、干渉する振動項をもつことが挙げられる。この特徴を反映し、干渉項をもつ初期スペクトラムが得られることがわかった。さらに、Planck 2015 の結果を用いて MCMC 解析を行い、パラメータにどのような制限が与えられるのか検証した。特にどのようなパラメータ領域において、CMB アノマリーと整合的になるのか調べた。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](#)

U10a 宇宙磁場が熱的SZ効果を通してCMB温度の非等方性に与える影響

箕田鉄兵, 長谷川賢二, 田代寛之, 市来浄與 (名古屋大学)

現在、遠方銀河や銀河間領域の偏光観測などにより、宇宙論的スケールの磁場(宇宙磁場)の存在が示唆されているが、その構造や起源については理解が不十分である。宇宙磁場の起源が初期宇宙にあると仮定すれば、宇宙の晴れ上がり以降、ガス温度の低下とともに電離度が低下すると、ambipolar散逸によって磁場に蓄えられていたエネルギーの一部がガスの熱エネルギーに変換されると予想できる。さらに、高温ガスの自由電子は逆Compton散乱によってCMB光子のエネルギースペクトルを歪めることが知られている(この現象を熱的Sunyaev-Zel'dovich効果、SZ効果と呼んでいる)。そのため、磁場の空間分布がガス温度の空間分布に影響するならば、熱的SZ効果によってCMB温度の非等方性にも影響するのではないかと考えられる。

そこで我々は熱的SZ効果の観測から宇宙磁場のモデルに制限をつけるため、以下のような手順で計算・解析を行った。まずはじめに、初期磁場シナリオにおけるSZ効果の大きさを見積もるため、初期条件として様々なスペクトルと強度の宇宙磁場を与え、ambipolar散逸による加熱の効果を考慮して、宇宙論的なガスの温度と電離度の進化を計算した。次に、その計算結果を用いてガス中の自由電子の逆Compton散乱の y パラメータのパワースペクトルを求め、CMBの角度パワースペクトル C_l の角度相関に宇宙磁場のモデルによる影響がどのように与えられるかという解析を行った。

今回の発表では上記の手法による計算結果を用いて、宇宙磁場がCMB温度の非等方性にどのような影響を与えるかについて議論し、また将来のCMBスペクトル変形の観測との比較から、宇宙磁場のモデルについてどのような示唆が得られるのかについて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U11a On the cross-correlation between the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect and local galaxy density: Constraining the local universe

真喜屋龍 (Kavli IPMU, MPA) 小松栄一郎 (MPA), 安藤真一郎 (Univ. of Amsterdam)

銀河団は数百個の銀河と高温の銀河間ガス、およびダークマターハローとから構成される宇宙最大の自己重力系である。銀河団の物理的諸性質やその数密度進化は銀河形成の物理や宇宙論パラメータと密接に関連しているため、これを詳細に理解することは非常に重要である。

銀河間ガス中に存在する高温の電子が宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 光子を逆コンプトン散乱することで CMB スペクトラムを歪めることが知られている (thermal Sunyaev-Zel'dovich effect; tSZ)。tSZ effect の強度は銀河間ガスの圧力に比例するため、tSZ effect を測定することで銀河団ガスの性質に制限を与えることが出来る。

近年 Planck 衛星によって tSZ 強度の全天マップが得られており、その角度パワースペクトルは理論の予想とよく一致することが確かめられている。しかしながらこの角度パワースペクトルには全質量範囲・全赤方偏移の銀河団からの寄与が積分されたものであるため、tSZ 効果の質量依存性や時間依存性を調べるのが難しい。

そこで本研究では、tSZ の全天マップと Two micron all sky survey (2MASS) によって得られた銀河密度マップの相互相関を計測することを考えた。2MASS galaxy catalog は近傍宇宙 ($z < 0.1$) にバイアスされているため、これと tSZ map の相互相関を取ることで、近傍宇宙で銀河とガスの分布がどのように関連しているのかを詳しく調べることができる。

解析の結果、我々は tSZ と 2MASS の相互相関パワースペクトルが有意に検出されることを確かめた。本講演ではこの相互相関スペクトルの観測的性質と理論的解釈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](#)

U12a バリオン音響振動の再構築法による宇宙大規模構造のアンチエイジング

日影千秋（東京大学）、小山和哉（ポーツマス大学）

宇宙の大規模構造に含まれるバリオン音響振動（BAO）や質量密度ゆらぎのスペクトルには、ダークエネルギー、ニュートリノ質量、宇宙の初期ゆらぎなど、様々な宇宙論的情報が含まれている。しかし、非線形な重力成長が進むにつれて、BAOのシグナルは弱まり、またゆらぎの摂動論の適用範囲も大スケールに限られるため、ゆらぎのスペクトルの解析的な理論予測が難しくなる。BAOのシグナルを改善する方法として、現在観測された密度ゆらぎに線形（ゼルドヴィッチ）あるいは2次のラグランジアン摂動近似を適用し、大スケールの速度場による初期位置からの変位を補正するBAO再構築法が知られている。BAO再構築法は、標準的なBAO解析法として多くの銀河サーベイに応用されている。

本研究では、BAO再構築法を適用することで、ダークマター密度ゆらぎのスペクトルが初期ゆらぎのスペクトルにどの程度近づくかを調べた。摂動論的アプローチによって線形スペクトルからのずれを解析的に導出した結果、BAO再構築後はパワースペクトルの1ループ項 ($P_{13}(k)$, $P_{22}(k)$) の振幅は双方とも飛躍的に小さくなり、線形スペクトルに近づくことが分かった。またバイスペクトルの振幅も小さくなり、重力進化の非線形性によって生じる非ガウス性も小さくなることが分かった。N体シミュレーションにBAO再構築法を適用した結果と比較し、パワースペクトル、バイスペクトルともに摂動論の予想と合致することを初めて確かめた。再構築後は、1ループの摂動論の適用範囲がより小さいスケール（大きな波数）にまで広がることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U13a バリオンダークマター間の超音速相対運動を含む暗黒時代の構造形成

浅羽信介 (名古屋大学)

次世代電波干渉計の観測ターゲットのひとつとして、暗黒時代から宇宙再電離期にかけての構造形成を理解することがある。特に初代星の性質や再電離史に関する新たな知見が得られることが期待されている。その一方で、今後得られるような高解像度の観測データを用いて議論するためには、高赤方偏移小スケールのより詳細な理論研究が求められる。

本発表では、Tseliakhovich & Hirata (2010) によって提唱された宇宙晴れ上がり以前のバリオンダークマター間の速度場の違いに起因している超音速相対運動が暗黒時代の構造形成に与える影響について議論する。我々は、球対称崩壊モデルを拡張し、相対速度を加えることで超音速相対運動によるハローの形成時刻の変化を見積もった。その結果、形成時刻の遅れはハロー内のバリオンの質量割合の変化によって説明できることを示した。さらに、超音速相対速度の影響はハローが形成される領域の密度に大きく依存することがわかった。また、宇宙論シミュレーションと球対称崩壊モデルの速度場の違いが超音速相対運動を含むハロー形成に与える影響について議論した結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14a 重元素の超微細構造線を用いた中高温銀河間ガスの観測可能性について

渡邊歩 (筑波大), 吉川耕司 (筑波大), 岡本崇 (北海道大)

宇宙全体のエネルギー密度のうちバリオンは4%を占めていることが知られているが、近傍宇宙 ($z \lesssim 1$) のバリオンはこの半分程度しか観測されていない。この未同定のバリオンは、ミッシングバリオンまたはダークバリオンと呼ばれ、宇宙論における問題の1つとされている。宇宙論的構造形成シミュレーションによると、現在の宇宙に近づくにつれて、主に構造形成に伴う衝撃波加熱によって銀河間ガスが $T = 10^5\text{-}10^7$ [K] の温度に加熱され、バリオンのおよそ30-50%を占めるという結果が得られている。この銀河間ガスは中高温銀河間物質 (WHIM) と呼ばれ、ダークバリオンの大部分を占めると考えられている。紫外線・軟 X 線領域での WHIM による輝線や吸収線の観測が試みられてきたが、ガス密度が非常に小さいことによる信号の微弱さに加えて観測精度の不足により、WHIM を同定できた例は少ないのが現状となっている。

そこで、私達は電波領域における重元素の超微細構造 (HFS) 線を用いた WHIM の観測可能性について検討した。先行研究である Sunyaev & Docenko (2007) によると、現行の電波望遠鏡でも検出限界に近いものの観測可能であるという見積もりがなされている。2020年代には次世代電波望遠鏡である SKA の稼働が予定されており、将来の観測が期待される。本研究では、WHIM の HFS 線の観測に適したトレーサーとして $^{14}\text{N}_{\text{VII}}$ に着目し、輻射輸送方程式を数値的に解くことによって、WHIM からの HFS 線の輝線放射・キューサーなどの明るい天体を背景光源とした場合の WHIM による吸収線のスペクトル計算を行った。更に、Okamoto et al. (2014) で行われた構造形成シミュレーションのガス分布を用いた擬似観測を行った。WHIM の HFS 線が持つ性質について得られた結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U15a A robust way to measure the galaxy clustering statistics up to Nyquist wavenumber with Fast Fourier Transform

齋藤 俊 (Max-Planck-Institut für Astrophysik)

ダークエネルギーパラメータ、修正重力理論の検証、ニュートリノ質量の測定などのサイエンスを主目的として、バリオン音響振動スケールや赤方偏移歪みを測定するため、BOSS サーベイや Sumire PFS サーベイなど、現在または近い将来大規模な銀河分光サーベイが進行中である。

これら大規模なサーベイで得られる 3 次元銀河地図を用いてまず行うことは、銀河クラスタリングのパワースペクトルやバイスペクトルといった多点統計量を測定することである。しかし、これら大規模サーベイでは $\gtrsim \mathcal{O}(10^6)$ 個ある銀河から、2 点または 3 点のペアの数を数える必要があり、計算コストが非常に大きい。そこで近年、高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transformation, FFT) を用いた、より計算コストの少ない計算法が確立してきた。

従来の FFT による計算では、エイリアスによる影響を抑えるため、ナイキスト周波数の半分 ($k_{\text{Ny}}/2$) までの測定を信用し採用するというのが一般的である。本講演では、最近 Sefusatti et al. (2016) によって提唱された interlacing method という方法、またその方法をポアソン分布に拡張することによって、 $k > k_{\text{Ny}}/2$ の統計量をロバストに測定する試みについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U16a SDSS 銀河団カタログの弱重力レンズ効果と数値宇宙論の比較による銀河団質量の検証 II

村田龍馬 (Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 西道啓博 (Kavli IPMU), 白崎正人 (国立天文台), 高橋龍一 (弘前大学), 宮武広直 (JPL/Caltech/Kavli IPMU), Surhud More (Kavli IPMU)

銀河団は宇宙最大の自己重力天体であり、その形成・進化過程にはダークマターが主要な役割りを果たす。このため、N 体シミュレーションなどを用いることにより、銀河団の質量関数とクラスタリング統計量などを正確に予言できる。現在進行中のすばる Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイをはじめとした、広視野可視光撮像サーベイにより均質かつ高赤方偏移までの銀河団のサンプルを構築することが可能であり、銀河団統計量を用いた宇宙論が飛躍的に進展すると期待されている。しかし、この銀河団宇宙論を実現するためには、個々の銀河団の質量（主にダークマター）と観測量（メンバー銀河数、X 線光度など）の関係を理解することが必要不可欠である。特に、宇宙の階層構造の確率的過程を反映して、この銀河団質量-観測量の関係のばらつき（scatters）を理解することが急務となっている。

本研究では、この銀河団宇宙論の準備研究として、SDSS 銀河団カタログ (Rykoff et al. 2016) を用い、銀河団質量とメンバー銀河数の関係を導出する手法を開発した。SDSS 銀河団の観測量としては、メンバー銀河数の関数としての銀河団総計 (richness function) と銀河団と背景銀河像の相互相関の測定から得られる重力レンズプロファイルを用いた。この観測量と多数の N 体シミュレーションから構築した銀河団統計量の理論予言、Dark Emulator (Nishimichi et al. in prep.) を比較することで、銀河団質量とメンバー銀河数の関係を制限することができたので、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](#)

U17a 地球磁場を用いたアクシオン様粒子起因の X 線放射の探索

山本亮, 山崎典子, 満田和久, 前久景星, 高田昌広

CDM の候補として複数の未知粒子の探査が行われている。アクシオンを含む、標準理論を超える軽いスカラー粒子を指す Axion-Like Particle (以下、ALP) も、それ自身が CDM の候補の 1 つであり、暗黒物質から ALP へ崩壊するモデルの可能性も検討されている。ALP は逆プリマコフ効果により、外部の電磁場との相互作用により光子に変換される。その変換係数は電磁場の強度とその印加範囲の二乗に比例する ($P_{a \rightarrow \gamma} \propto (B_{\perp} L)^2$)。

XMM-Newton 衛星の観測で、太陽中心で生成される ALP 由来の可能性が高い X 線背景放射の季節変動が観測されたという報告があるが (Fraser et al., 2014)、それに対する否定論文も報告されている (Roncadelli & Tavecchio, 2015)。暗黒物質の全部、または一部が ALP であれば、全天から放射があると考えられる。その場合、地球磁場を用いることで地上観測より大きな $P_{a \rightarrow \gamma}$ の ALP 由来の光子を検出できる可能性がある。そこで我々は ALP 起源の X 線放射を地球磁場を用いて探査するという、これまでにない新しい方法として取り組んだ。

ALP の信号は連続スペクトルと単色スペクトルの二つの可能性がある。全天から $P_{a \rightarrow \gamma}$ に依存する信号を探すためには、観測中の検出器の安定性、地球磁場の強度と見積もりの不定性が重要となる。そこで我々は低地球軌道であるすざく衛星を用いた。その結果、ALP の有意な検出は無かったが、2.0-6.0 keV の表面輝度の 3σ の上限値として 2.0×10^{-9} erg/s/cm²/sr/(100 Tm)² という制限が得られた。また、Sekiya et al. (2016) から単色スペクトルについても、ALP の限界検出強度を得た。これらの上限値から、暗黒物質 \rightarrow ALP \rightarrow 光子、と仮定した場合に得られる ALP の物理パラメータへの制限は他の地上実験等と矛盾する値とはならなかった。本講演では、ALP 探査の詳細と、その際に問題となったすざく衛星の検出器バックグラウンドの安定性について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U18c SDSS と HSC を組み合わせた重力レンズクェーサー探査

近藤大地, 武藤彩音, 加用一者 (東京工科大), 大栗真宗 (東京大), 稲田直久 (奈良高専)

我々は SDSS Quasar Lens Search (SQLS) を、重力レンズクェーサーの世界最大カタログの構築とそれを用いたダークエネルギーの制限などをもって成功裏に完了し、さらなる制限を目指し現在は BOSS 相当の後継計画 (BQLS) を推進している。これらの計画では、SDSS サイトのシーイングが悪いため、良いシーイング環境で重力レンズクェーサー候補天体を追観測する必要がある。一方、すばる望遠鏡 HSC によるサーベイは、極めて鮮明な画像データを着々と蓄積しつつある。そこで、SQLS/BQLS の候補天体が HSC ですでに撮られているかもしれない、と期待するのは自然なことである。

そして、大変有力な候補天体を 1 つ見つけ、同時にいくつかの候補天体を棄却することに成功したことを報告する。さらに、SDSS のクェーサーカタログには、SQLS/BQLS の手法では候補とできなかった重力レンズクェーサー (主に離角が 1 秒角未満のもの) が多く含まれていると期待することもできる。そこで、SDSS クェーサーカタログのうち HSC のサーベイ領域に含まれているものを全て目視で探査するプロジェクトを進めている。これについても成果を報告する。

なお、有力候補については今後 SUGOHI (SURvey of Gravitational lens Objects in Hsc Imaging) プロジェクトの一環として分光観測を目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U19a Aを用いたアインシュタインの相対性理論について。Aとは地表のエネルギーを1とする場合のエネルギーの比です。光子がブラックホールに吸い込まれる原理。どの軌道で吸い込まれるか。

小堀しづ

1. 時間と空間については、アインシュタインの相対性理論は $1/A$ に成る。2. 長さについては、アインシュタインの相対性は $1/A$ に成る。面積については、アインシュタインの相対性理論は $1/A^2$ に成る。体積については、アインシュタインの相対性理論は $1/A^3$ に成る。球体の体積については、アインシュタインの相対性理論は球の体積は $0.523 \times 1/A^3$ に成る。球体の容積については、アインシュタインの相対性理論は $1/A^3$ に成る。3. 質量については、アインシュタインの相対性理論は適応されず、一定です。質量エネルギーについては、アインシュタインの相対性理論はA倍に成る。4. 密度については、アインシュタインの相対性理論は A^3 倍になる。5. 質量エネルギーについては、アインシュタインの相対性理論は $E = 9.628 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{公転軌道} \times c^2$ になる。又は、 $E = 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{公転軌道}$ になる。 $E=mc^2$ は適応されない。6. 引力については、アインシュタインの相対性理論はA倍に成る。2つの物の間の引力は、 A^4 倍に成る。ブラックホールと中性子星についても、同じことについて検討する。ブラックホールの陽子のラブと陽子のラブの間の引力は、地表の電子のラブと電子のラブの、 3.408×10^{36} 倍です。軌道エネルギー = 速度² = 引力²。光の軌道エネルギー = $9 \times 10^{16} \text{Jm}$ 。ブラックホールの軌道エネルギー = 速度² = 引力² = 物と物の間の引力^{1/2} = $(3.408 \times 10^{36})^{1/2} \text{Jm} = 1.846 \times 10^{18} \text{Jm}$ 。吸い込まれる軌道を $x \text{ m}$ とする。 $9 \times 10^{16} \text{Jm} = 1.846 \times 10^{18} \text{Jm} \div x \text{ m}$ 。 $x \text{ m} = 1.846 \times 10^{18} \text{Jm} \div (9 \times 10^{16} \text{Jm}) = 20.511 \text{m}$ 。(特願 2016 - 230715)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U20b 電磁気がマイナスの宇宙からビッグバンになり、インフレーションに成り背景放射に成った過程と宇宙の形と、インフレーションが存在した事の証拠
小堀しづ

マイナスの宇宙からプラスの宇宙に成るとき、ビッグバンが起きた。その時、電子のラブに成るはずの電磁気1個のエネルギーは $1.256 \times 10^{-9} \text{J}$ で、軌道は $9.817 \times 10^{-33} \text{m}$ です。陽子のラブに成るはずの電磁気1個のエネルギーは $2.306 \times 10^{-6} \text{J}$ で、軌道は $5.347 \times 10^{-36} \text{m}$ です。この電磁気が真空の絶対0の空間に放出した。電磁気は場のエネルギーに自分のエネルギーを合わせて存在する。電磁気のエネルギーは $3.769 \times 10^{-23} \text{J}$ に成り、軌道は $3.271 \times 10^{-19} \text{m}$ に成った。この場の温度は 2.73K です。これがインフレーションです。ビッグバンの時 10^{-24}m の公転軌道であった電子のラブの公転軌道は地表で、 $1.058 \times 10^{-10} \text{m}$ に成った。公転軌道は、 $1.058 \times 10^{-10} \text{m} \div 10^{-24} \text{m} = 1.058 \times 10^{14}$ 倍に成った。空間は、 1.058×10^{14} 倍に成った。インフレーションで、 $3.269 \times 10^{-19} \text{m}$ の電磁気の軌道は、 1.058×10^{14} 倍に成り、 $3.269 \times 10^{-19} \text{m} \times 1.058 \times 10^{14} = 3.459 \times 10^{-5} \text{m}$ に成った。軌道は波長に成り2倍、更に線なるので3.14倍になる。 $3.459 \times 10^{-5} \text{m} \times 6.28 = 2.172 \times 10^{-4} \text{m}$ になった。背景放射の分布図は、宇宙の初期の物ではなく、現代の宇宙の形を示す。背景放射の電磁気の温度が等しく、一様に 2.73K である事はインフレーションが存在した事の証拠です。もし、インフレーションが存在しなかったならば、陽子のラブに成るはずの電磁気1個のエネルギーは、現代でも、電子のラブに成るはずの電磁気1個のエネルギーの1836倍であるはずで

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U21c クォークの軌道エネルギーと粒子の中の回転

小堀しづ

粒子の軌道エネルギーは $8.665 \times 10^{-24} \text{Jm}$ です。電磁気の軌道エネルギーは $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm}$ です。粒子の軌道エネルギー = 電磁気 1 個の軌道エネルギー \times 粒子の電磁気数 = $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \times 7.028 \times 10^{17} \text{個} = 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm}$ 。それで、クォークの軌道エネルギー = 電磁気 1 個の軌道エネルギー \times クォークの電磁気数 = $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \times 6.249 \times 10^8 \text{個} = 7.705 \times 10^{-33} \text{Jm}$ 。それで、5.7MeV のクォークの軌道は、軌道 = $7.705 \times 10^{-33} \text{Jm} \div 5.7 \text{MeV} = 7.705 \times 10^{-33} \text{Jm} \div (9.131 \times 10^{-13} \text{J}) = 8.438 \times 10^{-21} \text{m}$ 、です。これは、高エネルギー加速器の中のデータと同じです。私が今まで高エネルギー加速器のクォークと理解していたものは地表の陽子の中のクォークの物でした。この式によりクォークの軌道を求め示す。 $-(123)$ の中の回転、 $-$ の中の回転、 $-$ の中の回転、 $-$ の中の回転について示す。中間子の中の回転、 D^+ の中の回転、 B^+ の中の回転、 $+$ の中の回転、 $+$ の中の回転、 K^+ の中の回転について示す。陽子の中の回転、 $+(123)$ の中の回転、 $+$ の中の回転、 $A+c$ の中の回転について示す。中性子の中の回転、 $0(123)$ の中の回転、 0 の中の回転、 0 の中の回転について示す。(特願 2016-131420)

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

3月17日(金)午前(10:30-11:30) [I会場]

V101a	10:30	LMT 50m 鏡用 2mm 受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 II: 全体進捗 川邊良平(国立天文台)
V102a	10:42	NASCO (NANTEN2 Super CO survey as Legacy) の進捗報告(2) 大浜晶生(名古屋大学)
V103a	10:54	NASCO 用 2 周波同時観測マルチビーム受信機(1): クライオスタットの詳細設計と 115 GHz 帯受信機の試作 堤大陸(名古屋大学)
V104b	11:06	NASCO 用 2 周波同時観測マルチビーム受信機(2): 230GHz 帯受信機の開発 栗田大樹(名古屋大学)
V105b	11:06	NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 3. Google Cloud Platform を用いた File I/O 制御系の検討 西村淳(名古屋大学)
V106b	11:06	LMT50m 鏡用 2mm 受信機システムと爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 III: 開発進捗 酒井剛(電気通信大学)
V107b	11:18	新規デバイス開発のためのメンブレン作製技術の開発とその評価 江崎翔平(国立天文台)
V108b	11:18	冷却低雑音アンプの広帯域ノイズパラメータ評価系の構築 高橋宏明(電気通信大学)
V109b	11:18	テラヘルツ帯実験室分子分光計の開発 千葉雄太郎(東京大学)
V110c		テラヘルツ光子計数型検出器の基礎開発-II 江澤元(国立天文台)

3月17日(金)午後(13:30-15:45) [I会場]

V111a	13:30	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の現状 堂谷忠靖(宇宙航空研究開発機構)
V112a	13:42	CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 IX 永田竜(高エネルギー加速器研究機構)
V113b	13:54	LiteBIRD 搭載光学系のトレードオフ検討 鹿島伸悟(東京大学)
V114b	13:54	臼田宇宙空間観測所 64m アンテナの電波天文観測に向けた性能評価 蔵原昂平(鹿児島大学)
V115b	13:54	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況(15) 米倉覚則(茨城大学)
V116a	14:06	3.8 m 電波望遠鏡を用いた VLBI 観測 高橋諒(大阪府立大学)
V117a	14:18	野辺山 45 m 鏡搭載 20/40 GHz 帯同時観測用周波数フィルタの開発 岡田望(大阪府立大学)
V118a	14:30	高感度大気水蒸気モニターの開発 - つくば市における冬季観測 長崎岳人(高エネルギー加速器研究機構)
V119a	14:42	きゃらばん・サブミリと VLBI データ較正の確認法 III 三好真(国立天文台)
V120a	14:54	サブミリ波 VLBI を用いた Hybrid Mapping によるブラックホールシャドウの構造復元の定量的評価 倉持一輝(東京大学/国立天文台)
V121a	15:06	電波点回折干渉計(II) 奥村大志(筑波大学)
V122a	15:18	山口干渉計の狭帯域試験観測 藤沢健太(山口大学)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V123b	15:30	山口干渉計の構築状況 青木貴弘 (山口大学)
V124b	15:30	山口第二電波望遠鏡に搭載する 6 - 9 GHz 帯受信機システムの開発 金澤翔 (山口大学)
V125c		大学 VLBI 連携の現状と将来 藤沢健太 (山口大学)
V126c		VLBI 用ソフトウェア関連処理システムの開発と定常運用化 小山友明 (国立天文台)
V127c		気球 VLBI ミッションの検討 VII 土居明広 (宇宙航空研究開発機構)
V128c		国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 2 増田智 (名古屋大学)
V129c		電波合成型ミリ波アンテナ 2.4m ユニットアンテナの試作と評価 1 春日隆 (法政大学)
3月18日(土) 午前 (09:30-11:54) [I会場]		
V130a	09:30	ALMA の運用 (10) と拡張計画 (4) 井口聖 (国立天文台)
V131a	09:42	マイクロ波フォトン信号を用いた広帯域周波数シンセサイザ 木内等 (国立天文台)
V132a	09:54	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 : V. ASTE への FMLO システムの搭載・試験観測 谷口暁星 (東京大学)
V133a	10:06	DESHIMA : 超伝導オンチップ・フィルターバンクを用いたサブミリ波超広帯域分光器の研究開発 遠藤光 (Delft University of Technology)
V134a	10:18	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発 : (12) プロジェクト進捗 大島泰 (国立天文台)
V135a	10:30	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発 : (13) 光学系の評価 竹腰達哉 (国立天文台)
V136a	10:42	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発 : (14) キャリブレーション 大田原一成 (国立天文台)
V137a	10:54	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発 : (15) 科学データ解析 泉奈都子 (国立天文台)
V138a	11:06	Developments in CASA 5.0. and Processing Single-Dish data Erik Muller (National Astronomical Observatory of Japan. Chile Observatory)
V139a	11:18	宇宙マイクロ波背景放射観測実験 POLARBEAR-2 開発の状況 金子大輔 (東京大学)
V140a	11:30	宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレシーバーシステムの光学試験 濱田崇穂 (東北大学)
V141a	11:42	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 における焦点面温度制御試験 田邊大樹 (総合研究大学院大学)

V101a LMT 50 m 鏡用 2 mm 受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 II: 全体進捗

川邊良平 (NAOJ), 酒井剛 (電気通信大), 田中邦彦 (慶応大), 田村陽一, 河野孝太郎 (東大), 大島泰, 野口卓, 高橋敏一, 廿日出文洋 (NAOJ)

メキシコの標高 4600 m サイトに建設された Large Millimeter Telescope (LMT) 50 m 鏡に波長 2 ミリ波帯のヘテロダイン受信機システムを搭載し、単一鏡としては世界最高感度の 2 ミリ波帯観測を実現する計画を推進している。この受信機と既存の 3 ミリ波帯受信機と組み合わせて、1) 厳選した赤方偏移 $z > 4-5$ 候補のサブミリ波銀河で、CO 輝度線のブラインド探査等により赤方偏移を決定し、遠方サブミリ波銀河サンプルを格段に増やすこと、2) より回転量子数 J の大きい CO 輝線まで検出し、CO 輝線強度分布 (“CO-SLED”) による原始 QSO の探査を行うこと、3) 近傍星形成領域での重水素化物の探査や銀河中心領域の観測などを計画している。観測装置の開発を進めるとともに、LMT を運用する INAOE/UMass と協議を進めており、2017 年 8 月頃の LMT への搭載を予定している。講演では、この計画の進捗状況と今後の観測計画などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102a NASCO (NANTEN2 Super CO survey as Legacy) の進捗報告 (2)

大浜晶生, 堤大陸, 栗田大樹, 稲葉哲大, 兵頭悠希, 山根悠望子, 柘植紀節, 加藤千晴, 漆原宏亮, 岩村宏明, 河野樹人, 丸山将平, 西村淳, 林克洋, 早川貴敬, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名大理), 野田匠利, 大西崇文, 小林和宏 (名大理装置開発室), 長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 鈴木和司, 中島拓, 水野亮 (名大 ISSE), 新関康昭, 藤井泰範, 鳥居和史, 南谷哲宏 (国立天文台)

我々は 4 m ミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で CO(J=1-0) 輝線の超広域サーベイ計画である NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) プロジェクトを推進している。現在、2017 年秋 NANTEN2 望遠鏡への搭載を目指し、マルチビーム受信機と望遠鏡の制御システムの開発を進めている (大浜他 2016 秋季年会)。この受信機の仕様は、冷却光学系を採用した 4 ビームの 115 GHz 帯両偏波 SSB と 1 ビームの 230 GHz 帯両偏波 2SB の計 5 ビームの 2 周波同時観測マルチビーム受信機である (加藤他 2016 秋季年会)。

2016 年秋季年会以降の開発進捗は、1) 名古屋大学理学部装置開発室の大西らが 5 軸フライス加工機で大きさ 415 と 336 mm の楕円鏡を製作した。従来よりも 10 分の 1 の費用で楕円鏡を製作でき、設計の誤差は $5 \mu\text{m}$ 以下の高精度である。2) 現地で NANTEN2 望遠鏡への搬入方法を検討し、5 ビームの受信機が入るクライオスタットを製作し、真空引きや冷却実験を行い、115 GHz 帯試作機を評価している (堤他本年会)。3) 230 GHz 帯受信機コンポーネントの配置を検討し、それらを固定する治具を製作した (栗田他本年会)。4) 国立天文台先端技術センターの新関と藤井の協力を得て、リモート制御可能な SIS と HEMT バイアスボックスを製作することで、遠隔で受信機をチューニングするシステムを実現した。5) Google Cloud Platform を活用した望遠鏡に関する File I/O の制御を構築した (西村他本年会)。本講演では、プロジェクトの進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a NASCO 用 2 周波同時観測マルチビーム受信機 (1) : クライオスタットの詳細設計と 115 GHz 帯受信機の試作

堤大陸, 大浜晶生, 鈴木雅浩, 栗田大樹, 漆原宏亮, 加藤千晴, 西村淳, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名大理), 野田匠利, 大西崇文, 小林和宏 (名大理装置開発室), 長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 鈴木和司, 中島拓, 水野亮 (名大 ISEE), 藤井泰範 (国立天文台)

我々は 4 m ミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で、南半球から観測可能な全天の約 70 % をカバーする超広域 CO 観測、NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) 計画用のマルチビーム受信機の開発を行っている (大浜ほか本年会)。この新受信機は冷却ミラーを採用した光学系設計が終了しており、115 GHz 帯 4 ビームと 230 GHz 帯 1 ビームの計 5 ビームの受信機である (加藤ほか 2016 秋季年会)。

これまでに 5 ビーム分の受信機が入り、かつ NANTEN2 キャビンに収まるサイズのクライオスタットを設計し、熱解析で冷却が十分可能であること確認していた。我々は更に、ビーム伝送系の各ミラーと受信機の搭載・アライメント調整方法について検討し、現実的に搭載可能である見通しを得た。現在、クライオスタットと治具の製作を行っており、今後、組み立てと真空引き・冷却などの試験を行う。また名古屋大学実験室内にて光学定盤などのキャビン内部を再現し、搭載のシミュレーションを行う予定である。115 GHz 帯受信機については試作機の製作が完了している。それを用いて冷却試験を行い、素子が十分冷えること・冷却ミラーの変位が許容範囲内に収まることを確認し、結果を踏まえて本番機の製作を行う予定である。本講演では製作したクライオスタット及び搭載機構の詳細と評価の結果、115 GHz 帯受信機の性能評価、2017 年冬に予定している NANTEN2 への搭載方法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V104b NASCO 用 2 周波同時観測マルチビーム受信機 (2) : 230GHz 帯受信機の開発

栗田大樹, 大浜晶生, 堤大陸, 漆原宏亮, 加藤千晴, 西村淳, 佐野英俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 野田匠利, 大西崇文, 小林和宏 (名古屋大学理装置開発室), 長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 鈴木和司, 中島拓, 水野亮 (名大 ISSE), 藤井泰範 (国立天文台)

我々は 4 m ミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて全天の 70 % の分子雲分布を調査する NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) 計画を推進している。本計画の主要な領域 (全天の 37 %) を約 4 年で観測するため、115 GHz 帯では 4 ビーム両偏波 SSB、230 GHz 帯では円偏波分離器・2SB フィルター (長谷川ほか 2016 春季年会) を採用して 1 ビーム両偏波 2SB となるマルチビーム受信機を開発している (大浜ほか本年会)。

本計画における 230 GHz 帯受信機は、(1) 115 GHz 帯受信機 (堤ほか本年会) と合わせた複数輝線の強度比の解析から分子雲の温度と密度の導出が可能、(2) 光軸中心にビームがあることにより電波ポインティングのモデル化が容易、という 2 点で重要な役割を担っている。しかし NASCO 計画用受信機のクライオスタット内は 115 GHz 帯 4 ビーム分のコンポーネントや冷却光学系 (加藤ほか 2016 秋季年会) などがあり、230 GHz 帯用で使用可能なスペースは制限される。また 4800 m という高地でも、光学設計の要求に見合った精度 (ホーンの仰角方向で ± 2 度) で容易に設置や整備ができる必要がある。これらの条件をもとに 3D プリンタ等を用いてモデルを製作し、230 GHz 用の冷却コンポーネントの配置デザインを考案した。このデザインではホーンから HEMT アンプまでを一体化して固定し、115 GHz 帯のコンポーネントとは独立に着脱できるようになっている。また設置時の光学系のアライメントを確保するために専用の治具も考案した。さらに熱・構造解析、および試作機の性能試験を行っている。本公演では上記の開発の現状と詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105b NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 3. Google Cloud Platform を用いた File I/O 制御系の検討

西村淳, 岩村宏明, 近藤高志, 大河一貴, 兵頭悠希, 山根悠望子, 河野樹人, 大浜晶生, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

我々は、NANTEN2 望遠鏡を用いた CO(1-0) 輝線の超広域サーベイ計画である NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) プロジェクトを推進している。NASCO 実現の核となる、マルチビーム受信機を用いた高速スキャンモードに対応し、観測自動化を進めるために、これまでに新制御系 NECST の基礎的な設計を行い計算機のリプレースを進めてきた (岩村他, 兵頭他 2016 年秋季年会)。

NECST では、queue データベース (DB) を元に観測の逐次実行を行い、観測結果や各種ステータス情報を自動で収集・図表化する。これらの情報はリアルタイムで望遠鏡サイトと観測者で共有される必要がある。NANTEN2 はチリのアタカマ高原に設置されており、衛星回線を用いてインターネットに接続している。そのため、ネットワーク応答は典型的に 860 ms 程度と遅く、複数の通信が集中すると輻輳等により通信が不安定になってしまう。そこで我々は、サイト-DB 間のデータ転送を一元化することにした。さらに、データ転送に関わるソフトウェア開発項目数の削減とデータ同期の信頼性向上を図り、クラウド技術を活用できないか検討した。Google Cloud Platform では、North America と East Asia にそれぞれデータセンターがあり、異なるリージョンのデータは高速に同期される。Google スプレッドシートを用いて、名古屋大学の DB サーバーから NANTEN2 サイトへ文字列を転送したところ、同期に要した時間は典型的に 4 秒程度であり、NECST の運用に耐えうることが分かった。本講演では、クラウド技術を用いた望遠鏡制御システムについて、概要と設計、パフォーマンスを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106b LMT50m 鏡用 2mm 受信機システムと爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 III:開発進捗

酒井剛 (電気通信大), 川邊良平 (NAOJ), 田中邦彦 (慶応大), 田村陽一, 河野孝太郎 (東大), 大島泰, 廿日出文洋, 野口卓, 高橋敏一 (NAOJ)

我々は、メキシコの標高 4600m サイトに建設された Large Millimeter Telescope(LMT) 50m 鏡に搭載する 2mm 帯 SIS 受信機の開発を行っている。本ポスターでは、2mm 帯受信機の仕様、光学系、受信機システムの概要と開発の進捗について報告する。

開発を行っている受信機はシングルビーム受信機である。受信機には ALMA Band 4 用に開発されたコンポーネントを使用する。受信機的主要仕様は、1) 2SB、2) 2 偏波同時観測 (直線偏波分離器使用)、3) RF 帯域=125-163 GHz、4) IF 帯域=4-8 GHz である。光学系は、副鏡とホーンアンテナの間に楕円鏡を 1 枚用い、周波数に依存しない光学系とした。また、ホーンアンテナのパラメータは ALMA Band 4 のものと同一とし、光学系の設計を行った。物理光学計算ソフト GRASP を用いてビームパターンを計算し、光学系に問題がないことを確認している。140 GHz でのビームサイズは $10''$ である。分光計には RPG 社の XFFTS を使用する。ポスターではシステム全体のブロック図なども示し、受信機システム全体の概要を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107b 新規デバイス開発のためのメンブレン作製技術の開発とその評価

江崎翔平, Shan Wenlei, Matthias Kroug, 小嶋崇文, 浅山信一郎, Alvaro Gonzalez, 野口卓 (国立天文台)

ALMA 望遠鏡の拡張課題の1つとして広視野化があげられる (現状: 21" at 300 GHz). 広視野化の方法として, 現在シングルビームである受信機をマルチビーム化することが望まれる. 国立天文台では当課題に対して, 集積回路を用いたマルチビーム受信機を提案し, 開発に着手している. この集積回路の構成要素の1つである平面回路型偏波分離器は, 基板表面に形成される自立薄膜 (メンブレン) 上に作製する設計となっており, メンブレン作製はマルチビーム受信機において必要不可欠な技術である. メンブレン作製技術を用いる当集積回路では, 機能デバイスを1チップ上に作製することでコンパクト化を図り, ALMA の受信機カートリッジ上の限られたスペースにおいてもビーム数を最大化することが可能となる. 本研究では, 集積回路デバイスのためのメンブレン作製技術の開発および作製したメンブレンの特性評価を行う.

今回, メンブレン作製試験のため Silicon on Insulator (SOI) ウェハを用意した. SOI ウェハのデバイス層, BOX 層, ハンドル層の厚さは, それぞれ $6\ \mu\text{m}$, $1\ \mu\text{m}$, $400\ \mu\text{m}$ である. シリコン深堀エッチング装置を用いてハンドル層をエッチングし, $3\ \text{mm}\phi$ メンブレンを作製した. このときメンブレンに最大 $30\ \mu\text{m}$ たわみが確認された. これはBOX層の強いストレスが原因と考え, ハンドル層エッチング後にBOX層のエッチングを行った. BOX層までエッチングしたメンブレンのたわみの最大値は $5\ \mu\text{m}$ であり, BOX層をエッチングすることによりメンブレンの平坦化が確認された. メンブレンの平坦化によりデバイスの破損や性能劣化を抑えられることが期待される.

当日の発表では, メンブレン作製過程および作製されたメンブレンの特性についての詳細を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108b 冷却低雑音アンプの広帯域ノイズパラメータ評価系の構築

高橋宏明 (電気通信大学), 小嶋崇文, 新関康昭 (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

電波天文観測に用いられるヘテロダイン受信機の同時受信帯域の広帯域化について検討している。サブミリ波観測におけるヘテロダイン受信機は RF 帯域が 100 GHz を超えるものがある一方、受信機から出力される IF 帯域は 4-8 GHz 程度に留まっている。これはミキサと低雑音アンプの帯域幅に関わらず、インピーダンス整合を取るためのアイソレータの通過帯域が IF 帯域のボトルネックとなっているためである。よって今後低雑音性能を維持したまま IF を広帯域化していく上でアイソレータではなくミキサ低雑音アンプ双方のインピーダンスを見込んだ整合回路を用いることが望ましいと考えられる。今回は低雑音アンプ側に着目し、整合回路の設計に必要なパラメータとして雑音温度が各周波数で最小となるような信号源インピーダンス (ノイズパラメータ) を評価する。通常、ノイズパラメータはインピーダンスチューナを用いたロードプル測定法により評価されるが、デュワー内に非同軸タイプの被測定デバイスが存在する場合、ノイズパラメータ評価に必要なキャリブレーションが困難なものとなる。そこで、非同軸タイプのデバイス特性評価に有効な冷却 Thru-Reflect-Line(TRL) 校正 (高橋ほか、2015 年秋季年会) によりデュワー内デバイスの極低温におけるノイズパラメータを評価することを検討している。今回、クライオスタット内で低雑音アンプのノイズパラメータを評価するための広帯域雑音温度測定系を構築した。本測定系による 3-22 GHz 帯低雑音アンプ (Low Noise Factory) の 50 系における雑音温度測定では全帯域でメーカーのデータシート値とリーズナブルに一致する結果を得た。今後は本測定系を使用して、冷却 TRL 校正により低雑音アンプのノイズパラメータを広帯域で評価する予定である。本講演では広帯域ノイズパラメータ評価系の整備状況と冷却低雑音アンプのノイズパラメータ評価結果を報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109b テラヘルツ帯実験室分子分光計の開発

千葉雄太郎 (東京大学)、坂井南美 (理化学研究所)、海老澤勇治、吉田健人、渡辺祥正、山本智 (東京大学)、酒井剛 (電気通信大学)

電波天文観測において、観測天体に含まれる分子種を同定したり、天体の内部運動によるスペクトル線のドップラーシフトの解析を行ったりするには、様々な分子のスペクトル線の静止周波数を正確に知っておくことが不可欠である。それらの周波数の値は実験室での分子分光実験をもとにデータベースとして整理されているものの、周波数精度が分子種の同定や速度構造の議論にあたっては不十分なこともあり、しばしば観測データの解析に大きな不確定性と制限を与えている。したがって、天体観測に対応して実験室で分光実験を行うことは大きな意義があり、とくに、観測感度の高まりによって今まで見えなかった微弱な輝線まで容易に観測できるようになりつつある ALMA の時代にあつてますます重要になっている。

このことを念頭に置いて、我々は、理化学研究所において、新しいテラヘルツ帯実験室分子分光計を開発している。長さ約 2 m のガラスセルの中に測定対象の分子ガスを数 Pa 程度の圧力で満たし、その放射をテラヘルツ観測のために開発された超伝導 HEB ミクサー受信機を用いて測定する。HEB ミクサーは ALMA カートリッジタイプなので、その代りにミリ波、サブミリ波帯のカートリッジを用いることでそれらの周波数の測定も可能になっている。分子からのテラヘルツ放射は 1.0-1.6 GHz 帯にダウンコンバートされ、最大で 15 kHz のスペクトル分解能をもつデジタル分光計 XFPTS でスペクトル分析される。今のところ、周波数帯域は 0.8-0.9 THz と 1.3-1.5 THz であるが、将来的にはミリ波・サブミリ波帯にも測定範囲を広げることも計画している。講演とポスターではこの分光計の概要と初期成果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110c テラヘルツ光子計数型検出器の基礎開発-II

江澤 元、松尾 宏 (国立天文台)、浮辺雅宏、藤井 剛、志岐成友 (産業技術総合研究所)

将来のテラヘルツ波干渉計による超高空間分解能観測の実現を意図したテラヘルツ光子計数型検出器の基礎開発の進捗について報告する。

我々が構想しているテラヘルツ波干渉計は、Hanbury-Brown & Twiss (1956) の強度干渉計を基礎にしている。我々は、近年の高速データ記録技術を応用することで、強度干渉計においても遅延時間測定が可能であることを2014年に野辺山電波ヘリオグラフを用いた17 GHzの基礎実験で実証し(江澤他、天文学会2014年秋季年会V141a)、これにより強度干渉計による画像合成の可能性が見えてきた。現在、これをテラヘルツ波領域に応用するための基礎開発を推進している。テラヘルツ波の検出システムについては、1 GHzの高速動作が期待できる超伝導SIS検出器を用い、更に光子計数を実現することで高いS/Nの実現を目指している。このための検討を進めており、技術要求を天文学会2016年秋季年会で報告した(江澤他 V130b)。これに基づいて、主要な開発要素の一つであるリーク電流の低い(~ 1 pA)超伝導SIS検出器については、産業技術総合研究所CRAVITYにおいてNb/Al/AlO_x/Al/Nbベースの接合の開発を続けてきた。並行して、この素子の性能評価のほか、それを用いた光子計数実験を開始するためのセットアップも構築しつつある。本講演ではこれらの要素技術の開発の進捗を報告するとともに、期待されるテラヘルツ光子計数システムの性能について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V111a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の現状

堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)、他 LiteBIRD チーム

LiteBIRD は、インフレーションによる原始重力波を検出することを目指した日米共同ミッションで、2025 年度の打ち上げを目指している。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background、CMB) の偏光を全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である B モード偏光を、テンソル・スカラー比の誤差にして $\delta r < 0.001$ の精度で検出する。この目的を達成するため、およそ 1 度角の分解能で視野 20×10 度を持つ反射型低周波望遠鏡 (Low frequency telescope: LFT) および屈折型高周望遠鏡 (High frequency telescope: HFT) と、100mK に冷却された多色超伝導検出器アレイを用いて、L2 で 3 年間にわたり全天のサーベイ観測を行う。銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射を分離するため、40–400 GHz の周波数帯域をカバーする多周波観測を行う。

LiteBIRD は、2016 年 8 月に、JAXA 宇宙科学研究所の計画審査を通過し、phase A1 に入った。また、米国 LiteBIRD チームも Explorers Program の Mission of Opportunity に選ばれ、phase A study が進行中である。講演では、LiteBIRD 検討の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 IX

永田竜 (KEK), 今田大皓 (ISAS), 市来浄與 (名古屋大学), ほか LiteBIRD working group

数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起こったか」の指標である。マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目的とし、2020年代前半の打ち上げを目指す計画である。

原始重力波に由来する偏光信号は、既に観測で確認されている密度揺らぎ由来の偏光成分に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、その検出に向けた取り組みにおいては、高感度の装置を開発するだけでなく、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。今回の講演では、観測装置のビーム特性が宇宙論のサイエンスに与える影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V113b LireBIRD 搭載光学系のトレードオフ検討

鹿島伸悟、松村知岳、菅井肇 (Kavli IPMU)、関本裕太郎 (NAOJ)、他 LiteBIRD メンバー

我々は、インフレーションモデルの検証を目的に宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 観測衛星 LiteBIRD の開発を進めているが、LiteBIRD 光学系に求められる仕様として重要なのが、キャリアレーション精度を決める「開口径」と全天掃引の効率に影響を及ぼす「広視野 (Wide FOV)」である。

前回及び前々回の発表では、水口ドラゴンタイプに関してのみ報告したが、他にもグレゴリアンタイプと呼ばれる光学系があり、これにも派生的ないくつかのタイプがある。また、偏光信号に変調をかけるため、回転半波長板を搭載することを考えているが、半波長板には様々な技術開発項目があるため、その大きさや方式 (透過型・反射型) に関しても、色々なタイプを検討している。

本発表では、開口径と画角 (より正確には観測立体角) の積である A と半波長板をキーとして、水口ドラゴンベースの光学系及びグレゴリアンベースの光学系に関して数多くの設計検討を行い、それらのトレードオフを行ったので、この内容及び結果に関して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114b 臼田宇宙空間観測所 64m アンテナの電波天文観測に向けた性能評価

藏原昂平、中西裕之、今井裕、齊田智恵 (鹿児島大学)、村田泰宏、坪井昌人 (宇宙科学研究所)、上原顕太、石川聡一 (東京大学)、土橋一仁、下井倉ともみ (東京学芸大学)、藤沢健太、青木貴弘 (山口大学)、山本宏昭 (名古屋大学)、米倉覚則 (茨城大学)、春日隆 (法政大学)

JAXA 臼田宇宙空間観測所 64m 鏡は、衛星管制用として活躍している日本で最大口径を誇るアンテナであり、10GHz 以下の電波を観測できる装置として重要であり特に、L 帯にある水素原子 21cm 輝線は宇宙にある原子ガスを探る上で基本となる輝線が観測できる望遠鏡である。本望遠鏡の主要な役割は深宇宙探査機等の衛星の運用であるため、近年、アンテナパターンや受信機雑音温度、較正用雑音源等価温度など電波天文観測に必要なアンテナおよび受信機性能、較正情報が得られていなかった。しかし次世代大型望遠鏡 Square Kilometre Array (SKA) の建設準備が進む中、国内において SKA がカバーする周波数帯域での科学観測が可能な装置として重要性はますます高まっており電波天文観測に必要なアンテナ性能評価が急務である。

そこで我々は L 帯、C 帯、X 帯のそれぞれで連続波観測によるアンテナパターン、開口能率、システム雑音温度、受信機雑音温度の測定を行なった。臼田 64m 鏡のシステム雑音および受信機雑音温度は L(1~2GHz) 帯でそれぞれ約 90[K], 40[K], C(4~7GHz) 帯でそれぞれ約 80[K], (受信機雑音温度は未測定), 2013 年に搭載した受信機での X(8~9GHz) 帯でそれぞれ約 36[K], 約 14[K] であった。L 帯では中性水素原子ガス 21cm 輝線観測のために、周波数スイッチやスペクトルの地球回転補正などを実装した。また較正用ノイズソースの等価温度を測定し、科学運用に必要なシステムを整備した。

本講演では L, C, X 帯のビームサイズ・サイドローブ成分の情報を中心に臼田 64m アンテナについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (15)

米倉 覚則, 杉山 孝一郎, 齋藤 悠, 青木 健悟, 山口 貴大, 足立 弘, 大橋 拓人, 佐藤 宏樹, 柴田 裕輝, 宮本 祐輔, 百瀬 宗武 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 中井 直正 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

KDDI から譲渡された直径 32 メートルの衛星通信用アンテナ 2 台 (日立アンテナ、高萩アンテナ) を、VLBI、単一鏡、2 素子干渉計の形態で、6.7 GHz (メタノールメーザー)、8.4 GHz (連続波)、22 GHz (水メーザー、連続波等) の観測が可能な電波望遠鏡にすべく 2009 年より改造作業を行い、2013 年より科学運用を開始した。6.7 GHz メタノールメーザー源のモニター観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施している。また、VLBI 観測運用を年間 200–300 時間程度、6.7 GHz, 8.4 GHz, 22 GHz において実施している (Yonekura et al. 2016, PASJ, 68, 74)。これらの定常観測以外に、下記の観測モードの整備に着手した。

(1) 高感度・高精度 (10 分積分 512 MHz 帯域で最小検出感度 ~ 1 mJy [$3\text{-}\sigma$]) な電波連続波源の強度モニター観測を目指し、高萩–日立 2 素子干渉計の整備を行っている。サンプラーには、エレックス工業製リアルタイム相関器 OCTAD-C (最大 8 GHz サンプリング [8 Gsps]) を用いる。2016 年 11 月より、1 GHz サンプリングモード (1 Gsps) での試験観測を開始した。現在は強度較正方法の確立、最小検出感度の検証、スケジューラーの整備などを実施中である。今後、2 GHz および 4 GHz サンプリングモードの試験を行う。

(2) 少数基線 VLBI 観測 (高萩 32-m、日立 32-m、鹿島 34-m、山口 32-m の大口径アンテナ 4 台) による 6.7 GHz メタノールメーザー源の放射領域のサイズ変動の計測を目指し、2016 年 10 月より試験観測を開始した。サンプラーには日本通信機製 K5/VSSP32 を用いている (16 MHz、4 bit サンプリング)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V116a 3.8 m 電波望遠鏡を用いた VLBI 観測

高橋諒，上田翔汰，井上将徳，岡田望，長谷川豊，木村公洋，大西利和，小川英夫 (大阪府立大学)，米倉覚則 (茨城大学)，藤澤健太 (山口大学)，徂徠和夫 (北海道大学)，川畑亮二，石本正芳，福崎順洋 (国土地理院)，近藤哲朗 (情報通信研究機構)，ほか大学 VLBI 連携グループ

我々は、2014 年末に国土地理院新十津川 VLBI 観測局から、3.8 m 電波望遠鏡を大阪府立大学研究棟屋上に移設した。3.8 m 電波望遠鏡は現在、常温のヘテロダイン受信機を搭載しており、S-band(2.21-2.45 GHz)/X-band(8.18-8.98 GHz) の 2 バンド観測が可能である。しかし、大阪では人工電波の影響により S-band に多くのノイズの混入があるため、現在は X-band のみの観測を行っている。

今まで受信機や制御装置を再構築し、さらに望遠鏡性能評価のために、システム雑音測定や電波ポインティング観測等を行ってきた。2016 年 10 月に大学 VLBI 連携グループの協力の下、高萩 32 m 電波望遠鏡との間で電波源 3C273B を用いた帯域幅 32 MHz の X-band VLBI 観測を行い、初のフリンジ検出に成功した。

現在は国土地理院の協力の下、測地 VLBI 観測を目指しその準備を進めている。測地 VLBI 観測では最低 8 ch の信号が必要であるため、バックエンドシステムの増設やそれらのフリンジテスト等を行っている。

本講演では、今までに行ってきた性能評価、高萩 32 m 電波望遠鏡との VLBI 観測の詳細や測地 VLBI 観測等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a 野辺山 45 m 鏡搭載 20/40 GHz 帯同時観測用周波数フィルタの開発

岡田 望, 橋本 育実, 高田 勝太, 本間 愛彩, 高橋 諒, 木村 公洋, 千葉 正克, 真鍋 武嗣, 小川 英夫, 大西 利和 (大阪府大), 南谷 哲宏, 宮本 祐介, 宮澤 和彦, 齋藤 正雄 (国立天文台), 岸本 直子 (摂南大) 水窪 耕兵, 今井 裕 (鹿児島大)

現在、野辺山 45 m 電波望遠鏡光学系は、複数の平面鏡を切り替えることにより、様々な周波数帯の複数受信機から一台を選択する機構となっている。我々は、20 GHz 帯受信機 (H22) と 40 GHz 帯受信機 (H40) を切り替える平面鏡部分に、20 GHz 帯は反射し 40 GHz 帯を透過させる準光学的周波数フィルタを開発し、20/40 GHz 帯の同時観測を可能とするシステムの構築を目指している。ここで開発している周波数フィルタはカットオフ周波数を利用することにより、反射/透過の電波周波数帯を分離するものである。また構造としては、アルミ板へ周期的なパターンをあけたものである。

我々は電磁界解析を用いて、アルミ板の厚みや切るパターンの検討を進めた。その試作品として、加工の容易性やコスト面から円形穴を周期的にあけたフィルタを製作し、45 m 鏡への搭載・五点観測法を用いた試験観測 (ポインティング観測及びビームサイズ測定、システム雑音温度 T_{sys} 測定) を行った。その結果、20 GHz 帯においてはポインティングのずれ及び T_{sys} の値ともに周波数フィルタ搭載による有意な差は見受けられなかった。また 40 GHz 帯においては周波数フィルタを設置することにより、ビーム伝送系へ光学素子を一枚追加する機構となる為、 T_{sys} の値が ~ 15 K 上昇したが、ポインティングのずれやビームサイズの変化はほとんど見られなかった。

この試験は HINOTORI (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented) の一環で実施しているものであり、本講演では周波数フィルタの開発及び 45 m 鏡における試験観測について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118a 高感度大気水蒸気モニターの開発 - つくば市における冬季観測

長崎岳人, 田島治 (高エネルギー加速器研究機構), 瀧口博士 (情報通信研究機構), 荒木健太郎, 石元裕史 (気象庁気象研究所)

大気水蒸気モニター “ KUMODeS (クモデス) ” は地上設置型のラジオメータであり、大気中に存在する水蒸気から放射される電波を測定し水蒸気量を同定する。近年、大気中の水蒸気の急増を捕らえることによる、竜巻やゲリラ豪雨などの突発的な気象災害の前兆現象に関する研究が注目されている。雲が生成される前に発生する大気水蒸気の急増を捉えることで、避難等の時間的猶予を生み出す。KUMODeS は短時間で全天の水蒸気分布を同定することを目的とし、機械式極低温冷凍機で冷却した 20 – 30 GHz (水蒸気) 帯受信機ならびに常温の 50 – 60 GHz 帯 (酸素) 受信機として、広帯域な HEMT 受信機を採用している。また冷凍機の余剰冷却能力を用いて、大気放射温度に近い冷却黒体を搭載し、これを自動信号校正源として用いることで測定精度の向上を実現している。これまでプロトタイプ受信機の開発、ならびに平成 28 年度初夏よりつくば市での試験観測を行いゲリラ豪雨の兆候を捉えることに成功した。今回、つくば市冬季における観測を実施し、ラジオゾンデ等の他手法観測との比較を行った。また、2号機としてスターリング冷凍機を用いた低消費電力型 KUMODeS の開発も行っている。本公演では、装置の概要ならびに上記の試験結果を合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V119a きゃらばん・サブミリとVLBIデータ較正の確認法 III

三好真(国立天文台)、春日隆(法政大)、岡朋治(慶應大)、高橋真聡(愛教大)、ホセ・イシツカ(IGP)、ほかメンバ

我々の銀河系中心の大質量ブラックホール SgrA* (サジタリウス・スター) の降着円盤やブラックホール・ホライズンの撮像をめざす「きゃらばん・サブミリ計画」を進めている。南米アンデス高地に移動型電波望遠鏡を含む VLBI 網を作り、正しい像合成に必要なの 1 ~ 2 千 km の短基線 VLBI (230 GHz 帯) を実現、ブラックホールの撮像を行う。現在、へら絞り法によって、rms 15 ミクロンを目指した 2 m 口径の高精度パラボラの試作を行っている(春日・三好ら)。ほか、(1) 春日らによるミリ波帯低損失導波管の検討(ミリ波通信技術開発の成果を利用)、(2) 国内 230GHz VLBI 実験(藤沢ら)でのフリンジ検出(広範囲をパラメータサーチ)、(3) ペルー・ボリビアの雨季乾季でのサイトサーベイ、によりハードウェアの検証は終了した。

残る課題はデータ較正である。ミリ波~サブミリ波、かつ uv カバーが疎である VLBI では、データ較正は大変困難である。系統誤差の残留が結果に大きな影響を及ぼす。そのため 230GHz 帯以上での VLBI の像合成はいまだに成功せず、像構造モデルを仮定した上でのクロージャ位相解析から、構造を推測している。そこで我々はデータ較正の妥当性を評価する VERICA を開発した。多段のリダクション工程を経た、全較正終了後のデータをチェックして較正の妥当性を調査するものである。観測データには天体情報(信号成分)と誤差を含む。信号成分を消去して、それ以外の成分の統計的挙動を調べることで有害な系統誤差残差の多寡を検査できる。VLBI のデータの visibility 位相に関する検証はクロージャ位相のチェックを通して行う方法がある。一方で visibility 振幅に関する、正確な検証は困難であった。今回は VERICA による振幅較正の妥当性検証例を複数の例で紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120a サブミリ波 VLBI を用いた Hybrid Mapping によるブラックホールシャドウの構造復元の定量的評価

倉持一輝 (東京大学/国立天文台), 秋山和徳 (MIT Haystack Observatory/国立天文台), 田崎文得 (国立天文台), Hung-Yi Pu, 浅田圭一 (ASIAA), 池田思朗 (統計数理研究所), 本間希樹 (国立天文台)

超大質量ブラックホールである Sgr A* と M87 は、シュバルツシルト半径の角サイズが全天で最大であり、今年の4月にはサブミリ波 VLBI 観測網 Event Horizon Telescope (EHT) によるブラックホールシャドウの直接撮像が期待されている。VLBI による観測、特にミリ波/サブミリ波帯での観測では、位相のコヒーレンス時間が短いことや較正天体となりうる天体が殆どないことから、正確なビジビリティ位相の測定が困難となる。そこで hybrid mapping と呼ばれる、天体画像のイメージング及びその画像を用いた観測データの較正 (self-calibration) の反復法が、VLBI から取得された観測データの較正手法として現在広く普及している。

Hybrid mapping において、self-calibration 時にどのモデルを初期モデルとするかはデータの較正上非常に重要である。VLBI の場合、一般的に観測対象天体の構造がコンパクトであることから、今まで点源モデルが初期モデルとして選択されてきた。しかし天体の構造が複雑である場合、点源モデルを初期モデルとすると高いフィデリティを有する復元画像の取得が困難となることが我々の研究から分かった。

そこで我々は、干渉計特有の観測量の一つであるクロージャー位相から疎性モデリングと呼ばれる新たなイメージング手法で復元された天体画像を初期モデルとする、新たな hybrid mapping の手法を開発した。本講演では我々が開発した新手法について紹介すると共に、今年行われる EHT の観測を想定した疑似観測シミュレーションから、疎性モデリングによる hybrid mapping のイメージング結果及び新手法の妥当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](#)

V121a 電波点回折干渉計 (II)

奥村大志 (筑波大学), 今田大皓 (ISAS/JAXA), 永井誠, 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫 (筑波大学)

点回折干渉計 (PDI) を用いた、電波望遠鏡の新しい波面測定法を提案する。一般に、PDI は光路中に入射波面を乱さない程度に小さな回折体を置くことで構成され、回折体によって生じる球面波を参照波とし、入射波面を保持した波 (試験波) との干渉像を得る。参照波の位相を変調することで数通りの干渉像を得て、これらの干渉像を演算することで波面誤差の情報を引き出す。可視赤外線分野では、中心に周辺部と偏光特性が異なるピンホールを持つ偏光ビームスプリッタ (PPBS) を用いることで偏光を利用した PDI が提案されている (今田ほか 2015 年春季年会 V209a、山本ほか 2015 年春季年会 V243a)。

我々は電波領域の PPBS と検出器を用いた PDI を提案している。位相変調や干渉を検出器の回路上で行うことが出来るため、使用する光学素子を少なくしたレンズ 1 枚と PPBS のみの簡素な光学系を実現できるメリットがある。奥村ほか 2016 年春季年会 V710b では、焦点面で得られる干渉像から瞳面の波面を推定出来ることを解析的に示した。

今回は物理光学シミュレーションを用いた数値計算による検証の結果を報告する。設定として F2.5 のレンズと直径 100.0 [mm] の瞳面に直径 $1.0F\lambda$ のピンホールを持つ PPBS を置く場合を考える。波長 $\lambda = 1$ [mm] の理想的な平面波を入射した時、瞳面全体での電場の位相の RMS は約 0.02 [rad] である。これは約 $\lambda/300$ の精度で瞳面の位相を推定出来ることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V122a 山口干渉計の狭帯域試験観測

藤沢健太, 青木貴弘, 金澤翔, 新沼浩太郎, 元木業人, 松本尚子

山口大学では、山口干渉計の構築を進めている（本年会の青木、金澤の講演を参照）。本講演では、干渉計構築のための狭帯域の試験観測について紹介する。

山口第2電波望遠鏡の観測信号は、RFを光信号に変換して、光ファイバによって第1電波望遠鏡へ伝送する。この伝送システムの位相安定度測定を行った結果、信号伝送系に起因する位相のゆらぎは、周波数変換器のPLOの位相ゆらぎ（特に温度変化による）よりはるかに小さく、測定できなかった。PLOの位相ゆらぎは8GHzの観測周波数において1000秒間で20度程度であり、観測に影響がない小ささである。

前回の年会（2016年秋、V144a）で報告した通り、天体（3C84）による試験観測では8MHzの帯域幅、観測周波数6.7GHzで、フリンジの検出に成功した。その後の試験観測では安定してフリンジ検出ができるようになってきている。現在は、得られた関連信号のバンドパス補正、位相回転と遅延追尾を行う処理部の開発を行っており、これが成功すると長時間（～1000秒）の積分による微弱天体の検出が可能になる。また、この処理手順を確立することで、広帯域（512MHz）の観測システム構築をスムーズに行うことができる。

これらの進捗を踏まえ、2016年度中に強度変動を示す天体の研究的観測にも着手し、年度末にはある程度の定常的な観測ができる体制を構築する予定である。

（この研究は、三菱財団、国立天文台共同開発研究、山口大学戦略的研究推進プログラムの支援を受けています。）

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123b 山口干渉計の構築状況

青木貴弘, 藤澤健太, 新沼浩太郎, 金澤翔 (山口大学)

山口 32 m 電波望遠鏡および 34 m 電波望遠鏡を用いた山口干渉計の構築状況について報告する。これらの望遠鏡は KDDI 山口衛星通信センター内にあり、従来利用してきている 32 m 鏡の観測周波数は C 帯 (6600–7112 MHz) および X 帯 (8192–8704 MHz) である。一方 34 m 鏡は、今年より電波望遠鏡として利用され始め、現在 32 m 鏡と同等の受信機を開発している最中であり (金澤の講演)、近い将来、32 m 鏡と全く同じ観測周波数で口径の分だけ感度の良い望遠鏡となる。山口干渉計は、基線長にして 108 m 離れているこれらの望遠鏡で構築する 2 素子干渉計であり、現在そのシステム開発を行っている。

これまでの開発によって、天体追尾系や Radio Frequency over Fiber (RFoF) 伝送系は完成した。また AD 変換器 K5/VSSP32 を用いた狭帯域観測でのフリッジ検出に成功し、干渉計として機能することを確認できている。現在はそれを踏まえて、AD 変換器 ADS3000+ を用いた広帯域観測系の構築のため、ハードウェアとソフトウェアの両面から整備を行っている。まず ADS3000+ を利用するにあたり既存の受信機では入力レベルが足りなかったため、増幅器作成を含む信号伝送系を整備し、適正な AD 変換を行える環境が完成した。そして記録装置 OCTADISK を 2 台使用した試験観測を行い、広帯域観測系でのフリッジ検出に成功している。しかし OCTADISK を用いる場合、煩雑なデータ読み出しや 2 台必要という困難性のため、観測の定常化を実現できない。そこで国立天文台で開発された VSREC 記録系を導入し、併せて、各種設定やソフトの起動を一括して行うコントロールスクリプトを作成することで、観測の簡便化を実現した。現在は各種天体のモニタリングに向け、リアルタイムフリッジ観測のためのソフトウェア開発を行っているところであり、本講演では以上の開発進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124b 山口第二電波望遠鏡に搭載する 6 - 9 GHz 帯受信機システムの開発

金澤 翔, 藤沢 健太, 新沼 浩太郎, 青木 貴弘, 元木 業人 (山口大学), 小川 英夫, 阿部 安宏, 木村 公洋 (大阪府立大学), 松本 尚子 (国立天文台/山口大学)

山口大学では 2016 年 1 月より山口第二電波望遠鏡 (Y2, 口径 34 m) の運用を開始した。すでに使用している山口第一電波望遠鏡 (Y1, 口径 32 m, 観測周波数 6 - 9 GHz) と光ファイバーケーブルで結合して干渉計として利用することで、連続波天体を高感度観測することを目指している。Y2 は 4 GHz 帯と 6 GHz 帯で送受信を行う衛星通信アンテナであったため、天文観測周波数帯である 6 - 9 GHz 帯用に改造が必要である。本講演では、受信システムの一部である冷却型受信機とダウンコンバータの開発計画及び状況について報告する。

Y2 用の冷却型受信機には、Y1 に搭載されている受信機と同等の性能を持たせる。すなわち、観測周波数帯域は 6 - 9 GHz, 左右両円偏波の同時受信が可能であり、システム雑音温度は 40 K を目標とする。円偏波受信で広帯域を実現するために開発したセブタム型ポーライザを使用する。増幅器には HEMT を使う。ポーライザから HEMT まで一体化して冷却することで、円偏波分離に起因するシステム雑音温度の上昇を軽減させる。信号入力の導波管, 信号出力コネクタ, バイアス・モニター用のコネクタを冷却デューワーの信号入力面に取り付けることで、取り付け作業が容易になる工夫を行った。ダウンコンバータは、6.5 - 7.3 GHz 及び 8.0 - 8.8 GHz の信号を同時受信し 512 - 1024 MHz の帯域に変換する。2 周波数帯/2 偏波の同時観測に対応するため、ダウンコンバータは 4 系統製作する。

現在、ダウンコンバータは完成し、冷却型受信機は設計を行っている段階である。2017 年度中には観測に使用することを目標として開発を行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125c 大学 VLBI 連携の現状と将来

藤沢健太, 大学 VLBI 連携

大学・共同利用研究機関は第3期中期計画期に入った。大学 VLBI 連携は第3期の6年間を見据えた研究活動を行い、また将来計画の検討を進めている。

最近の1年間では合計31回、280時間の VLBI 観測を実施しており、ほぼ定常的な観測ができています。観測成果をまとめて発表するために、2016年10月発行のPASJ (Vol 68, 第5号)で大学連携の特集を行ってもらった。光赤外線の間大学間連携と合わせて合計9編の論文が出版されている。また、東アジア VLBI 観測網 (EAVN) 構築のために試験観測を行っている。これは大学 VLBI 連携の将来計画の一つである。

一方、北大が運用してきた苫小牧11mは2015年度末に運用を停止した。また国土地理院のつくば32mは2016年12月末で運用を停止する。これらの望遠鏡の停止に伴って、大学 VLBI 連携の組織にも変更が生じている。すでに運用期間の長い山口局・茨城局の長期的な運用計画も含めて、大学 VLBI 連携の将来計画に関する議論が活発になっている。

2016年7月に、茨城局において大学 VLBI 連携のワークショップを開催し、特に将来計画に特化した議論を2日間行った。将来計画の議論は現在も継続しているが、これらの議論を通じて複数の研究計画が立案され、また実施されている。たとえば少数基線による大規模観測 (茨城 - 山口等)、突発天体・時間領域天文学を目指した研究計画、東アジア連携への計画的展開である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V126c VLBI用ソフトウェア相関処理システムの開発と定常運用化

小山友明、河野祐介、鈴木駿策、金口政弘、永山匠、西川誉、柴田克典（国立天文台）

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、従来 VSOP 用ハードウェア相関器を用いて VERA、JVN 等の様々なアレイの相関処理を行って来た。製作より 20 年が経過し、老朽化が進み保守も困難となって来た。また近年メタノールレーザー等の高分散分光観測、高感度観測を目的とした広帯域観測などが広く行われつつあり、これらの観測の相関処理の必要性が増して来た。そこで水沢 VLBI 観測所では、ハードウェア相関器の代替器として、高分散処理に対応し、機能拡張性等に優れた汎用 CPU、GPGPU を用いたソフトウェア相関器の開発を行った。2013 年度から国立天文台三鷹キャンパスにて開始された試験運用を踏まえ、2015 年 4 月に定常運用を可能とすべく国立天文台水沢キャンパスに相関センターを移設し、2015 年 9 月より本格運用を開始した。その後定常運用開始後 1 年が経過し、広帯域、両偏波観測処理の定常化に着手した。本年会では、水沢相関センターでの定常化、運用処理の状況、処理可能な観測モード、試験結果、GPGPU を用いた相関処理の高速化開発状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127c 気球 VLBI ミッションの検討 VII

土居明広（宇宙航空研究開発機構）、河野裕介（国立天文台）、木村公洋（大阪府立大学）、松本尚子（山口大学/国立天文台）、岡田望（大阪府立大学）、馬場満久、村田泰宏（宇宙航空研究開発機構）、中原聡美（総合研究大学院大学）、小山友明、鈴木駿策、山下一芳（国立天文台）、中村拓（山口大学）、米倉覚則（茨城大学）、亀谷収、柴田克典、本間希樹（国立天文台）、関戸衛、岳藤一宏（情報通信研究機構）、ほか研究協力者

成層圏に滞在して電波干渉計の観測をおこなう気球搭載型電波望遠鏡の開発をおこなっている。成層圏は、高周波電波帯の天文観測にとって、大気の影響をほぼ完全に避けることのできるサイトであり、地上の電波望遠鏡・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。最初のステップとして、技術的なフィージビリティの検証をおこなうフライト実験機を準備した。22 GHz 帯で地上 VLBI 局との間にフリンジを検出すること、その性能評価をおこなうことを目指す。2016 年夏、この実験機を北海道広尾郡大樹町の JAXA 大樹航空宇宙実験場に持ち込んだが、気象条件等により放球は来年度以降に持ち越しとなった。

放球場では、ゴンドラシステムの全てをアセンブリし、VLBI 観測を含めた地上動作試験をおこなった。この実験機には、周波数標準源振や高速データ記録といった VLBI に必要なコンポーネントと、電波望遠鏡システム（口径 1.5m）、さらに姿勢決定/制御システム・位置決定システム・電源系などの飛翔体バスシステム等、成層圏で VLBI 観測をおこなうのに必要な機能を搭載している。現地での地上動作試験の結果と、次年度放球に向けて機能動作をより確実にするため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](#)

V128c 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 2

増田 智 (名古屋大学), International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph (ICCON)

2014年度に締結された名古屋大学太陽地球環境研究所(現・宇宙地球環境研究所)と国立天文台との協定及びコンソーシアム構成機関(NAOC, KASI, NICT)との協定に基づき、2015年4月1日より国際コンソーシアム(ICCON)による野辺山電波ヘリオグラフの科学運用が開始された(<https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/ICCON/>参照)。本講演では、ICCONによる運用の2年目(2016年度)の運用状況、活動、成果について報告する。装置自体は、1年を通じて、ほぼ問題なく運用されている。リモートサイトからのwebを介した運用システムは、順調に動作しており、1年目より一カ国増えて、米国、英国、中国、韓国、ロシア、ドイツ、日本の7カ国の研究者(計30名)が運用に参加した。この間、ひので科学センター@名古屋は、地球磁気圏などのデータも共通に扱う統合データサイエンスセンター(CIDAS)システムに拡大された。現在、野辺山電波ヘリオグラフのデータは、国立天文台三鷹の太陽データ解析システム(SDAS)、及び、CIDASシステムで保存・管理・公開が行われている。2016年度は、国際的な活動の推進が顕著であった。まず、2016年9月9日-10日には、名古屋大学で「Solar Physics with Radio Observations - Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph -」という国際会議が開催された。参加者は、計36名(うち、海外から20名)であり、研究結果のまとめや運用延長期間中における研究テーマなどに関する講演が行われた他、中国の新太陽電波望遠鏡との連携を含めた将来計画に関するパネルディスカッションも行われ、積極的に意見が交わされた。また、中国国家天文台の研究者グループが2度に渡り、計4週間ほど名古屋大学に滞在し、野辺山電波ヘリオグラフを用いた国際共同研究を推進した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129c 電波合成型ミリ波アンテナ 2.4m ユニットアンテナの試作と評価 1

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。トラック移動の目的から、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。その工作精度は、これまでの試作から実証済みである。今回、目標のサイズより少し大きな口径 240cm の鏡面を製作し評価する。このためには精度の高い金型が必要であるが、メーカー既存の鉄製金型を再加工することを計画している。同時に、鏡面の精度を損なうことなく、かつ軽量・簡単・安価な鏡面の支持構造の設計を行い、できれば試作も行う。本学会ではそれらの進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130a ALMA の運用 (10) と拡張計画 (4)

○井口聖，阪本成一，立松健一，伊王野大介，浅山信一郎，小杉城治，菊池健一，平松正顕，奥村裕二(国立天文台)，ほか ALMA プロジェクトチーム

本講演では、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, アルマ) の運用および拡張計画の活動について以下の報告をする。

運用：Cycle 3 の観測が完了し、継続して観測データを提案者に配信中である。Cycle 0-2 の観測成果に加え、アーカイブデータを使った研究成果も多数でている。現地運用を定常化でき、予定通り、Cycle 4 の観測が開始された。データが順調に蓄積する一方、データバックログ問題が深刻化し、観測データの配信に関する遅れの問題が生じた。解析ソフトウェアの改良および体制の強化を行い、改善を講じている。また、偏波観測に関する科学評価試験を継続的に実施し、ミリ波帯において世界最高感度を実現したことを確認した。

拡張：ALMA の拡張機能として、Band 5, Band 1 および Band 2 の新受信機の開発を行っている。欧州が担当する Band 5 開発では山頂での科学評価試験にて Arp 220 などの H₂O 輝線の観測に成功した。東アジアが担当する Band 1 開発では技術審査会を開催し、量産製造に向けた準備を着実に行っている。米国が主導する Band 2 試作開発では要素技術開発が完了し、試作機に向けた開発を着手した。一方、欧州から Band 2+3 開発が提案され、今後、日本も加わり、Down Selection を実施する予定である。また、観測精度向上のため、東アジアから単一鏡用分光器の開発が ALMA 評議会に提案され、具体的なプロジェクト計画の審議が開始した。さらに、日米欧三者で作成した報告書「2020-2030 における ALMA 科学観測を想定した将来拡張計画」に従い、基礎技術開発が開始した。特に、これらの中で注目すべき進捗や検討結果が出てきており、それらについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131a マイクロ波フォトニクス信号を用いた広帯域周波数シンセサイザ

木内等 (国立天文台)

テラヘルツ領域まで含めた高周波信号の発生は、先端技術分野で不可欠なものになっている。天文分野においても広帯域で高周波まで周波数連続なシンセサイザが望まれる。ALMA 電波干渉計では、受信周波数が 950GHz にも達し、コヒーレント周波数変換のための高安定な高周波ローカル信号が要求されている。ALMA の LO 応用や測定器応用としてのシンセサイザは、高周波数分解能で所望の周波数信号を発生する能力を持たねばならない。高周波電気信号は、2つのコヒーレントな光信号の差としてフォトミキサで光・電気変換をすることにより発生することができる。近年フォトミキサの周波数帯域はテラヘルツ領域に達し、入手も容易になってきた。フォトニック技術を用い、コヒーレントな2光波信号の差として低周波数からテラヘルツ領域までの所望の周波数を高周波数分解能で発生する光シンセサイザの開発を行った。

本研究開発の一部は、総務省 SCOPE(受付番号 165003010) 及び科研費 (JP16K13790) の委託を受けたものです。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132a 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：V. ASTE への FMLO システムの搭載・試験観測

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, (国立天文台), 堀込治 (富士通/ゼロ), 酒井剛 (電通大)

我々は、ヘテロダイン受信機の局部発振器 (LO) の出力を周波数変調 (FM) することで単一鏡分光観測の感度を向上させる、新しいミリ波サブミリ波分光法 “FMLO” を開発している。本手法では従来のポジションスイッチ、周波数スイッチ観測におけるオフ点 (参照スペクトル) の取得が不要なため、観測効率の大幅な改善による感度の向上が可能である。これは、分光計出力を高周波成分 (10 Hz) で取得しつつ LO 出力を周波数変調させることで時間空間上で天体信号を高周波成分に変調し、低周波成分が卓越した $1/f$ 状の相関雑音を信号処理で分離することで実現する。また、ベースラインのうねりの低減、サイドバンド分離も同時に達成されるため、線幅の広い系外銀河の輝線探索やオフ点観測が難しい銀河面サーベイなどに絶大な威力が発揮されることが期待される。

本講演では、2016 年度に行われた FMLO 制御システムの ASTE への搭載、試験観測、および解析パイプラインの開発について紹介する。試験観測では、制御システムによる周波数変調-分光計出力間の時刻同期を 1 ms の精度で達成し、分光計チャンネル間での意図しない天体信号の漏れ込みが無視できるほど小さいことを確認した。これにより、制御システム搭載後のファーストライトを達成した。また、解析パイプラインの開発では、周波数変調された時系列データの性質を積極的に利用することで、単一鏡分光観測の観測方程式を直接解いてゲイン推定を行う新しい強度較正手法を考案した。これにより、従来の相関雑音の反復推定 (谷口他, 2015 年春季年会, V130a) だけでは実現されなかった、天体信号強度の “正しい” 較正が可能になった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133a DESHIMA : 超伝導オンチップ・フィルターバンクを用いたサブミリ波超広帯域分光器の研究開発

遠藤光, 唐津謙一, David Thoen, Nuri van Marrewijk, Ozan Yurduseven, Sjoerd Bosma, Nuria Llombart (TU Delft), Vignesh Murugesan, Juan Bueno, Stephen Yates, Jochem Baselmans (SRON), Paul van der Werf (Leiden University), 成瀬雅人 (埼玉大学), 富田望, 谷口暁星, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大学), 石井峻, 前川 淳, 竹腰達哉, 川邊良平, 大島泰 (国立天文台)

DESHIMA (Deep Spectroscopic High-redshift Mapper) は、分光機能と検出機能を1つのチップ上に集積する超伝導フィルターバンクを用いた初のミリ波サブミリ波分光器である。最終的には、240-720 GHz (1.5 オクターブ) の同時観測帯域を、周波数分解能 $F/\Delta F = 500$ でカバーし、かつ3-7画素を備えることで、この周波数帯の従来のヘテロダイン分光器とは桁違いの広帯域性をもった複画素分光器を実現する計画である。検出器には、NbTiN/Alハイブリッド型の運動インダクタンス検出器 (KIDs) を採用しており、最大4000個の検出器を、他の外部バイアス無しに、同軸ケーブル1組だけで駆動し、応答を読み出すことができる。DESHIMA を使えば、例えば $z = 1.6 - 6.9$ の間にある銀河の [CII] 輝線を検出してサブミリ銀河の赤方偏移を効率よく同定し、宇宙星形成史のダストに埋もれた成分を明らかにするなど、そのユニークな広帯域特性を活かした新しい発見空間が展開される。現在は、326-368 GHz 帯をカバーする試作チップを用いて実験室でシステム全体の性能評価を進めている。順調にいけば、2017年後半にASTE望遠鏡に試験搭載して、超伝導フィルターバンク技術の初めての on-sky 実証を行う計画である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V134a ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(12) プロジェクト進捗

大島泰, 竹腰達哉, 大田原一成, 泉奈都子, 石井峻, 荒井均, 廣田晶彦, 南谷哲宏, 岩下浩幸, 前川淳, 上水と典, 伊藤哲也, 藤井泰範, 斎藤智樹, 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 谷口暁星, 梅畑豪紀, Minju Lee, 山口裕貴, 安藤亮, 石田剛, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大), 瀧崎智佳 (上越教育大), 小麥真也 (工学院大), ほか TES ボロメータカメラ科学評価チーム

ミリ波サブミリ波帯の連続波観測は、銀河系内から初期宇宙までの多種多様な天体を効率よく検出し、その物理量を推定するうえで、重要な観測手法である。我々は、チリ・アタカマ砂漠に設置されているサブミリ波望遠鏡 ASTE での超広帯域連続波の科学観測の実現を目指し、超伝導遷移端センサー (TES) ボロメータアレイを用いた、270 と 350 GHz 帯の 2 帯域が同時観測可能なサブミリ波帯連続波カメラの開発を推進している。

本講演では、2016 年 4-7 月に行われた科学観測に向けたコミショニングで取得されたデータの最新の解析状況について報告する。我々はデータ解析手法の改良を進め、マッピングスピードは 350GHz 帯で $\sim 3 \text{ arcmin}^2 \text{ mJy}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ を達成し、科学観測に十分な性能が出ていることを確認した。これまでに光学系は、回折限界のビームサイズを達成するなど設計通りの性能が得られた (竹腰他)。また、多温度キャリブレーションを用いた強度較正に向けた準備と (大田原他)、コミショニングで取得された星形成領域や銀河中心領域データの解析を進めている (泉他)。我々は、本格的な科学観測に向けた改良として、十分な性能が出ていない 270 GHz 帯素子の改良と、読み出しの歩留まり向上のための開発を推進している。また、150-700 GHz 帯の大気の窓をカバーする、多色 TES による 6 色化の実現に向けた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](#)

V135a ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(13) 光学系の評価

竹腰達哉, 大島泰, 大田原一成, 泉奈都子, 石井峻, 荒井均, 廣田晶彦, 南谷哲宏, 岩下浩幸, 前川淳, 上水と典, 伊藤哲也, 藤井泰範, 斎藤智樹, 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 谷口暁星, 梅畑豪紀, Minju Lee, 山口裕貴, 安藤亮, 石田剛, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大), 濤崎智佳 (上越教育大), 小麥真也 (工学院大), ほか TES ボロメータカメラ科学評価チーム

我々は、サブミリ波帯の効率的な広域サーベイ観測を実現するため、ASTE 望遠鏡での本格的な科学運用を目指して、多色連続波カメラの開発を推進している。本カメラの光学系は、ASTE 望遠鏡の受信機室内に設置された修正楕円鏡によって、受信機デュア内に光線を導入したあと、ダイクロイックフィルターで2つの焦点面に分割、集光し、TES ボロメータで検出するものであり、8分角の視野を持ち、波長 1.1 mm 帯で 169 素子、850 μm 帯で 271 素子での観測が可能な光学系を持つ。光学系の評価としては、2014年3-4月のコミッショニングにおいて、Mars を用いてビームマップを取得し、1.1 mm/850 μm 両バンドで、全視野にわたって回折限界を実現する光学系になっていることを確認しているが、Mars は視直径が大きく、またボロメータが入射強度に対して線形性を失うため、ゆがんだビーム形状と高いサイドローレベル ($>-10\text{dB}$) が測定されていた。我々は2016年4-7月に、初期科学観測を含むコミッショニングを実施し、様々な惑星に対するビームマップを取得した。これらのデータを用いて、ポインティングおよび副鏡フォーカスの A_z/E_l 依存性について詳細な評価を行い、設計で要求される精度を実現できることを確認した。また、Uranus ビームマップから得られたビーム形状は、設計通りのビームサイズ (28"/22")、サイドローレベル ($<-13\text{dB}$)、主ビーム能率 (>0.7) が達成されていることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136a ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(14) キャリブレーション

大田原一成, 石井峻, 大島泰, 竹腰達哉, 泉奈都子, 上水和典, 伊藤哲也, 藤井泰範, 荒井均, 廣田晶彦, 南谷哲宏, 岩下浩幸, 前川淳, 斎藤智樹, 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 谷口暁星, 梅畑豪紀, Minju Lee, 山口裕貴, 安藤亮, 石田剛, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大), 瀧崎智佳 (上越教育大), 小麥真也 (工学院大), ほか TES ボロメータカメラ科学評価チーム

我々は、チリ・アタカマ砂漠に設置されている ASTE 望遠鏡での本格的な科学運用を目指して、サブミリ波帯の効率的な広域サーベイ観測を実現する多色連続波カメラの開発を推進している。検出器である TES ボロメータで受信する天体信号の大気減衰を補正し、高精度に強度較正することを目的に、ASTE サイトの典型的な観測条件 (大気の光学的厚み $\tau_{220\text{GHz}} = 0.02\text{--}0.2$) を再現する吸収体の組み合わせにより、8 温度のキャリブレーターをカメラの前置光学系として設置した。我々が 2016 年 4-7 月に実施した初期科学観測を含むコミッショニングでは、惑星ビームマップや科学評価用の天体マップを取得する観測を行い、それらの観測直前に 8 温度キャリブレーターによる測定を行った。まず、このキャリブレーションデータを用いて、健全な応答を示すピクセルの判定と、ボロメータ出力の位相補正を行った。さらに、各ピクセルの入力パワーに対する応答関数を決定し、非線形領域を含む強度の補正を検討し、広いダイナミックレンジを確保した。本講演では、惑星ビームマップについてキャリブレーションを適用したフラックスを評価し、整合性を議論するとともに、その誤差と再現性について報告する。また、科学データに対する様々なキャリブレーションを適用するための測定情報と、それを統計処理した二次情報を、統合、整理したキャリブレーションデータベースの構成について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V137a ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(15) 科学データ解析

泉奈都子, 大島泰, 竹腰達哉, 大田原一成, 石井峻, 荒井均, 廣田晶彦, 南谷哲宏, 岩下浩幸, 前川淳, 上水和典, 伊藤哲也, 藤井泰範, 斎藤智樹, 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 谷口暁星, 梅畑豪紀, Minju Lee, 山口裕貴, 安藤亮, 石田剛, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大), 瀧崎智佳 (上越教育大), 小麥真也 (工学院大), ほか TES ボロメータカメラ科学評価チーム

我々は、サブミリ波 (波長 $850 \mu\text{m} / 1.1 \text{mm}$) 帯連続波の効率的な広域サーベイ観測を実現すべく、チリ・アタカマ砂漠に設置されているサブミリ波望遠鏡 ASTE 搭載用に超伝導遷移端センサー (TES) ボロメータカメラの開発を推進している。2016 年 4-7 月には初期科学観測を含むコミッショニングを実施し、科学評価用として NGC6334I、銀河中心領域、Orion-A などの広がった天体の広域マップを取得した。これらの天体のデータ解析を行うにあたり、ボロメータアレイの解析ソフトウェアである BoA (Bolometer Array Analysis Software) をベースとし、相関ノイズ処理を効果的に行うために独自の改良を加え、サブスキャンに分けた相関ノイズ処理を実装した。併せて周波数フィルタリングやノイズ処理パラメータを最適化するとともに、高速化手法を導入し、ASTE 搭載 TES ボロメータカメラの共同利用に向けた科学観測のデータ解析における標準パイプラインを確立した。また自動処理のため、キャリブレーションデータベースから必要な情報を引き、上記に挙げた天体を実際に本パイプラインで処理した結果、NGC6334I では、特徴的な星形成コアやフィラメントなどの微細構造が確認でき、SCUBA-2 などの観測と整合する天体マップを得た。本講演では NGC6334I に加え、他の天体の解析結果とともに、解析によってどの程度広がった空間成分を回復しているかを定量的に評価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](#)

V138a Developments in CASA 5.0. and Processing Single-Dish data

Erik Muller, Kanako Sugimoto, Takeshi Nakazato, Wataru Kawasaki, Renaud Miel, Masaya Kuniyoshi, Kazufumi Torii, Eiji Akiyama, Patricio Sanhueza, Saigo Kazuya

We present a brief overview of the capabilities of the next major-cycle release of CASA 5.0 (Common Astronomy Software Application), in the context of processing (reducing and analysing) single-dish data obtained from ALMA, Nobeyama 45, and ASTE mm/submm Telescopes, with CASA.

Data obtained from these telescopes can now be transformed into, and processed in the standard Measurement Set format. The basic calibration steps: computing the sky and amplitude calibrations (referencing against blank-sky and system temperature) as well as image-generation, data optimisation and data-product analysis are all simply accomplished with CASA 5.0.

The operations of these CASA tasks are typically driven with default parameter settings obtained either automatically from the input observational data, or the parameters settings explicitly input by the user. Data optimisation, such as removal of spectral baselines (i.e. non-astronomical contamination of spectral information) with a range of functions (spline, polynomial, chebyshev, sinusoid), or fitting emission profiles with multiple Gaussian/Lorentzian components can be accomplished either fully or partially automatically.

We will also briefly outline the intended future trajectories for CASA, the new and developing improvements to CASA help documentation, and highlight the significance of input and guidance from user-base, in the ongoing development of CASA Single-Dish.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V139a 宇宙マイクロ波背景放射観測実験 POLARBEAR-2 開発の状況

金子大輔 (東京大学), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 濱田崇穂 (東北大), 服部香里 (産総研) 他 POLARBEAR-2 collaboration

POLARBEAR-2 実験は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光を探索することで宇宙の起源に迫る偏光観測実験であり、米国をはじめ 8 カ国の研究機関が参加する国際協力プロジェクトである。その前段階の POLARBEAR 実験はチリのアタカマ高地で 2012 年に観測を開始し、重力レンズ起源の B モード検出に成功した。POLARBEAR-2 では観測周波数帯 (95GHz) を追加、検出素子である TES ボロメータの個数を約 6 倍に増加させることで受信器自体の性能を向上させ、さらに望遠鏡数も増加することでさらなる高感度化を行い、未発見の原始重力波起源 B モードの発見を目指す。

本実験で用いる受信器の 1 台目は、現在日本の高エネルギー加速器研究機構にて準備が進められており、ミリ波光学系、TES ボロメータ、読み出し回路等の重要な要素の最終版が揃いつつある。受信機システムとしての性能評価試験が実施されており、間もなく計画されている観測サイトへの搬送に向けて開発の最終段階にあるといえる。

本講演では開発の各項目の現状と性能評価試験の結果について報告される。加えて、性能評価試験を実施する専用の装置器具も新たに準備されているため、報告を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレシーバーシステムの光学試験

濱田崇穂 (東北大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), Frederick Matsuda (UC Sandiego), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2(PB-2) 実験は、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の偏光の精密観測により、インフレーション理論の予言する原始重力波や宇宙の大規模構造による重力レンズ効果が刻んだ B モード偏光の検出を目指す。

PB-2 は検出器に 7588 個もの超伝導転移端 (Transition Edge Sensor, TES) ボロメータを採用し、高い統計感度を得る。また、95GHz と 150GHz の 2 帯域同時観測により、前景放射の除去を行う。

PB-2 のレシーバーシステムが現在高エネルギー加速器研究機構で開発中であり、冷却試験、読み出し試験、光学試験を継続的に行っている。発表者は、平面走査法やナイフエッジ法によるビームの形状の測定や、フーリエ分光器による周波数特性の評価等の光学試験を行っている。

本講演では、PB-2 レシーバーシステムの光学試験の進捗について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 における焦点面温度制御試験

田邊大樹 (総研大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), 濱田崇穂 (東北大), 南雄人 (KEK 素核研), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 は、宇宙マイクロ波背景放射の偏光パターンを精密に測定することによりインフレーション理論を検証することを主な目的とした地上観測実験である。2012 年より南米チリのアタカマ高地にて観測を続けている POLARBEAR 実験のアップグレードとして、2017 年より観測を開始する予定である。

POLARBEAR では検出器として 1,274 個の超伝導 TES ボロメータを搭載しているのに対し、POLARBEAR-2 ではその約 6 倍の 7,588 個の TES ボロメータを使用する。これら多数の検出器の応答性を一定に維持し、かつ検出器間の混信を抑制して POLARBEAR-2 が要求する観測精度を観たすために、TES 検出器を搭載する焦点面の温度ゆらぎは $14\mu\text{K}\cdot\sqrt{s}$ 以下に保たれている必要がある。発表者は、PID コントローラを用いたフィードバック制御によって焦点面の温度を安定化する試験を行った。本発表では、上記の試験結果、ならびに焦点面の温度安定性が検出ノイズに与える影響について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [E会場]

V201a	13:30	可視偏光サーベイ計画 SGMAP: かなた望遠鏡での実施検討 川端弘治(広島大学)
V202a	13:42	明野 50cm 可視光望遠鏡の 2016 年度運用実績 伊藤亮介(東京工業大学)
V203a	13:54	X 線フレアの可視光追観測システムの構築 河合広樹(中央大学)
V204b	14:06	HONIR 用新検出器読み出しシステムのノイズ改善に向けた研究 森裕樹(広島大学)
V205b	14:06	太陽観測専用小型分光器の製作 田邊実佳(茨城大学)
V206b	14:06	鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡に搭載する近赤外線 3 バンド同時撮像装置の開発 西森健文(鹿児島大学)
V207a	14:18	近赤外高分散分光器 WINERED:NTT 搭載時における総合性能の評価 大坪翔悟(京都産業大学)
V208a	14:30	地上中間赤外線スロースキャン観測の提案 大澤亮(東京大学)
V209b	14:42	HSC データ解析パイプライン: ゴーストと人工衛星痕のマスク機構開発 古澤久徳(国立天文台)
V210b	14:42	HSC 戦略枠観測データの世界公開(パブリックリリース) 山田善彦(国立天文台)
V211b	14:42	HSC 画像からの自動ゴースト除去(II) 小宮山裕(国立天文台)
V212a	14:54	すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学用波面センサーユニットの開発 渡邊達朗(東北大学)
V213b	15:06	惑星用補償光学系の開発の進捗状況(2) 渡辺誠(岡山理科大学)
V214c		多天体補償光学に向けた開ループ制御補償光学系での波面補償の性能評価 鈴木元気(東北大学)
V215b	15:06	埼玉大学望遠鏡・装置制御系”SaCRA システム”による自動観測・解析化の試み 柴田吉輝(埼玉大学)
V216b	15:06	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 実機の開発 - 要素試験と詳細設計 酒向重行(東京大学)
V217a	15:18	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の即時データ解析とデータ管理 一木真(東京大学)

3月17日(金)午前(09:30-11:30) [E会場]

V218a	09:30	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的進捗状況 郷田直輝(国立天文台)
V219b	09:42	JASMINE における星像高精度位置決定の実証 矢野太平(国立天文台)
V220b	09:42	小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数 2 鹿島伸悟(自然科学研究機構/国立天文台)
V221b	09:42	小型 JASMINE 衛星の検出器ボックス開発 上田暁俊(国立天文台)
V222a	09:54	Nano-JASMINE と小型 JASMINE のデータ解析の準備状況 山田良透(京都大学)
V223c		Nano-JASMINE: 現状と FDCCD のアルファ線照射実験 小林行泰(国立天文台)
V224a	10:06	「あかり」近赤外線グリズム分光観測における二次光影響の補正: 液体ヘリウム枯渇後(2) 馬場俊介(宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V225a	10:18	SPICA(次世代赤外線天文衛星)計画の推進と冷却系 芝井広(大阪大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V226a	10:30	宇宙赤外線背景放射観測のロケット実験 CIBER-2: 望遠鏡の環境試験 高橋葵 (総合研究大学院大学/関西学院大学)
V227b	10:42	Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope 左近樹 (東京大学)
V228b	10:42	火星衛星サンプルリターン計画 Martian Moons eXploration 尾崎正伸 (宇宙航空研究開発機構)
V229c		ロケット実験 CIBER-2: 望遠鏡の環境試験の詳細報告 児島智哉 (関西学院大学)
V230b	10:42	JVO ポータル開発の進捗 白崎裕治 (国立天文台)
V231a	10:54	地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器: 12 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総研大)
V232a	11:06	赤外線視線速度測定装置 IRD の性能検証: 検出器と視線速度安定性の評価 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
V233a	11:18	近赤外ドップラー装置の偏光特性と偏波解消器の開発 小久保宰 (東京農工大学)
3月17日(金)午後(13:30-15:30) [E会場]		
V234a	13:30	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告 高橋弘毅 (長岡技術科学大学)
V235a	13:42	TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史 (国立天文台)
V236a	13:54	TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の詳細設計 II 杉本正宏 (国立天文台)
V237a	14:06	TMT 計画 - 主鏡フルサイズセグメントの量産 山下卓也 (国立天文台)
V238a	14:18	TMT 第一期観測装置 IRIS 撮像系の開発: 進捗とレビュー報告 鈴木竜二 (国立天文台)
V239a	14:30	3点法とロボットアームによる自由曲面計測システムの開発 栗田光樹夫 (京都大学)
V240a	14:42	大型自由曲面素子の表面計測を可能にする小型干渉計 今西萌仁加 (京都大学)
V241a	14:54	球面主鏡・副鏡をもつアプラナティックな望遠鏡 木野 勝 (京都大学)
V242a	15:06	汎用2次元検出器データ取得システム MESSIA6 と共同購入 中屋秀彦 (国立天文台)
V243b	15:18	遠赤外線イメージセンサーに向けた極低温動作 32x32CTIA マルチプレクサの設計 馬場俊介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V244b	15:18	赤外線光学材料の低温減光係数測定のための高精度 FTIR システムの開発と初期測定結果 加地紗由美 (京都産業大学)
V245b	15:18	西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用 伊藤洋一 (兵庫県立大学)
3月18日(土)午前(09:30-10:30) [E会場]		
V246a	09:30	東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡プロジェクトの進捗状況 吉井讓 (東京大学)
V247a	09:42	近赤外線2色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の検出器駆動システムの開発と評価 寺尾恭範 (東京大学)
V248a	09:54	中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発状況と試験観測計画 内山允史 (東京大学)
V249a	10:06	中間赤外線観測装置 MIMIZUKU 用 5 μ m-cutoff HAWAII-1RG 検出器の駆動試験 山口淳平 (東京大学)
V250a	10:18	次世代中間赤外線装置における低温チョッピング実現に向けた超伝導リニアモーターの開発 毛利清 (東京大学)

V201a 可視偏光サーベイ計画 SGMAP: かなた望遠鏡での実施検討

川端弘治, 吉田道利, 植村誠, 田中康之, 秋田谷洋, 内海洋輔 (広島大), ほか SGMAP 協力グループ

SGMAP(Search for Galactic Magnetic-field by All-sky Polarimetric survey) 計画は、広島大学宇宙科学センターが次期プロジェクトとして推進している可視偏光サーベイ計画である(川端ほか、2013年度春季年会)。この計画では、世界初となる北天の偏光サーベイを可視域の複数のバンドにて行い、4年余りの観測期間で数百万星に及ぶ高精度で均質な偏光データを生産し、銀河磁場の詳細構造を初め、星間ダストやブレーザー(活動銀河核)等の統計的ないし多波長・多モード連携に基づく研究を推し進めるほか、遠方天体やマイクロ波背景輻射の偏光観測における前景偏光の補正等、広く天文学に寄与することを目標としている。

以前の計画では、2mMAGNUM望遠鏡(東京大)の利用を予定していたが、別目的で再利用されることになったことから、広島大学が運用している1.5mかなた望遠鏡(旧赤外シミュレータ)を利用する想定で、直径50分角という広い視野に亘り、 $\Delta p \simeq 0.1\%$ という高精度の偏光測定を2つのバンドで同時に行う光学系の設計と、その実現性の検討を進めてきた。その結果、かなた望遠鏡のカセグレン焦点において、現状の主鏡と副鏡に手を入れることなく、球面レンズ群(最大 262ϕ)と、有効径 $150\text{mm}\phi$ の半波長板(許容入射角 10°)、 $110\text{mm}\phi$ のビームスプリッタ2ケを用いて、80% encircled energy 直径が $1.4''$ を達成する光学系を実現できることが判った。検出器は 15μ ピッチの4k4k CCDを想定している。しかしながら、視野 $38'$ より外側では主鏡穴による遮蔽が発生し(視野端において20%の遮蔽)、非軸対称となることで、補正可能なレベルの器械偏光が発生すると考えられる。大型・広帯域・広許容入射角を備えた半波長板とビームスプリッタの実現性の目はほぼ立っている。講演ではこれらの検討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](#)

V202a 明野 50cm 可視光望遠鏡の 2016 年度運用実績

伊藤 亮介, 斉藤 嘉彦, 橘 優太郎, 吉井 健敏, 小野 雄貴, 藤原 太智, 針田 聖平, 森田 浩太郎, 税所 航太, 村木雄太郎, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東京工業大学), 黒田大介, 花山 秀和, 柳澤 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。ガンマ線バースト発生後、最短 1 分以内という短時間で即座にフォローアップ観測を実施するため、観測システムはほぼ自動化されており、またこれら観測は東京工業大学の大岡山キャンパスからリモートで監視されている。これにより、年間 30-40 件程度のガンマ線バーストの観測を実施しており、本年度は 2016 年 11 月現在で 2 件のガンマ線バーストに対して世界最速で詳細位置の報告に成功している (GCN 19652; Tachibata et al. 2016, GCN 20036; Morita et al. 2016)。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。また本年度からは、天体重力波イベントに対する可視光フォローアップ観測へ参加すべく、世界規模での観測体制構築を準備してきた。ガンマ線バーストや重力波天体など、位置が定まりにくい天体现象に対し、いち早い可視対応天体を探査するための自動測光パイプラインによる変動天体探査や、画像差し引きと深層学習を応用した天体探査の環境も構築しつつある。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の結果や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](#)

V203a X線フレアの可視光追観測システムの構築

河合広樹, 坪井陽子, 山田宗次郎 (中央大学), 飯塚亮, 菅原泰晴 (JAXA/ISAS)

我々は、中央大学後楽園キャンパスにある 26 cm 口径の望遠鏡 (CAT:Chuo-university Astronomical Telescope) で U,B,V,R,I,H α フィルターを用いて可視光測光観測を行っている。視野角は 51×34 分角程度であり、限界等級は V バンドで約 14 等級 (露光時間 120 sec、S/N = 10) である (2014 年度秋季天文学会 坪井 他)。CAT の運用は、ACP という制御ソフトを用いての自動観測システムが完成している (2016 年度秋季天文学会 山田 他)。ここでいう自動観測システムとは、事前にプラン (どの天体のどのバンドを何枚ずつ撮るか) を設定しておけば、夜になると CAT のそばにいても観測が行えることを意味する。

現在我々は、この自動観測システムを利用して恒星フレアの追観測システムを構築している。フレアの追観測は、減衰時間が長い程同時に観測できる可能性が高まるので、全天 X 線監視装置 MAXI に注目した。MAXI で検出されるフレアは星の最大規模の大きさのものばかりで、その継続時間は 1 時間から 1.5 日であると報告されている (Tsuboi et al. 2016) からである。

追観測システムは、MAXI の観測データからフレアを自動検出する Nova-Alert System (Negoro et al. 2016) を利用した。Nova-Alert System は、X 線の急激な増光を検出すると自動でアラートメールを送信する。我々が目指す追観測システムは、このメールをトリガーにして、CAT で自動観測を行うというものである。このシステムでは、その現在日時に CAT で観測が可能か、また天候状態は良好かといった観測条件の判断や、露光時間や撮像枚数といった観測設定の算出も、自動で行うことができる。

この追観測により、MAXI による X 線と CAT による可視光の同時多波長観測が可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V204b HONIR 用新検出器読み出しシステムのノイズ改善に向けた研究

森裕樹 (広島大学)、宇井崇紘、川端弘治、秋田谷洋、吉田道利、深沢泰司 (広島大学)、酒向重行 (東京大学)、伊藤亮介 (東京工業大学)

我々は、広島大学 1.5m かなた望遠鏡の主力観測装置である可視赤外線同時カメラ HONIR の近赤外線検出器 VIRGO-2K の新読み出しシステムの開発を進めている。本システムは VIRGO の 16ch による 1.2 秒高速読み出し (現在は 4ch, 5 秒読み出し) を実現するような設計になっており、(i) バイアス電圧の変化に伴うと考えられる解決済みの低周波ノイズ ($100-150e^-$)(ii) 許容範囲内の高周波ノイズ ($\sim 30e^-$)(iii) VIRGO のホットピクセルに付随したバッドコラム 以上の 3 種類のノイズ成分が存在しており、現在はバッドコラムの解決が課題となっている。バッドコラムとは、差分後の画像において各チャンネルの各列の初まりの数ピクセルで周囲のピクセルよりもカウントが低くなる現象をそう呼んでいるものである。この現象が起きているコラムは全体 (約 2000 列) の約 5% ほどで、ほぼ固定したパターンを持ち、個々に程度の差がある。コラムによって影響の度合いが異なっている。この原因であるが、差分前の画像で、一定以上のカウントを持つホットピクセルが存在するコラムにおいて、全チャンネルにわたり、周囲よりも 2000ADU ほど高いカウントを持っており、列の始まりの数ピクセルではカウントが低い暗線となって現れることが判った。列の始まりの数ピクセルのみカウントが不安定になる原因としては、検出器内部の電流供給バスラインが弱いため、読み出し列の移り変わりの際に電流の供給がクロックの速度に付いていけず、初めの数ピクセルのみ不安定になることが考えられる。これは、クロックを遅くすることで全てのバッドコラムの長さが短くなるという実験結果からも裏付けされている。本講演ではバッドコラムの性質とその対策について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b 太陽観測専用小型分光器の製作

田邊実佳, 野澤恵 (茨城大学), 花岡庸一郎, 篠田一也 (国立天文台), 坂江隆志 (埼玉県立浦和西高等学校), 仲谷善一 (京都大学), 竹内彰継 (国立米子工業高等専門学校), 福嶋美津広 (国立天文台先端技術センター)

太陽で発生する現象の時間スケールは、フレアのような10分から数時間程度の短時間のものから黒点数の11年周期のような長期にわたるものまで幅広い。太陽の定常観測は非常に重要である。現在の茨城大学太陽研究室の取り組みとして太陽観測システムの構築があり、その中で多波長での分光を行う太陽観測専用分光器を製作し、その定常観測を目指している。定常的な分光観測によりフレアやフィラメント噴出といった突発的な現象を多波長で捉え、その三次元的な速度構造を明らかにすることを目的として、太陽専用分光器の開発を行っている。これまでに市販品を組み合わせた自作の分光器を開発したが、様々な問題点により定常観測に至っていなかった。

新たに開発中の分光器は先行研究を踏襲し、軽量化しやすいリトロ型を採用している。望遠鏡および分光器に組み込む各光学部品については市販品を購入し、分光器部分の製作を国立天文台先端技術センターに依頼した。大きさは120 cm × 12 cm × 12 cm、重量は11 kgであり、可搬で市販の小型赤道儀に搭載して観測が可能である。使用している回折格子は可視光全体に感度があり、回折格子の角度を手動で回転させることで観測波長を変えることができる。この分光器はプロトタイプの段階であり改良が必要な部分も多いが、波長分解能の理論値は $R = 54000$ と $H\alpha(6562.8 \text{ \AA})$ で 0.12 \AA であり、フィラメントの三次元的な速度構造だけでなく、温度分布や周縁減光の波長依存性などが観測可能と考えている。装置は既に組上げを終了し、室内実験による性能評価に加え、実際に太陽光を導入しての試験観測も実施している。今回はこれらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206b 鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡に搭載する近赤外線 3 バンド同時撮像装置の開発

西森健文, 内野亮太, 出崎一成, 永山貴宏, 面高俊宏 (鹿児島大学)

我々は、鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡 (以下 1m 望遠鏡) に搭載する近赤外線 3 バンド同時撮像装置 (以下新赤外線カメラ) の開発を行っている。新赤外線カメラはダイクロイックミラーを用いて、光束を 3 つに分けることで、近赤外線の波長帯である J($1.2\mu\text{m}$), H($1.6\mu\text{m}$), K($2.2\mu\text{m}$) の 3 バンドを同時撮像することができる。新赤外線カメラの光学系は F 変換レンズと offner 式リレー光学系で構成されており、これらを用いることで、 $10.7' \times 10.7'$ の視野を確保することができる。視野の各場所で、1m 望遠鏡の典型的なシーイングサイズ $2''$ に対して、85% 以上の Encircled Energy を実現できる設計となっている

新赤外線カメラは、現在の赤外線カメラがフィルターを回転させて J, H, K 3 バンドを観測しているのに対し、3 バンド同時で観測できるため、観測時間が $1/3$ になり、より多くの天体の J, H, K 3 バンドのデータを取得できると考えられる。また、3 バンド同時撮像をすることで、短時間で変光するような天体の色変化を観測することも可能になる。

現在、必要な光学部品は揃っている。光学部品、検出器を収める真空冷却容器も完成しており、装置内部の冷却実験を行った結果、装置内部を 80K、検出器プレートを 70K まで冷却できることを確認した。また、光学調整に使用する InGaAs 検出器の動作試験も並行して行っている。実験室での光学調整後、2017 年 1 月に 1m 望遠鏡に新赤外線カメラを取り付け、InGaAs 検出器を用いて、試験観測を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207a 近赤外高分散分光器 WINERED:NTT 搭載時における総合性能の評価

大坪翔悟, 近藤荘平 (1), 池田優二 (1,2), 小林尚人 (3), 渡瀬彩華, 福江慧, 新井彰 (1), 吉川智裕 (4), 濱野哲史, 鮫島寛明, 竹中慶一, 村井太一, 坂本匡子, 河北秀世 (1), Giuseppe Bono(5), 松永典之 (3), WINERED グループ (1:京都産業大学, 2:Photocoding, 3:東京大学, 4:Edechs, 5:University of Roma Tor Vergata)

WINERED は京都産業大学神山天文台 1.3 m 望遠鏡で運用中の近赤外高分散分光器であり、波長 0.91–1.35 μm (z,Y,J-bands) を波長分解能 $R = 28,000$ で一度に覆うことができる広帯域モードと Y, J band のそれぞれを波長分解能 $R = 80,000$ で取得する高分散モードが実装されている。それぞれのモードのスループットは 50 % と 40 % にも達し、可視赤外線領域の高分散分光器としてこれまでにない高感度を実現していることが最大の特徴である。小口径ながらもこの特徴を活かした、恒星物理学や星間物理学の分野を中心とした様々な観測的研究が進められてきた (Hamano et al. 2015, ApJ, 800, 137, Hamano et al. 2016, ApJ, 821, 42 など)。

このたび、より深いターゲットへアクセス可能になるチリの La Silla 天文台にある口径 3.58 m の NTT (= New Technology Telescope) に移設することが決定した。南半球の望遠鏡のため、減光の大きな銀河中心方向や LMC/SMC 内の天体などを観測できるメリットもある。2017 年 1 月のエンジニアリング観測を経て、同年 2 月にサイエンス観測を開始する予定である。本講演では NTT 搭載時における装置パフォーマンス (波長分解能、波長安定性、および限界等級など) の評価結果について報告すると共に、期待されるサイエンステーマ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](#)

V208a 地上中間赤外線スロースキャン観測の提案

大澤亮, 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 岡田一志, 毛利清, 内山允史, 山口淳平 (東京大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 藤吉拓哉 (国立天文台ハワイ観測所)

地上中間赤外線観測では変動する大気放射を除去するため, 慣習的に高速 (> 1 Hz) で視野を切り替えるチョッピング観測が行われてきた. 視野の切り替えには望遠鏡に搭載した可動鏡, あるいは観測装置の冷却光学系内部に搭載した可動鏡を使用する手法が一般的である. しかしながら, 30m 級の大型望遠鏡やその観測装置で使用できる可動鏡の開発は容易ではなく, 次世代大型望遠鏡を用いた地上中間赤外線観測を実施するための技術的なハードルとなっている. 本研究の目標は, チョッピングに依存しない観測手法を確立することで, 次世代望遠鏡での地上中間赤外線観測を低リスクで実現することである.

我々は, チョッピング観測の代替案として, 望遠鏡を低速度 ($\sim 0.1''$) で駆動させながら動的に画像を取得する観測手法 (以下, スロースキャン観測) を提案する. 専用に開発した解析手法を適用することで, 取得した動画データから天体からのシグナルを選択的に抽出することが可能である. スロースキャン観測は望遠鏡の一般的な駆動性能で十分実行可能であり, 次世代の大型望遠鏡でも技術的なコストを払わずに地上中間赤外線観測を実行できる. スロースキャン観測のパフォーマンスを測定するため, 我々は 2015 年 7 月にすばる望遠鏡に搭載された中間赤外線観測装置 COMICS によってスロースキャン観測による試験データを取得した. 試験観測の結果から, 少なくとも明るい点源天体については, スロースキャン観測によって従来のチョッピング観測と同等のクオリティでデータを取得できることが示された. 発表では観測手法の概要と試験観測の結果を述べる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209b HSC データ解析パイプライン：ゴーストと人工衛星痕のマスク機構開発

古澤久徳, 川野元聡, 小宮山裕, 八木雅文, 小池美知太郎, 池田浩之, 峯尾聡吾, 田中賢幸, 山田善彦, 林裕輔, 大石普恵, 高田唯史 (国立天文台), ほか HSC 開発サポートチーム

HSC の戦略枠観測 (SSP) チームでは 2017 年 5 月を目標に次回の共同研究者向けデータリリースの準備を進めており、データ解析ソフトウェアの機能追加や性能改善に取り組んでいる。課題の一つとして、光路内反射によるゴーストや人工衛星痕の除去が挙げられる。これら疑似天体は、近傍の天体の検出・測定を阻害するほか、ドロップアウト・輝線天体などと酷似した色を示し、研究の効率を著しく下げるので問題である。

我々は、次期 SSP データリリース用のデータ解析パイプラインにゴースト・人工衛星痕のマスク機構を導入すべく開発を行っている。ゴーストについては、視野内の星による吹流状、視野外の星による口髭状ゴーストの 2 種類への対応を進めている。SDSS-DR9 などの外部参照カタログにより、各積分時の視野内外の明るい天体の場所を得、光学計算に基づいてゴーストが結像する CCD 上の領域を予測する (2016 年秋季年会、本年会別講演)。それら予測領域に含まれる検出ピクセルに専用のマスク値を割り当てる。人工衛星痕については、検出ピクセルに対して画像処理の直線検出で用いられる Hough 変換を施す。変換後の位相空間で強いピークを拾いあげることによって、人工衛星痕と思われる画像領域を決定する。ゴースト同様、その領域に含まれる検出ピクセルに専用のマスク値を割り当てる。

このマスク機構は、十分な試験の後、SSP 用のパイプラインに組込むことを目指しているが、一般共同利用ユーザがリスクシェアで試験の一貫として用いることも出来るようパッケージ化を進めている。本講演ではマスク機構の実装と動作の状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V210b HSC 戦略枠観測データの世界公開 (パブリックリリース)

山田善彦, 田中賢幸, 高田唯史, 古澤久徳, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 池田浩之, 林裕輔, 大石普惠, 宮崎聡, 岩田生 (国立天文台), 他 HSC 戦略枠チーム

国立天文台では、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構など多数の国内研究機関やプリンストン大学及び台湾と共同で、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) の戦略枠観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を 2014 年 3 月より行っている。この SSP では、5 年間で合計約 300 晩を費やすことで、Wide、Deep、Ultra Deep Survey の 3 種類のレイヤーで、それぞれ 1400 平方度、28 平方度、3.5 平方度の多色測光データ (g-, r-, i-, z-, y-, and narrow-band) の取得を行う予定である。

我々 HSC データリリースチームは SSP 共同研究者向けに約半年毎にデータリリースを 5 度おこなってきた。2016 年 8 月におこなった最新の s16a リリースでは、g, r, i, z, y の 5 バンド全てのデータが目的の深さに到達してデータ解析が完了している領域が約 170 平方度を含み、世界最先端の研究成果を上げることのできるデータが揃っている。データリリースは解析済みの画像や天体カタログを含み、研究者ユーザは SQL (Structured Query Language) を用いることで種々の高度な条件で画像・天体情報を検索し研究活動を行うことができる。HSC SSP サーベイデータは、SSP 共同研究者のための一定の占有期間を経た後、全世界に無償で公開されることになっている (パブリックリリース)。2017 年 2 月の第一回目のパブリックリリースは、SSP 共同研究者向けの s15b リリース (2015 年 9 月) のデータセットを元にしており、本公演では、このパブリックリリースの概要について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211b HSC 画像からの自動ゴースト除去 (II)

小宮山裕, 川野元聡, 八木雅文 (国立天文台)

多くの観測装置に見られるように、すばる望遠鏡超広視野 CCD カメラ (Hyper Suprime-Cam; HSC) にも光学系に起因するゴーストが発生することが知られている。2016 年秋季年会では、現実的な光学設計モデルを用いた光線追跡によって彗星状 (くらげ状) に広がったゴーストの起源を特定し、望遠鏡の指向座標とゴースト源となる星の座標からゴーストの出現位置とその大きさを求める手法についての講演を行った。講演の中では、合成前の個別画像についてゴーストがかぶっている領域を自動的に推定し、その領域をマスクすることにより最終合成画像からゴーストを除去するという一連の自動ゴーストマスクの流れを示した。本講演では、この手法を HSC 全画像へ適用するにあたって、フィルター (波長) による違いや長期的安定性などについて考察を行い、本手法の有効性について報告する。

また本講演では、視野周辺部に発生するアーク状 (口ひげ状) ゴーストについても、彗星状ゴーストと同様にゴーストの起源を特定し、自動的にマスクする手法を開発したので、その詳細を発表する。このゴーストは広視野補正光学系の第 3 レンズの周辺にあるレンズ押さえ面を透過する光によって生ずるといふかなり特殊なゴーストであることが特定された。視野中心から 0.8 度以内の星から来る光はこの部分に当たるとはならないが、0.9 度程度の星から来る光はこの部分に当たり、一部が透過して焦点面上にアーク状ゴーストを生ずる。望遠鏡のスパイダーや主焦点部の構造による遮蔽などのためアークの長さなどは単純でないが、彗星状ゴースト除去と同様な手法で最終合成画像からきれいにゴーストを除去することができることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V212a すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学用波面センサーユニットの開発

渡邊達朗（東北大学）、秋山正幸（東北大学）、大屋真（国立天文台）、美農和陽典（国立天文台）

現在、すばる望遠鏡では大気揺らぎを補正する補償光学系としてAO188が用いられている。AO188は1つのレーザーガイド星を波面の参照光源として用いる単層共役補償光学という補償光学系であり、近赤外線での観測に用いられている。これに対し、検討しているレーザートモグラフィー補償光学系(Laser Tomography Adaptive Optics:LTAO)では4つのレーザーガイド星を用いて波面の測定精度を向上させ、近赤外から可視光まで高解像度な観測を行う。一般的に近赤外線より補償が難しいとされる可視光域までの観測には正確な波面の測定が必要であるため、波面測定を行う波面センサーはLTAOにとって重要な要素である。

LTAOではそれぞれの波面センサーから得られた波面から、トモグラフィーの手法を用いて大気ゆらぎを3次的に推定し観測天体方向の波面の推定を行う。各波面センサーでの測定誤差が最終的な補償性能に寄与するため、これを最小限にとどめた波面センサーの光学設計が必要となる。また、レーザーガイド星は高度90km付近にあるナトリウム層を励起させて生成されるが、望遠鏡の向く天頂角に依存してレーザーガイド星の生成される高度が変化する。また、ナトリウム層は数分程度のタイムスケールで高度が変動するため、レーザーガイド星の焦点位置は観測中に変化する。焦点位置の変化によっても補償性能が左右されるため、こういった変化に対応する機械設計も必要となる。当研究ではLTAOの実証化を目的とし、機械的な制御を考慮した波面センサーユニットの光学設計を行った。

本講演では、光学的、機械的に求められる波面センサーの仕様と、それをもとに行った光学設計の現状の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213b 惑星用補償光学系の開発の進捗状況(2)

渡辺誠, 森貞翔太 (岡山理科大学), 大屋真 (国立天文台)

岡山理科大学では、北海道名寄市に設置した北大 1.6 m ピ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 μm にて、0.4 秒角程度の分解能の達成を目標としている。

これまでに、MASS-DIMM を用いた名寄サイトの大気擾乱高度プロファイルの測定 (合田他: 2014 年春季天文学会) を行い、その結果を元に、MCAO 補正性能の計算機シミュレーション (渡辺他: 2015 年春季天文学会) を行ってきた。そして、それらを踏まえ、システムの基本構成を、地表層 (高度 0km) と高度 2.6km にそれぞれ共役する 2 枚の 140 素子 MEMS 型可変形鏡と 4 台の 11×11 素子の Shack-Hartmann 波面センサを用いた MCAO システムとして、光学系と機械系の設計・製作を進めている。主光学系は 8 枚の軸外し放物面鏡と 6 枚の折り返し鏡を用いたリレー光学系とし、有効面 4.4×4.4mm の可変形鏡の上に瞳像ないしメタ瞳像、および 30mm 径のティップティルト鏡の上に瞳像を結像させる設計とした。また、主光学系から観測装置 (可視光マルチスペクトル撮像装置) へ光を入射させる手前にてハーフミラーを用いて光を分け、約半分の光を波面測定に利用する。波面センサ側に分けられた光路の焦点面にはピラミッド型の 4 面鏡を配置することで視野を 4 分割し、分割された各視野に波面センサを 1 台ずつ配置する。波面センサは、木星などの惑星表面模様を用いた相関追跡法による波面測定を行い易くするために約 16×16 秒角の幾分広い視野を持つ設計とした。さらに、自動ステージにて、各分割視野内 (30×30 秒角) から波面測定に適した惑星表面模様像を波面センサ視野内に導入できる設計としている。

本講演では光学系と機械系の設計と製作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](#)

V214c 多天体補償光学に向けた開ループ制御補償光学系での波面補償の性能評価

鈴木元気（東北大学）、秋山正幸（東北大学）、大屋真（国立天文台）

TMT(Thirty Meter Telescope)の第二期観測装置として、多天体補償光学(Multi Object Adaptive Optics:MOAO)が検討されている。MOAOでは、複数のレーザーガイド星からの光を複数の波面センサにより測定、トモグラフィの手法を用いて観測天体の方向の波面の推定を行う。望遠鏡の焦点面でPick-Off機構により観測天体の光を個別の補償光学系へ導き、天体ごとに各可変形鏡で波面補償を行う。波面測定方向と補償する観測天体の方向が異なることから、MOAOでは開ループ制御での波面補償が不可欠である。

MOAOの実証機として、William Herschel望遠鏡のCANARYとすばる望遠鏡のRAVENがあり、On-SkyでのMOAO実証実験を行った。実証機での補償性能は、従来の単共役層補償光学(SCAO)と広視野補償光学の一つである地表層補償光学(GLAO)の間にMOAOの性能が位置することがわかった。補正誤差の要因として、トモグラフィ推定法による誤差と、開ループ制御による誤差が大きく影響していると考えられているが、MOAO実証機ではこの2つの誤差が縮退しており区別することができない。当研究では、開ループ制御に伴う誤差成分を特定し、それを最小化するシステム設計を行うために、東北大学の51cm望遠鏡への搭載を目的とした開ループ試験用補償光学装置を開発を行い、この補償光学装置を用いて大気ゆらぎを再現できる、シミュレーション光学系での実験および実際の天体を用いた観測により、開/開ループ制御での波面補償の精度について比較実験を行った。

本講演では、開ループ制御試験用の小型補償光学系の開発と、開ループ制御のためのキャリブレーション法の開発、そして開ループ/閉ループ制御での波面補償精度の比較実験の結果を紹介し、開ループ制御での波面補償の誤差要因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](#)

V215b 埼玉大学望遠鏡・装置制御系“SaCRAシステム”による自動観測・解析化の試み

柴田吉輝, 大朝由美子, 清水孝志, 清野玄太, 中村一貴, 宮川遼太, (埼玉大学), 潮田和俊 (住田光学ガラス/埼玉大学), 木野勝 (京都大学), 川野元聡, 前原裕之 (国立天文台), 斉藤嘉彦 (東京工業大学)

埼玉大学では, 55cm “SaCRA 望遠鏡” および 36cm 望遠鏡と可視三波長同時偏光撮像装置“ MuSaSHI ”, 可視中分散分光器を制御する埼玉大学望遠鏡・観測装置制御系“ SaCRA システム ”の構築が概ね完了し, 55/36cm 望遠鏡による系外惑星のトランジット同時観測に成功した。

現在は, 各制御システムの更新, 改良を進めている。“ SaCRA 望遠鏡 ”では, 完全遠隔観測のため, ドームスリット改修や観測スクリプトによる望遠鏡制御プログラムの更新を行った。また観測装置と組み合わせた導入精度解析や追尾性能評価などの望遠鏡性能評価を行い, 一部で改善が見られた。36cm 望遠鏡では, 観測装置のコマンド制御化, 検出器・架台の性能評価を実施し, 探査観測を行うための体制を整えた。さらに, 自動探査観測には, 天候判断が重要となる。そのため, 気象観測システムに照度計 (Sky Quality Meter) を導入し, これによる天候判断の可能性を検討した。特に, 月や街灯りによる背景光増加の影響を除くため, 月齢や時間ごとの比較データを差し引くことで, 空成分のみの明るさを求め, その結果晴天・曇天時の値に差が見られた。また本システムの全天カメラデータに, 赤経・赤緯軸を貼り, 局所的な曇り判断を試みた。

さらに, “SaCRA 望遠鏡” と “MuSaSHI” による $H\alpha$ 輝線天体の $H\alpha$ 測光観測や, 分光器および 36cm 望遠鏡と撮像装置によるトランジット現象の同時観測を行い, 後者では, 光度曲線と分光データの同時取得が可能となった。今後は, (1) 36cm 望遠鏡による自動探査観測とそれによる突発天体の “SaCRA 望遠鏡” による追観測の実施, (2) 制作中の “MuSaSHI” 偏光部による直線偏光観測等を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216b 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 実機の開発 - 要素試験と詳細設計

酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 一木真, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小久保充, 満田和真, 谷口由貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森 由貴, 三戸洋之, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和, 谷川衝 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘, (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所)

Tomo-e Gozen は 20 平方度の空を覆う計 84 台の CMOS センサを搭載した広視野高速カメラである。2015 年 11 月にセンサを 8 台搭載した Tomo-e 試験機が完成し, 木曾シュミット望遠鏡にて広視野高速観測の試験が実施された。この観測により, Tomo-e 実機が目標とする性能を達成する見通しが得られたと同時に, その実現に向けての技術的課題が明確となった。これを受け, 我々は各課題に関する要素技術の見直しと改良を実施した。転送エラーが発生したデータ通信系はアナログ通信から光通信に改修を行った。センサが 84 台に増加することによる筐体内の温度上昇に関しては, 熱試験機を新たに製作して, 高い自然空冷効率を実現する筐体構造を実験的に導出することで対応した。また, 筐体の厚みを試験機の約半分に縮小し, かつ一体加工することで重量の削減と放熱効率の向上を実現した。Tomo-e 実機は開発・運用のリスク分散と望遠鏡への搭載の簡易化を考慮して, 同じ設計からなる 4 機のカメラに分割する。これら 4 機のカメラを高精度かつ容易に焦点部へ設置するため, シリンダ形の固定部を採用した。本講演では各要素試験を通して決定された Tomo-e 実機の詳細設計と組み上げ試験の進捗も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の即時データ解析とデータ管理

一木真, 酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小久保充, 満田和真, 谷口由貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森由貴, 三戸洋之, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和, 谷川衝 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘 (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所)

東京大学木曾観測所を中心に開発を進めている超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen は, 広い視野 (20 平方度) と高い時間分解能 (2 フレーム毎秒) によって動的宇宙を探索するカメラである. データ生成量は最大 30TB/夜に達するため, 全ての生データを長期に保存することはできない. そこで, データ取得時にリアルタイムの解析により (i) 全天体の光度曲線データ (最大約 10 万天体), (ii) 検出した短時間変動天体用 FITS 動画 (約 10arcsec 四方の領域 \times 8000 天体分のみを残した動画), (iii) 高速移動天体用 FITS 画像 (移動天体の検出したフレーム, 約 4 万ファイル/夜), (iv) 時間圧縮 FITS 画像 (一定時間分の複数フレームを足し合わせたもの) を抽出し, これらのみを長期的に保存, 他は 3 観測日以内に削除する方針とした. また, (ii) のデータ抽出には光度変動の検出生データを削除する前に行う必要があるため, リアルタイムで変動を検出するためのプログラムを新たに作成した.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的進捗状況

郷田直輝, 小林行泰, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 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), 吉岡 諭 (東京海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大), 梅村雅之 (筑波大), 西 亮一 (新潟大), 浅田秀樹 (弘前大), 長島雅裕 (長崎大), 石村康生 (宇宙研/JAXA), 中須賀真一, 酒匂信匡 (東大工), ほか JASMINE ワーキンググループ同

超小型衛星の Nano-JASMINE は、Gaia では星像中心の位置決定が困難となる明るい星に対しての測定を行えること等で Gaia チームからの期待も大きい。2010 年に完成している打ち上げ実機 (FM) の維持管理および地上通信局や Gaia チームとの共同でのデータ解析の準備が引き続き進んでいる。また、ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) による打ち上げに向けて引き続き、交渉、調整が続けられている。一方、小型 JASMINE は、星の運動 (動力学) を用いて、銀河系中心の巨大ブラックホールがブラックホールの合体によって成長したかどうかを 99.7 % 以上の高信頼度で判定を行うことやさらに中心核バルジの重力場を高信頼度で制限することを主目的とする。そのため、年周視差を 20μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 50μ 秒角/年以内) で、中心核バルジ領域を測定するが、銀河系中心での星団形成、X 線共生星、重力レンズ効果等の解析や、その他興味ある特定天体 (CygX-1、ガンマ線連星や系外惑星、褐色矮星等) に対しても公募により位置天文観測を行う。JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへ応募したが、評価委員会から提示された課題の解決を目指して、データ解析方法等の妥当性、精度達成の実現性に対する実証を Gaia のデータ解析メンバー等の協力を得ながら進めている。さらに、衛星システム全体の詳細検討や開発計画等の詳細化、熱制御等の技術要素の実証実験を進め結果を得てきている。以上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](#)

V219b JASMINE における星像高精度位置決定の実証

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 小林行泰, 宇都宮真, 鹿島伸悟 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), ほか JASMINE ワーキンググループ同

位置天文観測衛星小型 JASMINE は 20 マイクロ秒角レベルの高精度で星の位置を測定する計画である。現在 JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへ応募し、評価委員会から高精度位置決定の実現性についての実証を行うことが課されている。我々は以下の2つの方法をメインに高精度位置決定が確かにできている事を実験室における実験や数値シミュレーションを用いて示す計画である。1点目は複数点の星像間の距離測定を行う。それらがもし、正しく高精度に測定されているならば、幾何学的な性質を満たす。今回複数星像間距離が幾何学的に無矛盾に高精度に測定できている事を実証する。2点目、我々の衛星のミッションでは、同一の星を多数回測定する事により系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成される予定である。そうしたプロセスが確かに有効に効いている事を実証するために、一回の観測では導出できない微細な系統誤差を人為的に挿入した擬似データを作成し、我々の解析プロセスで確かに系統誤差が導出され補正される事を実証する。今回の講演では以上実証の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V220b 小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数 2

鹿島 伸悟、郷田直輝、小林行泰、矢野太平、上田暁俊、宇都宮真（国立天文台）、山田良透（京都大学）、安田進（JAXA）

小型 JASMINE では、非常に厳しい星像中心決定精度である $10\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためには設計及び公差解析時の評価関数として、詳細な PSF 解析に基づく ensquared energy が必要となる。Ensquared energy というのは、ある矩形領域に含まれるエネルギーのことであり、従来より用いられている「ある円内に含まれるエネルギー」である encircled energy を矩形に拡張したものである。昨今の天文観測に用いられる検出器は CCD 等に代表されるように正方形のピクセルが並んでおり、そこに入射するエネルギー（光子）を電気エネルギーに変換するものが主であるため、それに合わせて ensquared energy が広く使われるようになってきた。

小型 JASMINE では、PSF 径は波長に応じて 3×3 から 5×5 ピクセルにまたがり、読み出しは 9×9 ピクセル程度を考えている。高精度星像位置検出には、できるだけ多くの光子を得ることと、それ以上に PSF 幅の分散が小さいことが重要である。光子数だけを考える場合は、実際に読み出す広い領域での ensquared energy を評価対象とすれば良いが、それでは PSF 幅の分散が評価できない。逆に、PSF 幅の分散を評価するには 1×1 や 3×3 といった狭い領域での ensquared energy が重要となる。評価対象が複数あると評価がし難いため、そのバランスを考慮したピクセル領域を求め、その領域での ensquared energy を設計及び公差解析の評価関数とすべきである。

前回、副鏡を支える支持構造（スパイダ構造）やコサイン 4 乗則を考慮した解析に関して報告したが、今回は更に「星の色（スペクトル分布）」及び「バス部からの擾乱」に関する解析を行ったので、その結果に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V221b 小型 JASMINE 衛星の検出器ボックス開発

上田暁俊、小林行泰、宇都宮真、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、
間瀬一郎、山口耕司 (次世代宇宙システム技術研究組合)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE は、次期位置天文観測衛星の名称であり、 H_W 帯で、銀河中心領域の星の年周視差を $10 \sim 20 \mu\text{as}$ 、固有運動を $10 \sim 50 \mu\text{as}/\text{Year}$ の精度で決定することを目標としている。

衛星軌道は、高度約 550 km の太陽同期軌道を想定している。そのため、季節や観測対象によって、衛星の温度が変化する。

この衛星に搭載される検出器は、アストロメトリ用に $4\text{K} \times 4\text{K}$ 素子の HAWAII-4RG、測光用に $1\text{K} \times 1\text{K}$ の HAWAII-RG、計 3 個であり、その運用温度は 180K 以下である。観測運用中、検出器は 180 K 以下にまで冷却し、年間を通じて 0.7 K 以下の温度安定性を達成させる。常温から運用温度間で、検出器が収納された検出器ボックスの熱変形により、検出器と望遠鏡間に生ずるミスアライメントを最小限に抑える必要がある。今回、プレエンジニアリングモデル相当の検出器ボックスを作製し、その性能試験を行った。環境温度 200K から、ペルチェ素子により $\Delta T=30\text{K}$ 、170K の検出器動作環境を作り出す事に成功している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a Nano-JASMINE と小型 JASMINE のデータ解析の準備状況

講師 山田 良透 (京都大学)、Uwe Lammers(ESAC)、Daniel Michelik(Lund 天文台)、Wolfgang Löffler(ARI Heidelberg)、小林行泰、郷田 直輝、矢野 太平、原拓司 (国立天文台)、吉岡諭 (海洋大)、穂積俊輔 (滋賀大)、酒匂 信匡、中須賀真一 (東京大学)、荒井隆志 (京都大学)、池田思朗 (統計数理研)

Nano-JASMINE は、日本初の位置天文観測衛星、小型 JASMINE は赤外線によるスペース位置天文としては世界初の衛星である。Nano-JASMINE のデータ解析は、Gaia チームとの協力で進めてきて、ESA の大型位置天文観測衛星 Gaia 用に構築された core 解析ソフトウェア AGIS(Astrometric Global Iterative Solution) を、Nano-JASMINE 用に一部修正して用いることは、本学会でも何度か紹介してきた。現在、解析のシミュレーションを継続している。

小型 JASMINE は観測手法が異なるので、日本での新規開発の部分が多い。小型 JASMINE は、1/25000 ピクセルレベルで位置天文パラメータを決める必要がある。そのため、キーになるのは PSF のモデル化や distortion のモデル化を十分な精度で行うことである。HST など、ポインティング観測による位置天文観測を行っているスペースミッションを参考にしつつ、小型 JASMINE に適した解析方法となるような最適化を実施している。Gaia の研究者との連携がスタートした。衛星を軌道上にあげると、予想しない様々な問題が起こってくる。この共同研究を通じて、彼らの経験を小型 JASMINE の解析に取り入れてゆく。既に 8 月に 2 名が来日し 3 日間の議論を行い、12 月に行った研究会でもそのうちの一名に来日してもらい、継続的に議論を行っている。

本講演では、これら、Nano-JASMINE および小型 JASMINE のデータ解析に関連するソフトウェア構築やモデル化に関する検討状況・準備状況について、報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223c Nano-JASMINE: 現状と FDCCD のアルファ線照射実験

小林行泰, 上田暁俊, 矢野太平, 郷田直輝 (国立天文台), 酒井伊織 (東大理), 山田良透 (京大理)

Nano-JASMINE は口径 5cm の超小型位置天文衛星である。高度 800km の太陽同期軌道に打ち上げ、観測を開始するべくロランチャーを探している。本講演では Nano-JASMINE 衛星の現状についてと、新に開発を行ったアルファ線を用いた FDCCD 耐放射線実験装置の概要および結果の一部について報告する。

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 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。

従来は宇宙放射線の最大要素であるプロトンを照射して実験を行うことが一般的であったが、プロトン照射のためには大型の加速装置が必要で、実験の自由度が少ない。そこで、プロトンの代わりにアルファ線を用いることを考えた。アルファ線は線源を用いることで、容易に得ることができる。また CCD に与える効果についても似たような作用があることが知られている。アルファ線を用いれば、CCD を設置した小さなクライオスタットの同梱することが可能で、冷却したままの照射と同じ環境のままでの性能試験など、冷却の時間的効果やアニーリングの効果を調査するためには都合が良い。新たに開発した試験機は同一の冷却クライオスタットに FDCCD、アルファ線源、転送効率を測定するための X 線源を設置、容易に取り換えられるようにしたもので、冷却状態のまま、アルファ線の照射、転送効率の転送を行うことができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224a 「あかり」近赤外線グリズム分光観測における二次光影響の補正：液体ヘリウム枯渇後(2)

馬場俊介 (東大, 宇宙研), 中川貴雄 (宇宙研), 尾中敬 (東大), 白井文彦 (神戸大), 山岸光義 (宇宙研)

赤外線天文衛星「あかり」の近赤外線グリズム分光観測 (観測波長 $2.5\text{--}5.0\ \mu\text{m}$ 、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda \sim 100$) では、観測波長 $4.9\ \mu\text{m}$ 以上で回折一次光スペクトルに二次光が混入しており、赤いスペクトルの天体でフラックスを正しく較正できないという問題があった。我々は二次光混入の原因がグリズム材質の屈折率の波長依存性であることを突き止め、その補正を進めている。全観測のうち液体ヘリウム残存中 (Phases 1, 2) の観測に対しては、屈折率の波長依存性を考慮した波長較正と一次光・二次光に対する波長感度曲線の連立的な取得によって、二次光影響の定量的補正を完了した。装置温度が徐々に上昇している液体ヘリウム枯渇後 (Phase 3) に対しても同様の補正を進めており、これまでに、Phase 3 最初の7か月間での結果を報告した (2016年秋季年会 V294a 馬場他)。

今回我々は、Phase 3 の残りの期間における波長較正と一次光・二次光の感度較正を行い、Phase 3 の観測データに対する二次光影響の補正を完了した。屈折率の波長・温度依存性を考慮して波長較正を行った結果、Phase 3 のどの時点でも屈折率の波長依存性により二次光が混入していることが確かめられたが、温度依存性の影響は小さく、波長較正曲線の経時変化はみられなかった。一次光と二次光に対する波長感度曲線を求めた結果、Phase 3 における相対的な二次光混入の強度は、Phases 1, 2 と比較して 35%弱いと分かった。一次光に対する感度は Phase 3 の前期から後期にかけての 15%低下しており、温度上昇による経時変化が確認された。本講演ではこれらの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V225a SPICA（次世代赤外線天文衛星）計画の推進と冷却系

芝井 広 (大阪大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨 (JAXA), 尾中 敬, 河野孝太郎 (東京大), 金田英宏 (名古屋大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、あかり、Spitzer、Herschel の成功を受けて、日欧共同で推進しているスペース大型極低温冷却赤外線望遠鏡である。口径 2.5m の望遠鏡を 8K まで冷却し、波長 12-230 ミクロンをカバーする高感度の分光機能（一部撮像機能）を持つ。最近の科学的検討及び欧州研究者の期待の増大を踏まえて、新たに遠赤外線帯の撮像・偏光観測機能を実装する計画とし、欧州宇宙機関 ESA に対してコスミックビジョンの M クラスミッション候補として提案した。また米国は遠赤外線センサーの製作・供給を中心に参加を計画している。一方日本側では、担当予定の冷却系（観測系の極低温冷却システム）および中間赤外観測装置 SMI について、設計の詳細化・最適化、要開発項目の洗い出しなどを精力的に進めており、2019 年度と想定されている正式スタートまでにより良い計画になるようにブラッシュアップを続ける計画である。講演ではこれらについて詳細に説明する。また、SPICA が計画している科学観測運用、達成が期待される科学研究成果については、各研究分野における講演を参照されたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226a 宇宙赤外線背景放射観測のロケット実験 CIBER-2：望遠鏡の環境試験

高橋 葵 (総研大/関学大)、児島 智哉、松浦 周二 (関学大)、津村 耕司 (東北大)、新井 俊明、白旗 麻衣、武山 芸英、江野口 章人、金井 美一 (ジェネシア)、佐野 圭 (東京大)、松本 敏雄、松原 英雄 (ISAS/JAXA)、Shiang-Yu Wang (ASIAA)、James Bock (Caltech)、CIBER-2 チーム

我々は、日米韓台の国際協力のもと、宇宙赤外線背景放射の空間的ゆらぎと放射スペクトルを高精度に観測するロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background ExpeRiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-1 で発見した大きなゆらぎ成分に対する銀河ハロー浮遊星仮説を検証するとともに、宇宙再電離期の放射の検出を目指す。この中で、日本では主に望遠鏡及び後置レンズ光学系の開発を担当している。CIBER-2 の望遠鏡は、口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式の液体窒素冷却望遠鏡である。冷却に伴う熱収縮によるひずみを最小限に抑えるため、主鏡と副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全てをアルミニウムを用いて製作する。望遠鏡の後方部には、宇宙赤外線背景放射の観測に重要な波長 $0.5 - 2.0 \mu\text{m}$ をカバーする広視野撮像装置 ($2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$) を搭載する。本装置には測光フィルタを組み込み、一挙に 6 バンドでの宇宙赤外線背景放射のゆらぎ観測を実現させるほか、視野の一部にリニアバリアブルフィルタを追加し、宇宙赤外線背景放射のスペクトル観測も同時に行うことを可能とした。本講演では試験用モデルを用いて行った望遠鏡の地上振動試験、冷却光学試験について述べる。振動試験ではロケット搭載に要求される加振レベルを与え、その前後での構造および結像性能の変化の有無を調べる。冷却光学試験では、冷却により結像性能が大きく変化しないことを確かめる。最後に、非球面レンズを多数用いた後置レンズ光学系の紹介と共に、プロジェクトの最新状況を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227b Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope

左近 樹 (東京大学)、Origins Space Telescope STDT

NASA の宇宙物理学ロードマップにおいて、ハーシェル宇宙望遠鏡の観測能力を感度において 1000 倍以上凌駕し、SPICA の先の将来ミッションとして、深宇宙探査で confusion を克服し原始惑星系円盤を分解するのに十分な空間分解能と分光能力を有する遠赤外線宇宙望遠鏡ミッションの必要性が認識されている。それを踏まえて、2020 年の decadal survey に向けて community-based Far-Infrared Surveyor Science and Technology Definition Team (STDT) の枠組みで遠赤外ミッションの検討が開始された。これは、NASA のもとで進められている 4 つの STDT 活動のうちの一つである。この遠赤外ミッションは”Origins Space Telescope”と命名され、銀河におけるダストと金属量増加の過程や、宇宙年齢にわたって地球及び他の habitable planets へ水が供給される過程の解明を狙う。2020 年の decadal survey への study report を提出する事を目標として活動を実施し、我が国からもオブザーバーとしてこの STDT 活動における検討に参加している。これまでに、次世代に取り組むべきサイエンスケースの集積とミッションの構成の選定が進められ、Origins Space Telescope は、single aperture で 5K 以下に冷却された 8-15m の大口径望遠鏡で、中間赤外から遠赤外域をカバーするミッションとして計画されている。2030 年代のミッションの実施を目標とし、サイエンス要求を満たすための観測装置の検討が開始された。本発表では、それらの検討の進捗を報告し、日本側の科学コミュニティとの関わりを広く議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228b 火星衛星サンプルリターン計画 Martian Moons eXploration

尾崎正伸, 大嶽久志, 川勝康弘, 藤本正樹 (ISAS/JAXA), 倉本圭, 橘省吾 (北大), 寺田直樹, 中村智樹 (東北大), 和田浩二, 千秋博紀 (千葉工大), 宮本英昭, 今村剛 (東大), 臼井寛裕, 玄田英典 (東工大), 亀田真吾 (立教大), 長岡央 (早稲田大), 松本晃治 (国立天文台), 諸田智克, 渡邊誠一郎 (名大), 佐々木晶 (阪大), 小川和律 (神戸大), ほか MMX プリプロジェクト準備チーム

火星衛星サンプルリターン計画 (Martian Moons eXploration: MMX) はフォボスないしダイモスの表面から深さ 2cm までのレゴリスを 10g 以上採取し地球へ回収する事を主軸とし、2020 年代前半に H3 ロケットでの打上げを目指している。現在の JAXA 内のステータスは、2017 年度早期のプリプロジェクト化を目指している。

火星衛星はその小ささにも関わらず、理学工学両面で重要なターゲットであり、理学的にはその起源の解明が大テーマである。火星の 2 衛星はいずれも軌道傾斜角と離心率が小さな軌道を持ち、これは火星衛星が飛来小惑星の捕獲ではなく (地球の) 月と同じ巨大衝突起源であることを示唆する。一方で両衛星とも表面反射スペクトルは始原的小惑星的な特徴を示し、これは熱変成を受けていないすなわち飛来した小惑星を捕獲したことを示唆する。起源がいずれかに特定されると同時に表面物性や宇宙風化に関する詳しい情報が得られると、火星衛星形成期すなわち太陽系惑星形成期の微惑星移動の様子を知る手がかりとなり、ひいては地球型惑星に現存する水の起源を知る極めて重要な情報に繋がる。

この理学目的を実現するため、MMX はサンプラーとリターンカプセルに加え、様々なリモートセンシング装置を搭載する。搭載が決定されている装置は、広角分光カメラと望遠カメラ、近赤外分光計、ガンマ線中性子分光計、イオンエネルギー質量分析器、火星周回ダスト観測装置、レーザ高度計である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229c ロケット実験 CIBER-2：望遠鏡の環境試験の詳細報告

児島 智哉、松浦 周二 (関学大)、高橋 葵 (総研大/関学大)、津村 耕司 (東北大)、新井 俊明、白旗 麻衣、武山 芸英、江野口 章人、金井 美一 (ジェネシア)、佐野 圭 (東京大)、松本 敏雄 (ISAS/JAXA)、James Bock (Caltech)、CIBER-2 チーム

我々は、宇宙赤外線背景放射の空間的ゆらぎと放射スペクトルを高精度に観測するロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background ExpeRiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-2 は NASA の観測ロケットによる 2017 年度の打ち上げを目指し、観測装置を開発している。

望遠鏡はロケットに搭載可能な最大口径である 28.5 cm のリッチー・クレチアン式とし、熱放射を低減するため、液体窒素により冷却する。主鏡と副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全てをアルミニウム製とすることで、冷却時における材料の熱収縮率差によるひずみは最小限に抑えられ、結像性能は常温時と同等であることが期待される。口頭講演 (本年会、高橋ほか) で述べたように、試作望遠鏡の振動試験の後に冷却光学試験を行う。試験では、名古屋大学の大型冷却真空チャンバーを用いて試作望遠鏡を 100 K 程度に冷却し、コリメーターとリレーレンズ光学系によるオートコリメーション測定を実施することで結像性能を評価する。本講演では、要求される光学性能とともに試験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](#)

V230b JVO ポータル開発の進捗

白崎裕治, ザパート クリストファー, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台),

Japanese Virtual Observatory (JVO) 開発グループでは天文データベースのポータルサイト、JVO ポータルの開発を進めている。本サービスは <http://jvo.nao.ac.jp/portal> において誰でも利用可能である。すばる望遠鏡や ALMA 望遠鏡のデータの配信に加え、世界各国の天文データセンターが国際標準仕様に従って公開している天文データサービス (VO) への一元的なアクセス機能を提供している。平成 28 年度の開発では、ALMA のキューブデータをクイックルックするシステムである ALMA WebQL の機能更新と、2016 年 9 月に公開された Gaia 天体カタログの検索システムの開発が行われた。

ALMA WebQL には今回新たに原子・分子のラインデータベースとの連携機能が追加され、スペクトルデータ表示とともにライン情報も表示されるようになり、ライン同定が可能となった。さらに、画像のカラーコードを選択する機能や FITS ヘッダの表示機能、フラックススケールの固定・自動設定機能、など天体の静止座標系でのスペクトル表示機能等が追加された。

Gaia 天体カタログは約 10 億件の主として星のデータから構成され、大量のデータから必要なデータを高速に検索する必要がある。そのために、データを複数台のサーバーに分散配置し一度のリクエストに対し 96 並列で検索するシステムを構築した。これにより、全天データの検索が最短 20 分で行えるようになっている。Gaia プロジェクトが運用している検索システムでは検索上限数が 2,000 件までとなっているが、JVO の Gaia データ検索システムは無制限に検索が可能な現状世界唯一のサービスである。

本講演では今年度に追加された、以上述べたような JVO portal 新規機能についての紹介を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231a 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: 12

小谷隆行, (アストロバイオロジーセンター ABC/NAOJ/総研大), 周藤浩士 (ABC/NAOJ), 西川淳 (NAOJ/総研大/ABC), 上田暁俊, 大宮正士, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 鈴木竜二, 工藤智幸, 日下部展彦, 原川紘季, 林正彦, 福井暁彦, 小西美穂子, Oliver Guyon(NAOJ), 田村元秀, 成田憲保 (東大/ABC/NAOJ), 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行 (NAOJ/総研大), 堀安範, 橋本淳, 葛原昌幸 (ABC), 馬場はるか, 細川晃, 石川裕之 (総研大), 黒川隆志 (NAOJ/農工大), 森貴宏, 小久保宰, 田中洋介 (農工大), 柏木謙 (産総研), 池田優二 (Photocoding), 佐藤文衛, 玄田英典, 平野照幸, 藤井友香 (東工大), 生駒大洋, 河原創, 石塚将斗 (東大), 町田正博 (九大), 松尾太郎 (阪大), 長田哲也 (京大), 荻原正博 (ニース大), 比田井昌英 (東海大), 西山正吾 (宮城教育大学), 権静美 (ISAS), 呉大鉉 (NMSC Korea), Don Hall, Klaus Hodapp, Shane Jacobson(ハワイ大), IRD チーム

IRD(Infrared Doppler) は、M型星まわりの惑星存在頻度や形成過程を明らかにすることを目標としたすばる望遠鏡用の赤外線高分散分光器である。IRD はレーザー周波数コムや安定性を追求した光学系で 1m/s の高精度視線速度測定を達成することを目指しており、すばる望遠鏡での大規模サーベイにより、ハビタブルゾーンにある 1 地球質量惑星の検出を含む、様々な惑星の発見が期待される。本講演では装置開発の現状について述べる。IRD は 2017 年初頭のファーストライトを控え、装置組み上げ・性能評価の最終段階に至っている。安定性を追求した冷却系・光学系や、近赤外線では主要な視線速度誤差要因となるモーダルノイズを低減するスクランブラーといったそれぞれのサブシステムについて詳しく説明する。視線速度安定性試験については、別講演を参照のこと。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232a 赤外線視線速度測定装置 IRD の性能検証: 検出器と視線速度安定性の評価

葛原昌幸, 橋本淳, 日下部展彦, 大宮正士, 小西美穂子 (ABC/NAOJ), 平野照幸 (東工大), 小谷隆行, 西川淳 (NAOJ/総研大/ABC), 黒川隆志, 小久保宰 (NAOJ/農工大), 森貴宏, 田中洋介 (農工大), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 石塚将斗 (東大), 上田暁俊, 細川晃 (NAOJ/総研大), 工藤智幸 (NAOJ), Jacobson Shane, Hodapp Klaus (ハワイ大), IRD 装置チーム

M型矮星, 中でも晩期 M 型星は質量が小さく, 低温のため, ハビタブル領域に存在する地球型惑星を含む低質量惑星を検出するために有用である。一方, 晩期 M 型星は可視光よりも赤外線で明るいため, その視線速度観測には, 従来利用されてきた可視光よりも, 赤外線での観測が鍵になる。そこで, 我々は晩期 M 型星のハビタブル領域に存在する地球型惑星を視線速度法を用いて検出するための赤外線視線速度測定装置 InfraRed Doppler (IRD) の開発を進めてきた (例: 2016 年春季年会, V216a 参照)。IRD の開発は現在最終段階に達しており, すばる望遠鏡でファーストライトを 2017 年に行なうことが期待されている。

上記の目標達成には, 1 m/s に迫る視線速度精度の達成が重要になる。そのためには, まずは検出器の雑音を低減し, さらに視線速度変動の高い安定性を得るために光学機器の温度を安定に保つことが必須になる。IRD では, 低雑音の赤外線検出器である Teledyne 社の HAWAII-2RG を採用し, 高い温度安定性を得るためにヒーターを用いた温度制御を行なう。我々はハワイ大学の IfA で IRD を冷却し, その性能評価を行なうためのデータ取得を行ってきた。それにより, 検出器のダーク, 読み出し雑音や Gain など評価している。さらに, レーザー周波数コムを, シングルモードファイバーとマルチモードファイバーを通して IRD に導入し, それを参照光源として視線速度の安定性を評価している。本講演では, それらの性能評価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](#)

V233a 近赤外ドップラー装置の偏光特性と偏波解消器の開発

小久保宰 (農工大,NAOJ), 森貴宏 (農工大), 黒川隆志 (NAOJ, 農工大), 田中洋介 (農工大), 小谷隆行 (ABC,NAOJ), 西川淳, 周藤浩士 (NAOJ, 総研大,ABC), 田村元秀 (東大,NAOJ,ABC)

現在、系外惑星探査のために近赤外ドップラー (IRD:InfraRed Doppler) 観測装置を開発している。IRD 観測装置の目標精度は 1m/s であり、この高精度分光を実現するために、周波数較正光源としてコム光源を開発した。生成されたコム光は 12.5GHz 間隔で $1030\text{nm} \sim 1750\text{nm}$ の広帯域に涉り、 0.2MHz 以下の高い周波数安定性を有している。分光装置の偏波特性を測定するために、コム光を偏光ビームスプリッターで直線偏波として2本の単一モードファイバ (SMF) に分岐して分光装置に入射した。このとき、一方のコム光は基準としてそのまま入射し、もう一方のコム光は半波長板を用いて直線偏波を回転させ入射した。この試験の結果、分光装置には直線偏波の回転に応じて最大 30MHz 程度の周波数変動が生じた。この分光装置の偏波特性は検出精度に直接影響を及ぼすため、コム光の偏波を解消する必要がある。この場合、検出器の露光時間内で平均的に非偏光となっていればよい。そこで、コム光用の偏波解消器を製作した。偏波解消器はファイバーコリメータ間に半波長板、 $1/4$ 波長板を設置した構造になっている。2つの波長板は光軸のまわりを異なる回転速度で回転するため、出射光の偏波は時間的に変動し、平均的に非偏光となる。レーザー光 ($1.06, 1.31, 1.55\text{ }\mu\text{m}$) に対する偏波解消器の後の偏光度は $0.02\text{-}0.04$ となり、非偏光となっていることが確認された。分光装置におけるコム光への偏波解消器の効果は、当日発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

高橋弘毅 on behalf of the KAGRA Collaboration

ブラックホール連星の合体から放出された重力波を、アメリカのレーザー干渉計型重力波望遠鏡 LIGO が世界で初めて直接観測をし、重力波天文学が幕開けしつつある。重力波天体の位置を決めるためには、少なくとも3台以上の重力波望遠鏡が必要であり、国際協力が必要不可欠である。そのため、日本の大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の国際観測網への参加が重要となる。

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望遠鏡であり、地上に比べて地面振動が 1/100 ほどの低振動環境である岐阜県飛騨市神岡町池の山の地下約 200m に設置されている。また、鏡の熱雑音を避けるため鏡とその懸架系を 20K 程度にまで冷却することを大きな特徴とする。さらに光学系を多段の振り子で防振することにより、地面振動を避ける設計となっている。

2016年3月から4月にかけて、KAGRA は、簡易的な干渉計構成での常温試験運転をおこなった。本講演では、試験運転時に取得されたデータを用いたデータ解析の取り組み、および、低温運転に向けた KAGRA の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 家正則, 青木和光, チャップマン純子, 山下卓也, 柏川伸成, 宮下隆明 他 (国立天文台), Henry Yang, Edward Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Gregory Fahlman 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。TMT 国際天文台 (TIO) は 2015 年 4 月よりハワイマウナケア山頂域での建設作業を本格的に進める予定であったが、同年 12 月 2 日、ハワイ州最高裁判所が TMT 計画のための保護地区利用許可の承認を差し戻す判決を出したことにより、現地工事は中断し、現在、保護地区利用許可の再審査手続きが進められている。この手続きの重要なプロセスとして一般公聴会がハワイ島ヒロ市で 2016 年 10 月 20 日より開始された。TIO としては 2017 年春に保護地区利用許可の再認可を得、準備期間を経て 2018 年 4 月より現地工事再開を目指して準備を進めている。ハワイでの建設を第一に目指す方針に変わりはなく、ハワイの地元の方々の理解と協力を得る努力を続けているが、万一許可が得られない場合等に備え、代替建設候補の検討をおこなっている。日本では国内の 4 箇所およびハワイ観測所において TMT の現状を正しい理解してもらおうと共に、代替建設地の選択について直接意見交換をするための説明会を開催した。説明会を踏まえ、主に光赤外関係者による意向投票を行った。10 月 26 27 日の TIO 評議員会における議論の結果、スペイン領カナリア諸島のラ・パルマにあるロク・デ・ロス・ムチャチョス天文台 (ORM) とすることに決定した。

国内の進捗状況としては、望遠鏡本体の詳細設計、主鏡の量産、第一期観測装置 (IRIS, WFOS) の設計・検討作業を進めている。また、全国各地での一般講演会や、TMT の模型や主鏡分割鏡の試作品を用いた展示、ウェブ公開などの広報普及活動を行なっている。本講演では、TMT プロジェクトの現状と今後の展望について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の詳細設計 II

杉本正宏、臼田知史、稲谷順司、寺田宏、楠本弘、田澤誠一、家正則、神津昭仁、齋藤正雄、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 国際天文台)

TMT (Thirty Meter Telescope) は、日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。日本は望遠鏡本体構造とその駆動制御システムの製作を担う。2011 年度から開始した概念設計、基本設計を経て、現在は詳細設計フェーズにある。詳細設計では対象を (1) 機械構造、(2) 駆動制御システム、(3) セグメント・ハンドリング・システム (SHS) 等の 3 つに大別し、それぞれに対応する設計審査会をこれまで実施してきた。本講演ではこれを踏まえた望遠鏡構造の進捗、特に今年度進捗が著しかった SHS の設計状況について報告する。

TMT 国際天文台では 2 週間に 1 日、昼間の 10 時間を鏡の交換作業に当てる運用を計画しており、この作業時間内で交換する鏡の数は 10 枚と規定されている。この交換作業を行うのが SHS である。SHS システムは、Segment handling platform (SHP)、ブリッジ、Segment Lifting Fixture (SLF) 等から構成される。観測フロアからセグメント鏡を SHP までホイストで持ち上げた後、SHP から主鏡中心にまで架けられたブリッジの下を鏡を把持する SLF が移動することで鏡を運搬・交換する。鏡を交換するプロセスは多数のステップから構成され複雑であるため、効率の高い交換作業を実現するために、マシンビジョンシステム (画像認証システム) やコンプライアンス制御等が導入されており、プロセスのほとんどが自動化されている。また故障時等でも安全・迅速に手動復旧できるなど運用面での信頼性を確立することも基本設計から大幅な進捗があった。SLF 駆動系がブリッジ下において故障し移動不能となった場合の復旧方法等についても合わせて報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a TMT 計画 - 主鏡フルサイズセグメントの量産

山下卓也, 大屋 真, 宮下隆明, 家 正則, 臼田知史, 高見英樹, 青木和光, 柏川伸成, 寺田 宏, 鈴木 竜二, 稲谷順司, 橋本哲也, 尾崎忍夫, 神津昭仁, 他 (国立天文台・TMT 推進室)

国立天文台が参加している TMT(Thirty Meter Telescope) は、単一鏡の主鏡を持つすばる望遠鏡とは異なり、対角長約 1.44m の 6 角鏡を 492 枚組み合わせて主鏡を構成する分割鏡望遠鏡である。日本はその貢献の一部として、この分割鏡(主鏡セグメント)の鏡材の製作の 100%と研磨加工の約 30%を担当している。

平成 25 年度予算において主鏡セグメントの量産が認められ一部工程の量産を開始している。鏡材の製作は総数 574 枚の内今年度中に 200 枚を超える予定である。これらの中には海外パートナーが研磨するための鏡材も含まれており、今年度から球面荒研削したメニスカス形状の鏡材の米国への輸出を開始している。

また、平成 27 年度に非球面研磨加工の量産前審査に合格して研磨の量産を開始したが、平成 28 年度は形状の測定効率を上げるために高速に低次の形状測定ができる 2 次元プロファイロメーターを導入して量産を効率的に進めている。

本講演では、非球面研磨量産の表面形状達成状況とその他の工程も含めた量産の進捗について報告し、次の量産工程である外形加工・支持機構搭載についてプロトタイプ鏡材を用いた工程開発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](#)

V238a TMT 第一期観測装置 IRIS 撮像系の開発：進捗とレビュー報告

鈴木竜二, 池之上文吾, 内山瑞穂, 浦口史寛, 大淵喜之, 斎藤栄, 都築俊宏, 中本崇志, 早野裕 (国立天文台), 向江志朗 (東京大学)

IRIS は Thirty Meter Telescope 第一期観測装置の一つで、近赤外線の波長域 (0.84 - 2.4 ミクロン) において回折限界の撮像観測及び波長分解能 4,000-10,000 の面分光観測機能を提供する観測装置である。撮像観測では 4 ミリ秒角の分解能で 34x34 秒角の視野をカバーし、面分光観測ではレンズレット方式とイメージスライサー方式の 2 つを用いることで、4,9,25,50 ミリ秒角の分解能で 0.5-4 秒角視野の観測が可能である。IRIS の開発は日米加中の研究機関、大学からなるチームで行われており、日本は国立天文台先端技術センターを中心に撮像系の開発を行っている。

IRIS の開発は現在基本設計段階にある。基本設計段階では、装置の仕様と外部 / 内部インターフェースの決定、アーキテクチャの決定、サブシステムへの仕様のフローダウン、主要な仕様を満たす設計、主要な解析 (振動解析、熱解析) 組み上げ・性能評価プランの作成、コスト・スケジュールの作成、リスク管理、プロトタイプによる実証等、開発の広範囲に渡る側面での進捗が求められる。我々は IRIS 国際チームの一員として、装置全体の仕様とインターフェースの作成、組み上げ・性能評価プランの作成、振動解析に貢献 (一部は先導) する一方、我々の担当する撮像系の仕様作成、光学設計、機械設計、解析、コスト・スケジュール作成、プロトタイプによる実証を行ってきた。2016 年 11 月 17-18 日には、システムズエンジニアリング、光学設計、機械設計に特化した基本設計レビューが行われ、無事レビューを通過することができた。本講演では、基本設計段階で行ってきた装置全体及び撮像系に関する開発の成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239a 3点法とロボットアームによる自由曲面計測システムの開発

栗田光樹夫, 吉田泰, 大川裕貴, 石井遊哉, 今西萌仁加(京都大学), 所仁志, 高橋啓介(アストロエアロスペース)

光赤外線観測において大型自由曲面の鏡面製造技術は、より高空間分解能と高スループットな観測システムを実現するために極めて重要である。鏡面製造には加工技術のみならず計測技術が不可欠であり、そのためにはこれまで干渉計が用いられてきた。しかし干渉計は自由曲面を計測するうえで基準となるヌルレンズ光学系や焦点距離相当の空間を必要とする。特に実焦点を有さない凸面の計測を不得意とする。

そこで、われわれは機械式の3点法計測を開発してきた。これまで測長距離300 mmの平面であれば干渉計(Zygo)の結果とP-V=35 nm, RMS=7.0 nmで一致する計測技術を確立した(2015年度春年会 V246a)。今回はこの計測システムを研磨機を兼ねるロボットアームの先端に取り付け、 $\phi 600$ mm、 $R1500$ mmの放物面鏡の計測を行った。その結果同一断面を5回計測したときの再現性はおよそRMS=80 nmであり、これは従来の結果より1桁近く悪い。また全面を計測したときに同心円状の強度400 nm程度の形状誤差を検出し、修正研磨によりこの修正を確認した。今回は1) ロボットアームとセンサの位置決め精度が不十分、2) センサ固定部の不安定さ、3) データ処理アルゴリズムの不十分さ、などこれまで行ってきた平面や球面と異なる放物面特有の問題が明らかになった。今後はこれらの問題を解決したい。

[セッションのトップに戻る](#)
[スケジュールに戻る](#)

V240a 大型自由曲面素子の表面計測を可能にする小型干渉計

今西萌仁加 (京都大学)

望遠鏡の建設において鏡など光学素子の表面計測は不可欠である。従来ではその手法として干渉計が広く用いられてきている。しかし、その原理的な制約から望遠鏡の大型化・多様化に際しての問題点として、凸形状の計測と大面積の計測の困難が考えられる。そこで、我々は分割計測とデータステッチングを用いて以上の問題を解決する大型自由曲面の計測方法を考案した。これは、小型干渉計を用いて計測面を数千個に分割し、それぞれのデータを後でなめらかにつなげる手法である。この方法によって、1) 曲率一定の参照光学系で十分計測できるほど小さな視野に分割することで凸形状を含めた自由曲面の計測が可能、2) 計測素子の枠形状やサイズに依らず計測が可能となる。またこの計測装置は、汎用の加工機に取り付けて加工と計測を効率よく行うことで、素子の加工期間短縮と測定精度の向上を目指す。このとき加工機固有の高周波振動が問題となるため、高速でデータを取得する必要がある。本研究では以上の点を満たす干渉計の開発を行った。今回開発したフィゾー干渉計は、全長500 mm程度のサイズで、液晶リターダと高速カメラにより5ミリ秒で干渉画像を取得できる。実際に製作した装置で、面精度 $\lambda/20$ の参照面と $\lambda/10$ の被検面を用いて3つの位相の干渉縞を取得し、3ステップ法のアルゴリズムに基づいて表面形状を解析した。得られた結果はP-Vで $\lambda/6$ という値であった。これは要求する精度の $\lambda/10$ を下回る値であるが、光学素子のアライメント誤差に由来しているので改善可能である。今後は上記の誤差の改善と加工機への取り付けに対する耐性向上に取り組む。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241a 球面主鏡・副鏡をもつアプナティックな望遠鏡

木野 勝, 佐藤 修二, 成相 恭二

主鏡・副鏡を含む3枚の球面鏡と1枚の非球面鏡を組み合わせることで球面収差とコマ収差を取り除き、実用的な光学性能(典型的には視野 10分角にわたり結像性能0.5秒角程度)を持つ望遠鏡を考案した。

天文観測用途ではリッチー・クレチアン式、もしくはクラシカル・カセグレン式望遠鏡がよく使われている。これらの望遠鏡では主鏡に双曲面などの非球面鏡を使用するが、巨大な非球面鏡は加工や形状測定にコストがかかり望遠鏡の入手性を下げる一員となっている。また副鏡に使用される凸形状の双曲面も形状測定が難しい。

提案する望遠鏡では、巨大な主鏡と凸形状の副鏡に球面鏡を用いることで上記の問題を解決する。加えて主鏡と副鏡の曲率中心が共に入射瞳付近に位置するコンセントリックなカセグレン望遠鏡となっており、大きな球面収差が発生する一方、コマ収差は原理的に0となる。クラシカル・シュミットカセグレン式望遠鏡では入射瞳に置いた巨大な補正板(補正レンズ)で球面収差を補正するが、本方式では第3鏡を用いて入射瞳の縮小された実像を形成し、その位置に高次非球面の第4鏡を置くことで球面収差を補正する。同時に第3鏡・第4鏡の間隔を適切に選ぶことでコマ収差の発生も抑制し、望遠鏡全体として球面収差・コマ収差が無い光学系を実現できる。

第4鏡の形状は6次関数で表される高次非球面となる。一般的な円錐曲面よりも複雑な形状であるが、直径が主鏡の1/10程度と十分に小さいことに加え、近年の非球面加工・計測技術の進展から十分に実現可能と考えており、その実証のための試験加工を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V242a 汎用2次元検出器データ取得システム MESSIA6 と共同購入

中屋秀彦、鎌田有紀子 (国立天文台)

国立天文台先端技術センター光赤外検出器グループでは天文観測用データ取得システム MESSIA6 を開発し、共同利用の一環として国立天文台内外のグループによる共同購入を実施した。

MESSIA は木曾観測所モザイク CCD カメラのデータ取得システムとして開発され、現在ではすばる望遠鏡や国内の天文台において、2次元検出器の汎用データ取得システムとして使われている。先代の MESSIA5 は、観測に使われ始めてから既に14年が経過したが、MESSIA5 を採用した多数の観測装置が未だ稼働中である (2012年秋季年会)。

そこで、Hyper Suprime-Cam のために国立天文台が東京大学、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と共同開発したデータ取得システムを元に、後継となる MESSIA6 を開発した。MESSIA6 は、KEK で開発された通信プロセッサ SiTCP を採用し、MESSIA5 よりも小型、大容量メモリ、高速データ取り込みなどを実現しているほか、主に、本体の置き換え、ケーブルの差し替え、ソフトウェアの更新という少ない手間で MESSIA5 をアップグレードすることが可能となっている。

そして、2015年度、2016年度と MESSIA6 の共同購入を実施し、合計20セットを国立天文台内外の9組織が購入した。主要部材の製造は業者が行うが、先端技術センターで最終組立や動作試験を行う。特に今年度は新たな試みとして国立天文台の受託事業として実施し、先端技術センターで部材購入から動作試験までを一括して請け負い、共同利用ユーザーに納品する方法を採用した。光赤外検出器グループでは、アップグレード作業や新規装置への採用など、引き続き MESSIA6 のサポートを行っていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243b 遠赤外線イメージセンサーに向けた極低温動作 32×32CTIA マルチプレクサの設計

馬場俊介 (東大, 宇宙研), 長勢晃一, 和田武彦, 池田博一, 石丸貴博 (宇宙研), 新井康夫 (KEK), 大野守史 (産総研)

我々は、遠赤外線イメージセンサーに向けた極低温 (~ 4 K) で動作する大規模な読み出し集積回路アレイの開発を進めており、今回 32×32 素子の capacitive trans-impedance amplifiers (CTIA) マルチプレクサを作成した。この回路は、検出器からの信号を増幅・安定させ、クライオスタット外部の常温回路へ送る役割を持つ。組み合わせる検出器にはゲルマニウム Blocked-Impurity-Band 型 (Ge-BIB, Hanaoka et al. 2016) を想定しており、検出器ウエハと直接バンピングしてハイブリッド構造の装置を構成する計画である (Wada et al. 2016)。

遠赤外線検出では、熱雑音を抑えるため検出器を極低温まで冷却しなければならず、読み出し回路にも極低温で動作することが求められる。多素子の検出器であれば、低温部と常温部を繋ぐ導線の数を減らし、外部からの熱流入を小さくすることも必要である。我々は、完全空乏型 (FD-) silicon on insulator (SOI-) CMOS 技術によって極低温で動作する回路を構成し、マルチプレクサによって出力信号の多重化を行った。我々は既に FD-SOI CMOS を用いたオペアンプが 4.5 K で安定して動作することを確認しており (Nagase et al. 2016)、今回の回路はその時の回路を発展させたものになっている。今回の回路は 32×32 個のアナログスイッチ付き CTIA と 2 つのシフトレジスタから成り、シフトレジスタで素子の x, y 座標を指定し出力を順に読み出すことができる。各ピクセルのレイアウトは周期的境界条件を満たしており、容易に多素子回路を構成できるようになっている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244b 赤外線光学材料の低温減光係数測定のための高精度 FTIR システムの開発と初期測定結果

加地紗由美 (京都産業大学), 猿楽祐樹 (東京大学), 池田優二 (フォトコーディング, 京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 助川隆 (キヤノン株式会社), 中西賢之, 近藤荘平, 河北秀世 (京都産業大学)

京都産業大学神山天文台赤外線高分散ラボ (LiH) を中心とした研究グループでは、近～中間赤外線用イメージングレーティング (以下 IG) の開発プロジェクトを進めている。天文用の高効率 IG を実現するためには、材料の減光係数 (α_{att}) は 0.01cm^{-1} 以下と非常に高い透過性が要求される。赤外線光学材料の α_{att} はバンドギャップのソフトや格子吸収プロファイルの先鋭化などの温度依存性を持つため、サイエンスケースとそれに基づく観測装置の詳細検討を行うには、実際に装置を運用する低温 ($20 - 80\text{K}$) での正確なデータが必要である。しかし、そのレベルの測定データは低温 ($T < 80\text{K}$) はおろか常温においてもほとんど存在せず、測定できる装置もない。そこで我々はさまざまな赤外線光学材料の IG への適用可能性を網羅的に調査すべく、 α_{att} を精密に測定する装置の開発から進めてきた。常温測定では、 $\alpha_{att} < 0.01\text{cm}^{-1}$ の精度を達成し (Kaji et al. 2014, Proc. SPIE 9147, 914738)、次なるステップとして低温での α_{att} の測定を進めている。低温測定のため、常温測定で開発した FTIR 測定系の平行光部に装着可能なサンプル冷却ユニットを新たに開発した。高精度測定が可能なダブルサンプル法を適用するために、リニアガイドとローラプランジャ、ガイドウォールを用いて、2つのサンプルとリファレンスを真空・冷却環境を破ることなく高い位置再現性 ($< 0.1\text{mm}$) で切り替え可能な駆動機構を実現した。測定可能波長域は $1.3 - 28.5\mu\text{m}$ で、GM 式冷凍機を用いて約 20K までサンプルを冷却できる仕様である。本発表では開発の詳細に加えて、CdZnTe、Ge、Si、InP などの低温での α_{att} の初期測定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](#)

V245b 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用

伊藤 洋一, ほか西はりま天文台スタッフ (兵庫県立大学)

西はりま天文台は、日本最大口径の光学望遠鏡「なゆた望遠鏡」を主力機器として、教育研究活動と生涯学習事業を積極的に推進している。「なゆた望遠鏡」には、可視光撮像装置・可視光分光装置・近赤外撮像装置・可視光ターゲット観測システム・可視同時偏光撮像分光装置などの装置がある。これらの装置は定常的に運用されており、晴れれば毎晩、天文台スタッフが研究観測を行っている。また、東京大学が開発した狭帯域撮像分光装置 LISS も PI 装置として活躍している。

兵庫県立大学天文科学センターは、2016 年度から文部科学省の「共同利用・共同研究拠点」に認定された。高エネルギー分野や太陽・惑星分野を除いた天文学分野では全国初の認定である。これを受け、我々は共同利用観測を開始した。プロポーザルを年二回募集し、外部の研究者を含めたレフェリーの審査に基づき、年間 40 夜を共同利用観測に割り当てている。海外からの応募もあり、「なゆた望遠鏡」を用いた観測の需要に適切に対処できていると考える。また、他大学が開発した観測装置を積極的に受け入れている。2016 年 12 月には、東京大学天文学教育研究センターが開発した補償光学系の試験観測を実施した。

講演では、共同利用観測を始めとする研究観測の現状を述べ、併せて将来の計画についても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246a 東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡プロジェクトの進捗状況

吉井讓, 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 宮田隆志, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 酒向重行, 諸隈智貴, 田村陽一, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則 (東京大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学) 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トール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を建設する東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画を推進している。2012 年度に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架台の部品製造は完了し、現在兵庫県播磨町で仮組み立てが進行中で、その全容を現しつつある。主鏡、副鏡、および第 3 鏡はアリゾナ大学/ミラーラボによって製造が完了している。さらに主鏡のミラーセル、主鏡能動制御のためのアクチュエータ (高地サイト対応) の製作および較正、主鏡セル試験他に使用するダミー主鏡の製作が完了した。

蒸着装置については、これまでに専用の台車・洗浄装置が完成し、蒸着試験を受けて TAO に最適化されたメインチャンバーの詳細設計も進められている。

エンクロージャは設計が完了し、国内にて部品の製作を進めている。また、並行して大阪府能勢町にてシステム全体の仮組み試験を実施している。各設備の設計が固まったことに伴い、山頂観測運用棟建設と山頂アクセス道路拡張の準備が進行中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V247a 近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の検出器駆動システムの開発と評価

寺尾恭範, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 北川祐太郎, 大橋宗史, 加藤夏子 (東京大学)

SWIMS は TAO 6.5 m 望遠鏡の第 1 期近赤外線観測装置であり、入射光を短波長側 ($0.91.4 \mu\text{m}$) と長波長側 ($1.42.5 \mu\text{m}$) に分割することによる 2 色同時観測や、撮像・多天体分光・面分光モードの搭載と迅速な切り替えといった特長をもつ。現在開発は最終段階にあり、2017 年度にすばる望遠鏡での試験観測を予定している。短波長側、長波長側それぞれの焦点面には HAWAII-2RG 検出器が 4 台ずつ計 8 台 (現時点では 2 台ずつの計 4 台) 搭載される設計で、これらにより広視野 ($\phi 9'.6$: TAO 6.5 m 望遠鏡搭載時) 撮像・多天体分光を実現する。

HAWAII-2RG はそれぞれが専用 ASIC(SIDECAR) および制御ボード (JADE2) で駆動され、それらを Windows 上の専用ソフトウェアで制御する。HAWAII-2RG の複数台同時駆動を実現するために、我々はサーバー・クライアント通信を用いた検出器制御システムを開発した。具体的には、短波長側、長波長側それぞれが検出器制御用 LinuxPC を有し、その上に各 HAWAII-2RG に対応する仮想 Windows マシンが構築され、内部で専用ソフトウェアを起動する。LinuxPC 上では SWIMS 全体を制御する上位マシンからのコマンドを受け付けるサーバーが走っており、受け取ったコマンドを解釈し、各 Windows マシン上の専用ソフトウェアをソケット通信で駆動する。

本講演では上記の駆動システムの構成と、本システムを用いて行った HAWAII-2RG 同時駆動試験の結果について報告する。複数台同時駆動時には、単独駆動時に比べ読み出しノイズが増加することが判明した。しかし、読み出し回数を増やすことによりノイズは減少し、複数台同時駆動時にも 32 回読み出し時で $\sim 8 e^-$ r.m.s. という低い値が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a 中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発状況と試験観測計画

内山允史, 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 岡田一志, 毛利清, 山口淳平, 尾中敬, 左近樹, 吉井讓, 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 諸隈智貴, 田村陽一, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 高橋英則, 小西真広, 北川祐太郎, 寺尾恭範, 大橋宗史 (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 は東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡に搭載される中間赤外線観測装置である。MIMIZUKU の開発は現在最終段階に入っている。フィルターホイール、スリットホイール等の冷却駆動系は本体に組み込んで試験を行い、冷却下で駆動することを確認した。また、すばる望遠鏡の観測システム Gen2 を通した装置全体の駆動試験を行い、主要コンポーネントのソフトウェアテストが完了している。検出器は近赤外線検出器 HAWAII-1RG の開発を進めており、MUX が正常に駆動していることを確認した (本年会山口他)。MIMIZUKU の鍵となる二視野合成機構 Field Stacker (以下 FS) は、前春季年会で報告した駆動の不具合を解決し、機械的な開発を終えている。さらなる検討事項として、FS を用いた二視野同時観測が全天でどれほど行えるのか AKARI 全天カタログデータを元に解析を行っており、TAO 望遠鏡搭載時は $9\ \mu\text{m}/18\ \mu\text{m}$ ソースの 99.9%, 59.6% で FS を利用できることが分かっている。また、TAO 望遠鏡搭載時の二視野間の角距離は最大 25 分角となるが、このとき発生する大気透過率の差異について miniTAO/MAX38 のデータを元に統計的な解析を進めている。

MIMIZUKU は 2017 年春にハワイへ輸送し、すばる望遠鏡を用いた試験観測を予定している。すばる望遠鏡は TAO 望遠鏡に比べて視野が狭く、特に Q バンドで二視野同時観測を行うことが難しい。現在、具体的な天体を含めた観測案を検討しており、この試験観測によって世界初の地上中間赤外線高精度観測の実証を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V249a 中間赤外線観測装置 MIMIZUKU 用 $5\mu\text{m}$ -cutoff HAWAII-1RG 検出器の駆動試験

山口淳平, 宮田隆志, 酒向重行, 上塚貴史, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 毛利清 (東京大学)

我々は中間赤外線観測装置 MIMIZUKU を東京大学アタカマ天文台 6.5 m 望遠鏡の第 1 期装置として開発している。MIMIZUKU は $2\text{--}38\ \mu\text{m}$ の広い波長範囲を覆うために 3 種の異なる検出器を搭載する。このうち最も短波長側 ($2.0\text{--}5.3\ \mu\text{m}$) を Teledyne Scientific & Imaging 社の HAWAII-1RG 検出器 (HgCdTe $5\ \mu\text{m}$ -cutoff) が担当する。この波長帯の特に長波長側の観測では、強い背景光による飽和を避けるために高速な読み出しが必要とされる。そこで我々は、駆動設定を柔軟に変更できる独自の読み出しシステムを開発して、高速な読み出しに最適な駆動条件を実験的に導出している。

今回、この読み出しシステムを用いて以下の 3 項目に関する HAWAII-1RG Multiplexer (MUX) の常温駆動試験を実施した。(1) 全ての画素情報が独立に正しく出力されるか、(2) 出力の直流電圧が正しい値か、(3) MUX 内部レジスタの変更により駆動設定を正しく変更できるか。結果、全ての項目について MUX の仕様を満たす結果を確認した。また、低温 (40 K) での MUX の駆動試験も同様に実施している。本講演では低温下での MUX の駆動試験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](#)

V250a 次世代中間赤外線装置における低温チョッピング実現に向けた超伝導リニアモーターの開発

毛利清, 宮田隆志, 上塚貴史, 高橋英則, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 山口淳平, 大崎博之, 広江貴 (東京大学), 本田充彦 (久留米大学), 片ざ宏一 (ISAS/JAXA), Chris Packham (UTSA)

地上中間赤外線観測においては、大気に起因する背景光の絶対量がかなり大きく、さらに1秒以下のタイムスケールで大きく変動する。そこで背景光の変動に対して十分早い周波数(5 Hz以上)で副鏡を振ることで視野を切り替え、取得した画像データの差し引きによって背景光の除去を実現してきた(副鏡チョッピング)。しかし望遠鏡の口径の巨大化に伴い、次世代装置においてはこの視野切り替えを装置内の鏡で実現する必要がある(低温チョッピング)。我々のグループでは、TMT 2期装置として計画されている中間赤外線観測装置 MICH I に用いる低温チョッパーの開発を行っている。低温チョッパーは、装置自体からの放射光を抑えるため、低温環境下(20–30 K)におかれ、ストローク(≥ 2.5 mm)、周波数(≥ 5 Hz)、静定時間(≤ 10 ms)、発熱(≤ 0.1 W)といった厳しい条件を満たしながら鏡を動かす必要がある。今回我々は MICH I の低温チョッパーのプロトタイプとして、東京大学アタカマ天文台第1期装置である、中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の低温チョッパー用のアクチュエーターを製作した。また、MIMIZUKU における低温チョッパー用の空間の制約から、超伝導線と、超伝導線よりも細線化可能な銅線の2種類の線材を用いて同型のコイルを製作し、限られた体積内に収めた構造における動作特性並びに発熱について比較実験を行った。実験の結果、動作特性並びに発熱共に超伝導コイルが有利と結論付けられたが、現状の超伝導コイルは臨界電流が低いいため、制御方法によっては超伝導線の方が不利になる可能性がある。本講演では、比較実験の結果と、制御等を含めた今後の課題について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V3. 観測機器】

3月15日(水)午後(13:00-15:04) [I会場]

V301a	13:00	軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (4) 森浩二(宮崎大学)
V302a	13:12	FORCE 高角度分解能 X 線望遠鏡に向けた多層膜と Si 基板の散乱測定 中野慎也(名古屋大学)
V303a	13:24	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 20:サブピクセルレベルでの X 線性能評価 (2) 玉澤晃希(東京理科大学)
V304a	13:36	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 21: 大面積 X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価 林秀輝(京都大学)
V305a	13:48	高角度分解能 X 線望遠鏡の概念検討 Yoshitomo Maeda(宇宙航空研究開発機構)
V306a	14:00	ダークバリオンの探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡開発の現状 関大策(名古屋大学)
V307a	14:12	防湿フィルムを接着した炭素繊維強化プラスチックの X 線反射鏡開発 横田翼(名古屋大学)
V308b	14:24	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を用いた X 線望遠鏡の開発 ー吸湿対策ならびに位置決め法の開発ー 粟木久光(愛媛大学)
V309b	14:24	X 線多重像撮像計、干渉計の概念検討 林田 清(大阪大学)
V310b	14:24	X 線多重像干渉計開発のための基礎実験 川端智樹(大阪大学)
V311a	14:36	太陽 X 線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究進捗 坂尾太郎(宇宙航空研究開発機構)
V312a	14:48	観測ロケットを用いた軟 X 線域における太陽コロナ 2 次元撮像分光観測の実証計画 成影典之(国立天文台)
V313b	15:00	太陽軟 X 線撮像分光観測に向けた高速 CMOS イメージングセンサー読み出しシステムの開発 石川真之介(宇宙航空研究開発機構)

3月16日(木)午前(09:30-11:30) [I会場]

V314a	09:30	重力波同期 X 線突発天体を探す超小型衛星計画の衛星搭載機器開発へ向けた現状 澤野達哉(金沢大学)
V315a	09:42	超小型衛星搭載を目指した重力波同期 X 線撮像検出器 T-LEX の開発 -バーストリガーシステム- 加川保昭(金沢大学)
V316a	09:54	将来のミッションへの搭載を目指した広視野小型全天モニターの研究 大下紗百合(宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V317a	10:06	軟 X 線広天域カメラの開発状況 富田洋(宇宙航空研究開発機構)
V318a	10:18	軟 X 線広天域監視装置 iWF-MAXI 用 X 線 CCD 検出器の基本性能と放射線劣化の評価 今井駿佑(東京工業大学)
V319b	10:30	Wide-Field MAXI 計画広天域硬 X 線観測モニターの開発 杉田聡司(東京工業大学)
V320b	10:30	ISS 搭載ガンマ線バーストの硬 X 線偏光観測計画 LEAP の現状 中森健之(山形大学)
V321b	10:30	MAXI アーカイブの開発と公開 海老沢 研(宇宙航空研究開発機構)
V322a	10:42	CALET ガンマ線バーストモニタ(CGBM)の軌道上における観測性能 中平聡志(宇宙航空研究開発機構)
V323a	10:54	SMILE-II+ 気球実験計画と軟ガンマ線撮像分光器の改良 水村好貴(京都大学)
V324a	11:06	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(12) 窪秀利(京都大学)
V325a	11:18	CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの試験状況と 2 号機以降用読み出し回路の開発 野崎誠也(京都大学)
V326c		次世代地上ガンマ線天文台 CTA を想定した超新星残骸の観測シミュレーション 池野祐平(東海大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [I会場]

V327a	13:30	X線カロリメータ用マイクロ波 SQUID マルチプレクサの開発現状	中島裕貴(宇宙航空研究開発機構)
V328a	13:42	超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (3-1)	山田真也(首都大学東京)
V329b	13:54	超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (3-2)	早川亮大(首都大学東京)
V330b	13:54	TES 型 X 線マイクロカロリメータ動作環境の構築と評価	星野晶夫(立教大学)
V331b	13:54	将来衛星に向けた積層配線 TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発	小坂健吾(首都大学東京)
V332a	14:06	MPPC を用いたマトリクス型ガンマ線偏光検出器の低エネルギー帯における高感度化	河合謙太郎(金沢大学)
V333a	14:18	硬 X 線偏光検出器 PoGOLite (PoGO+) 気球実験:2016 年フライトの結果	高橋弘充(広島大学)
V334c		硬 X 線偏光検出器 PoGOLite の読み出し回路の改良 (3)	大橋礼恵(広島大学)
V335a	14:30	X 線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗 (4)	玉川徹(理化学研究所)
V336a	14:42	X 線偏光観測衛星 PRAXyS 搭載 X 線望遠鏡用サーマルシールドの開発	三石郁之(名古屋大学)
V337a	14:54	PRAXyS 衛星に搭載する光電子追跡型 X 線偏光計の偏光角再構成法	北口貴雄(広島大学)
V338a	15:06	PRAXyS 衛星搭載の X 線ミラーと偏光計のビームラインによる性能評価	中野俊男(理化学研究所)
V339b	15:18	PRAXyS 衛星搭載 X 線望遠鏡サーマルシールド用ポリイミドフィルムの特性評価	菅沼亮紀(名古屋大学)

3月17日(金)午前(09:30-10:30) [I会場]

V340a	09:30	「ひとみ」(ASTRO-H) /SXS スペア Be 窓透過率の評価	星野晶夫(立教大学)
V341a	09:42	ひとみ (ASTRO-H) 搭載軟 X 線望遠鏡の Crab 観測による軌道上での性能評価	倉嶋翔(首都大学東京)
V342a	09:54	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡 (SXT) の軌道上での有効面積の評価	中庭望(首都大学東京)
V343a	10:06	X 線天文衛星「ひとみ」搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の軌道上性能と較正の現状 II	村上弘志(東北学院大学)
V344a	10:18	X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬 X 線望遠鏡 (HXT) の軌道上での性能評価 II	粟木久光(愛媛大学)

V301a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (4)

森浩二 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉大学), 久保田あや (芝浦工業), 中澤知洋, 馬場彩 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由 (東京理科), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸, 渡辺伸, 中島真也, 萩野浩一 (ISAS/JAXA), 松本浩典 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之, 武田彩希 (京都), 常深博, 中嶋大 (大阪), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 岡島崇, 山口弘悦, 森英之 (NASA/GSFC), 小高裕和 (Stanford), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域X線を 10 秒角にせまる空間分解能で撮像分光する小型衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。特に 10 keV 以上の硬X線帯域で達成する過去最高の角度分解能により、既存の硬X線ミッションと比較して1桁以上高い硬X線感度を達成する。FORCEの主たる科学目的は、宇宙のあらゆる階層において未だ見つかっていない「ミッシングブラックホール」を探索し、それをプローブとすることで宇宙の進化を解明することにある。ミッション機器は、高角度分解能を有するX線スーパーミラーと、軟X線から硬X線を1台でカバーする広帯域X線撮像検出器から構成される。現時点で2020年代に世界に確定した硬X線ミッションは存在せず、NuSTAR, ひとみから続く硬X線撮像分光の流れを、本計画が継承し発展させる。本講演では、2016年に変更した計画の内容、検出器および望遠鏡の開発状況、およびサイエンス検討の進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302a FORCE 高角度分解能硬X線望遠鏡に向けた多層膜とSi基板の散乱測定

中野慎也, 松本浩典, 田村啓輔, 佐治重孝, 小林洋明 (名古屋大学), Will Zhang, 岡島崇 (NASA GSFC)

銀河中心に潜む巨大ブラックホールの成長と進化を解明するために、小型衛星計画 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution) では、活動銀河核由来の X 線放射の重ね合わせである宇宙背景 X 線放射を、1-80 keV のエネルギー帯域において角度分解能 15 秒角以下で撮像分光観測する。本計画では、高角度分解能の Wolter-I 型薄板多重型 X 線望遠鏡を実現するため、NASA/GSFC により開発されている高精度形状シリコン薄板を、反射鏡基板として用いる。さらに、硬 X 線をブラッグ反射させるため、重元素と軽元素の薄膜を交互に積層した多層膜を基板表面に成膜する。しかし、多層膜を利用すると、正反射と異なる角度に出る反射光 (散乱光) のパターンがこれまでの全反射を利用したものと大きく異なる可能性がある。また、この反射光が基板に依存する可能性もある。

本研究では、フロートガラス平板 (30 mm × 70 mm、3 mm 厚) と、NASA/GSFC で作成された Si 基板 (ϕ 316 mm、長さ 100 mm、2 mm 厚) をサンプルとして使用する。これらのサンプルに、20 keV の X 線に対し、入射角が 0.4° でブラックピークをもつような Pt/C 多層膜 (膜厚 48.8 Å、重元素比 0.4、積層数 30) を成膜した。11 月に大型放射光施設 SPring-8/BL20B2 ビームラインを利用して、これらのサンプルにサイズ 0.04 mm × 4 mm の平行 X 線ビームを照射し、入射角を変えつつ反射プロファイルを取得した。20 keV の X 線に対する反射プロファイルを測定し、ブラッグ反射に加えて、correlated roughness に起因すると思われる散乱光を検出した。また、30 keV の X 線に対しても反射プロファイルを測定し、同様な結果が得られた。本講演ではこれらの結果の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V303a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 20:サブピクセルレベルでのX線性能評価 (2)

玉澤晃希, 小木曾拓, 大野顕司, 根岸康介, 鎌田敬吾, 幸村孝由 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一, 林秀輝 (京都大学), 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真 (宮崎大学), 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 中島真也 (ISAS)

我々は、次世代のX線天文衛星に搭載するSOI技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器(X線SOIPIX)であるXRPIXを開発している。XRPIXは、各ピクセルに反同時計測を可能にするためのイベントトリガー出力機能やノイズを低減するためのCDS機能を兼ね備え、広いエネルギー帯域(0.5~40 keV)を高い時間分解能(数 μ s)で観測することを目標としている検出器である。

先行研究により、初期のXRPIXであるXRPIX1bにおいて、ピクセル境界付近では、電荷収集効率が低く、X線の検出効率がピクセル中心部に比べ最大で90%程度低くなっていた。これは、ピクセル回路の電位が空乏層内の電場構造を歪めることが原因であったが、シミュレーション結果より、ピクセル回路をBPW(Buried P-Well)に沿って配置することで電場構造の歪みが改善することが分かり、ピクセル回路の配置を改良した素子(XRPIX2b以降)を作成した。

本研究では、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設(KEK-PF)のビームラインBL-11A,Bにおいて、ピクセル回路の配置を改良した素子である裏面照射型XRPIX3bに対し $\phi=5\mu\text{m}$ まで絞ったビームを $6\mu\text{m}$ ピッチで照射し、ピクセル内でX線の相対検出効率の一様性の評価実験を行った。その結果、相対検出効率は、最大でも30%程度に抑えられていることが分かった。本講演ではその詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 21: 大面積X線SOIピクセル検出器の性能評価

林秀輝, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 武田彩希, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一 (京大理), 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 中島真也 (ISAS), 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真 (宮崎大工), 幸村孝由, 玉澤晃希, 根岸康介, 大野顕司, 鏑田敬吾 (東理大理工), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静大工)

我々は、次世代のX線天文衛星搭載に向けて、X線SOIピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIXは、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。各ピクセルに比較器回路を持ち、ヒットタイミング・ヒットパターンを出力させるイベントトリガー機能を備えている。これにより、「イベント駆動読み出し」というX線による信号のみの選択的な読み出しを可能とし、 $\sim 10 \mu\text{s}$ の時間分解能を実現する。これは、X線CCDの時間分解能 \sim 数sを大きく上回り、非X線バックグラウンドを除去する反同時計数法を用いることができる。このことにより、XRPIXは0.5–40 keVの広帯域撮像分光を実現する。

今回、我々は、XRPIX5というXRPIXシリーズの中でも大面積である素子の開発を行った。有効面積は24.6 mm \times 15.3 mm、ピクセルサイズは36 μm 角、ピクセル数は608 \times 384である。XRPIX5のフレーム読み出しによるX線スペクトルの取得に成功し、読み出しノイズは $\sim 37 e^-$ (rms)だと分かった。また、エネルギー分解能は、Mn-K α (5.9 keV) で ~ 420 eV (FWHM)である。さらに、領域ごとのゲインの違いを調べたところ、18.4–18.8 $\mu\text{V}/e^-$ であまり差のないことが分かった。大面積であることで性能が変化しないかどうかの検証を進めるとともに、イベント駆動での読み出しも行う。本講演では、それらの評価結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305a 高角度分解能 X 線望遠鏡の概念検討

前田良知, 飯塚亮, 石田学 (ISAS/JAXA), 林多佳由 (GSFC/NASA, 名古屋大学)

X 線望遠鏡は像の集光撮像を実現するため、天体の位置情報を取得することができる。1978年に打ち上げられた Einstein 衛星に搭載された X 線望遠鏡が天体の X 線像を取得して以来、X 線を用いた宇宙の理解は大きく進んでいる。いまでは、10 keV 以下の軟 X 線バンドでは Chandra 衛星 (1999 年打ち上げ) の 0.5 秒角、10keV から 80keV までは NuSTAR (2012 年) の 1 分角が実現され、現在のところ最高の解像度を提供している。今後は、この角度分解能を大きく越える望遠鏡の実現が望まれている。

現在実現されている角度分解能を大きく越える高角度分解能の光学系としては、X 線干渉計や X 線補償光学などを用いた高角度分解能の観測装置の提案はあるが、どれもエネルギー範囲が極端に狭いか、有効面積が極端に小さい。そこで、当研究では、大有効面積・高角度分解能を併せ持つ望遠鏡の概念検討を行った。

宇宙史における至上命題である巨大ブラックホールの成長の理解のため、銀河中心核への質量降着機構の解明が強く望まれている。降着円盤及びその質量供給を担うトーラスの両方の輻射を捉えることができる X 線は、その解明の有力な波長域である。当検討で想定した角度分解能で、どのような X 線放射が見えてきそうか、などの議論も行う。また、今後の地上実証計画等も議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306a ダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射型 X 線望遠鏡開発の現状

関大策, 萬代 絢子, 馬場崎 康敬, 菅沼 亮紀, 石原 雅士, 大塚 康司, 二村 泰介, 田原 譲, 三石 郁之 (名古屋大学)

ダークバリオン探査衛星 DIOS 用の望遠鏡として、600 mm の大口径、1200 mm の短焦点距離を有する 4 回反射型 X 線望遠鏡 (FXT: Fou-stage X-ray Telescope) の開発を進めている (萬代他 2016 年秋季年会 V339a 等)。FXT は従来の 2 回反射の光学系を 4 回反射に拡張することで、広視野かつ大有効面積を実現する一方、反射鏡の形状誤差や位置決め誤差が結像性能に顕著に影響する。これらを解決するためアラインメントプレート方式により反射鏡を 4 段一体で支持する機構を採用してきたが、現状のプレートの加工精度および基板の形状精度では大幅な改善には至っていない。そこでこのプレート一つ一つに動径方向の位置調整機構を持たせることで改善を試みたが、隣り合うプレートが独立に動かないこと、また結像位置が二次元的に動いてしまうことにより、プレート配置の最適化工程を確立できていないのが現状である。

今回我々は、プレート動径位置の最適化工程の確立を目指すとともに、結像性能改善に向け、プレート中にある反射鏡挿入溝の遊びを実効的にゼロにすることができる、2 枚 1 組のアラインメントプレートの製作も試みた。プレートの厚みは薄くなったものの、おおよそ加工精度としては従来と同程度の $10 \mu\text{m}$ 程度であることが分かった。現在進めている可視光および X 線を用いた照射試験の結果を踏まえ、新アラインメントプレート方式の有用性も定量的に調べていく。またハウジングに組み込んだ状態での反射鏡の 3 次元表面形状を調べるため、ミニチュア版のハウジング設計および製作を行った。この形状測定結果と結像イメージを突き合わせ、分解能劣化要因の切り分けを行い、反射鏡製作工程にもフィードバックをかけたい。本講演では上記内容の詳細報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V307a 防湿フィルムを接着した炭素繊維強化プラスチックの X 線反射鏡開発

横田 翼, 島 直究, 松本 浩典, 三石 郁之 (名古屋大学), 粟木 久光, 岩切 駿, 大上 千智, 西岡 裕起 (愛媛大学), 石田 直樹 (玉川エンジニアリング)

X 線望遠鏡は 2 種類の反射鏡を組み合わせた Wolter I 型光学系が用いられている。その中でも日本の X 線望遠鏡は、厚さ約 0.2 mm の反射鏡を同心円上に多数配置した多重薄板型で、高い集光力を実現している。一方、アルミニウム薄板を基板として用いた現状の反射鏡では、角度分解能は数分角に制限される。角度分解能の向上には、高精度形状の X 線反射鏡が必須である。そのため我々は炭素繊維強化プラスチック (以下、CFRP) に着目し、より薄く軽い高精度形状の基板開発を進めている。CFRP はアルミニウムと比べ比重が約 2/3 倍、比弾性率が約 17 倍と軽量かつ高剛性である。さらに任意な形状への成形が容易であるため Wolter I 型光学系を再現した二段一体型反射鏡の開発が可能になる。

CFRP は吸湿により経年変化するため、現在は防湿フィルムを表面に接着した 1/4 周 Wolter I 型の CFRP 基板 (200 mm、各段 150 mm) を製作している。鏡面形成はガラス母型に反射膜を成膜し、それをエポキシ接着剤を用いて基板に転写させるレプリカ法を用いている。しかし、防湿フィルムがエポキシ接着剤を弾いてしまい、鏡面全体に欠損の多い反射鏡となった。そこで今回は防湿フィルムを接着した場合でも良好な反射鏡が製作できる条件を調査した。その結果、エポキシ接着剤の硬化条件を 50 14 時間 + 常温 24 時間以上とすることで欠損が少なく、今まで問題になっていたプリントスルー (2015 年秋季年会 吉岡報告) を抑制した反射鏡を製作することに成功した。また、大型放射光施設 SPring-8 にて反射鏡の性能評価を行った。その結果、最も良い角度分解能は 33 秒角となった。本講演では、CFRP 反射鏡開発の現状と成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308b 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を用いた X 線望遠鏡の開発 — 吸湿対策 ならびに位置決め法の開発 —

粟木久光, 岩切駿, 大上千智, 西岡裕起 (愛媛大学), 横田翼, 島直究, 松本浩典, 三石郁之 (名古屋大学), 石田直樹 (玉川エンジニアリング)

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は、炭素繊維と樹脂から構成される複合材料であり、強度を密度で割った比強度が大きく、軽量・強度が要求される航空・宇宙関連分野で構造系部材としてよく用いられている。また、熱膨張率もほぼ 0 であり、温度変化に対する形状安定性が求められる用途で使われることが多い。この CFRP の物理特性は望遠鏡の大型化軽量化に適したのようになっており、我々は宇宙観測用望遠鏡の基板候補として開発を進めてきた。しかし、CFRP は、樹脂部が大気中の水分を吸湿し変形する膨潤変形という欠点を持っており、この欠点は CFRP を宇宙または真空中で使用する場合、樹脂内の水分が放出され、変形することをも意味している。このため膨潤変形は CFRP を反射鏡などの光学素子として長期間使用する際の大きな課題となっている。

我々は、CFRP を用いた X 線望遠鏡の開発を目的に、吸湿対策を調査し、CFRP 表面にバリア面を形成することで吸湿に対して有効であることを明らかにした。これまでは平面基板に対しての抑制効果の評価であったが、今回は初めての円筒基板に対しての評価となる。また、X 線望遠鏡の場合、有効面積を大きくするために反射鏡基板を何層にも重ねて組み上げる必要があり、高角度分解能を実現するには、基板形状だけでなく、基板の位置決め精度も要求される。我々は、「ひとみ (ASTRO-H)」衛星搭載硬 X 線望遠鏡において、アライメントバーをピエゾアクチュエータを使って μm オーダーで位置決めする方法を確立しており、現在、この方法を発展させた一枚の反射鏡を精密に位置決めする方法を開発中である。本講演では、現在開発中の成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309b X線多重像撮像計、干渉計の概念検討

林田 清、川端智樹、中嶋 大、井上翔太、常深 博（大阪大学）

我々は、光学系を用いない新しいタイプのX線撮像計、干渉計を提案している。構造は、規則的な周期の格子とX線分光撮像検出器を組み合わせた単純な形式で、天体からやってくる準平行光が格子を透過してつくる像を撮影する。像は格子と同じ周期をもつので、それを解析で重ね合わせることでX線天体のプロファイルが測定できる。格子が十分な厚みがあればどのような波長のX線も利用できる。これをX線多重像撮像計と呼ぶことにする。

ただし、回折が効く場合にはそれにより像が広がる。ところが、格子から特定の距離で光子の干渉自己像ができるというタルボ効果を利用すると、回折が効く場合でも格子の像を得ることができる。自己像ができる距離は、格子の周期を d としてX線の波長を λ とすると、 d^2/λ の整数倍である。検出器の位置を固定した場合、特定の波長のX線だけ選別する必要があるが、それが可能であれば単純な構造の干渉計として働く。これをX線多重像干渉計と呼んでいる。5 μm ピッチの回折格子を使い、0.1nm(12keV)のX線を対象とすると、第一周期の像ができる距離は25cm、自己像の幅は2秒角に対応する。パラメータ最適化でChandra衛星を超える角度分解能を小型衛星で実現できる可能性もある。

いずれの場合にも、集光はしないのでコリメータが必要で、対象も明るい天体に限られる。具体的な衛星ケースに関して構成と課題を紹介する。干渉計の場合、自己像のプロファイルを得るためには特定の波長の周囲どのくらいのバンド幅を使用できるかという問題もある。これに関しては、フレネル回折で検討を行った。厳密な自己像ではなく格子幅程度のプロファイルを得ることを目標にすれば、 $\Delta\lambda/\lambda \sim 0.1$ 程度は利用できる見込みであることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310b X線多重像干渉計開発のための基礎実験

川端智樹、林田 清、志村考功、細野 凌、中嶋 大、井上翔太、常深 博(大阪大学)

X線天文衛星の角度分解能は、Chandra衛星搭載の望遠鏡が達成した0.5秒角が最高であり、これを超えることは容易ではない。より高い角度分解能の撮像をめざしたX線干渉計画も提案されているが、精密な光学系が要求される。我々は、光学系を用いない新しいタイプの干渉計、X線多重像干渉計を提案している。構造は、数 μm ピッチの回折格子とX線撮像分光検出器だけを組み合わせた単純な形式で、タルボ効果によりできる多数の格子自己像を利用する。5 μm ピッチの回折格子を使い、0.1nm(12keV)のX線を対象とすると、第一周期の像ができる距離は25cm、自己像の幅は2秒角に対応する。パラメータ最適化でChandra衛星を超える分解能も見込める。

現在、基礎実験として、マイクロフォーカスX線源(60kV,Wターゲット)と2種類のX線回折格子(8 μm ピッチ10 μm 厚Au,4.8 μm ピッチ17 μm 厚Au)、ピクセルサイズ30 μm のXRPIX2b検出器を組み合わせた装置で格子像の拡大撮影を行っている。XRPIXは露出時間5msの光子計数フレームモードで動作させた。シングル、ダブルピクセルイベントを区別し、後者は電荷分割の情報を活用することでサブピクセルの位置分解能をめざした。X線源とXRPIXの距離は固定して、格子の位置を変えることで、拡大率を調整する。拡大率25倍、14倍の設定では、それぞれ、周期4.0ピクセル、2.3ピクセルの像プロファイルが明瞭に検出できたが、これらは干渉条件を満たさない位置なので格子の影絵ととらえるべきである。一方、拡大率10倍では周期プロファイルの振幅は微弱になり、拡大率5.2倍で再び0.8ピクセル周期のプロファイルを検出できた。最後の設定が干渉条件を満たす位置であることから、干渉縞を検出したと考えている。以上の解析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](#)

V311a 太陽 X 線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究進捗

坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至, 後藤拓実, 山田純平, 安田周平, 山内和人 (阪大工), 香村芳樹 (理研 SPring-8), 末松芳法, 成影典之 (国立天文台)

将来の太陽 X 線観測で、軟 X 線コロナをサブ秒角で撮像観測することをめざし、高精度の Wolter I 型斜入射 X 線ミラーを国内開発するための研究を、試作と X 線評価を通じて進めている。試作しているミラーは、回転放物面・回転双曲面をガラスセラミック基板に一体成形し、斜入射角は 0.45° 、焦点距離 4 m である。10 keV 程度の X 線にまで反射率を確保するために、ミラー面には Pt を蒸着。有効面サイズは、放物面部・双曲面部とも、光軸方向約 3 cm × 幅 1 cm である。

一昨年度の試作検討では、SPring-8 BL29XUL ビームラインのほぼ平行な X 線ペンシルビーム (8 keV) を用いた集光性能の評価計測から、ミラーの面内方向・面外方向とも集光スポットの FWHM 約 0.2 秒角を確認したが、スポットのすぐ外側に存在する散乱 X 線成分により HPD (Half Power Diameter) が約 3 秒角にとどまっていること、また、面外方向の焦点距離が設計値より 1 割ほど短い (ミラーの sag が設計値より 6.5 nm ずれている) ことが判明した。これらの結果をふまえ、昨年度から今年度にかけて、1 mm 前後の中間空間スケール帯の形状誤差振幅をさらに 1/2 程度低減するための研磨工程 (決定論的研磨と平滑化研磨の組合せ) の検討や、形状計測器が持つ nm レベルの系統誤差の徹底した抑え込みを進めた。その結果、研磨完了時の形状計測結果からは 8 keV の X 線に対して約 0.1 秒角の HPD が期待される Wolter 表面を創成し得た。また、前述の sag ずれは、計測器の系統誤差に起因するとして矛盾のないことも特定した。ミラーの高精度研磨・計測の内容と、2016 年 12 月に SPring-8 で実施予定の X 線計測の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312a 観測ロケットを用いた軟X線域における太陽コロナ2次元撮像分光観測の実証計画

成影典之 (国立天文台), 石川真之介, 川手朋子, 坂尾太郎 (ISAS/JAXA)

太陽コロナはダイナミックに活動する多様なプラズマで満たされており、未解明である諸現象（リコネクションに関連するショック構造、粒子加速、コロナ加熱など）の物理を解明するためには、プラズマの空間構造、時間変化、エネルギー分布を同時に取得する必要がある。だが、これまでのコロナ観測（極端紫外線軟X線帯域での観測）では、太陽の諸現象に見合った視野・分解能で、これらを同時に取得することは出来ていない。

しかし、近年の技術発展により、3つの情報の同時取得に道筋が見えてきた。その方法は、軟X線のエネルギーに比例した信号を出力するシリコン2次元ピクセル検出器を用い、複数個の光子が検出器に入射するよりも速く連続撮像することで、光子1個1個のエネルギーを、位置情報・時間情報と共に測定するというものである。コロナ中の諸現象のライフタイム（数秒から数十秒）を考えると、1秒間に1,000枚程度以上の速さで連続撮像することが必要であるが、CMOS技術の進展により、この高速連続撮像が、低ノイズと高い軟X線感度と両立して可能となったのである。そこで我々は、最新の裏面照射型CMOSセンサーを用いて、軟X線光子計測用・高速度2次元撮像分光カメラを開発中であり、その実現に目処を付けた。

このカメラは、FOXSI-3ロケット（NASAに採択済みのFOXSI3度目の飛翔計画で、2018年夏の打ち上げ予定）に搭載し、世界初となる軟X線域（0.5 keV – 10 keV）の2次元撮像分光観測を実施する計画である。FOXSI-3ロケット実験への参加は、太陽軟X線2次元撮像分光観測の科学的意義の証明と、技術的実証の絶好の機会であり、本ロケット実験を土台として、衛星ミッションへと展開を図りたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313b 太陽軟 X 線撮像分光観測に向けた高速 CMOS イメージングセンサー読み出しシステムの開発

石川真之介 (ISAS/JAXA), 成影典之 (国立天文台)

我々は、0.5–10 keV の軟 X 線領域において史上初の太陽 2 次元撮像分光観測を実現するため裏面照射型の高速 CMOS カメラの開発を行っており、2018 年夏に打ち上げ予定の FOXSI-3 ロケットに搭載して最初の観測を行う予定である (詳細は成影他が講演予定)。太陽軟 X 線観測では、現象のタイムスケールの短さからイメージングセンサーの高速読み出しが必要であり、FOXSI-3 では 1000×100 pixel 以上の領域を 1 秒間に 1000 フレームという高速で読み出す予定である。このフレームレートを実現させるには、データレート 1.2 Gbps 以上という高速の読み出しを行う必要がある。また、このような高いデータレートは FOXSI-3 で使用予定の現状のテレメトリシステムで地上に送信することは不可能であるため、ロケットでの観測時間中のデータを保存する、大容量のデータストレージが必要である。

FOXSI-3 においてこのような高速読み出しを実現させるため、搭載予定の CMOS イメージングセンサーの駆動およびデータ読み出しを行うシステムの試作を行った。この試作システムは、1 Tb の容量を持つ NAND タイプの不揮発性フラッシュメモリを搭載し、センサーから出力されるデータを保存できるようになっている。このシステムは正常に動作し、センサーを駆動させ、センサーから 2.4 Gbps で出力されるデータを読み出してフラッシュメモリに書き込み、イメージを取得することに成功した。本講演では、太陽軟 X 線観測において読み出しシステムに要求される性能、試作システムの構成と試験結果、フライト品開発に向けた計画を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314a 重力波同期 X 線突発天体を探す超小型衛星計画の衛星搭載機器開発へ向けた現状

澤野達哉, 米徳大輔, 吉田和輝, 加川保昭, 河合謙太郎, 伊奈正雄, 太田海一, 南雄己 (金沢大学), 三原建弘 (RIKEN), 池田博一 (ISAS/JAXA)

Advanced LIGO により 30 太陽質量をもつブラックホール連星の存在が発見された。今後、2018 年頃へ向けて Advanced LIGO、Advanced Virgo、KAGRA による重力波干渉計ネットワークが構築され中性子星連星やブラックホール中性子星連星の合体・衝突による重力波の観測が期待されている。しかし、数十平方度から数百平方度にわたる重力波干渉計の方向決定精度では母銀河の同定を行うことができず、高密度天体同士の連星がつけられる環境を解明することはできないため、電磁波との同時観測が重要となる。特に、高密度連星の合体衝突で生じるといわれている短時間ガンマ線バーストは重力波に同期する格好の電磁波突発天体である。さらに、合体時に放射される重力波と短時間ガンマ線バーストの初期放射との到達時間差を測定することで、合体直後の爆発および輻射メカニズムモデルへの制限も期待される。

我々は、これらの背景を踏まえ、重力波に同期した X 線突発天体を監視する超小型衛星計画を、2018 年度の打ち上げを目指して進めている。X 線突発天体の発生時刻と発生方向を地上に通報し、可視光・近赤外線望遠鏡などによる追観測を促すことで重力波候補天体の母銀河の同定に貢献する。観測装置として視野 1 ステラジアン、15 分角の方向決定精度をもつ符号化マスクを用いた X 線撮像検出器を搭載予定であり、これまでにエンジニアリングモデルを開発してきた。本講演では、科学的背景およびこれまでの観測機器開発の顛末、さらに今後のフライトモデル製作へ向けた課題と期待される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](#)

V315a 超小型衛星搭載を目指した重力波同期X線撮像検出器 T-LEX の開発 -バーストトリガーシステム-

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉, 吉田和輝, 伊奈正雄, 太田海一, 南雄己 (金沢大), 三原建弘, 久徳浩太郎 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

2018年にはAdvanced LIGO, Advanced Virgo, KAGRAによる重力波干渉計ネットワークが本格稼働し、連星ブラックホールに加えて様々な高密度星を起源とした重力波の観測が期待されている。一方で、重力波干渉計の到来方向の決定精度は数10平方度と粗いため、重力波源の母銀河を同定し多波長による望遠鏡の追観測へ至るには重力波と同期した電磁波放射の同時観測が重要である。特に短時間のガンマ線バースト(SGRB)は、重力波と同じく連星中性子星の衝突合体時に発すると考えられていることから、同時観測の絶好のターゲットであるとともに、連星合体時の重力波放射とX線放射の時間差を議論することでブラックホールの形成メカニズムや相対論的ジェットの駆動源を解明することも期待できる。

我々は、重力波と同期した突発X線を監視する金沢大学独自の超小型衛星計画を進めており、2018年度の打上げを目指している。搭載する広視野X線撮像検出器(Transient Localization Experiment:T-LEX)は1次元符号化マスクとシリコンストリップのセンサーで到来方向を決定する構成となっており、信号読み出し用集積回路(ASIC)を外部のFPGAで制御している。また、FPGAでは撮像データの画像処理機能などのデータエンコーディングも行う予定である。本講演ではジェット駆動源の議論に必要な時間精度を述べ、FPGA上に構築した同時間間隔での光度曲線作成機能や、そのバースト検知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](#)

V316a 将来のミッションへの搭載を目指した広視野小型全天モニターの研究

大下紗百合, 桂川美穂, 内田悠介 (東大, ISAS/JAXA), 武田伸一郎 (OIST), 萩野浩一 (ISAS)
渡辺伸, 高橋忠幸 (ISAS/JAXA, 東大)

コーデットマスクを用いたイメージングは、全天モニター天文衛星による天体からの硬 X 線、軟ガンマ線の検出において広く用いられてきた。我々は、ひとみ衛星の硬 X 線撮像検出器 (HXI) に用いられた、両面ストリップ CdTe 検出器 CdTe-DSD (CdTe Double-sided Strip Detector) の性能を生かし、100 keV 前後の硬 X 線にまで感度のある、広視野で小型の全天モニターの開発を進めている。

CdTe-DSD は $250 \mu\text{m}$ の位置分解能を持つ。求められる角度分解能を確保するために、コーデッドマスクの穴径を検出器の位置分解能と同程度とし、さらに、検出器との距離を数 cm 程度に近づけたマイクロコーデッドマスクシステムが実現可能である。我々は、ランダムなパターンをもったコーデットマスクの他、URA や MURA のパターンを用いた実験をおこなった。検出器とマスクの距離を 7cm とした場合、マスクの穴径 0.4mm に対して角度分解能 24arcmin を得ることができている。さらに、URA や MURA はランダムなマスクに比べ画像再構成の際の雑音を小さくすることができるが、ゴーストの観点で、広い視野の確保が難しいことが実験からも確認された。また、検出器やハウジング、さらにコーデッドマスクを再現したシミュレーションソフトの開発を行い、できるだけ広い視野を得ながら、硬 X 線源に対する感度を向上させるためのシミュレーションを進めている。本講演では、イメージの一様性の観点からの CdTe-DSD の性能評価、コーデッドマスクの種類に応じたイメージ特性について測定結果をまとめる。また、マスクおよび検出器の構成の違いによる、イメージング性能や感度の評価を X 線背景放射などのバックグラウンドのもとで、シミュレーションにした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](#)

V317a 軟 X 線広天域カメラの開発状況

富田洋 (ISAS/JAXA), 今井駿介 (ISAS/JAXA, 東工大), 河合誠之, 谷津陽一, 磯部直樹 (東工大理), 有元誠 (早稲田大), 幸村孝由 (東京理科大), 三原建弘, 芹野素子 (理研)

重力波が 2015 年に検出され宇宙科学は新たな時代を迎えた。これに対し WF-MAXI 計画では、全天 X 線監視装置 (MAXI) からの発展を念頭に重力波イベントや 線バース現象などからの軟 X 線領域での検出と位置速報を目指している。WF-MAXI の軟 X 線カメラは SLC (Soft X-ray Large-Solid-angle Camera) と呼ばれ、国際宇宙ステーション「きぼう」船外実験プラットフォームの利用を想定して最適化を行っている。SLC では瞬時における大きな視野を確保するため符号化マスクを用いることとし、高電圧を用いずに 1keV 以下で大きな有効面積を得るために大型の X 線 CCD 素子を array 化することとした。一方「きぼう」では視野方向が移動するため、正確な位置決定のためには高速での CCD 読出しが必要となる。よって CCD は 1 次元加算駆動で高速で全ピクセルを讀出し、符号化マスクは CCD の加算方向に対応した 1 次元型を 2 セット (2 方向) 持つこととした。また、MAXI の CCD カメラから駆動方法を改良して ASTOR-H でも使用したマイクロコードを取り入れた。CCD は浜松ホトニクスと共同開発してきた P チャネル型の素子で、 $200\mu\text{m}$ の空乏層厚と裏面照射により広いエネルギー帯域を持つ。これをエネルギー分解能よりも暗電流低減に重きをおき最適化している。CCD の冷却は ASTRO-H でも採用された 1 段のスターリング冷凍機の使用が第一候補であり、「きぼう」の循環冷媒を使用した排熱を目指している。ペルチェ素子とラジエタを用いた宇宙空間への排熱も候補であるが、到達温度にマージンがなく feasibility が課題である。熱設計では符号化マスクの太陽光による高温化も課題であり、表面処理を変えての光学値測定も行った。本講演ではこれら SLC の開発状況をまとめて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V318a 軟 X 線広天域監視装置 iWF-MAXI 用 X 線 CCD 検出器の基本性能と放射線劣化の評価

今井駿佑 (ISAS/JAXA, 東工大), 富田洋 (ISAS/JAXA), 河合誠之, 谷津陽一 (東工大), 有元誠 (早稲田大), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 安田弘平 (東京理科大), 他 iWF-MAXI チーム

軟 X 線広天域監視装置 iWF-MAXI は、世界初の本格的な広天域軟 X 線突発天体監視装置である。X 線連星の活動の監視やガンマ線バーストの位置通報とともに、2015 年から直接検出され始めた重力波の X 線対応天体の探索や、未だによく調べられていない軟 X 線領域の突発現象の初期観測を重要な科学目標としている。

それらを達成するため、iWF-MAXI には軟 X 線 CCD カメラである SLC (Soft X-ray Large solid-angle Camera) が搭載される。SLC では軟 X 線で大きな有効面積を得るために新規開発の大型 X 線 CCD を 16 素子使用し、また十分な位置決定精度を得るため 16 素子を 1 秒以下の周期で読み出す。しかし、過去の実績から CCD 等の半導体デバイスは宇宙放射線による劣化が予想され、その度合いによってはミッションの達成に大きく影響してしまう。よって、CCD の放射線による劣化を打ち上げ前に評価しておくことが非常に重要である。

本研究では、まず新規開発の CCD の基本性能の評価を行った。次に、CCD に実際の運用中に予想される量の放射線を照射し、その性能劣化の様子を評価した。その結果、基本性能としてはエネルギー分解能が 180eV (@5.9keV)、電荷転送損失率 (CTI) は 4.5×10^{-6} /pixel 以下であることがわかり、また放射線による劣化具合はひとみ衛星搭載の CCD と同程度であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319b Wide-Field MAXI 計画広天域硬 X 線観測モニターの開発

杉田聡司, 針田聖平, 磯部直樹, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 有元誠 (早稲田大学), 池田博一 (ISAS), 富田洋, 上野史郎 (JAXA), 三原建弘, 芹野素子 (理化学研究所), 吉田篤正, 坂本貴紀 (青山学院大学), 常深博 (大阪大学)

広天域硬 X 線モニター (HXM) は、重力波イベントからの X・ガンマ線放射の検出および位置決定を狙う ISS 搭載ミッション Wide-Field MAXI に向け開発を進めていた検出器である。ただし Wide-Field MAXI の打ち上げが現在未定のため、我々は他のミッションへの参加や超小型衛星による打ち上げ機会も想定して BBM まで製作した機器の評価・試験を行ってきた。

HXM は重力波イベントからの検出が期待される X・ガンマ線放射 (Short GRB 等) の短時間変動とスペクトルを取得し、発生天体の同定を目的とした検出器である。その構成は アバランシェフォトダイオード (APD) と Gadolinium Aluminum Gallium Garnet (GAGG) 結晶を組み合わせたシンチレータの 1 次元アレイであり、24 アレイで 20 keV – 1 MeV で 120 cm² の有効面積を持つ。我々は複数 APD からの信号の同時読み出し用に低消費電力・広ダイナミックレンジ・32 チャンネルの LSI を設計/開発し、APD+GAGG との組み合わせによる実測定において性能要求である 20 keV 以下のエネルギー閾値にノイズを押さえる LSI の製作に成功した。また放射線耐性の評価として若狭湾エネルギー研究所において軌道上 10 年分の陽子ビーム照射試験を行い、その結果ビット反転は起こらず波高値の変化も較正可能な範囲であることを検証した。このマルチチャンネル LSI の読み出し回路の BBM を製作し、これら HXM コンポーネントを組み合わせた評価試験を行っている。

本講演ではこれまでの HXM の開発のまとめと BBM コンポーネントの評価試験の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V320b ISS 搭載ガンマ線バーストの硬 X 線偏光観測計画 LEAP の現状

中森健之, 郡司修一, 老川由馬, 高倉美華, 上田達也, 齋藤耀, 原嘉孝, 稲田海斗 (山形大学), 三原建弘 (理研), 當真賢二 (東北大学), 坂本貴紀 (青山学院大学), 林田清 (大阪大学), 米徳大輔 (金沢大学), 岸本俊二, 岸本祐二 (KEK), 齋藤芳隆 (ISAS/JAXA), 高橋弘充 (広島大学), 谷津陽一 (東京工業大学), Jessica Gaskin, Stephen Daigle, Brian Ramsey, Colleen Wilson-Hodge (NASA/MSFC), Mark McCornel, Peter Bloser, Jason Legere (UNH), Robert D. Preece (UAH), 他 LEAP collaboration

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストは、即時放射の継続時間によって大きく2種類に分類される。そのうちの1つであるロングバーストは数秒より長い継続時間を持ち、遠方にある大質量星の重力崩壊崩壊に伴って放出されるジェットを正面から見ていると考えられている。ガンマ線バーストの即時放射の発生機構は長年議論が続いており、決着をつけるためには硬 X 線の偏光度計測が強力な手段となる。放射シナリオによって期待される硬 X 線偏光度の分布が異なるため、多数のガンマ線バーストに対して偏光度の測定やモデルを制限する上限値を与えることが必要となる。我々はガンマ線バーストの硬 X 線偏光を国際宇宙ステーション (ISS) に搭載することを目指した Large Area Polarimeter (LEAP) 計画を進めている。検出器はプラスチックシンチレータと無機シンチレータの2次元アレイで構成されており、偏光方向に対するコンプトン散乱の異方性を利用して偏光度を計測する。衛星よりも重量と電力の制約が少ないISSを利用することにより、大面積の偏光計を搭載することができる。2年間のミッション期間の間に数10例の有為な偏光度計測(放射モデル依存)が期待され、これまでにない統計で放射シナリオを識別することができる。本講演ではプロジェクト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](#)

V321b MAXI アーカイブの開発と公開

海老沢 研, 中平 聡志, 菅原 泰晴, 上野 史郎, 富田 洋 (JAXA), 三原 建弘, 杉崎 睦, 志達 めぐみ, 芹野 素子 (理研), 根来 均 (日大), 中川 友進 (JAMSTEC), Lorella Angelini (NASA/GSFC)

MAXI は 2009 年に国際宇宙ステーション (ISS) 曝露部に設置された全天 X 線モニター装置である。ISS 周回方向と直交する細長い視野で、全天をスキャン観測する。特殊な観測方法を採用しているため、MAXI のデータ処理は指向観測を行う X 線天文衛星に比べると複雑である。そのような MAXI データを一般ユーザにも広く活用して貰うため、あらかじめ作成された主要天体の光度曲線が、理研から公開されている (<http://maxi.riken.jp>)。また、ユーザはウェブブラウザから理研の解析システムを実行し、観測時期と天域を指定してデータを解析することができる。しかし、理研のシステムは自由度が少なく、また MAXI 観測運用終了後は継続されない可能性が高い。そこで、私たちは、長期的なデータ保管、公開利用を見据え、恒久的な MAXI データアーカイブの開発を進めてきた。MAXI アーカイブは、JAXA の科学データセンターである DARTS (<http://darts.isas.jaxa.jp>) から公開される。データと解析ツールは国際的なデータセンターである NASA の HEASARC が提唱する形式に従っており、HEASARC から公開される。MAXI が取得した時系列 X 線イベントデータは、全天を 768 に等分割した各領域、1 日ごとのイベントファイルに再構成される。それによって、指向観測を行う X 線天文衛星とほぼ同じ方法で、MAXI データを解析できる。データは ISS からつくばに送られ、標準フォーマットに変換された後、DARTS に転送され、公開される。これによって、一般ユーザは、ほぼリアルタイムで、最新の MAXI データを解析できる。また、DARTS の全天画像表示システム JUDO2 を用いて、全期間積分だけでなく、日、週、月、年ごとの全天画像を他の装置による画像と重ねてウェブブラウザ上に表示させ、拡大、縮小、移動することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V322a CALET ガンマ線バーストモニタ (CGBM) の軌道上における観測性能

中平聡志 (JAXA), 吉田篤正, 坂本貴紀, 川久保雄太, 森山光明, 山田祐輔 (青学大理工), 山岡和貴 (名大 ISEE 研), 石崎渉 (東大宇宙線研)

カロリメータ型電子・ガンマ線観測装置 (CALET) は 2015 年 8 月 19 日に HTV5 号機で打ち上げられ国際宇宙ステーション「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられた。その後、10 月 5 日までに全機器の同時立ち上げを達成し、現在まで科学データの取得を継続している。CGBM(CALET Gamma-ray Burst Monitor) は CALET 実験における副検出器で、BGO 結晶を用いた軟ガンマ線モニタ (SGM)1 台と $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 結晶を用いたソフト X 線モニタ (HXM)2 台を搭載している。このうち、HXM のうち 1 台には地上試験の段階から入射窓における大幅な効率低下が見られた。これは微量のリークによって結晶表面の数十 μm が水和し発光量が低下したと考えれば説明ができる。それ以外の性能や、軌道上での動作については概ね問題はみられない。

本講演では上記のような効果を考慮に入れて軌道上における観測性能について報告する。ISS における広視野モニタでは ISS 構造、特に太陽パネルのような可動式の構造が大きな障害となるため、その点について考慮に入れる。その上で、同じ「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載された全天 X 線監視装置 (MAXI) によって発見された継続時間が短く暗い軟 X 線トランジェントについて、視野の重なる CGBM のデータを用いて探索を行った結果についても示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323a SMILE-II+気球実験計画と軟ガンマ線撮像分光器の改良

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 吉川慶, 中増勇真, 中村優太, 谷口幹幸, 水本哲矢, 園田真也, 窪秀利, 松岡佳大, 宮本奨平, 中村輝石, Parker Joseph, 友野大 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

MeV エネルギー帯域の軟ガンマ線による宇宙観測は、元素合成の現場を直接観測できる唯一の窓であり、超新星爆発と銀河進化の系統的研究や、銀河系内宇宙線起源など重要問題の解決が期待できる。しかし、その撮像手法の不明確な系統誤差と、高雑音環境のため、世界的に地上試験と軌道上での観測性能が一致しない状況が続き天文学として停滞している。我々は軟ガンマ線の到来方向 2 角の測定に成功し、軟ガンマ線カメラとして世界で初めて Point Spread Function (PSF) を明確に定義し、X 線帯域の検出器と同様な手法で感度推定が可能な撮像分光器 (電子飛跡検出型コンプトンカメラ; ETCC) を実現した。これにより将来の衛星規模装置で、Half Power Radius (HPR) が 1-2 度の PSF を実現する見通しが立ち、MeV ガンマ線天文学が目指す 1 mCrab 感度の実現性を示した。現在、SMILE-II+気球実験に向けて、SMILE-II 装置からの検出器改良を進めている。ガス層内部にシンチレーターを設置し反跳電子の測定エネルギー範囲を拡張し、ガス多重散乱を受けにくい数 100keV の電子を利用する。また飛跡解析において、詳細な飛跡ヒット情報と粗い飛跡電荷情報を組み合わせ、電子反跳方向の決定精度を向上させる。これらにより HPR が数度となる PSF を実機実証し、シンチレーターの 2 放射長への増強と 2 気圧ガスの採用で有効面積の拡大を行う。さらに我々は、SMILE-III 長時間気球実験も視野に入れ、ガス飛跡検出器からの DAQ トリガー生成や、MPPC でのシンチレーター読み出し回路開発などの要素開発を進めている。本講演では、SMILE-II+気球実験計画と改良中の軟ガンマ線撮像分光器の状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告（12）

窪秀利，井岡邦仁（京都大学），手嶋政廣，戸谷友則，中嶋大輔，林田将明，吉越貴紀（東京大学），田島宏康（名古屋大学），山本常夏（甲南大学），吉田龍生（茨城大学），他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による天体観測は、2000年代に入って大口径・ステレオ化した大気チェレンコフ望遠鏡アレイによって飛躍的に発展し、検出天体数は、銀河系内外合わせて現在170を超え、天文学の新たな一分野を形成した。さらに発展すべく、大（23 m）・中（10-12 m）・小（4 m）口径の望遠鏡計約100台からなる、世界で一つの大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ – CTA (Cherenkov Telescope Array) – の準備研究が、日本からの約110名を含めた32か国約1300名の国際共同により進められており、2018年から部分アレイによる観測、2021年から公開天文台として運用、2024年に全アレイによる観測が開始する予定である。CTA計画では、望遠鏡アレイをスペイン・ラパルマとチリ・パラナルに建設し、現状より一桁以上高い感度（かに星雲強度の0.1%）、4桁のエネルギー領域（20 GeVから300 TeV）、高い角度分解能（1 TeVで2分角）で全天を観測する。銀河系内外から1000を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体のガンマ線放射機構および高エネルギー粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、赤外可視背景放射による星形成史の研究、ダークマター探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論や基礎物理まで研究範囲は広がり、観測計画の詳細検討が進んでいる。現在、カメラ開発で日本が貢献している中・小口径望遠鏡プロトタイプの実験が進む一方で、鏡・カメラ開発などにおいて日本が中心的役割を果たしている大口径望遠鏡の1号機のラパルマでの建設が開始され、来年度、北サイトで最初にファーストライトを迎える予定であり、同じくラパルマに建設される大口径望遠鏡2-4号機の要素生産も進んでいる。本講演では、CTA計画全体の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの試験状況と2号機以降用読み出し回路の開発

野崎誠也, 窪秀利, 今野裕介, 齋藤隆之, 谷川俊介, 増田周 (京大理), 石尾一馬, 大岡秀行, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 林田将明, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 猪目祐介, 岸田柁, 山本常夏 (甲南大理工), 奥村暁 (名古屋大 ISEE), 折戸玲子 (徳島大理工), 片桐秀明, 吉田龍生, Dang Viet Tan (茨城大理), 木村颯一郎, 櫛田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司 (東海大理), 郡司修一, 中森健之, 武田淳希 (山形大理), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 田中真伸 (KEK 素核研), 寺田幸功, 永吉勤, 西山楽 (埼玉大理工), 馬場彩 (東大理), 他 CTA-Japan consortium, 池野正弘, 内田智久 (KEK 素核研, Open-It)

Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画は、口径の異なる3種類の望遠鏡をスペイン・ラパルマとチリ・パラルナルに計約100台建設し、20GeVから300TeVのガンマ線を従来よりも10倍高い感度で全天観測する国際計画である。その中で低エネルギー側での観測に焦点を当てた口径23mの大口径望遠鏡(LST)の焦点面カメラは、7本の光電子増倍管(PMT)と信号読み出し回路基板などで構成されるPMTモジュール265個から成る。日本グループはこのPMTモジュールの開発・量産に貢献している。LST初号機は来年度中に完成予定であり、それに向けて複数のPMTモジュールを用いた、カメラ性能を確認する試験を行っている。また、LST2号機以降用の読み出し回路の開発も行っており、温湿度センサーや電圧モニター回路、1GHzサンプリング用アナログメモリ"DRS4"チップのタイミングキャリブレーション用回路などを追加する。本講演では、LST初号機用カメラの試験状況、及び2号機以降用読み出し回路での変更点と試作機での動作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](#)

V326c 次世代地上ガンマ線天文台 CTA を想定した超新星残骸の観測シミュレーション

池野 祐平, 櫛田 淳子, 西嶋 恭司 (東海大理), 稲田 知大, 大石 理子, 榊 直人, 吉越 貴紀 (東大宇宙線研), Dang Viet Tan, 吉田 龍生, 片桐 秀明 (茨城大理), 奥村 暁 (名大 ISEE), 佐藤 雄太 (名大 ISEE), 中森 健之, 郡司 修一 (山形大理), 永吉 勤 (埼玉大理), 齋藤 隆之, 増田 周 (京大理), 他 CTA-Japan コンソーシアム

宇宙線の起源の探査は現在も観測、理論から進められている。銀河系内における起源の候補天体として超新星残骸が有力視されている。もし、宇宙線の大部分を担う高エネルギー陽子が超新星残骸で加速されているとすれば周囲の分子雲、星間ガスとの相互作用によりガンマ線の放射が見られる。現在、Fermi 衛星や HESS、MAGIC 等のガンマ線望遠鏡による GeV ~ TeV 領域のガンマ線観測により超新星残骸 (SNR) からのガンマ線放射が確認されている。より高感度のガンマ線観測を行い、詳細なエネルギースペクトルを得ることができれば、陽子起源、電子起源の放射モデルを詳しく検証することが可能である。今回、Fermi 衛星によりガンマ線を検出しているいくつかの SNR をターゲットとして、高い空間分解能と感度を持つ次世代地上ガンマ線天文台 Cherenkov Telescope Array (CTA) を用いた観測を想定したシミュレーションを行った。Fermi 衛星によって観測された GeV 領域のスペクトルから陽子起源、電子起源それぞれの放射モデルを推定し、CTA 望遠鏡の観測により放射モデルの区別が可能か検証し、またそのために必要な観測時間等を見積もった。ポスターではその結果について紹介する

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327a X線カロリメータ用マイクロ波 SQUID マルチプレクサの開発現状

中島裕貴, 山崎典子, 満田和久 (宇宙科学研究所), 平山文紀, 神代暁, 山森弘毅, 永沢秀一 (産業技術総合研究所), 入松川智也 (東京大学工学系研究科)

Athena 衛星搭載予定である、カロリメータ検出器の 3840 素子 (角度分解能 約 5 秒角で視野 5 分角) を凌ぐ、次世代のカロリメータ読み出しの基盤技術開発として、マイクロ波 SQUID マルチプレクサ (MW-mux) の研究開発を行っている。100 mK 程度の極低温で動作させるカロリメータは、素子をアレイ化することで撮像性能を持たせることができる。しかし、素子数の増加に伴い配線数も増えるので、室温配線からの熱流入を抑えるために、本質的に信号多重化が必要である。信号多重化技術として、現在では主に、時分割、符号分割、MHz 帯周波数分割 (FDM) の 3 つが研究されているが、多重化数増加に伴うノイズや配線数の増加から、宇宙ミッションとしては FDM が現実的である。Athena 衛星では FDM 方式を採用予定である。しかし、数 1000 素子をさらに超える多重化を考えた場合、FDM の MHz の帯域では不十分であり、また、極低温でカロリメータの信号を受け取る SQUID の発熱も素子数を制限する。そのブレークスルーとなる技術が MW-mux であり、この多重化方式は原理的多重化数が FDM を 2-3 桁程度上回る。MW-mux はマイクロ波共振器をカロリメータと磁気的に結合された発熱のない rf-SQUID で終端し、カロリメータ信号による rf-SQUID のインダクタンス変化を共振周波数変化として読み出すものである。この場合、帯域は GHz 帯であり、SQUID 数増加による冷却能力の制限も無くなる。X 線帯域の MW-mux の研究は世界的に見ても始まったばかりであり、我々は現在までに X 線カロリメータ用に MW-mux の設計を行い、その性能を評価した。本講演では、これらにより得られた知見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](#)

V328a 超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (3-1)

山田真也, 石崎 欣尚, 一戸悠人, 黒丸巖静, 鈴木翔太, 北澤誠一, 早川亮大 (首都大理), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 岡田信二, 橋本直 (理研), 野田博文 (東北大), 竜野秀行 (ルンド大), HEATES チーム

2012年より、K 中間子原子からの X 線を超伝導遷移端 X 線検出器 (TES) で精密分光測定し、ストレンジネスを含む強い相互作用の精密測定により、中性子星の状態方程式の研究をすべく、宇宙と原子核の共同実験プロジェクト (HEATES) を進めている。TES は、ひとみ衛星に搭載された半導体カロリメータよりも高いエネルギー分解能と多素子化を同時に可能にし、2020 年後半のヨーロッパの大型衛星 ATHENA に搭載予定である。

2013年9月に 160 pixel の TES を用いた検出器の性能テストを NIST で行い、2014年10月にスイスの加速器 (PSI) にて、TES カロリメータを用いてパイ中間子原子からの X 線を 200 pixel の動作下で エネルギー分解能 $\Delta E \sim 5 \text{ eV}$ (@6keV) を達成し、 π -C の 4-3 遷移からの X 線を精度よく測定することに成功した。これらは過去 2 回の年会にて報告した。2016年6月、TES を J-PARC の K1.8BR ビームラインに設置し、K-ビーム環境下での TES の性能評価試験及び K-ビームを標的中に静止させる調整を行った。ビームは数秒でオンオフを繰り返す、それに応じて熱入力も変動するが、シールド材の調整や、SQUID 動作点の補正を行い分解能の劣化を抑えることができた。240 pixel 中の 8 割程度のピクセルが正常に動作し、ビーム無しで $\Delta E \sim 5.0 \text{ eV}$ @6keV に対して、ビーム環境下で $\Delta E \sim 6.7 \text{ eV}$ @6keV であった。本講演では TES のビーム環境下の結果と本試験にむけた準備状況も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V329b 超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子 X 線の精密分光プロジェクト (3-2)

早川亮大, 山田真也, 石崎 欣尚, 一戸悠人, 黒丸巖静, 鈴木翔太, 北澤誠一 (首都大理), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 岡田信二, 橋本直 (理研), 野田博文 (東北大), 竜野秀行 (ルンド大), HEATES チーム

本研究の目的は、超伝導遷移端 X 線検出器 (TES) と、日本の加速器を活用して、強い相互作用の謎を解明することである。特に、ストレンジネスを含む強い相互作用の強度を実験により決定し、高密度原子核や、中性子星の状態方程式に制限をかけることを目指している。TES を宇宙で用いる計画 (e.g., ATHENA 衛星) はあるが、まだ一度も宇宙実証されてないため、過酷な地上実験に応用することで、技術成熟度を高めることも目的である。

この実験計画は、宇宙と原子核の共同実験プロジェクト (HEATES) として、2012 年にスタートした。2013 年 9 月に 160 pixel TES の性能テストを実験室で行い、2014 年 10 月にスイスの加速器 (PSI) で π -C の 4-3 遷移からの X 線をエネルギー分解能 $\Delta E \sim 5$ eV (@6keV) で測定することに成功した。2016 年 6 月、TES を J-PARC の K1.8BR ビームラインに設置し、性能評価試験を行った。ビーム無しで $\Delta E \sim 5.0$ eV @6keV に対して、ビーム環境下で $\Delta E \sim 6.7$ eV @6keV を達成した。今回は、はじめてビームの有無の環境下で、クロストークの影響を評価した。ビームがない状況下では、クロストークレート (クロストークイベントと入射 X 線の比) は、 $0.13\% \pm 0.10\%$ (誤差はピクセルごとの標準偏差) であり、ビーム下では、 $2.31\% \pm 0.42\%$ であった。ビーム無しの環境下では十分にクロストークレートが低いことから、荷電粒子由来の同時刻イベントが発生したと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330b TES 型 X 線マイクロカロリメータ動作環境の構築と評価

星野晶夫, 石井亮太, 大木悠生, 佐藤清香, 糠森里美, 北本俊二 (立教大学)

宇宙大規模構造に存在するであろうバリオン探査や銀河団などの広がった天体の熱的プラズマから放射された光子を精密分光することは、宇宙の構造と進化の理解という基本的な課題への観測的アプローチとなるが、回折格子などの分散型検出器では精密分光が困難な観測対象であった。X 線マイクロカロリメータは、X 線光子一つのエネルギーを温度変化から計測する非分散型検出器であり、上記の問題を解決可能な検出器である。その分光性能は原理的に素子のフォノンの揺らぎによって制限され、 $E/\Delta E > 10000$ を実現できる。特に、TES 型 X 線マイクロカロリメータは超伝導遷移端を動作点とする極低温検出器であり、「ひとみ」SXS 検出器で代表される半導体型と比較して、時定数が 1 桁以上早いのが特徴である。立教大学では先端計測研究センターにおける「地上実験・飛翔体観測と理論による宇宙像研究の拠点形成」プロジェクトに基づき X 線マイクロカロリメータ開発拠点形成を進めてきた。これまでに、3K での読み出し回路である SQUID の評価 (2015 年秋年会)、断熱消磁冷却による 133mK の温度環境構築 (2016 年春年会) を報告してきた。今年度は冷却環境開発として多層断熱材の導入などを進めてきた。この極低温環境上で、TES 素子 (SII-209H) の抵抗-温度特性を測定したところ希釈冷凍機と同等の 260mK 付近での超伝導遷移し、過去の評価と比較して磁場の影響を受けていないことを確認した。また、TES 素子のバイアス電流に対する素子に流れる電流変化を測定し、約 220mK で 100-200 μ A のバイアス電流で動作させることができることを確認した。現在は、この測定環境にて X 線照射試験準備を進めており、これら評価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](#)

V331b 将来衛星に向けた積層配線 TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発

小坂健吾, 黒丸巖静, 鈴木翔太, 北澤誠一, 山田陽平, 早川亮大, 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也 (首都大), 満田和久 (宇宙研), 日高睦夫, 永沢秀一, 伊坂美千代 (産総研)

我々は将来衛星に向け、TES (Transition Edge Sensor) 型 X 線マイクロカロリメータを開発している。常伝導-超伝導転移時の急激な抵抗変化を利用し、X 線光子のエネルギーを高い分解能で分光する。我々はこれまでに 4×4 アレイで 5.9 keV において 2.8 eV のエネルギー分解能を達成してきた (Akamatsu et al. 2009 AICP)。現在、我々は 20×20 アレイを産総研と共同でインハウス製作している。通常の配線では多素子化に伴うスペースや、密集した配線間でのクロストークの問題がある。そこで、超伝導積層配線と呼ぶ、素子までの行きと帰りの配線を絶縁膜を挟み上下に配置するデザインを開発してきた (Ezoe et al. 2015 IEEE TAS, Kuromaru et al. 2016 J. LTP など)。我々が開発する積層配線は Nb であり、上下の配線幅と厚みはそれぞれ 10/15 μm 、100/200 nm である。また TES は Ti/Au の二重薄膜であり、pixel サイズは 200 μm 角、厚さはそれぞれ 40/80 nm である。しかし、従来は配線上に成膜された TES が転移しない問題があった (鈴木 天文学会 春季年会 2016)。我々は TES 下地の粗さが転移の有無に影響すると考え、新たに Chemical Mechanical Polishing を用いた配線を考案し、Si 基板とほぼ同等の表面粗さ ~ 0.4 nm rms (5 μm スケール) を達成した。さらに、TES 成膜時の逆スパッタの条件を緩和し (150 W, 3 min \rightarrow 100 W, 1 min)、ダメージを減らした。結果、我々のグループではじめて、Nb-Nb 積層配線上の TES の正常な超伝導転移に成功した。TES 膜厚は 100/20 nm であり、転移温度は 360 mK、臨界電流 >1 mA と良好である。本講演ではプロセス改良と積層配線 TES の性能について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a MPPCを用いたマトリクス型ガンマ線偏光検出器の低エネルギー帯における高感度化

河合謙太郎, 米徳大輔, 澤野達哉 (金沢大学)

ガンマ線バースト (GRB) のガンマ線放射メカニズム解明を目指し、金沢大学では MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) を用いたマトリクス型モデルの偏光検出器を開発している。火の玉モデルと呼ばれる GRB の標準理論によれば、GRB のガンマ線放射はシンクロトロン放射によるものである。シンクロトロン放射による放射光は強く偏光しているため、偏光の検出はモデル実証へと繋がる。2010 年に打ち上げられた IKAROS-GAP により、強い偏光が 3 例検出されている。今後より多数の GRB に対して統計的な測定を行うことができれば、放射メカニズムの解明だけでなく GRB 内部の磁場構造について言及できる。

MPPC は複数のアバランシェフォトダイオードからなるフォトンカウンティングデバイスであり、小型軽量、低電圧動作、振動に強いといった特徴を持ち、衛星搭載に適している。しかし、GAP にも用いられた光電子増倍管に比べノイズが多く、低エネルギーガンマ線の読み出しが困難であった。現在我々が使用している浜松ホトニクス社の新型 MPPC (S13XXX シリーズ) は、ノイズとなるクロストークやダークカウントがこれまでより大幅に低減されており、さらに、組み合わせるシンチレータの大きさについて検討したところ、50keV 以上のガンマ線で偏光検出が見込めることがわかった。本公演では、研究室で保有している X 線発生装置とビームラインを用いてコンプトン散乱により偏光 X 線を生成し、観測実験を行った結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite (PoGO+) 気球実験:2016 年フライトの結果

高橋弘充 (広島大) 他 PoGO+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。X 線やガンマ線の帯域でも世界中で様々なミッションが進行しているが、人工衛星による本格的な観測は現時点ではまだほとんど実現されていない。そのため、これまでの有意な偏光検出の報告は、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、さらにエネルギー帯域も限られたものになっている。

こうした中、我々日本とスウェーデンの国際チームは、25–100 keV というこれまで未開拓な硬 X 線・軟ガンマ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、気球による硬 X 線偏光観測 PoGOLite(2013 年)、PoGOLite の改良版 PoGO+(2016 年) を実施してきた。PoGOLite と PoGO+はどちらもスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場から放球されている。

PoGO+のフライトは2016年7月12日–18日の1週間で、スウェーデンからグリーンランド上空を経て、カナダのビクトリア島まで到達する長期フライトに成功した。PoGO+では、PoGOLiteの実フライトの経験を踏まえ、電源系の不具合を解消し、熱設計も改善することで、観測をより健全に実施できるようにした。また偏光計にも改良を施し、感度の向上を目指している。これらの成果もあり、ゴンドラ、姿勢制御、偏光計に大きなトラブルが生じることはなく、X線天体として毎日「かに星雲」と「はくちょう座 X-1」を観測することに成功している(「かに星雲」計7回、「はくちょう座 X-1」計6回)。本講演では、2016年のPoGO+フライトの結果およびデータ解析の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334c 硬 X 線偏光検出器 PoGO Lite の読み出し回路の改良 (3)

大橋礼恵, 高橋弘充, 河野貴文, 内田和海, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大学), 他 PoGO+チーム

PoGO+(Polarized Gamma-ray Observer) チームは 2016 年 7 月にスウェーデンにおいて硬 X 線帯域での偏光観測を行った。PoGO+の偏光計は、61 本のフォスウィッチ型の主検出部 (プラスチックと BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) シンチレータ) とそれを取り囲む 30 本の BGO アクティブシールドで構成されている。またバックグラウンド源である中性子フラックスをモニターするために 2 個のフォスウィッチ型の熱中性子検出器 ($\text{LiCAF}(\text{LiCaAlF}_6)$ と BGO シンチレータ) を搭載した。

我々日本チームでは、この全 93 本の光電子増倍管からの信号を処理する読み出し回路について以下の改良を行った。まず Flash ADC(FADC) ボードのチャンネル数を 2 倍にしてボード数を半減させ、消費電力を 2/3 に抑えた。また地上実験により、利用するプラスチックシンチレータ EJ-204 によって天体信号のガンマ線、バックグラウンド源の高速中性子を波形弁別できる可能性が報告されている (Kamae et al. *Astroparticle Physics* 30, 72-84, 2008)。よって波形のサンプリングレートを 37.5MHz から 100MHz に上げることで、波形弁別の性能向上を図った。FADC ボード上の Field Programable Gate Array(FPGA) には、前回のフライト同様、偏光観測用に波形弁別してガンマ線信号のみ保存、健康診断用にエネルギースペクトルを保存する機能を実装してある。さらに偏光観測に必要な複数ヒットしたシグナルのみ保存する機能、光電子増倍管のアフターパルスを除去するために前イベントからの待ち時間を保存する機能を追加した。

本講演では、実際のフライトデータで、ガンマ線/中性子の波形弁別を検証した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a X線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗 (4)

玉川 徹, 早藤麻美, 岩切 渉, 中野俊男 (理研), 深沢泰司, 水野恒史, 北口貴雄, 田中慎之, 戸田皓陽 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 窪田 恵, 西田和樹 (理研/東理大), 田原 謙, 三石郁之, 菅沼亮紀 (名古屋大), 幅 良統 (愛教大), 林田 清, 井上翔太 (大阪大), Keith Jahoda, Joanne Hill-Kittle (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すぐれた手段として期待されているが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources (PRAXyS) は、NASAゴダード宇宙飛行センターが主導し日本が国際協力で参加する、X線偏光観測に特化した小型衛星 (NASA Small Explorer; SMEX) であり、ブラックホール、中性子星、超新星残骸などを 2–10 keV 帯域において、約 1% の最小偏光検出感度で観測する。2 mCrab ($\sim 4 \times 10^{-11}$ erg s⁻¹ cm⁻²) の暗い天体であっても、 4×10^6 sec の観測でこの感度に到達する能力を持つ。

われわれは 2014 年 12 月に PRAXyS 衛星を NASA SMEX 公募に提案し、2015 年 7 月末に Phase A (概念設計) に採択された。2016 年 7 月に Phase A の検討結果である Conceptual Study Report を提出し、11 月に最終レビュー審査を受けた。現時点では 3 プロジェクト (X線偏光観測衛星 PRAXyS と IXPE、赤外線全天サーベイ衛星 SPHEREx) が残っているが、2017 年 2 月に 1 プロジェクトに絞り込まれ、2020 年に打ち上げられる。本講演では、PRAXyS プロジェクトの Phase A 検討結果、ならびに進捗状況、今後の予定について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V336a X線偏光観測衛星 PRAXyS 搭載 X線望遠鏡用サーマルシールドの開発

三石郁之, 菅沼亮紀, 二村泰介, 松本浩典, 田原讓, 立花一志, 大西崇文, 立花健二 (名古屋大学), 中野俊男, 玉川徹 (理研), 岡島崇, William Chang, Keith Jahoda (NASA/GSFC)

X線偏光観測衛星 PRAXyS (玉川他 2016 年秋季年会 V344a) に搭載される X線望遠鏡の温度環境維持のため、ASCA, Suzaku, Hitomi と同タイプの望遠鏡サーマルシールド (TS) を開発している。PRAXyS ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、 $2.5 \mu\text{m}$ 程度のポリイミド (PI) フィルムの使用を予定している。TS はシールド本体の片面 Al 薄膜付き PI フィルム、フィルムを支持するためのステンレス製メッシュおよび機械強度部材であるアルミ製の枠からなる。これまで我々は従来より厚いフィルムに向けた高開口効率メッシュデザインの検討や製作、および接着剤の耐熱性の実証試験等の結果を報告してきた (田原他 2016 年秋季年会 V310b)。

現在我々は EM の開発に向け、各種デザインに対し加熱試験や引張強度試験、音響試験等の環境試験の実施を進めている。また望遠鏡への取り付け作業性改善を目指したデザイン検討も同時に進めている。本講演では上記デザイン検討と製作および環境試験の結果とあわせ、今後の製作スケジュールについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337a PRAXyS 衛星に搭載する光電子追跡型 X 線偏光計の偏光角再構成法

北口 貴雄, 深沢 泰司, 水野 恒史 (広島大), 玉川 徹, 早藤 麻美, 岩切 渉, 中野 俊男 (理研), 窪田 恵 (東京理科大, 理研), 榎戸 輝揚 (京都大), 他 PRAXyS チーム

我々は 2–10 keV の宇宙 X 線の直線偏光を観測するために、NASA/GSFC と共同で、NASA の小型衛星 PRAXyS に搭載する X 線偏光計を開発している。この偏光計はガス電子増幅器を内蔵するタイムプロジェクションチェンバーであり、X 線とガスが反応して飛び出す光電子の飛跡を撮像する。光電子の微分断面積は、入射 X 線の電気ベクトルからの方位角を ϕ とすると、 $d\sigma/d\phi \propto \cos^2 \phi$ の関係にあるため、光電子の射出方向を測定することで、入射 X 線の偏光情報を取得できる。光電子飛跡の画像は、X 線入射方向に射影した 2 次元イメージとして得られ、その大きさは約 3.6×3.6 mm で、 30×30 画素から成る。偏光計の感度を高めるために、飛跡画像から光電子の最初の射出方向を求める再構成アルゴリズムを開発したので報告する。

低エネルギーの光電子飛跡では、その電荷重心を中心として、電荷分布の 2 次モーメントを最小にする軸を光電子の射出方向とすることで、2.7 および 4.0 keV の X 線に対する変調因子は、それぞれ 23% および 36% になった。高エネルギーの光電子では、飛跡が長くなり、さらに光電子のガスとの散乱により曲がるため、上記の方法では光電子射出方向が正しく決められない。そこで最初に決めた軸に沿って、飛跡の終端を示す電荷密度の高いブラッグピークを含んだ方向から徐々に画像を切り取っていき、残った電荷分布の 2 次モーメントがあらかじめ設定した値より小さくなるまで画像切り取りを繰り返した。そして条件を満たした電荷分布の 2 次モーメントを最小にする軸を、光電子射出方向とした結果、8.0 keV で 58% の高い変調因子を達成した。さらに飛跡画像を離心率や円形度を用いて選別することで、偏光感度は向上し、変調因子は最大で +10% ほど上昇した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V338a PRAXyS 衛星搭載の X 線ミラーと偏光計のビームラインによる性能評価

中野俊男, 玉川徹, 早藤麻美, 岩切渉 (理研), 窪田恵 (東京理科大, 理研), 北口貴雄, 田中慎之, 戸田皓陽, 深沢泰司, 水野恒史 (広島大), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 井上翔太, 林田清 (大阪大), 榎戸輝揚 (京都大), Keith Jahoda, Joanne Hill-Kittle (NASA/GSFC), ほか PRAXyS 衛星チーム

PRAXyS 衛星は、NASA/GSFC により 2020 年 8 月に打ち上げを目指す小型衛星 (SMEX) であり、2 組みの斜入射 X 線ミラーと光電子追跡型のガス X 線偏光計を搭載することで、2-10keV の X 線帯域で直線偏光による天体観測を行う。我々は日本チームとして PRAXyS の開発に参加しており、2016 年の 7 月に、NASA/GSFC の 100 m ビームラインにて、X 線ミラーと偏光計を合わせた統合試験を行った。

X 線発生装置の金属ターゲットにはロジウム、チタン、鉄を用い、そこで発生させた X 線をビームラインにより平行化し、100m 先に置いた X 線ミラーにより偏光計に集光した。各装置が偏光観測におよぼす系統誤差を調べるために、それらを独立に、光軸まわりに回転可能な台に設置し、様々な角度の組み合わせで、各金属ターゲットからの X 線データを取得した。無偏光データにより偏光計応答を調べ、キャンセルするために、各試験は 90 度異なる 2 つの偏光計設置角で行われ、X 線ミラーの偏光観測への影響を調べるために、基準点より 0、45、90、135 度と、45 度ごとに回転させたデータを取得した。また、天体観測を模擬するために、X 線ミラーを 0 度に固定し、X 線発生装置を -25、0、16 度と回転させる測定を行ったところ、ロジウムターゲットからの X 線を、無偏光成分の蛍光 X 線 (2.7 keV) と、偏光成分の制動放射 X 線に、スペクトル分解した上で、偏光強度と角度を測定できることを確かめた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339b PRAXyS 衛星搭載 X 線望遠鏡サーマルシールド用ポリイミドフィルムの特性評価

菅沼 亮紀, 二村 泰介, 田原 謙, 松本 浩典, 三石 郁之, 立花 一志, 大西 崇文, 立花 健二 (名古屋大学), 中野 俊男, 玉川 徹 (理研)

PRAXyS (玉川他 2016 年秋季年会 V344a) は、NASA/GSFC が主導し日本が国際協力で参加する X 線偏光観測を主目的とする小型衛星である。我々は理学・工学の両側面から本ミッションに貢献すべく、PRAXyS 搭載 X 線望遠鏡サーマルシールド (TS) の開発も進めている (田原他 2016 年秋季年会 V310b)。TS は衛星軌道上で望遠鏡の温度環境を一様かつ地上室温程度に維持するための熱計装システムの一つであり、これまでも ASCA, Suzaku, Hitomi 衛星で実績がある。フィルム基材としてはポリイミド (PI) や PET が用いられており、熱制御機能としての低い太陽光吸収率と赤外線放射率を持たせるため、片面にアルミニウムをコーティングし、実際に 0.1 程度の値を達成している。PRAXyS では観測のエネルギーの下限が 2 keV 程度であること、また打ち上げ時の空力加熱の影響が日本のミッションより大きいことから、従来より厚い PI フィルムを検討している。

今回我々は JAXA 筑波宇宙センターにて、片面アルミ成膜が施された PI フィルムサンプルの熱光学特性試験を行った。サンプルは厚さ 20 nm 程度のアルミが成膜された 3 種類の PI フィルム (それぞれ 2.8 - 2.9, 2.7, 3.5 μm 厚) となる。結果としては、最も低い値として太陽光吸収率はおよそ 0.14 (Al 面) / 0.33 (PI 面)、赤外線放射率はおよそ 0.074 (Al 面) / 0.36 (PI 面) となり、フィルムが厚くなったため、従来より大きな値を示した。再現性は各々 9, 4 % 程度であった。また PI フィルムを使用して TS の試作品を製作し、静加圧試験で破壊試験を行い、衛星打ち上げ時の環境に耐えうるか検証した。本講演では 2 つの試験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](#)

V340a 「ひとみ」(ASTRO-H) /SXS スペア Be 窓透過率の評価

星野晶夫, 吉田裕貴, 石井亮太, 大木悠生, 佐藤清香, 糠森里美, 北本俊二 (立教大学), 藤本龍一 (金沢大学), 山崎典子 (宇宙航空研究開発機構), 伊奈稔哲, 宇留賀朋哉 (高輝度光科学研究センター), Megan Eckart, Maurice Leutenegger (NASA/GSFC)

「ひとみ」(ASTRO-H) 衛星の初期運用期間では、SXS の観測は衛星内アウトガスの影響を避ける為に、ゲートバルブ (GV) を閉じたまま実施され、観測データは GV に取り付けられた Be 窓での吸収の影響を受ける。Be 窓は衛星打ち上げ前に未評価であった為、我々は「ひとみ」衛星フライト品で使用された Be と同材料で製作されたスペア Be 窓の評価を 2016 年 6 月 15 日から 17 日にかけて SPring-8 BL01B1 にて実施した。測定エネルギー範囲は 3.8-30keV、1mm×0.2mm のスポットサイズで Be 窓の中心と 6.5mm オフセット位置での透過率測定を行った。透過率曲線には明瞭な Fe と Ni K-edge を確認し、Mn K-edge も確認できた。この他に 6057 eV, 6915 eV さらに 7590 eV と 9193 eV に edge 状の構造が観測された。これらは Be の (1,-1,0,3), (0,0,0,4), (1,0,-1,4), (1,0,-1,5) の各結晶面での Bragg 反射に対応すると考えている。我々は透過率データに対して (1)Be と不純物 (Ni, Fe, Cu, Mn, Cr) による光電吸収, (2)Be による非弾性散乱の効果, (3) 6057 eV と 6915 eV の多結晶 Be 結晶面での Bragg 反射をエッジモデルとして考慮した透過率モデルを立てた。この解析から、ノミナル 300 μ m とされていた Be は $261.86 \pm 0.01 \mu\text{m}$, Cr:3nm(fixed), Mn: $3.81 \pm 0.05 \text{nm}$, Fe: $10.83 \pm 0.05 \text{nm}$, Ni: $16.48 \pm 0.03 \text{nm}$, Cu:5nm (fixed) で説明され、Fe K-edge の最大深さで約 1%有効面積が減少する。不純物量は仕様書の値と同程度で、透過率は不偏標準偏差で $\sigma = 0.11\%$ の精度で決定される。評価結果は CALDB に反映される。我々は、KEK-PF の BL7C で追加測定を行い Be の結晶面での Bragg 反射構造を確認し、新たに 8790eV 付近にも構造を確認している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341a ひとみ (ASTRO-H) 搭載軟 X 線望遠鏡の Crab 観測による軌道上での性能評価

倉嶋翔, 佐藤寿紀, 中庭望, 浅井龍太 (首都大学東京), 石田學, 前田良知, 飯塚亮, 上田周太朗 (ISAS), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (GSFC), 内田裕之, 田中孝明 (京都大), 中嶋大, 井上翔太 (大阪大), 森浩二 (宮崎大), 信川正順 (奈良教育大)

X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」には、軟 X 線帯域 (0.3 ~ 12 keV) の X 線を集光する軟 X 線望遠鏡 (Soft X-ray Telescope) が 2 台搭載される。SXT には Wolter-I 型斜入射光学系を採用しており、表面に薄く金を成膜した反射鏡による 2 回反射により集光を行い、反射鏡を動径方向に 203 枚積層することで軽量かつ大有効面積を実現している。2 台の SXT はそれぞれ SXT-S と SXT-I と呼ばれ、それぞれ高エネルギー分解能を誇る X 線マイクロカロリメーター (SXS: Soft X-ray Spectrometer) と広い視野を持ち位置分解に優れる X 線 CCD カメラ (SXI: Soft X-ray Imager) を焦点面検出器としている。

衛星打ち上げ前に行われた地上較正試験で SXT の様々な性能の評価を行ったが、衛星軌道上でも地上と同様の性能を発揮しているかを検証することは「ひとみ」の観測データを解析する上で重要である。衛星打ち上げ後の初期運用では他の X 線天文衛星でも較正 X 線源として用いられる Crab を 0.1 秒バーストモードで観測した。そこで Crab の観測データをもとに、そのスペクトルから算出した物理量を他の衛星のものと比較することで有効面積の評価を行い、観測で得たイメージを解析することで結像性能の評価を行った。本講演では SXT の軌道上での性能と地上較正試験の結果、また他の衛星での観測データとの比較を行い、それについて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V342a 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡 (SXT) の軌道上での有効面積の評価

中庭望, 佐藤寿紀, 倉嶋翔, 浅井龍太 (首都大学東京), 石田學, 前田良知, 飯塚亮, 上田周太朗 (ISAS), 内田裕之, 田中孝明 (京都大学), 中嶋大, 井上翔太 (大阪大学), 森浩二 (宮崎大学), 信川正順 (奈良教育大学), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (GSFC)

X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」には、軟 X 線帯の集光を担う口径 45cm/焦点距離 5.6m の軟 X 線望遠鏡 (SXT:Soft X-ray Telescope) が 2 台搭載されている。反射鏡には表面に金を成膜したアルミニウム基板を使っており、焦点を共有する初段の回転放物面鏡と二段目の回転双曲面鏡で二回反射をして X 線を集光している。また、 $300\mu\text{m}$ 以下の薄い反射鏡を同心円状に 203 枚積層することで、高い集光力を達成している。

望遠鏡の集光力を表す有効面積は望遠鏡の性能を評価するために必要なパラメータである。そのため、実際に検出器で観測された天体のデータを用いて、軌道上の有効面積を評価する必要がある。

SXT に対応する焦点面検出器の 1 つに X 線 CCD カメラの軟 X 線撮像検出器 (SXI:Soft X-ray Imaging system) が搭載されている。SXI では $19' \times 19'$ の CCD を 4 つ組み合わせることで、 $38' \times 38'$ という広い視野で、約 0.4-12 keV の撮像・分光を行っている。本発表では、SXI で観測した超新星残骸 G21.5-0.9 のデータを用いて軌道上での有効面積の評価を行い、他衛星で観測したデータと比較した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V343a X線天文衛星「ひとみ」搭載軟X線撮像検出器SXIの軌道上性能と校正の現状 II

村上弘志(東北学院大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 井上翔太(大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之(京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎, 岩井将親(ISAS/JAXA), 山内誠, 廿日出勇, 森浩二, 西岡祐介, 坂田美穂, 安田賢杜(宮崎大学), 幸村孝由(東京理科大学), 平賀純子(関西学院大学), 馬場彩(東京大学), 信川正順(奈良教育大学), 信川久実子(奈良女子大学), John Doty (Noqsi Aerospace), 他ひとみ/SXIチーム

X線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟X線撮像検出器(Soft X-ray Imager: SXI)は、空乏層厚 $200\mu\text{m}$ と裏面照射型という特徴により、 $0.4\text{--}12\text{ keV}$ の広いエネルギー帯域で十分に高い量子効率を実現した。また、4素子を 2×2 に並べることで $38'\times 38'$ という大きな視野を確保している。「ひとみ」には他にエネルギー分解能が高いが視野の狭い精密軟X線分光装置や、より高いエネルギー帯域に感度をもつ硬X線撮像検出器があり、これらの検出器と組み合わせることで広帯域で多角的な撮像分光観測を行うというものであった。

「ひとみ」衛星は、打ち上げ後およそ3週間にわたり複数の天体を観測した。これにより冷却などの諸機能や撮像・分光性能が期待通りであることを確認するとともに、校正に用いられるデータを取得することができた。本講演では2016年秋季年會に続き、機上データを用いた校正の進捗と最新の結果について報告する。検出器筐体に取り付けられた校正用線源 ^{55}Fe や天体由来の輝線を用いることで、エネルギーゲインや応答関数の調整を実施し、より良い精度を達成することができた。また、検出器由来のバックグラウンド(Non X-ray Background)の評価なども行い、サイエンスデータの解析に必要となる校正用データベースの整備は全て完了した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V344a X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬X線望遠鏡 (HXT) の軌道上での性能評価 II

粟木久光 (愛媛大), 國枝秀世, 松本浩典, 石橋和紀, 田村啓輔, 田原謙, 三石郁之 (名古屋大), 古澤彰浩 (藤田保健衛生大), 宮澤拓也 (沖縄科技大), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 幅良統 (愛知教育大), 山内茂雄 (奈良女子大), 杉田聡司 (東工大), 吉田鉄生 (愛媛大) 他「ひとみ」HXT チーム

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」は、口径 45cm/焦点距離 12m の硬 X 線望遠鏡 (Hard X-ray Telescope; HXT) を 2 台搭載している。反射鏡表面には Pt/C の多層膜が成膜されており、ブラッグ反射を利用し、エネルギー約 80 keV までの X 線集光を可能としている。HXT 焦点面には硬 X 線撮像器 (Hard X-ray Imager; HXI) が設置され、HXT-HXI で「ひとみ」衛星の硬 X 線撮像システムを構成している。

初期機能確認フェーズで取得した Crab のデータを詳細に解析し、望遠鏡の結像性能ならびにエネルギー応答を更新した。後者は、今後、解析ツールに反映される予定である。また、高エネルギー側と低エネルギー側とで望遠鏡応答の off-axis 依存性が異なるという性質を使って、軌道上での望遠鏡光軸とその予想値とのズレの評価も行った。本講演では、これらの性能評価の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W1. コンパクト天体】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [H会場]

W101a	13:30	長周期X線パルサー X Persei が $> 10^{13}$ G の超強磁場をもつ可能性 牧島一夫 (理化学研究所)
W102a	13:42	強磁場中性子星の超臨界降着柱の構造 川島朋尚 (国立天文台)
W103a	13:54	中性子星大気中における Z=52 付近の重元素の存在 窪田めぐ (理化学研究所/東京理科大学)
W104a	14:06	X線天文衛星「ひとみ」と電波の同時観測による「かに星雲」パルサーからの Giant radio pulse の X線特性 寺田幸功 (埼玉大学)
W105a	14:18	双極子磁場を持つ中性子星への超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション 高橋博之 (国立天文台)
W106a	14:30	LMXB Serpens X-1 における重力赤方偏移した中性子星大気吸収線の探索 米田浩基 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
W107a	14:42	単独中性子星 RX J1856.5-3754 からの keV-X線超過成分の発見 (2) 米山友景 (大阪大学)
W108a	14:54	降着 X線パルサーにおける降着物質のバルクモーションのサイクロトロン線への影響 西村治 (長野工業高等専門学校)
W109a	15:06	差動回転する中性子星の力学平衡解 岡本章宏 (琉球大学)
W110a	15:18	中性子星の X線偏光に関する体系的な予想 矢田部彰宏 (早稲田大学)

3月17日(金)午前(09:30-11:30) [H会場]

W111b	09:30	HLLD 法による二温度磁気流体計算コードの開発 大村匠 (九州大学)
W112b	09:30	Radiation Driven Winds from a Binary Black Hole 飯島一真 (京都大学)
W113b	09:30	パルサーの距離情報を用いた銀河系内電離ガス密度分布推定 IV 亀谷 収 (国立天文台)
W114b	09:42	「すざく」衛星で観測された GRS1747-312 からの継続時間の長い X線バースト 岩井将親 (宇宙航空研究開発機構)
W115b	09:42	過去 7 年間の全天 X線監視装置 MAXI のデータを用いた突発現象発見のための再解析準備 田中一輝 (日本大学)
W116a	09:54	MAXI J1957+032 の再フレアを含む MAXI が検出した 2016 年度後半の突発現象と MAXI J0636+146 の発見とその正体 根来均 (日本大学)
W117a	10:06	全天 X線観測装置 MAXI によるへび座 X-1 からのスーパーバーストの検出 岩切涉 (理化学研究所)
W118a	10:18	ブラックホール候補天体の降着円盤の状態遷移と質量降着率の関係の再検証 増満隆洋 (日本大学)
W119a	10:30	銀河系内孤立ブラックホールの光度分布 松本達矢 (京都大学)
W120a	10:42	位置天文衛星 Gaia で発見できるブラックホール連星の数 山口正輝 (東京大学)
W121a	10:54	超巨大ブラックホールの最大質量の起源 稲吉恒平 (Columbia University)
W122a	11:06	多次元超臨界降着による宇宙初期の巨大ブラックホール形成 竹尾英俊 (京都大学)
W123a	11:18	回転する超大質量星が重力崩壊した際の観測可能性について 打田晴輝 (京都大学)

(次頁に続く)

【W1. コンパクト天体】

3月17日(金)午後(13:30-15:30) [H会場]

W124a	13:30	Be/X 線連星のノーマルアウトバーストの定量的評価(2) 中島基樹(日本大学)
W125a	13:42	Be 星 - パルサー連星系 PSR B1259-63 からの非近星点付近における X 線放射 小野雄貴(東京工業大学)
W126a	13:54	Tidal tearing of highly misaligned circumstellar disks in X-ray/gamma-ray binaries 岡崎敦男(北海学園大学)
W127a	14:06	V404 Cygni のアウトバーストにおけるベイズ統計を用いたタイムラグ解析 木邑真理子(京都大学)
W128a	14:18	NuSTAR と Swift による超高光度 X 線源 IC 342 X-1 の同時観測 志達めぐみ(理化学研究所)
W129a	14:30	「すざく」を用いた LMXB のスペクトル状態遷移の研究 II 小野光(東京大学)
W130a	14:42	X 線連星の降着円盤風の熱駆動機構に基づくスペクトルモデルの開発 都丸亮太(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
W131a	14:54	ブラックホール連星 GRS 1739-278 の low/hard state における鉄輝線プロファイルと truncated disc モデルの整合性 藪悟郎(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
W132a	15:06	X 線天文衛星「ひとみ」による大質量 X 線連星 IGR J16318-4848 の観測 中嶋大(大阪大学)
W133a	15:18	NuSTAR による SS433 の硬 X 線観測 三村健人(早稲田大学)

3月18日(土)午前(09:30-11:30) [H会場]

W134a	09:30	LIGO O2 における MOA 望遠鏡を用いた重力波天体の探索 朝倉悠一朗(名古屋大学)
W135a	09:42	マグネター磁気圏でのフレア前のエネルギー蓄積 小島康史(広島大学)
W136a	09:54	ブラックホールへ落下するスパイラルガス雲の運動と放射特性 森山小太郎(京都大学)
W137a	10:06	系内ブラックホール降着円盤中の乱流粒子加速 寺木悠人(京都大学)
W138a	10:18	超臨界降着流のラインスペクトルの輻射輸送計算 北木孝明(京都大学)
W139a	10:30	ブラックホール降着円盤の系からのジェット形成と宇宙線加速 水田晃(理化学研究所)
W140a	10:42	磁場が卓越した BH 磁気圏の磁場形状と BH 回転エネルギー引き抜き効率 高橋真聡(愛知教育大学)
W141a	10:54	相対論的球対称流における輻射場と速度場の同時解 福江純(大阪教育大学)
W142a	11:06	クォークの 2SC カラー超伝導と核子の超流動を考慮した高密度星の冷却計算 野田常雄(久留米工業大学)
W143a	11:18	コンパクト天体を含む 3 体系及び 4 体系の軌道長期安定性の解析 鈴木遼(早稲田大学)

W101a 長周期X線パルサー X Persei が $> 10^{13}$ G の超強磁場をもつ可能性

牧島一夫, 高木利紘, 三原建弘, 杉崎睦, 谷田部史堯 (理研), 笹野理, 中澤知洋 (東大), 中島基樹 (日大)

これまで確認された連星X線パルサーの表面磁場強度は、サイクロトロン共鳴で測定された GRO J1008–57 の $B = 7 \times 10^{12}$ G (Yamamoto+14) が最高だった。我々は2つの独立したX線観測から、Be型主星をもつ自転周期 $P = 840$ 秒のX線パルサー X Persei (X Per) が $B > 10^{13}$ G の超強磁場をもつ可能性を導いた。

1つ目は、MAXIやRXTEのデータを用い、約15年間にわたるX Perのパルス周期の変化率 \dot{P} とX線光度 L_x の相関を調べた結果である。 P が長いこと、 $L_x = 7 \times 10^{34}$ erg/s の低光度でトルク平衡になること、 \dot{P} が L_x に敏感に依存することなどから、単位降着質量あたりのトルクが大きいと示唆される。そこで \dot{P} を降着トルクで説明する Ghosh & Lamb (1979) の理論モデルを用いると、 $B \gtrsim 10^{13}$ G を仮定したとき観測結果が良く再現された。

2つ目の結果は「すざく」による1–100 keVの広帯域分光によるものである。一般にX線パルサーのスペクトルが10–30 keVより上で鋭く折れるのに対し、X Perのスペクトルは ~ 100 keVまで平坦に延び、この範囲では顕著な折れ曲がりが見られなかった。そこで、X線パルサーのスペクトルの折れ曲がりエネルギーが磁場強度に正相関するという経験則 (Makishima+99) を用いると、X Perの磁場は $B \gtrsim 10^{13}$ G と推定された。

これら2つの独立な結果から、X Perは通常のパルサーより一桁も強い磁場をもつ可能性が強まった。他にも4U 0114+65, 4U 2206+54, 4U 1909+07, 4U 1954+32など長周期 ($P > 10^3$ sec) をもつ一群のX線パルサーは、同様な強磁場をもつ可能性があり、それらはX Perを含めいずれも低光度である。これは通常のパルサーではAlfven半径 R_A 、Bondi半径 R_B 、共回転半径 R_C が $R_A \sim R_C \ll R_B$ を満たすのに対し、これら超強磁場のパルサーでは $R_A \sim R_C \sim R_B$ となり、星風の捕獲ゾーン (R_A から R_B まで) が狭くな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](#)

W102a 強磁場中性子星の超臨界降着柱の構造

川島朋尚 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (国立天文台/総研大), 小川拓未 (京都大学)

近年、超高光度 X 線源 (以下、ULX) M82 X-2 から周期 1.37 秒の X 線パルスが検出され、ULX パルサーの存在が明らかとなった (Bachetti et al. 2014)。パルス放射を示すことから、M82 X-2 では銀河系内のパルサーと同様に、磁軸に沿った中性子星極冠への降着が起きていると考えられる。また、M82 X-2 で見積もられた光度 ($10^{40} \text{ erg}\cdot\text{s}^{-1}$) は中性子星のエディントン光度を大きく超えているため、中性子星極冠への超臨界降着が起きていると考えられる。しかし、中性子星極冠への継続的な超臨界降着は可能なのか、可能な場合には降着柱はどのように光るのか、弱磁場中性子星やブラックホールへの降着との違いは何なのか、よくわかっていない。

ULX パルサーで見積もられている強磁場 (10^{12}G 以上) では、流体の運動は磁力線に沿った動径方向に起こると考えられる。そこで我々は軸対称 2 次元空間で輻射輸送は 2 次元方向に解きつつ流体運動を 1 次元方向 (磁力線に沿った動径方向) に限定して強磁場中性子星極冠への超臨界降着柱の輻射流体シミュレーションを実施した。その結果、我々が以前に実施した流体が極角方向にも運動可能な場合の計算と同様に、降着柱の側面で継続的な超エディントン放射が起こることがわかった。一方で、極角方向への移流による輻射エネルギー輸送が起こらなくなることで降着柱側面への輻射エネルギー輸送効率が下がった結果、動径方向への輻射力が増大し photon bubble 不安定性起源と考えられる finger 構造が現れた。この finger 構造は光学的に厚い降着領域と光学的に薄いアウトフロー領域により構成されている。光学的に厚い降着領域では、各 finger の側面へと輻射が抜けることで finger 内部の輻射圧は重力程度まで下がり、継続的な超臨界降着が可能となっている。本発表ではこの finger を伴う超臨界降着柱の詳しい構造とその観測的特徴について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W103a 中性子星大気中における $Z=52$ 付近の重元素の存在

窪田めぐ、玉川徹 (理研・東理大)、牧島一夫、芹野素子、岩切渉、杉崎睦、中野俊男 (理研)、小野光 (東大理)

低質量連星系 (LMXB) を成す中性子星 (NS) は、スペクトルの形状から、ソフト状態とハード状態に分類される。典型的な NS LMXB である Aql X-1 のハード状態のスペクトルは大局的には、降着円盤からの黒体輻射と中性子星表面からの黒体輻射がコロナで逆コンプトン散乱された2つの成分から説明されるが、30 keV 付近にこの2つの成分では再現できない構造が残ることが先行研究から指摘されている (Sakurai 2015)。

伴星からの降着物質が NS 表面に堆積して臨界温度を超えると核融合が起き、X線バーストを起こす。この際、早い陽子の捕獲反応 (rp-process) が起こり、 $Z = 52$ の Te 付近までの重元素が合成されると考えられている。未だこの観測的な証拠は得られていないが、もし $Z \sim 52$ の元素が NS の大気中があれば、30 keV 付近にその K 吸収端が期待される。

我々は、30 keV 付近の構造について調べるために、「すざく」衛星による Aql X-1 の2007年の観測データの解析を行った。「すざく」のデータは、アウトバーストの立ち下がりの時期を7回観測しており、そのうちハード状態である2-3観測目を足したスペクトルの30 keV 付近の構造に対して再結合放射モデルでフィットしたところ、K 吸収端のエネルギーは 26.8 ± 1.4 keV、プラズマ温度は 2.8 - 11.8 keV という結果を得た。これは、典型的な中性子星の表面の重力赤方偏移を仮定して、H-like まで電離した元素の K 吸収端を考えると、 $Z = 49-52$ に対応し、rp-process で生成される元素と矛盾しない結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W104a X線天文衛星「ひとみ」と電波の同時観測による「かに星雲」パルサーからの Giant radio pulse の X線特性

寺田幸功 (埼玉大), 榎戸輝揚 (京都大), 小山志勇 (宇宙研), 大清水健也 (埼玉大), 高見一輝 (埼玉大), 「ひとみ」コラボレーション, 寺澤敏夫 (理化学研究所), 関戸衛 (Nict 鹿島), 岳藤一宏 (Nict 鹿島), 川合栄治 (Nict 鹿島), 三澤浩昭 (東北大), 土屋史紀 (東北大), 山崎了 (青山学院大), 小林瑛史 (青山学院大), 木坂将太 (青山学院大), 青木貴弘 (山口大学)

単独中性子星の磁気圏から放射は、電波から X 線、ガンマ線まで広い帯域で観測される。近年、電波観測技術の飛躍的な発展により、いくつかの中性子星では、電波帯で平均的パルス強度から数桁以上の強度を持つ巨大電波パルス (Giant Radio Pulse: GRP) がある確率で発生することが知られている。その放射メカニズムは未解決な点が多く、電波帯域の GRP が、X 線ガンマ線帯域の放射にどのような影響があるかも、未だ観測例が乏しい。

「かに星雲」にあるパルサー PSR B0531+21 は観測される全ての波長域でパルスを放出する中性子星で、GRP を放出することで知られている。X 線天文衛星「ひとみ」は、搭載機器の較正のため 実効 8 キロ秒の観測を実施し、うち約 2 キロ秒は、NICT 鹿島 34m アンテナによる 1.4–1.7GHz 帯、東北大飯館アンテナによる 300 MHz 帯の電波との完全同時観測を行った。「ひとみ」は $30\mu\text{s}$ 程度の時刻精度をもつ設計で (2014 年春季年会, 寺田ら)、本観測で $190\mu\text{s}$ 程度まで精度が確認できている (2016 年秋季年会, 小山ら)。電波での到来時刻と照合するに十分な精度である。また 10 keV 以下の軟 X 線で $5\mu\text{s}$ 分解能の計測が可能な点も新しい。電波帯域では、完全同時の時間帯にメインパルスの GRP が 2187 サイクルぶん観測され、X 線は計 31 秒でいどの積分時間が稼げた。本講演では、0.5 – 600 keV 帯域において、GRP の有無による X 線パルス波形の違いを検証し報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W105a 双極子磁場を持つ中性子星への超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

高橋博之、大須賀健 (国立天文台)

2014年に超高光度 X 線源の1つである M82 X-2 から X 線パルスが検出された (Bachetti et al. 2014)。これは M82 X-2 の起源が中性子星であることを示している。その後今年になってさらに2つの超高光度 X 線源から X 線パルスが発見された (Israel '16, Furst '16)。これは超高光度 X 線源がある程度の割合で中心に中性子星を持つことを示している。中性子星への超臨界降着が可能であるか、そしてどの程度のパワーを持つかについては2016年春季年会で報告した (高橋'16)。この計算では中性子星の磁場は非常に弱いと仮定し、中性子星の磁場を無視していた。一方で中性子星の磁場が強い場合、降着が双極磁場に阻害されて降着円盤を作らずに磁極への降着が起こると考えられる (e.g., Kawashima '16)。そこで我々は中性子星の磁場も考慮した大局的な一般相対論的輻射磁気流体計算を実行し、強磁場中性子星へのガス降着の様子を調べた。その結果、円盤の輻射圧が双極磁場による磁気圧よりも強い場合、円盤磁場と双極磁場の間で磁気リコネクションを繰り返しながら降着し、やがて磁気圏は潰れて降着円盤が中性子星へと達することがわかった。この時の典型的な磁場強度は 10^9 G 程度である。一方で双極子磁場強度が 10^{10} G となると磁気圧が輻射圧よりも強くなる半径が現れ、降着円盤は中性子星に達せずに途切れる。そして円盤ガスは極軸方向へと降着することがわかった。またこの場合でも降着によって解放されたエネルギーにより、強いジェットを形成することがわかった。本公演では降着円盤と降着柱、そしてジェット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](#)

W106a LMXB Serpens X-1 における重力赤方偏移した中性子星大気吸収線の探索

米田浩基 (ISAS/JAXA, 東大), Chris Done (University of Durham), Frits Paerels (Columbia University), 渡辺伸 (ISAS/JAXA, 東大), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA, 東大)

中性子星表面からの黒体放射は、自身の大気によって吸収を受ける。その際に、鉄を始めとした重元素によって作られる吸収線は、中性子星の強い重力場により赤方偏移する。その赤方偏移量は、中性子星の質量と半径の比に依存するため、これを測定することができれば、高密度物質の状態方程式に正確な制限を与えることができる。一方で、現在までに、重力赤方偏移した吸収線を検出したという確からしい報告はない。

大気吸収線は、主に、磁場によるゼーマン効果と星の自転運動によるドップラー効果によって広げられてしまうため、観測ターゲットは、磁場が弱く ($< 10^9$ G)、視線方向の回転速度が遅い天体に限られる。本研究で観測ターゲットとして選んだ Serpens X-1 は、低質量 X 線連星であるため弱磁場であり、かつ、可視光観測から軌道傾斜角が約 10° と小さいことが分かっているため、大気吸収線の観測ターゲットとして最適である。

我々は、まず、X 線衛星「すざく」の 1 keV から 20 keV までのスペクトルを利用し、Serpens X-1 への質量降着率や円盤と星表面の境界層内の電子温度などの物理量を測定した。加えて、中性子星大気モデルを用いて、Fe XXV の吸収線の等価幅を予測した。次に、エネルギー分解能の高い *Chandra*/HETG のデータを用いて、Fe XXV の吸収線のブラインドサーチを重力赤方偏移量 $z = 0.1 \sim 0.7$ の範囲で行なった。 3σ 以上の有意度を持った吸収線は検出されなかったが、得られた吸収線の等価幅の上限値と予測量を比較することで、Serpens X-1 の中性子星表面状態について制限を加えることができた。本講演では、以上の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W107a 単独中性子星 RX J1856.5-3754 からの keV-X 線超過成分の発見 (2)

米山友景, 林田清, 中嶋大, 井上翔太, 常深博 (大阪大学)

単独中星子星から放射される数 10 万 K の黒体輻射は、核力モデルを検証する鍵となる中性子星の質量と半径を測定する上で重要である。単独中星子星のうち地球に最も近く (~120 pc) 明るいのが ROSAT 衛星で発見された RX J1856.5-3754(以下 J1856) で、かつて、中性子星よりも更にコンパクトなクォーク星の候補として話題を呼んだこともある。複数の X 線天文衛星で繰り返し観測されており、スペクトルは温度 kT 32 eV と 64 eV の 2 温度黒体輻射モデルで近似され、吸収線や輝線も持たないことが知られている。スペクトルが明確であり、時間変動もしないことから、X 線検出器較正にも用いられてきた。

本研究では、すざく衛星、XMM Newton 衛星が 2004-2015 年の間にのべ 22 回観測した J1856 の X 線スペクトルを網羅的に解析した。結果として、0.8 keV 以上のエネルギーで 2 温度黒体輻射では再現できない超過成分があることを発見した。この成分の起源を確かめるため、バックグラウンドのゆらぎ、低エネルギー光子のパイルアップ、他点源の混入などについて、前回の報告時よりも詳細に検証した。その結果、これらの要因では説明できないことが確認された。更に、この超過成分を含むバンド (0.8-1.2 keV) と全体のバンド (0.2-1.2 keV) のコヒーレント周期解析を行った。結果、全体では 7.05525 s の既知の周期が現れたが、超過成分は有意な周期見いだせなかった。そこで、光度曲線を 7.05525 秒で畳み込み、超過成分の振幅の上限値として 3 %を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W108a 降着 X 線パルサーにおける降着物質のバルクモーションのサイクロトロン線への影響

西村 治 (長野高専)

多くの降着 X 線パルサーのスペクトルにはサイクロトロン線が見ついている。そのエネルギーからは磁場の強さが測定できるだけでなく、その特徴から中性子星の磁極付近に形成される降着円柱の幾何学やプラズマの物理的状态を考察できる点でも重要である。Nishimura(2014)では、降着円柱における降着物質のバルクモーションがサイクロトロン線のエネルギーに影響を与えることを議論した。今回は、さらにバルクモーションの速度が変化することによりサイクロトロン線にどのような影響を与えるかをモンテカルロ法により調べた。

サイクロトロン線のエネルギーはパルス位相とともに変化することが観測されているが、その変化量はさまざまであり、その原因はよくわかっていない。例えば、Her X-1 ではパルス位相ごとのサイクロトロン線のエネルギーが大きく変化するが、A0535+26 などではそれほど変化しないことが報告されている。

ここでは、バルクモーションの影響を考えることで、何故、サイクロトロン線のエネルギーがパルス位相とともに大きく変化し得るかを考察する。このモデルでは、ビームパターンの変化により、バルクモーションの速度が変わると考え、サイクロトロン線のエネルギーが磁場に対する視線方向の角度とともにどのように変化するかを調べた。この結果と観測結果の特徴を比較することにより、何故サイクロトロン線のエネルギーのパルス位相に伴う変化量が降着 X 線パルサーによって異なってくるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W109a 差動回転する中性子星の力学平衡解

岡本章宏 (琉球大学), 瓜生康史 (琉球大学), Antonios Tsokaros (UIUC), Filippo Galeazzi (Frankfurt), 谷口敬介 (琉球大学), 吉田慎一郎 (東京大学)

超新星爆発の際に生まれる原始中性子星や、重力波放出による連星中性子星の合体後に生成される中性子星は、差動回転をしていると考えられる。この中性子星の差動回転は、表面での角速度 Ω が中心での値の数分の1程度とシミュレーション等から予想されているが、このような中性子星の平衡解は一般相対論的な重力の下ではほとんど調べられていない。差動回転が散逸により剛体回転になるまでには力学的時間尺度より十分長い時間を要すると考えられることから、このような平衡解の計算法を開発することは重要である。最近我々は、差動回転をする場合の相対論的な静水平衡の式の新たな定式化を行い、角速度 Ω が回転軸からの距離の負の実数べき乗となる、より一般的な差動回転則を与えた相対論的回転星の平衡解の数値計算に成功した。本研究では、 $\Gamma = 2$ と 3 のポリトロピック状態方程式の場合に、表面と中心の角速度 Ω の比が $1/5$ から $1/2$ 程度の差動回転をする回転星の軸対称平衡解の系列を、球形に近いものから質量放出直前の高速回転の場合まで計算した。差動回転が弱い場合では、剛体回転の場合と同様に質量放出を起こす際の中性子星は楕円体的な形状をしているが、差動回転をやや強くすると、質量放出を起こさずにリング型に大きく変形する平衡解が存在する。今回の計算で、この変化が表面と中心の角速度 Ω の比が $1/5$ から $2/5$ 付近で現れることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W110a 中性子星のX線偏光に関する体系的な予想

矢田部彰宏, 山田章一 (早稲田大学)

X線における中性子星観測では光度曲線やスペクトルなどが観測されていて、歴史的にはこれらの観測量が得られるたびに中性子星の理解が大きく進んだ。さらに現在、複数の軟X線での偏光観測が計画されている。この観測が実現すれば中性子星の表面や磁気構造に関する情報が得られ、中性子星に対する理解がまた大きく進むはずである。中性子星の偏光には表面からの放射自体の偏光の性質と伝播に伴う偏光の発展が重要である。表面からの放射は強い磁場中の散乱断面積は偏光モードごとに異なるので偏光した放射が出ると考えられている。今回は簡単のために2つあるうちの片方の偏光モードの放射だけが起こるとする。伝播による偏光の発展には表面近くにおける偏光モードの変換と磁気圏中での磁場の向きによる偏光の発展が効く。これらはどちらも量子論的な効果である。

実際の観測においては観測された偏光によって中性子星の配置や磁気の構造などを予想することになる。そのため、効率よく偏光を予想することができれば非常に便利である。中性子星の配置から効率よく偏光の観測量を予想する手法自体はすでに開発されているが、表面近くでの偏光モードの変換は考慮されていない。そこで本研究では中性子星表面近くにおけるモード変換にも注目して中性子星の配置などと偏光の観測量の関係を扱う。具体的には、中性子星の表面で偏光した放射が起こるとして、それが偏光モードの変換と磁気圏における偏光の発展という量子論的な効果によって観測される偏光がどのように変化するかを2つの観測量、偏光度と偏光角によって議論する。その結果、表面近くでの偏光モード変換によって偏光角がエネルギーによって変化することがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W111b HLLD 法による二温度磁気流体計算コードの開発

大村匠, 町田真美 (九州大学), 中村賢仁 (九州産業大学)

コンパクト天体には、その強い重力によって落ち込むガスにより降着円盤が形成される。ブラックホール X 線連星 (BHXBs) や活動銀河核 (AGNs) は、降着円盤から開放される重力エネルギーが活動性の起源となっている。降着円盤の降着流は、円盤への質量降着率によって状態が変化する。降着率が低い場合、光学的に薄い放射非効率な円盤 (ADAF) となる。放射が非効率的であるため、ガスが冷やされずブラックホール近傍で 10^{12}K にまで達する。ガス温度が低い場合、電子温度と陽子温度はクーロン衝突の効果によって同じ温度となる。そのため、ガスは一流体プラズマとして流体計算を行うことができる。しかし、ADAF のような高温降着流においては、ガス温度が電子の静止エネルギー ($T_e \sim 10^{9.5}\text{K}$) を超えるため、二温度分布を形成する。ゆえに、電子と陽子は同じ速度で動くが、互いにエネルギーのやりとりを行う一流体二温度プラズマとして計算を行う必要がある。また、質量降着率が増加するとともに、ガス密度が増加し、放射冷却が重要となる。電子温度を正確に取り扱うことで放射をより正確に取り扱うことができる。よって、研究目的である、Sgr A* や Low/Hard 状態の BHXBs の観測結果を数値計算で再現するためには、二温度プラズマの磁気流体計算を行う必要がある。

ADAF の二温度を取り入れた流体計算は、先行研究として二次元の一般相対論的輻射二温度磁気流体計算 (Sadowski et al. 2016) が行われている。先行研究は、複雑な物理を扱っているため、正確だが我々の目的である長時間の円盤の発展を追うことは難しい。そのため私は、CANS+ の HLLD 法の磁気流体計算に電子のエントロピー保存則を加えることで、非相対論的二温度磁気流体計算コードの開発を行った。本講演では、テスト計算の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W112b Radiation Driven Winds from a Binary Black Hole

飯島一真, 小川拓未, 嶺重慎 (京都大学), Tobias Illenseer (キール大学)

ブラックホール同士による連星系であるバイナリーブラックホール (BBH) は、2つのブラックホールの衝突の際に発生する重力波の検出により、近年高い関心を呼んでいる。それに伴い、BBHにおいて多くのシミュレーションがなされており、例えば Hayasaki et al. (2008) により、2つのブラックホールそれぞれに降着円盤ができることが分かっている。そこで今回我々は、降着円盤から輻射を受けてガスが飛んでいく現象である輻射駆動型アウトフローの、バイナリーブラックホールでの挙動に着目した。公転する2つのブラックホールからのアウトフローは、1つのブラックホールからのものとは異なる振る舞いが予想される。

そのためにまず、キール大学との共同研究として、バイナリーの形状に合わせてメッシュを張り直す curvilinear grid 法に基づく Fosite コードを用いて等温の条件下で2次元流体計算を行った。更にこのシミュレーションデータを用いて、輻射場を計算し、その輻射力を受けて飛んでいく粒子の挙動も計算した。シングルブラックホールの周りの降着円盤からの輻射駆動型アウトフローの計算を行った、Watarai et al. 1999 では降着円盤をモデル化した自己相似解を用いて輻射場を計算し、粒子の運動を解いているが、今回の計算はシミュレーションデータを用いた。より現実的な輻射場を用いて、各ブラックホールから吹き出したガスが衝突する様子が計算できた。この衝突の際に、強い輻射が生み出されると期待される。それを用いた BBH の観測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](#)

W113b パルサーの距離情報を用いた銀河系内電離ガス密度分布推定 IV

亀谷 収 (国立天文台)

パルサーの相対 VLBI 観測やパルサータイミング観測によってパルサーの距離が近年正確に求められる例が増えている。その方法によって求められたパルサーと地球間の電離ガスの分布をパルサーの Dispersion Measure のデータと正確な距離の情報から求める研究をこれまで3回発表してきている。日本天文学会 2012 年春季年会および秋季年会の講演では、その当時までに出版された 47 個のパルサーのデータを用いて、パルサーと地球間の電離ガスの平均密度の情報を求めた。更に 2016 年春季年会においては、パルサーの視差データが 86 個へと増えたことから、これまでのデータを洗い直して、天の川銀河内の密度分布、これまで考えられた密度モデルの信頼性について、報告した。

今回は、昨年報告したデータの解析を更に進めた結果、天の川銀河内のパルサーの分布と密度分布、更には磁場分布についての新しい描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](#)

W114b 「すざく」衛星で観測された GRS1747–312 からの継続時間の長い X 線バースト

岩井將親, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA)

GRS 1747–312 は、球状星団である Terzan 6 内に位置する低質量 X 線連星系である。2009 年 9 月に、「すざく」衛星による銀河中心方向のマッピング観測中に、衛星の視野内に入っていたこの天体から偶然 X 線バーストが検出された。これは、減光の e-folding time が 100 秒を超えるという継続時間の長い稀な X 線バーストであったが、残念ながら decay の大部分は SAA により観測できていない。我々はこのバーストのスペクトル解析から、decay phase で 7 keV 付近に幅の広い欠損構造を発見した。この構造の起源について、2014 年春季年会で発表した。

X 線バーストの decay は SAA で観測できていなかったが、約 1 時間後に観測が再開された時も元の光度には戻っておらず、定常放射よりも明るい状態（ここでは、long tail と呼ぶ）が続いているのが観測されていた。同様の long tail は、過去に、同じような継続時間を持つ GS 1826–24 のバーストなどからも見つかっている (in't Zand J. J. M., et al., 2009, A&A 497, 469)。このような long tail の起源についてはまだ良く分かっていない。X 線バースト自身がこのような長いタイムスケールを持つ可能性や、バーストによる質量降着率の一時的な増加の可能性が考えられる。そのため、GRS 1747–312 から観測された long tail のスペクトル解析を行い、その起源にアプローチした。また、バースト直後の硬 X 線観測データを用いた preliminary な解析から、X 線バーストの硬 X 線放射が秒程度のタイムスケールで変化している様子も検出された。これは、中性子星近傍の高温プラズマの時間変動を反映していると考えられる。本講演では、これら解析の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W115b 過去7年間の全天X線監視装置 MAXI のデータを用いた突発現象発見のための再解析準備

田中一輝, 根来均 (日本大学), 中平聡史, 海老沢研 (JAXA)

国際宇宙ステーションに搭載された全天X線監視装置 MAXI のデータを用いて、筑波宇宙センター内に設置した突発天体発見システム (Negoro et al. 2016) によりこれまで6つの新たなブラックホール候補天体を発見するなど多くの突発現象を発見報告してきた。しかし、2009年8月から始まった運用初期の段階では検出のための閾値が最適化されておらず、また、2011年3月まではリアルタイムに地上にダウンロードされるデータのみを解析していたため、残りの約2-3割のデータは解析されておらず、突発現象を見逃してきた可能性がある。また、各検出器の較正も進み、点源の広がりも改善され、より変動天体を検出しやすい環境が整いつつある。

そこで我々は、ブラックホール等のX線連星系のアウトバーストの再帰性の調査や、これまで検出が困難であった遠方の暗いX線新星の発見や潮汐破壊現象の検出などを目的した、過去7年間の MAXI のデータの再解析の準備を行っている。再解析では、データ欠損がほぼない筑波のオリジナルデータと理化学研究所の杉崎らにより最新の較正が施されたデータを日大のシステムに転送し、新たにデータベース (PostgreSQL) に格納する。これらのデータは期間毎に FITS 形式になっており、これまでデータ変換により生じた形式等の誤変換の有無についても注意し、時系列に戻して格納した。また、解析はリアルタイムの10-20倍速で行われるため、検出されたイベントのための再解析のために、データベースからデータを取得するプロセスもデータベースからのデータ取得方法を見直し、最大で4-5倍の高速化を行った。公演ではこれらの準備状況と今後の予定について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W116a MAXI J1957+032 の再フレアを含む MAXI が検出した 2016 年度後半の突発現象と MAXI J0636+146 の発見とその正体

根来 均, 中島基樹, 田中一輝, 増満隆洋 (日本大学), 芹野素子, 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 中平聡志 (JAXA), 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

MAXI が 2016 年度後半に検出した突発現象等について報告する。前回の秋季天文学会以降、12 月 6 日までに突発天体発見システムが検出した X 線領域での増光現象のうち 7 件と 2 件のガンマ線バーストらしき現象をそれぞれ、The Astronomer's Telegram (ATel) と Gamma-ray Coordinates Network (GCN) に速報した。

今回新たに発見された MAXI J0636+146 は、11 月 3 日に突発天体発見システムにより検出され (Negoro+ ATel #9707)、約 4 時間後に行われた Swift/XRT の ToO 観測によりその正確な位置が求められ、新天体であることが確認された (Kennea+ ATel #9710)。しかし、可視では対応天体が見つかっておらず、その正体は不明である。同じく正体不明の MAXI J1957+032 の 4 度目のアウトバースト (Negoro+ #9565) はこれまでになく長く (数日) 続いたため、Swift/XRT によりアウトバースト中の詳細な光度曲線とエネルギースペクトルを得ることができ、その正体解明の手がかりを得た。また、ブラックホール候補天体 H 1743-322 の新たなアウトバースト (Shidatsu+ #9726)、中性子星低質量連星系 4U 1711-34 の MAXI 7 年間で 2 度目のアウトバースト (Negoro+ #9807)、Be パルサー 4U 0115+63, GRO J1008-57 (Nakajima+ #9512), V0332+53 (Nakajima+ #9596), 4U 0728-25 (Nakajima+ #9820) の Type 1 型アウトバーストの出現も世界に先駆けて報告し、4U 0728-25 については新たな軌道要素も提供した。講演ではこれらの結果と最新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](#)

W117a 全天X線観測装置 MAXI によるへび座 X-1 からのスーパーバーストの検出

岩切渉, 芹野素子, 三原建弘 (理研), 中平聡志 (JAXA), 根来均 (日本大学), 榎戸輝揚 (京都大学) ほか
MAXI チーム

低質量 X 線連星系で稀に発生するスーパーバーストは、通常の I 型 X 線バーストの継続時間が数十秒であるのに対して、数時間にも及び、解放されるエネルギーは約千倍ほど大きい現象である。この起源としては、堆積したヘリウムのトリプルアルファ反応によって生成される炭素の燃焼過程で引き起こされると考えられているが、観測例が少なく、炭素の燃焼が始まる条件等、十分に分かっていないことが多い。スーパーバーストは 1996 年の発見以来 25 例が観測されている。全天 X 線観測装置 MAXI は、このうち 7 年間で 10 個のスーパーバーストを検出 (候補含む) しており、この稀有な現象に対して高い検出能力を示していることがわかる。今回我々は、これまでに BeppoSAX 衛星と RXTE 衛星によって三回のスーパーバーストが観測されているへび座 X-1 の、MAXI による観測データからスーパーバーストと思われる継続時間が 2.2 時間であるバーストを検出した。MAXI で得られたスペクトルが、黒体放射モデルでよく再現でき、バーストの減衰に合わせて、温度が ~ 2 keV から ~ 1 keV へと下がり、かつ黒体半径が変化しない典型的な X 線バーストの変動を示すことから、我々はへび座 X-1 からの四回目のスーパーバーストを検出したと結論づけた。本講演では、四回のスーパーバーストの継続時間や回帰周期について議論を行う。また、MAXI と 2017 年 3 月に ISS に搭載予定である X 線帯域に大有効面積を誇る NASA の NICER 装置を、ISS 内のネットワークで繋ぎ、突発天体の即時追観測を行う OHMAN プロジェクトの取り組みについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W118a ブラックホール候補天体の降着円盤の状態遷移と質量降着率の関係の再検証

増満隆洋, 根来均 (日本大学) ほか MAXI チーム

ブラックホール候補天体 (BHC) などの X 線天体の降着円盤は質量降着率の変化により状態遷移を起こす。そのうち、BHC の high/soft 状態 (HSS) から low/hard 状態 (LHS) に遷移するときの光度は、エディントン光度の 1-4% (Maccarone 2003)、あるいは 0.1-10% (Dunn et al. 2010) の範囲内にあることが知られている。また、アウトバースト後の静穏期の長さが長いほど次のアウトバーストの規模が大きくなり、その LHS のピーク光度と HSS のピーク光度には比例関係がある (Yu et al. 2007) ことも示された。我々は、前者の HSS から LHS への遷移時の強度とエディントン光度の関係から、全天 X 線監視装置 MAXI により新たに発見された BHC の距離を見積もることを主な目的とした、これらの関係について検証を行っている。前回の年会において、彼らが検証に用いた GX 339-4 と、MAXI が過去 7 年間に最も多くのアウトバーストを観測してきた H1743-322 の MAXI/GSC, RXTE/ASM, Swift/BAT のデータを用いて、GX 339-4 については LHS への遷移時の光度がエディントン光度の 1-3% とこれまでの結果を支持する結果が得られたが、アウトバーストの規模の関係に関しては、両天体において確認できないことを示した。

今回、MAXI のデータ単独では状態遷移時の強度を正しく見積もることが困難であった H 1743-322 に対しても、MAXI/GSC に加え、Swift/BAT のデータを用いることにより、これまでスペクトルモデルを仮定していた 20 keV 以上のハードな X 線領域についても観測的に正しく光度を見積もることができたのでその結果について報告する。また、これまでに得られた結果から示唆される、伴星からの質量降着率の長期変化とアウトバーストを引き起こす降着円盤の状態変化についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W119a 銀河系内孤立ブラックホールの光度分布

松本達矢

銀河系内にはブラックホール (BH) と考えられている天体が X 線連星として約数十個ほど観測されている。しかし、理論的にはこれを超える数 ($\sim 10^8$ 個) の BH が銀河系内に存在することが示唆されている。特に、連星を組まずに系内を漂っている孤立 BH は質量降着が少なく、光度が小さいため、現在までに観測による検出を逃れていると考えられる。我々は、これら孤立 BH が将来の X 線観測計画によって検出される可能性があるかを議論するために、孤立 BH の光度函数を計算した。計算では、星間物質の分布や BH 質量函数を用いて BH への質量降着率分布を求め、降着円盤モデルを用いて X 線光度に換算した。その結果、孤立 BH は星間物質密度の大きな分子雲中で最も明るく輝き、eROSITA 衛星によって検出できる可能性があることがわかった。本公演では、この結果の詳細を報告し、具体的に孤立 BH を検出するための他天体との識別方法などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W120a 位置天文衛星 Gaia で発見できるブラックホール連星の数

山口正輝 (東京大学)

この銀河系には 10^{8-9} 個のブラックホールが存在すると言われているが、我々が知るブラックホールの数は60個程度である。さらに質量を制限できているのはこのうち10個程度である。多くのブラックホールを発見しその質量を推定できれば、超新星爆発を通じたブラックホール形成の謎を解く手がかりとなる。現在観測を続けている位置天文衛星 Gaia は、ブラックホールの探査及びその質量推定に適した観測仕様を持つ。

そこで、Gaia でいくつのブラックホールが質量推定できるかを見積もった。その際、川中氏による Gaia で観測が可能なブラックホール連星の数 (2015 年秋季年会 J113a) の結果を用いた。Gaia で観測可能でありかつブラックホールを伴星に持つ連星の距離分布をまず推定し、そのうちどの程度の割合が Gaia の位置天文観測で軌道検出およびブラックホール質量の推定が可能かを推定した。その結果、A,F,G 型主系列星であれば 1/2 程度の割合であることがわかった。川中氏の結果によれば、Gaia で観測可能な A,F,G 型主系列星の数は 3000 個程度であるため、1000 個以上のブラックホール連星が同定できることになる。したがって、Gaia の位置天文観測により、これまでと桁違いの数のブラックホールが発見でき、その数はブラックホールの質量分布を構築するのに十分である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W121a 超巨大ブラックホールの最大質量の起源

稲吉恒平, Zoltan Haiman, Jeremiah Ostriker (Columbia University)

観測されている超巨大ブラックホール (BH) の質量の最大値はおよそ $a\text{ few} \times 10^{10} M_{\odot}$ であり、さらにその値は近傍の宇宙 ($z \simeq 0$) から初期宇宙 ($z \gtrsim 6$) にかけてあまり変化していないことが知られている。我々は BH の最大質量が銀河や宇宙論には依らずに、銀河核の降着円盤の物理過程により決まるというモデルを提案する。質量が $\gtrsim 10^{10} M_{\odot}$ の BH をさらに成長させるためには $\sim 10^3 M_{\odot}/\text{yr}$ を越えるガスの供給率が中心核付近 ($\sim 1\text{ pc}$) で達成される必要があるが、そのような大量のガスは BH に届く前に $10 - 100\text{ pc}$ スケールの銀河円盤内での星形成により消費されてしまう。我々は星形成円盤の解析的なモデルを用いて、sub-pc スケールへのガス供給率は高々 $a\text{ few } M_{\odot}/\text{yr}$ にまで減少する事を示した。このとき、中心の超巨大 BH の質量が $10^{10} M_{\odot}$ を越えると、 $r \gtrsim 1\text{ pc}$ からの供給率は Eddington 降着率の僅か 1% に相当する。そのため、中心核の降着円盤は移流優勢の解になり、強いアウトフローが吹きさらに BH へのガス供給率が小さくなることが期待できる。そこで我々は、2次元の輻射流体シミュレーションを用いることで、BH 質量が $10^{10} M_{\odot}$ を越えた辺りで降着流の性質が標準円盤から移流優勢流に変化してしまい、実際に BH 質量の成長がアウトフローにより大きく妨げられるのかを調べ、その必要条件を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W122a 多次元超臨界降着による宇宙初期の巨大ブラックホール形成

竹尾英俊 (京都大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 大須賀健, 高橋博之 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大学)

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 6 - 7$) において、超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_\odot$) が観測されているが、その形成過程は不明である。一説として、宇宙初期 ($z \sim 20$) にできた初代星由来のブラックホール ($\sim 10^{1-3} M_\odot$) が、超臨界降着 (エディントン限界を上回る降着) で急成長したとするものがある。しかし、ガス降着に伴う輻射フィードバックが、超臨界の発生を困難にするとされてきた。

これまでの研究から、非等方輻射場 (降着円盤の回転軸方向に強く、赤道面方向には弱い) のもとでは、降着と輻射のすみ分けが起こり、超臨界降着が可能であると判明している [16 年度秋年会における我々の講演、および Sugimura et al. (2016)]。一方、極方向では強い輻射のために、電離された、高温・高圧のアウトフローが生じる。そのため、超臨界降着は、輻射の弱い赤道面付近からのみ起こるとされてきた。

今回我々は、非等方輻射場中でも、 $M_{\text{BH}} \gtrsim 10^4 M_\odot$ 程度の大きなブラックホールでは、アウトフロー領域が消滅し、全方向がインフロー領域となることを、初めて明らかにした。我々の 2 次元輻射流体計算によれば、はじめ赤道方向からのみ流入していた中性ガスが、中性領域から溢れだし、回転軸周りの電離領域に侵入した。ガスは、輻射源を完全に覆い、中心部からの輻射を完全に遮断した。結果として、ガスは輻射の妨害なしに降着でき、最終的に球対称定常の超臨界降着が実現すると期待される。本講演では、この全方位超臨界降着の発生とプロセスについて解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W123a 回転する超大質量星が重力崩壊した際の観測可能性について

打田晴輝, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所)

赤方偏移 $z \geq 6$ の初期宇宙には約 10^9 太陽質量の超巨大 BH が存在することが分かっている (e.g. Mortlock et al. 2011)。しかし、このような巨大な BH がどのようにして形成されたのかは分かっておらず、現在の宇宙物理学の大きな問題の一つになっている。この問題を解決できるシナリオとして、 10^5 太陽質量程度の超大質量星 (Super Massive Star; SMS) が宇宙初期に形成され、重力崩壊して同程度の質量を持った BH が形成され、ガス降着により超巨大 BH へ成長するというシナリオが考えられている。このシナリオを検証するには SMS が宇宙初期に存在したことを確認できれば良いが、非常に遠方の初期宇宙に存在するために直接観測には成功していない。そこで我々は SMS コアの重力崩壊に着目し、重力崩壊に伴い観測できる電磁波や重力波が放出される可能性について調べている。我々の過去の研究により、SMS コアは回転していると強く安定化され、最大で質量が 6×10^5 太陽質量程度までは重力崩壊しないことが分かっている (Shibata et al. 2016)。我々はこのような大質量のコアが重力崩壊した際の観測可能性について数値相対論を用いて調べた。結果として、回転が十分に早いとコアの質量の約 1% が光速の 10% 程度で吹き飛ばされる現象が確認された。このようなアウトフローは SMS の外層と相互作用しながら伝播し、超新星爆発のように観測できる可能性がある。また、重力崩壊後は BH が形成されその周りにトーラスができることが分かった。本発表ではそれらの観測可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W124a Be/X線連星のノーマルアウトバーストの定量的評価(2)

中島基樹(日本大学)、三原建弘、杉崎睦、高木利紘、松岡勝(理研)、中平聡(JAXA)、他MAXIチーム

星周円盤(Be disk)を持つ10倍太陽質量以上のBe星と強磁場中性子星からなるBe/X線連星系は、Be diskから中性子星への質量降着によりX線で増光する。観測されるX線増光は現象論的に二つに分類されている。近星点付近で周期的に増光するnormal outburstは、継続時間が数日から10日前後(軌道周期の1-2割程度)であり、最大X線光度は $\sim 10^{36-37}$ erg/s付近に分布する。もう一つはgiant outburstと呼ばれる大增光で、軌道位相によらずかつ最大X線光度も $\geq 10^{37}$ erg/sと明るく、継続時間は軌道周期の数倍に及ぶものもある。2015年秋季年会では、MAXI/GSCおよびSwift/BATで観測された5つの代表的なBe/X線連星系のnormal outburstの系統的かつ定量的な解析結果について報告した。その中で、normal outburstの増光位相におけるX線フラックスの増加率とピークフラックスの関係が正相関になることを報告したが、詳細な議論までは行っていない。本講演では、解析対象の天体数を増やし、より詳細に解析したX線フラックス増加率とピークフラックスの関連について議論する。2015年の秋季年会以後、新たに数天体から複数のnormal outburstをMAXIおよびSwiftで観測した。各天体毎のX線フラックス増加率とピークフラックスの関係をべき関数で近似したところ、それぞれのべきが天体毎に異なるが明らかになった。また、それらのべきは連星系の離心率に依存していることが分かった。解釈としては、離心率の大きな系では近星点付近で降着半径が急激に収縮するため、中性子星まわりのロッシュローブ内のガスが中性子星に向かって落ちやすくな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](#)

W125a Be 星 – パルサー – 連星系 PSR B1259–63 からの非近星点付近における X 線放射

小野雄貴, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 森井幹雄 (統計数理研究所), ほか MAXI チーム

PSR B1259–63 は、Be 星とパルサーから成る連星系である。この連星系の特徴として、3.4 年の軌道周期中の近星点付近において、X 線領域から TeV ガンマ線領域の広いエネルギー領域で増光する事が知られている。これは近星点付近において、パルサーが Be 星の星周円盤の中を通過するために、パルサー風と星周円盤の衝突により衝撃波加速が起こり、加速された電子と陽電子から様々な非熱的放射が起こるためと理解されている。

ところが、全天 X 線監視装置 MAXI の約 5 年にわたる観測により、この天体を含む領域から非近星点付近において 5 回の X 線の増光が見られ、そのうち 3 回は PSR B1259–63 の非近星点位相での増光である可能性が高い事が分かった。同じメカニズムで PSR B1259–63 が非近星点位相で増光するためには、Be 星が星周円盤方向以外へも質量放出を行い、非近星点位相でパルサー周辺のガス密度が上がっている必要がある。そこで本研究では、MAXI で観測されたフレアを説明するために必要な伴星の質量放出量などの条件を検討した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W126a Tidal tearing of highly misaligned circumstellar disks in X-ray/gamma-ray binaries

Atsuo Okazaki (Hokkai-Gakuen University), Kimitake Hayasaki (Chungbuk National University),
Yuki Moritani (Kavli IPMU, The University of Tokyo)

About a half of high-mass X-ray binaries host a Be star [an OB star with a viscous *decretion* (slowly outflowing) disk]. These Be/X-ray binaries exhibit two types of X-ray outbursts (Stella et al. 1986), normal X-ray outbursts ($L_X \sim 10^{36-37} \text{ erg s}^{-1}$), which occurs at the interval of the orbital period (10–300 d), and giant X-ray outbursts ($L_X > 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$), the interval of which ranges from a few years to more than a few decades. The origin of giant X-ray outbursts is unknown. On the other hand, a half of gamma-ray binaries have a Be star as the optical counterpart. One of these systems [LS I +61 303 ($P_{\text{orb}} = 26.5 \text{ d}$)] shows the *superorbital* (1,667 d) modulation in radio through X-ray bands. No consensus has been obtained for its origin.

In this talk, we report on the cyclic evolution of highly misaligned Be disks in short-period Be/X-ray and gamma-ray binaries, on the basis of 3D hydrodynamic simulations. Each cycle consists of the following stages: 1) As the Be disk grows with time, the initially circular disk becomes eccentric by the Kozai-Lidov mechanism. 2) At some point, the disk is tidally torn off near the base and starts precession. 3) Due to precession, a gap opens between the disk base and mass ejection region, which allows the formation of a new disk in the stellar equatorial plane. 4) The newly formed disk finally replaces the precessing old disk.

We discuss the possibility that this cyclic disk evolution is responsible for both the giant X-ray outbursts of Be/X-ray binaries and the superorbital modulation in the gamma-ray binary LS I +61 303.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W127a V404 Cygniのアウトバーストにおけるベイズ統計を用いたタイムラグ解析

木邑真理子, 磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 志達めぐみ (理化学研究所), Hyungsuk Tak (Harvard University), 伊藤弘, Tamás Tordai, 笠井潔, William Goff, 清田誠一郎, ほか VSNET team

V404 Cyg は X 線や可視光でおおよそ数十日から数百日にわたり急激な増光現象 (アウトバースト) を示すランジェントなブラックホール X 線連星である。2015 年 6 月、この天体は 26 年ぶりに増光し、不規則な変動に加え、世界で初めて規則的な可視光の変動が X 線連星のアウトバースト中に確認された。また、多波長 SED 解析より、規則的な可視光変動の起源が降着円盤外側への X 線照射によるものであると示された (Kimura et al. 2016)。

2015 年 12 月、この天体は約半年ぶりに再びアウトバースト状態となった。私達は VSNET (国際変光星ネットワーク) を通じ、このアウトバーストの可視連続測光観測を行った。その結果、光度曲線全体の傾向や激しい可視光変動などが 6 月のものとよく似ており、6 月の増光中に観測された規則的な変動はこの天体のアウトバーストに共通して見受けられることも示唆された。また、不規則な可視光変動について、*INTEGRAL* 衛星の X 線同時観測データの変動とのタイムラグを、Tak et al. (2016) によるベイズ統計を用いた解析法の改良版により見積もった結果、X 線変動が可視光変動に対しておおよそ数十秒遅れていたことが分かった。この X 線の遅れは降着円盤外側で発生した降着流が円盤内縁部まで伝播する時間に対応すると考えられる。一般的に、(1) 観測時間が不規則である、(2) 悪天候などにより観測期間に欠けがある、(3) 波長によって観測時間が異なる、などの難点を持つ二つの天文の時系列データ間のタイムラグの見積もりは困難であるが、Tak et al. (2016) の状態空間モデルベースの新手法はこのようなデータに適用可能である。本講演では、V404 Cyg では様々な起源の可視光変動が見受けられること、ベイズ統計を用いた多波長時間変動解析の将来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](#)

W128a NuSTAR と Swift による超高光度 X 線源 IC 342 X-1 の同時観測

志達めぐみ (理化学研究所), 上田佳宏 (京都大学), Sergei Fabrika (ロシア特別天体物理観測所)

超高光度 X 線源 (Ultraluminous X-ray sources; ULX) は、近傍銀河に見られ、恒星質量ブラックホールのエディントン光度 ($\sim 10^{39}$ erg/s) を超える光度で輝く天体である。その正体として、超臨界降着を引き起こしている恒星質量ブラックホールであるとする説と、中間質量ブラックホールであるとする説があり、いまだ決着がついていない。ULX の X 線スペクトルは、銀河系内に見られるブラックホール X 線連星の典型的なスペクトルとは形状が異なっており、 ≈ 10 keV の比較的低温の電子による光学的に厚いコンプトン散乱モデルでよく表されるが、その起源はよく理解されていない。

我々は、2016 年 10 月に X 線衛星 NuSTAR と Swift 衛星を用いて超高光度 X 線源 IC 342 X-1 の同時観測を行った。観測期間 (約 24 時間) のうち初めの約 17 時間には、IC 342 X-1 はほぼ一定の X 線強度を示しており、2012 年の NuSTAR による同天体の観測時と比べると、今回の観測における 3–10 keV の X 線フラックスは約 2 倍大きかった。この明るい状態をとらえた観測は過去に数例存在するが、いずれも 10 keV 以下の軟 X 線帯域のみの観測であり、今回、世界で初めて 10 keV 以上の硬 X 線データを取得することに成功した。その後、X 線フラックスは単調に減少し、観測終了時には、2012 年の観測とほぼ同じレベルになった。今回得られた 0.3–30 keV の同時データを、X 線強度の大小により 3 つの期間に分け、それぞれの時間平均 X 線スペクトルを解析したところ、標準円盤からの軟 X 線放射を種光子とする光学的に厚いコンプトン散乱成分を用いて、いずれもよく再現できた。コンプトン散乱成分の電子温度は、X 線光度の減少とともに大きくなる傾向が見られた。

本講演では、上の結果の詳細を報告し、ULX の X 線放射の起源とその変動の仕組みについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W129a 「すざく」を用いたLMXBのスペクトル状態遷移の研究II

小野光 (東大理)、牧島一夫 (理研)、ZhangZhongli (上海天文台)、中澤知洋 (東大理)

Aql X-1 のアウトバーストの上昇時に、ハード状態からソフト状態への遷移が「すざく」で観測され、スペクトルは降着円盤の多温度黒体放射と、中性子星表面から放出される黒体放射の逆コンプトン散乱で説明された (2016 年秋季年会、W130a)。遷移の際、円盤は温度の上昇とともに徐々に増光し、それと同時にコロナの温度は減少し、逆コンプトン散乱の光度が減少していることがわかった。同時に内縁半径 R_{in} が 30 km から 20 km へ、黒体半径が 11 km から 7 km へ減少した。したがって、ハード状態ではコロナがほぼ球対称に中性子星に降着しており、ソフト状態になるに従ってコロナが幾何学的に小さくなっていることが示唆された。このように、ハード状態からコロナの変化を追うことで、ソフト状態でのコロナを調べられる。

そこでコロナの状態をさらに調べるため、コロナの光学的厚み τ を考察した。 τ は、コロナ中の電子の数密度 n_e と、コロナを貫く視線上の長さの積に比例する。よって (i) 降着率が上がると n_e が増えて τ が上昇し、(ii) R_{in} が縮むと視線長が減って τ が減少し、(iii) コロナの高さが低くなるか、(iv) 落下速度が減少すれば、密度が上昇して τ が増える。ハード状態から状態遷移の前半までは、測定された τ はほぼ一定で 4 程度であった。これは (i) と (ii) の効果が打ち消し合う結果と解釈できる。他方、遷移の最後で τ は 8 へと急上昇した。これは (i) に加え、(iii) and/or (iv) が効くためと考えられる。いずれの場合も、 τ が大きいことから、コロナの半径方向の速度は、自由落下速度の 1-4% と小さいことがわかり、Sakurai et al (2014) を再確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W130a X線連星の降着円盤風の熱駆動機構に基づくスペクトルモデルの開発

都丸亮太、高橋忠幸、(東京大学、ISAS)、渡辺伸、萩野浩一 (ISAS)、小高裕和 (Stanford 大学)、Chris Done (Durham 大学)

近年の X 線観測により、低質量 X 線連星系のスペクトルの中に高電離元素による青方偏移した吸収線が見つっている。この吸収線はほとんど edge-on な円盤傾斜角が大きい系のみに見られ、アウトフロー速度は数百 km/s である。これらのことは降着円盤風が円盤平面近くに存在し、かつ降着円盤の外側から噴出していることを示唆している。円盤風の駆動機構として、有力なのが熱駆動である。これは中心の X 線が降着円盤上層を温め温度が大きくなることで、降着円盤の外側でその音速が脱出速度を超え、円盤風として噴出するものである。ローレンツ力による磁気駆動機構も候補ではあるが初期磁場構造に大きく依存するため、理論的にもよくわかっておらず、近年盛んに研究されている。どちらの駆動機構にしても観測データとの直接比較はされておらず、どちらが主な駆動機構なのかははっきりとしない。

そこでわれわれは、X 線スペクトルデータと比較するために、熱駆動型円盤風で予測される質量損失率から、2 次元的速度場を仮定することでその密度構造を計算し、そこから円盤風内部の 3 次元放射輸送を計算することでスペクトルモデルを開発した。このモデルは輝線、吸収線構造を自己矛盾なく含み、熱駆動型円盤風による線構造を予測することができる。最初の試験的モデルは、大きな円盤傾斜角のみに存在する強い吸収線と、すべての円盤傾斜角に見られる弱い輝線を示し、観測事実とよく合致した。現在、Chandra の grating による X 線スペクトルデータと直接比較するために、個々の天体ごとの、光度、スペクトルの形、降着円盤のサイズを加味したモデルを再構築している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W131a ブラックホール連星 GRS 1739–278 の low/hard state における鉄輝線プロファイルと truncated disc モデルの整合性

藪 悟郎 (東京大学, ISAS/JAXA), Chris Done (University of Durham), 高橋 忠幸 (ISAS/JAXA, 東京大学), 萩野 浩一 (ISAS/JAXA)

ブラックホールの X 線スペクトルには 2 つの異なる状態、low/hard state と high/soft state がある。2 つの状態間の遷移は、最終安定円軌道に達する前に途切れた (truncated) 標準円盤とその内側に存在する hot flow を考えることで、円盤の途切れる半径の変化として説明できる (truncated disc モデル)。

しかしながら、Miller et al (2015) によって行われた、NuSTAR が観測した GRS 1739–278 の広がった鉄輝線の解析では、見積もられた内縁半径は約 5 重力半径 (R_g) と小さく truncated disc モデルでは説明できない。そこで我々は NuSTAR の最新の応答関数を用いて GRS 1739–278 の観測データについて再解析を行なった。

今回の解析では、連続成分に関して現象論的モデルだけでなく、物理的なコンプトナイゼーションモデルも用いて解析を行い、内縁半径 $10\text{--}15R_g$ という truncated disc モデルとコンシステントな結果が得られた。さらに得られた電子温度が 15 keV と低い値になることから、この BH 連星は状態遷移に非常に近い段階にあり、truncated disc モデルにおいても降着円盤の内縁半径は最終安定円軌道に近づい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](#)

W132a X線天文衛星「ひとみ」による大質量X線連星 IGR J16318-4848 の観測

中嶋大、林田清（大阪大学）、T. Kallman(NASA/GSFC)、および「ひとみ」コラボレーション

IGR J16318-4848 は、INTEGRAL 衛星により発見された、強い吸収を受けた大質量 X 線連星である。その X 線スペクトルには、深い鉄の吸収端と、強い鉄 $K\alpha$ 、 $K\beta$ 、ニッケル $K\alpha$ 輝線が見られる。輝線強度や連続成分の時間変動のタイムスケールから、X 線放射領域の大きさは 10^{13} cm 程度と考えられる。可視および近赤外の対応天体の吸収は X 線のそれに比べて弱く、吸収物質はコンパクト天体の周辺に集中していると示唆されている。また近赤外のスペクトルからは、B[e] 型超巨星を伴星に持つことが分かっており、これらの観測事実から IGR J16318-4848 は大質量 X 線連星と考えられている。「ひとみ」衛星は、X 線カロリメータ (SXS)、X 線 CCD カメラ (SXI)、硬 X 線撮像検出器 (HXI) の立ち上げ直後に観測を行った。衛星姿勢制御系のパラメータ最適化前に観測したこともあり、観測中のほとんどの時間帯は SXS の視野外であったが、鉄輝線付近のエネルギーを持つ、天体起源と考えられるイベントをわずかながら検出した。SXS の Fe $K\alpha$ 輝線中心エネルギーと、SXI の Fe $K\alpha$ $K\beta$ 輝線強度比などから、吸収物質の電離状態に対してこれまでにない強い制限を与えた。その他、X 線放射強度の時間変動解析も合わせ、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](#)

W133a NuSTAR による SS433 の硬 X 線観測

三村健人, 有元誠, 片岡淳 (早大理工)

SS433 は 銀河系最大のジェットを持つ天体で, わし座に位置し, 地球から 5.5 kpc 離れたところにある。この天体の中心にはブラックホールまたは中性子星があると考えられている。SS433 は現在に至るまで電波から X 線の領域に渡って観測が行われている。可視光の観測では H α 線の赤方偏移及び青方偏移からおおよそ光速の 26 % 程度になっていることが明らかにされた (Margon et.al 1979)。電波望遠鏡による観測でもジェットの構造を見ることが出来, その高位置分解能から SS433 のジェットは軸が視線方向から 79 $^{\circ}$, 半頂角は 20 $^{\circ}$ で 162.5 日程度の周期で歳差しているのが知られている。X 線での観測も行われており, EXOSAT で得られたスペクトルデータによってジェットから輝線成分が見られた。続いて ASCA, SUZAKU と観測が行われた。ASCA では 1-10keV の範囲で X 線ジェットからの輝線が確認された (Kotani et.al 1996)。SUZAKU では XIS, HXD を用いて硬 X 線領域を含めた連続成分の検証が行われ, ジェット内のプラズマの放射が 20keV 程度の制動放射であることが示唆されている (Kubota et.al 2010)。

本研究では NuSTAR のアーカイブデータを用いて SS433 の解析を行った。NuSTAR は, 3~79keV にわたるエネルギーでのイメージングにより大有効面積かつ感度の高い観測を実現している。特に SS433 は重点観測天体として 2014 年 10 月 4 日 (軌道位相: 0.251, 歳差位相: 0.129) から約 1 年間にわたり 10 回の観測が行われた。各データの exposure time は平均で約 20000 sec 取られている。これらのデータを解析した結果, エネルギーが大きくなるに伴い Fractional Variability がなだらかに増大していく傾向が見られた。また従来の研究で示唆されていた制動放射のモデルを含め, 非熱的な放射のモデルでの検証も行った。本講演ではその結果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W134a LIGO O2におけるMOA望遠鏡を用いた重力波天体の探索

朝倉悠一朗, MOA コラボレーション, J-GEM コラボレーション

2015年、重力波検出器 advanced LIGO により人類初の重力波直接検出に成功した。重力波は主にブラックホール連星や中性子連星の合体の際に放射されるが、特に中性子連星の合体は重元素構成の起源として有力であり、その検出や光学フォローアップが期待される。LIGO の最初のサイエンスランである O1(2015年9月18日~2016年1月12日)ではエンジニアリングランでの1イベント、有意度の低い1イベントを含め3つの重力波が検出された。しかし、どの重力波源も電磁波放射を伴わないと予想されるブラックホール連星の合体であり、光学対応天体は発見されていない。第2のサイエンスランである LIGO O2 では LIGO の感度が向上し、電磁波放射を伴う中性子連星合体から放射される重力波の検出も期待されている。

一方、我々MOA(Microlensing Observations in Astrophysics) グループではニュージーランド Mt. John 天文台にある口径 1.8m、視野 2.2deg^2 の広視野 MOA-II 望遠鏡及び口径 61cm、視野 30min^2 の3バンド同時撮影可能な B&C 望遠鏡を用いて重力波のフォローアップ観測を行ってきた。LIGO O1 のフォローアップでは既存の天体カタログやイメージサーベイと観測データに映る天体の存在を比較することで重力波天体の探索を行った。しかし、この方法では点源に映る遠方銀河に付随する重力波天体は発見することができない。そこで LIGO O2 のフォローアップでは、重力波イベント直後の観測に加え、重力波天体が暗くなる数日後にリファレンス画像を取得し、イベント直後のデータと差し引きを行うことで重力波天体を増光した点源として捉え、銀河内に存在する天体も発見できるように解析手法を改良した。本講演では O2 における MOA の観測体制及び、解析手法について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W135a マグネター磁気圏でのフレア前のエネルギー蓄積

小嶋康史 (広島大)

マグネターのフレアは等方的だと仮定して放出エネルギーは 10^{46} ergs 程度と見積られている。また、それより小規模な突発的現象 (バースト) も起こす。これらのエネルギー源は磁気的なものと考えられているが、蓄積場所として星の内部と外部 (磁気圏) の説がある。後者の説は太陽フレアのモデルの類推であり、磁気圏へ準静的にエネルギーとヘリシティ (よじれ) が貯蓄され、ある限界に達すると突発的に放出されるものである。このような過程に関連して静的な磁気圏の構造を調べた研究はいくつもあるが、現象は中性子星からなる系で一般相対論の効果が重要である。

本研究では回転が無視できる一般相対論的な星の外部にできる force-free 磁気圏を計算した。ある一つのパラメータを含む、ある電流モデル (power-law model) を用いて解を系統的に求めた。その系列でエネルギーとヘリシティがどのように貯蓄され、磁気圏の構造の変化を調べた。数値計算の結果、貯蓄されるヘリシティにはある限界があり、この値以上に磁気圏がよじれると突発的な天体現象になると考えられる。平坦な時空での取り扱いに比べ、一般相対論的なものの結果はより巨大な量が磁気圏に蓄積されることがわかる。その他、磁気圏の構造等も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W136a ブラックホールへ落下するスパイラルガス雲の運動と放射特性

森山小太郎, 嶺重慎 (京都大学), 高橋博之, 大須賀健 (NAOJ)

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、これらの観測から時空構造を決定できる。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する必要があり、決定が難しい。また、従来のスピン測定法は、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。

2015年春の年会 [J145a] では、降着円盤内縁から有限の角運動量を持って落下するガス雲からの放射を想定し、その非周期的な光度変動から、スピンを原理的に測定できることを示した。しかし、用いたガス雲モデルは流体効果、磁場、放射圧による時間変化がないと仮定しているため、これらの効果を一般相対論的放射磁気流体シミュレーションにより取り入れ、より現実的なガス雲のふるまいを調べる必要がある。今回は自転していない恒星質量ブラックホール近傍の比較的低温の降着円盤について、質量降着率が亜臨界から超臨界降着率に遷移する前後での、円盤内縁からの降着流の時間変動を調べた (Takahashi et al. 2016)。その結果、ブラックホール近傍で、放射率の高いスパイラル状のガス雲が間欠的に形成され、それは、ほぼケプラー回転速度を維持したまま、ブラックホールに向かって緩やかに落下することがわかった。これは前回想定したガス雲モデルの運動をよく再現している。さらに、ブラックホール近傍のスパイラルガス雲からの光度変動を一般相対論的レイトレーシング法を用いて調べたところ、前回と同様の特徴である、非周期的かつ相対論的な光度変動を示すことを発見した。この光度変動の周期は数百 Hz であり、high frequency QPO を説明できる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W137a 系内ブラックホール降着円盤中の乱流粒子加速

寺木悠人、松本達也（京都大学）、井岡邦仁（京都大学基礎物理学研究所）

ペタエレクトロンボルト ($\text{PeV} = 10^{15} \text{eV}$) 以上のエネルギーを持つ宇宙線の起源は未だ謎である。本講演では、銀河系内に存在するブラックホール (BH) 降着円盤に注目し、それらが PeV 宇宙線の加速源となる可能性について議論する。候補天体として Isolated BH (IBH)、X 線連星、そして銀河中心 BH (Sgr A*) を考える。これらの降着円盤は Eddington 降着率に比べて小さい降着率しか持たないので、Advection cooling Dominated Accretion Flow (ADAF) と呼ばれる円盤モデルで記述される。この円盤内では粒子数密度は小さく、衝突緩和過程が非効率的なので非熱的粒子の存在が許される。円盤には MHD 波動 (乱流) が存在するので、波動粒子相互作用により非熱的な粒子のエネルギー分布の形成が期待できる。乱流については複数のモデルを採用し、それぞれについて議論を行った。具体的にはコルモゴロフ乱流に代表される等方べき型乱流と、MHD 乱流理論から示唆されている Goldreich-Sridhar 型の非等方乱流である。加速過程は運動量空間での拡散で記述する。準線形理論で記述される共鳴型のものを基本とし、非等方乱流で重要になる共鳴の broadening も考慮に入れた拡散係数を用いて加速時間を見積もる。そして宇宙線の円盤からの逃走、BH への落ち込み、粒子や光子との衝突、そして放射によるエネルギー損失の特徴的時間と比較し、宇宙線の最高エネルギーを決定する。その結果、PeV 粒子の加速が許されるパラメータ領域が上に上げた BH 降着円盤系に存在することが分かった。BH の質量-降着率で張ったパラメータ平面内で最高エネルギーを議論することで、どのような降着円盤が PeV 粒子を加速できるかをまとめた。光子との衝突が宇宙線のエネルギー損失において支配的な場合には、降着エネルギーの大部分が sub-TeV のガンマ線に変換されることが考えられる。このガンマ線の観測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](#)

W138a 超臨界降着流のラインスペクトルの輻射輸送計算

北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 小高裕和 (スタンフォード大学), 大須賀健 (国立天文台)

超高光度 X 線源 (典型的な光度は $10^{39\sim 41}$ [erg/s]) と呼ばれる X 線で明るい天体が、多数発見されている。この天体現象を説明する立場として、恒星質量ブラックホール (20 太陽質量程度以下) に超臨界降着が起こっているという考えがある。超エディントン光度を持つ天体の周りでは、輻射圧が卓越するためにアウトフローが生じるはずである。実際、超臨界降着流のシミュレーションではアウトフローが生じることがわかっている。

そこで、観測されたスペクトルからアウトフローの存在を検証するために、3次元輻射輸送計算を行った。入力データとして、超臨界降着流の多次元輻射流体計算 (Ohsuga et al.2005) で得られた密度、温度、速度場を元に簡単にモデル化したものを用いた。またアウトフローをディスク形状に配置し、電離度も与えた。その結果、このモデルではアウトフローは観測方向へ流速が向いているため、青方偏移された鉄輝線が見えること、また、別方向へ流速を持つガスからの赤方偏移された光子も、同じくらい見えることがわかった。これは赤方偏移させるガスの表面積が、青方偏移させるものより相対的に大きいためであると考えられる。この両成分が合わさって、アウトフローの速度によるドップラー効果で輝線幅が広がったように見える。この広がりが大きいため、熱乱流による輝線幅の広がりは無視できることもわかった。観測方向と流速がドップラー効果に強く影響を及ぼすため、輝線幅だけを利用して両者を独立に求めることは困難である。しかし別の方法でどちらか一方の値がわかれば、輝線幅を用いてアウトフローの情報が抜き出せる。本発表ではこの結果に関して議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W139a ブラックホール降着円盤の系からのジェット形成と宇宙線加速

水田晃、戎崎俊一（理化学研究所）、田島俊樹（UC. Irvine）、長瀧重博（理化学研究所）

ブラックホール降着円盤のシステムとそこから噴出する相対論的ジェットはマイクロクェーサーや活動銀河核で見られる。降着円盤内部では磁気回転不安定性によって磁場が増幅され、ある程度増幅された後、円盤内の磁場は解放されその一部はアウトフローとなり、円盤内部では再び磁場増幅が始まる。この繰り返しの活動により、ブラックホールに落ち込むガスの質量降着率やアウトフロー中の電磁光度などには磁気回転不安定性 (MRI) の成長時間スケールと同程度の急激な増幅、それに続くゆるやかな減衰の繰り返しが見られる。特にジェット中はほぼ光速のアルフヴェン波が伝播し、急激に振幅が増加する波を航跡場加速機構に適応することによって最高エネルギー宇宙線の加速問題に応用できるというモデルが提唱されている。(Ebisuzaki & Tajima (2014))。

このモデルではアルフヴェン波の強度、典型的な繰り返し時間スケールを標準降着円盤モデルなどをいくつかの仮定から見積もっており、より現実的な系でも成り立っているかを検証するために、3次元 GRMHD 数値実験を行った。降着率や、ジェット中に見られる電磁波成分の典型的な時間変動は MRI の成長時間スケールによって決まっており、繰り返しの時間スケールは円盤内縁付近のケプラー周期の数十倍程度となった。繰り返しの時間スケールは高解像度のローカルボックスの解析で得られた時間スケールとも同程度である。また、ジェット中はアルフヴェン速度がほぼ光速の相対論的な波となる。 10^8 太陽質量の中心ブラックホール、1%のエディントン降着率とスケールして、アルフヴェン波の強度を示す無次元パラメータを見積もると Ebisuzaki ら (2014) の見積と同様に $a_0 \sim 10^{12} \gg 1$ となり、航跡場加速によって最高エネルギー宇宙線加速に十分なアルフヴェン波がジェット中に生じていることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W140a 磁場が卓越したBH磁気圏の磁場形状とBH回転エネルギー引き抜き効率

高橋真聡 (愛知教育大学)、Kevin Thoelecke、Sachiko Tsuruta (Montana State Univ.)

活動的銀河核やガンマ線バースト等のセントラル・エンジンとして、ブラックホール (BH) 周辺での磁気圏活動について議論する。本発表では特に、回転ブラックホールによる時空の引きずり効果や磁気圏磁場の回転の効果が、磁気圏磁場 (ポロイダル磁場とトロイダル磁場) の構造や、強重力場と電磁場との相互作用によるブラックホールからの回転エネルギー引き抜きの効率、およびポインティング・フラックス分布にどのような影響を及ぼすかについて、数値解析的に調べたので報告する。

ブラックホール周辺の磁気圏は定常軸対象で磁場が卓越している (force-free) とした。数値計算に際しては、太陽物理学分野で発展してきた Magneto-friction method を一般相対論の枠組みに拡張した。この数値解法は、初期に仮定したテスト磁場形状に対し、磁力線間の力のバランスが均衡するようイタレーションを繰り返すことで解を得るものである。本研究では、初期磁場として split-monopole 形状を適用し、ブラックホール・スピンと磁力線の角速度についてパラメータ・サーチした。

ブラックホールの回転が遅い場合には、解析的研究で知られているように、磁力線は conical 面内でのスパイラル形状となることが確認できた。一方で、高速回転ブラックホールについては、磁力線の角速度がブラックホールの角速度に対して小さい場合、回転軸方向に湾曲することが示された。また、磁力線の角速度がブラックホールの角速度と同程度の場合には、磁力線は回転軸から離れる方向 (降着ガス円盤ファンネルに向かう方向) に湾曲することが示された。講演では、ブラックホールの回転とエネルギー引き抜き (Blandford-Znajek Power) 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](#)

W141a 相対論的球対称流における輻射場と速度場の同時解

福江 純 (大阪教育大)

相対論的な流れにおける輻射輸送の問題は、モーメント定式化が不完全であり、相対論的な領域における性質もよくわかっていないことが多い。そこで、相対論的輻射輸送方程式に立ち戻り、相対論的領域の性質を調べている。先に、相対論的平行平板流における相対論的形式解の導出を行い、相対論的平行平板流の問題に適用した (Fukue 2014, 2015)。さらに、相対論的球対称流に対して、相対論的形式解の導出を行い、ローレンツ因子や4元速度の積分を含む形で、相対論的形式解が記述できることを導いた (Fukue 2016)。そして、最初の段階としては、速度場や密度分布を与えた相対論的球対称流で、相対論的形式解を逐次近似で数値的に解き、輻射強度やモーメント量、エディントン因子などを求めた (2016年秋季年会)。

今回は、相対論的輻射輸送方程式と、相対論的流体方程式を同時に解くことを試みた。方法としては、速度場 (密度分布) を試行的に与え、相対論的輻射輸送方程式を逐次近似で数値的に解き、得られた輻射場のモーメント量を運動方程式に代入し速度場を求めて、その速度場から輻射場をふたたび計算するという、二重の逐次近似で、最終的には輻射場と速度場を無矛盾に解いた。

中心天体の重力を考慮していない現段階では、主なパラメータは、系の典型的な光学的厚み τ_* 、無次元化した質量流出率 \dot{m} 、最終速度 $\beta (= v/c)$ などだが、一つ (たとえば \dot{m}) は固有値として定まる。また数値解およびラフな見積もりから、 $\dot{m} \propto \tau_*/\beta^2$ という関係が得られた (ちなみに、平行平板流の場合は、単位面積当たりの質量流出率は、 $\dot{j} \propto \tau/\beta$ に近かった)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W142a クォークの 2SC カラー超伝導と核子の超流動を考慮した高密度星の冷却計算

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

中性子星等の高密度星の内部は、QCD 相図上の低温高密度領域に位置する。このような領域では、QCD 相転移や核子の超流動遷移といった、原子核物理において非常に興味深い現象が起きると考えられている。しかし、この領域では地上実験での検証が難しく、高密度星の内部でのみ実現できている。また、高密度天体の内部状態は、ニュートリノ放射機構に影響し、星の熱的進化へ大きな影響を与える。そのため、観測結果と熱的進化計算を比較することで、星内部の状態に制限を与えることが可能となる。

高密度星内部は、陽子や中性子によるハドロン物質や、クォークの閉じ込めの解けたクォーク物質によって構成されている。これらの状態は、通常であれば密度が高いほど強いニュートリノ放射を示すことが知られており、重い星がより冷えやすいと考えられてきた。しかし、クォーク物質によるカラー超伝導状態とハドロン物質中の陽子や中性子の超流動状態は、ニュートリノ放射を抑制する効果があり、この傾向を覆しうる。

本研究では、2SC カラー超伝導状態にあるクォーク物質とハドロン物質中の核子の超流動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。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W143a コンパクト天体を含む3体系及び4体系の軌道長期安定性の解析

鈴木遼（早稲田大学），中村友祐（東京大学），山田章一（早稲田大学）

1990年代以降の観測技術のめざましい発展により，2016年12月現在で3400以上もの系外惑星の存在が確認されている．系外惑星を構成する天体は様々で，太陽系の天体とはかけ離れた特徴を持つものも少なくない．中でも，我々が着目しているのは，パルサーや白色矮星などのコンパクト天体を含む多体系である．このような多体系が初めて発見されたのは1992年で，パルサーを中心に小惑星が3つ公転しているPSR B1257+12という4体系が発見された．さらに近年，構成天体がすべてコンパクト天体であるような系も発見された．2014年に発見されたPSR J0337+1715は，パルサーと2つの白色矮星からなる3体系である．パルサーは超新星爆発を経て形成される天体であるため，パルサーを含む多体系の軌道や形成過程に関する情報は超新星爆発についても新たな発見を提供する可能性がある．

本研究では，コンパクト天体を含む3体系及び4体系の軌道は長期的にどのような進化を遂げるのか，数値計算を用いて調べた．パルサーの質量は太陽質量程度であり，上記2つの系はどちらも中心天体と内側の天体の距離が太陽-水星間の距離よりも近いので，水星の軌道との類推からこれらの系の軌道においても相対論的な効果を無視することはできないと考えられる．そこで，相対論的な運動方程式として1次のポストニュートン近似による運動方程式を採用し，直接数値積分を行った．

上記の2例のような観測された系のほか，軌道要素を様々に変えたモデルを設定し，多体系に関する特徴的な現象が相対論的な効果を考慮に入れるとどのように変化するのか比較を行った．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W2. コンパクト天体】

3月15日(水)午後(13:00-15:00) [F会場]

W201a	13:00	GRB 160107A:ガンマ線バーストのオンセットはいつか? 坂本貴紀(青山学院大学)
W202a	13:12	ガンマ線バーストのプロンプト放射における親星との相互作用の兆候を探る時間変動解析 吉田和輝(金沢大学)
W203a	13:24	定常解から探る相対論的輻射媒介衝撃波のガンマ線バーストの放射への影響 伊藤裕貴(理化学研究所)
W204a	13:36	非一様媒質中におけるワイベル不安定性による磁場増幅過程 富田沙羅(青山学院大学)
W205a	13:48	コンパクト天体におけるニュートリノ輻射輸送計算について 西野裕基(京都大学)
W206a	14:00	連星中性子星合体におけるニュートリノによる質量放出 藤林翔(京都大学)
W207a	14:12	連星中性子星合体シミュレーションによる高速電波バーストのプロープ 山崎翔太郎(東京大学)
W208a	14:24	連星合体モデルに基づいた GRB 発生率 衣川智弥(東京大学)
W209a	14:36	ショートガンマ線バーストの長時間放射成分 木坂将大(青山学院大学)
W210c		Fast Radio Burst(FRB) 探索ソフトウェアの準備状況 寺澤敏夫(理化学研究所)
W211b	14:48	特異に大きな質量比と長い軌道周期を持つ WZ Sge 型矮新星 若松恭行(京都大学)
W212b	14:48	V694 Mon (MWC560) の 2016 年アウトバースト時における可視分光観測 安藤和子(岡山理科大学)

3月16日(木)午前(09:30-11:18) [F会場]

W213a	09:30	古典新星 V1280 Sco のシェル構造解析 内藤博之(なよろ市立天文台)
W214a	09:42	長期可視連続測光観測で明かされたヘリウム激変星 V803 Cen の特異な挙動 磯貝桂介(京都大学)
W215a	09:54	MAXI 短時間軟 X 線ランジェント MAXI J0758-456 は激変星なのか? 三原建弘(理化学研究所)
W216a	10:06	モンテカルロシミュレーションによる超軟 X 線天体のスペクトルモデルの構築 和田師也(東京大学/宇宙航空研究開発機構)

W201a GRB 160107A:ガンマ線バーストのオンセットはいつか?

坂本貴紀 (青山学院大学), 芹野素子 (理研), D. Svinkin (Ioffe Institute) ほか CALET-MAXI チーム

ガンマ線バースト (GRB) のメイン放射の開始時刻 (トリガー時刻) は広い視野を監視しているガンマ線検出器で最初に検出した明るいガンマ線放射の時刻とするのが一般的である。そのため、このトリガー時刻の定義は検出器に大きく依存し、典型的な GRB 検出器とは異なるエネルギー帯域で高感度な観測をすると、これらの検出器では観測できなかった放射がトリガー時刻の前に観測される可能性がある。

GRB 160107A は 2016 年 1 月 7 日 22:20:43 (世界時) に、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」曝露部に搭載されている CALET Gamma-ray Burst Monitor (CGBM)、そして、Fermi-GBM、Konus-Wind、INTEGRAL-SPI/ACS でも検出された、典型的な GRB である。この GRB のガンマ線帯域での光度曲線は激しい時間変動を示し、CGBM で観測されたその継続時間は 120 秒程度である。注目すべきは、GRB 160107A のトリガー時刻の 45 秒前に MAXI/GSC が 370 mCrab の明るい放射を X 線領域において観測した。Fermi-GBM で決まった位置、および、Konus-Wind, CGBM, そして Fermi-GBM のデータを用いて、到来時間の差から決定した位置は、共に MAXI/GSC のデータのみで決定された位置と一致しているため、MAXI/GSC が観測した明るい X 線放射は GRB 160107A の一部と考えられる。この観測は、GRB のガンマ線放射が観測される前に GRB に付随した放射が存在している事を意味しており、GRB 放射のオンセットを考える上で非常に興味深い。

本講演では、CGBM および、MAXI/GSC の時系列、およびスペクトル解析の結果を示し、MAXI/GSC で観測された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](#)

W202a ガンマ線バーストのプロンプト放射における親星との相互作用の兆候を探る 時間変動解析

吉田和輝, 米徳大輔, 澤野達哉 (金沢大学), 伊東裕貴, 松本仁, 長瀧重博 (理化学研究所)

ガンマ線バースト (GRB) はジェット状に絞られた相対論的な速度を持つ物質からの放射だと考えられているが, ジェットの駆動機構やガンマ線放射の過程は未だ解明されていない. 観測されるプロンプト放射のスペクトルは非熱的な放射であることから, これまでは一般的に内部衝撃波モデルが提唱されてきた. 一方でジェット内部の光球面の熱的放射で輝くとする光球放射モデルが近年注目されており, 輻射輸送や相対論的流体計算の発展によって詳細なモデルが計算されている. その中でプロンプト放射の初期段階には親星の内部構造とジェットの相互作用に起因する変動が見え, 後期段階では中心エンジンの活動性がそのまま観測されると言われている.

本研究では Swift/BAT の観測データを用いてプロンプト放射の時間変動について, ジェットが親星を突き破る瞬間に相当する境目が見られないか調べた. GRB は赤方偏移が測定されており, プロンプト放射全体が観測されている明るさとして, 5×10^{-6} erg/cm² 以上を条件に 69 イベントを選出した. システムティックに時間変動を見積るため, Nakar & Piran (2002) のパルスサーチアルゴリズムを用いて, 光度曲線から統計的に有意なパルス (光子の増光部) を抽出した. GRB の典型的なタイムスケールである T_{90} を基準に任意の時間で光度曲線を区切った結果, 前後半においてパルスの発生間隔の分布に違いは見られなかった. また必ず親星が存在しているとして, 超新星爆発の証拠が見つかった GRB に絞り同様の解析を行ったが結果は変わらなかった. このことから数値シミュレーションに立ち返り, 初期条件を変更した計算を行い観測結果と矛盾しないか検証した. 本講演ではこれら観測データの解析と新しく行ったシミュレーション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](#)

W203a 定常解から探る相対論的輻射媒介衝撃波のガンマ線バーストの放射への影響

伊藤裕貴、長瀧重博 (理化学研究所)、Amir Levinson (Tel Aviv 大学)、Boris Stern (INR RAS)

ガンマ線バーストを引き起こしている相対論的ジェットの内には、周辺物質との相互作用や中心エンジンの活動に起因した衝撃波が、普遍的に存在していると考えられている。このような衝撃波は一般に相対論的な伝搬速度を持っており、光学的に厚い光球面の内側の領域においては光子とプラズマの相互作用が散逸過程を担っている (相対論的輻射媒介衝撃波)。光学的に厚い領域で発生した衝撃波は、光球面を通過する際に衝撃波遷移領域内の光子を解放するため、ガンマ線バーストの放射に多大な影響を与えられと考えられる。しかし、相対論的輻射媒介衝撃波の散逸過程の詳細を調べた研究は数が少なく、その物理はあまりよく分かっていない。

そこで本研究では、光子の電子による散乱に伴う光子、プラズマ間のエネルギー、運動量の交換を輻射輸送計算によって評価し、衝撃波上流が輻射圧優勢となっている場合の相対論的輻射媒介衝撃波の一次元定常解を構築した。手法としては、輻射輸送はモンテカルロ法を用いて計算し、その結果に基づいてプラズマの空間分布に反復的に修正を加える事によって定常解へと収束させている。2015年秋季年会において我々は、光子対消滅などの影響を無視した場合の計算例を紹介した。本講演では、これらの影響を考慮したより現実的な場合の計算における衝撃波の上流から下流に至るまでの遷移領域の構造、及びその領域における光子のエネルギー分布について紹介する。主な結果としては、衝撃波の遷移領域では光子の分布は非等方的で非熱的なものとなり、そのスペクトルはガンマ線バーストの観測を再現できる事が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W204a 非一様媒質中におけるワイベル不安定性による磁場増幅過程

富田沙羅 (青山学院大学)

線バーストの残光観測によると、衝撃波下流の広い放射領域で、星間空間の磁場を衝撃波圧縮した場合の磁場の値より約 100 増幅されている必要があると示唆されている。そこでワイベル不安定性は、相対論的衝撃波での磁場増幅機構や粒子加速において重要だと考えられている。ワイベル不安定性は、非等方的な速度分布を持つ無衝突プラズマ系において磁場揺らぎを生成する。先行研究によると、一様プラズマ中での相対論的衝撃波の Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションでは、ワイベル不安定性によって生成された磁場は衝撃波遷移層付近で強く増幅するがすぐに減衰していた。

そこで本研究は非一様媒質中においてワイベル不安定性による磁場増幅過程を調べた。非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波下流の局所を模擬した 2 次元 PIC シミュレーションによると、空間的に非等方的な密度揺らぎが非等方的な速度分布を作ったことで、非一様分布の場合は一様分布の場合より長時間磁場は増幅され、さらに磁場増幅時間は密度揺らぎ波長と比例するという結果を得た (Tomita, S, Ohira, Y, 2016)。

そこで次にこの結果に関して、磁場揺らぎ生成の密度揺らぎ振幅依存性、背景磁場の影響、そして非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波下流で非等方的な密度構造が維持され、同様に長時間磁場が増幅されることを調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W205a コンパクト天体におけるニュートリノ輻射輸送計算について

西野裕基 (京都大学), 長倉洋樹 (California Institute of Technology)

宇宙最大の爆発現象とも言われるガンマ線バーストは、観測的事実から相対論的なジェットによって引き起こされると示唆されている。ジェットの有力な駆動メカニズムとして、ニュートリノ対消滅過程が提案されている (Eichler et al. 1989; Narayan et al. 1992)。これは高密度天体から放射されたニュートリノと反ニュートリノが対消滅し電子と陽電子を生成する際に注入するエネルギーによってジェットを駆動する説である。対消滅過程はバリオンの少ない領域に大量のエネルギーを運ぶことができるため有力だが、反応率はエネルギーや衝突角度に対して高い依存性を持つため、高精度のニュートリノ輻射輸送計算が必要である。高密度天体でニュートリノは物質と複雑な相互作用をしながら輸送されるので、その微視的素過程の計算は容易でない。また、ニュートリノの分布関数は空間と運動量について多次元の分布であり、その数値計算コストも少なくない。本講演では、多くの計算機資源を必要とする S_N 法 (a finite difference scheme) と計算コストの少ないレイ・トレーシング法について具体的なプロファイルで比較し、素過程がニュートリノのエネルギースペクトルや運動量空間での角度分布に与える影響について述べる。これらを精査し、ニュートリノ対消滅の反応率を精度よく求める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](#)

W206a 連星中性子星合体におけるニュートリノによる質量放出

藤林翔（京都大学理学研究科）, 関口雄一郎（東邦大学理学部）, 木内建太（京都大学基礎物理学研究所）, 柴田大（京都大学基礎物理学研究所）

連星中性子星合体は有力な重力波源であると同時に、合体に伴う質量放出により様々な電磁波天体が期待される。合体後に形成される、中心のコンパクト天体と降着円盤の系は大量のニュートリノを放出するが、ニュートリノによって相対論的なジェットが駆動されれば、継続時間の短いガンマ線バーストを説明できる可能性がある。また、合体後の系からニュートリノや粘性による加熱によっても質量放出が起こると期待されるが、放出される物質の中で不安定核が合成されると、重力波の電磁波対応天体として重要である Kilonova への寄与も期待される。我々は、連星中性子星の合体後に形成される、大質量中性子星と降着円盤から成る系からのニュートリノによる質量放出を、ニュートリノの輻射輸送を考慮した数値相対論軸対称シミュレーションによって調べた。初期条件として、連星中性子星合体の数値相対論シミュレーション結果を用い、またニュートリノ反ニュートリノの対消滅による流体の加熱も考慮した。本講演ではその概要について説明し、ニュートリノの対消滅によって相対論的ジェットが駆動できるか、また放出される物質の中で合成される元素がどのようなもの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](#)

W207a 連星中性子星合体シミュレーションによる高速電波バーストのプロープ

山崎翔太郎 (東京大学), 戸谷友則 (東京大学), 木内建太 (京都大学), 柴田大 (京都大学)

高速電波バースト (Fast Radio Burst; FRB) は、数ミリ秒の間電波で明るく輝く、謎の突発天体現象である。距離の指標として用いられる分散指標 (DM, 視線方向に積分した自由電子柱密度) が、銀河系内からの予想寄与よりもはるかに大きな値を示すことから、銀河系外由来 ($z = 0.1-1$) の天体現象であるとみられている。2007 年の発見以来 (Lorimer et al. 2007, Science), 約 20 個が検出されており、研究が活発化している。バーストの短い継続時間 (数ミリ秒) から、コンパクトな天体の合体 (連星中性子星, 白色矮星連星), パルサーからの巨大パルス放射, マグネターフレア等の放射機構が提案されているが、放射機構の物理モデルについて一貫したコンセンサスは得られていない。我々は、連星中性子星合体説の検証として、連星中性子星合体の相対論的数値シミュレーション結果を用いた FRB 放射領域の制限を行った。具体的には、連星中性子星合体シミュレーションの流体的な計算結果に、中性子星磁気圏から期待される非熱的電波放射の理論を組み合わせ、さらに放出された爆発噴出物 (ejecta) を透過して電波が出てくる条件などを考慮しつつ、連星中性子星合体から期待される電波強度や継続時間、異方性などを定量的に調べた。本研究では、これまでの FRB-連星中性子星合体モデルでは細かく議論されてこなかった、合体直前から合体時点までの爆発噴出物のジオメトリーに着目している。合体中心から測った爆発噴出物の柱密度を、極角度と時間の関数として計算し、合体環境の透明さを調べた結果、赤道方向は常に不透明であるが、一方、極方向を中心とした全天の約半分の領域は、合体時点までは常に透明であり、電波放射が可能であ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](#)

W208a 連星合体モデルに基づいた GRB 発生率

衣川智弥, 浅野勝晃 (東大宇宙線研)

宇宙最大の爆発現象としてガンマ線バースト (GRB) が存在する。GRB のうち継続時間が 2 秒以上のものをロング GRB (LGRB) という。LGRB のうち十数例では超新星爆発が付随して観測されている。そのため、LGRB は大質量星の重力崩壊に伴う相対論的なジェットから放たれていると考えられているが、まだ母天体の詳細についてはわかっていない。LGRB のジェットのエンジンとして重力崩壊時に中心に形成されたブラックホールと降着円盤がよく考えられている。この場合、降着円盤形成のためには母天体に大きな角運動量が必要となる。しかし、大質量星では恒星風が角運動量を持ち去ってしまう。そこで、元は連星系だった天体が巨星同士もしくは巨星とヘリウム星時に共通外層状態となって外層を吹き飛ばしながら連星合体を起こし、コンパクトでかつ回転の速いヘリウム星を作りだし LGRB を起こすという連星合体モデルが Fryer&Heger2005 によって提唱された。本研究ではこのモデルに基づき、金属量進化を考慮した連星進化計算より LGRB 発生率を見積もった。本研究の計算より、低金属な連星の方が連星合体による LGRB 発生率が高いことを示した。観測より高赤方偏移では星形成率に比べ LGRB の発生率が高い傾向が報告されているが、高赤方偏移では低金属量星が多くなるため、この傾向とも合致している。本発表では本計算から見積もった母天体の特徴及び LGRB 発生率と観測からの LGRB 発生率の比較について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W209a ショートガンマ線バーストの長時間放射成分

木坂将大, 坂本貴紀 (青山学院大学), 井岡邦仁 (京都大学)

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には強い重力波を伴い、現在稼働中の重力波望遠鏡での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、比較的長い継続時間をもつ、X線の残光が検出されている。この長時間成分の放射エネルギーは初期のガンマ線放射エネルギーと同程度になることなどから、中心天体が長時間成分と同程度の活動時間を持つ可能性を示唆している。この活動の起源に対し、連星合体後のブラックホールと合体時に放出される物質の進化を考慮したモデルが提案されている (Kisaka & Ioka 2015)。

本研究では、上記のブラックホールモデルが预言する光度曲線とこれまでに検出された60個以上のSGRBの観測結果との比較を行った。その結果、我々のブラックホールモデルは検出されているほとんどのSGRBの光度曲線を説明できることがわかった。また、得られた結果を用いて、現在稼働中の重力波検出器で重力波が検出可能な距離 (100Mpc) でSGRBが起きた場合の長時間放射成分とその散乱成分のフラックス分布と、現在稼働中と将来計画されているX線検出器の感度との比較を行った。講演では、得られた光度、継続時間分布が我々の提案しているブラックホールモデルに与える示唆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](#)

W210c Fast Radio Burst(FRB) 探索ソフトウェアの準備状況

寺澤敏夫¹、本間希樹²、木坂将大³、青木貴弘⁴、新沼浩太郎⁴、藤澤健太⁴、関戸衛⁵、岳藤一宏⁵、北元⁶、土屋史紀⁶、三澤浩昭⁶、竹内央⁷、; 1:理研、2:国立天文台、3:青山学院大学、4:山口大学、5:情報通信研究機構、6:東北大学、7:宇宙航空研究開発機構

Fast Radio Burst(FRB) は大きな dispersion measure (DM) ~ 数百-数千 pc cm^{-3} を持つ低周波帯 (1-2GHz 以下) での短時間 (ミリ秒程度) の電波バーストである。FRB の正体は依然不明だが、何らかのコンパクトな天体現象に伴って発生したコヒーレントな電波パルスが宇宙論的距離に渡って銀河間プラズマ内を伝搬してきたものと解釈されており、ブラックホール・中性子星合体イベントなどとの関連の可能性が興味を集めている。FRB の観測は日本では未経験であるが、我々は VERA ネットワークの観測空き時間を利用した探査 (2GHz 帯を想定) を企画中である。

周知のように、FRB はかにパルサーの巨大電波パルス GRP と現象的に類似しており、我々の GRP 観測の経験 (cf. Mikami et al., ApJ, 832:212, 2016) を役立てることができる。ただし、FRB の探索には、かにパルサーの数倍 ~ 数十 (数百?) 倍の DM 値の同時決定が必要で、それに合わせたソフトウェアのチューニングアップが必要である。特に、(1) 記録ビット幅・サンプリングレート・周波数チャンネル設定の最適化、(2) incoherent/coherent 処理の最適配分決定、などがポイントになる。こうした最適化に関する理論的考察は Zackay and Ofek 達 (arXiv:1411.5373) によっても行われているが、我々は GRP データから作成した疑似 FRB データを用いて実践的に準備を開始している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W211b 特異に大きな質量比と長い軌道周期を持つ WZ Sge 型矮新星

若松恭行, 磯貝桂介, 木邑真理子, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), Tonny Vanmunster, Tordai Tamás, Goeff Stone, Michael Richmond (VSNET), 他 VSNET Collaboration, Elena Pavlenko (CrAO)

矮新星は白色矮星を主星に、晩期型主系列星を伴星に持つ近接連星系で、降着円盤の突発的な増光 (アウトバースト) が観測されるのが特徴である。その中でも、WZ Sge 型矮新星では、より明るく長く続くスーパーアウトバーストや、その初期段階に軌道周期と同じ周期で光度が微小に変動する早期スーパーランプが観測される。これらは極めて小さな質量比 q (典型的には $q = 0.06-0.08$) と短い軌道周期 P_{orb} (典型的には $P_{\text{orb}} = 0.054-0.056$ 日) により、円盤が 2:1 共鳴半径まで達することに起因すると考えられている。また、WZ Sge 型矮新星は伴星からの質量輸送率が極めて小さく、スーパーアウトバーストの間隔 (スーパーサイクル) が長いのも特徴である。

2016 年秋季年会では、我々は 2016 年 4 月にスーパーアウトバーストを起こした WZ Sge 型矮新星 ASASSN-16eg について報告した。この天体は WZ Sge 型矮新星ではあるが、質量比が $q = 0.157(3)$ 、軌道周期が $P_{\text{orb}} = 0.07552(1)$ 日と、典型的な WZ Sge 型矮新星に比べて特異に大きな質量比と長い軌道周期を持っている。一般に、この大きさの質量比では円盤は 2:1 共鳴半径まで広がることができないと考えられている。しかし、何らかの理由で伴星からの質量輸送率が小さくなっていれば、2:1 共鳴半径まで広がるということが可能であるという提案がなされている。

今回、我々は ASASSN-16eg と似た質量比と軌道周期を持つ WZ Sge 型矮新星 RZ Leo と V1251 Cyg について、そのスーパーサイクルを調べた。その結果、RZ Leo、V1251 Cyg とともにスーパーサイクルは典型的な WZ Sge 型矮新星と同様 (3-10 数年) であることがわかった。このことから、これらの特異な WZ Sge 型矮新星の質量輸送率は極めて小さくなっていることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W212b V694 Mon (MWC560) の2016年アウトバースト時における可視分光観測

安藤和子、赤澤秀彦、福田尚也、田邊健茲（岡山理科大学）

V694 Mon (いっかくじゅう座 V694、別名 MWC560) は M 型巨星と白色矮星の共生連星と考えられている。この星は Merrill & Burwell (1943) によって B 型輝線星として発見され、MWC560 として登録された。そして 1973 年に Sanduleak & Stephenson はこの天体が共生星であるとした。1990 年に観測史上最初のアウトバーストが観測され、極大等級は $V=9.2$ となった。このとき輝線に青方偏移した吸収線が伴った P Cygni プロファイルが見られ、ピークは 6500 km/s であることが報告されている (Tomov et al. 1990 など)。

そして、2016 年 2 月に 8.8 等まで増光していることが発見された (AAVSO:Time Sensitive Alerts)。

今回我々は、岡山理科大学天文台の 28cm 分光観測望遠鏡に低分解能可視分光器 DSS-7 を取り付けてこの天体の分光観測を行った。最初に観測した 2016 年 11 月 2 日 UT のスペクトルの Balmer 線中に明瞭な P Cygni プロファイルが得られ、それから求められた膨張速度はおよそ 1200 km/s であった。

本講演では、その後のスペクトルならびに膨張速度の変化、1990 年のアウトバーストとの比較などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W213a 古典新星 V1280 Sco のシェル構造解析

内藤博之 (なよろ市立天文台), 田実晃人 (国立天文台ハワイ観測所), 新井彰 (京都産業大学), 定金晃三 (大阪教育大学), 渡辺文健 (なよろ市立天文台), Valeiro A. R. M. Ribeiro (Radboud University)

新星は近接連星系をなす白色矮星の表面で水素の核融合反応が暴走的に起こり、明るく輝く爆発現象である。爆発すると大量のガスが宇宙空間に放出され、時間をかけて広がった放出物は新星シェル・新星残骸として観測される。人類が追跡観測可能なタイムスケールで進化する新星は、低質量星の質量放出や銀河系の化学進化への寄与などをリアルタイムで研究できる貴重な天体となっている。

V1280 Sco は 2007 年 2 月に爆発した古典新星で、その進化は極めて遅く、数多くの高分散スペクトルや高解像度画像が取得されている。我々はすばる望遠鏡で観測した高分散スペクトルに -650 km/s から -900 km/s の速度をもった複数の吸収線群を検出し、V1280 Sco のシェル構造は low-inclination (連星の公転面が face-on に近い) であると考えていた。今回、輝線による解析を行なったので報告する。

使用した輝線は酸素の禁制線 $[\text{O III}] \lambda\lambda 4959, 5007$ で、3次元モデリングソフトウェア (Shape) を用いて解析を行なった。 $[\text{O III}]$ 輝線の解析から、V1280 Sco のシェル構造 ($[\text{O III}]$ の放射領域) が high-inclination ($i > 45$ [deg]) であることを示唆する結果が得られた。これは高速吸収線成分を検出した観測結果をもとに予想していた low-inclination とは異なる結果である。新星スペクトルはその電離状態の変化によって進化するため、それぞれのラインに対しての時間変化や放射領域を吟味する必要がある。本講演では、 $[\text{Fe II}]$ 輝線など feature の異なるラインにおいても解析を進め、その結果を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](#)

W214a 長期可視連続測光観測で明かされたヘリウム激変星 V803 Cen の特異な挙動

磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), Josch Hamsch, Berto Monard, Gordon Myers (VSNET Collaborations)

ヘリウム激変星 (AM CVn 型星) とは、主星が白色矮星、伴星がヘリウム星またはヘリウム白色矮星の近接連星系である。伴星からの質量輸送で主星周りにヘリウム主体の降着円盤が形成され、通常の激変星のように、突発的な増光現象 (アウトバースト) を起こす天体も多い。しかし、この型の天体は発見数が少なく、また光度変動のタイムスケールが短いため、アウトバースト時の詳細な挙動はほとんど明らかになっていない。

今回、我々が主導する国際変光星観測ネットワーク VSNET で、ヘリウム激変星の代表的な天体 V803 Cen の可視連続測光観測を6ヶ月に渡って行い、これまでに前例のない詳細な観測データの入手に成功した。その結果、通常の激変星ではあまり見られない現象が観測された。長いアウトバーストを起こした V803 Cen は一度減光した後、1日の時間尺度で振幅1~2等の光度振動を見せた。その後、振幅を小さくしながら、だんだんと高光度を維持するようになり、最終的に新星様天体のような、円盤が常に明るい hot state へと進化していく姿が捉えられた。hot state は一週間ほど維持され、その間もスーパーハンプと呼ばれる微小振動が観測され続けた。矮新星と新星様天体の違いは、伴星から円盤への質量輸送率の多寡にあると考えられている。今回観測された現象は、V803 Cen がこの2つの境界付近の質量輸送率を持つことを示唆する。そして挙動の変化については、次の2つの可能性が考えられる。即ち、1) 伴星が円盤に温められ一時的に質量輸送率が上がったというもの、2) スーパーハンプにより円盤外縁部から質量が落ちることで擬似的に円盤への降着が増えるというもの、である。どちらが正しいかについては、今後の新たな観測が待たれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W215a MAXI短時間軟X線トランジェント MAXI J0758-456 は激変星なのか?

三原建弘 (理研)、根来均、増満隆洋 (日大)、中平聡志 (JAXA)、岩切渉、芹野素子、杉本樹梨、松岡勝 (理研) ほか MAXI チーム

MAXI は 2016/4/24 15:05:06 UT の 1 スキャンのみでソフトな突発天体 MAXI J0758-456 を発見した (ATel #8983, #8993)。スペクトルは $1.1_{-0.2}^{+0.3}$ keV の黒体放射でも、べき $2.5_{-0.5}^{+0.7}$ のべき関数でも合せることができた。2-4keV では 4-10keV より 15 秒間ほどテールを引いているようにも見える。全体で 40 秒程度の継続時間なので、視野内の爆発現象と考え、中心位置で Swift XRT の 7 ポインティング追観測を 5 時間後に実施した。しかし対応天体は無かった。そこで、爆発中の天体が視野内に入り視野内で爆発を終えた可能性を検討し、24 時間後に隣接領域の Swift 追観測を行った。その結果、MAXI 誤差領域の端の方に 1 個だけ 1RXS J080114.6-462324 という激変星 (中間ポーラー) が検出された。明るさは 0.03 mCrab であり、以前の観測 (GRB 追加観測の serendipitous) より 2-5 倍程明るかった (ATel #8988)。RXS ソースは Swift/BAT カタログにもあり、強度は独立にした MAXI と BAT の同時フィットで熱制動放射モデル (41keV) を用いると、MAXI バンドでは 0.1mCrab 程度となる。つまり過去の観測では RXS ソースは常に 0.01-0.1 mCrab の明るさであった。しかし数時間で 3 倍程度の変動は見られる (Landi+ 2010)。今回の Swift の観測内でも 2 時間で約 1/2 に変動 (減衰) した。さてこの RXS ソースが MAXI J0758 だとすると、視野に入った時には 1.4Crab もあったことになる。距離 150pc では 9×10^{34} erg/s もの光度である。これは、過去の 1 万 ~ 10 万倍もの明るさであり、過去のあしかけ 14 日、延べ観測時間 1 日間の観測では、そんな大光度は無い。MAXI フレアの減衰は指数関数の時定数で 10 ± 2 s と速い。降着円盤の時定数としてはありえない。はたして、激変星にそのような大光度、ソフト、急速減衰フレアは可能なのであろうか?

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W216a モンテカルロシミュレーションによる超軟X線天体のスペクトルモデルの構築

和田師也, 海老沢研 (東京大学, ISAS/JAXA), 辻本匡弘 (ISAS/JAXA), 小高裕和 (スタンフォード大学)

超軟X線天体 (Supersoft X-ray Sources; SSS) は、20–100 eV の超軟X線帯域に放射のピークを持つ白色矮星 (WD) 連星系である。伴星からの質量降着率が大きいために、WD 表面で定常的に水素核燃焼が起きている。そのX線スペクトルは高階電離イオンによる吸収端構造を含む黒体放射様の連続成分と多数の輝線・吸収線を合わせ持つ。このうち、連続成分と吸収線は光学的に厚いWD大気からの放射、輝線成分は光学的に薄い光電離した降着円盤コロナ (accretion disk corona; ADC) からの放射と考えられている (Ebisawa et al., 2010)。

軌道傾斜角が大きくWD表面からの直接放射が降着円盤で隠されているSSSでは、ADCでリプロセスされた放射が支配的である。我々は放射計算コード「MONACO」を用いて、そのスペクトルを半定量的に再現することに成功した (2015年春季・秋季天文学会, Wada et al., in prep.)。「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モンテカルロシミュレーションを行うことができる。一方、WD大気からの直接放射が支配的なSSSに対しては、NLTE大気モデルによるスペクトルの再現が試みられている (e.g., Rauch et al., 2010)。このモデルでは、連続成分と吸収線を再現することに一定の程度成功しているが、輝線構造を同時に再現することはできていない。

今回我々はこのようなSSSに対して、NLTEモデルで表されるWD大気からの放射がADCで再放射されるプロセスを「MONACO」で計算し、輝線構造も同時に再現するモデルを構築した。そして以前の我々の研究結果と合わせて、観測的に多様なSSSのスペクトルを、軌道傾斜角の違いだけで説明できる統一的な描像を確立した。

[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17日(金)午前(09:30-11:45) [F会場]

X01a	09:30	4重像レンズ QSO における暗黒矮小銀河のエビデンス 井上開輝(近畿大学)
X02b	09:42	極端に輝線等価幅の大きい近傍矮小銀河の可視光面分光観測 松林和也(国立天文台)
X03b	09:42	高空間分解 Pa α 輝線撮像で探る近傍 clumpy 銀河の星形成活動 北川祐太郎(東京大学)
X04b	09:42	「あかり」で測定した PAH3.3 μ m と Br α 輝線フラックスのカタログ作成 村田一心(宇宙航空研究開発機構)
X05a	09:54	$z = 0.1 - 0.2$ の一般的な星形成銀河における分子ガスの性質 世古明史(京都大学)
X06a	10:06	宇宙の分子ガス密度の進化2 前田郁弥(京都大学)
X07a	10:18	ガンマ線バースト母銀河における分子ガス探査 廿日出文洋(国立天文台)
X08b	10:30	分子ガス観測から制限する $z \sim 1.4$ における星形成銀河のガスの流入率・流出率 世古明史(京都大学)
X09b	10:30	重力レンズ銀河団の ALMA データを用いた CO 光度関数の制限 山口裕貴(東京大学)
X10b	10:30	MOIRCS Upgrade Project: A NIR Redshift Survey of the Cluster RXJ1716 at $z=0.8$ 田中巻(国立天文台)
X11c		HSC-HSC: The new cluster candidates with two galaxy population at $0.8 < z < 1.2$ 山元萌黄(総合研究大学院大学)
X12a	10:42	Fundamental plane of quiescent galaxies in high-density environment at $z = 2$ 田中賢幸(国立天文台)
X13a	10:54	赤方偏移3の原始銀河団銀河の性質 利川潤(国立天文台)
X14a	11:06	巨大ブラックホールのガス降着進化: ガスの角運動量と輻射フィードバックの効果 杉村和幸(東北大学)
X15a	11:18	Subaru/Suprime-Cam Search of Low-Luminosity Quasars at $z \sim 6$ Masafusa Onoue (Sokendai/NAOJ)
X16b	11:30	超大質量ブラックホールへの降着タイムスケールが Eddington 比分布に与える影響 白方光(北海道大学)

3月17日(金)午後(13:30-15:42) [F会場]

X17a	13:30	21-cm 線で探る初代星の痕跡 田中俊行(名古屋大学)
X18a	13:42	21cm-LAE cross-correlation による宇宙再電離期の観測可能性の調査 久保田賢志(熊本大学)
X19a	13:54	輻射性フィードバックを考慮した大規模再電離シミュレーションとその応用例 長谷川賢二(名古屋大学)
X20a	14:06	電離光子脱出率と銀河の特徴との関係 角田匠(名古屋大学)
X21a	14:18	宇宙再電離期のライマン 輝線銀河シミュレーションとすばる Hyper Suprime-Cam 探査結果の比較 井上昭雄(大阪産業大学)
X22a	14:30	すばる Hyper Suprime-Cam SSP 初期データに基づく $z = 5.7$ と 6.6 の Ly α 光度関数 今野彰(東京大学)
X23b	14:42	First Demographics of Very Bright Ly α Emitters at $z \sim 6 - 7$ Uncovered by the Subaru HSC Narrowband Data 澁谷隆俊(東京大学)
X24b	14:42	Ly α Emitters with Very Large Ly α Equivalent Widths, $EW_0(\text{Ly}\alpha) \simeq 200 - 400 \text{\AA}$, at $z \sim 2$ 橋本拓也(東京大学/リヨン天文台/国立天文台/大阪産業大学)
X25b	14:42	Bright End of the UV Luminosity Functions at $z = 4 - 7$ Derived with the 100 deg^2 Data of the Subaru HSC Survey 小野宜昭(東京大学)
X26a	14:54	ALMA Demographics: FIR Size and Luminosity Relation at $z = 0 - 6$ 藤本征史(東京大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X27b	15:06	Completeness を補正した $z \sim 6-7$ でのサイズ-光度関係と光度関数への影響 川俣良太 (東京大学)
X28b	15:06	$z \sim 1$ のフィールドにおける早期型銀河の等面輝度形状について 満田和真 (東京大学)
X29b	15:06	初代超新星と超金属欠乏星の組成分布 小宮悠 (東京大学)
X30a	15:18	[OIII] 輝線銀河で探る最盛期以前の星形成活動性 鈴木智子 (総合研究大学院大学/国立天文台)
X31a	15:30	大規模探査スペクトルで探る星形成銀河アウトフローの赤方偏移進化 菅原悠馬 (東京大学)
X32c		光電離モデルを用いた single/double 成分 C IV 吸収体の物理状態の解明 三澤透 (信州大学)
3月18日(土) 午前(09:30-11:30) [F会場]		
X33a	09:30	Angular momentum evolution of disk galaxies at high redshift 岡村拓 (東京大学)
X34a	09:42	大規模近赤外分光サンプルで明らかにする銀河環境とガス金属量との関係 矢部清人 (東京大学)
X35a	09:54	LAE で探る赤方偏移 5 付近の AGN の環境と周囲の銀河へのフィードバック 菊田智史 (総合研究大学院大学/国立天文台)
X36a	10:06	Galaxy-Dark Matter Halo Connection at $z=0-7$ Revealed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam and Hubble Surveys 播金優一 (東京大学)
X37a	10:18	あかり北黄極サーベイと HSC データを用いた赤外線銀河の活動銀河核活動度 大井渚 (関西学院大学)
X38a	10:30	Cosmic star formation history revealed by AKARI and Hyper Suprime Cam Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
X39a	10:42	SPICA による銀河進化研究の検討状況 長尾透 (愛媛大学)
X40a	10:54	低金属量下における初期質量関数の導出 I: Sh 2-127 安井千香子 (国立天文台)
X41a	11:06	Integral Approach による、Density Independent SPH 法と Godunov SPH 法の改良 藤原隆寛 (筑波大学)
X42a	11:18	ダストのサイズ分布を考慮した宇宙論的ダスト形成シミュレーション 青山尚平 (大阪大学)
X43c		宇宙赤外線背景放射への黄道光の寄与 佐野圭 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)

X01a 4重像レンズQSOにおける暗黒矮小銀河のエビデンス

井上 開輝 (近畿大), 松下 聡樹 (ASIAA), 峰崎 岳夫 (東京大), 千葉 証司 (東北大)

光源が手前のレンズ銀河によって4重に像が分裂して観測される4重像重力レンズ系において、なめらかなポテンシャルをもつ重力レンズモデルを用いた場合、レンズ像の位置は $O(0.1\%)$ の精度でフィットできるが中間赤外や電波におけるフラックス比が $O(10\%)$ 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。4重像重力レンズQSOであるMG0414+0534はそのようなフラックス比異常だけでなく、可視光でレンズ像が強い赤化を起こし、その程度が像ごとに激しく変化する微分減光を起こす系としても知られている。しかし、それらの起源はよく分かっていない。我々は、2015年にMG0414+0534のダスト連続波光をALMAバンド7で観測し、レンズ像の近傍に $0.2 - 0.3 \text{ mJy}$ 程度のフラックスをもつ淡いダスト連続波光を $\sim 4\sigma$ で検出した。しかし、その対応天体は可視光、近赤外、センチ波のいずれの波長にも検出されていない。この淡い光の中心近傍にダストに富む暗黒矮小銀河が存在すると仮定した場合、扁平率が0.7程度であれば、電波や中間赤外線におけるフラックス比異常と可視光や近赤外線における微分減光を同時に説明できる。また、その赤方偏移の取り得る範囲は $0.5 \lesssim z \lesssim 1$ 、ダストの質量は $\sim 10^6$ 太陽質量、ダークマターとバリオンを合わせた質量は $\sim 10^9$ 太陽質量である。ダストの空間的なサイズは5kpcを超えるが、Iバンドにおけるフラックスは $0.06 \mu\text{Jy}$ 以下と、近赤外で極めて暗い。発見された天体は、宇宙論的距離におけるUltra Diffuse Galaxy(UDG)のような低輝度の天体であるかもしれない。今後、検出された矮小銀河がレンズ銀河に属するのかそれとも視線方向の銀河間空間にあるのか決定することが重要となってくる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X02b 極端に輝線等価幅の大きい近傍矮小銀河の可視光面分光観測

松林和也 (国立天文台), 太田耕司 (京都大学), 長尾透 (愛媛大学), 嘉数悠子 (国立天文台)

輝線等価幅が非常に大きい銀河 (Extreme Emission Line Galaxy; EELG) は、星の連続光フラックスに対して、大質量星によって電離されたガスからの輝線フラックスが非常に大きい。そのため、古い星集団が少ない若いスターバースト銀河であると考えられる。近傍 EELG 数百天体の統計的研究から、EELG は最も小星質量かつ低金属量な部類であり、高赤方偏移の一般的な星形成銀河と性質が近い。高赤方偏移の銀河は観測されるフラックスが小さく、見かけのサイズが小さいので観測が難しいが、近傍 EELG であれば空間分解が比較的容易であるため、星形成史や星形成のきっかけをなどの性質を詳しく調べるのに適していると考えられる。

そこで我々は、近傍 EELG 天体に対し、国立天文台 岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡にファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU を接続して可視光面分光観測を行った。観測天体はスローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) Data Release 10 のスペクトルデータアーカイブから、距離が 200 Mpc 以内、 $H\beta$ 等価幅が 200 \AA 以上で、複数のクランプが見えるという条件で選出し、UGC 993 と CGCG 007-025 の 2 天体が選出された。KOOLS-IFU は面分光装置にしては視野が $30''$ と広く、選出された銀河のほぼ全体が視野に入り、効率よく観測することができる。

観測の結果、どちらの銀河からも $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、 $[\text{OIII}]\lambda 5007$ 、 $[\text{NII}]\lambda 6583$ 、 $[\text{SII}]\lambda\lambda 6716, 6731$ などの多くの輝線が検出された。クランプごとに輝線比は多少異なるものの、 $[\text{NII}]/H\alpha = 0.01\text{--}0.1$ 、 $[\text{OIII}]/H\beta = 2.5\text{--}6$ 程度で、星形成領域と考えられる。 $[\text{NII}]/H\alpha$ から金属量を見積もると、 $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 7.6\text{--}8.3$ 程度となった。講演では観測結果から示唆される EELG 進化シナリオ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](#)

X03b 高空間分解 Pa α 輝線撮像で探る近傍 clumpy 銀河の星形成活動

北川祐太郎, 本原顕太郎 (東京大学), 小山佑世, 児玉忠恭, 美濃和陽典 (国立天文台)

本研究では, すばる望遠鏡の近赤外分光カメラ IRCS と補償光学 (AO188) を用いて赤方偏移 $z \sim 0.1$ のスターバースト銀河を観測した結果を報告する. AKARI 全天サーベイの $90 \mu\text{m}$ 検出天体のうち SDSS カタログに存在する銀河から赤外で非常に明るく輝く種族 ($\log(L_{\text{IR}}/L_{\odot}) > 11$) を選び出し, そのうち natural guide star が利用可能な 2 天体について近赤外 AO 撮像観測をおこなった. 特に近赤外領域の水素電離輝線 Pa α (静止系波長 $1.875 \mu\text{m}$) に着目することで, 可視輝線/UV では正確な星形成率の見積もりが困難なダストに埋もれた星形成活動を高空間分解能でしらべることが目的としている.

2 天体について補償光学を用いた高空間分解能 (FWHM $\sim 0.2 \text{ arcsec}$) データを得ることで, 銀河内部の星形成領域をサブ kpc ($\sim 0.4 \text{ kpc}$) で分解することに成功した. その結果, 1 天体についてはディスク上に分布した Pa α 輝線で明るく光る複数の星形成クランプを検出した. これら個々の星形成クランプについてそのサイズと星形成率を測定することで, 同じ近傍宇宙の銀河内にみられる典型的な HII 領域とは異なり, 赤方偏移 $z \sim 2$ で多数報告されている巨大星形成クランプに近い性質を持つことが示唆された. またもう 1 天体についても Pa α 輝線が検出され, 赤外線から見積もられた星形成率が $\sim 200 [\text{M}_{\odot} \text{ yr}^{-1}]$ と非常に高いことから, ダストに埋もれた星形成領域を近赤外波長で特定した可能性が高い. 更にこの天体については SDSS 画像より merger の後期段階にあることがわかっているため, merger に誘発された爆発的星形成であることが示唆される.

これら 2 天体について, 星形成率面密度 - 星質量面密度 (spatially resolved SFR- M^* plot) と比星形成率の動径依存性を描くことで, 爆発的星形成活動の起源について Pa α 撮像観測を用いてどこまで迫れるかを議論する.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X04b 「あかり」で測定したPAH3.3 μ mとBr α 輝線フラックスのカタログ作成

村田一心、松原英雄、中川貴雄、矢野健一 (宇宙科学研究所)

赤外線天文衛星「あかり」の2~5 μ m帯の分光スペクトルを用いて、約300天体の近傍銀河のPAH3.3 μ mとBr α 輝線フラックスを測定した。測定した両輝線の強度と赤外線光度との比較から、赤外線光度が $\log \text{LIR}/L_{\odot} > 11$ の銀河では、PAH3.3 μ m、Br α 輝線強度は共に赤外線光度に対して低くなることが分かった。

PAH3.3 μ m、Br α 輝線は星形成活動の指標であり、ダスト減光の影響が非常に小さいのが特徴である。特にBr α 輝線は、若い星の放射した電離光子を直接反映していると考えられるため、星形成率を求めるには最適な輝線である。しかし、これらの輝線は地上望遠鏡からは観測が困難のため、これまであまり使われて来なかった。そこで我々は、アーカイブされた「あかり」の全スペクトルから両輝線フラックスを測定し、公開することを計画している。現在およそ8割のデータの解析が完了し、285天体でPAH輝線を検出、そのうち192天体でBr α 輝線も検出した。これは両輝線のカタログとしては最大規模のものである。これらの銀河の80%以上が「あかり」遠赤外線全天サーベイカタログに収録されており、その赤外線光度は $\log \text{LIR}=10-12.5$ であった。

赤外線光度が高い銀河において、PAH、Br α 輝線が赤外線光度に対して有意に低いことを確認した。これは次の2通りの解釈ができる。1) 星形成以外の活動によりダストが暖められている。2) PAHやBr α 輝線のエネルギー源である若い星からの紫外線が少ない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X05a $z = 0.1 - 0.2$ の一般的な星形成銀河における分子ガスの性質

世古 明史, 太田 耕司, 青野 佑弥, 前田 郁弥 (京都大学), 諸隈-松井 佳菜, 廿日出 文洋, 松林 和也 (国立天文台), 矢部 清人 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 徂徠 和夫 (北海道大学), 久野 成夫 (筑波大学)

各時代において一般的な星形成銀河の星間物質の性質を知ることが銀河進化の理解に不可欠である。近年、銀河進化の激動期である $z = 1 - 2.5$ の時代について星間物質の観測は活発に行われてきている。その結果によると、 $z = 1 - 2.5$ の一般的な星形成銀河の分子ガス質量と星質量に対する分子ガス質量の割合は近傍銀河に比べて非常に大きい。また、近傍銀河と同じように大質量銀河ほど分子ガスの割合が小さく、ガス金属量が多い銀河ほど分子ガスの割合は小さいことが分かってきた。しかし、 $z = 0.1 - 1$ の時代における一般的な星形成銀河の分子ガス観測はこれまで非常に少なく、銀河サンプルも大質量のものかつ specific star-formation rate が大きいものに限られていたため、 $z > 1$ で明らかになってきたような分子ガスの一般的な性質はまだよく分かっていない。

そこで我々はまず $z = 0.1 - 0.2$ の時代における分子ガスの性質を調べるため、COSMOS 領域にあり、SDSS の分光観測による分光的赤方偏移が $0.1 - 0.2$ である銀河の中から、星質量が $> 3 \times 10^{10}$ 太陽質量の一般的な星形成銀河を選出した。21 天体を選出され、SDSS の分光観測から求めたガス金属量 ($= 12 + \log(\text{O}/\text{H})$) の範囲は $8.6 - 8.9$ であった。また、COSMOS 領域はハーシェル宇宙望遠鏡による遠赤外線観測が行われておりダスト質量が得られ、ハッブル宇宙望遠鏡の高空間分解能観測から銀河の形態が分かっている。これらの銀河に対し、野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ 観測を行った。解析の結果、約半数の銀河で輝線を検出し、分子ガスの割合は近傍銀河と同程度であることが分かった。講演では分子ガスの割合の星質量依存性や金属量依存性、ガス・ダスト比、形態別の違い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](#)

X06a 宇宙の分子ガス密度の進化 2

前田郁弥、太田耕司、世古明史 (京都大学)

宇宙の星形成率密度 (ρ_{SFR}) は、 $z \sim 1-3$ で現在の値より約 10 倍大きく、この時代の銀河は星形成活動が現在に比べて約 10 倍活発であったと考えられている。また、この時代より更に higher z では、 ρ_{SFR} はだんだん小さくなっていくことが知られている。この ρ_{SFR} の進化の原因はまだよく理解されていないが、星形成に必要な分子ガスの宇宙における密度 (cosmic molecular gas mass density: ρ_{mol}) が、 ρ_{SFR} と同様の進化をしている、あるいは星形成効率が時代によって異なる、といった可能性が考えられる。しかし、観測的に ρ_{mol} を出すことはこれまで非常に困難であった。最近になって、ALMA での CO の高感度観測が行われ、ある程度わかってきた (Decarli et al. ApJ in press (1607.06770)) もの、まだ非常に不定性が大きく、更に長時間の観測が必要な状況である。

そこで前回の学会では、 $z \sim 1.5$ における主系列銀河の ALMA による CO 観測の結果から、銀河の星質量に対する分子ガスの平均割合を各星質量毎に求めた関係 (Seko, Ohta, et al. 2016, ApJ 819, 82) を、同じ時代の星質量関数と組み合わせることで、 ρ_{mol} を評価するという方法で求めた。その結果、現在の宇宙における ρ_{mol} の約 10 倍の値が得られ、 ρ_{SFR} の増加の主たる要因は宇宙の分子ガス密度の増加であることを示唆した。

本講演では、上記とは別のアプローチとして、ダスト量の観測から銀河内の分子ガスを推定する方法で得られた分子ガスの平均割合 (Scoville et al. 2016, ApJ 820, 83) と、同時代の星質量関数を組み合わせることで、 $z \sim 1.15, 2.2, 4.4$ での ρ_{mol} を導出してみた。その結果、 $z \sim 1$ から ~ 4.4 にかけての ρ_{mol} の進化は ρ_{SFR} とほぼ同様であり、少なくとも $z \sim 4.4$ までの宇宙の星形成率密度の進化は、宇宙の分子ガス密度の進化で主に説明できる可能性が示唆された。講演では、評価の不定性も踏まえて議論をする。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X07a ガンマ線バースト母銀河における分子ガス探査

廿日出文洋 (国立天文台), 太田耕司 (京都大学), 河野孝太郎, 田村陽一 (東京大学), 中西康一郎 (国立天文台), 橋本哲也 (台湾国立清華大学), 遠藤光 (デルフト工科大学)

Long-duration gamma-ray burst (GRB) は大質量星の爆発に起因しており、星形成活動と密接に関連していると考えられている。GRB は非常に明るく、遠方 ($z > 6$) でも観測可能なため、遠方宇宙の星形成活動を探る新たなツールとして期待されている。しかし、GRB がバイアスの無い星形成トレーサーとして使えるかどうかは見解が分かれている。GRB と星形成との関係を明らかにするためには、母銀河の詳細な観測が重要である。GRB 母銀河における分子ガスの性質を探るため、これまで7つの母銀河においてCO 輝線観測が行われており、GRB 母銀河は一般的な星形成銀河に比べて星形成効率 (星形成率/分子ガス質量) が高く、gas depletion timescale が短いという報告がなされていた。しかしサンプル数は少なく、さらなる観測が必須である。

我々は、ALMA (cycle 3) を用いて新たに10個の母銀河 ($z = 0.1-2.5$) のCO 輝線観測を行った。サンプル数はこれまでのCO 輝線観測の中で最大で、過去に観測された母銀河の総数を上回る。観測の結果、6個の母銀河 ($z = 1-2$) でCO 輝線を検出することに成功した。分子ガス質量は $(5-90) \times 10^9 M_{\odot}$ である (Galactic conversion factor を仮定)。これらの母銀河の星形成効率や gas depletion timescale は、 $z \sim 1-2$ の一般的な星形成銀河と矛盾しない値であることが分かった。これは、過去のGRB 母銀河におけるCO 輝線観測結果とは異なる結果である。今回の結果は、GRB が分子ガスの観点で一般的な星形成銀河で発生することを示し、GRB が星形成活動のバイアスの無いトレーサーとなり得ることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X08b 分子ガス観測から制限する $z \sim 1.4$ における星形成銀河のガスの流入率・流出率

世古 明史, 太田 耕司, 岩室 史英 (京都大学), 矢部 清人, 田村 直之 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 甘日出 文洋 (国立天文台), 秋山 正幸 (東北大学), Gavin Dalton (Oxford University)

銀河進化は“ガスから星への転換の歴史”とも捉えられることから、銀河進化の理解には銀河がいつの時代にどれだけガスを集め、どのように消費していたのか知ることが重要である。これまで様々な観測結果から、銀河進化の過程においてガスの流入出が生じていたことが示唆されているが、どれくらい生じていたのか直接観測することは非常に難しい。ガスの流入出は銀河の金属量やガス質量の星質量に対する割合に影響を与えるため、宇宙論的シミュレーションや化学進化の解析的なモデルを用いて、観測から示された星質量・金属量・ガス質量の割合の関係を再現することで流入出率に制限を与える研究がされてきている。しかし銀河が激しく進化していた $z \sim 2$ の時代における分子ガスの観測は近年ようやく行われ始めたばかりであり、これまでの研究では Kennicutt-Schmidt 則を仮定して星形成率からガス質量を推定していた。

そこで我々は ALMA を用いて $z \sim 1.4$ にある一般的な星形成銀河の CO 観測を行い、CO-to-H₂ 変換係数の金属量依存性を考慮して分子ガス質量とその割合を算出した。スタッキング解析の結果、星質量が大きい銀河ほど分子ガス質量の割合が小さく、また金属量が大きい銀河ほど分子ガスの割合が小さいことを示した (Seko et al. 2016, ApJ, 819, 82)。これらの関係に対して、星形成・ガスの流入出を考慮した化学進化モデルとの比較を行った結果、流入率は星形成率の ~ 1.7 倍、流出率は ~ 0.4 倍という制限が得られた。流入率は星形成率と流出率の和におおよそ等しく、流入してきた全てのガスを星形成と流出によりほぼ消費していることを表している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09b 重力レンズ銀河団のALMAデータを用いたCO光度関数の制限

山口裕貴, 河野孝太郎, 田村陽一, 大栗真宗, 泉拓磨 (東京大学), 北山哲 (東邦大学), 江澤元, 大島泰, 松尾宏 (国立天文台), 太田直美 (奈良女子大学)

多波長による大規模探査により, 宇宙の星形成率密度の変遷が明らかになりつつある. 次のステップとしてその原因を知るため, 無バイアスなCO輝線銀河探査で, 宇宙の分子ガス質量密度を制限する必要がある. 近年, 無バイアスCO輝線銀河探査は現実的なものになってきたが, ALMAスペクトラルスキャン観測 (周波数幅 \simeq 数10 GHz以上) での無バイアスCO輝線銀河探査は, 観測時間等のコストが高くなってしまふ. そこで本研究では, 我々のグループによる2つの重力レンズ銀河団 (RXJ1347.5-1145, Abell S0592) のALMAデータに加え, ALMAアーカイブで公開されている重力レンズ銀河団のデータ (MACS J0416.1-2403, Abell 2744) を加えた4領域のALMAデータ (1チューニングによる周波数幅 \simeq 8 GHzの観測; 観測波長 \simeq 1 mm, 見かけ上の広さおよそ16 arcmin²) を用いて, CO光度関数の制限を行った. 本研究では, 周波数幅60 MHz (\simeq 66.7 km s⁻¹) と100 MHz (\simeq 111 km s⁻¹) の3次元S/Nデータキューブを作成し, CLUMPFINDを用いてCO輝線銀河探査を行った. 今回の探査ではS/N > 5となる輝線天体は検出されなかったが, ピークS/N = 4.5の輝線候補天体を1天体検出した. 重力レンズの増光により, CO(3-2), CO(4-3), CO(5-4)の輝線光度関数 (それぞれ $z \simeq 0.3$, $z \simeq 0.7$, $z \simeq 1.2$) に対し, $L'_{CO} \sim 10^8-10^{10}$ K km s⁻¹ pc² の範囲で上限値を与えた ($\lesssim 10^{-3}-10^{-2}$ Mpc⁻³). これらの制限値は準解析的モデルの予測と同程度であり, 同じ明るさで比べるとALMAスペクトラルスキャン観測と同程度の制限となった. したがって, ALMAスペクトラルスキャン観測だけでなく, 重力レンズ銀河団のALMA1チューニングデータも, CO輝線光度関数の制限するために有用であるということを示すことができた.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10b MOIRCS Upgrade Project: A NIR Redshift Survey of the Cluster RXJ1716 at $z=0.8$

田中 脩, 小山 祐世 (Subaru Telescope), Maximilian Fabricius (MPE), Josh Walawender (Keck Telescope), 岩田 生, 有本 信雄 (Subaru Telescope)

すばる望遠鏡の近赤外多天体分光撮像装置 MOIRCS は、2016 年に共同利用開始 10 周年を迎えた。観測装置としての競争力を維持するため、ハワイ観測所を中心としたアップグレードプロジェクトを推進中である。2015 年末には検出器を、低ノイズで高速な読み出しの可能な、Hawaii2 RG + SIDECAR ASIC システムに移行した (田中 日本天文学会年会 ASJ16A-V215b, ASJ16B-V226b)。2016 年夏の性能評価の一貫として、 $z=0.8$ の銀河団 RXJ1716 の $H\alpha$ 分光観測を行ったので報告する。

RXJ1716 銀河団は North Ecliptic Pole にあるリッチな X 線銀河団で、複数のサブクラスターを伴う、まだ力学的に若い銀河団とされている。小山らは MOIRCS の狭帯域撮像による $H\alpha$ 輝線銀河、及びあかり衛星による $15\mu\text{m}$ で明るいソースをマーカーとして、銀河団銀河の星形成活動とそのローカルな環境依存性について調査した (Koyama et al. 2010 MNRAS, 391, 1758)。今回はこのサンプルについての分光フォローアップとして、 $H\alpha$ 輝線に特化した分光観測を行った。スリット密度を高める工夫として、低分散の zJ grism に撮像用の J フィルタを用い、一度に 113 個のスリットを切る事ができた。このうち、12 個の AKARI ソース、30 個の $H\alpha$ 輝線天体 (うち 5 個は AKARI ソースと重複) が興味のある銀河団メンバー候補である。悪条件であったが、45 分の積分時間で、これらのおお半である 30 個の銀河について、分光 z を確定する事ができた。ポスターでは、これまで Kinematics 情報の無かった近傍サブ構造の力学質量や中心銀河団へ降着する HAE の動力学について議論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](#)

X11c HSC-HSC: The new cluster candidates with two galaxy population at $0.8 < z < 1.2$

山元萌黄 (総合研究大学院大学)、児玉忠恭、林将央、利川潤、小山佑世、田中壘、美濃和陽典 (国立天文台)、但木謙一 (MPE)、嶋川里澄、鈴木智子 (総合研究大学院大学)、他 HSC project 110 メンバー

銀河団銀河について調べる事は、銀河の形態-密度関係 (Dresslar 1980) の起源や、高密度領域に多く分布する楕円銀河の物理的性質を解き明かすためにも必要不可欠である。 $z \sim 1$ 以上の遠方銀河団はまだ希少であり、銀河が暗いため詳細な研究も困難なことから、遠方銀河団の銀河種族の性質を統計的に調べた研究は稀である。そこで、HSCのすばる戦略枠観測 (HSC-SSP) を利用し、さらに2つの原始銀河団探査法を組み合わせ、HSC-HSC (Hybrid Search for Clusters with HSC) という銀河団サーベイを現在推進している。2つの原始銀河団探査法とは、星形成銀河の放つ輝線を狭帯域フィルターで捉え、星形成銀河を探査する「blue cloud サーベイ」と、広帯域フィルターを用いて、銀河団銀河特有の色等級図における赤色の系列を用いて、星形成を終了した銀河を中心に探査する「red sequence サーベイ」であり、それぞれの銀河の密度超過領域を探り、 $0.5 < z < 1.7$ の範囲でこれまでに無く多くの銀河団を発見する。この両サーベイを、HSC-SSP の Ultra-DEEP, DEEP サーベイの領域において行い、Blue cloud サーベイでは、 $z \sim 1.2$ で [OII] 輝線銀河、 $z \sim 0.85$ で [OIII] 輝線銀河の高密度領域をそれぞれ探査した。その結果、 $z \sim 1.2$ では [OII] 輝線銀河のクランプのような構造に囲まれた、赤い銀河で非常に高密度な銀河団候補と、 $z \sim 0.85$ では各銀河の高密度領域において、分光確認された銀河の分布を調べることで特に有力な銀河団候補を、それぞれ発見した。その銀河団候補の紹介と、同赤方偏移の銀河団銀河の統計的な性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X12a Fundamental plane of quiescent galaxies in high-density environment at $z = 2$

Masayuki Tanaka (NAOJ), Sune Toft (DARK Cosmology Centre)

We present the first measurement of the fundamental plane of massive quiescent galaxies at $z = 2$ in high-density environment. We obtained deep MOSFIRE spectra of quiescent galaxies in a proto-cluster at $z = 2.2$ and securely detected absorption lines and measured their velocity dispersion. Using morphological measurements from the HST data, we infer the dynamical mass of the quiescent galaxies. We find that the dynamical mass of galaxies in high-density environment is offset with respect to the field galaxies in the sense that proto-cluster galaxies are dynamically more massive at a given stellar mass. This is driven by larger sizes of proto-cluster galaxies than field galaxies at the same epoch. The fundamental plane also seems to be offset and cluster galaxies appear to be more evolved than their field counterparts. We discuss implications of these trends for the formation of massive galaxies at high redshifts.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a 赤方偏移 3 の原始銀河団銀河の性質

利川潤, 柏川伸成, 田中賢幸, 新納悠, 古澤久徳 (国立天文台), Roderik Overzier (ブラジル国立観測所), Matthew A. Malkan (カルフォルニア大学), 石川将吾, 内山久和, 尾上匡房 (総合研究大学院大学), 太田一陽 (ケンブリッジ大学)

近傍宇宙の観測から、銀河の性質はその銀河が存在する環境と相関していることが知られている。そのような銀河と環境の関連性がどのように作られたのかを理解するためには、近傍のみならず遠方宇宙に存在する原始銀河団を直接観測し、高密度領域での銀河進化を明らかにする必要がある。本研究では、Toshikawa, et al. (2016, ApJ, 826, 114) で発見された赤方偏移 3.13 と 3.24 の 2 つの原始銀河団について、その原始銀河団に含まれる銀河の性質を調べ、同時代のフィールド銀河とその性質を比較した。赤方偏移 3.13 の原始銀河団では $\text{Ly}\alpha$ 輝線の等価幅が小さい傾向があるものの、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線や UV 光度について原始銀河団銀河とフィールド銀河の間に有意な違いは見つからなかった。次に、WIRCam Deep Survey (Bielby, et al. 2012, A&A, 545, A23) により公開されている深い近赤外撮像データを使うと、原始銀河団銀河は K_S バンドで明るく、 $i - K_S$ の色が赤いことがわかった。特に赤方偏移 3.13 の原始銀河団はフィールド銀河との差が大きかった。さらに SED フィットtingを用いてより詳細な解析を行うと、赤方偏移 3.13 の原始銀河団では活発な星形成を行っているが、ダストによる減光も大きく受けていると解釈することができる。一方、赤方偏移 3.24 の原始銀河団ではフィールド銀河と有意な違いを見つけることができなかった。赤方偏移 3 程度で環境による銀河の性質の違いは現れ始めるが、それぞれの原始銀河団によっても性質のばらつきがあることも同時に確かめることができた。本講演ではこれらの結果の詳細な紹介とともに、フィールド銀河との違いや、原始銀河団ごとの多様性について議論をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14a 巨大ブラックホールのガス降着進化：ガスの角運動量と輻射フィードバックの効果

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

宇宙開闢から現在に至るまでの天体形成史を理解する上で、超巨大ブラックホールの形成過程は未だ大きな謎として残されている。超巨大ブラックホールの種がどのように作られ、その後どのような過程を経て超巨大ブラックホールまで成長するかについて、我々はまだ標準的なシナリオを確立するに至っていない。

その際の大きな問題の一つに、輻射フィードバック下での巨大ブラックホールのガス降着進化の理解が不足していることが挙げられる。我々は、先行する研究において、降着円盤からの輻射の非等方性を考慮したシミュレーションをおこない、等方的な輻射を仮定した場合とくらべて降着率が大きく増加する場合があることを示した。しかし、これまでの関連する研究と同様に、先行研究ではガスの角運動量は小さいと仮定しており、遠心力サポートによって降着が妨げられる効果がどの程度降着率に影響するかが依然として不明であった。

そこで、本研究では、中心ブラックホールからの輻射フィードバックとガスの角運動量の効果を考慮した二次元流体シミュレーションをおこない、巨大ブラックホールへのガス降着過程を調べた。本講演では、まず数値シミュレーションの結果を紹介し、その結果に基づきブラックホールへの降着率がガスの角運動量と輻射フィードバックにどのように影響されるかを考察する。さらに、本研究結果が超巨大ブラックホール形成シナリオに与える示唆について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15a Subaru/Suprime-Cam Search of Low-Luminosity Quasars at $z \sim 6$

Masafusa Onoue (Sokendai/NAOJ), Nobunari Kashikawa, Hisanori Furusawa, Yuu Niino, Masayuki Tanaka, Jun Toshikawa, (NAOJ), Chris J. Willott (Herzberg Institute of Astrophysics), Myungshin Im (CEO), Pascale Hibon (ESO), Kazuhiro Shimasaku, Masami Ouchi (Univ. of Tokyo), Shogo Ishikawa, Hisakazu Uchiyama (Sokendai/NAOJ), and HSC project members

High redshift ($z > 6$) quasars are unique probes of cosmic reionization, SMBH early growth and its co-evolution with host galaxies. Although more than 100 quasars have been found at $z > 6$, most of them are the most luminous population at this epoch, preventing one from probing down the quasar luminosity function (QLF) at the faint-end ($M_{1450} > -24$). We performed a search of $z \sim 6$ low-luminosity quasars with deep observation by Subaru/Suprime-Cam ($z_R^{lim,3\sigma} = 24.15$) in 6.5 deg^2 . As an initial result, two out of seventeen candidates were spectroscopically confirmed to be real quasars with their absolute magnitudes $M_{1450} = -23.10$ and -22.58 (Kashikawa et al. 2015).

Moreover, Subaru/FOCAS spectroscopy for four of the remaining ten candidates found that one of them is a $z \sim 1$ [OII] emitter and the other three are not detected. In addition, photometric data from Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program survey enables us to see the HSC colors of our candidates, finding that only the two already-confirmed quasars have red $i - z$ colors. These observations imply that the data point on the $z \sim 6$ QLF by Kashikawa et al. (2015) is not a lower-limit, but a complete constraint on the faint-end. Based on the QLF, the quasar contribution on the UV photon budget during the reionization is up to 15%.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16b 超大質量ブラックホールへの降着タイムスケールが Eddington 比分布に与える影響

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 川口 俊宏 (札幌医科大学)

本発表では準解析的銀河形成モデルを用いて, 超大質量ブラックホール (SMBH) へのガス降着タイムスケールの仮定が AGN の光度関数や Eddington 比分布に与える影響を示す. 銀河形成モデルで SMBH へのガス降着率を計算する場合, 空間分解能が足りないため, Bondi 降着率に適宜定数をかけるか, 降着する質量と降着タイムスケールを与え, 降着率を求めるかしている. このような降着率の取り扱いの違いは光度や持続期間等の AGN の性質に影響を与える可能性があるため理論モデルを AGN の観測データと比較して AGN の進化を論じる際は注意する必要がある. 本研究では, 降着率の取り扱いを 3 通り試し, AGN の統計量に与える影響を示す. 検討したモデルは, (1) Bondi 降着率を仮定する場合, (2) 降着タイムスケールが銀河の力学的時間に比例, (3) SMBH の降着円盤に比例という仮定である. また, AGN の Eddington 比が上記 3 つの仮定によってどのように変化するかを示す.

[セッションのトップに戻る](#)
[スケジュールに戻る](#)

X17a 21-cm 線で探る初代星の痕跡

田中俊行 (名古屋大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), 矢島秀伸 (東北大学)

宇宙の暗黒時代に終わりを告げたであろう宇宙で最初の光源天体、初代星。それは宇宙初期に生成された小さな密度ゆらぎが、重力的に成長したことで形成されたと考えられている。しかし、その性質は未だ謎に包まれており、多くの理論モデルが存在する。初代星の明るさやスペクトル型などの性質は、初代星周囲の中性水素 21-cm 輝度温度分布に刻まれると考えられ、2020 年から初期科学運用が予定されている次世代大型電波干渉計 Square Kilometre Array にはそのシグナル検出の期待もかかっている。従って、各理論モデルでの初代星周囲の 21-cm シグナルがどのように観測されるかを予言することは喫緊の課題である。

本研究では、初代星周囲の輝度温度がどのように観測されるかを、輻射輸送と流体力学を統合的に解く輻射流体シミュレーションを用いて調査した。具体的には、ハロー内のガスの密度プロファイル ($\rho \propto r^{-2}$) を考慮し、ハローからの電離光子の脱出率の時間変化を計算しつつ、銀河間物質の電離バブルと輝度温度を矛盾なく解いた。また、比較のために、銀河間物質のみを考え静止流体として取り扱い、輝度温度分布を評価した先行研究 (Yajima & Li 2014) と同じセットアップでも計算を実施した。結果として、数 $100M_{\odot}$ の大質量星の寿命程度である 10^6 年の計算では、一様密度静止流体での計算に比べて、密度プロファイルを持つ輻射流体計算の方が、21-cm 線輝度温度の絶対値が 1.5 倍ほど大きくことを見出した。さらに、輝度温度分布に対する初代星の質量依存性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X18a 21cm-LAE cross-correlation による宇宙再電離期の観測可能性の調査

久保田賢志, 吉浦伸太郎, 高橋慶太郎 (熊本大学), 長谷川賢二 (名古屋大学)

宇宙再電離を直接観測する手段として中性水素の 21cm 線があり、MWA や LOFAR、SKA による観測が期待されている。しかしながら、21cm 線は銀河系シンクロトロンや系外電波といった強烈な前景放射に覆い隠されてしまい、その検出は非常に困難なものとなっている。そこで我々は前景放射を克服する方法の一つとして 21cm 線と Lyman- α emitter(LAE) との cross-correlation(相互相関) に注目する。LAE は電離源の一つとして考えられており、一般に 21cm 線との相関は反相関となることが期待される。一方で、21cm 線観測における前景放射は LAE survey におけるシグナルやノイズと無相関であると考えられるため、21cm 線と LAE の相関を取ることで前景放射の影響を低減でき、21cm 線シグナルの検出が期待される。また、LAE はすばるの HSC(ultra deep survey, deep field survey) による二次元観測が計画されており、さらに PFS を組み合わせた三次元観測も計画されている。

そこで我々は長谷川氏が行った大規模再電離シミュレーション結果を使用して 21cm 線と LAE との相互相関で最初に得られる cross-power spectrum の検出可能性を MWA による 21cm 観測及び HSC による LAE 観測を想定して調べ、さらに PFS による追加観測の必要性を調べたのでその結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19a 輻射性フィードバックを考慮した大規模再電離シミュレーションとその応用例

長谷川賢二 (名古屋大学)、石山智明 (千葉大学)、矢島秀伸 (東北大学)、井上昭雄 (大阪産業大学)

宇宙再電離とは、一度中性化した宇宙が赤方偏移 $z \sim 6$ までに再び電離した過程であるが、それが具体的にどのようなように起こったかの詳細は明らかでない。数値シミュレーションは、再電離過程を理解するためのひとつの重要なアプローチではあるが、特に今後期待される大規模サーベイ観測結果と直接比較しうる大領域シミュレーションでは、空間分解能の不足のため、高赤方偏移銀河からの電離光子供給量などに影響を与える輻射によるフィードバック過程を適切に考慮することは困難であった。

そこで我々は、大規模再電離シミュレーションに応用可能な輻射フィードバック過程を考慮した銀河 SED・銀河間物質非一様性のサブグリッドモデルを開発し、これを報告した (2015 年春季年会講演番号 X31a)。その後、このモデルを $(160\text{Mpc})^3$ の大領域宇宙論的輻射輸送シミュレーションに適用した計算を実行したのでその結果を報告する。講演では、まずシミュレーション手法を紹介し、次に我々のモデルで考慮される銀河質量依存の電離光子脱出割合や環境 (密度・電離度) に依存した銀河間物質非一様性が再電離史に影響を与え、CMB 観測で得られるトムソン散乱光学的厚みなどの再電離史に対する制限をよく満たす事を示す。

このシミュレーションではさらに、Subaru HSC による Lyman Alpha Emitter (LAE) 観測や将来的に検出が期待される再電離期 21cm 線分布との比較ができるよう、Ray-tracing 計算によって銀河間物質による減光を考慮した LAE 理論モデルと 21cm 線輝度温度出力モジュールも搭載している。具体的な観測との比較は他の講演に譲り、本講演ではこれらの計算方法および計算結果を用いた研究例を簡単に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X20a 電離光子脱出率と銀河の特徴との関係

角田匠 (名古屋大学), 柏野大地 (ETH Zürich), 長谷川賢二 (名古屋大学)

観測による制限から宇宙再電離は $z \sim 7$ までにほぼ完了したと考えられている。しかしながら、再電離を引き起こした電離光子源がなんであったかは明らかでない。再電離期に多くの銀河が存在することは既に観測で確認されており、これら高赤方偏移銀河は電離光子源の有力な候補であると期待される。電離光子脱出率 (f_{esc}) は銀河内で生成された電離光子が銀河間空間に供給される割合を表しており、銀河がどの程度再電離に寄与したのかを理解する上で重要な量である。しかし、その平均的な値は理論的にも観測的にもコンセンサスは得られておらず、数値シミュレーション結果は多様な値を示すことが知られている。

本研究では、単純化した銀河モデルについて Ray-Tracing 法による電離構造計算を行うことで銀河の内部構造が f_{esc} に与える影響を調査した。その結果、多様性を生み出す一番大きな要因は銀河内の光源の位置であり、これは f_{esc} に 2 桁程度のばらつきをもたらすことを示した。また、銀河内部構造が非常に非一様で高密度なガスの塊 (clump) が多数存在する場合、clump の総質量が銀河ガス質量の 10% を超えると f_{esc} が高くなる事、clump の質量、大きさなどによって f_{esc} が 5 倍程度の変化しうることも明らかにした。本講演では、これらの結果を踏まえ、 f_{esc} を決める重要な要素は何か議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X21a 宇宙再電離期のライマン 輝線銀河シミュレーションとすばる Hyper Suprime-Cam 探査結果の比較

井上昭雄 (大阪産業大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), 石山智明 (千葉大学), 矢島秀伸 (東北大学), 清水一紘 (大阪大学), 梅村雅之 (筑波大学), 今野彰, 播金優一, 澁谷隆俊, 大内正己 (東京大学)

宇宙再電離現象の理解のため、銀河間空間の水素中性度 x_{HI} の時間進化および空間分布の観測に注目が集まっている。すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) による戦略枠プログラムでは、宇宙再電離期である $z = 5.7, 6.6, 7.3$ のライマン 輝線銀河 (LAE) を探査することで、この問題に挑戦している。一方、HSC の観測結果から x_{HI} を推定するには、理論モデルとの比較が必要である。そこで我々は、宇宙再電離過程の大規模な数値計算と LAE のモデル化により、HSC による探査をシミュレーションし、それを実際の HSC の観測結果と比較した。

宇宙再電離の輻射輸送数値計算は、 160 Mpc^3 の体積で 4096^3 のダークマター粒子を用いた N 体計算の結果に、 256^3 のグリッドを張って行なった。同規模の先行研究に比べて、高解像度輻射流体計算にもとづく電離光子放射スペクトルモデルを各ダークハローに割り当てた点などに特徴がある。LAE モデルは、紫外線光度関数を再現するようにダークハロー質量と紫外線等級 M_{UV} の関係を決めた後、経験的なライマン 等価幅 (EW)- M_{UV} 関係を仮定して作成した。Suprime-Cam や HSC によるライマン 光度関数と比較すると、LAE の duty cycle が $\sim 5\%$ であれば良く合う。我々のシミュレーションでは、 $z = 5.7$ から 6.6 でのライマン 光度関数の減少は LAE の進化で説明された。 $z = 7.3$ の減少は、LAE 進化と x_{HI} の進化の両方が必要となる。講演では、HSC による LAE 角度相関の測定との比較の議論も行なう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X22a すばる Hyper Suprime-Cam SSP 初期データに基づく $z = 5.7$ と 6.6 の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数

今野彰, 大内正己, 澁谷隆俊, 樋口諒, 小野宜昭 (東京大学) 他 HSC SSP project 84/85 collaboration

$z \gtrsim 6$ の $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河 (LAE) の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数 (LF) は、銀河間物質中の中性水素がもたらす $\text{Ly}\alpha$ 減衰翼吸収の影響を受けることから、宇宙再電離期における銀河間物質の中性水素割合 x_{HI} 推定の指標となる。これまでの研究で $z = 5.7, 6.6$ の $\text{Ly}\alpha$ LF が求められてきたが、LAE 天体数は多くなく、統計精度が低かったため、 x_{HI} とその進化への制限は弱かった。近年では狭帯域フィルターを用いた広領域 LAE 探査が精力的に行われ、 $\text{Ly}\alpha$ で極めて明るい LAE が発見されるようになった。このような広領域 LAE 探査は $\text{Ly}\alpha$ LF、特にその明るい側をこれまでに無く高い精度で求めることが可能になるため、 x_{HI} 進化や極めて明るい LAE の存在量を詳細に理解することができる。我々は現在、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) による戦略枠プログラム (SSP) において、狭帯域フィルター撮像探査を行っている。この探査では 2014 年春から 5 年に渡って、計 ~ 30 平方度の天域が観測される。本研究では現在利用可能な最初の 2 年分の狭帯域フィルター NB816, NB921 撮像データを用いたが、この撮像データは ~ 21 平方度まで達している。この撮像データから我々は計 ~ 2400 個の $z = 5.7, 6.6$ LAE を検出した。これらの数字は過去の研究と比べて 1 桁程度大きい。また HSC で得られた LAE サンプルの $\text{Ly}\alpha$ 光度範囲は $\log L(\text{Ly}\alpha) \sim 43.0 - 44.0 \text{ erg s}^{-1}$ に渡っている。本講演では、HSC を用いた $z = 5.7, 6.6$ の $\text{Ly}\alpha$ LF を報告する。大規模 LAE サンプルにより $\text{Ly}\alpha$ LF の明るい側に強い制限を与えることができたが、 $z = 6.6$ でシェヒター関数からの個数密度の超過が見られた一方で、 $z = 5.7$ ではそれが見られなかった。さらに $z = 5.7 - 6.6$ での $\text{Ly}\alpha$ LF 進化から $z = 6.6$ での x_{HI} に制限を与え、 x_{HI} 進化と最新の *Planck* の結果との整合性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X23b First Demographics of Very Bright Ly α Emitters at $z \sim 6 - 7$ Uncovered by the Subaru HSC Narrowband Data

Takatoshi Shibuya (ICRR) and the HSC Project 84 Members

We present the results of spectroscopic observations for $z \sim 6 - 7$ bright Ly α emitters (LAEs) identified with the $\sim 35 \text{ deg}^2$ narrowband (NB) imaging data of the Subaru/HSC SSP survey. Our NB imaging data is about an order of magnitude larger than any other surveys for $z \sim 6 - 7$ LAEs conducted to date. Exploiting the largest NB imaging data, we obtain 28 very bright LAE candidates with $\log L_{\text{Ly}\alpha} \gtrsim 43 \text{ erg/s}$ that are similar to Himiko and CR7. Our on-going Subaru/FOCAS optical spectroscopy have so far confirmed 12 objects with asymmetric Ly α lines, and our subsequent Subaru/MOIRCS NIR spectroscopy cover UV nebular emission lines, C IV]1548, He II]1640, and O III]1661,1666, for three very bright LAEs with the spectroscopic redshifts. Combining spectroscopic samples from our HSC and previous Suprime-Cam studies, we make the first census of very bright LAEs at $z \sim 6 - 7$. We discuss the formation mechanisms of very bright LAEs at $z \sim 6 - 7$ with the number fraction in conjunction with Ly α radial profiles and line ratios of the UV nebular emission.

is about 10

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24b Ly α Emitters with Very Large Ly α Equivalent Widths, $EW_0(\text{Ly}\alpha) \simeq 200 - 400 \text{\AA}$, at $z \sim 2$

Takuya Hashimoto^{1,2,3,4}, Masami Ouchi¹, Kazuhiro Shimasaku¹, Daniel Schaerer⁵, Kimihiko Nakajima^{5,6}, Takatoshi Shibuya¹, Yoshiaki Ono¹, Michael Rauch⁷, and Ryosuke Goto¹ (1: UTokyo, 2: Observatory of Lyon, 3: NAOJ, 4: OSU, 5: Observatory of Geneva, 6: ESO, 7: OCIW)

We present physical properties of spectroscopically confirmed Ly α emitters (LAEs) with very large rest-frame Ly α equivalent widths $EW_0(\text{Ly}\alpha)$. Although the definition of large $EW_0(\text{Ly}\alpha)$ LAEs is usually difficult due to limited statistical and systematic uncertainties, we identify six LAEs selected from ~ 3000 LAEs at $z \sim 2$ with reliable measurements of $EW_0(\text{Ly}\alpha) \simeq 200 - 400 \text{\AA}$ given by careful continuum determinations with our deep photometric and spectroscopic data. These large $EW_0(\text{Ly}\alpha)$ LAEs do not have signatures of AGN, but notably small stellar masses of $M_* = 10^{7-8} M_\odot$ and high specific star-formation rates of $\sim 100 \text{ Gyr}^{-1}$. These LAEs are characterized by the median values of $L(\text{Ly}\alpha) = 3.7 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ and $M_{\text{UV}} = -18.0$ as well as the blue UV continuum slope of $\beta = -2.5 \pm 0.2$ and the low dust extinction $E(B - V)_* = 0.02_{-0.02}^{+0.04}$, which indicate a high median Ly α escape fraction of $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} = 0.68 \pm 0.30$. This large $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ value is explained by the low HI column density in the ISM that is consistent with FWHM of the Ly α line, $\text{FWHM}(\text{Ly}\alpha) = 212 \pm 32 \text{ km s}^{-1}$, significantly narrower than those of small $EW_0(\text{Ly}\alpha)$ LAEs. Based on the stellar evolution models, our observational constraints of the large $EW_0(\text{Ly}\alpha)$ and the small β imply that at least a half of our large $EW_0(\text{Ly}\alpha)$ LAEs would have young stellar ages of $\lesssim 20 \text{ Myr}$ and very low metallicities of $Z < 0.02 Z_\odot$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25b Bright End of the UV Luminosity Functions at $z = 4 - 7$ Derived with the 100 deg² Data of the Subaru HSC Survey

Yoshiaki Ono (Tokyo), Masami Ouchi (Tokyo), Yuichi Harikane (Tokyo), Jun Toshikawa (NAOJ), Mohammad Akhlaghi (Lyon), Jean Coupon (Geneva), Nicole Czakon (ASIAA), Takuya Hashimoto (Lyon), Masafumi Ishigaki (Tokyo), Ikuru Iwata (NAOJ), Nobunari Kashikawa (NAOJ), Lihwai Lin (ASIAA), Yoshiki Matsuoka (NAOJ), Anupreet More (IPMU), Surhud More (IPMU), Kimihiko Nakajima (ESO), Takatoshi Shibuya (Tokyo), Kazuhiro Shimasaku (Tokyo), John Silverman (IPMU), Michael Strauss (Princeton), and the HSC SSP collaboration team

We investigate the UV luminosity functions (LFs) of $z = 4 - 7$ dropout galaxies based on the Subaru strategic program survey with Hyper Suprime-Cam (HSC). The effective survey area is about 100 deg², which is more than 20 times larger than previous studies of high- z luminous galaxies. This large survey area allows us to cover an unprecedentedly large cosmic volume at $z > 4$ and to identify about 400,000 luminous sources with $M_{UV} \lesssim -20$ mag. Combining our UV LFs with those from the latest ultra-deep Hubble Space Telescope legacy surveys, we obtain the UV LFs at $z = 4 - 7$ that span a very wide UV luminosity range of $\sim 0.002 - 20 L^*$. We find a clear overabundance of dropouts at the bright end over the best-fit Schechter function. Our precision UV LF estimates in the wide luminosity range distinguish two UV LF components very clearly for the first time, a galaxy UV LF and a faint-end AGN UV LF.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26a ALMA Demographics: FIR Size and Luminosity Relation at $z = 0 - 6$

藤本征史, 大内正己, 澁谷隆俊 (東京大学)

高空間分解能・高感度を備えた ALMA の登場により、静止系遠赤外線 (FIR) での銀河サイズが明らかになってきた。一方で天体数の不足や測定手法の違いにより、FIR での銀河サイズと光度の関係は未だよくわかってない。本研究では過去最大 1000 視野を超える深い波長 1 ミリ帯 (Band 6&7) データをアーカイブから集め、サイズ・明るさ測定精度や検出完全性のシミュレーションも行いながら、統一的に uv -visibility 上でサイズ・明るさ測定を行なった。その結果、重力レンズ天体も含め、明るさ $\sim 0.4 - 20$ mJy、赤方偏移 $z \sim 0.2 - 5.5$ 、星形成率 $\sim 100 - 3000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ を持つ計 642 個 ($\text{SN} > 5$) の天体サンプルを得た。このサンプルは以下 3 つの関係を示した。1) FIR の銀河サイズと光度は $\sim 99\%$ の精度で正の相関を持つ。2) $z \sim 1$ から ~ 4.5 にかけて FIR での銀河サイズは小さくなる。3) 個々の銀河において、FIR での銀河サイズは静止系紫外線 - 可視での銀河サイズよりも一般的に小さい。本講演では新しく見えてきたこれら関係の物理的起源についても議論をする予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27b Completenessを補正した $z \sim 6 - 7$ でのサイズ-光度関係と光度関数への影響

川俣良太, 石垣真史, 嶋作一大, 大栗真宗, 大内正己 (東京大学)

Hubble Frontier Fields (Lotz et al. 2016) は、重力レンズ効果の強い6つの銀河団を *HST*で深く撮像し、銀河団背景にある増光された遠方銀河の探索を目的としたプロジェクトである。我々は4つの銀河団で得られたデータを用い、 $z \sim 6 - 9$ での銀河サイズを測定し、 $-22 \lesssim M_{UV} \lesssim -13.5$ の銀河サイズサンプルを構築した。 $M_{UV} \gtrsim -19$ の暗い等級範囲においては、過去最大のサンプルサイズである。これらの暗い銀河は宇宙再電離に大きな寄与を及ぼしたと考えられている。それらの銀河の存在量を見積もる光度関数の導出において、暗い銀河の検出率を補正するための completeness 推定は仮定する銀河サイズに強く依存するので、正しいサイズ-光度 ($r_e - L$) 関係が必要である。今回は、観測された見かけの $r_e - L$ 関係が、大きく暗い銀河が検出できないという incompleteness の影響を受けて急になっていることや、より緩やかな $z \lesssim 5$ での $r_e - L$ 関係の傾きを仮定すると、光度関数の faint-end slope がより急になるということを議論した (2016年秋季年会 X16a 参照)。

今回は、モデル化した真の $r_e - L$ 関係を completeness で削ることで観測される関係を再現し、観測された $r_e - L$ データで最尤推定することで、completeness を補正した真の $r_e - L$ 関係を $z \sim 6 - 7$ において初めて注意深く求めた。推定された真の $r_e - L$ 関係は、 $r_e \propto L^{0.5 \pm 0.1}$ と依然として急であった。また、真の $r_e - L$ 関係ではなく見かけの関係をを使うと、導出される光度関数の faint-end slope α が系統誤差として $\Delta_\alpha \sim 0.2$ 緩やかになる。これに従い、 $M_{UV} = -17$ まで積分した対数電離光子密度 $\log 10\rho_{UV}$ には、典型的な不定性 (e.g., Bouwens et al. 2015) よりも大きな $\Delta_{\log 10\rho_{UV}} \sim 0.1$ の系統的な違いが出る。さらに、暗い銀河における最大の銀河サイズサンプルを使用したにも関わらず、真の $r_e - L$ 関係の推定には依然大きな標本誤差があり、 α の不定性に ${}^{+0.3}_{-0.5}$ となって現れる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X28b $z \sim 1$ のフィールドにおける早期型銀河の等面輝度形状について

満田和真, 土居守, 諸隈智貴 (東京大学)

近傍の楕円銀河, S0 銀河といった早期型銀河は, 回転の卓越した fast rotator と速度分散が卓越した slow rotator に分類でき, このような力学的特徴の違いは merger におけるガスの割合や質量比など, 銀河の質量獲得過程に起因すると考えらる. しかし, 吸収線の測定が必要な早期型銀河の面分光観測による力学状態の調査は遠方において困難であり力学的特徴の獲得時期や, 環境による進化の違いはよくわかっていない. そこで我々は, 早期型銀河の力学状態と関係があり, 遠方銀河においても測定可能な等面輝度形状 (a_4 パラメータ) に着目した. 早期型銀河は a_4 パラメータによって boxy ($a_4 < 0$) と disk ($a_4 > 0$) に分類され, それぞれが slow rotator と fast rotator に対応する. 我々の過去の研究では銀河団環境において, $z < 1$ では boxy 銀河と disk 銀河の個数比に進化が見られなかったが, $z < 1$ においてはフィールド環境では銀河団環境よりも早期型銀河のサイズ進化が大きく, 力学的性質の進化も大きいことが期待される.

そこで我々は, 3D-HST の公開データを用い, $z \sim 0.8 - 1.4$ のフィールド早期型銀河 925 個について a_4 パラメータを測定した. 早期型銀河のサンプルは U-V, V-J カラーによって星形成を止めた銀河から Sersic 係数が 2 以上のものを選択した. Sersic 係数による選択を行わない場合でも結果は変わらなかった. 結果として, 銀河団環境同様, 小質量の早期型銀河ほど disk 銀河の a_4 の平均値がより大きくなることが確認された. 本サンプルには $M_* > 10^{11.5} M_\odot$ の大質量銀河はほとんど存在しなかった. 一方, $M_* < 10^{11.5} M_\odot$ の銀河については, $z \sim 1$ のフィールドと銀河団で disk 銀河の割合はほぼ同じであった. 本講演では, $z < 1$ における早期型銀河の数の割合の進化とともに disk 銀河の割合の進化や, boxy, disk 早期型銀河の個数密度の進化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](#)

X29b 初代超新星と超金属欠乏星の組成分布

小宮 悠 (東京大学)

超金属欠乏星は、宇宙の初期に生まれた星の近傍宇宙における生き残りであり、初代星・初代銀河について知るうえで重要な手がかりとなると考えられている。我々はこれまでの研究で、原始銀河の化学進化を階層的構造形成の影響を考慮して計算するモデルを構築し、これにより金属量や r 過程元素組成の全体的な分布が再現できることを示した。

一方、初代星の爆発には、現在の宇宙でよく知られている一般的な超新星とは異なり、鉄の生成量の少ない faint supernova などの特殊な超新星があった可能性が指摘されている。こうした超新星は、超金属欠乏星の中でも炭素過剰星などの特異な組成を持った星の起源として注目される。観測的には、金属量が太陽の 1/10000 以下 ($[Fe/H] < -4$) の ultra metal-poor (UMP) star は大半が炭素過剰であることが知られている。

本研究では、多様な超新星の作る組成分布を考えるため、原始銀河内での非一様な組成進化を取り入れてモデルを改良し、計算を行った。これまでのモデルでは、各原始銀河の内部は一様組成と仮定していたが、今回のモデルでは、超新星残骸の広がりや元素の拡散を考慮して、原始銀河内の組成分布を計算している。

その結果、初代超新星が faint supernova になるとした場合には、UMP star に炭素過剰星が多くなる一方で、定量的な炭素組成の分布は必ずしも再現されないことがわかった。また、電子捕獲型超新星の影響を考えると、亜鉛を多く含む UMP star があることが予想される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X30a [OIII] 輝線銀河で探る最盛期以前の星形成活動性

鈴木智子 (総研大), 児玉忠恭, 林将央 (国立天文台), 小山佑世 (Subaru telescope), 但木謙一 (MPE), 田中吉, 美濃和陽典 (Subaru telescope), 嶋川里澄, 山元萌黄 (総研大), David Sobral (Lancaster Univ.), Ian Smail (Durham Univ.), Philip Best (Edinburgh Univ.)

赤方偏移 $z > 3$ の時代は、銀河形成最盛期と言われる $z \sim 2$ をさらに遡った時代であり、宇宙の大局的な星形成活動がどのようにしてピークを迎えたのか、そこに関わる物理過程を明らかにする上で非常に重要な時代である。本研究では、その最盛期以前 ($z \sim 3-3.6$) の時代の星形成銀河のサンプルをよりバイアスなく得るために、静止系可視の [OIII] $\lambda 5007$ 輝線を指標として用いている。[OIII] 輝線は遠方の星形成銀河で一般的に強くなっているということが分かってきており、 $z > 3$ においても比較的容易に観測できること、そして紫外線よりもダスト減光の影響を受けにくいことなどから、遠方の星形成銀河の指標として有用であると考えられる。

狭帯域フィルターを用いた撮像観測を通して得られた $z \sim 3-3.6$ の [OIII] 輝線銀河に対して、これまでに星質量-星形成率関係、星質量-サイズ関係、そして近赤外線のスpekトルからその金属量や電離パラメータといった星間空間の物理状態を調べてきた。 $z > 3$ の [OIII] 輝線銀河は、 $z \sim 2$ の星形成銀河と比較して特に dusty massive galaxies が少ないという傾向がみられ、これは $z > 3$ から最盛期にかけて銀河がより dusty な星形成を起こすようになっていった可能性を示唆している。一方で、同じ星質量・星形成率を持つ銀河同士を比較した際に星間空間の物理状態に関してはふたつの時代で大きな進化は見られないという結果が得られた。

本講演では、 $z > 3$ の [OIII] 輝線銀河についてこれまでに得られた結果をまとめて報告するとともに、 $z > 3$ から最盛期に向けて星形成銀河にどのような進化が見られるのかということに関して議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31a 大規模探査スペクトルで探る星形成銀河アウトフローの赤方偏移進化

菅原悠馬、大内正己、小野宜昭、渋谷隆俊、播金優一 (東京大学)、Lihwai Lin (ASIAA), Renbin Yan (Univ. of Kentucky), Crystal L. Martin (Univ. of California)

星形成や AGN 活動に伴って起こる星間ガスのアウトフローは銀河形成の鍵を握るフィードバックの主要因である。近年、紫外線から可視光の波長帯に生じる、冷たいガス由来の金属吸収線を用いて星形成銀河のアウトフローが詳細に調べられている。しかし異なる赤方偏移においてアウトフローの性質がどう変化するか、観測的にはほとんど調べられていない。そこで我々は赤方偏移 $z \sim 0-2$ における星形成銀河の金属吸収線を解析し、アウトフロー速度の赤方偏移に対する依存性を調べた。サンプルとして、 $z \sim 0$ では SDSS DR7 から、 $z \sim 1$ では DEEP2 探査から、 $z \sim 2$ では Erb et al. (2006b) から、星質量が $10^9-10^{11} M_{\odot}$ の範囲で星形成銀河をそれぞれ 1791 個、1337 個、31 個得た。サンプル内でこれらの銀河を星形成率ごとにスタックして S/N の高いスペクトルを作成し、星種族合成モデルにより星起源の連続光と吸収線を決定した。その後アウトフローガスが生む吸収線成分をフィッティングにより求め、得られた吸収線成分からアウトフローガスの中心速度と最大速度を計算した。その結果、アウトフロー速度は星形成率が $1-50 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の範囲において、赤方偏移と共に大きくなることが示唆され、特に最大速度においてその傾向が顕著であった。また、過去の研究と同様にアウトフロー速度は星形成率に対して正の相関関係があることが示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32c 光電離モデルを用いた single/double 成分 C IV 吸収体の物理状態の解明

和田久、三澤透、小山田涼香（信州大学）

クエーサーの視線上に位置する銀河間物質や銀河周辺物質は、クエーサーのスペクトル上に吸収線という形で検出することができる。中でも二重共鳴吸収線である Mg II $\lambda\lambda 2796, 2803$ については、 $z < 2$ における光電離モデルの適用例が多く存在し、例えば、1) サイズは 1–100 pc 程度であること、2) 等価幅が 0.3 \AA 未満である weak Mg II が strong Mg II と比べて金属量 ($\log Z$) と電離パラメータ ($\log U$) が大きいこと、などが示唆されている。一方で、weak Mg II については対応するホスト銀河が近傍 ($< 50 \text{ kpc}$) で検出されないことが多く、重元素の起源を考える上での未解決問題となっている。

そこで我々は、 $z > 2$ において多くの検出例がある C IV $\lambda\lambda 1548, 1551$ に対して同様の解析を行った。Keck/HIRES で観測された 37 個のクエーサー (Misawa et al. 2007) より、クエーサー起源でないことが確定しているシングル/ダブル成分をもつ (すなわち weak Mg II に対応すると考えられる) C IV 吸収線を 8 天体のスペクトル上に計 9 本検出し、plane-parallel, solar abundance pattern, 一様密度、電離平衡を仮定して、Cloudy による光電離モデルを適用した。金属量と電離パラメータをフリーパラメータとして、0.1 dex ごとにモデルを繰り返し替えたところ、ベストパラメータは成分数 (シングル or ダブル) には依存せず、いずれも $\log Z = -2.0 - 0.0$, $\log U = -2 - -1$ の範囲内に収まることを確認した。Weak Mg II 吸収体と比べると高い電離状態にあるが、金属量は同程度である。またサイズについても 0.2 – 18 kpc と幅があるが、ジーンズ長との比較からいずれも自己重力では安定に存在できない可能性が高いことが分かった。これら光電離モデルの結果をもとに、Mg II, C IV 吸収体の起源につい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](#)

X33a Angular momentum evolution of disk galaxies at high redshift

岡村拓, 嶋作一大, 川俣良太 (東京大学)

銀河のディスクサイズは、銀河とハローの角運動量比 ($j_* \equiv J_*/J_H$; $*$:star, H :ハロー) と銀河とハローの質量比 ($m_* \equiv M_*/M_H$) と密接な関係がある。これらは gas cooling、星形成、feedback などのバリオン物理によって決定される物理量であり、そのため様々な赤方偏移で j_* , m_* を調べることでどのように銀河ディスクが形成され、進化してきたかを知ることができる。しかし高赤方偏移で銀河の kinematics を詳細に調べるのが困難であるため、 $z > 2$ で銀河の角運動量を調べた研究はほとんど存在していない。我々は 3D-HST カタログ (Skelton+14) の GOODS-S と COSMOS 領域の画像と photo- z カタログを用いて、 $z \sim 2, 3, 4$ の星形成銀河の j_* , m_* を M_* bin ごとに初めて調べた。クラスタリング解析による M_H の推定と SEDfit から得られた M_* から m_* を推定した。また、銀河の kinematics を調べる代わりに、銀河サイズと角運動量を関係付ける解析的モデル (Mo+98) を用いることで、 5000\AA のサイズ測定と m_* から j_* を推定した。得られた j_*/m_* の値は $\sim 0.8 \pm 0.1$ であり、 $z \sim 0$ の値 ~ 0.6 (Fall&Romanowsky12) よりも少し大きい値となった。これは $z \sim 2, 3, 4$ では銀河ディスクは比角運動量を保存したまま形成、進化し、 $z \sim 0$ に進化する過程で比角運動量を失ったということを示唆している。 j_*/m_* に有意な質量依存性は見られなかった。また gas fraction (Schinnerer+16) を適当に補正した上で j_d , m_d (d :star+gas) を $z \sim 2$ での SAM や流体の銀河形成シミュレーションモデル (Stevens+16, Sales+12, Pedrosa+16) と比較した。今回得られた j_* , j_d の値はこれらのモデルの値より数倍大きな値となり、これらの銀河形成モデルは $z \sim 2$ で銀河サイズを小さく予想しすぎている可能性を示唆している。また j_d , m_d の値から分かる銀河ディスクの不安定性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X34a 大規模近赤外分光サンプルで明らかにする銀河環境とガス金属量との関係

矢部清人 (東京大学), 太田耕司 (京都大学), 秋山正幸 (東北大学), 田村直之 (東京大学), 岩室史英 (京都大学), 戸谷友則 (東京大学), 他 FastSound チーム

銀河の性質 (例えば形態や星形成活動など) は銀河環境の影響を受けることが知られているが、銀河の化学進化においても、銀河環境は重要な効果を及ぼすと考えられる。例えば、SDSS を用いた研究では、特に satellite 銀河に関して、高密度領域の銀河は低密度領域の銀河に比べて系統的に高いガス金属量を示すことが報告されている (Peng & Maiolino 2014)。しかしながら、高赤方偏移における銀河環境の金属量への影響は依然として明確には分かっていない。FastSound サーベイでは、約 20 平方度にわたる領域において、すばる望遠鏡 FMOS による赤方偏移 1.2–1.5 の星形成銀河の近赤外分光探査を行ない、約 4000 個の銀河について $H\alpha$ 輝線が S/N 比 4 以上で検出されている。本研究では、このサンプルを用いて星質量-金属量関係の銀河環境による違いを調査した。

得られた分光的赤方偏移に基づき、3 つの方法 (Gaussian smoothing method, 10th-nearest neighbor method, Voronoi tessellation method) を用いて局所銀河密度を計算した。得られた銀河密度の大小および星質量でサンプルを分割し、各 bin についてスペクトルの stacking 解析を行なった。得られた composite スペクトルからは $[NII]\lambda 6584$ 輝線が有意に検出されている。 $[NII]\lambda 6584/H\alpha$ 比からガス金属量を計算し、星質量-金属量関係を導出したところ、同じ星質量に対して、高密度領域にある銀河ほど高い金属量を示すことが明らかになった。この結果は、例えば高密度環境下において重元素汚染が進んだガスの降着、銀河外層にある低金属量ガスのラム圧による剥ぎ取り効果などで説明することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X35a LAEで探る赤方偏移5付近のAGNの環境と周囲の銀河へのフィードバック

菊田智史, 今西昌俊, 松岡良樹, 松田有一 (総研大/国立天文台), 嶋作一大 (東京大学), 仲田史明 (ハワイ観測所)

AGN活動はガスを豊富に持つ銀河同士の衝突により引き起こされると考えられており、そのためクエーサー周辺は銀河同士の衝突確率の高い高密度な領域である確率が高いと予想される。これまでも多くの研究でライマンブレイク銀河(LBG)を用いてクエーサーや電波銀河の環境が探られてきたが、LBG選択法の赤方偏移不定性が大きい等の問題があり統一的な結論は得られていない。

一方、AGNフィードバックによる星形成の抑制も銀河形成の重要な要素である。母銀河だけでなく、AGNの周囲数Mpcの銀河まではAGNからの強い紫外光が届くため、これら母銀河以外の銀河にもフィードバック効果を及ぼすことが予想される。定性的には、低質量の銀河ほど紫外光が浸透し、強く星形成が妨げられると考えられているが、観測的制限はほとんどついていないのが現状である。

これらの問題を探るには、より赤方偏移不定性の小さい、狭帯域フィルターを使ってライマン α 輝線銀河(LAE)をとらえる方法を用いるのが適切である。そこで我々は、すばる望遠鏡主焦点カメラSuprime-Camを用いて2つの $z \sim 4.9$ のクエーサーと $z \sim 4.5$ の電波銀河の周囲のLAEを観測した。クエーサーまたは電波銀河の近くと遠くで別々に光度関数を描き、その暗い側と明るい側の形を比較することでこれらの影響の有無を明らかにする。2つのクエーサー周囲においてはLBGも観測し、その分布をLAEと比較した。その結果、観測した光度範囲においてAGN周囲のフィードバックおよび密度超過の兆候はLAEでもLBGでもほとんど見られなかった。本講演ではこの結果の解釈および電波銀河での様子との違い等について詳しく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](#)

X36a Galaxy-Dark Matter Halo Connection at $z=0-7$ Revealed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam and Hubble Surveys

Yuichi Harikane (Tokyo), Masami Ouchi (Tokyo), Yoshiaki Ono (Tokyo), Surhud More (IPMU), Shun Saito (MPA), Yen-Ting Lin (ASIAA), Jean Coupon (Geneva), Kazuhiro Shimasaku (Tokyo), Takatoshi Shibuya (Tokyo), Paul A. Price (Princeton), Lihwai Lin (ASIAA), Bau-Ching Hsieh (ASIAA), Masafuji Ishigaki (Tokyo), Yutaka Komiyama (NAOJ), John Silverman (IPMU), Tadamu Takata (NAOJ), Hiroko Tamazawa (Tokyo), Jun Toshikawa (NAOJ)

We present clustering analysis results from 342,395 Lyman break galaxies (LBGs) at $z \sim 4 - 7$, identified in the Subaru/HSC and Hubble legacy surveys. Measured angular correlation functions show a clear dependence on the UV magnitude (M_{UV}) in a wide M_{UV} range ($-22 < M_{UV} < -18$) at $z \sim 4 - 7$, with significant 1 halo terms. We fit the ACFs using halo occupation distribution models that provide an estimate of halo masses, $M_h \sim (1 - 40) \times 10^{11} M_\odot$. We calculate stellar-to-halo mass ratios (SHMRs) of LBGs, and investigate their dependence on the halo mass and redshift. The SHMR tentatively has a peak at $M_h \sim 10^{12} M_\odot$ at $z \sim 4$, which implies inefficient gas cooling and/or AGN feedback at the high mass ($M_h > 10^{12} M_\odot$) halos. By comparison with the $z \sim 0$ SHMR, we identify evolution of the SHMR from $z \sim 0$ to $z \sim 4$, and $z \sim 4$ to $z \sim 7$ at the $> 98\%$ confidence levels. The SHMR decreases by a factor of ~ 2 from $z \sim 0$ to 4, and increases by a factor of ~ 4 from $z \sim 4$ to 7 at $M_h \sim 10^{11} M_\odot$. We compare our SHMRs with results of a hydrodynamic simulation and a semi-analytic model, and find that these theoretical studies do not predict the SHMR increase at $z \sim 4 - 7$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X37a あかり北黄極サーベイとHSCデータを用いた赤外線銀河の活動銀河核活動度

大井渚 (関西学院大), 後藤友嗣, 百瀬莉恵子 (国立清華大), 内海洋輔 (広島大), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 松原英雄 (JAXA/ISAS), 他 NEP 多波長ディープサーベイチーム

近年の観測から、約 100 億年前から現在にかけて星形成活動が急激に弱まってきているという星形成史が明らかになってきた。この原因としては、活動中の銀河核 (AGN) からの負のフィードバックが有力視されているが、観測的な制限はまだ弱い。活動中の AGN は塵に埋もれ隠されていると考えられるため、AGN による星形成抑制機構の正確な理解のためには赤外線での研究が重要である。

AGN 放射と星形成からの放射は $3\text{--}10\mu\text{m}$ でそのスペクトルの形が顕著に異なるので、この特徴に着目した多波長測光データに対する理論放射モデル (SED フィッティング) により両者を定量的に分離することが可能である。「あかり」北黄極サーベイ (NEP サーベイ: 5.4 sq.deg) では、 $2\text{--}24\mu\text{m}$ 帯を 9 枚の連続的なフィルターを用いて深い観測を行っており、AGN と星形成の放射の特徴的な違いを $z \sim 1(-2)$ まで追うことが可能である。しかしこれまでは、NEP 領域を覆う可視のデータとして CFHT の浅い ($r \sim 26\text{ mag}$) データしか無く、可視で対応天体が見つからない、放射源が塵に深く覆われているような天体を選択的に落としてしまっていた。そこで我々は 2014, 2015 年にすばる/HSC を用いて深い ($g \sim 27.5\text{ mag}$) 撮像観測をおこなった。本講演では、この HSC のデータ紹介と、HSC-AKARI-WISE-Herschel 等の測光データを組み合わせた多波長 SED フィッティングから見積られた AGN の活動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](#)

X38a Cosmic star formation history revealed by AKARI and Hyper Suprime Cam

Tomotsugu Goto (NTHU), Nagisa Oi(Kansei Gakuin), Rieko Momose (NTHU), Yoshiki Toba (ASIAA), Yousuke Utsumi (Hirohisma), Hideo Matsuhara (ISAS), and the AKARI NEP team

At $z < 1$, 90% of star formation is obscured by dust. To fully understand the cosmic star formation history, it is critical to investigate infrared emission. AKARI performed deep mid-infrared observation with its continuous 9-band filters in the NEP field (5.4 deg^2), using $\sim 10\%$ of the entire pointed observations available throughout satellite's lifetime. AKARI's mid-IR data are truly unique in that Spitzer and WISE have filter gaps in mid-IR. No other telescope can provide continuous 9-band photometry in mid-IR wavelength ($2\text{-}24 \mu\text{m}$) in foreseeable future.

However previously, we only had shallow optical imaging (with CFHT, $r \sim 25.9 \text{ ABmag}$) in a small area of 1.0 deg^2 . As a result, there remained 11,000 AKARI's infrared sources undetected in optical. Redshift and IR luminosity of these sources are unknown. They may carry a significant amount of cosmic star-formation rate density (CSFRD). For example, if they all lie at $1 < z < 2$, the CSFRD will be twice as high at the epoch.

With the advent of Hyper Suprime Cam, we were able to obtain deep enough optical images of the entire AKARI NEP field in 5 broad bands ($g \sim 27.5 \text{ mag}$). These provided photometric redshift, and thereby IR luminosity for the previously undetected 11,000 faint AKARI IR sources. Combined with AKARI's unique mid-IR AGN/SF diagnosis, and accurate mid-IR luminosity measurement, we performed a complete census of dust-obscured cosmic star-formation/AGN accretion history in the entire AKARI NEP field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X39a SPICA による銀河進化研究の検討状況

長尾透 (愛媛大学), 山田亨, 松原英雄, 中川貴雄, 和田武彦 (宇宙科学研究所), 河野孝太郎, 尾中敬, 左近樹 (東京大学), 金田英宏, 大藪進喜, 鈴木仁研 (名古屋大学), 江上英一 (アリゾナ大学), 芝井広 (大阪大学), 今西昌俊 (国立天文台), 他 SPICA チーム

SPICA とは、8 K 以下に冷却した口径 2.5 m の大口径宇宙望遠鏡により、波長 $12\mu\text{m}$ から $350\mu\text{m}$ にかけての中間赤外線・遠赤外線であつてない高感度分光観測を実現するミッションであり、日欧の国際協力により検討が進められてきている。本講演では、SPICA により実現される銀河進化研究の検討状況について報告する。

SPICA がカバーする波長帯では、多様な分子輝線・微細構造輝線・再結合線が観測可能である。SPICA は近傍銀河に対してこれらの輝線の多くを空間的に分解して観測できるため、電離ガス・中性ガス・分子ガスからなる星間物質の多層構造の物理状態を塵の影響を受けずに初めて調査できる。また中間赤外線観測装置 SMI のマルチスリット機能を用いた 1 deg^2 (deep) および 10 deg^2 (wide) の面分光探査により、 $z \sim 4$ 程度まで塵の影響を受けず数百数千個の main sequence 銀河を検出できる。更に SMI のスリットビューア機能を活用し、 $34\mu\text{m}$ での撮像探査を JWST/MIRI の 100 倍のサーベイ速度で実行できる。得られたサンプルに対して SMI および遠赤外線観測装置 SAFARI を用いた超高感度分光観測を系統的に行うことで、銀河の星形成の物理解明のために最も重要な $z \sim 1-4$ における塵に覆われた星間物質の物理化学状態の進化が明らかになる。赤方偏移 6 を超す遠方天体に対しても、HSC や Euclid などで見つかるクェーサーや重力レンズで増光された銀河の暖かい塵・PAH・[Ne II] を検出し、初期宇宙における星形成や塵・分子形成、重元素量進化の現場を捉えることができる。以上の観測により、SPICA は塵吸収の影響を受けることなく宇宙史における物質進化の全貌を史上初めて解明できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40a 低金属量下における初期質量関数の導出 I: Sh 2-127

安井千香子, 泉奈都子, 斎藤正雄 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学)

星は銀河の最も主要な構成要素であるが、重い星ほどその一生を早く終えることが知られ、質量が決まるとその一生もおおよそが決まってしまう。よって、どの程度の質量を持つ星がどの程度の個数生まれるかという、星の最も基本的な観測量である星形成の際の質量分布（初期質量関数 IMF: Initial Mass Function）により系の物理・化学進化のおおよそのパスも決定される。しかし、この IMF の決定が次の世代の金属量に影響を与え、ふたたび IMF を変化させるため、この金属量依存性を明確にすることが、星形成ひいては銀河の進化を明らかにするために最も重要となる。

過去における銀河形成は太陽金属量以下の金属量のもとですすんできたために、銀河の主要構成要素の形成過程を知るためには、低金属量下の IMF の研究はかかせない。そこで、われわれは近傍銀河より十分近い距離にある銀河系内の領域「銀河系外縁部」に着目し、そこにある多数の星生成クラスター中の星の数を実際にカウントすることにより、「低金属量下の決定的な IMF」を求める研究を進めている。今回は、実際に低い金属量 ($[O/H] = -0.7$) が見積もられている星生成領域 Sh 2-127 について、すばる望遠鏡の多天体撮像分光器 MOIRCS を用いた近赤外線 JHK バンドでの深撮像を行った。達成した限界等級は星の質量にしておよそ $0.2 M_{\odot}$ まで届いており、太陽近傍の IMF がピークを持つ $0.5 M_{\odot}$ 付近より十分小さな質量までカバーした。そして、領域中で同定したメンバーの光度関数と色度数分布のモデルフィットより、年齢と IMF を同時に導出する手法を独自に開発した。その結果、低金属量下での IMF が、高質量側の傾きとピーク質量の両方について、太陽近傍で知られる典型的な IMF と一時近似では大きな違いがないが無いことを初めて見いだした。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X41a Integral Approach による、Density Independent SPH 法と Godunov SPH 法の改良

藤原隆寛, 森正夫 (筑波大学)

銀河や銀河間空間の重元素汚染過程を考える上では、超新星爆発等により放出された重元素と星間ガスとの混合が重要となる。そのため、銀河形成シミュレーションを行う場合には、流体の接触不連続面を正確に捉える必要がある。しかし、このようなシミュレーションで、流体計算にしばしば用いられる Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法には、Kelvin-Helmholtz 不安定性に代表される、流体の不安定性の成長が抑制されるという弱点が知られている。これを回避する方法として、密度の代わりに圧力をカーネル推定する Density Independent SPH (DISPH) 法 (Saitoh & Makino 2013) や、Riemann Solver を用いて SPH 粒子の相互作用を計算する Godunov SPH (GSPH) 法 (Inutsuka 2002; Cha & Whitworth 2003) がある。

近年、SPH 法の物理量の空間一階微分をより正確に計算する方法として Integral Approach (IA) が提案されている (García-Senz et al. 2012)。これは、従来の SPH 法でカーネル関数の勾配を用いて計算していた項を、カーネル関数の勾配の代わりに行列の計算で置き換える手法である。この手法を用いることで、Kelvin-Helmholtz 不安定性や Gresho-Chan vortex といった問題をより正確に解くことができるようになる (Valdarnini 2016)。

本研究では、IA を DISPH 法や GSPH 法に実装し、性能を評価した。GSPH 法では、高次精度化のために MUSCL 法を適用する Murante et al. (2011) の手法を使用し、複数の流束制限関数で性能を比較した。その結果、IA を用いた場合、DISPH 法や GSPH 法でも Kelvin-Helmholtz 不安定性の成長をより正しく計算できることが確認できた。さらに、衝撃波に関するテスト問題を用いて、これらの解法の特徴や問題点を指摘する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X42a ダストのサイズ分布を考慮した宇宙論的ダスト形成シミュレーション

青山尚平 (大阪大学), Kuan-Chou Hou (Academia Sinica), 清水一紘 (大阪大学), 平下博之 (Academia Sinica), 長峯健太郎 (大阪大学)

現在の宇宙論的シミュレーションは Planck 衛星などによる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) により導出された宇宙初期の密度ゆらぎから $z \lesssim 6$ の銀河の形成過程や銀河の形態を自己整合的に説明できるようになった。

高解像度シミュレーションにおいて、銀河におけるダストの存在は極めて重要である。ダストは水素分子 (H_2) の生成触媒になるだけでなく、紫外線を吸収して赤外線として再放射するので、銀河における星形成を理解する上でも、観測データから正確な星形成率の推定するためにも不可欠である。我々は、Aoyama *et al.* (2016) において、Hirashita (2015) によるダストの two-size component モデルを採用して孤立系銀河シミュレーションを行い、近傍銀河におけるダスト-金属比やダストの動径方向分布などの観測結果を説明できることを示した。このシミュレーションではダストの成長過程である accretion やダスト相互作用である coagulation と shattering、超新星爆発起源の衝撃波による破壊の効果などを考慮し、各々のガス粒子において大小のダストの質量の時間進化を計算できるようになった。この仕事には SPH シミュレーションコード "GADGET3-Osaka" [Springel *et al.* (2005) の改良版] を用いている。

また、我々はこの新たに開発したコードを用いて宇宙初期の密度ゆらぎを初期条件とする宇宙論的シミュレーションを行い、形成された各銀河の持つダストの量やその動径分布、さらに銀河間空間 (IGM) におけるダストの分布を求めた。本発表ではシミュレーション結果を示し、観測量との比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X43c 宇宙赤外線背景放射への黄道光の寄与

佐野圭 (東京大学, ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大学)

宇宙赤外線背景放射は銀河形成初期から現在までに放出されたあらゆる光を含むため、星形成史の指標になるだけでなく、その他の未知の放射成分を探索するためにも重要な観測量である。宇宙赤外線背景放射を測定するためには、空の明るさから前景放射となる黄道光、星の光を除去する必要がある。可視光から近赤外線では、空の明るさからこれらの放射成分を除去した残差成分は、系外銀河の積算光輝度を数倍超過することが報告されている。また、残差成分は等方的であり、そのスペクトルは黄道光に似ているため、黄道光成分を除去しきれていない疑いがある。実際に、従来用いられる黄道光モデルでは、地球から見た空の明るさの時間変動成分のみを考慮しており、等方的な成分を見逃している可能性がある。そこで我々は、太陽を中心に分布する仮想的な惑星間ダストを考え、どの程度余剰にダストが存在すれば超過成分を説明できるかを見積もった。その結果、現在考えられている惑星間ダストの密度に対して、その10%程度の仮想的な惑星間ダストを加えると超過成分を説明可能であることが分かった。また、太陽離角に対して仮想的な黄道光成分の輝度変化を見積もると、地球軌道衛星の観測対象である太陽離角が 90° 以上の領域では、約10%以内で等方的に見えることを示した。この結果によると、地球軌道からの観測では、太陽を中心に等方的に分布している惑星間ダストによる黄道光成分と、等方的な宇宙赤外線背景放射と区別することは困難である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

3月16日(木) 午前(10:18-11:30) [F会場]

Y01a	10:18	超新星符号の付与方式 — TNS のこの1年 山岡均(国立天文台)
Y02b	10:30	日本中国の文献から探る超新星の明るさの変化 斉藤秀樹(長野市立博物館)
Y03b	10:30	広範な協力で行われた「ひとみ」衛星の地上光学観測とその成果 飯塚亮(宇宙航空研究開発機構)
Y04b	10:30	「長野県は宇宙県」の取り組み 衣笠健三(国立天文台)
Y05b	10:42	日本の天文普及活動をどう海外に伝えるか? - 国際会議 CAP2018 @福岡市に向けて - 縣秀彦(国立天文台)
Y06b	10:42	Planetary Defense Conference (PDC) の国内開催に向けて 奥村真一郎(日本スペースガード協会)
Y07b	10:42	バーチャルリアリティ版 Mitaka の体験企画 加藤恒彦(国立天文台)
Y08b	10:54	ExoKyoto を用いたアマチュアも含めた系外惑星探査システム 佐々木貴教(京都大学)
Y09b	10:54	教員養成学部における太陽観測実習の授業実践とその評価(1) 大朝由美子(埼玉大学)
Y10b	10:54	教員養成学部における太陽観測実習の授業実践とその評価(2) 矢治健太郎(国立天文台)
Y11c		自作分光器による Ca II K 吸収線高次スペクトルを用いた太陽彩層の立体構造 坂江隆志(埼玉県立浦和西高等学校)
Y12b	11:06	インターネット望遠鏡を利用した月の観測・解析の教材開発に向けて 大羽徹(名古屋大学教育学部附属中・高等学校)
Y13c		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(4) - 理解度に影響を及ぼす要因 - 瀧崎智佳(上越教育大学)
Y14b	11:06	全天モニタ画像に対する座標較正の自動化 川野元聡(国立天文台)
Y15c		全天モニタ画像座標較正 Web サービスの構築 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y16c		多地点流星電波観測を教材としたアクティブ・ラーニング的事例 吉田英人(東京大学)
Y17b	11:06	夜空の明るさ測定における眼視測定の有効性検証 柴山万優子(星空公園)
Y18b	11:18	Spectroscopy Lab in an Activity-Based Astronomy Course Akimi Fujita (Faculty of Engineering, Shinshu University)

(次頁に続く)

【Y. 天文教育・その他】

3月16日(木)午後(13:30-15:30) [F会場]

Y19a	13:30	擬ニュートンポテンシャルで相対論的現象を模倣する方法 竹田奈央(大阪教育大学)
Y20a	13:42	Twitter 上における金星探査機「あかつき」に関する言説の分析 矢部あずさ(宇宙航空研究開発機構)
Y21a	13:54	チリにおける天体観望会の実施(1) 準備状況 阪本成一(国立天文台)
Y22a	14:06	研究施設利用イベントでの外部キュレーターの導入事例 玉澤春史(京都大学)
Y23a	14:18	総合科学としての天文学を大学でどう教えるか? - 国際ガイドラインの作成 に向けて - 縣秀彦(国立天文台)
Y24a	14:30	天文学研究 PBL 型授業におけるルーブリックの開発と評価 田中幹人(東北大学)
Y25a	14:42	日本の大学における天文学シラバス調査(1): 教養課程 鷹野重之(九州産業大学)
Y26a	14:54	データサイエンス教育における天文データの活用 石橋史朗(会津大学)
Y27a	15:06	太陽教育コンテンツ Solar Projection Mapping を用いた教育活動報告 萩野正興(国立天文台)
Y28a	15:18	接眼分光器を用いた天体物理学の教育 橋本修(ぐんま天文台)

Y01a 超新星符号の付与方式 — TNS のこの 1 年

山岡均 (国立天文台)

国際天文学連合 (IAU) では、長年にわたって、太陽系内外の新天体の告知は天文電報中央局 (CBAT) が担ってきた。しかし超新星に限っては、研究者による搜索プロジェクトが軌道に乗って発見数が膨大になってきたこと、従来の人手を介する分光確認後での符号割り振りでは即時性が得られないことから、発見報告後に即座に符号を付するシステムが 2016 年の年初から稼働した。TNS (<https://wis-tns.weizmann.ac.il/search>) である。

TNS では、2015 年以前のものを含めてこれまでに報告がなされたすべての超新星のデータベースを保持している (古いものでは位置情報がないものもある)。符号や位置で検索すると、対応する天体がリストアップされる。新しい超新星を見つけたと思った場合、位置を測定して検索し、該当する天体があれば、新発見の可能性は高い。

新発見を報告すると、AT 2017xxx のような新たな符号がふられる。xxx の部分は発見順に割り振られるアルファベットで、A, B, ..., Z, aa, ab, ..., az, ba, bb, ..., zz までの 702 個は従来どおり、そのあとは明文規定はないが aaa, aab, ..., azz, baa, bbb, ... と付される。2016 年は 12 月 5 日現在で irp まで使われているが、zzz までの 18278 個まではまだ余裕がありそうだ。分光観測されて超新星であることが確定すると、AT の部分が SN となり、従来の符号と似たものになる。

観測報告にはユーザ登録が必要となる。今のところ、登録の要望には無条件に応じられているようだが、今後はどうなるかわからない。また、新星などの天体については、従来の CBAT による情報収集と IAU circular / CBET による告知が使われており、特に天体搜索者にとって状況は容易ではない。今後の新天体発見の取り扱いについて、より良い方策を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02b 日本中国の文献から探る超新星の明るさの変化

齊藤秀樹（長野市立博物館）

百人一首で有名な鎌倉時代の歌人、藤原定家（1162-1241）によって19歳から80歳まで書き綴られた「明月記」には、天文記録が100例以上も紹介されている。その中で、客星（彗星、新星、超新星）の出現記録は特に重要である。客星出現記録が13例あるうち、超新星については3例の記述がある。望遠鏡のない時代の超新星の出現記録は世界中でも7例しかない。そのうち3例の記述があるのは世界で明月記だけである。平成12年（2000）、歴史上・芸術上価値が高いもの、また学術的に価値が高いものとして文化財保護法に基づき、明月記は国宝に指定された。

変光星観測の歴史的な歩みの中に、1054年に超新星爆発を起こしたとされるかに星雲がある。当時、昼間でもかなり明るくなったとされるこの超新星の記録が藤原定家の日記「明月記」および中国の文献「宋史」に残っている。これらの文献から、ごく大雑把に1054年の超新星の明るさの変化を再現した。

1054年7月頃、夜中に突如として現れた光は、東の空おうし座あたりに見え、木星ほどの明るさだったという。その後、約1年でしだいに暗くなった。最も明るい時で23日間は昼間でも発見できるほど明るかったと記録されている。まさに金星のようだった。そして、約2年後の1056年4月頃には見えなくなってしまったと記録されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03b 広範な協力で行われた「ひとみ」衛星の地上光学観測とその成果

飯塚亮, 辻本匡弘, 竹井洋, 堂谷忠靖, 石田学, 大川拓也, 生田ちさと (ISAS/JAXA), 他ひとみコラボレーションチーム

2016年3月26日、ひとみ衛星は通信不通に陥った。その後、衛星の状態を把握するために国内外の施設や個人の方に協力をいただき、4ヶ月以上にわたり多数の地上光学観測のデータを提供していただいた。

地上光学観測の目的は主には2つである。1つは、衛星の形状を確認するための直接観測、2つ目は衛星のスピン状態の把握である。1つ目の直接観測は、1m以上の大型望遠鏡や、30cmクラスの望遠鏡を用いた日面/月面通過などで行ったが、衛星の形状が分かるほどのきれいな画像を取得することができなかった。

2つ目のスピン状態については、主に小型望遠鏡などによる観測を行ったが、特に動画によるデータが非常に役にたった。動画データは、静止画と違い、フレームレートのみでライトカーブが作れるため、時刻付けの精度が高いからである。解析の結果、スピンレートは、観測最初の3月30日頃は2.60秒であり、0.17%/週でスピンレートが減衰していることがわかった。これは約8年で倍になる程度のペースであり、主に衛星に搭載されている磁気トルカ(MTQ)が地磁場と相互作用することによるものだと考えられる。

さらに、多数のライトカーブには、ほぼどれにも典型的な形が見られることがわかった。そこで主に広報用に作った衛星の3Dモデルをライトカーブが再現できるソフトウェアに拡張し、シミュレーションを行った結果、当初衛星Z軸で回っていると推定されていたが、3月30日頃には衛星Y軸またはX軸に回っていることがわかった。

以上の結果は、ひとみ衛星の状態を把握するための非常に有用な手がかりとなりました。改めて、観測に尽力・協力していただいた施設・個人の方に感謝の意を表します。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04b 「長野県は宇宙県」の取り組み

衣笠健三, 斎藤正雄, 縣秀彦 (国立天文台), 小林尚人, 青木勉, 森由貴 (東京大学), 村田泰宏 (JAXA/ISAS), 三澤透 (信州大学), 大西浩次 (長野高専), ほか「長野県は宇宙県」実行委員会

長野県は日本の中でも特に宇宙と関わりが強い県である。というのも、美しい星空はもちろん、多くのプラネタリウム、天文同好会、宇宙航空産業、それに多くの天文研究施設がある。また、昨年度の長野県出身の油井宇宙飛行士の活躍は記憶に新しい。そこで、「長野県は宇宙県」を合言葉として、長野県がもつ「宇宙に近い」というすばらしい資産を共有し、この魅力を広く伝えるための活動を行うための組織を立ち上げた。「宇宙」を教育と地域振興のための資産として活用し、また観測環境を守ることを目的とする。

まず、国立天文台野辺山と東大木曾観測所を中心とした長野県内の天文研究施設による連絡協議会を2016年7月に立ち上げた。その中では、長野県は宇宙県であることを示すための客観的な指標を示す作業を行っている。一方で、第一回「長野県は宇宙県」ミーティングと題し、長野県内の天文関係者に広くよびかけて、相互の情報共有や連絡を行うための組織作りを行う機会を2016年11月23日に設けた。研究者や教育関係者だけでなく、科学館等の職員、天文同好会メンバー、さらに行政関係者など、当初の予想を大きく上回る約100名もの参加があった。その会合では、以下の松本宣言が承認された。「長野県がもつ「宇宙に近い」というすばらしい資産を多くの人たちと共有し、その魅力を広く伝えていくことにより、長野県の地域振興、人材育成、観光、天体観測環境維持に寄与することを目的とする。また、参加する団体・個人は、この目的のために、お互いの特徴を認めつつ、協力をし活動する。」今後、宇宙県HP (<http://www.nro.nao.ac.jp/~uchuuken/html/index.html>) にて情報を出していく予定である。本講演では、これまでの活動のまとめと仕組作りを含めた今後の活動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](#)

Y05b 日本の天文普及活動をどう海外に伝えるか？ - 国際会議CAP2018 @福岡市に向けて -

縣 秀彦、Lina Canas、山岡 均、蓮尾隆一ほか国立天文台 LOC、鷹野重之（九産大）、大木良一（福岡市）、有高啓一郎（福岡観光コンベンションビューロー）、三村 麻子（福岡市科学館）ほかチーム福岡

IAU の C2 分科会がほぼ 2 年毎に実施している国際会議 Communicating Astronomy with the Public (CAP) が、2018 年 3 月 24-28 日に日本で初めて開催される。この会議「CAP2018」は、2017 年 10 月に開館予定の福岡市科学館を主会場として福岡市にて行われる。CAP は天文学を市民に広く伝えるための実践や研究を情報交換・議論するための会議であり、研究者はもちろん学生や一般市民でも参加できるようオープン化されていることが特徴で、市民向けのイベントも行われる予定。国内からも天文同好会、生涯学習施設、学校教育、広報・報道、アウトリーチなど幅広く天文学に関する科学コミュニケーション (SC) に関心をお持ちの多くの方々の参加を期待している (国内外から 300 名程度の参加者を予定。5 日間通しでの参加のみならず、関心のあるセッションのみに参加することも可能)。

本会議の誘致にあたって、天文学に関する日本の SC 活動の特徴やグローバル化への課題など現状把握を試みた。本発表においては、その考察に基づき SC における国際的な取り組みの中で、日本に期待されていること及び日本が果すべき役割を指摘する。また、CAP2018 において日本の SC 諸活動をどのように海外からの参加者に伝え、その後の国際協力をどのように進めていくかを提案したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06b Planetary Defense Conference (PDC) の国内開催に向けて

奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 吉川 真 (JAXA), 渡部潤一 (国立天文台), 浦川聖太郎, 浅見敦夫 (日本スペースガード協会), 井本 昭 (日本惑星協会)

通算で7回目、IAA (International Academy of Astronautics) が主催となってから5回目となる Planetary Defense Conference (PDC) が、来たる2017年5月15-19日に日本科学未来館で開催される。PDCは地球に衝突する可能性のある天体についての観測や衝突回避の方法、衝突の影響・災害への対応など、天体の地球衝突の脅威に関連する幅広い分野について議論が交わされる国際会議であり、アジアでの開催は今回が初めてとなる。IAAが公開している英語版ウェブサイト (<http://pdc.iaaweb.org/>) に加え、国内開催に向けてわれわれは日本語版の案内を日本惑星協会のウェブサイト開設した (<http://planetary.jp/PDC/index.html>)。

会合では研究発表のセッションだけではなく、地球に衝突する恐れのある天体の実例として架空の小惑星「2017 PDC」を想定し (<http://neo.jpl.nasa.gov/pdc17/>)、その対策について議論する演習 (exercise) を実施する。この仮想小惑星は2017年3月6日に発見され、2027年7月21日に地球に最接近するというものである。その後の追跡観測により最接近時の地球への衝突確率が徐々に上がり、PDCの会合初日には1%にまで達するというシナリオが想定されている。このシナリオに基づき日本付近への衝突の可能性とその対応を検討する。

この会合は天体の地球衝突問題について広く知ってもらいたい機会なので、研究者に限らず多くの方に関心を持ってもらうために日本語でのパブリックイベントを会期中に開催することを検討している。また、PDCに先駆けて「天体の地球衝突問題にどう取り組むか」と題するシンポジウムを2月27, 28日に一橋大学一橋講堂で開催し、関連する分野の研究者間でまずは国内での議論を進める。このシンポジウム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](#)

Y07b バーチャルリアリティ版 Mitaka の体験企画

加藤恒彦, 小久保英一郎, 縣秀彦, 中山弘敬, 長谷川鋭, 福士比奈子 (国立天文台)

国立天文台 4次元デジタル宇宙 (4D2U) プロジェクトでは、天文シミュレーションソフト「Mitaka」の開発をしている。これは地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して様々な天体や構造を見る事ができるソフトである。これまで、国立天文台三鷹キャンパスにある立体視ドームシアターで一般向け公開の上映などに使用されてきたほか、フリーソフトとしても公開しているので (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>)、教育用途、上映、展示、講演、個人のPCでの利用、など様々な用途で広く使われてきた。

一方、近年、新しい立体視表示装置としてバーチャルリアリティ (VR) 用のヘッドマウントディスプレイ (HMD) が登場してきた。これはかぶって使うゴーグル型ディスプレイで、頭を向けることで前後左右上下、任意の方向の物体を立体的に見る事ができるものである。さらにゴーグルの位置もトラッキングするので、実空間で動くことで仮想空間にある物体を様々な位置から眺めることも可能である。PC 向け VR-HMD の代表的なものには Oculus Rift や HTC Vive などがあり、2016年に次々と販売が開始された。こうした中、Mitaka も VR 対応版の開発を進め、Mitaka の映像を VR で見る事ができるようになった。前回 2016 年秋季年会では、Mitaka の VR 対応について講演を行った。

4D2U プロジェクトでは、本年度、VR システムを 3 セット用意し、「MitakaVR」と銘打って、国立天文台の特別公開日 (水沢・野辺山・三鷹) など様々なイベントで Mitaka の VR 版の体験会を実施した。体験会では、体験者が宇宙の階層構造や土星・銀河系・探査機などを自分で動いて好きな位置から眺めることができるように番組を構成した。今回は、その内容とアンケート結果、立体把握における VR の有効性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](#)

Y08b ExoKyoto を用いたアマチュアも含めた系外惑星探査システム

佐々木貴教, 土井隆雄, 山敷庸亮, 山中陽裕, 熊代慶, 木原孝輔, 野津翔太, 野津湧太, 細野七月, 黒木龍介, 村嶋慶哉 (京都大学), 芝池諭人 (東京工業大学), 石川裕之 (総合研究大学院大学), 下崎紗綾, 藤田汐音 (滋賀県立守山高校)

系外惑星データベースソフトウェア ExoKyoto を開発した。ExoKyoto では、これまでに発見された系外惑星についての基本情報の他、惑星の温度や主星の情報など、様々な情報を一覧表示することができる。また、Stellar 画面や Google Sky を用いた系外惑星や周辺星の表示など、既存のデータベースにはない新機能が含まれる。さらに、系外惑星の公転周期・半径・推定質量や、トランジットパラメータ (最大減光率)、および主星の情報 (位置、等級、スペクトル型等) などをもとに、観測ターゲットの選定を行うことが可能である。

現在、京都大学花山天文台などで ExoKyoto を用いた既知の系外惑星の追観測を開始している。今後は、広くアマチュア天文家の方々も含め、系外惑星観測・発見の門戸がより広がるよう、ExoKyoto を用いた系外惑星観測の体制づくりを推進していく予定である。さらに将来的には、京都大学 3.8m 望遠鏡を用いて系外惑星候補天体の確定観測を行い、データベースの更新も行っていく予定である。

ExoKyoto は系外惑星データベースのホームページ (<http://www.exoplanetkyoto.org>) にて公開されている。このホームページでは、系外惑星に関する基本的なデータの他、有名な系外惑星についての詳細な解説や系外惑星の探査方法などが、イラストとともに示されており、系外惑星に関する天文教育のポータルサイトとして随時更新が行われている。なお、イラストについては SGH 滋賀県立守山高校などの協力を経て、各惑星から見た景色などの想像図が掲載されており、高大連携プロジェクトの推進も行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b 教員養成学部における太陽観測実習の授業実践とその評価（1）

大朝由美子（埼玉大学），矢治健太郎（国立天文台）

平成 27 年度全国学力・学習状況調査分析では、小・中学校ともに、「観察・実験の結果等を整理・分析した上で、解釈・考察し説明すること」等に課題が見られる一方、「自然の中で遊んだことや自然観察をしたことがある」「観察や実験を行うことは好き」と回答した児童・生徒ほど理科の平均正答率が高く、観察・実験を通じた理科の学習指導の改善・充実が求められている。他方、天文分野に関する学習経験の乏しい教員は天体観察を通じた指導を敬遠する傾向があるため、小中学校の（理科）教員を目指す大学生に対して、天体観測実習を必修項目として取り入れることは重要である。なかでも太陽は昼間でも観測できるため、天体観測実習の教材として有効である。

そこで、卒業生の約 9 割が小中高の（理科）教員になる埼玉大学教育学部理科専修の必修講義「地学演習」の 4 回分（全 30 回）において、太陽観測実習を平成 25 年度から実施している。本講義の目的は、身近な恒星である太陽の基本的な性質や構造について、太陽観測実習を通して体験的に理解を深めることである。講義内容は、「太陽の基本的な講義」「可視写真を用いて太陽の大きさを求める実習」「可視連続光、 $H\alpha$ 線、CaK 線、電波による太陽観測と黒点温度・彩層温度を求める解析実習」から構成される。実際に埼玉大学の $H\alpha$ /CaK 望遠鏡、電波望遠鏡の扱い方、データを取得し、解析する手法を学ぶとともに、国立天文台太陽望遠鏡や太陽観測衛星「ひので」の観測データも活用した。また講義を行うにあたって、事前及び事後アンケートを実施し、履修者の天文に関する認識や太陽の基本知識、理解度の変化を調べた。加えて、現職教員の教員免許更新講習や、埼玉大学ハイグレード理数高校生育成プログラム（HiGEPS）等でも一部の観測実習について授業実践をした。本講演では、太陽観測実習の内容や理解度や意識の変化を報告するとともに、教員養成系学部の大学生と現職教員らとの比較も行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Y10b 教員養成学部における太陽観測実習の授業実践とその評価(2)

矢治健太郎(国立天文台), 大朝由美子(埼玉大学)

小・中学校の理科の教科書では多様な図表が掲載されており、天文分野でも様々な天体画像が用いられている。学校教員はそれらの図表を適切に指導する必要がある。また、最先端の天体画像を活用したいという現場の声がある。埼玉大学教育学部の講義「地学演習」では、4回分(全30回)を太陽観測実習に充てている。この中で、太陽の基本的な知識や太陽観測の最前線を盛り込んだ講義を行った。講義の中では、国立天文台太陽観測所の太陽画像、太陽観測衛星「ひので」の観測データを活用しており、太陽画像や動画を題材にした課題を課している。特に、グーグル・フォームを利用して、課題の回答をPC上に記入するという実践を試みた。課題は「黒点画像について」「粒状斑を探そう」「ひので10周年記念ムービーを見た感想」で、それぞれ5分程度で記入させた。グーグル・フォームを活用した利点として、「PC上に直接入力できる」「インタラクティブな効果が望める」「講義後、集計がしやすい」などがあげられる。実際、集計結果を元に記入されたコメントをまとめて、次の時間に紹介するなどフィードバックを行った。特に「黒点画像について」では、2014年10月24日に出現した巨大黒点のひので画像を題材にした。「暗部」「半暗部」「温度が低い」の基本的な記述が多かったのに対し、巨大黒点ならではの特徴が少ないなど、興味深い記述傾向が得られた。また、国立天文台で実施した「理科教員のための天文セミナー」や中学校の理科授業でも、インタラクティブな記述をする試みを行った。

本講演では、このような講義中に行った各記述を元に、「講義・講演内容をどれだけ理解しているか?」「画像や動画をどのように説明しているか?」評価・分析を行った。その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11c 自作分光器による Ca II K 吸収線高次スペクトルを用いた太陽彩層の立体構造

坂江隆志 (埼玉県立浦和西高等学校), 花岡庸一郎 (国立天文台), 大辻賢一 (京都大学)

当自作太陽分光器については、2012年よりさまざまな応用について研究を進めてきたが、今回 Ca II K 吸収線における高次スペクトルを用いた高波長分解能の太陽全面スキャン観測に成功したので報告する。

使用した回折格子は、格子定数 1200g/mm、大きさ 25×25mm、ブレース波長 500nm、平面反射式であるが、階段状に刻まれた反射面に対して直交した面（階段の蹴上げ部分）も反射コーティングされていることから、本来の使い方と逆の傾きを与えることで4次の Ca II K 線 (393.3nm) でのスペクトルが得られた。他の次数スペクトルをカットするために、市販の干渉フィルター (Baader Planetarium K-line filter) を用いた。波長分解能は、 $R=120000$ となり、CaIIK 線での理論的波長分解能は 0.003nm、使用したカメラ (Atik Titan mono) での1ピクセルあたりの波長は 0.0013nm となり手作りの小型分光器としては優れた性能をもつ。

この分光器を用いて、Ca II K 吸収線付近を 30分ほどかけて太陽全面スリットスキャンを行うことで約 5000 フレームのスペクトル画像を取得し、吸収線内を波長シフトさせながら各波長での太陽全面画像を作成した。スペクトル線の中心 (K3) では太陽彩層の最上部、翼部 (K2, K1 など) では中心波長から離れるに従って見ている彩層高度が下がることが知られており、太陽彩層を立体的に捉えた画像となっている。例えば、中心波長 K3 では比較のため撮像した H 線中心の画像と比べてフィラメントがより長く、また多く見られるなど、波長分解能が低いフィルターによる観測では得られない高い波長分解能ならではの特徴をもった画像となっている。

以上のように、我々の今回の観測は小型の分光器のさらに広い応用の可能性を示すもので、このような装置を教育現場等へ展開していくことの有用性がより一層明確になったと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12b インターネット望遠鏡を利用した月の観測・解析の教材開発に向けて

大羽徹（名古屋大学教育学部附属中・高等学校）

インターネット望遠鏡とは、遠隔地に設置した無人の天体望遠鏡をインターネットを通じて操作し天体観測を行うためのシステムである。「慶應義塾大学インターネット望遠鏡プロジェクト」は、インターネットが使える環境とブラウザがあれば誰でも無料でインターネット望遠鏡を利用できる。

教育現場における天文学教育は、観測対象となる天体の大部分が夜間であるため、観測実習をカリキュラムに十分に取り入れることが困難な現状があると考えられる。インターネット望遠鏡を利用すれば、日本の昼の時刻にニューヨークの夜空の天体を観測することができる。観測データを用いて物理量を測定し、物理法則を検証することは科学的な思考方法を育む上で重要な役割を果たすものと期待される。インターネット望遠鏡を利用した教育プログラムの構築を目指し、本研究では月を継続観測、解析を行った。

月の満ち欠けと月の見かけの大きさを継続観測し、朔望月、近点月と月の公転軌道の離心率を測定した。また、横須賀市とニューヨークの望遠鏡で月を同時に観測し、地球の中心から月の中心までの距離を測定した。これらの測定量を用いて月の公転軌道長半径と恒星月を測定し、朔望月の周期的変化から、地球の公転周期、公転軌道の離心率の測定した。そして、恒星月と近点月から、月の軌道上の近地点が太陽重力の影響で回転する周期を測定した。

朔望月と恒星月には差があり、地球が太陽を公転していることが間接的に検証できる。また、朔望月の周期的変化から、地球が太陽を楕円軌道で公転していることが検証できる。これは、天文学教育の観点から大変興味深く、観測を重視した天文学教育の良い教材となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13c 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(4) - 理解度に影響を及ぼす要因 -

横尾信行, 瀧崎智佳 (上越教育大学), 斉藤美妃 (玉村町立芝根小学校), 落井裕子 (福井県児童科学館)

天文学は人気のある分野であるが, その認識には非科学的なものも多く, 誤解が多い。我々は, 2015年春季年会で, どの季節でも太陽は真東から昇り真西に沈むという誤解が多いことを報告しており, 天体の日周運動の学習では南中高度だけでなく, 日の出・日の入りの方位も意識させた授業を行う必要性を示した。しかし, 何がこの方位に関する誤解を引き起こすのかという要因については特定されていない。そこで, 方位に関する誤概念の検証と, その誤概念と密接に関わる要素の特定を行うため, 全国の8大学の教育学部の学生1,136名に対して質問紙による調査を行った(有効回答数1,129)。

得られた回答に対し, ロジスティック回帰分析を行い天体の動きに関する問題の正解・不正解と相関が高いと思われる項目を抽出, 抽出した項目に対しコルモゴロフ・スミルノフ検定に基づいて, 正解者と不正解者が異なる性質をもつ集団であるかどうかを検証した。その結果, 太陽の見かけの動きの設問においては, 科学への興味・関心, 中学理科の自信度ともに, 全ての項目において正解者と不正解者の間に有意な差がみられた。また, 真東真西の誤答をする学生は「科学に興味はあるが中学理科への自信がない」という特性を, それ以外の誤答をする学生は「科学への興味も中学理科への自信もない」という特性を持っていることが示唆された。さらに, 正解者と不正解者の間には, 「物理に関する話題」「化学に関する話題」「科学者が実験を計画する方法」「科学的な説明を求められること」の興味・関心の度合いにも差が見られた。物理・化学は抽象的な事物を扱うことの多い分野であり, その力を高める訓練を行い, 自信をつけさせることで正答率の向上に繋がることが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14b 全天モニタ画像に対する座標較正の自動化

川野元聡(国立天文台), 小澤友彦(紀美野町文化センター)

検出器の性能向上により、高解像度・高感度化した全天モニタ画像は単なる天候・雲量モニタの域を超え、突発天体・変光天体の監視などにも利用されるようになってきている。これには赤道座標系に基づいた座標較正がなされていることが望ましい。また、市販の全天球/全方位カメラに恒星の撮影が可能なものが現れており、このようなカメラの生成する全天画像に対しても座標較正することで画像に付加価値をつけられる。ここでもし緯度経度や観測時刻等の情報を使わずに座標較正ができるなら、常設の観測所の全天モニタ画像だけではなくワンショットの全天画像に対しても汎用的に処理ができて好都合である。

今回、等立体角投影の結像光学系を仮定して、画像上の仮光学中心座標と仮ピクセルスケール(の逆数)のみを初期パラメータとして与えるだけで画像内の恒星状天体を恒星カタログと自動同定し、座標系を張って結果を返すソフトウェアを実装することができた。開発環境は Linux(x86_64) + python-2.7.11 + numpy-1.11.0 を使用した。恒星カタログはイェール輝星星表を改変して使っている。全天モニタの jpeg 画像に対して、標準では全天で 200 個程度の恒星状天体を検出・使用して、4.5 等級までの恒星と同定作業を行う。位置決定誤差は、ガラス・アクリルなどの保護ドームがある場合には 0.3 度程度、保護カバーのない場合には 0.05 度程度である。都市光や月明の影響で限界等級が浅い画像に対しても飽和していない限りほぼ問題なく処理できるが、部分的な曇天や保護カバーの傷などに対してはそれほど強くない。処理時間は Core i7 2.6GHz 1 コア使用で 30-60 秒/枚 程度である。

今回のソフトウェアは、全天モニタ画像取得システムの設置較正方法の確立やアーカイブデータの活用・教育利用などの促進に寄与できると考えている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15c 全天モニタ画像座標較正 Web サービスの構築

小澤友彦 (紀美野町文化センター), 川野元聡 (国立天文台), 尾久土正己 (和歌山大学)

全天モニタ画像の取得は研究所や観測所に留まらず、機器の高性能化・低価格化により観光や天文教育を主とした天文台にも広まっている。そして、これらの画像はインターネットを通じ、誰もが閲覧・入手できる環境が整っている。

教育環境は急速な ICT 化が進んでいる。しかし文部科学省平成 27 年度「学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果【速報値】」の「教育用コンピューター 1 台当たりの生徒児童数」から、ICT 化の進捗に地域差があることが見て取れる。また画一的ではあるが、同資料からは教員の ICT 活用指導力の状況にも都道府県ごとに差があることがわかる。以上から児童生徒や教員を補助するツールの開発など環境整備が必要である。

全天モニタ画像から変光星や突発天体の測光を行うには、画像の位置較正が必要となる。また位置較正により、星座線の描画や投影法の変更による各方位ごとの画像の作成にも応用できる。以上から全天モニタ画像の位置較正ツールの開発が重要である。

そこで我々は、全天モニタ画像の位置較正を行うホームページを試作した。ホームページで行うことで利用者側での Linux 環境やコマンドライン作業など専門性の高い作業を不要とし、負担を軽減するためである。システムの概要は、ユーザが全天モニタ画像をサーバへアップロードし、サーバサイドにて位置較正の算出を行い、位置較正の可否や投影係数などをテキスト (HTML) にて表示するというものである。

本発表では、システムの概要ならびに使用環境等について紹介する。また広く公開する際の利用状況などの意見からサーバが負う付加機能などについて議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y16c 多地点流星電波観測を教材としたアクティブ・ラーニング的事例

吉田英人, 寺澤敏夫, 吉川一朗 (東京大学), 宮本英明 (巣鴨高校), 吉岡和夫 (東京大学), 臼居隆志, 矢口徳之 (日本流星研究会), 佐川宏行, 野中敏幸 (東京大学), 西嶋恭司, 櫛田淳子, 杉本奏愛 (東海大学), 山崎了, 小林瑛史 (青山学院大), 亀井利久, 岡井凜太郎 (防衛大学校)

我々は2004年度以降、アマチュア無線ビーコン波を利用した流星電波観測を主に教養学部生向けの体験型実習として継続している。この実習では広範囲に多数観測点を配置し、各観測点の流星エコー到達時間差から流星飛跡を求めることを行う。この方法は、大規模な施設を必要とせず安価な方法で、昼夜天候に左右されず流星飛跡を求めることができるので学部実習には最適である。実習では、受講者自らアンテナ工作や電子回路工作を行い、それをを用いて観測を行う。3年生以上ではさらにプログラミング技術の学習が加わる。得られたデータは受講者が各担当観測点の解析を行い、最後にそれらのデータを統合し、初めて3次元流星飛跡が求められる。この結果は受講者にとって、流星のベクトルが求まるという、いままで経験したことがないものである。このように知識を与え、技能を経験させ、そこから得られた結果に感動することは、記憶に鮮明に残ると思われる。このプロジェクト型実習は、まさに中央教育審議会の答申にあるアクティブ・ラーニングに相当すると考えられる。この実習は学生にとって大変好評で、年度によっては受け入れ定員を超える申込みがあるほどで、今まで12年間で100人以上が受講した。発表では、観測の原理、実際の実習の様子、その教育的結果と課題について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y17b 夜空の明るさ測定における眼視測定の有効性検証

柴山万優子（星空公団），小野間史樹（星空公団），右田亜朗（海城高等学校地学部3年）

夜空の明るさ測定方法の1つに、肉眼による眼視測定がある。双眼鏡を用いた星空の観察として、環境省が1988年から2013年までの25年間実施していた全国星空継続観察で採用されていた。これは、双眼鏡を用いて参加者各人が観察できた最も暗い星の等級を双眼鏡の口径に基づき補正を行い、平均観察等級を算出する方法である。コストが低く大規模で行うことが容易であるため、イベントで実施されることが多く、夜空の明るさ世界同時観察キャンペーン GLOBE at Night でも観測方法として眼視測定が採用されている。測定結果は個人の差が大きく、精度や再現性は測定者に依存するが、測定数を増やすことで統計的に有意な結果が得られることが期待されている。しかし、その測定結果について報告された例は少ない。

我々は、全国星空継続観察の結果を用いて、双眼鏡を用いた平均観察等級と写真撮影による夜空の明るさの相関を調べることで夜空の明るさ測定における眼視測定の有効性を検証した。その結果、相関係数が約0.3と低いものの、両者に正の相関がみられた。講演では、眼視測定の参加人数も考慮し、さらに詳しく両者の関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y18b Spectroscopy Lab in an Activity-Based Astronomy Course

Akimi Fujita

Light is the main means by which astronomers study most astronomical phenomena. Thus, spectroscopy, the study of dispersed light based on the interaction between matter and light, lies at the heart of astrophysics. In order to promote the conceptual understanding of spectroscopy and its use in astronomy, "Spectroscopy Lab" is developed to observe emission and absorption lines in an ordinary classroom and has been incorporated into an introductory astronomy course for use by collaborative student learning groups. The effectiveness of this lab-based, learner-centered instruction as well as students' conceptual understanding are evaluated by a research-validated assessment tool, "Light and Spectroscopy Concept Inventory (LSCI)", and the results demonstrate that the students' learning gains on this topic are greater than or equal to the gains observed in activity engagement astronomy courses at American universities. This suggests the importance of incorporating "hands-on, " "eyes-on" observations/activities in astronomy courses.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y19a 擬ニュートンポテンシャルで相対論的現象を模倣する方法

竹田奈央、堀川直樹、福江 純（大阪教育大）

ニュートンポテンシャル $[-GM/r]$ を少し変形した“擬ニュートンポテンシャル” $[-GM/(r-r_g)]$ 、 r_g はシュバルツシルト半径] は、ブラックホール周辺の相対論的現象をうまく模倣する強力な道具として重宝されている。これを使えば高校生でもニュートン力学の知識で相対論的現象の計算ができるだろう。

擬ニュートンポテンシャルは、シュバルツシルト時空における最終安定円軌道の半径（シュバルツシルト半径の3倍）を正しく表現できるため、降着円盤などの回転運動に対して利用されてきた。そのことは以前に紹介した（天文月報 98 巻 75 頁、169 頁；2005 年）。

今回は、擬ニュートンポテンシャルを用いて、円運動でない場合にどうなるかについて、遠ブラックホール点移動やロッシュポテンシャルを計算し、擬ニュートンポテンシャルを用いた際の結果の検証を行ったので、その結果を報告する。ニュートンポテンシャルを用いた計算では見られない遠ブラックホール点移動、重力に伴うロッシュポテンシャルの変動、ラグランジュポイントの移動が確認できた。

ニュートン力学では閉じた楕円軌道になるが、相対論的重力はニュートン重力より強いいため、いわゆる近日点の移動が起こる。擬ニュートンポテンシャルでも、近日点（近ブラックホール点）の移動が再現できた。ただし、定量的には相対論的重力の場合とは異なる。また、擬ニュートンポテンシャルの場合、ロッシュポテンシャルはより深くなる。さらにラグランジュポイントがずれるため、正三角形解にならなくなることもわかった。

ニュートン力学の諸問題に対して、擬ニュートンポテンシャルを利用すると、他にもいろいろな面白い相対論的現象を調べることができるだろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y20a Twitter 上における金星探査機「あかつき」に関する言説の分析

矢部あずさ (JAXA 宇宙科学研究所), 吉永大祐, 田中幹人 (サイエンス・メディア・センター/早稲田大学), 大川拓也, 生田ちさと (JAXA 宇宙科学研究所)

JAXA の金星探査機「あかつき」は 2015 年 12 月 7 日に金星周回軌道投入のために姿勢制御用エンジン噴射を行い、金星をまわる衛星になった。2010 年 12 月 7 日の同運用での失敗以来の 5 年越しでの軌道投入成功は、メディアやウェブを通じて情報共有された。

2015 年 11 月 1 日から 12 月 31 日までの 2 ヶ月間に Twitter に投稿された「あかつき」を含むツイートを対象とした分析の結果、一次情報や信頼性の高いニュースメディアに加え、ポップカルチャーを媒介とした情報の拡散が行われ、「困難に技術で立ち向かい、最後は奇跡的な成功を収めた」という感動ストーリーとして、好意的に言及された。しかし、「惑星探査」「大気」「雲」といったミッションに関するキーワードも出現していることが確認されたものの、「あかつき」の探査計画やその科学目標についての言及は限定的であった。また、話題のピークは「軌道投入成功」というイベントに強く紐づいており、「あかつき」のミッションに対する本質的・継続的な関心を得るには至っていない。今後、ミッションの科学的意義に関する認知を向上するための取り組みを工夫していく必要がある。

この発表では、一般社団法人サイエンス・メディア・センターによる報告「Twitter に投稿された『あかつき』に関する言説の分析」に基づき、Twitter 上でユーザーに好んで拡散された発言の傾向を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y21a チリにおける天体観望会の実施 (1) 準備状況

阪本成一 (国立天文台)

チリは観測条件に恵まれ、ALMAをはじめとする世界最先端の望遠鏡が稼働している。チリ国民にとってこの事実は誇らしいもので、特にALMAの認知度は高い。同様に日本人のチリ駐在員にとっても、日本がALMAが参加していて大勢の日本人天文学者がチリで業務に従事していることはよく知られている。その一方で、チリには本格的なプラネタリウムが1つしかなく、チリ国民や日本人駐在員が実際の星空や天文学者・学芸員による解説に触れる機会もそれほど多くない。ALMAの地元の村であるSan Pedro de Atacamaでは商業的な天体観望ツアーが催行されているものの、首都Santiagoでは合同ALMA観測所などによる天体観望会がときどき開かれる程度で、頻度も日本国内でのそれには遠く及ばない。そのため駐在員や同伴家族からも、南天の星空を楽しみたくても機会が得にくく残念だとの意見がしばしば寄せられている。チリという天文の聖地で日本で見られない星を見ることができれば、日本に帰任したとしてもチリでの記憶として強く残ることだろう。

このたび諸事情によりチリ観測所長の宿舎を集合住宅の屋上を含む最上階に移すことになった。幸いにしてSantiagoは比較的晴天率が高く、高い歩留まりで観望を行うことができる。夜間の屋外活動を避けがちな子ども連れにとっても、宿舎のなかでの観望会は魅力的に違いない。そこで、所長宿舎屋上テラスでの天体観望会の実施を企画している。まずは国立天文台や合同ALMA観測所に勤務する職員とその家族・知人、日智商工会議所の構成員などを対象にして始めるとともに、チリの天文同好会との連携を深めて日本でのユニークな実践例を紹介・技術移転し、将来的には活動をSantiago市内に拡大してゲリラ的な観望会などを実施することを計画している。今回は国外ならではの事情を踏まえた準備状況と実施計画について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y22a 研究施設利用イベントでの外部キュレーターの導入事例

玉澤春史，樋本隆太，河村聡人（京都大学）

天文台など大学付属の研究施設における，一般向けイベントは施設職員が主導して開催することが主である．研究施設の紹介が主眼となるため当然であるが，イベント設計の観点，あるいは施設利用の観点から考えると，別の方法も考えられる．施設側の人間とイベント企画・運営の人間をわけるということは単なる分担だけではなく外部からの視点を得られることが考えられる．京都大学理学研究科附属花山天文台では2013年より一般公開の時期に天文台に作品展示をしてもらう企画を行っている．2016年に実施した企画では，外部キュレーターを置くことにより作家と天文台側の役割を明確にすることで作品の質を担保，企画意図の明確化などを図った．本講演ではこれまでの企画との比較も行いながら，イベントスペースとして研究施設の利用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](#)

Y23a 総合科学としての天文学を大学でどう教えるか？ - 国際ガイドラインの作成に向けて -

縣 秀彦、Lina Canas (IAU OAO/国立天文台)、鴈野重之(九産大)、Pedro Russo (Leiden University)

日本学術会議では、平成20年に文部科学省高等教育局からの依頼を受け、大学教育の分野別質保証の在り方について検討がなされ分野毎に指針が発表されている。この中で天文学は物理の一分野と位置付けされているが、実際には大学の物理学部に含まれ物理学の学士としての質保証が必要とされる「天文学科」が設置されている大学は少数にすぎない。その一方、全国100以上の大学で行われている天文学に関する教育についてはその扱いが定まっていない。そこで、本検討に参加した日本天文学会分野別参照基準作成ワーキンググループは、独自の視点で、「天文学を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な天文学の素養等について」も検討を行った。これを受けて、本研究では全国の大学で実施されている天文学教育の実態を明らかにするとともに、「総合科学としての天文学」という新しい視点に基づいて、天文学分野における質保証の具体的な課題を抽出する。

一方、グローバル化の下、大学学部における国際的なシラバス・カリキュラムのガイドライン構築が求められている。本研究では、さらに諸外国の大学における天文学カリキュラムを比較検討するとともに、日本の大学院へ進学を希望する外国人学生の学習内容も調査し、多角的に新しい視点「総合科学としての天文学」に即した国際的なカリキュラムのガイドライン提案を目指す。この取り組みは他の学術分野の国際ガイドライン作成のトリガーとなるとともに、今後の国際的な高等教育のあり方に対して多方面への波及効果が見込まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y24a 天文学研究 PBL 型授業におけるルーブリックの開発と評価

田中幹人 (東北大学)

アクティブラーニングは、単なる実践ではなくディープであるべきであると言われている。しかし、これまで教員の主観によって聖域化されてきた教育評価の領域において、質を評価することは容易ではない。「学習成果とは何か、それをどう設定し、どう評価すべきか、その方法はいかにあるべきか」というアクティブラーニングが抱える課題に対して、本研究では学習成果のパフォーマンスを客観的に評価できるルーブリックを検討する。

ルーブリックを導入する授業は、我々が東北大学の初年次教育・基礎ゼミにおいて実践している、学生チームで天文学研究を体験する PBL タイプの高次のアクティブラーニング型授業（君天）である。学生の研究活動や成果を評価するためのルーブリックを、4名の教員の意見を取り入れつつ、先行研究のトリプルジャンプを参考に観点とレベルを設定し、提示モデルにもとづいて2016年度の君天に導入した。開発したルーブリックは、君天のプロポーザル審査と研究成果発表の2つのプロセスにおいて、同一6名の教員によって使用した。

授業後の事後アンケートに基づく記述統計により、ルーブリックは学生にとってはおおむね研究活動を進める指標になっていたことが分かった。一方、評価者間信頼性を評価するために、ルーブリック各観点における級内相関係数 ICC(3,6) をハミルトニアンモンテカルロ法を用いたベイズ推定により算出した。その結果、プロポーザル審査におけるルーブリックは全体的に比較的高い信頼性があった一方で、研究成果発表におけるルーブリックは、信頼性が不十分な観点が多かった。本発表では、開発したルーブリックの各観点やレベルの詳細内容、および授業プロセスにおける学生のルーブリック獲得得点の変化に加えて、2017年度へ向けた修正案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](#)

Y25a 日本の大学における天文学シラバス調査(1)：教養課程

鷹野重之(九産大), 縣秀彦(国立天文台), Lina Canas (IAU/国立天文台)

日本の4年制大学で開講されている天文学・宇宙科学に関する講義のシラバス調査を行った。本研究では国立・私立大学の1/4を無作為に選び、公開されている全シラバスから科目名検索し、「宇宙」「天文」を科目名に含む授業を抽出した。ただし、シラバス全体から、明らかに自然科学系でないものを除き、さらに教養課程の科目として開講されている73講座のシラバスを調査対象とした。これらのシラバスを精査した結果、科目名に「宇宙」「天文」という言葉が含まれているにも関わらず、内実は地球科学などの内容に終始し、宇宙についての内容を取り扱っていない授業もあることがわかった。一方、天文学的内容を主とした授業であっても、担当する教員の多くは日本天文学会の会員でない場合が約半数に及ぶことがわかった。このことは、大学で教員を適材適所できていないこと、天文学会とは関係のないところで天文教育が進められていることを示唆している。現在、日本の大学で行われている授業内容を検討することで、今後の大学教育の質保証と、国際的標準カリキュラム策定についての議論の出発点としたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y26a データサイエンス教育における天文データの活用

石橋史朗（会津大学）

近年、社会科学やビジネス分野においても、データサイエンスの重要性についての認識が高まっている。1つにはビッグデータやオープンデータなど、利用できるデータの範囲が急速に広がったこと、また一方で、データ処理技術自体の進展と普及がここ数年で進んだことが、その理由として挙げられる。コンピュータ理工学専門の会津大学においては、学生の多様な興味に対応して、様々なテーマを設定した「課外プロジェクト」と称する一連のコース群が開講されている。今回このコースの1つとして、天文データを利用したデータサイエンス講座を立ち上げたため、その取組み状況について報告する。

データ分析ツールとしては、入手が容易でかつ高機能を有する、フリーソフトの「R」を使用した。半期15コマの限られた時間ではあるが、基本統計量の計算から始めて、データマイニング的な分析手法まで進めることで、データサイエンスの基礎を習得すると同時に、今まで天文に馴染みのない学生に対して天文データにも興味をもってもらうことを目指している。天文データは定量的データとともに、銀河の形態分類に代表されるような定性的データも多いため、社会一般で使われているデータサイエンス手法を学習する際のデータとしても、恰好の題材となっている。また実観測に基づく天体のカタログデータを扱うことにより、データ欠損の取扱いや、データ前処理の必要性など、データサイエンスの実践面での教育も可能となっている。講演では、授業の中で取扱った分析事例のいくつかについて具体的に紹介するとともに、データサイエンス教育における天文データ活用のメリット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](#)

Y27a 太陽教育コンテンツ Solar Projection Mapping を用いた教育活動報告

萩野正興、日江井榮二郎、櫻井隆（国立天文台）、三浦飛未来、石塚千彬、日比野由美（明星大）、大辻賢一、齊藤昭則（京都大）

本年度天文学振興財団の援助を受け、「理科の教室と宇宙を結ぶプロジェクト」（代表：日江井榮二郎）と称し活動を行っている。本プロジェクトでは初めての試みとして直径 2m のバルーンに太陽像を映し出すコンテンツを開発した。このコンテンツを Solar Projection Mapping(以下、SPM)と呼んでいる。この SPM を用いれば、太陽が球体であることを容易に認識してもらえ、太陽の迫力も感じてもらうことができる。それが知的好奇心を揺さぶり、本物の星、特に太陽や天文学への興味に繋がることを教育目的として掲げている。

この SPM を用いた授業を全国各地で展開し、これまでに 6 校の小中学校、高校 1 校、大学 2 校、一般向け公開講座で 1 件、国立天文台特別公開で好評を得ている。これまでは太陽像（例えば太陽フレア発生時）のムービーを作り、バルーンに投影する方法で講演を行ってきた。今後はダジック・アース（代表：齊藤昭則）に国立天文台太陽観測所で得られたデータをコンテンツとして加える計画を進めている。

本講演ではこれらの活動の報告を行い、ダジック・アースとの連携や将来の展望を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y28a 接眼分光器を用いた天体物理学の教育

橋本修 (ぐんま天文台)

一般的な観望から一歩進んだ本格的な天体物理学の教育手段に用いることを目指し、眼視用の接眼分光器を試作した。双眼鏡のように並んだふたつの覗き口を持ち、一方で天体のスペクトルを、もう一方で直接像を同時に見比べることができる世界的にも例のない装置である。様々な天体の分光特性と色とを一度に比較しながら見ることができるため、やや難解とされる分光観測の本質を直観的に把握し、天体物理学の基礎に対する理解を効率的に深めることが可能である。

眼視を基本とした装置であるが、教材資料を作成するために、デジタルカメラを利用してカラーの分光画像を取得できるような環境も整備した。ひとつは、接眼分光器の覗き口にカメラを接続したものであり、観望した時に見える大雑把なイメージを再現するものである。また、もうひとつは、ぐんま天文台 150cm 望遠鏡に設置された低分散分光器 GLOWS の CCD 検出器を一時的に一般のデジタルカメラに置き換えて利用する形態のもので、実際のスペクトルの中にどのような構造があるのかなどの詳細を、鮮明なカラー分光画像を用いて示すことを目的としたものである。

なお、試作した接眼分光器はぐんま天文台の 150cm 望遠鏡を対象としたものであるが、観望用の望遠鏡で広く用いられている 50mm 径接眼レンズの代わりに挿入するだけの構造となっているため、多くの望遠鏡でそのまま利用することが可能である。観望用の大型望遠鏡が多数存在する我が国の特性を活かし、この種の実視分光器を用いた天体物理学の教育活動のより広範な展開についてもその可能性を検討している。これら接眼分光器に関連する現状と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](#)