

2018年 秋季年会

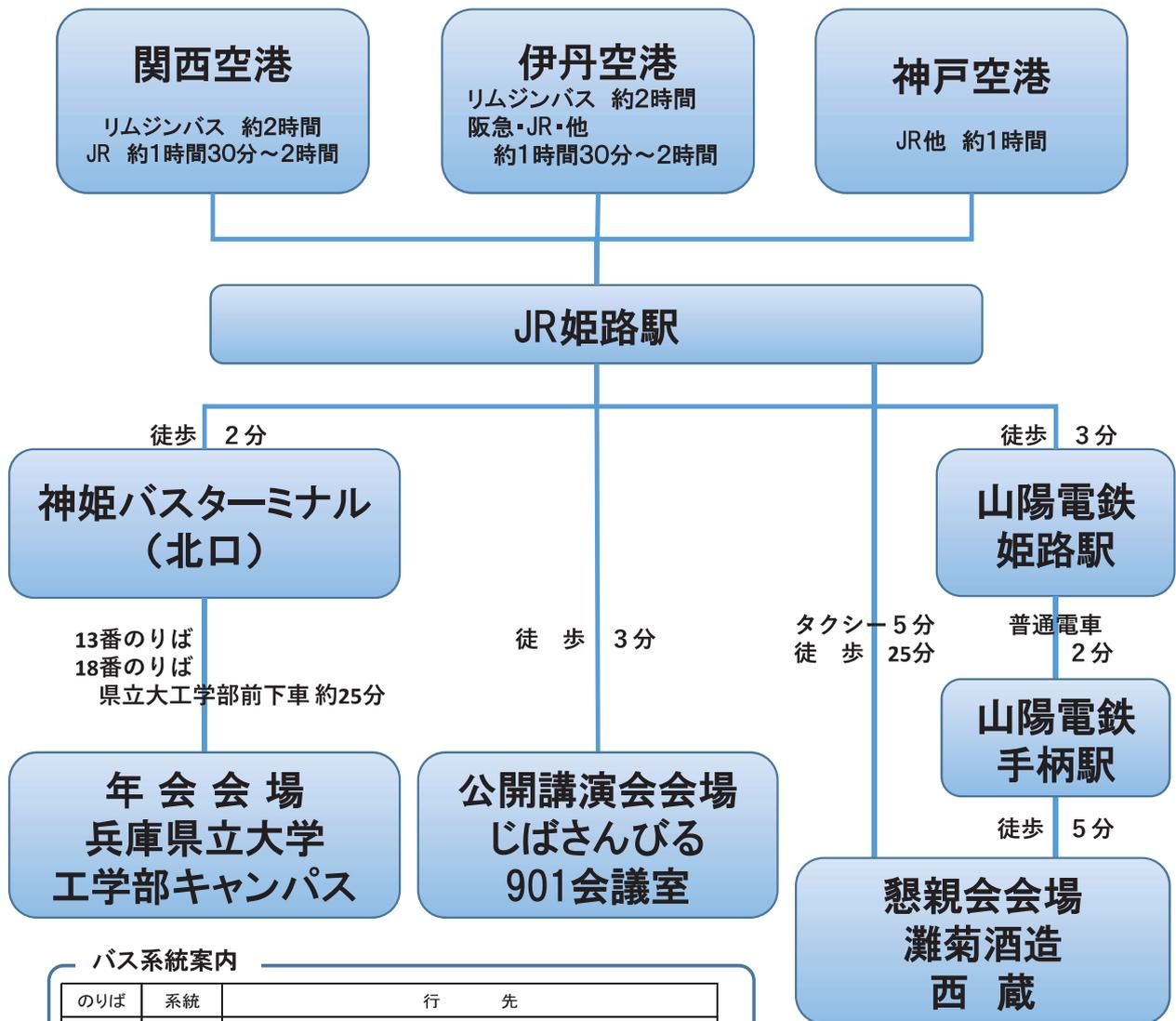
講演予稿集

電子版

於 兵庫県立大学

2018年9月19日(水) ~ 9月21日(金)

兵庫県立大学・会場へのアクセス



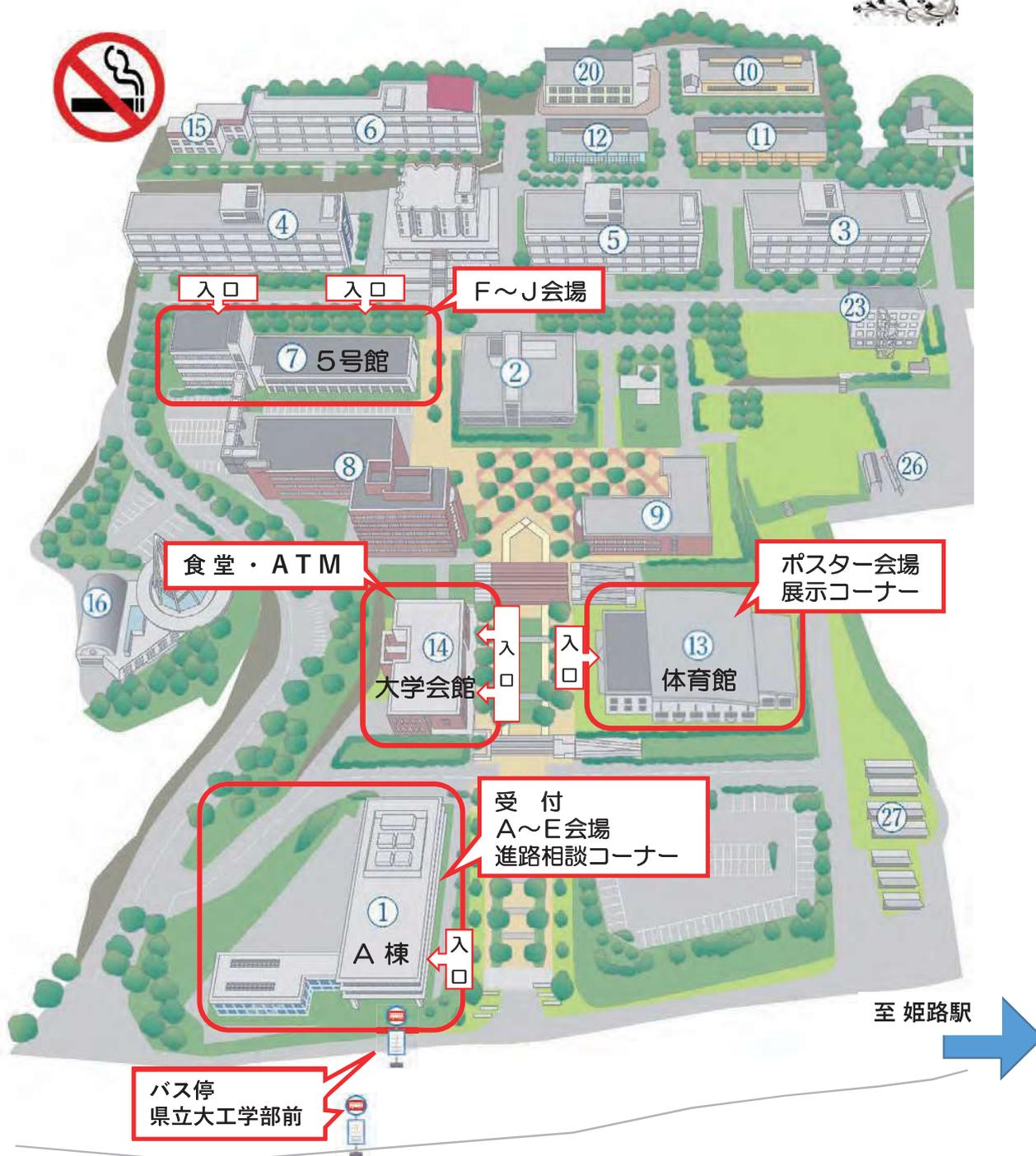
バス系統案内

のりば	系統	行先
13	急行	姫路駅 ～ 県立大工学部 ～ SPring-8
	7	姫路駅 ～ 姫路高校前 ～ 県立大工学部
18	41	姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 荒木
		姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 荒木 ～ 古瀬畑
		姫路駅 ～ 横関 ～ 荒木 ～ 古瀬畑 ～ 山崎
	42	姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 荒木
	43	姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 緑台
	45	姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 県立大工学部
姫路駅 ～ 横関 ～ 書写 ～ 県立大工学部 ～ 書写西住宅		

姫路駅周辺案内図



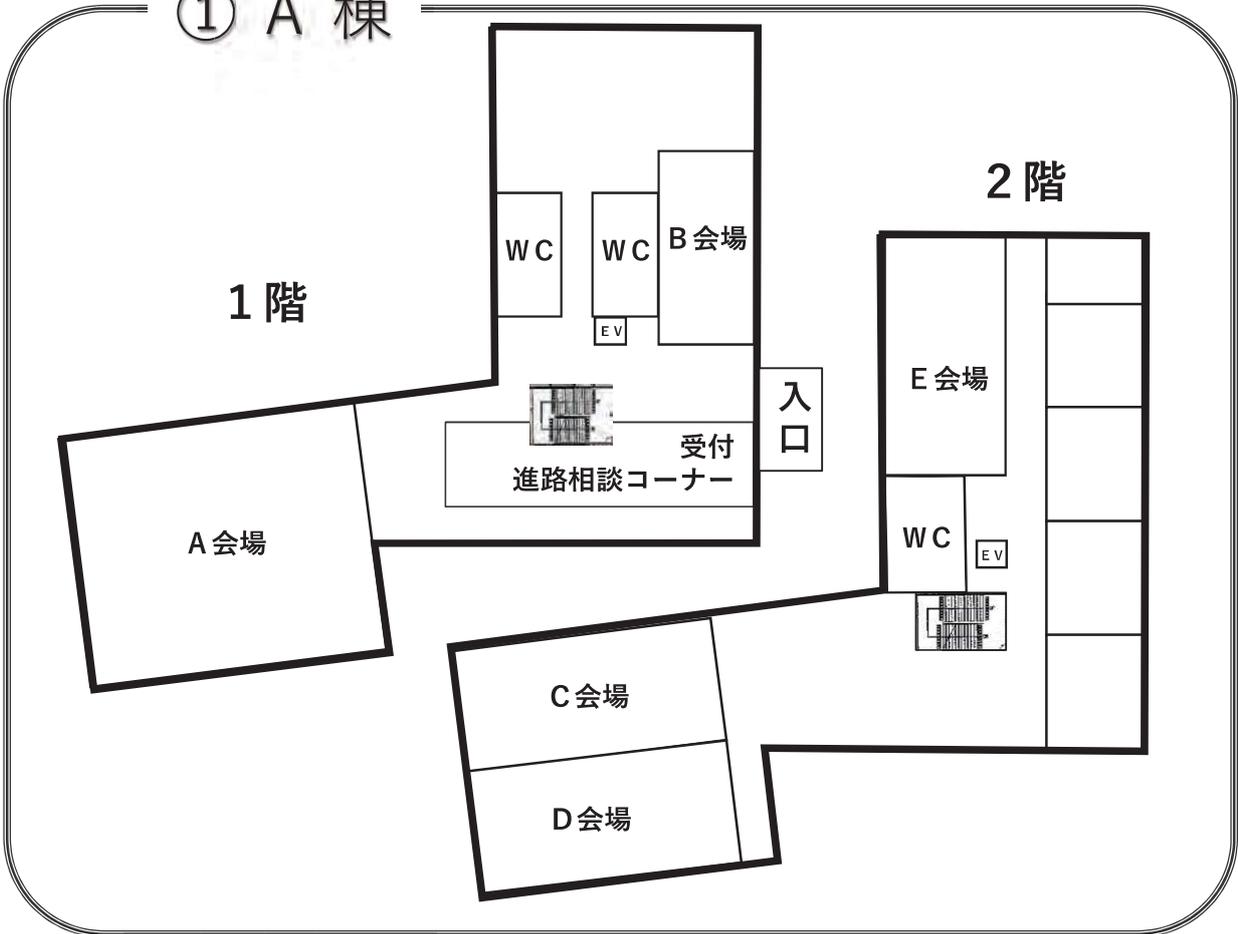
兵庫県立大学姫路工学部キャンパスマップ



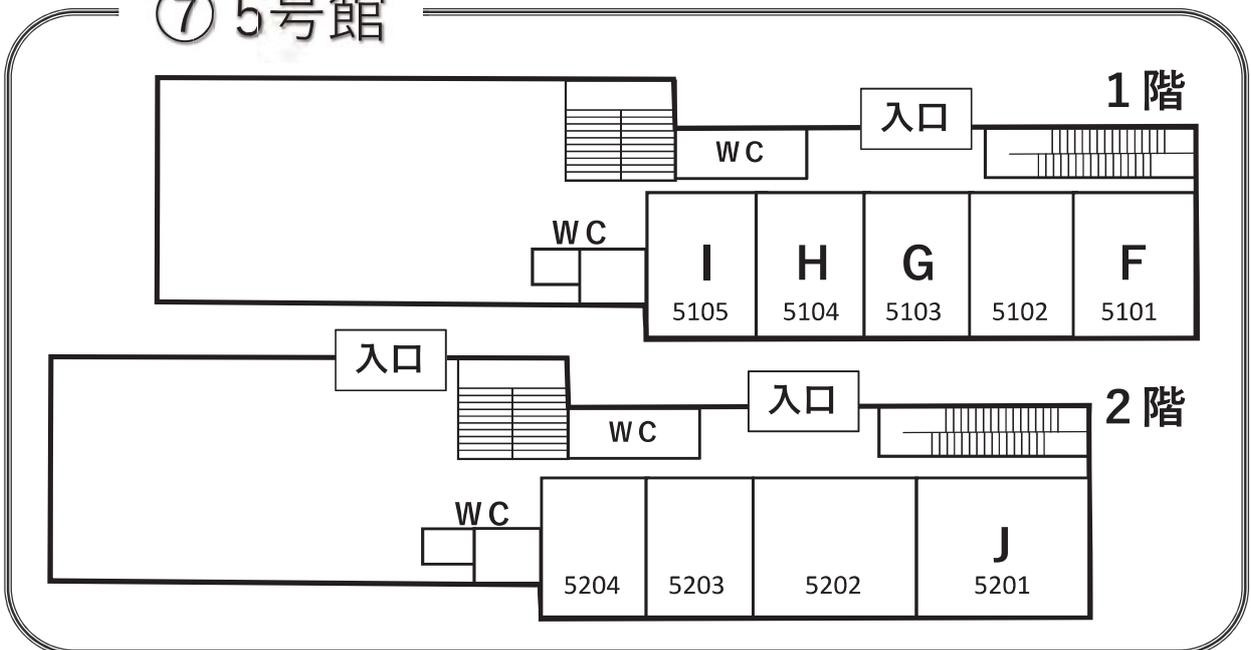
- バス停からA棟までは徒歩1分、5号館まではおよそ4分かかります。
- 大学敷地内は禁煙です。

年会会場案内図

① A棟



⑦ 5号館



口頭セッション 9月19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	J 会場
開始時刻	【高エネルギー】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【星・惑星形成】	【銀河団 /観測機器】	【恒星】	【銀河】	【星・惑星形成】	【観測機器】	【宇宙論】
11:00	-	W01a	X01a	P101a	T01a	N01a	R01a	P301a	V101a	U01a
11:12	Z201r	W02b W03b W04b	X02a	P102a	T02a	N02a	R02b R03b R04b	P302a	V102a	U02a
11:24	-	W05b W07b W08b	X03a	P103a	T03a	N03a	R05a	P303a	V103a	U03a
11:36	Z202a	W09a	X04a	P104b P105b P106b	T04a	N04a	R06b R07b R08b	P304a	V104a	U04a
11:48	-	W10a	X05a	P107a	T05a	N05a	R09b R10b R11b	P305a	V105a	U05a
12:00	Z203r	W11a	X06a	P108a	T06a	N06a	R12a	P306a	V106b V107b V108b	U06a
12:12	-	W12a	X07b X08b X09b	P109a	V201a	N07a	R13a	P307a	V109a	U07a
12:24	-	W13a	X10a	P110b P111b P113b	V202a	N08a	R14a	P308a	V110b V111b V112b	U08a
12:36	Z204r	W14a	X11b X12b X13b	P114a	V203b V204b V205b	N09a	R15a	P309a	V113a	U09a
12:48	-	W15b W16b W17b	X16b X17b X18b	P115a	V206a	N10a	R18b R19b R20b	P310a	V114b V115b V116b	U10a
13:00	Z205a	-	-	P116b P117b P118b	-	-	-	P311a	-	U11a
13:12	-	-	-	-	-	-	-	P312a	-	U12b U13b
13:00	昼休み									
14:00	ポスター									
15:00	安全保障と天文学 II 特別セッション (A 会場)									
19:30	理事会									

口頭セッション 9月20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	J 会場
開始時刻	【高エネルギー】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【星・惑星形成】	【観測機器】	【恒星/観測機器】	【銀河/星間現象】	【星・惑星形成/太陽系】	【観測機器】	【宇宙論/超新星爆発】
09:30	Z206a	W20a	X20a	P119a	V207a	N11a	R21a	P313a	V118a	U15a
09:42	Z207a	W21a	X21a	P120a	V208a	N12a	R22a	P314a	V119a	U16a
09:54	Z208a	W22a	X22a	P121a	V209a	N13a	R23a	P315a	V120a	U17a
10:06	Z209a	W23a	X23b X24b X25b	P122b P123b P124b	V210a	N14a	R24a	P316b L01b L02b	V121a	K01a
10:18	Z210b Z211b Z212b	W24a	X26b X27b X28b	P125a	V211b V212b V213b	N15a	R26a	L03a	V122a	K02a
10:30	Z213a	W25a	X29b X30b X31b	P126a	V214a	N16a	R27b	L04a	V123a	K03a
10:42	-	W26a	X32a	P127a	V215a	N17b	Q01a	L05a	V124a	K04a
10:54	Z215r	W27a	X33a	P128a	V216a	V301a	Q02a	L06a	V125a	K05a
11:06	-	W28a	X34a	P129b P130b P131b	V217a	V302a	Q03a	L07a	V126a	K06a
11:18	全体討論	W29b W30b W31b	X35a	P133b P134b P135b	V218a	V303a	Q04a	L08b L09b	V127b V128b	K07a
11:30	昼休み(代議員総会)(B会場)									
12:30	ポスター									
開始時刻	【銀河相互作用】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【星・惑星形成】	【観測機器】	【観測機器】	【星間現象】	【太陽】	【観測機器/銀河核】	【超新星爆発/星・惑星形成】
13:30	-	W32a	X36a	P136a	V219a	V304a	Q05a	M01a	V133a	K08b K09b
13:42	Z101r	W33a	X37a	P137a	V220a	V305a	Q06a	M02a	V134a	K10a
13:54	-	W34a	X38a	P138b P139b P140b	V221a	V306a	Q07a	M03a	V135a	K11a
14:06	Z102a	W35a	X39a	P141a	V222a	V307a	Q08a	M04a	V136a	K12a
14:18	Z103a	W36a	X40a	P142a	V223b V224b V225b	V308a	Q09b Q10b Q11b	M05a	V137a	K13a
14:30	Z104a	W37a	X41a	P143a	V227a	V309b V310b V311b	Q12a	M06a	S01a	K14a
14:42	Z105a	W38a	X42a	P144a	V228b V229b V230b	V312b V313b V314b	Q13a	M07a	S02a	P201a
14:54	Z106a	W39a	X43a	P145a	V231a	V315b V316b V317b	Q14a	M08a	S03a	P202a
15:06	Z107a	W40a	X44a	P146b P147b P148b	V232a	V318b V319b V320b	Q15a	M09a	S04a	P203b P204b P205b
15:18	Z108b Z109b	-	X45a	P149b	V233b V234b V235b	V321b V322b	-	M10a	S05b S06b S07b	P206b P207b P208b
15:45	会員全体集会(A会場)									
19:00	懇親会(灘菊酒造 西蔵)									

口頭セッション 9月21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	J 会場
開始時刻	【銀河相互作用】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【星間現象】	【太陽】	【銀河核】	【星・惑星形成】
09:30	-	W41a	X46a	P150a	V237a	V324a	Q16a	M11a	S09a	P211a
09:42	Z110r	W42a	X47a	P151a	V239b V240b V241b	V325a	Q17a	M12a	S10a	P212a
09:54	-	W43a	X48a	P152a	V243b V244b V245b	V326a	Q18a	M13a	S11a	P213a
10:06	Z111a	W44a	X49a	P153a	V246a	V327a	Q19a	M14a	S12a	P214a
10:18	Z112a	W45a	X50a	P154a	V247a	V328a	Q20a	M15a	S13a	P215a
10:30	Z113a	W46a	X51a	P155a	V248a	V329a	Q21a	M16a	S14a	P216a
10:42	Z114a	W47a	X52a	P156a	V249a	V330a	Q22a	M17a	S15a	P217a
10:54	Z115a	W48a	X53a	-	V250a	V331a	Q23a	M18a	S16a	P218a
11:06	全体討論	W49a	X54a	-	V251b V252b V253b	V332a	Q24b Q25b Q26b	M19b M20b M21b	S17a	P219a
11:18	-	W50a	X55a	-	V254a	V333a	Q27b Q28b	M22b M25b M26b	S18a	P220a
11:30	-	W51a	-	-	V255b V256b V257b	-	-	-	-	-
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
開始時刻	【教育・他】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【星・惑星】	【観測機器】	【観測機器】	【星間現象】	【太陽】	【銀河核】	【星・惑星形成】
13:30	Y01a	W52a	X56a	P157a	V260a	V334a	Q29a	M27a	S19a	P221a
13:42	Y02a	W53a	X57a	P158a	V261a	V335a	Q30a	M28a	S20a	P222a
13:54	Y03a	W54a	X58a	P159a	V262a	V336a	Q31a	M29a	S21a	P223a
14:06	Y04a	W55a	X59a	P160a	V263a	V337a	Q32a	M30a	S22a	P224a
14:18	Y05a	W56a	X60a	P161a	V264a	V338a	Q33a	M31a	S23a	P225a
14:30	Y06a	W57a	X61a	P162a	V265a	V339a	Q34a	M32a	S24a	P226a
14:42	Y07a	W58a	-	P163a	V266a	V340a	Q35a	M33a	S25a	P227a
14:54	Y08a	W59a	-	P164a	V267a	V341a	Q36a	M34a	S26a	P228a
15:06	Y09b Y10b Y11b	W60a	-	-	V268a	V342a	Q37a	M35a	S27a	P229a
15:18	Y12b Y13b	-	-	-	V269a	V343a	Q38a	-	S28a	P230a
15:30	天文教育フォーラム (A 会場)									

<p>【K. 超新星爆発】(2)</p> <p>K08b K09b</p> <p>【L. 太陽系】(4)</p> <p>L01b L02b L08b L09b</p> <p>【M. 太陽】(8)</p> <p>M19b M20b M21b M22b M23c</p> <p>M24c M25b M26b</p> <p>【N. 恒星】(4)</p> <p>N17b N18c N19c N20c</p> <p>【P1. 星・惑星】(27)</p> <p>P104b P105b P106b P110b P111b</p> <p>P112c P113b P116b P117b P118b</p> <p>P122b P123b P124b P129b P130b</p> <p>P131b P132c P133b P134b P135b</p> <p>P138b P139b P140b P146b P147b</p> <p>P148b P149b</p> <p>【P2. 星・惑星】(8)</p> <p>P203b P204b P205b P206b P207b</p> <p>P208b P209c P210c</p>	<p>【P3. 星・惑星】(2)</p> <p>P316b P317c</p> <p>【Q. 星間現象】(8)</p> <p>Q09b Q10b Q11b Q24b Q25b</p> <p>Q26b Q27b Q28b</p> <p>【R. 銀河】(16)</p> <p>R02b R03b R04b R06b R07b</p> <p>R08b R09b R10b R11b R16c</p> <p>R17c R18b R19b R20b R25c</p> <p>R27b</p> <p>【S. 活動銀河核】(4)</p> <p>S05b S06b S07b S08c</p> <p>【T. 銀河団】(1)</p> <p>T07c</p> <p>【U. 宇宙論】(3)</p> <p>U12b U13b U14c</p>
--	--

【V1. 観測機器】(16)					【W. コンパクト天体】(15)					
V106b	V107b	V108b	V110b	V111b	W02b	W03b	W04b	W05b	W06c	
V112b	V114b	V115b	V116b	V117c	W07b	W08b	W15b	W16b	W17b	
V127b	V128b	V129c	V130c	V131c	W18c	W19c	W29b	W30b	W31b	
V132c										
【V2. 観測機器】(33)					【X. 銀河形成】(21)					
V203b	V204b	V205b	V211b	V212b	X07b	X08b	X09b	X11b	X12b	
V213b	V223b	V224b	V225b	V226c	X13b	X14c	X15c	X16b	X17b	
V228b	V229b	V230b	V233b	V234b	X18b	X19c	X23b	X24b	X25b	
V235b	V236c	V238c	V239b	V240b	X26b	X27b	X28b	X29b	X30b	
V241b	V242c	V243b	V244b	V245b	X31b					
V251b	V252b	V253b	V255b	V256b	【Y. 天文教育・他】(5)					
V257b	V258c	V259c			Y09b	Y10b	Y11b	Y12b	Y13b	
【V3. 観測機器】(15)					【Z1. 銀河相互作用】(2)					
V309b	V310b	V311b	V312b	V313b	Z108b	Z109b				
V314b	V315b	V316b	V317b	V318b	【Z2. 高エネルギー宇宙ニュートリノ】(4)					
V319b	V320b	V321b	V322b	V323c	Z210b	Z211b	Z212b	Z214c		

【Z1. 銀河相互作用で理解する銀河の進化】

9月20日(木) 午後(13:30-15:30) [A会場]

Z101r	13:30	In-situ evolution of high-redshift galaxies	但木謙一 (国立天文台)
Z102a	14:06	How are supermassive black holes in galaxies fed?	Andreas Schulze (NAOJ)
Z103a	14:18	Possible galaxy evolution through their interactions with the intracluster medium	Liyi Gu (RIKEN)
Z104a	14:30	Molecular gas and Star Formation Properties in Early Stage Mergers: SMA CO(2-1) Observations of the LIRGs NGC 3110 and NGC 232	Daniel Espada (NAOJ)
Z105a	14:42	相互作用銀河 NGC 4567/4568 の分子ガス観測：分子雲衝突面と内部構造	金子紘之 (国立天文台)
Z106a	14:54	The changing molecular cloud population in galactic interactions	Alexander Robert Pettitt (Hokkaido University)
Z107a	15:06	ALMA OBSERVATIONS OF HCN AND HCO ⁺ OUTFLOWS IN THE MERGING GALAXY NGC 3256	道山知成 (総合研究大学院大学/国立天文台)
Z108b	15:18	The star formation properties of merging galaxies at $z < 2.5$ and separations 3-15 kpc	Andrea Silva (NAOJ)
Z109b	15:18	COSMOS 領域のバースト的な星形成を起こしている銀河の定量的指標による形態解析	樋本一晴 (愛媛大学)

9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [A会場]

Z110r	09:30	Galaxy interactions as triggers of star formation and nuclear activity	Junko Ueda (NAOJ)
Z111a	10:06	アンテナ銀河における巨大星団形成	柘植紀節 (名古屋大学)
Z112a	10:18	衝突合体銀河における星団の性質	松井秀徳 (旭川工業高等専門学校)
Z113a	10:30	子持ち銀河 M51 の相互作用領域に見られる HI ガス流	立原研悟 (名古屋大学)
Z114a	10:42	マゼラニックシステムの金属量の精密定量	山本宏昭 (名古屋大学)
Z115a	10:54	Possible evidence for HI colliding flows triggering high-mass stars in the Small Magellanic Cloud	福井康雄 (名古屋大学)
	11:06	全体討論	()

Z101r In-situ evolution of high-redshift galaxies

但木謙一（国立天文台）

Galaxy mergers/interactions can reasonably explain some observational results in high-redshift galaxies. At the peak of cosmic star formation history, massive galaxies are commonly forming stars with a star formation rate of more than $100 M_{\odot}\text{yr}^{-1}$. In the local Universe, we see such a starburst only in merging galaxies. A big difference between nearby and high-redshift star-forming galaxies is the fraction of gas mass. CO and dust continuum observations of high-redshift galaxies reveal that 30-50% of baryonic mass is molecular gas, which is by a factor of 3-5 higher than in nearby galaxies. The large gas reservoirs naturally explain the high SFRs without mergers. IFU observations of ionized gas also show that the majority of high-redshift galaxies has an ordered-rotating disk, rather than disturbed kinematics. High-redshift galaxies probably undergo major/minor mergers, but the role of mergers in the galaxy evolution is likely indirect unlike nearby galaxies. In this talk, I will review recent observational studies of high-redshift galaxies in terms of "in-situ evolution".

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z102a How are supermassive black holes in galaxies fed?

Andreas Schulze (NAOJ), John Silverman (Kavli IPMU), Takuma Izumi (NAOJ), Malte Schramm (NAOJ), Knud Jahnke (MPIA), Toru Nagao (Ehime University)

How to efficiently feed a supermassive black hole (SMBH) in the center of a galaxy in order to produce the enormous energy output observed in quasars is a key open problem. Possible mechanisms to provide gravitational torques that can transport gas to the nuclear region are major, gas rich galaxy mergers or internal 'secular' processes. Recent observations have shown that major mergers are not the dominant mechanism to trigger AGN activity even for massive black holes. Multi-scale hydrodynamical simulations rather suggest that secular processes may also be effective in massive AGN. A key prediction of such a scenario is that the central sub-kiloparsec gas surface-density is a decisive parameter for fueling supermassive black holes, implying a significantly enhanced gas surface density within the central ~ 300 pc region, in excess of $\sim 10^{10} M_{\odot} \text{ kpc}^{-2}$.

We here present new ALMA observations to observationally test this hypothesis for the first time. We present high angular resolution data of the CO(2-1) line for 5 nearby, massive and high accretion rate AGN and 5 matched (star forming) comparison galaxies. We find consistent sub-kpc gas masses and gas surface-densities for our luminous QSO sample and the comparison galaxy sample, with gas surface-densities $\sim 10^9 M_{\odot} \text{ kpc}^{-2}$. Our results do not support the picture of central gas surface-densities as the main driver of AGN activity in massive black hole systems. They rather suggest that quasars can be widely triggered in normal galaxies as long as they contain abundant gas.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z103a Possible galaxy evolution through their interactions with the intracluster medium

Liyi Gu (RIKEN), Kazuo Makishima (Department of Physics, University of Tokyo)

Why galaxies evolve differently in- and out-side clusters? The fraction of gas-rich and star-forming galaxies increases with redshift in the core of rich clusters; while such phenomenon is not found in low-density regions. Answering this question requires a fundamental understanding of the interaction between galaxies and the cluster environment, in particular with the hot intracluster medium (ICM).

We will review our discoveries on the galaxy-ICM interaction in mainly two aspects: (1) affected by the ICM ram pressure, gas from galaxies are stripped out, which in turn boosts turbulence in the ICM [1]. (2) by strongly interacting with the ICM, galaxies are falling towards the cluster center, the dynamical energy is dissipated and converted into heating of the ICM on a cosmological timescale [2,3].

New supporting evidence was obtained from the Hitomi observation of the Perseus cluster. The high-resolution X-ray spectroscopy with Hitomi reveals a flat gas motion field of 150-200 km/s in the Perseus core [4], which is roughly consistent with that triggered by accretion of member galaxies [5,6]. However, the Hitomi data alone are not enough to isolate the galaxy contribution, a full understanding of the galaxy-ICM interaction will wait for the future joint X-ray and optical high-resolution spectroscopic study.

References: [1] Gu, L. et al. 2013, ApJ, 777L, 36; [2] Gu, L. et al. 2013, ApJ, 767, 157; [3] Gu, L. et al. 2016, ApJ, 826, 72; [4] Hitomi collaboration 2016, Nature, 535, 117; [5] Makishima et al. 2016 ASJ autumn, T08a; [6] Makishima et al. 2017 ASJ autumn, T02a

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z104a **Molecular gas and Star Formation Properties in Early Stage Mergers: SMA CO(2–1) Observations of the LIRGs NGC 3110 and NGC 232**

D. Espada, R. Kawabe, D. Iono (NAOJ, SOKENDAI), S. Martin (JAO, ESO), S. Verley (University of Granada), S. Matsushita, P.Y. Hsieh (ASIAA), M. Argudo-Fernández (Universidad de Antofagasta), Z. Randriamanakoto (University of Cape Town), A. R. Pettitt (Hokkaido University), R. E. Miura (NAOJ), T. Saito (MPIA), Y. Wakana (Japan Women's University), J. Sabater (University of Edinburgh), L. Verdes-Montenegro (IAA-CSIC), P. T. P. Ho (ASIAA, EA Observatory)

Mergers of galaxies are an important mode for galaxy evolution because they serve as an efficient trigger of powerful starbursts. However, observational studies of the molecular gas properties during their early stages are scarce. We present CO(2–1) maps of two luminous infrared galaxies (LIRGs), NGC 3110 and NGC 232, obtained with the Submillimeter Array (SMA) with ~ 1 kpc resolution. While NGC 3110 is a spiral galaxy interacting with a minor (14:1 stellar mass) companion, NGC 232 is interacting with a similarly sized object. We find that such interactions have likely induced in these galaxies enhancements in the molecular gas content and central concentrations, partly at the expense of atomic gas. The obtained molecular gas surface densities in their circumnuclear regions are $\Sigma_{\text{mol}} \gtrsim 10^{2.5} M_{\odot} \text{pc}^{-2}$, higher than in non-interacting objects by an order of magnitude. Gas depletion times of 0.5–1 Gyr are found for the different regions, lying in between non-interacting disk galaxies and the starburst sequence. It is remarkable that such a minor interaction on NGC 3110 has triggered the formation of a large number (>350) of super star clusters (SSCs).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z105a 相互作用銀河 NGC 4567/4568 の分子ガス観測：分子雲衝突面と内部構造

金子紘之 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所), 久野成夫 (筑波大学), 斎藤貴之 (東京工業大学)

銀河間相互作用は様々な銀河の性質を変化させることが知られている。その中でも、衝突による星形成活動の活発化現象は、銀河進化を考えるうえでも重要な特徴のひとつである。相互作用銀河での活発な星形成は古くから知られているが、原因についてはまだ十分な理解がなされているとはいえない。星形成活動の活発化がいかんして生じているのかを理解するためには、星形成の原料である分子ガスが相互作用を受けてどのような変化を起こすのかを明らかにする必要がある。

NGC 4567/4578 ペアは、距離 16Mpc と比較的近傍で、ほぼフェイスオン同士の銀河がぶつかり始めた段階にある相互作用銀河である。銀河が重なり合う領域で星形成効率が高く、全ガス量に占める分子ガスの割合も高いことから、衝突によって星形成が誘発されている可能性が示唆される。そこで、我々は ALMA による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 高空間分解能 ($2''$) 撮像観測を行った。これにより、銀河が重なり合う領域に、母銀河の分子ガスディスクをつなぐように大きな速度幅を持つ構造があることを見出した。これは銀河の分子ガスディスク同士が衝突した場所であることを示しており、この構造は $1.8\text{kpc} \times 350\text{pc}$ の巨大なフィラメント状に広がっている。フィラメントは、少なくとも 4 つの $\sim 30\text{pc}$ スケールで $10^{5-6} M_{\odot}$ を持つ分子雲を内包しており、これらは重力的に束縛されている。以上の描像は、シミュレーションによる予測と非常に良い一致を見せており、相互作用銀河にしばしば見られる広がったスターバーストは、このような分子ガスを母体として生じ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](#)

Z106a The changing molecular cloud population in galactic interactions

Alex R. Pettitt (Hokkaido University), Fumi Egusa (NAOJ), Clare L. Dobbs (University of Exeter), Elizabeth J. Tasker (JAXA), Asao Habe (Hokkaido University) and Yusuke Fujimoto (Australian National University)

With the advent of modern observational efforts providing extensive giant molecular cloud catalogues, understanding the evolution of such clouds in a galactic context is of prime importance. While numerous previous numerical and theoretical works have focused on the cloud properties in isolated discs, few have looked into the cloud population in an interacting disc system. We present results of the first study investigating the evolution of the cloud population in galaxy experiencing an M51-like tidal fly-by using numerical simulations including star formation, interstellar medium cooling and stellar feedback. We see the cloud population shift to large unbound clouds in the wake of the companion passage, with the largest clouds appearing as fleeting short-lived agglomerations of smaller clouds within the tidal spiral arms, which are sheared apart as they leave the spiral arms. Clouds appear to lead diverse lives, even within similar environments, with some being born from gas shocked by filaments streaming into the spiral arms, and others from effectively isolated smaller colliding pairs. Overall this cloud population produces a shallower mass function than the disc in isolation, especially in the arms compared to the interarm regions. Direct comparisons to M51 observations show similarities between cloud populations, though models tailored to the mass and orbital models of M51 appear necessary to precisely reproduce the cloud population.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z107a ALMA OBSERVATIONS OF HCN AND HCO⁺ OUTFLOWS IN THE MERGING GALAXY NGC 3256

Tomonari Michiyama (SOKENDAI/NAOJ), Daisuke Iono (SOKENDAI/NAOJ), Kazimierz Sliwa (MPIA), Alberto Bolatto (University of Maryland), Kouichiro Nakanishi (SOKENDAI/NAOJ), Junko Ueda (NAOJ), Toshiki Saito (MPIA), Misaki Ando (SOKENDAI/NAOJ), Takuji Yamashita (Ehime University), Min Yun (University of Massachusetts)

Galactic-scale molecular gas outflow is an important phenomenon as a feedback mechanism in galaxy evolution scenario. We report ALMA detection of dense molecular gas outflow traced by HCN and HCO⁺ from the nearby merging double-nucleus galaxy NGC 3256. The southern nucleus is believed to be a low-luminosity AGN and northern nucleus shows no obvious signs of AGN. We find that HCN (1–0) and HCO⁺ (1–0) outflow is from the southern nucleus, which is possibly associated with radio jet. On the other hand, the same lines were undetected in the outflow region associated with the northern nucleus. In the southern nucleus, the HCN⁺ (1–0)/CO (1–0) line ratio (i.e. dense gas fraction) and the CO (3–2)/CO (1–0) line ratio are both larger in the southern outflow than in the southern nucleus. Investigating these line ratios for each velocity component, we find positive gradient against velocity offset for the dense gas fraction and negative gradient for the CO (3–2)/CO (1–0). One possible scenario to explain these findings for southern outflow is a two-phase (diffuse and clumpy) outflow. Such outflow might be produced by an interaction between the jet and the interstellar medium possibly associated with shock and/or star formation along the outflow.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z108b The star formation properties of merging galaxies at $z < 2.5$ and separations 3-15 kpc

Andrea Silva (NAOJ), Danilo Marchesini (Tufts University), John Silverman (IPMU), Rosalind Skelton (South African Astronomical Observatory), Daisuke Iono (NAOJ), Nicholas Martis (Tufts University), Z. Cemile Marsan (York University), Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Gabriel Brammer (Space Telescope Science Institute), Jeyhan Kartaltepe (Rochester Institute of Technology)

We present a study of the influence of galaxy mergers at $0.3 < z < 2.5$ on star formation. Mergers are selected from the CANDELS/3D-HST catalog using the algorithm developed in Lackner et al 2014. The galaxy nuclei have projected separation between 3-15 kpc. We found no significant difference between the star formation activity in merging and non-merging galaxies and found that only 9% of the merging galaxies are starbursts based on their position in the star formation main sequence. The lower-mass members in the mergers have higher sSFR than their high-mass counterparts suggesting that merging has a more dramatic impact on the star formation activity in the low-mass companions. This sample of mergers is likely still in a early stage and are yet to reach the maximum level of star formation activity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z109b COSMOS 領域のバースト的な星形成を起こしている銀河の定量的指標による形態解析

樋本一晴, 鍛冶澤賢, 佐藤佑樹, 坂東卓弥 (愛媛大学), 谷口義明 (放送大学)

宇宙の階層的構造形成において、銀河は重力相互作用により合体を繰り返して進化してきた。銀河の合体が起こると、形態に大きな変化を生じさせると共に、バースト的な星形成活動を誘発すると考えられている。これまでに我々は、比較的古い星の多い銀河においてバースト的な星形成が起こると、静止系 B-V カラーがある程度赤いまま U-B カラーが青くなることを利用して、COSMOS 領域の $z = 0.2 - 1.0$, $M_V < -20(\text{mag})$ の銀河サンプルに対して、静止系 3400, 4200, 5200Å の 2 色図上で、バースト的な星形成を起こしている銀河を選出し、その存在割合が赤方偏移が 1 に近づくと共に、急激に増加することを発見した。しかし、このバースト的な星形成活動が何に起因しているのかについては明らかにされていない。本研究では、バースト的な星形成活動の原因として銀河同士の相互作用/合体がどの程度寄与しているのかを調べるために、上記の 2 色図上で分類された銀河のうち、ハッブル宇宙望遠鏡の I_{F814W} バンドデータが静止系 B バンド帯に相当する $z = 0.7 - 0.9$ の 8900 天体に対して、我々が考案した中心表面輝度比の指標と既存の指標を組み合わせた形態解析を行った。その結果、バースト的な星形成を起こしている銀河は、通常の星形成銀河と比べて、非対称で複数部分に分かれた形態の銀河の割合が有意に高く、これらのバースト的な星形成活動の多くには銀河の相互作用/合体が寄与していることが示唆された。一方で、強いバルマーブレークを利用して同じ 2 色上で分類された星形成活動が急激に止まりつつある状態の銀河は、通常の星形成銀河の形態と区別がつかないことから、その多くは相互作用/合体によるバースト的な星形成を起こした後の状態ではなく、通常の星形成銀河が急に星形成を止めた状態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](#)

Z110r Galaxy interactions as triggers of star formation and nuclear activity

Junko Ueda (NAOJ)

Galaxy interactions and mergers have long been thought to play an important role in galaxy formation and evolution. Quantifying the impact of galaxy interactions on star formation histories is key to understand how galaxies, in particular massive galaxies, were assembled. This topic is intensively investigated, thanks to new capabilities of telescopes and new numerical simulations with unprecedented high spatial resolution. The connection between galaxy interactions and nuclear activity has also been discussed. Simulations have shown that galaxy collisions trigger gas inflows which can feed an active galactic nucleus and nuclear starburst. Although evidence for gas inflows on galactic scales has been discovered in neutral and ionized gas, there have been few observational confirmations of gas inflows at scales smaller than 100 pc. I will introduce examples of recent observational studies on local mergers, including our project using ALMA data of the Antennae galaxies, and discuss the impact of galaxy interactions on star formation and nuclear activity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z111a アンテナ銀河における巨大星団形成

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

巨大星団形成機構の解明は、銀河進化を理解するうえで非常に重要である。これまで我々は大マゼラン雲に着目し、小マゼラン雲との潮汐相互作用に起因する銀河スケールのガス衝突が、R136 ($M \sim 10^5 M_{\odot}$) をはじめとする銀河全面の巨大星団形成に重要な役割を果たしていることを示した (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2018 submitted).

アンテナ銀河 (NGC4038 / NGC4039) は最も有名な相互作用銀河としてよく知られている。2つの銀河の衝突領域には星団総数の約 40% が集中している (Zang et al. 2001; Wilson et al. 2003)。衝突領域へのガスの集中は銀河衝突に起因すると考えられていおり、付随する超巨大分子雲複合体 (SGMC) は特定されている (Whitmore et al 2014)。しかし、星団からの feedback によるガス加速のみが議論されており、銀河衝突と星団形成の関係について観測的な証拠は示されていなかった (Herrera et al. 2017)。

そこで我々は、星団質量 $\sim 10^7 M_{\odot}$ かつ、年齢の若い (1–3.5 Myr) 巨大星団 B1 が位置する衝突領域南部に着目した (Whitmore et al. 2010)。ALMA cycle 0 の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 観測データを再解析し、空間・速度構造を詳細に調べ、星団に付随する SGMC1–5 の物理量を求めた。その結果、典型的な質量は、 $\sim 10^7 M_{\odot}$ 、サイズは ~ 400 pc であった。また 5 つの巨大星団 (B1, C, D, D1, D2) 方向で分子雲同士が超音速衝突している証拠 (相補的な空間分布、速度空間上でのブリッジ成分) を見いだした。また各衝突分子雲の射影された相対速度差は $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ である。このガスの運動は stellar feedback のエネルギーでは説明できない。さらに、衝突のタイムスケールを見積もり、星団の年齢と矛盾しないことを確かめた。以上の成果に基づいて、本講演では銀河間相互作用が誘発した分子雲衝突によりアンテナ銀河の巨大星団が形成された可能性を提案する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z112a 衝突合体銀河における星団の性質

松井秀徳（旭川高専/東京大学）、谷川衝（東京大学）、斎藤貴之（東京工業大学）

銀河衝突合体は銀河形成を理解する上で極めて重要な過程である。銀河衝突合体を理解するために、これまで多くのシミュレーションがおこなわれてきたが、質量・空間分解能が極めて低く（SPH 質量が $10^{5-6} M_{\odot}$ 、重力ソフトニング長が 100 pc）、 10^4 K の等温ガスまたは 10^4 K 以下の放射冷却を考慮しない星間ガスモデルを用いていたため、観測から示唆される銀河衝突時の空間的に広がった星・星団形成を再現することができなかった。

そこで、これまで我々は並列化 Tree+GRAPE N-body/SPH “ASURA” を用いて、質量・空間分解能を高くし（SPH 質量が $7.5 \times 10^3 M_{\odot}$ 、重力ソフトニング長が 5 pc）、 $10 \text{ K} < T < 10^8 \text{ K}$ のガスの多層構造を分解したより現実的な星間ガスモデルを使ってシミュレーションをおこなった。その結果、銀河衝突合体過程において、 $10^8 M_{\odot}$ を超える超大質量星団が銀河中心から数 kpc の領域に複数個形成されることを明らかにした。また、これらの特徴は、近傍で観測されている複数個コアを持つ超高光度赤外線銀河の特徴と一致しており、1 回の銀河衝突合体でこれらの銀河の形成を説明できることを示した。超大質量星団は、周囲の星からの力学的摩擦を受けて数 100 Myr のタイムスケールで銀河中心に落ちる。

本研究では、生き残った $10^{5-7} M_{\odot}$ の星団に注目し、上記シミュレーションデータを解析した。その結果、merger remnant に ~ 50 個の星団を同定した。星の分布が銀河中心に集中するのに対し、多くの星団は銀河中心から数 kpc のところに分布することがわかった。これは多くの星が銀河中心に流れてきたガスから生まれるのに対し、星団は衝突時の空間的に広がった衝撃波から形成されるからである。さらに、銀河中心から 10 kpc 離れた領域に 2 つの星団を発見した。本講演では、主に merger remnant の星団の分布、質量関数、年齢について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z113a 子持ち銀河 M51 の相互作用領域に見られる HI ガス流

立原研悟, 佐野栄俊, 柘植紀節, 福井康雄 (名古屋大学)

子持ち銀河として知られる M51a (NGC 5194) は、その伴銀河 M51b (NGC 5195) との相互作用が顕著に見られる銀河で、両者は数十億年後には合体すると考えられている。両者の間をつなぐブリッジ構造のガス流を調べるため、VLA の THINGS アーカイブデータを解析し、HI ガスの空間・速度構造を調べた。

これまでにシミュレーションなどによる研究から、両者の軌道運動が推定され、M51b が後方から M51a に近づいてきていることが知られている (Dobbs ほか 2010)。M51a の渦状腕から M51b に伸びる構造は、M51b に対してダークレーンとして観測され、ダストを多く含む星間物質が前面から M51b の東側に流れ込んでいるように見える。この構造に沿って分子雲が観測され (Vlahakis ほか 2013)、またいくつかの HII 領域が存在することが知られている (Petit ほか 1996)。分子ガスの速度は、M51a の回転運動と概ね調和的である。

一方 HI ガスはダークレーンに沿った構造に加え、大きく赤方偏移し、速度分散も大きな成分が、M51b の東に薄く広がっている。速度差は $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ におよび、M51b との潮汐相互作用により、大きく加速されていることがわかる。M51b 自体は数 10 億年以上の年老いた星が多く、ガス質量も比較的少ない銀河であるが、M51a との相互作用によりガスを獲得し、大きな速度で落下する HI 雲との衝突により、再び星形成の活動性が高まったと考えられる。銀河の星形成史において、外部からの間欠的なガス供給が大きな影響を与えることを示す好例であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z114a マゼラニックシステムの金属量の精密定量

山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

マゼラニックブリッジ (MB)、マゼラニックストリーム (MS)、リーディングアーム (LA) は大小マゼラン雲の潮汐相互作用によって形成されたと考えられている (Fujimoto & Sofue 1976 他)。我々から最も近傍にある銀河間相互作用によって形成されたシステムであるため、詳細な研究が可能である。近年、可視光や紫外線の吸収線の観測によって金属量探査が行われ、MB、MS、LA の起源が観測的に明らかになってきた (Fox et al. 2013 他)。しかし、マゼラニックシステム (MSy) は差し渡し 200 度にわたる巨大なシステムであるにもかかわらず、吸収線の観測はわずか 10 点程度のみであるため、システム全体にわたる金属量の分布は明らかになっていない。

我々は MSy 全体の金属量分布を特定し、銀河間相互作用の実態を明らかにするため、中性水素原子 (HI) の 21cm 線と Planck/IRAS 衛星のデータから導出された星間ダストのパラメータを用いた解析を行ってきた (山本他 2018 年春季年会)。これまで前景成分の HI はすべて光学的に薄いとして、Fukui et al. (2015) で得られた $W_{\text{HI}}=1.15 \times 10^8 \times \tau_{353}$ を用いて差し引きを行ってきた。今回、この前景成分の差し引きをさらに詳細に検討した。MSy 及びその周辺領域を銀緯ごとに区切り、それぞれ銀河系内の成分のみの方向と MSy 方向で W_{HI} と τ_{353} を比較した。その結果、前景成分にはどの銀緯においても光学的に厚い HI ガスが存在しており、従来の方法では定量の精度が出ないことが分かった。さらに MSy 方向ではプロットが複数の成分に分離し、 W_{HI} (銀河系内成分)/ W_{HI} (MSy 成分) 比が 10 程度以上の点の分布と銀河系内の成分のみの分布が一致した。これは銀河系内の成分は MSy 方向と周辺方向で同じ性質であり、周辺方向で導出した W_{HI} と τ_{353} の関係性を、MSy 方向に適用して銀河系内成分を差し引きできることを意味する。本講演ではこの結果も含め、精密定量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](#)

Z115a Possible evidence for HI colliding flows triggering high-mass stars in the Small Magellanic Cloud

Yasuo Fukui, Kisetsu Tsuge, and Kengo Tachihara, Nagoya University

We present a new analysis of the HI gas in the SMC. The HI data are obtained with the ATCA and Parkes telescope at a resolution of 90 arcsec by Stanimirovic et al. (2003). In the previous study, the whole complicated HI emission was considered to be a single velocity component and rotation of the galaxy was derived. Recently, in two high mass star formation regions R136 and N44 of the LMC, a model of two converging HI flows was presented by Fukui et al. (2017) and Tsuge et al. (2018), and these authors suggested that the high mass star formation was triggered by the strong compression in the collision of the HI gas. High mass star formation in the SMC is most active in the southwest of the SMC where NANTEN revealed a group of CO clouds (Mizuno, N. et al. 2001). In this paper we present a model that HI converging flows observed triggered the formation of high-mass stars in the southwest region. The origin of the collision is the tidal interaction driven by a close encounter of the LMC and the SMC some 0.2 Byrs ago as in case of the LMC. The relative velocity between the two components is 40 km s^{-1} on average and the collision time scale is estimated to be $\sim 1 \text{ Myr}$. This triggering formed more than 50 OB stars in the SMC. If the present model is correct, this support an idea that galactic tidal interactions are a crucial process in high mass star formation in dwarf galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z2. 高エネルギー宇宙ニュートリノから展開するマルチメッセンジャー天文学】

9月19日(水) 午前(11:00-13:12) [A会場]

Z201r	11:00	ニュートリノアラート IC170922A から始まるマルチメッセンジャー天文学	石原安野(千葉大学)
Z202a	11:36	ARA ニュートリノ望遠鏡で探る超高エネルギー深宇宙	間瀬圭一(千葉大学)
Z203r	11:48	マルチメッセンジャー観測で迫る高エネルギーニュートリノの起源天体	村瀬孔大(ペンシルベニア州立大学)
Z204r	12:24	高エネルギーガンマ線による IceCube ニュートリノ事象の追観測	林田将明(甲南大学)
Z205a	13:00	ブレーザー TXS 0506+056 における高エネルギーガンマ線放射・ニュートリノ放射・宇宙線加速について	井上進(理化学研究所)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [A会場]

Z206a	09:30	多波長可視偏光同時観測で探るブレーザー天体の放射機構	伊藤亮介(東京工業大学)
Z207a	09:42	低輝度ガンマ線バーストからのニュートリノ放射	坂本貴紀(青山学院大学)
Z208a	09:54	高エネルギー宇宙ニュートリノ超新星起源説の観測的検証方法	田中雅臣(東北大学)
Z209a	10:06	GRAINE 計画と 2018 年気球実験	高橋覚(神戸大学)
Z210b	10:18	ブレーザー TXS 0506+056 の電磁波・ニュートリノ放射のハドロン成分卓越モデル	井上進(理化学研究所)
Z211b	10:18	IceCube イベントの可視近赤外追観測における新天体自動検出の一考察	山崎優衣奈(広島大学)
Z212b	10:18	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡を用いた対応天体探査の可能性について	米倉覚則(茨城大学)
Z213a	10:30	大学 VLBI 連携観測網による突発天体の追観測体制	青木貴弘(山口大学)
Z214c		光・赤外線天文学大学間連携による IceCube アラート対応	諸隈智貴(東京大学)
Z215r	10:42	光学近赤外線における高エネルギーニュートリノ対応天体の追観測	山中雅之(広島大学)
	11:18	全体討論	()

Z201r ニュートリノアラート IC170922A から始まるマルチメッセンジャー天文学

石原安野 (千葉大学)

ニュートリノは、遠方の高エネルギー宇宙の情報をより直接的に運ぶことができるため高エネルギー宇宙のメッセンジャー粒子として重要な性質を持つ。これは、超高エネルギーになると宇宙背景放射・光と相互作用を起こしそのエネルギーを減衰させてしまうガンマ線や、電荷を持ち未知の磁場によりその軌跡を曲げられてしまう宇宙線とは大きく異なる性質である。2011年、南極点に完成した南極氷河チェレンコフ・ニュートリノ検出器 IceCube ニュートリノ望遠鏡は世界で初めて1立方キロメートルの検出器容量を達成した。日本にあるスーパーカミオカンデ実験の約2万倍の容量を持つニュートリノ検出器である。希少な高エネルギーニュートリノによる宇宙での高エネルギー現象の解明を目指し2011年5月から本格稼働が始まり現在まで年間を通し98%以上の稼働率で安定してデータの取得を行うと共に、2016年の5月より高エネルギーニュートリノ到来情報をリアルタイムで他の望遠鏡に送る宇宙ニュートリノアラートシステムの本格運用が始まった。これはニュートリノ到来領域を幅広いエネルギー帯の望遠鏡により調べることから対応天体の同定を目指すものである。2017年9月22日に IceCube 日本グループが開発した超高エネルギーニュートリノアラートから発せられた IceCube-170922A の追観測からは、ニュートリノ到来方向誤差領域内での明るいブレーザーの観測が地上・宇宙ガンマ線望遠鏡から報告されニュートリノ対応天体同定に向けた議論が進んでいる。本講演では、IceCube 実験によるニュートリノアラートシステムについて解説し、IceCube-170922A 事象を含むニュートリノをトリガーとしたマルチメッセンジャー観測の現状について報告する。また、IceCube データからのニュートリノ天体探査の最新結果及び、今後の計画として進行中である IceCube-Gen2(Phase-1) 計画について紹介し、今後の方向性についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z202a ARA ニュートリノ望遠鏡で探る超高エネルギー深宇宙

間瀬圭一, 石原安野, 久留須賢太郎, 吉田滋, Simon Archambault, Kim Myoungchul (千葉大学), 他
ARA Collaboration

昨今のIceCubeによる高エネルギーニュートリノの観測およびAdvanced LIGO、Virgoによる重力波の観測によりマルチメッセンジャー天文学が開花しようとしている。IceCubeは宇宙由来のニュートリノを観測し、そのエネルギーは約数PeV (10^{15} eV) に及ぶ。その起源に関しては徐々に制限が付いて来ているものの、未だに良く分かっていない。その一方、AugerやTelescope Arrayにより 10^{19} eVを超える宇宙で最もエネルギーの高い粒子(宇宙線)が観測されている。この超高エネルギー宇宙線の起源も未だに良く分かっておらず、またその粒子の組成も良く分かっていない。このようにエネルギーの高い宇宙線はその伝搬過程において必ず宇宙背景放射と相互作用し、 10^{18} eV程度のニュートリノを生成する。この超高エネルギーのニュートリノを観測する事により、未だ謎に包まれた超高エネルギー宇宙線の起源に迫る事ができる。IceCubeによる今までの観測ではこの様にエネルギーの高いニュートリノは観測されておらず、その検出にはより感度の高い望遠鏡が必要となる。我々は現在、南極に100 PeV以上のエネルギー領域においてIceCubeの約10倍の感度を持つニュートリノ望遠鏡、Askaryan Radio Array (ARA)を建設中である。完成時37ステーションのうち現在5ステーションが稼働中であり、 10^{18} eVにおける感度はIceCubeと同程度となっている。感度の高い望遠鏡を安価に作るために我々はニュートリノが反応した際に発せられ、Askaryan効果により増幅された電波信号を利用する。100 PeV以上のエネルギーのニュートリノからの電波信号はIceCubeが観測するようなチェレンコフ光を凌駕する。本講演では、千葉大学で行っているアンテナを含む装置の較正結果を含めた計画の現状を紹介すると共に、ARAが切り開く超高エネルギー領域におけるニュートリノ観測の意義を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z203r マルチメッセンジャー観測で迫る高エネルギーニュートリノの起源天体

村瀬孔大 (Pennsylvania State University)

南極に建設された IceCube ニュートリノ観測所によって 2012 年に高エネルギーニュートリノが発見されて以来その起源は謎に包まれている。しかしながら、高エネルギーニュートリノ事象の統計も増えてきたことや、ガンマ線や宇宙線の観測と組み合わせたマルチメッセンジャー的手法によって、重要な示唆が得られつつある。また、ガンマ線バーストや超新星、活動銀河核からのフレア現象などの突発現象からのニュートリノ検出を目的として、ニュートリノの到来方向を多波長で素早く追観測する試みが近年行われるようになり、それに付随した興味深い結果も報告されている。本講演では、高エネルギーニュートリノを巡る最近の話題を紹介し、マルチメッセンジャー天文学の観点から起源天体への理論的な示唆を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z204r 高エネルギーガンマ線による IceCube ニュートリノ事象の追観測

林田将明 (甲南大学)

高エネルギーガンマ線 (>100 MeV) 天体は既に数千に及ぶが、その放射起源は大きく分けて、高エネルギー電子による逆コンプトン散乱 (電子起源) と、陽子 (ハドロン) と周辺物質との相互作用により生じたパイ中間子の崩壊 (陽子起源) が挙げられる。しかし、『宇宙線起源の理解』へと繋がる陽子起源放射の観測的証拠は、銀河系内の数個の超新星残骸から確認されたのみである。特に銀河系外天体に関しては、相対論的ジェットを持つ活動銀河核 (ブレイザー、電波銀河) が第一の候補と言われるが、これまでの観測結果は電子起源のモデルで矛盾なく説明されている。一方で、高エネルギーニュートリノ放射は陽子起源に限られ、起源天体の特定は宇宙線起源の確固たる証拠となる。そのためにも、IceCube が観測した高エネルギーニュートリノ事象とフェルミガンマ線宇宙望遠鏡の観測に基づく各種のガンマ線天体との位置相関が調査されたが、肯定的な結果は得られていなかった。また、3時間で全天を観測できるフェルミ衛星の性能を生かし、2016年4月のIceCubeアラートシステム始動以降、全ての事象に対して対応天体探査されたが一向に見つからず、その起源に関して謎が深まっていた。

その状況を一変させたのが IceCube-170922A であり、到来方向誤差領域内に通常の約6倍明るくなっていたガンマ線ブレイザー (BL Lac 型) TXS 0506+056 がフェルミ衛星により観測され (ATel#10791)、初の高エネルギーニュートリノ天体の同定の可能性が盛んに議論されている。本講演では、IceCube ニュートリノ事象に対する高エネルギーガンマ線によるこれまでの追観測を振り返った後、ブレイザー TXS 0506+056 のガンマ線の振る舞いを詳細に報告し、また今後の「高エネルギーニュートリノ起源天体」の全容解明のため、ブレイザー以外の銀河系外高エネルギーニュートリノ起源天体の可能性を高エネルギーガンマ線探査の結果と共に議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z205a ブレーザー TXS 0506+056 における高エネルギーガンマ線放射・ニュートリノ放射・宇宙線加速について

井上進 (理研), Elisa Bernardini, Wrijupan Bhattacharya, Konstancja Satalecka (DESY), Fabrizio Tavecchio (INAF), 稲田知大, 岩村由樹, 久門拓, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 永吉勤, 野田浩司, Daniela Hadasch, 林田将明, 深見哲志 (東大宇宙線研), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東大宇宙線研, MPI for Physics), 窪秀利, 野崎 誠也, 平子丈, 増田周 (京都大), 神本匠, 櫛田淳子, 種田裕貴, 辻本晋平, 西嶋恭司 (東海大), 中森健之 (山形大), 他 MAGIC Collaboration

昨年、エネルギーが ~ 300 TeV のニュートリノが IceCube によって検出され、その対応候補天体として、ブレーザー TXS 0506+056 が明るい活動状態にあることが、Kanata、Fermi、MAGIC を含む多波長追尾観測によって明らかになった。このブレーザーが真のニュートリノ源である統計的信頼度は $\sim 3\sigma$ で、決定的とは言えない。また、多くの従来のモデルでは、TXS 0506+056 のような BL Lac 天体は、 $p\gamma$ 反応のターゲットとなる光子の密度が比較的低いため、有力なニュートリノ源とは考えられていなかった。

我々は、これらマルチメッセンジャー観測に対し、ガンマ線放射・ニュートリノ放射・宇宙線加速などの物理機構を精査した上で、無矛盾に解釈できる理論モデルを検討し、次の結論が得られた。1) ジェットの構造として、理論・観測双方で支持されている jet-sheath 構造を考慮することで、必要な $p\gamma$ 反応の効率が説明できる。2) MAGIC で観測された急な傾きを持つスペクトルは、 $p\gamma$ 反応に伴って必然的に起きる $\gamma\gamma$ 吸収の予想と一致しており、このブレーザーが真のニュートリノ源であることを裏付けている。本講演ではこの他、ガンマ線の external Compton 放射機構の重要性、陽子起源カスケード放射の寄与、加速陽子の最高エネルギー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](#)

Z206a 多波長可視偏光同時観測で探るブレーザー天体の放射機構

伊藤亮介, 橘優太郎 (東京工業大学), 山中雅之, 川端弘治 (広島大学), 諸隈智貴 (東京大学), 太田耕司 (京都大学)

ジェットを伴う活動銀河核は、粒子をほぼ光速まで加速する地上では現実不可能な規模の大加速器実験施設であり、ブレーザー天体はそのジェットを正面から観測している天体である。2017年9月のIceCubeによって検出された高エネルギーニュートリノイベントでは、時期、位置的に一致したブレーザー天体からのガンマ線フレアが観測され、高エネルギー粒子加速起源に迫る成果に注目が集まっている。しかし、ブレーザーにおける放射起源やその加速メカニズムには不明な点が多く、これらを明らかにするためには、ジェットからの主な放射であるシンクロトロン放射 (電波から可視, 軟 X 線) と逆コンプトン散乱もしくは陽子カスケードからの放射 (X 線/ガンマ線) の時間発展を精度よく調べる必要がある。近年、フェルミ・ガンマ線衛星や MAXI などの全天ガンマ線/X線検出器の活躍により、従来より高い感度での多波長観測が行えるようになり、地上望遠鏡との連携観測が活発に行われている。

本講演では我々のグループが進めてきた、光赤外線大学間連携/フェルミ・ガンマ線衛星を基軸とした多波長・偏光での時間変動観測によって得られたジェット中の放射領域の磁場構造や、その周辺環境解明に対する成果を紹介する。可視光帯域での変動機構では、従来より示唆されてきた高エネルギー電子注入だけでなく、ジェットの見かけ角変動によるフレアも報告されるようになり、ニュートリノイベントとブレーザーからのフレアとの関連を調べるうえで重要である。また、今後の高エネルギーニュートリノイベントに対するブレーザー天体フォローアップ観測計画についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z207a 低輝度ガンマ線バーストからのニュートリノ放射

坂本貴紀 (青山学院大学)

ガンマ線バースト (GRB) は高エネルギーニュートリノ源の候補天体として期待されている。GRB の放射はシンクロトロン放射であるため、主に電子が加速されていると考えられている。しかし、*Fermi* 衛星の LAT による GRB 観測からの GeV 領域のスペクトルでは、シンクロトロン放射では説明できないパワーロー成分が検出されており、この成分は陽子起源ではないかとも議論されている。もし、GRB で多くの陽子が電子同様に加速されているとすると、シンクロトロン放射によるガンマ線と陽子が相互作用し、高エネルギーニュートリノが生成される。しかし、2017 年に発表された IceCube による、過去 5 年間の観測データを用いた GRB と同期したニュートリノ放射の探査結果では、明らかに GRB と同期したニュートリノイベントはないというものであった。

一方、GRB には典型的な GRB よりも輝度が低い、低輝度 GRB (Low-luminosity GRB; LL-GRB) と呼ばれているものがある。LL-GRB の輝度は典型的な GRB に比べ 5 桁程低く、また、その発生レートも典型的な GRB に比べ 1 桁程高いという見積もりがある。LL-GRB は輝度が低いため、そもそも既存の GRB 観測装置での検出が難しく、観測例は多くないが、発生レートが高いとすると、現在観測されている拡散ニュートリノを説明するのに十分な天体となり得るといふ理論的研究もある。

本講演では、LL-GRB に焦点をあてて、LL-GRB の観測的な側面をレビューし、高エネルギーニュートリノ源として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](#)

Z208a 高エネルギー宇宙ニュートリノ超新星起源説の観測的検証方法

田中 雅臣 (東北大), 安田 直樹, 鈴木 尚孝, 高橋 一郎, 諸隈 智貴, 姜 継安 (東京大), 富永 望, 山口 正輝 (甲南大), 守屋 堯 (国立天文台), 他 HSC Transient WG

IceCube によって検出された高エネルギー宇宙ニュートリノの起源を明らかにするためには、電磁波による対応天体の同定が必要不可欠である。ガンマ線バーストがニュートリノの起源天体である可能性には強い観測的制限が得られている一方、相対論的ジェットが外層を貫通できなかった弱いガンマ線バーストや重力崩壊型超新星が起源天体である可能性は残されている。しかし、検出される高エネルギー宇宙ニュートリノを放つ天体は赤方偏移 $z > 0.5$ の遠方に存在する確率が高く、そのような遠方の超新星を対応天体として同定するには、(1) 観測の感度と (2) 無関係な天体の混入の2点が重要な問題となる。

我々は、すばる望遠鏡の戦略枠観測 (SSP) によって、主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を使った突発天体探査を行った。2016年11月から2017年4月の約半年にわたって COSMOS 領域 (Ultra-Deep layer 1.77 deg^2 、Deep layer 5.78 deg^2) を可視光5バンドで反復観測した結果、約1800天体の超新星を発見した。発見された超新星の赤方偏移は最大 $z = 1.4$ 程度、赤方偏移分布の中央値は $z = 0.85$ であり、IceCube ニュートリノの対応天体として遠方超新星を同定するための観測戦略を考える上で重要なサンプルとなっている。

本講演では、HSC-SSP 突発天体探査の結果を元に、高エネルギー宇宙ニュートリノの起源が超新星である説を観測的に検証する方法を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z209a GRAINE 計画と 2018 年気球実験

高橋 覚, 青木 茂樹, 尾崎 圭太, 吳坪 健司, 柴山 恵美, 鈴木 州, 立石 友里恵, 中村 崇文, 中村 元哉, 原俊雄, 松田 菫汰, 松本 明佳, 丸嶋 利嗣, 水谷 深志, 藪 美智, 山田 恭平 (神戸大学), 児玉 康一 (愛知教育大学), 池田 忠作, 濱田 要 (ISAS/JAXA), 伊代野 淳, 松川 秋音, 山本 紗矢 (岡山理科大学), 大塚直登, 岡田 晟那, 河原 宏晃, 駒谷 良輔, 小松 雅宏, 小宮山 将広, 佐藤 修, 鳥井 茉有, 長縄 直崇, 中野敏行, 中村 光廣, 中村 悠哉, 西尾 晃, 丹羽 公雄, 宮西 基明, 森下 美沙希, 森島 邦博, 吉本 雅浩, 六條宏紀 (名古屋大学)

我々は、高角度分解能および偏光観測を実現する大口径面積 ($\sim 10\text{m}^2$) エマルションガンマ線望遠鏡を開発し、長時間気球フライト繰り返しによる宇宙ガンマ線 (10MeV - 100GeV) 精密観測を目指す。この計画を GRAINE (Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion) 計画と呼ぶ。

例えば、エマルションガンマ線望遠鏡が持つ大集光面積 (10m^2)、広視野 ($> 2.2\text{sr}$, 17.5% of all sky)、高い角度分解能 ($1.0\text{deg}@100\text{MeV}$)、偏光感度、不感時間無しに基づき、突発発光天体に対して高い感度、高い光子統計 (エネルギースペクトル、光度曲線、偏光観測)、良い位置決め精度 ($\sim 0.1\text{deg}@100\text{photons}$) での観測が実現可能であり、マルチメッセンジャー天文学への貢献が期待できる。

これまでに、地上における研究開発、2011 年気球実験、2015 年気球実験をおこない、エマルションガンマ線望遠鏡気球実験による宇宙ガンマ線観測の実現可能性を拓いてきた。本講演では、GRAINE 計画の概要および現状、そして 2018 年気球実験について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z210b ブレーザー TXS 0506+056 の電磁波・ニュートリノ放射のハドロン成分卓越モデル

Matteo Cerruti (U. Paris), Andreas Zech, (Obs. Paris Meudon), 井上進 (理研), Catherine Boisson (Obs. Paris Meudon), Gabriel Emery, Jean-Philippe Lenain (U. Paris)

ブレーザーは、有望な高エネルギーニュートリノ放射源として長らく考えられてきた。IceCube によって検出された ~ 300 TeV のニュートリノの対応候補天体として、Kanata、Fermi、MAGIC を含む多波長観測によって、明るい活動状態にある BL Lac 天体 TXS 0506+056 が確認されたことは、高エネルギーニュートリノ源の解明に向けた重要な一歩となる可能性がある。

我々は、これらマルチメッセンジャー観測の無矛盾な解釈を目指し、ブレーザーで加速された電子・陽子に起因する放射成分を全て考慮した one-zone モデルを構築した。放射領域の磁場・ドップラー因子、電子・陽子のエネルギー分布などのパラメータを広い範囲に振って計算を行い、電磁波・ニュートリノ観測双方を再現できるモデルを吟味したところ、ガンマ線への寄与が 1) 陽子シンクロトロン成分と陽子カスケード成分の重ね合わせによるもの、2) シンクロトロン自己コンプトン成分と陽子カスケード成分の重ね合わせによるもの、の二通りに絞られることがわかった。本講演ではさらに、ジェット総エネルギー収支に基づく制限、予想される陽子の最高エネルギー、時間変動などを通じた今後の観測による検証方法などについて、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](#)

Z211b IceCube イベントの可視近赤外追観測における新天体自動検出の一考察

山崎優衣奈, 長嶋大樹, 森裕樹, 川端弘治, 中岡竜也 (広島大)

広島大学 1.5m かなた望遠鏡では、その高い機動力を生かした可視近赤外線域の観測を主に行っており、IceCube-170922A の追観測においても、増光したブレーザーを世界に先駆けて同定することに成功した。突発天体の観測では一般に早期からの追観測が重要となることが多いため、対応天体をすばやく同定する必要がある。本研究では、かなた望遠鏡を用いて様々な観測条件下で取得した可視光・近赤外線画像において、確度の高い新天体の検出条件を見出すことを目指し、どのような場合に誤検出や取りこぼしが発生するのかを調査した。かなた望遠鏡で得た超新星やブレーザーの画像をサンプルデータとし、SDSS や 2MASS カタログの画像と比較し、その超新星やブレーザーを変動天体として過不足なく検出する条件を調査した。その結果、変動天体として認識されない例として、適度に明るい星が少ない領域で星々の平均 S/N が悪いことから変動判定条件が甘くなり、変動したとみなされず、検出に至らなかった例が多くみられた。また、ごく近傍に広がった銀河や明るい光芒を持つ星が存在するため、検出された星像のパラメータが点光源らしくなくなったため宇宙線イベントのような疑似天体とみなされて検出されない例も比較的多くみられた。講演ではこれらの結果と推奨される検出条件について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z212b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡を用いた対応天体探査の可能性について

米倉 覚則, 齋藤 悠, 百瀬 宗武 (茨城大), 藤沢 健太, 新沼 浩太郎, 元木 業人, 青木 貴弘 (山口大), 岳藤 一宏 (情報通信研究機構), 他大学間連携 VLBI group

茨城大学が中心となって運用を行なっている国立天文台茨城観測局の2台の32メートル電波望遠鏡(日立アンテナ、高萩アンテナ)では、2台のアンテナの受信信号を相関処理する高感度電波連続波観測システムが運用を開始したので紹介する。以下の数値は典型的な実測値である。

- 即応性 (観測依頼を受けてからの時間) : 手動対応であるが、観測開始まで2時間。10分積分の観測を3-4回実施するため、観測終了まで3時間。強度を導出するまで現状では7時間程度必要(5時間程度まで短縮できないか検討中)。
- 感度 (10分積分、S/N 10) : ~5 mJy (6 or 8 GHz 帯)、~35 mJy (22 GHz 帯)。
- 視野 : 4分角程度 (6 GHz 帯 もしくは 8 GHz 帯)、1.5分角程度 (22 GHz 帯)。
- 6, 8, 22 GHz 帯の3帯域のうち、1つを選択し、512 MHz 帯域の信号を記録した後、相関処理を行う。
- 各々のアンテナには、低周波型 (6 GHz 帯と 8 GHz 帯をカバー)、高周波型 (22 GHz 帯をカバー) のいずれかの受信機が搭載されている。2台のアンテナに同じ型の受信機が搭載されている場合は、上記の時間で観測が可能である。異なる受信機が搭載されている場合は観測できない(受信機を交換するには数日必要であるため)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z213a 大学 VLBI 連携観測網による突発天体の追観測体制

青木 貴弘, 元木 業人, 新沼 浩太郎, 藤沢 健太 (山口大学), 米倉 覚則, 齋藤 悠, 百瀬 宗武 (茨城大学), 岳藤 一宏 (情報通信研究機構), 他大学間連携 VLBI group

大学 VLBI 連携観測網では、口径 30 m 級の大型電波望遠鏡数台 (茨城局、鹿島局、山口局) を用いた高感度・少数基線 VLBI による系統的なサーベイによって、コンパクトな中・高輝度電波源の大規模探査を計画しており、既に試験観測を行っている (元木、2018 年春季年会)。この観測モードの性能は次の通りである: 観測周波数 6 GHz, 8 GHz (帯域幅 512 MHz)、角度分解能 10–100 ミリ秒角 (赤方偏移 $z = 0.1$ で 20–200 pc に相当)、 10σ 検出感度 5 mJy @ 5 分積分 (輝度温度感度 10^6 K @ 10 ミリ秒角)。レーザーのようなコンパクトかつ高輝度の AGN の光度変動は本サーベイにおける重要な観測対象であり、また突発天体の追観測も随時実施している。

一般に VLBI は視野が非常に狭いため、ニュートリノイベントのように約 1 度という位置誤差の範囲を網羅的に掃天して天体同定することはできないが、誤差内にある複数の AGN を数時間内に観測することは可能である (e.g., Fujinaga et al. 2016)。こうして各 AGN に対し電波増光の有無を確認すれば、ニュートリノイベントの候補天体の絞り込みが期待でき、もし増光が確認できればイメージング観測を行うことで、高分解能な電波画像を得ることができる。ただし VLBI 観測データの解析では、各観測局で記録された数 TB のデータをストレージごと解析者に郵送して集約した後、処理することになる。それゆえ現状では、観測結果を得るためにおよそ 1 週間が必要であり、この解析時間の短縮が課題となっている。しかし、追観測そのものはアラートを受けて数時間内に実施することも可能であり、今後その体制を強化し即応性を高めていく。本講演ではマルチメッセンジャー観測網に寄与するべく、大学 VLBI 連携観測網の現状と、突発天体対応の体制について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z214c 光・赤外線天文学大学間連携による IceCube アラート対応

諸隈智貴 (東京大学), 太田耕司 (京都大学), 山中雅之, 川端弘治 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学),
光・赤外線天文学大学間連携

光・赤外線天文学大学間連携 (以後, 光赤外線大学間連携) は, 大学での観測天文学教育と研究を促進することを目指している. 大学共同利用機関である国立天文台と各大学が国内外に持つ中小口径望遠鏡を有機的に結び付けた観測ネットワークを活用し, 大型望遠鏡では達成困難な最先端の時間領域天文学を推進し, 新しい研究課題を創出するとともに, 大学の研究力強化に資するための枠組である. 現在, 国立天文台と9つの国内大学によって構成され, 日本国内のみならず南アフリカ・チリ・米国など経度・緯度方向に地球全体をカバーする観測網を構成している. 各大学により運用されている望遠鏡はすべて 1-2m 級望遠鏡であるが, 今年度中には京大 3.8m 望遠鏡 (せいめい望遠鏡) が加わる予定であり, その柔軟な運用体制により, 特に見かけで明るい突発天体に強みを発揮する.

2017 年度より始まった第 2 期光赤外線大学間連携では, その科学的な大目標の一つに高エネルギーニュートリノの起源天体同定を据え, 特に IceCube アラートに対応した追観測に力を入れている. 本講演では, 可視・近赤外で様々な機能 (撮像・分光・偏光・広視野等) を備えた本連携の望遠鏡群の特徴をまとめた上で, 特に, プレーザーや超新星を対応天体として想定した追観測戦略および IceCube-170922A を含むこれまでの追観測実績について紹介する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z215r 光学近赤外線における高エネルギーニュートリノ対応天体の追観測

山中雅之 (広島大学)

南極の氷床に設けられた IceCube 実験所によって sub PeV-PeV オーダーの高エネルギー宇宙ニュートリノの検出がなされている。超新星爆発や活動銀河核ジェット、ガンマ線バーストなどの突発現象に関連する理論モデルが、これらの高エネルギーニュートリノの起源として提唱されているが、いずれも十分な観測的証拠がない。2016年には IceCube が検出する事象に対して即応的なアラートが配信されるようになり、追観測が可能となった。

これを受けて日本の光赤外線グループも追観測体制を整えた。特に、活動銀河核ジェットモデルを検証する立場をとり、グループ独自の BROS カタログ (Itoh et al. in prep) によるブレーザー候補に対する追観測を重点的に行ってきた。ニュートリノ到来方向の平均的誤差円はトラックイベントでは1平方度程度であり、BROS カタログ中のブレーザーの数は平均的には5-10天体程である。ニュートリノ検出に同期した変動現象が発見されれば、ブレーザーシナリオを支持する強い状況証拠の一つとなる。

広島大学においては、BROS カタログを用いてかなた望遠鏡による候補天体の変動探査を行っている。また、中小口径望遠鏡を持つ光赤外線大学間連携においては、変動が見つかった天体について、光度や色、偏光度の変化を観測する体制を整備しつつある。その他にも、すばる望遠鏡における分光観測の準備も進めている。

また、今後はブレーザー以外のシナリオを検証するための観測も期待される。すばる望遠鏡 HSC や木曾シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen などの広視野撮像装置によって、無バイアスな高頻度掃天観測網が構築されつつある。また、稀と考えられるが、あるタイプの近傍超新星ならばニュートリノ事象の検出が期待され、近傍銀河カタログを使った観測も期待される。以上のような、光赤外線観測による起源天体へのアプローチについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【K. 超新星爆発】

9月20日（木）午前（10:06-11:30）[J会場]

K01a	10:06	重力崩壊型超新星爆発における停滞衝撃波復活に対する回転と磁場の影響	藤澤幸太郎（早稲田大学）
K02a	10:18	大質量星末期の外層におけるエネルギー散逸に対する外層の力学的応答と質量放出	大内竜馬（京都大学）
K03a	10:30	星周物質との衝突による相互作用によって光る超新星における光度曲線の研究	武井勇樹（東京大学）
K04a	10:42	IIP型超新星における偏光の起源：非球対称コア vs 星周ダスト散乱	長尾崇史（京都大学）
K05a	10:54	若い銀河に出現するIa型超新星の起源	岩田朔（東京大学）
K06a	11:06	超新星の第一原理シミュレーションで十分な量のニッケルは生成可能か？	諏訪雄大（京都産業大学）
K07a	11:18	超新星爆発時におけるプレソラーSiC粒子の形成	野沢貴也（国立天文台）

9月20日（木）午後（13:30-14:42）[J会場]

K08b	13:30	Ia型超新星に見られるintrinsic color diversityへの分光学的アプローチ	有馬宣明（東京大学）
K09b	13:30	重力崩壊型超新星爆発における定常計算のための非線形連立方程式を数値的に計算する革新的な手法	藤澤幸太郎（早稲田大学）
K10a	13:42	超高輝度超新星母銀河における隠された星形成	廿日出文洋（東京大学）
K11a	13:54	Dust Formation and Emission in Pulsar-Driven Supernova Remnants	Conor Omand（The University of Tokyo）
K12a	14:06	超高輝度超新星のフォールバック降着モデルの系統的調査	守屋亮（国立天文台）
K13a	14:18	Failed supernova 内部でのニュートリノ振動とその観測的特徴	財前真理（東京大学）
K14a	14:30	ニュートリノ球内部における核子散乱によるニュートリノスペクトルへの影響	加藤ちなみ（早稲田大学）

K01a 重力崩壊型超新星爆発における停滞衝撃波復活に対する回転と磁場の影響

藤澤幸太郎 (早稲田大学)、大川博督 (京都大学/早稲田大学)、山本佑 (早稲田大学)、山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発は、大質量星がその進化の最終段階で中心部に鉄コアを形成し重力崩壊によって引き起こされる現象である。重力崩壊後、コア密度が原子核密度に達すると重力崩壊は反跳し外向きの衝撃波が形成されるが、この衝撃波はエネルギーを失いコア内部で停滞し、停滞した衝撃波と降着流の定常的な系が実現される。この停滞衝撃波が何らかのメカニズムで復活し、外向きに動き出し星の表面に達すると超新星爆発となる。

停滞衝撃波復活のメカニズムとしては、中心部からのニュートリノによる衝撃波加熱が重要であると考えられている。ニュートリノ加熱に加えて、回転や磁場といった多次元的な効果も注目されており、これらの効果を取り入れた超新星爆発の多次元シミュレーションが行われている。一方でコア内部では、停滞衝撃波と降着流による定常的な系が実現されるため、定常解を求めることで停滞衝撃波復活の議論を行うことも可能である。Burrows & Goshy (1993) は定常球対称の仮定の下で停滞衝撃波と降着流の系の定常解を系統的に求め、ニュートリノ光度がある一定値、臨界光度を超えると定常解がなくなり、停滞衝撃波が復活しうることを示した。さらに Yamasaki & Yamada (2005) は、回転の影響を考えた軸対称二次元の定常解を求め、回転がある場合の臨界ニュートリノ光度は球対称の時に比べて減少することを示した。この結果は回転が停滞衝撃波復活を助長することを示している。

そこで本研究では、多次元の定常解を効果的に求める新しい数値計算手法を開発し、回転、さらには磁場を伴った停滞衝撃波と定常降着流の解をより広い範囲で系統的に計算しその影響を調べた。その結果、定常流や衝撃波に対する回転・磁場の影響は大きくないが、臨界光度は回転・磁場によって大きく減少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](#)

K02a 大質量星末期の外層におけるエネルギー散逸に対する外層の力学的応答と質量放出

大内 竜馬 (京都大学)、 前田啓一 (京都大学)

近年、様々な観測事実から、一部の大質量星は超新星直前に極めて高い質量放出率を示すことが明らかになってきた (Smith 2017)。その値は、通常の恒星風あるいは連星間相互作用では説明ができない。進化晩期の大質量星中心コアにおけるエネルギー生成および伝搬の理論研究が急激に発展しており、例えば流体力学的な重力波 (internal gravity waves) などにより、中心コアから外層底部へのエネルギー伝搬が効率的に起こる可能性などが指摘されている (Quataert & Shiode 2012)。

一方で、このような外層におけるエネルギー散逸に伴い、高い質量放出率が引き起こされるかは分かっていない。本研究の目的は、このような外層底部における持続的なエネルギー注入に対して、超新星親星の外層が力学的にどのように応答するか、またどのような質量放出が引き起こされるかを明らかにすることである。理論計算においては次元恒星進化計算コードである MESA を用い、様々な値のエネルギー注入率を外層底部に与え、動的な恒星進化計算を行った。

本計算により、エネルギー注入率の値によって以下の三つの場合があることが分かった。(I) エネルギー注入率が十分に低い場合、外層は力学平衡を保ったまま膨張し、質量放出は起こらない。(II) 逆に、エネルギー注入率が十分大きい場合は、外層のほぼすべてが、放出される。(III) 最後に、エネルギー注入率が上記 (I) と (II) の中間程度の場合、外層は振動し、これに伴い外層の一部が放出されることが分かった。以上のことから、観測されている激しい質量放出を説明するために必要な条件に付いて考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a 星周物質との衝突による相互作用によって光る超新星における光度曲線の研究

武井勇樹 (東京大学)

超新星は大質量の恒星がその一生を終える際に引き起こされる大規模な爆発現象である。そのうち、水素の輝線幅が極めて狭いものは特に II_n 型超新星と呼ばれる。II_n 型超新星は極めて高密度の星周物質を有しているため、放出されたエジェクタと相互作用を起こし、極めて薄く、冷却された層が形成される。II_n 型超新星は他の超新星に比べて明るく、長期間輝くという特徴があるため、宇宙遠方に出現した場合も観測が可能である。宇宙遠方の観測は初期宇宙を観測することになるため、II_n 型超新星の性質を理解することは初期宇宙の理解には必要不可欠である。将来ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が稼働することによってより遠方の II_n 型超新星の発見が期待されるため、事前に II_n 型超新星の光度曲線モデルを準備しておくことは宇宙初期の星形成について理解を深めるために極めて重要である。しかしながら、現在までに得られている理論的な光度曲線モデルは、相互作用を起こしている領域の幅を無視し、その領域の運動エネルギーのうち一定の割合が光度に変換されていると仮定したものであるため (Moriya et al. 2013)、その領域の構造を考慮した輻射を計算することができていない。

そこで、本研究ではより具体的に光度曲線モデルを構築することを試みる。星周物質とエジェクタが相互作用を起こしている領域に幅が存在していると仮定し、その領域からの輻射が冷却関数によって表現されるとして輻射を数値的に計算する。この輻射が光度として観測されるとして光度関数を計算する。輻射は相互作用が起きている領域の物理量に依存するため、その領域の速度・密度・圧力を、流体力学の方程式を解くことで求め、これらの物理量を元に光度を計算する。計算された光度を実際の観測データと合わせることで親星の質量放出率や運動エネルギーを求める。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04a IIP 型超新星における偏光の起源：非球対称コア vs 星周ダスト散乱

長尾崇史、前田啓一 (京都大学), 田中雅臣 (東北大学)

IIP 型超新星は最もありふれた超新星であり、多くの大質量星の最後の姿である。これらの超新星は、光度が一定のプラトー段階を経たあと、急激な光度の減光と共に偏光度の増加を示す。一般的には、光球が非対称な内側コアに到達することで、偏光の急激な増加が生じると考えられている (非球対称コアモデル)。この非対称性の情報は爆発メカニズムの制限に使われるため、偏光の起源の解明は爆発メカニズムの解明に繋がる重要な課題となっている。一方で、超新星 SN1987A の偏光を星周ダストによる散乱エコーで説明する試みもある (Wang & Wheeler 1996)。ダスト散乱により偏光したエコーは、超新星本体の光に比べ遅れて観測者に届く。超新星が急激に暗くなる際には相対的に散乱光の寄与が大きくなり、超新星としての偏光度が増加する。急激な減光期を示す IIP 型超新星において重要な効果となり得ることが期待される (ダスト散乱モデル) が、この偏光のメカニズムはこれまで IIP 型超新星を対象としては議論されてこなかった。本研究では、三次元輻射輸送計算を用いて、様々な分布と量の星周ダストをもつ IIP 型超新星における星周ダスト起源の偏光の時間進化を計算することで、ダスト散乱モデルの検証を行った。

その結果、IIP 型超新星の親星である赤色巨星から予想される量の星周ダストによる散乱エコーにより、偏光の特徴を説明できることを明らかにした。一方、分布に関しては非常に偏った空間構造を必要とする。また、ダスト散乱モデルで予想される偏光の波長依存性を定量的に調べることで、非球対称コアモデルから予想される偏光の波長依存性と異なることを明らかにした。これにより、多バンドの偏光観測から IIP 型超新星の偏光の起源を解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](#)

K05a 若い銀河に出現する Ia 型超新星の起源

岩田朔, 茂山俊和 (東京大学)

Ia 型超新星は、主に炭素と酸素からなる白色矮星が限界質量である Chandrasekhar 質量に近づくことで核反応が暴走し爆発に至る熱核暴走型超新星として知られている。熱核暴走型超新星の親星の起源については主に白色矮星と非縮退星の連星系において非縮退星から白色矮星への質量降着を考える Single Degenerate Scenario と、白色矮星同士の合体を考える Double Degenerate Scenario があり、現在も論争が続いている。また、熱核暴走型超新星ではあるが通常より暗い Iax 型超新星や、Chandrasekhar 質量を超えた白色矮星の爆発とみられる超新星も見つかってきている。それらは若い銀河の中に多く出現しているため、このような超新星の起源には大質量星が関係している可能性があるが、はっきりとしたことは分かっていない。

本研究では通常の Ia 型超新星に加え、Chandrasekhar 質量より重い Super-Chandrasekhar 白色矮星や軽い Sub-Chandrasekhar 白色矮星による Ia 型超新星、通常より暗い Iax 型超新星の起源への理解を深めることを目的とし、それらが若い銀河に多いことを踏まえ、中質量 (8-13 太陽質量程度) の恒星がヘリウム核をある程度形成した段階で水素の外層を失ったモデルを考える。外層を失った星の爆発としては重力崩壊型超新星爆発である Ib 型や Ic 型超新星爆発があるが、似たようなモデルから Ia 型超新星爆発に至る経路があるのかを探る。計算には、恒星進化コード MESA および原子核反応を考慮した流体力学のコードを用いる。

MESA を用いた計算により、水素の外層を失った星は、初期質量およびヘリウム核の質量の違いによってその後の進化経路が異なることがわかった。その中から、Ia 型超新星爆発に至る可能性のあるモデルについてダイナミクスの計算に移行して爆発するかどうかをみた。本発表では、これらの結果を詳しく示し、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](#)

K06a 超新星の第一原理シミュレーションで十分な量のニッケルは生成可能か？

諏訪雄大（京都産業大学）、富永望（甲南大学）、前田啓一（京都大学）

超新星爆発が計算機上で起こせるようになって久しい。しかし、いまだニュートリノ輻射流体計算による第一原理シミュレーションで得られる爆発エネルギー（ $\sim 10^{49-50}$ erg）が観測のそれ（ $\sim 10^{51}$ erg）に比して著しく小さい、いわば“爆発エネルギー問題”があることが広く知られるようになってきた。この爆発エネルギーの乖離はシミュレーションの精密化や長時間化を進めることでいつかは解消するのではないだろうか、という期待がされている。しかし、異なる可能性（つまり、質的に違う物理が働いているケース）も考えておくべきではないだろうか。

こうした懸念から、爆発エネルギーとは異なる指標の重要性をこの講演で触れたい。超新星の光度曲線から評価されるニッケル量である。ニッケル量は超新星の後期光度のみから測定できることが知られており、二つの観測量（光度曲線の幅、スペクトルの広がり）の組み合わせから推定される爆発エネルギーに比べて極めて不定性が小さい。また、ニッケルを生成するには十分内側で高温（ 5×10^9 K 以上）にする必要があり、衝撃波の形成直後の物理によって生成量が定まるため短時間計算だけで定量的に評価可能である。時間が経つと、衝撃波が膨張してしまいエネルギーを注入しても温度が上がらないためである。

数値計算および解析的モデルにより検証したところ、観測を説明する十分な量のニッケルを爆発的要素合成で生成するには、1秒以内に 10^{51} erg の爆発エネルギーを達成する強い爆発が必要で、現在の第一原理シミュレーションで報告されている数秒かかるような弱い爆発では観測との整合性が低いことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K07a 超新星爆発時におけるプレソーラー SiC 粒子の形成

野沢貴也 (国立天文台)

隕石中には、その同位体組成から超新星起源と考えられているプレソーラー SiC 粒子が存在する。しかしこれまでの理論研究において、超新星放出ガス中で SiC ダストの形成を実現した計算例は存在しない。この主な理由は、従来の研究では分子形成を考慮しておらず、原子ガスの直接的な付着のみでダストが成長すると仮定していることによる。つまりこの仮定の下では、Si と C が豊富な環境では、SiC ダストよりも凝縮温度が高い炭素質ダストが先に形成し炭素原子ガスを消費し尽くしてしまうため、SiC ダストの形成が阻害されてしまう。

実際には、ダスト凝縮温度 ($\sim 2000\text{K}$) 付近では、原子ガスの一部は化学反応を介して分子となっており、その分子がダスト形成の前駆物質として機能すると考えられる。そこで本研究では、SiC 分子から SiC ダストが形成されるという形成経路に則してダスト形成計算を実行し、SiC ダストの形成が実現されるかどうかを調べる。ダスト形成計算においては、従来の核形成成長理論を拡張し、二原子分子の形成、安定核の形成、ガスの降着によるダスト成長、ダスト同士の衝突合体によるダスト成長を世界で初めて首尾一貫して解いている。

計算の結果、膨張とともに冷却するガス中において、SiC 分子は 4000K くらいから形成され始め、 2000K では質量存在度にして 1% 程度にまで達することがわかった。その結果、炭素質ダストが高温で先に形成されても、ガス相に残っている SiC 分子を原材料として有意な量の SiC ダストが形成されることを明らかにした。ただし典型的な超新星放出ガスの物理環境では、形成される SiC ダストのサイズはプレソーラー SiC 粒子で測定されているものより小さい。つまり、 $0.1\mu\text{m}$ より大きい SiC ダストの形成には非常に密度の高い環境が必要であり、これは超新星放出ガスはクランプ状のガス塊を含んだ不均一な密度構造を持っていることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K08b Ia型超新星に見られる intrinsic color diversity への分光学的アプローチ

有馬宣明, 諸隈智貴, 土居守, 酒向重行, 大澤亮, 小島悠人, Jiang Jian, 一木真, 森田雅大 (東京大学), Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー

連星系にある白色矮星が起源とされている Ia 型超新星 (以降、SN Ia) は、爆発時の質量が一定 (理論限界質量 $1.4M_{\odot}$) であると考えられているため絶対光度がほぼ一定であり、非常に明るい ($M_V \sim -19.3$ mag) ことから、これまで遠方宇宙の距離指標として宇宙論研究に用いられてきた。しかし、その爆発シナリオは定まっておらず、また観測的な経験則として知られる、より明るい SN Ia ほど緩やかに減光する、という光度曲線に見られる関係 (=Phillips relation) も未だ物理的な理解がなされていない。

近年、Phillips relation を用いて明るさを揃えた SN Ia の中でも、本質的にカラーの異なる種族が存在していることが示唆されている (e.g., Takanashi et al. 2017; TAK17)。一方、Branch et al. 2009 では、極大期付近の吸収線 SiII(5750Å, 6100Å) の等価幅から分類を行ない、分光学的な性質の多様性に迫る研究がなされてきた。そこで我々はこの等価幅に着目し、過去の観測データを用いて、Hubble flow に対する母銀河の特異運動による距離測定の不定性が小さな (> 80 Mpc) サンプルから、明るさを揃えたサンプルのカラーのばらつきを調べた。すると等価幅分類による 2 種類が TAK17 に見られるカラーのばらつきとして現れる傾向が見えた。しかしこうした適度な距離の良質な分光サンプルは少なく、統計的な議論には少なくともあと 10 天体は必要であることがわかった。そこで我々は今年 9 月から本格的にスタートする、東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡/Tomo-e Gozen という広視野高速読み出しカメラによる超新星サーベイによってサンプル数を確保し、統計的な議論を進めていく予定であり、本講演ではそのサーベイについても合わせて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K09b 重力崩壊型超新星爆発における定常計算のための非線形連立方程式を数值的に計算する革新的な手法

藤澤幸太郎 (早稲田大学)、大川博督 (京都大学/早稲田大学)、山本佑 (早稲田大学)、山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発のコアで実現されている停滞衝撃波と降着流の系の定常解を求めるためには、境界条件を与えて非線形楕円型方程式を計算しなければならない。そのために一般的には、非線形偏微分方程式を差分化することで多数の非線形連立代数方程式に変換し、この非線形連立方程式を数值的に求める必要がある。

数值的に非線形連立方程式を計算する最も一般的な手法は、連立方程式のヤコビアンを用いるニュートンラプソン法 (NR 法) などの、初期推量から方程式を反復的に計算して解に収束させていく反復法である。NR 法は解の近傍では非常に良い収束性を示すが、初期推量が解近傍でないと収束しないという欠点があり、適切な初期推量を用意しなければならないという欠点がある。この NR 法の欠点は、例えば停滞衝撃波と降着流の系で定常解が無くなる臨界的な解を求め解析する必要がある時には致命的であり、解を系統的に計算するのは困難であった。

そこで我々は、従来の NR 法とは全く異なる新しい反復法、W4 法を開発した (Okawa et al. 2018)。NR 法などの従来の反復法では、一つ前の反復の値のみを用いる二項間漸化式に基づいているが、W4 法は二つ前の反復の値も用いる三項間漸化式に基づいており、NR 法のような解近傍での局所的な収束性を保持しながらも、NR 法にはない非常に広い初期条件から解に収束する大局的な収束性を持っている。今回はこの W4 法を停滞衝撃波と定常降着流の系に用いて解を系統的に求めることに成功したが、W4 法自体は NR 法のような一般的な手法であるため、多次元の星の定常解や天体からのウインドなど、反復法を用いている様々な系に適応可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10a 超高輝度超新星母銀河における隠された星形成

廿日出文洋 (東京大学), 富永望 (甲南大), 林将央, 松田有一 (国立天文台), 小西真広, 諸隈智貴 (東京大学), 諸隈佳菜 (ISAS/JAXA), 元木業人, 新沼浩太郎 (山口大), 田村陽一 (名古屋大)

近年、超新星の大規模探査が行われるようになり、通常の超新星と比較して10倍から100倍もの明るさの超新星が発見された。このような超新星は「超高輝度超新星 (Superluminous Supernova; SLSN)」と呼ばれ、これまで知られていなかった新たな種族として注目されている。SLSNの起源については多くのモデルが提唱されている状況で、モデルに制限を加えるためにはSLSNが発生する環境・母銀河を詳細に研究することが不可欠である。これまでの研究は可視光・近赤外線を用いて行われており、塵に隠された活動を探り正確な星形成率を求めるためには、塵の影響を受けない手法での観測が必須である。

我々は、SLSN母銀河における塵に隠された星形成活動を探るため、電波干渉計VLAを用いて8つの母銀河における3GHz帯連続波の観測を行った。ターゲットは、赤方偏移が分かっており、可視光観測での星形成率が求まっている母銀河の中から、電波観測で有意な制限を加えられる $z < 0.3$, 星形成率 $> 1M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ のものを選択した。観測の結果、4つの母銀河から有意な信号を検出した。2つの母銀河では、電波連続波から求めた星形成率が $> 20M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ となり、これまで知られている母銀河の中で最も高い値を持つことが分かった。電波観測と可視光観測から求めた星形成率を比較すると、3つの母銀河では電波での値が高く、塵に隠された星形成活動を示唆する結果となった。また2つの母銀河は、一般的な星形成銀河の星質量-星形成率の関係 (main sequence) よりも高い星形成活動を示し、スターバスト的な性質を持つ母銀河の割合が過去に知られていたよりも高いことが分かった。さらに今回の観測では、準定常な電波放射を预言するpulsar-driven超新星モデルへの制限も得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K11a Dust Formation and Emission in Pulsar-Driven Supernova Remnants

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

We use a steady-state model to study the growth of dust grains in the ejecta of a pulsar-powered supernova, and examine the effects of non-thermal ionization of the ejecta gas and sublimation of smaller grains on the dust formation timescale, average size, and re-emission from larger grains due to PWN emission. We consider dust compositions based on those expected for a variety of progenitors of Type Ic, Ib, and IIb supernovae, including SLSNe, and calculate the properties of C, MgSiO₃, and MgO grains in their ejecta. We find that dust formation can be accelerated if the pulsar has a short spin-down time, or delayed if considerable energy injection lasts over the course of a few months. We find that the dust size decreases when the effect of the pulsar is considerable, and the detectability of the emission sensitively depends on the assumed PWN spectrum. We also discuss caveats of this model and the implications for several historical supernovae, including SN1987A.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K12a 超高輝度超新星のフォールバック降着モデルの系統的調査

守屋堯 (国立天文台), M. Nicholl, G. Guillochon (ハーバード大)

超高輝度超新星とは、他の重力崩壊型超新星よりも約10倍以上明るい超新星である。特に水素の兆候を示さない超高輝度超新星が何故非常に明るくなっているのかは良く分かっていないが、何らかの中心エンジンがあるのではないかと考えられている。超高輝度超新星の中心エンジンとして現在最も良く調べられているのは重力崩壊時に形成される高磁場高速回転中性子星(マグネター)である。マグネターは短時間に一気に自身の持つ回転エネルギーを解放することができ、超新星をより明るくすることができる。

これまで超高輝度超新星においてマグネター以外の中心エンジンはほとんど調べられてこなかった。他の中心エンジンとして考えられる候補にフォールバック降着が挙げられる。超新星爆発時に十分なエネルギーが与えられなかった場合、親星の一部が中心のコンパクト天体にフォールバックして降着する。例えばこの時できる降着円盤からアウトフローが出れば、中心エンジンとして超高輝度超新星を生み出すことが出来る。

我々は、光度曲線フィッティングコードMOSFITを用いて、36個の超高輝度超新星の光度曲線をフォールバック降着モデルを用いてフィットすることで、必要なフォールバック降着の性質を系統的に調査した。この結果、フォールバック降着モデルでもマグネターモデルと同程度超高輝度超新星の光度曲線を良くフィットできることが分かった。しかし、フォールバック降着から超新星に与える必要のあるエネルギーは $0.002 - 0.7 M_{\odot} c^2$ と見積もられた。典型的なフォールバック降着円盤からのエネルギー変換効率($\sim 10^{-3}$)を仮定すると、 $2 - 700 M_{\odot}$ 降着する必要があり、ほとんどの場合大質量星では不可能な降着量が必要であることが判明した。エネルギー変換効率を上げる何らかの機構がない限り、超高輝度超新星を全てフォールバック降着モデルで説明するのは難しい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K13a Failed supernova 内部でのニュートリノ振動とその観測的特徴

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

Failed supernova とは非常に重い質量をもつ親星 (本研究では太陽質量の 40 倍) が進化の最後に起こす現象で、重力崩壊によって作られた衝撃波がその重い外層の降着により押しつぶされ爆発できなくなるものである。このシナリオでは最後にブラックホールが生成されるため、恒星質量ブラックホールの起源だとも考えられている。ここから放出されるニュートリノはブラックホールが形成される直前の非常に高温高密度な領域で作られたものであるため、一般的な超新星爆発以上に高エネルギーかつ大量のニュートリノが放出される。したがってニュートリノスペクトルの観測がこの天体に対するアプローチとして非常に重要な鍵になる。

しかし観測されるニュートリノのスペクトルを推定するとき問題となるのは、超新星の中心部で作られたニュートリノのフレーバーがニュートリノ振動により変化してしまうことである。そのうちコア付近ではニュートリノが自己相互作用を起こし、非線形効果として集団振動が複雑にスペクトルを変化させてしまう。これはニュートリノ密度と背景電子密度に大きく依存するため、実際に数値計算をおこなって調べる必要がある。そこで球対称 1 次元流体シミュレーションから得られた電子密度分布とニュートリノスペクトルに対して振動効果の計算を行った。その結果、高密度電子との相互作用がフレーバー変化を押さえ込んでしまいすべての時間帯において集団振動が影響を与えないことがわかった。このことは一般的な超新星爆発と比べると特殊な状況であり、観測において非常に重要な特徴になり得る。本発表ではこの結果を観測に結びつけて議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K14a ニュートリノ球内部における核子散乱によるニュートリノスペクトルへの影響

加藤ちなみ (早大), 長倉洋樹 (Princeton Univ.), 堀雄介 (早大), 山田章一 (早大)

超新星爆発のメカニズムとして最も有力視されているのが、コア内部で停滞した衝撃波に原始中性子星 (PNS) で放出されたニュートリノがエネルギーを与える「ニュートリノ加熱説」である。この時、衝撃波に与えられるエネルギーは、生成されるニュートリノの総数とその平均エネルギーによって決定される。そのため、PNS 内部でのニュートリノの放出過程や、衝撃波に到達するまでに経験する物質との散乱過程などを詳細に扱い、衝撃波におけるより現実的なニュートリノのエネルギースペクトルを知る必要がある。通常、ニュートリノのエネルギースペクトルは、差分化したボルツマン方程式を数値的に解くことで得られる。その際に、エネルギーや角度メッシュを用いてニュートリノの分布関数を離散化して扱うが、計算コストによる制限で、一部の散乱過程によるエネルギーや角度の変化を正確に扱うのに必要な解像度の計算を行うことが難しい。特に、十分に重い核子による散乱でやり取りするエネルギーは非常に小さく、この問題点に帰着する。しかし、核子は星の内部に非常に多く存在しているため散乱回数は多いと考えられ、総合的にスペクトルをどの程度変化させるのか調べる必要がある。

そこで、本研究では別途共同研究者らが行った超新星爆発の計算結果をもとに、モンテカルロ法を用いた PNS 内部のニュートリノ輸送計算を行った。そして、核子との散乱によるニュートリノのエネルギースペクトルの変化を計算し、大規模な超新星爆発シミュレーションにこの効果を組み込む必要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](#)

【L. 太陽系】

9月20日(木) 午前(10:06-11:30) [H会場]

L01b	10:06	木星の偏光観測 池邊彩乃(兵庫県立大学)
L02b	10:06	ALMA12m-Array/ACA/TP 同時観測による金星中層大気微量分子スペクトルの解析 青木亮輔(大阪府立大学)
L03a	10:18	ピリカ望遠鏡による金星中層大気微量分子の近赤外分光観測・解析 築山大輝(大阪府立大学)
L04a	10:30	土星リング粒子の衝突速度と最小粒子サイズ 川村浩司(神戸大学)
L05a	10:42	天文観測と隕石分析で探るC型小惑星の熱的進化過程 白井文彦(神戸大学)
L06a	10:54	Planet Nine サーベイの進行状況とデータ解析 寺居剛(国立天文台)
L07a	11:06	地球接近天体2012 TC4の観測:木曾広視野カメラ Tomo-e Gozen を用いた高時間分解ライトカーブ 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
L08b	11:18	広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による高速移動 NEO の広域サーベイ 小島悠人(東京大学)
L09b	11:18	軌道共鳴が確認できた流星群 司馬康生(SonotaCo Network)

L01b 木星の偏光観測

池邊彩乃, 伊藤洋一, 高橋隼 (兵庫県立大学)

太陽系内のほとんどの天体は太陽光を反射することで輝く。反射した光の偏光を調べることで反射体の物性や形状を推定できるため、惑星や小惑星に対しては数多くの偏光観測がなされてきた。

木星に対しても可視光での偏光観測がいくつか行われている。偏光度は中心部で低く周縁部で高い、または南北極領域で高いと言われている。偏光ベクトルは放射状に分布する、方位角は 180° でほぼ一定である、散乱面にほぼ垂直であるなどの結果が得られている (Gehrels et al. 1968, Coffeen 1979, Schmid et al. 2011, McLean et al. 2017)。

偏光を得るには、 0° , 45° , 90° , 135° の4方向に振動する偏光成分をそれぞれ観測する必要がある。従来の偏光装置は1つ、多くて2つの偏光成分ずつ観測していた。しかし、木星のように自転の速い天体を観測する場合、算出される偏光度や偏光方位角は木星の自転や大気変動により誤差が生じる可能性がある。

そこで、4つの偏光成分を同時に観測できる同時偏光撮像・分光装置 POL を西はりま天文台の2 m反射望遠鏡「なゆた望遠鏡」に取り付けて木星の偏光観測を行った。観測は2015年5月から2017年2月にB, V, R, I, 8890\AA の5つの波長域で行った。一晩の観測時間は3-5時間である。木星のVバンド画像を解析した結果、偏光度は中心部で0-2%程度であること、南北の極では約7%、東西の縁では約4%に増大することが分かった。偏光ベクトルは周縁部ではほぼ放射状に分布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](#)

L02b ALMA12m-Array/ACA/TP 同時観測による金星中層大気の微量分子スペクトルの解析

青木亮輔, 前澤裕之 (大阪府大), 徳田一起 (大阪府大/NAOJ), 西合一矢 (NAOJ), 佐川英夫 (京都産業大)

我々は国立天文台野辺山の 10 m 電波望遠鏡を用いて太陽系の惑星大気環境変動の監視を推進し、金星の一酸化炭素が短期変動 (数日 ~ 金星の公転周期程度) する様子を明らかにしてきた。この短期変動のメカニズムを紐解くため、金星の中高層大気の化学反応ネットワークやダイナミクスの 3D 時空間変動を捉えるべく、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) の Cycle 4 において、12m-Array/ACA/TP の連動による Target of Opportunity 観測を実施してきた。ミリ・サブミリ波のヘテロダイン分光観測は、惑星の昼夜の面を問わず観測できる他、光・赤外波長と比べてダストやエアロゾルの吸収・散乱の影響を受けにくい強みをもつ。また、放射輸送モデルに基づいてスペクトル解析することで、金星の場合、高度 70 -110 km の微量分子の高度分布を捉えることができる。観測は Band 6 と 7 で行い、金星の夜から昼に移る terminator 領域、そして大規模な惑星大気重力波が発生しやすいアフロディーテ大陸西部が夕方にさしかかるタイミング、2016 年 11 月 20 日と 12 月 1 日、2017 年 5 月 14 日に実施した。この期間の金星は 16" ~ 30" と視直径が大きいためモザイク観測を行った。各種 array の観測は 30 分程度の時間差があるため、その間に Ra, Dec 上で金星中心がシフトするなどの問題も生じ、クリーンや像合成、ベースライン/サイドバンド分離比などの評価では惑星固有の解析処理・検証を行った。現在まだ、TP のデータが配信されていないため、定量議論を展開するためには missing flux の validation を行っていく必要があるが、すでに昼夜に伴う ^{12}CO , ^{13}CO や SO の空間分布や、温度分布、大気輸送現象の高解像画像/morphology が得られつつある。本講演では、これらの ALMA の惑星 (金星) の解析状況・手法について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03a ピリカ望遠鏡による金星中層大気微量分子の近赤外分光観測・解析

築山大輝、前澤裕之(大阪府立大学)、田中培生、高橋英則、大澤健太郎(東京大学)、高橋幸弘、佐藤光輝、今井正堯、大野辰遼、二村有希(北海道大学)、奥村真一郎(スペースガードセンター)、Yeon Joo Lee(JAXA)

中心星の活動が周辺の地球型の惑星大気環境に与える影響について理解を深めるべく、我々は太陽系内惑星大気の監視を推進している。特に火星や金星はすでに磁場を失っており、太陽活動の影響をダイレクトに受ける貴重な実験場である。大阪府立大学が運用する口径 10m のミリ波望遠鏡(国立天文台野辺山)は、金星大気上層の一酸化炭素(CO)が、236日程度の短期変動する様子を捉えてきた。こうしたCOの変動は、太陽活動では説明できず、ミリ波で観測が困難な金星大気の濃硫酸の雲より低高度の物質循環と連動している可能性も考えられる。そこで、我々は北海道名寄市立天文台に設置された北海道大学所有の光赤外望遠鏡ピリカ(口径 1.6m)に搭載された東京大学の近赤外中分散エシェル分光器 NICE(観測波長可能域 0.9-2.5 μm)を用いて、下層大気のコ₂、H₂O、SO₂、OCS、HClの吸収スペクトルの試験観測を実施した。観測は2017年の7月に実施し、観測波長はKバンド、波長分解能 2800(2"スリット)の高分散分光で、金星の視直径 16"に対し、2"×7"のスリットで夜面をスキャン/積分を行った。夏季でありELも15-20度と低く厳しい観測条件ではあったが、金星や地球の大気の近赤外域の放射輸送モデルとの詳細な比較検証を実施し、NICEによる初めての系内惑星の大気分子の吸収線の検出に成功した。この結果は、大気透過度の高いサイトでのNICEの惑星大気観測へのポテンシャルを示すものであり、今季、Hバンドでも金星大気の高分散分光を計画している。本講演では、これらの観測の手法や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](#)

L04a 土星リング粒子の衝突速度と最小粒子サイズ

川村浩司, 大槻圭史, 平田直之 (神戸大学), 台坂博 (一橋大学)

土星のリングは主に, $\text{cm} \sim 10\text{m}$ のサイズをもった氷を主成分とする多数の粒子により形成されている. 土星リングの中では, それら粒子間での衝突および重力相互作用, 合体, 破壊が起っており, これらはリングの力学進化や構造形成を支配する. その中で, 粒子の衝突速度 v_{imp} は, 粒子の衝突進化過程における重要なパラメータとなる.

異なる波長でのリングの力学的・光学的厚さ τ の観測結果などから, 土星リングでは $r \leq 1\text{cm}$ の半径の粒子が少ないことが示唆されてきた. この原因として小粒子が大粒子に吸着するため小粒子 (mm サイズ) の数が減少する, と考えるモデルがある. この場合, 小粒子の臨界半径 r_{cr} を境にして大粒子に吸着するか否かが分かれ, この臨界半径 r_{cr} は粒子の衝突速度に依存した値となる. このため, 粒子のサイズ分布を考慮した土星リング粒子の衝突速度を求めることには, 土星リング内の最小粒子サイズを求めることにも深く関わってくる.

そこで本研究では土星の主要リングである A, B, C リングにおける粒子同士の v_{imp} の計算を行った. 土星リングの粒子は粒子間の衝突や相互重力の作用によって平面円運動からずれた速度 (ランダム運動) σ を持つ. リングの最小粒子サイズに関する従来の研究では粒子同士の v_{imp} はこの σ 程度であると考えられてきた. 本研究ではこの σ の解析的な見積りと N 体シミュレーションでの数値解との比較を行い, 衝突速度の τ や反発係数 ϵ_n 等への依存性を詳しく調べたので, その結果について報告する. また, 衝突速度と吸着力から土星リング内における最小粒子サイズの見積りについての考察も行う.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

L05a 天文観測と隕石分析で探るC型小惑星の熱的進化過程

白井 文彦 (神戸大学), 長谷川 直, 大坪 貴文 (ISAS/JAXA), 中村 智樹 (東北大学)

小惑星における含水鉱物の存在を調べることは、太陽系の形成や進化の過程、特に熱的な変遷を知る上で重要である。含水鉱物は液体の水とケイ酸塩鉱物が反応して生成されるが、これは水氷の昇華温度以上でも安定に存在するため、小惑星において液体の水が存在したことを示すマーカーになる。一方、C型小惑星との関連性が強く示唆される炭素質隕石においても、含水鉱物が多く発見されている。

小惑星と隕石のスペクトル比較は古くから行われてきたが、(a) 赤外線天文衛星「あかり」を用いた近赤外線分光観測によって、大気吸収の影響を受けない観測が実現し、含水鉱物由来の吸収ピークである波長 $2.7 \mu\text{m}$ を含む小惑星のスペクトルが明確に取得できるようになったこと、(b) 地上で採取される隕石は落下後の吸着水などの影響によってスペクトルが変化していることが知られていたが、隕石の加熱実験によって吸着水の影響を除去して隕石の本来のスペクトルの再現ができるようになったこと、という天文観測と隕石分析の2つの分野において大きく進展した。これにより、C型小惑星と炭素質隕石の両者のスペクトルに明確な類似性が見い出された。さらに、隕石分析の知見を天文観測の結果に照らし合わせることで、小惑星が形成後に経験してきた水質変成・加熱脱水の過程を描き出せるようになった。

本講演では、小惑星の近赤外線分光観測と隕石の実験室内測定の結果を提示し、そこから得られるC型小惑星の熱的な進化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](#)

L06a Planet Nine サーベいの進行状況とデータ解析

寺居剛 (国立天文台ハワイ観測所), 吉田二美 (千葉工業大学), P9/RRL サーベイプロジェクト

これまでに発見されている太陽系外縁天体 (TNOs) のうち、Sedna や 2012 VP₁₁₃ など、大きな軌道長半径 (> 150 au) と軌道離心率を持つ天体には近日点の方向に顕著な偏りが見られることが知られている。Batygin & Brown (2016) は、日心距離数 100 au の領域に約 10 地球質量の巨大天体 (Planet Nine ; P9) が存在すると、そのような軌道分布の特徴を説明できることを示した。P9 の実在を確認することができれば、太陽系の描像が大きく書き換えられるだけでなく、その形成・進化への理解が大幅に進展することは確実である。

我々はすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いて、P9 発見のための広域サーベイ観測を 2016 年から開始している。すばる望遠鏡の集光力と HSC の広視野を最大限に生かし、検出限界 $g \sim 25$ mag の撮像観測を 800 平方度にわたって実施する計画である。

これまでの観測で晴天に恵まれたのは計 4 晩で、約 200 平方度の撮像データが得られた。我々は、このような大量のデータから、予想される P9 の軌道要素 (軌道長半径 400–1000 au、軌道離心率 0.4–0.7、軌道傾斜角 < 40°) に対応する移動天体の効率的な検出が可能な解析手法を複数導入している。まだ P9 候補と言えるような天体の発見には至っていないが、別の軌道条件では約 300 天体の TNOs 検出に成功している。講演では本観測の進行状況とデータ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](#)

L07a 地球接近天体 2012 TC4 の観測:木曾広視野カメラ Tomo-e Gozen を用いた高時間分解ライトカーブ

浦川 聖太郎, 奥村 真一郎 (日本スペースガード協会), 大澤 亮, 酒向 重行 (東京大学), 櫻井 友里 (岡山大学), 高橋 隼 (兵庫県立大学), 今村 和義 (阿南市立科学センター), 内藤 博之 (なよろ市立天文台), 岡崎 良, 関口 朋彦 (北海道教育大学), 石黒 正晃 (ソウル大学), 吉川 真 (JAXA), Tomo-e Gozen メンバー (東京大学他)

2012 TC4(以下、TC4) は、2012 年に発見された地球接近天体である。2012 年には地球に 95000km まで接近し、自転周期が 12.24 分と著しく短いことを示唆した。自転周期が 2.2 時間より短い小惑星は、高速自転小惑星と呼ばれ、その強い遠心力のためラブルパイル構造を取ることができない。従って、TC4 は一枚岩小惑星であると考えられる。

TC4 は 2017 年 10 月に地球に 50000km まで接近する観測好機を迎えた。2017 年の回帰は、一枚岩小惑星の物理状態を解明する非常に良い観測機会である。我々は TC4 に対する観測キャンペーンを東京大学木曾観測所、美星スペースガードセンター、兵庫県立大学西はりま天文台、なよろ市立天文台、阿南市科学センターで実施した。このうち、木曾観測所では開発中の超広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を用いて、高時間分解のライトカーブの取得に成功した。周期解析の結果、TC4 が 12.24 分と 8.47 分の二つの回転周期を持ったタンブリング運動をしている小惑星であることが明らかになった。また、可視・近赤外多色測光の結果から、TC4 が X タイプ小惑星であることを示唆した。さらに、ライトカーブから形状モデルや運動状態の推定を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L08b 広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による高速移動 NEO の広域サーベイ

小島悠人, 酒向重行, 大澤亮 (東京大学), 吉川真 (宇宙航空研究開発機構), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー

地球接近天体 (Near Earth Object, NEO) とは, 近日点距離が 1.3 天文単位未満の小惑星又は彗星である. Catalina Sky Survey や Pan-STARRS といったシステムティックなサーベイにより, これまでに約 1.8 万個の NEO が発見された. 現在までに直径 1km 以上の NEO の 90 % 以上が発見されてきたが, 数十メートルの NEO に至っては未だ大部分が未発見である. 小惑星は地球に近づくほど見かけの明るさが増すが, 一方で見かけの速度が速くなり, トレイルロスと呼ばれる SN 比の劣化を及ぼす.

我々は, 東京大学木曾観測所で開発を進めている広視野高速カメラ Tomo-e Gozen により地球に接近した高速移動 NEO の検出を目指している. Tomo-e Gozen は 84 チップの CMOS センサにより, 約 20 平方度を 2 fps で連続的に撮像観測することができ, トレイルロスの影響を受けづらい特徴がある. 我々は, Tomo-e Gozen の移動天体への感度を評価するため, 2018 年 2 月に黄道面付近 20 平方度を 20 分間隔で 5 回観測した. 80 分隔てて取得した画像データの差分より, 等級 19 等以下の既知の小惑星を約 70 % 検出することに成功した. また, 2018 年 4 月に見かけの速度がおよそ 1 arcsec/sec となった NEO である 2018 GP を 2 fps で観測した. 120 フレームを 2018 GP の移動方向に沿って重ねることで, 位置と等級を算出した. 本講演では, Tomo-e Gozen と他のサーベイ計画の移動天体に対する感度と 2 fps の動画データから移動速度が 1 arcsec/sec 以上の高速移動 NEO を検出する手法について報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09b 軌道共鳴が確認できた流星群

司馬康生

流星群の軌道周期が木星の軌道周期と整数比になり、なおかつ木星軌道に接近する有る場合、軌道上の木星に近づく付近の流星物質が掃き出され、常に木星と接近しない位置に掃き集められる。このような例として、D. Asher & K. Izumi 1998によって初めておうし座流星群において7:2の軌道共鳴が明らかにされた。Shiba 2016では、おうし座流星群のうち、北群には軌道共鳴が成り立っておらず、南群のみ軌道共鳴が存在することを示した。また、Shiba 2018では、はくちょう座流星群が5:3の軌道共鳴が成り立っていることを示した。いま、新たに おとめ座流星群で3:1の軌道共鳴が成り立っていることを見いだしたので報告する。これらの発見を支えたアマチュアの自動流星観測網SonotraCo Networkの観測にも触れる。現在判明した3つの軌道共鳴流星群に共通する性質として、共鳴部分ではサイズの大きな流星物質が目立って多い。共鳴による物質の集中は、常に一カ所である。これらから、その起源はそもそも共鳴点にあった小天体に源を発し、進化の過程で小さな流星物質が優先的に散逸したと推察できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

9月20日(木) 午後(13:30-15:30) [H会場]

M01a	13:30	The NoRH/RHESSI Big Flare Catalogue	Satoshi Masuda (Nagoya University)
M02a	13:42	MHD 不安定性の臨界条件に基づく太陽フレア発生予測の試み	草野完也 (名古屋大学)
M03a	13:54	深層学習を用いた太陽フレア予測モデル開発: Deep Flare Net (DeFN)	西塚直人 (情報通信研究機構)
M04a	14:06	深層学習による画像認識を用いた太陽フレア予報システムの開発	木原孝輔 (京都大学)
M05a	14:18	II型太陽電波バーストのリアルタイム自動検出への取り組み	直井隆浩 (情報通信研究機構)
M06a	14:30	深層学習と数値シミュレーションを用いたナノフレアの検出およびエネルギー導出手法の開発	河合敏輝 (名古屋大学)
M07a	14:42	MAXI-NICER 連携 (MANGA) による巨大恒星フレアの軟 X 線観測	岩切渉 (中央大学)
M08a	14:54	X 線、H α 線、電波による巨大恒星フレアの同時多波長観測体制の構築	河合広樹 (中央大学)
M09a	15:06	プラズモイド型乱流リコネクションのスケール則	銭谷誠司 (京都大学)
M10a	15:18	磁化プラズマ中の電場とオームの法則、それに磁場凍結	柴崎清登 (太陽物理学研究所)

9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [H会場]

M11a	09:30	太陽大気におけるミリ波帯水素再結合線の探索	下条圭美 (国立天文台)
M12a	09:42	飛騨天文台 SMART/SDDI で観測された浮上磁場領域アーチフィラメントシステムの時間発展	町田亜希 (京都大学)
M13a	09:54	浮上磁場領域における最初の活動現象としての H-alpha surge の発生 (II)	石井貴子 (京都大学)
M14a	10:06	Doppler velocity differences between ions and neutrals in a solar surge	Huang Yuwei (Kyoto University)
M15a	10:18	SUNRISE-3 気球実験: 偏光分光装置 SCIP による 3次元磁場観測への挑戦	勝川行雄 (国立天文台)
M16a	10:30	太陽 X 線の光子計測型・2次元集光撮像分光観測計画 (FOXSI-3 と PhoENiX) の進捗報告	成影典之 (国立天文台)
M17a	10:42	超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測	山岡和貴 (名古屋大学)
M18a	10:54	SMART 望遠鏡マグネットグラフ用インバージョンコードの開発 II	山崎大輝 (京都大学)
M19b	11:06	ヘリウム像偏光解析装置の開発 (I)	萩野正興 (国立天文台)
M20b	11:06	コロナ硬 X 線源周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断	川手朋子 (宇宙航空研究開発機構)
M21b	11:06	マイクロ波及び硬 X 線放射の統計的研究による白色光フレア発生条件の特定	鶴田康介 (防衛大学校)
M22b	11:18	深層学習を用いたコロナ質量放出到来時間予測	関大吉 (京都大学)
M23c		コロナ質量放出到来のリアルタイム予測システムの開発	塩田大幸 (情報通信研究機構)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M24c 高速風到来予測のための太陽風シミュレーションの自動化について 田光江（情報通信研究機構）

M25b 11:18 ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展の特徴 新田伸也（筑波技術大学）

M26b 11:18 プロミネンス噴出の3次元磁気流体シミュレーション 金子岳史（名古屋大学）

9月21日（金）午後（13:30-15:18）[H会場]

M27a 13:30 黒点データ及び太陽表面磁場観測を用いた活動経度に関する研究 近藤克哉（名古屋大学）

M28a 13:42 活動領域 NOAA12673 が与える次期太陽周期への影響 渡邊優作（名古屋大学）

M29a 13:54 黒点の拡散における太陽深部熱対流の影響 堀田英之（千葉大学）

M30a 14:06 太陽表面对流に伴う平均磁場輸送過程の数値的検証 飯島陽久（名古屋大学）

M31a 14:18 ひので衛星で観測したスペクトル線幅から得られる太陽光球面乱流の空間分布 石川遼太郎（東北大学）

M32a 14:30 太陽白斑領域の「ひので」CNバンド高分解能観測 末松芳法（国立天文台）

M33a 14:42 マウンダー極小期中の低緯度オーロラの起原 磯部洋明（京都市立芸術大学）

M34a 14:54 東アジアの新出史料に見る1730年代の巨大宇宙天気イベント 服部健太郎（京都大学）

M35a 15:06 惑星間空間シンチレーション観測を用いたデータ同化型太陽風到来予測モデルの開発 岩井一正（名古屋大学）

M01a The NoRH/RHESSI Big Flare Catalogue

Satoshi Masuda (Nagoya University), Säm Krucker (University of Applied Sciences Northwestern Switzerland / University of California, Berkeley / Nagoya University), Stephen White (Air Force Research Laboratory)

Solar flares give us a unique opportunity to make spatially resolved observations to study magnetic energy release and particle acceleration in space plasmas. The most direct diagnostics of electron acceleration are provided through radio and hard X-ray observations where we observe synchrotron emissions in the GHz range and non-thermal bremsstrahlung emissions above typically 10 keV. The two leading solar dedicated observatories in these two wavelength ranges are the Nobeyama Radioheliograph (NoRH) and the Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI). We present a statistical study of 35 jointly observed big (>GOES M7) flares. Initial results reveal a linear correlation between the hard X-ray flux above 50 keV and the microwave fluxes at 17 and 34 GHz. These results corroborate earlier findings indicating that the magnetic field strengths in these large flares are all rather similar. In the second part of our talk, we will present imaging results during the flare peak phase to investigate the location of the radio sources relative to the chromospheric footpoints seen in hard X-rays.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a MHD 不安定性の臨界条件に基づく太陽フレア発生予測の試み

草野完也, Johan Muhamad, Sung-Hong Park, 井上諭 (名古屋大学), 伊集朝哉 (国立天文台)

太陽フレアは太陽コロナに蓄積された磁気エネルギーの突発的解放現象であると共に、惑星間空間と地球周辺の電磁気・放射線環境に多大な影響を及ぼす宇宙天気擾乱の源である。しかし、太陽フレア発生機構の詳細は明確になっていないため、その発生予測も経験的な手法に依存する段階に留まっている。我々は、太陽表面近傍における小規模な磁気リコネクションを起因とした MHD 不安定性であるダブル・アーク不安定性 (DAI) (Ishiguro & Kusano 2017) が、フレア発生の原因となり得るという仮説に基づき、新たなフレア発生予測手法の開発を試みている。DAI は磁気中性線 (PIL) 近傍における磁気リコネクションで形成されたダブル・アーク型の磁束のねじれ (magnetic twist flux) とその PIL を跨ぐ磁束量 (overlying flux) の比で与えられる κ パラメタが臨界値を超えたときに不安定化する。そこで本研究では DAI の臨界条件に基づいた太陽フレア発生の予測を目指して、太陽光球面ベクトル磁場データから κ パラメタの推定値 (κ_R) を計算する数値モデル (κ_R -predictor) を開発した。 κ_R -predictor は非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) 計算、全磁力線解析、 κ 値推定を行なう 3 つのサブシステムから構成されている。 κ_R -predictor では各活動領域の DAI に対する安定度と共に、活動領域中で最も不安定化しやすい場所を推定することができる。講演では κ_R -predictor の概要を説明すると共に、太陽観測衛星 SDO の磁場望遠鏡 HMI による光球面ベクトル磁場データを用いた複数の太陽活動領域における κ_R 推定値とフレア活動の関係に関する初期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](#)

M03a 深層学習を用いた太陽フレア予測モデル開発: Deep Flare Net (DeFN)

西塚直人、杉浦孔明、久保勇樹、田光江、石井守 (情報通信研究機構)

太陽フレアの予測精度向上は、太陽フレア発生機構の基礎的理解と宇宙天気予報への応用と、両方にとって重要である。近年我々は、機械学習手法を太陽フレア予測問題に適用することで、予測精度が人手より向上できる可能性を示すことに成功した (日本天文学会 2016 年春季年会 M44a 西塚ら)。このモデルでは、2010-2015 年に SDO 衛星によって観測された太陽観測ベクトル磁場画像など約 30 万枚を用いて、黒点の自動検出と特徴量計算、今後 24 時間以内に発生するフレアの最大クラスの予測を可能とした。過去データを用いて評価すると、十分な予測精度の結果が得られたが、その一方で、この予測精度は学習・テストデータの作り方にも依存し、予報運用形式のリアルタイムデータを用いた場合には、まだ精度不足であることも明らかになった。

そこで我々は、予測精度をより向上するべく、Deep Flare Net と命名した太陽フレア予測モデルを開発した。改良点は 3 つある。まず用いる 30 万枚画像について、新たな波長である極端紫外線 131\AA (1 千万度以上) を追加し、特徴量としても 131\AA から得られる高温コロナ発光と、リアルタイム予測に有効な 131\AA , 軟 X 線放射の 1,2 時間前データを追加した。さらに予測アルゴリズムとして深層学習モデルを導入した。データを 2010-2014 年を学習用、2015 年をテスト用と運用形式で準備し、予測を行った結果、M クラス以上のフレア発生に対してスキルスコア TSS=0.80、C クラス以上で TSS=0.63 を達成することに成功した。本モデルの特徴の一つは、各活動領域に対してフレアの発生確率を算出することが初めて可能になった。さらに、一般的に深層学習モデルは特徴量がブラックボックスと言われるが、本モデルは人手によって物理量から特徴量を作成したため、予測結果の理由を説明可能な点である。本講演では我々のモデルを紹介し、太陽フレアの発生機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M04a 深層学習による画像認識を用いた太陽フレア予報システムの開発

木原孝輔 (京都大学・理), 関大吉 (京都大学・総合生存学館), 根本茂 (京都大学, 株式会社ブロードバンドタワー), 浅井歩, 柴田一成 (京都大学・理・天文台)

太陽面爆発 (太陽フレア) の発生を予報することは、宇宙天気研究の最重要課題の一つである。太陽フレアのエネルギー解放機構は、ようこう衛星の観測結果などから、磁気リコネクションに依ることが明らかになってきた。しかし、フレアの開始 (いつどこでリコネクションが発生するか) は解明されておらず、物理的に予報するまでには至っていない。そこで近年、大量の太陽観測データに対して機械学習の手法を用いることで、太陽フレアを予報する試みがなされている。機械学習を用いた従来の研究の多くは、太陽面の活動領域から磁場やその時間変化などの物理量を抽出し、フレアが発生するか否かを予報している。一方で、我々は特別な物理量に着目することなく、太陽の全球画像そのものが持つ特徴に着目し、24時間以内の最大の X 線強度を予報することに取り組んできた (Muranushi et al. 2015、村主ら 2014 年春季年会 M28b など)。これは、物理量を抽出せずに画像そのものから太陽フレアを予報する、いわゆる画像認識を用いた初の試みである。この予報システムは、例えば地磁気の擾乱など、複雑ゆえに詳細な予報が困難な宇宙天気現象の予報へも応用できる可能性がある。

我々は、Muranushi et al. (2015) が用いた画像認識の手法を、近年著しく発展している深層学習に変更し、24時間以内の最大の X 線強度をより精度よく予報することを試みている。その結果、Muranushi et al. (2015) と同等の予報精度を得るに至った。予報機 (深層学習のハイパーパラメータ) のチューニングによっては、さらなる精度向上の可能性がある。年会では、深層学習による画像認識を用いたフレア予報の結果と、予報機のチューニングについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a II型太陽電波バーストのリアルタイム自動検出への取り組み

直井隆浩（情報通信研究機構）、久保勇樹（情報通信研究機構）、西塚直人（情報通信研究機構）

太陽フレアやコロナ質量放出といった主要な宇宙天気イベントには一般に太陽電波バーストが伴っており、これはリアルタイム宇宙天気予報への利用可能性を秘めている。その中でII型と分類される電波バースト発生源の移動速度はだいたい1,000 から 1,500 km/s であり、数日以内に地球へ影響を及ぼす擾乱の前兆として観測される。II型電波バーストは、太陽から放出されたプラズマ雲に先行する磁気流体衝撃波から放射されたものと考えられており、電子密度の比較的低いコロナで周辺プラズマ周波数 f_p または $2f_p$ のラングミュア波を励起し、電波へ変換されたものと解釈されており、そのスペクトルは、周波数が時間とともに落ち、典型的には分単位で現象は収束する。

情報通信研究機構は鹿児島県指宿市において平成28年から山川太陽電波観測システムの定常運用を行っており、このシステムによって得られた分光観測データを利用したII型太陽電波バーストのリアルタイム自動検出の運用を目指している。自動検出は、分光観測のFITSファイルデータを画像として読み込むところから始まる。ヒストグラム平坦化や移動平均などの画像処理を施した後、Hough変換による直線検出からバーストを同定する。この度、山川太陽電波観測システムの過去の分光観測データへ本検出法を適応することで各画像処理における解析パラメータの最適化を行い、自動検出の仕組みを構築することができた。なお、データの分析にはPython + OpenCVを利用している。

本発表では、バーストの検出に必要なプリプロセッシングと呼ばれる画像処理の各過程と、本検出法の過去データへの適用結果を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06a 深層学習と数値シミュレーションを用いたナノフレアの検出およびエネルギー導出手法の開発

河合敏輝（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、今田晋亮（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

本研究の目的は、ナノフレアの太陽コロナ加熱への寄与を測定するため、ナノフレアの検出およびエネルギー導出を行う手法を確立することである。そのために、様々なエネルギーのフレアによって加熱されるコロナループの流体一次元数値シミュレーションを Hinode/XRT で疑似的に観測し、観測される輻射の時間変化を入力した際、注入されたフレアのエネルギーの時間変化を出力するよう、深層学習を用いて Deep Neural Network (DNN) を学習させる、という新たな手法を提案する。また、提案する手法と先行研究で使用されている既存のエネルギー導出手法の精度をシミュレーション内において比較する。既存の手法には2つの仮定がある。ナノフレアによってコロナループが5 MK まで加熱されることと、発生したナノフレアのエネルギーはコロナループの熱エネルギーの変化量に等しいということである。提案する手法では、学習に用いた流体数値シミュレーションの設定自体が仮定となる。今回は560個のシミュレーション結果を用いてDNNを学習させる。各シミュレーションのフレアのエネルギー E_f は $10^{23} < E_f < 10^{28}$ erg において対数一様分布で発生する。結果として、既存の手法では 10^{25} erg 程度より小さなフレアのエネルギーを正しく導出することはできなかったが、提案する手法では、そのような非常に小さなナノフレアであっても、正確にエネルギーを導出することができた。ナノフレア発生前のコロナループが完全に熱的・力学的に平衡状態ではないため、ナノフレアのエネルギーが非常に小さい場合、非平衡状態に由来する密度や温度のわずかな変動が熱エネルギーに与える影響が、ナノフレアによる熱エネルギーの変化に対して支配的となり、既存の手法ではエネルギー導出が正確に行うことができなかったと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07a MAXI-NICER 連携 (MANGA) による巨大恒星フレアの軟 X 線観測

岩切渉, 佐々木亮, 河合広樹, 坪井陽子 (中央大学), Keith Gendreau, Zaven Arzoumanian, Stephen Drake, Michael Corcoran, 濱口健二 (NASA/GSFC), 三原建弘, 中平聡 (理研), 芹野素子 (青山学院大学), 根来均 (日本大学), 榎戸輝揚 (京都大学)

大規模な磁気エネルギーの解放現象であるフレアは、最も身近な恒星である太陽フレアにおいて盛んに研究がなされてきたが、太陽以外の恒星からのフレアを捉えるには偶然に頼る部分が大きかった。近年では、2009年に国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された日本の全天 X 線監視装置 MAXI の活躍によって、稼働開始から 8.5 年で、2 - 20 keV の帯域において 27 天体から 120 回以上のフレアを、主に RS-CVn 型連星と dMe 型星から検出してきた。観測されたフレアの総放出エネルギーは、 10^{34-39} erg にわたる。そして、基本的なフレアの物理情報の、継続時間とピーク X 線光度の関係や、放射測度と温度の関係が、太陽観測で得られている相関関係と大きく矛盾しないことが分かってきた (Tsuboi et al.2016)。しかし、MAXI のみではプラズマの温度、放射測度の時間発展や、組成比を求めることは難しかった。そこで我々は、MAXI が検出した突発現象に対し、2017 年 6 月に MAXI と同じく ISS に搭載された、米国の NICER 検出器を即座に向ける体制、MANGA (MAXI and NICER Ground Alert) を構築し、恒星フレアの緊急観測体制を整えた。NICER は 56 台の X 線集光鏡とシリコンドリフト検出器で構成されており、0.2 - 15 keV の観測帯域で、特に ~ 1.5 keV 付近において過去最高の有効面性を誇る。そのため、X 線スペクトルの時間発展を未だかつてない統計で追うことができる。MANGA による観測により、これまでに RS-CVn 型連星の 4 天体から 5 回のフレアの観測に成功し、特に 2018 年 2 月 9 日に発生した、HR1099 からのフレアの追観測に関しては継続時間が 4 日間にわたるフレアに対して詳細なデータの取得に成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08a X線、H α 線、電波による巨大恒星フレアの同時多波長観測体制の構築

河合広樹, 坪井陽子 (中央大学), 米倉覚則 (茨城大学), 岳藤一宏 (NICT), 岩切渉, 佐々木亮 (中央大学), 梅本智文 (NAOJ), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

近年、全天 X 線監視装置 MAXI によって、総放出エネルギーが $10^{36} - 10^{38}$ erg (軟 X 線) の恒星フレア最大規模のフレアが年間約 10 件ほど発見されるようになってきた。これらのフレアは、太陽の X10 クラスの 1 - 100 万倍のフレアである。MAXI で観測したフレアの統計的議論の結果、フレアループを予想する式 (Shibata & Yokoyama 1999) を用いると、ループ長が最大で星半径の 10 倍にもなり得るという結果が得られた (Tsuboi et al. 2016)。しかし、本当にそのようなループ長のフレアが存在し得るのだろうか。フレアのループ長を測定するには、放射領域の異なる複数の波長を用いた多波長観測が必要である。そこで我々は、巨大フレア検出能力に長けた MAXI を利用し、MAXI が検出した巨大フレアを、軟 X 線帯域においては大有効面積を誇る最新の NICER 検出器、可視光帯域においては、中央大学後樂園キャンパスにある 26 cm 可視測光用望遠鏡 CAT、36 cm 可視分光用望遠鏡 SCAT を用いて追観測を行う体制を構築した。また、電波帯域においては、日立-高萩 32 m 電波干渉計で MAXI で巨大フレアを起こす既知の天体に対し、モニター観測を行った。その結果、2018 年 2 月 9 日に HR1099 で発生した $\sim 1 \times 10^{37}$ erg (軟 X 線) の巨大フレアを、軟 X 線、H α 線、電波で、多波長観測をすることに成功した。それぞれの波長では継続時間に違いが見られ、軟 X 線、H α 線では 5 日、電波では約 20 日にも及んだ。特に、電波では自転周期と同じ約 3 日の周期で見え隠れが確認できた。フレア中に自転周期と同じタイミングで再増光する現象は、今回のフレアで初めて見られた結果である。これらの結果から、電波の放射領域は星の裏に隠れられるほどコンパクトな領域であると制限できた。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](#)

M09a プラズモイド型乱流リコネクションのスケール則

銭谷誠司 (京都大学), 三好隆博 (広島大学)

MHD 近似で磁気リコネクションを議論する際、Petschek モデルと Sweet–Parker モデルの 2 つの理論モデルが考えられてきた。しかし 2000 年代後半、系のサイズが大きくな (Lundquist 数パラメーターが 10^4 を超える) 場合には、Sweet–Parker リコネクションの電流層内で多数のプラズモイド (磁気島) が発生して、プラズモイド型の乱流リコネクションに遷移することがわかってきた。そして、プラズモイド型乱流リコネクションのリコネクション速度は $R \sim 0.01$ 程度の一定値に落ち着く、とされている。

伝統的に、Sweet–Parker およびプラズモイド型乱流リコネクションの理論では、議論の第一歩として非圧縮性を仮定しており、プラズマの圧縮性流体効果についてほとんど議論が行われていない。圧縮性プラズマでは、典型 Alfvén 速度が局所的な音速を超えることで、さまざまな新しい特徴が現れる。実際に、太陽コロナでは、このような圧縮性流体効果が強く効くはずであり、プラズモイド型乱流リコネクションにおける圧縮性プラズマ効果を調べることは、太陽物理にとって重要である。

我々は、最近の天文学会 (2014a-M24c, 2016a-M24a) で、プラズモイド型乱流リコネクションの MHD シミュレーション結果を紹介し、リコネクション率が特定のパラメーター領域で速くなることを報告した。今回の発表では、圧縮性 MHD 理論に基づいて、この増分を説明するスケール則を提案する。そして、2次元に拡張したパラメーター空間でサーベイを行って理論を検証する。これらの議論を太陽コロナのリコネクション領域に外挿すると、リコネクション率は従来考えられていた値の倍 (0.02) になることが予想される。さらに乱流状態のオンセットに関わる新しい性質も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10a 磁化プラズマ中の電場とオームの法則、それに磁場凍結

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

磁場中の熱的プラズマは磁気モーメントを持ち、外力が働くと頻繁な衝突にもかかわらずドリフト運動をする。外力が電場による場合には $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトと呼ばれ、電荷や質量によらずプラズマ全体が $\mathbf{V} = \mathbf{E} / B \times \mathbf{b}$ (\mathbf{b} は磁場方向の単位ベクトル) の速度で運動するので、電流は流れない。この式を変形すると、 $\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} = \mathbf{0}$ となる。電場は磁場に直交しているとする。一方 MHD においては、電場が働くと電流が流れてオームの法則 $\mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B})$ が成り立つと考える。ここで σ は電気伝導度で、プラズマ中では無限大とし、電流が有限であるためには $\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} = \mathbf{0}$ である必要がある。電気伝導度が無限大の媒質は完全導体と呼ばれ、内部の磁場の時間変化は電磁誘導による渦電流によって抑えられるので変化できない。よって外部より磁場は侵入できないし、増減することもない。MHD は太陽コロナ中にも適用されるが、実際には磁場は変化しており矛盾する。 $\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} = \mathbf{0}$ は電気伝導度によらず成り立っているので、電磁誘導の式にこの関係式を代入すると $\partial \mathbf{B} / \partial t = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B})$ となる。この式は流体力学における完全流体の渦度の運動方程式と同じ形をしており、渦は流体といっしょに運動することが知られているので、磁場もプラズマといっしょに運動する(凍結する)ことになる。ベクトル解析におけるヘルムホルツの原理によると、ベクトル場は回転性と発散性のふたつの成分よりなり、それぞれ独立である。上記で議論したのは回転性成分 $\nabla \times \mathbf{E} \neq \mathbf{0}$ である。これに対してスカラーポテンシャルから求められる電場(空間電荷による)は発散性であり、回転なしである。この電場でも $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトは発生するが、磁場の時間変化は伴わないので磁場凍結はない。太陽フレアのインパルス相は、発散性電場の発生(空間電荷)による、磁場凍結を伴わない爆発現象(交換型不安定)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](#)

M11a 太陽大気におけるミリ波帯水素再結合線の探索

下条圭美 (国立天文台)

2016年秋から始まった共同利用観測期間“Cycle 4”から、ALMAによる太陽観測が開始された。多数の観測機能を持つALMAであるが、現在のところ太陽観測にて利用できる機能は限られている。特に観測周波数に関しては、受信機およびローカル周波数は100 GHz@Band3 受信機と239 GHz@Band6 受信機しか利用できず、相関器のモードも周波数分解能が低い連続光モード (Time Division Mode: $\Delta\nu = 15.6$ MHz) しか選ぶことができない。ただしBand3 受信機を使った観測では、一番高い周波数のスペクトラムウィンドウ (106~108 GHz) に中性水素の再結合線 ($H39\alpha$: 106.7 GHz) が含むように、ローカル周波数が設定されている。

一方、太陽大気中からの赤外・電波域に存在する水素再結合線の強度計算は1970~80年代に行われている。 n が30以上の水素再結合線が形成される彩層では pressure broadening により線幅が広くなり、線強度は太陽面からの連続光の1%以下と見積もられている (Khersonskii & Varshalovich 1980)。よって太陽面の観測による再結合線の検出は、ALMAを使ってもほぼ不可能であろう。そこでJCMTによる $H21\alpha$ (662.4 GHz)の検出 (Clark *et al.* 2000)を参考に背景放射が著しく小さくなるリム上での $H39\alpha$ の検出を、ALMA Cycle 4で取得された太陽リムを含んだデータ (Project 2016.1.00070.S)を用いて試みた。

初期解析の結果、該当する周波数帯に強度の増加がみられたが、確証するまでには至っていない。なぜなら、有限個のフーリエ係数しか測定できない電波干渉計にとって、太陽のリム観測は最もデータ処理が難しい観測である。また利用したALMAデータはジェット研究用に取得されたため、ノイズやサイドローブ等の評価用データが揃わなかった。講演では、水素結合線の彩層物理における有用性と解析状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M12a 飛騨天文台 SMART/SDDI で観測された浮上磁場領域アーチフィラメントシステムの時間発展

町田亜希、浅井歩、大辻賢一 (京都大学・理)

太陽表面の浮上磁場領域は、それ自体が活動領域の源であるだけでなく、周囲の磁場とのリコネクションにより大規模なフレアを誘発することもあるため、宇宙天気予報にとって重要である。また、磁気浮上は磁気プラズマの活動に共通な物理機構であり、太陽観測に基づく浮上磁場領域や彩層アーチフィラメントシステムの理解は、その解明に大きく寄与すると考えられる。

私たちはこれまで、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager) により 2018 年 2 月 25 日から 27 日に観測された磁気浮上に伴うアーチフィラメントシステムに着目し、Becker's のクラウドモデルに基づく速度場の導出を試みた (町田ら、天文学会 2018 年春季年会 M14b)。このアーチフィラメントシステムは、特に 2 月 26 日に $H\alpha$ データの $\pm 1.25\text{\AA} \sim \pm 2.00\text{\AA}$ ウィングで、顕著なブルーシフトを示した。そこで今回は、SMART/SDDI の高い時間分解能を活かし、この日のアーチフィラメントシステムの速度場の詳細な時間発展を調査した。

その結果、このブルーシフト現象は、数分～数十分のタイムスケールで間欠的に発生していることが確認できた。また、このブルーシフト現象に対して、Becker's のクラウドモデルに基づいて速度場を導出したところ、 $10 - 20\text{km s}^{-1}$ 程度の速度が得られた。本講演では、これらの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13a 浮上磁場領域における最初の活動現象としてのH-alpha surgeの発生 (II)

石井 貴子, 大辻 賢一, 一本 潔 (京大・理・天文台)

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

2017年5月22日(日本時間)、のちの NOAA12660 になる活動領域が、太陽ディスクセンター付近 (EW0S10)、NOAA12658 の東側に出現した。SMART/SDDI では、21日22時 UT 前(22日07時 JST 前) から、22日09時 UT 前(22日18時 JST 前) まで、ほぼ終日観測を行えた。SMART/SDDI H-alpha と、SDO/HMI の磁場データを併用して、磁場変化と H-alpha での活動を比較した結果、pore や Arch filament system が発達する 3-5 時間前に、点状の surge が絶え間無く発生していることがわかった(2017年秋年会にて報告)。これは、浮上磁場領域の最初の活動として H-alpha surge が発生するという Kurokawa (1988 *Vistas in Astronomy*) の主張を、磁場データも用いて検証した初めての観測結果である。

本講演では、SDO/AIA との比較により、H-alpha 線で観測される surge と EUV(171, 193, 304 Å) で観測される jet や増光現象との対応関係を吟味し、磁場構造と jet の発生について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M14a Doppler velocity differences between ions and neutrals in a solar surge

Huang Yuwei(Kyoto University), Tetsu Anan(National Solar Observatory, USA), Kiyoshi Ichimoto(Kyoto University; National Astronomical Observatory of Japan)

In many astrophysical systems, the plasma is partially ionized, in which neutral atoms feel Lorentz force indirectly through the collisional friction from charged particles. Therefore neutrals may diffuse across the magnetic field in a process called ambipolar diffusion and there exist velocity differences between ions and neutrals. This diffusion process plays a key role in modifying important physical process such as magnetic reconnection, damping of magneto-hydrodynamic waves, transport of angular momentum in plasma through the magnetic field, and heating.

In the previous studies, Khomenko et al (2016) detected Doppler velocity differences in a prominence of the order of 0.1 km/s , while T. Anan et al (2017), also targeting a prominence, interpreted the difference of Doppler velocities as being a result of motions of different components in the prominence along the line of sight. In our study, we analyzed an off-limb surge, in which a violent acceleration of plasma by the Lorentz force took place. The observation was carried out on May 8th 2015 simultaneously in He I 706.5 nm, Ca II 849.8 nm and O I 777.2 nm, using the high dispersion horizontal spectrograph of Domeless Solar Telescope in Hida observatory. We found that, the Doppler velocity difference between He I and Ca II is significant, at an order of $5\text{-}10 \text{ km/s}$, while the velocity difference between O I and Ca II is smaller than that between He I and Ca II, suggesting an ion-like behavior of line O I 777.2 nm.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M15a SUNRISE-3 気球実験：偏光分光装置 SCIP による 3 次元磁場観測への挑戦

勝川行雄, 久保雅仁, 原弘久, 都築俊宏, 浦口史寛, 納富良文, 末松芳法, 石川遼子, 鹿野良平, 田村友範 (国立天文台), 清水敏文, C. Quintero Noda, 大場崇義, 川畑佑典 (ISAS/JAXA), 石川真之介 (名大), 一本潔, 永田伸一 (京大), J. C. del Toro Iniesta (IAA-CSIC), S. Solanki (MPS)

太陽大気で発生する動的現象が担う磁気エネルギーの輸送・散逸過程を調べるため、光球より上空の磁場構造とその時間発展を 3 次元的に観測することが必要である。そこで、2021 年に計画する国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 に搭載する偏光分光装置 SCIP (スキップ、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) をスペイン・ドイツと共同で開発している。SCIP は波長 850 nm と 770 nm の近赤外線域にある多数のスペクトル線を同時に偏光分光観測する装置である。SUNRISE の口径 1 m 光学望遠鏡に SCIP を搭載することで、シーイングと大気吸収の影響を受けない高高度気球観測を活かし、0.2 秒角の解像度 (波長 850 nm の回折限界)・高分散 (2×10^5)・高偏光精度 0.03% (1σ) の実現を目指す。技術課題として、(1) 観測運用時に想定される温度範囲 10~30 K で光学性能を維持する光学構造設計、(2) 高い偏光精度の鍵を握る波長板回転駆動機構の開発、(3) 高精度・高速視野スキャンのためのスキャンミラー機構の開発、に取り組んでいる。一方、偏光分光データから 3 次元磁場を導出する手法の開発も本計画の中で実施している。日本の SUNRISE-3 計画は ISAS/JAXA の「太陽観測小規模プログラム」(H29-H33)、及び、科研費基盤 (A)「気球太陽望遠鏡による精密偏光観測：恒星大気における磁気エネルギー変換の現場に迫る」(H30-H34) に基づいて推進している。アメリカ APL によるゴンドラ開発の提案も NASA で採択されており、先行していたドイツ、スペインとともにすべての参加機関で計画が認められた状況となった。これにより 2021 年の飛翔観測に向けて計画を加速していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16a 太陽X線の光子計測型・2次元集光撮像分光観測計画 (FOXSI-3 と PhoENiX) の進捗報告

成影典之 (国立天文台), 石川真之介 (名古屋大学), ほか FOXSI チーム, PhoENiX ワーキンググループ

我々は、太陽コロナのエネルギー解放現象や、磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を進めるために、太陽コロナからのX線を2次元集光撮像分光観測する計画を2件推進している。これらの計画の特徴は、X線帯域において、観測対象をカバーする広い視野、観測対象が検出できる高いダイナミックレンジ、観測対象に対し適した空間・時間・エネルギー分解能を合わせ持つ観測を、世界に先駆け実現することである。

2018年夏には、日米共同観測ロケット実験FOXSI-3を実施する。これまで2度実施されたFOXSI実験では、米国が開発したX線ミラーと日本のX線グループが中心となって開発した硬X線カメラの組み合わせにより、大きな科学成果を挙げた (Ishikawa et al. 2017 など)。今回のFOXSI-3では、日本の太陽グループが中心となって開発した軟X線カメラを新規で追加搭載する。これにより、世界で初めて0.5 keV-15 keVの範囲における2次元集光撮像分光観測が可能となる。計画は順調に進んでおり、6月までに観測装置の噛み合わせ試験を終了し、7月には射場である米国・ホワイトサンズで最終試験と打ち上げ準備を行う。打ち上げは、8月21日を予定している。

また我々は、「磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解」を科学意義とした衛星計画PhoENiXを、次の太陽極大期(2024年頃)に実現すべく活動している。PhoENiXでは、X線2次元集光撮像分光観測に加え、軟ガンマ線偏光分光観測も実施する。2018年1月にはISAS/JAXAに対してミッション提案を行い、5月に2次ヒアリングを受けた。現在、PhoENiXの実現を目指し、科学検討活動、ミッション検討活動、観測装置の基礎開発などを、関連4分野の研究者と共同で行っている。年会では、FOXSI-3とPhoENiX計画の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測

山岡和貴, 田島宏康, 宮田喜久子, 田村啓輔, 伊藤和也, 稲守孝哉 (名古屋大), 高橋弘充 (広島大)

太陽フレアにおいて磁気リコネクションがエネルギー解放機構として重要なプロセスであることは認知されてきたが、どのように粒子が加速されているか？は未だ謎である。これまでの観測は電子の寄与がメインである電磁波観測が主流であり、陽子やイオンの観測は太陽磁場や星間磁場により曲げられてしまうため、容易ではない。中性子は陽子・イオンと太陽表面大気の反応で生成され、粒子加速時の情報を保持したまま地球へ到来するため、加速機構を論じる上で唯一のプローブであると考えられる。

これまで太陽中性子の観測は乗鞍岳やチベットなどの高地で主に行われてきたが、検出例は1980年の発見以降約40例にとどまる。そのうち、2009年以降、宇宙空間から約30例を検出してきた、国際宇宙ステーション実験SEDA-APも今年3月で運用を中止したため、宇宙空間での太陽中性子観測は皆無となった。この状況を打開するため、我々は超小型衛星による太陽中性子観測のプロジェクトを進めている。2016年2月には、太陽中性子検出器を搭載した50kg級のChubuSat-2衛星を打ち上げたが、残念ながら動作には至らなかった。我々は3Uキューブサットへの搭載可能性を模索し、太陽中性子検出器の小型・高密度化・低電力化による更なる改良を目指している。中性子検出器には主に反跳陽子の飛跡を追跡するための、積層したプラスチックシンチレータと最新の半導体光センサであるシリコンフォトマルを用いており、多チャンネル信号処理集積回路(ASIC)を新たに採用することで改善できる見通しを得ている。

本講演では、太陽中性子のサイエンスと超小型衛星による太陽中性子観測の我々の取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](#)

M18a SMART 望遠鏡マグネトグラフ用インバージョンコードの開発II

山崎大輝、永田伸一、一本 潔 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope: SMART) では、Fe I 6302.5Å の Stokes profile を取得する観測を行っている。Fabry-Perot フィルターを用いて、吸収線中心に対して、 $\pm 160, \pm 80 \text{ mÅ}$ の 4 波長点をサンプリングし、約 2Hz で連続回転する波長板を用いた偏光変調、直交 2 偏光成分を 30fps で連続撮像することにより、時間間隔 30 秒 ~ 1 分で偏光精度 3×10^{-4} の Stokes profile を取得している。(2013 年度春年会 A17C)。取得された Stokes parameter から光球面磁場へのインバージョンコードは「ひので」可視光望遠鏡の Narrow band Filter Instrument(NFI) 用に準備された、Look Up Table (LUT) 方式のインバージョンコードをもとに開発が進められてきた (2013 年度秋年会 M23C)。本研究では、このインバージョンコードの磁場導出機能を評価するため SDO/HMI によって得られたベクトル磁場との詳細比較を実施した。比較には 2016 年 9 月 6 日の活動領域 AR12585 を用いた。その中で、(1) 偏光デモジュレーションにおける Stokes U, Q の取り違えの訂正、(2) 観測装置による散乱光 40% の補正、(3) LUT との比較における残差計算での各 Stokes parameter の重みの最適化、を行った。その結果、SDO/HMI と SMART の磁場強度、視線方向角度、方位角の相関係数がそれぞれ、0.88 から 0.90, 0.80 から 0.86, -0.31 から 0.50 へと向上した。しかし、黒点暗部での磁場強度については、修正作業前後での相関係数はそれぞれ -0.22 と -0.43 とむしろ悪化した。この理由は、磁場強度 2000G 超の状態ではプロファイルが広がり、これにドップラーシフトが加わると、磁場強度の推定ができなくなることを考えている。このために、黒点暗部の磁場を評価する方法の検討を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M19b ヘリウム像偏光解析装置の開発(I)

萩野正興, 末松芳法, 篠田一也 (国立天文台), 吉田正樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 一本潔, 木村剛一 (京都大学)

太陽観測衛星「ひので」は安定した高解像撮像により太陽大気の新たな描像を示したが、彩層での磁場をはじめとする物理量が測定できないため、これらの現象の背後にあるプラズマ過程は、定性的な議論にとどまっている。一方で、国立天文台三鷹キャンパスの太陽フレア望遠鏡の赤外スペクトロポラリメータは彩層上部における偏光情報を取得でき、この分野の研究に大きな進展を期待される。しかし、スリットで太陽全面をスキャンする観測のため、太陽全面の二次元マップを得るのに2時間ほどかかり、空間的に広がり時々刻々と変化する現象をとらえることができない。そこで彩層上部での太陽フレアやフィラメント放出などの運動や磁場分布を短時間に取得できる観測システムの構築を行っている。

この観測システムは液晶偏光変調装置(LCVR)、赤外偏光板、ニオブ酸リチウム結晶(LiNbO₃)エタロンフィルター、赤外カメラという構成になっている。ここでMeadowlark社製の2つのLCVRの遅延量を切り替えてフルストークスの偏光状態を観測する。一方、波長選択には有効口径が50mmで、結晶の厚さ225 μ m、結晶方向Y-cut、自由スペクトル領域1.2nm、透過幅0.03nmのエタロンフィルターを使用する。このフィルターの観測波長He 1083nm付近でチューニングするのに必要な印加電圧は1000V-1400Vである。

本稿では、このヘリウム像偏光解析装置を構成する光学素子の偏光特性や観測システムの開発状況を報告し、将来期待できる観測の計画を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20b コロナ硬X線源周辺領域における極端紫外線を用いたプラズマ診断

川手朋子 (宇宙科学研究所), 今田晋亮, 増田智, 石川真之介 (名古屋大)

太陽フレアにおいて、硬X線は主にフレアループ構造の足元から放射しているが、まれにループ構造上部または上空においても観測される。いずれも高エネルギー電子が周辺プラズマと衝突することで発生する制動放射によるものであるが、特にコロナにおける硬X線放射は電子加速過程を理解する上で重要であると考えられている。フレアにおけるエネルギー変換は磁気リコネクションによってなされるが、コロナ硬X線源はリコネクション領域周辺で電子がエネルギーを得て、その電子が周囲のプラズマと相互作用を行っているという過程を表している。したがって、コロナ硬X線源周辺のプラズマ環境を調査することで、加速された電子の状態および電子が加速される周囲のコロナの環境を知ることができる。またコロナ硬X線源を放射している電子が加速後のどのような状態にあるかを理解するためには、足元硬X線源も同時に調査する必要がある。

2015年3月17日に活動領域12297で発生したM1.1フレアでは、RHESSI・Hinode/EIS・SDO/AIA・NoRHが同時観測することに成功した。またディスク面上で発生したフレアではあるが、RHESSIによる観測においてこのフレアでは足元・コロナ両方で硬X線が検出された。我々はこのフレアを詳細解析することで次の結果を得た。1)RHESSIによる硬X線スペクトルを足元・コロナ源それぞれで調査した結果、コロナの硬X線は磁場に捕捉された電子による放射である。2)AIAによるEM解析を行った結果、インバルシブ相においてコロナ硬X線源周辺で急激な加熱が発生している。3)EISで観測された1千万度付近で形成される高温輝線において、赤方偏移した幅の広い輝線がコロナ硬X線源周辺で見られており、乱流的な速度場を持つ下方運動が伴っている。

本講演ではこれらの結果を紹介し、加速領域周辺の熱プラズマの状態・運動を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21b マイクロ波及び硬X線放射の統計的研究による白色光フレア発生条件の特定

鶴田康介, 渡邊恭子 (防衛大学校), 増田智 (名古屋大学), Säm Krucker (University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, UC Berkeley, 名古屋大学)

太陽フレアは太陽表面で発生する、太陽系最大の爆発現象である。特に大規模なフレアの場合には、人間の目で見える光（可視光）でも爆発に伴う増光が観測されることがあり、「白色光フレア」と呼ばれている。

我々はこれまでに、太陽フレアにおいて白色光フレアを生じる物理的条件を調べるために、*Hinode*/SOT 及び *SDO*/HMI によって観測された可視連続光データの統計分析を行ってきた。その結果、短時間に大量の加速電子が光球面に降り込むことが、白色光フレアを発生する重要な条件であることが示唆された (Watanabe et al., 2017)。その他に、白色光フレアではループトップの磁場強度が強いことや加速電子の降り込み領域が小さいことが示唆されていたが (北川潤 2015 年、修士論文)、解析イベント数が十数例しかなく、統計的に有意な結果は得られていなかった。

そこで本研究では、2010 年 1 月から 2017 年 12 月の間に発生した *GOES* M クラス以上の大規模フレア約 600 例のイベントについて、*Hinode*/SOT と *SDO*/HMI で白色光の有無を調べるとともに、*RHESSI* 衛星と野辺山強度偏波計 (NoRP) データを用いた解析を実施した。上記期間に得られていた約 100 例の *RHESSI* 衛星のデータについて、特に白色光に寄与すると考えられる 30 – 80 keV の硬 X 線画像を作成したところ、先行研究と同様の、白色光フレアの方が加速電子の降り込み領域が小さい傾向が見られた。また、上記期間に約 50 例得られていた NoRP のデータについて、マイクロ波スペクトルの折れ曲り周波数についても調べ、フレアループトップの磁場強度について考察した。これらの統計的な解析結果から、白色光フレアの発生条件について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22b 深層学習を用いたコロナ質量放出到来時間予測

関大吉, 木原孝輔, 浅井歩, 柴田一成 (京都大学), 根本茂 (京都大学・株式会社ブロードバンドタワー), 磯部洋明 (京都市立芸術大学)

コロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) は、地磁気嵐やそれによる大規模停電の原因になる (Boulduc 2002) ため、その到達時刻の予測は宇宙天気研究の中でも特に重要な課題である。このため、観測に基づく経験則から MHD シミュレーションまで、CME の地球到来時間の予測が広く研究されている。一方、近年機械学習を用いた回帰予測研究が盛んであり、太陽分野においても、機械学習を用いた宇宙天気予測がなされるようになってきた (Muranushi et al. 2015; Nishizuka et al. 2017)。今後も機械学習の手法を取り入れた宇宙天気予測研究は、大きく発展すると見込まれる。Liu et al. 2018 は、機械学習の手法の一つ Support Vector Machine を用いて、SOHO/LASCO による太陽近傍での CME に関する物理量 (CME 速度など) と、ACE 衛星による CME 発生直後 (CME 到達前) の太陽風に関する物理量 (太陽風速度など) から CME の到来時間を回帰予測した。その結果、平均絶対値誤差は 5.93 時間 (標準偏差 4.29) という結果を得た。

今回我々は、深層学習を用いて、CME 到来時間を回帰予測した。深層学習とは、機械学習の中でも、その予測精度の良さから近年特に注目されている方法の一つである。しかし、これまで深層学習を用いて CME 到来時間予測を行った研究は無かった。我々は、Liu et al. 2018 と同様の 12 の物理量を用いて、1996 年から 2009 年までの 264 例のイベントに対し、学習データとテストデータを 8:2 に分割し、CME 到来時間を回帰予測した。その結果、平均絶対値誤差は 11.6 時間 (標準偏差 8.3) となった。本講演では、これらの結果について報告するとともに、回帰モデルの改良による予測精度の向上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](#)

M23c コロナ質量放出到来のリアルタイム予測システムの開発

塩田大幸（情報通信研究機構）、八代誠司（米国カトリック大学/NASA GSFC）

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

我々のグループでは近年、内部にねじれた磁束管を持った複数の CME を太陽風の中に伝搬させる 3 次元磁気流体シミュレーションを開発した (Shiota & Kataoka 2016)。このシミュレーション (SUSANOO-CME) では、磁場を内部に含む CME を 30 太陽半径の内部境界に太陽風の分布に加えた内部境界条件を与えることで、外側の惑星間空間での太陽風・CME の伝搬を解く。CME モデルには 10 のフリーパラメータがあり、リアルタイムの観測データから決めることができるものと、観測からは決めることが難しいものがある。

そこで本研究では、情報通信研究機構 (NICT) の宇宙天気予報での利用を目的とした、リアルタイムの観測データを収集し、太陽フレア・CME が発生した直後に SUSANOO-CME を実行して CME の到来予測を行うためのシステムを開発した。GOES 衛星の X 線観測から太陽フレアの発生時刻とエネルギー規模を推定、SDO/AIA から発生位置を特定する。次に CME の伝搬速度については、ベルギーの CACTus など自動計測の精度は不十分であるため、NICT の予報官がブラウザ上で計測するためのシステムを新たに開発した。リアルタイムの SOHO/LASCO 差分画像を自動で作成、CME 先端の位置を計測し CME 伝搬速度を推定する。そのほかの観測から決めることが難しいパラメータについては、複数のケースを実行してアンサンブル予測を行うことが可能になっている。

講演では、デモンストレーションとして、2017 年 9 月に発生した活動領域 12693 で発生した一連のイベントについて、本システムを用いた到来予測を行なった場合の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M24c 高速風到来予測のための太陽風シミュレーションの自動化について

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

宇宙天気予報のリードタイムを延ばすことを目的に、情報通信研究機構（NICT）では太陽コロナ域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来た。前々回までの年会で、加熱モデルを入れることによりコロナを加熱し、太陽風を加速して太陽風構造を求めていることから、コロナホールと高速風の関係が直接判別でき、予報が困難な高緯度から低緯度へまたがるコロナホールの影響の予測に有効になり得ること、また加熱モデルに Kojima et al(2007) の研究から、太陽面の磁力線の開き具合を表す expansion factor（逆数）と磁場強度を乗じた量を取り込むことにより、高速風のピークの到来が改善される傾向にあることを示した。

今回我々はこのシミュレーションモデルを予報モデルに活用するために自動化を行い、1日に1度自動的に更新するシステムを作成した。加熱モデルのパラメータが入力データである GONG 磁場データの強度に依存することから、これまでこのパラメータを自動的に選定することが困難であった。2016年9月から2018年2月まで手動によりシミュレーションを行って来たが、この結果を解析することで、入力磁場データから適切と考えられる加熱パラメータを設定することが出来、これにより自動化することが可能になった。

ここでは自動化の方法と、自動化以降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](#)

M25b ガイド磁場印加リコネクションの自己相似的時間発展の特徴

新田伸也（筑波技大）、近藤光志（愛媛大）

磁気リコネクションの初期モデル（Sweet-Parker モデル、Petschek モデル）が提唱されてより半世紀を越えた。今日では標準モデルとして広く浸透している。近年では、太陽物理や磁気圏物理のみならず天体物理の広い分野でリコネクションの重要性が認識され、初期モデルも頻繁に応用されるようになった。しかし、素過程としてのリコネクションの理解は不完全なまま放置されて来たように思われる。

講演者は、天体現象への応用を意識した磁気リコネクションの新理論モデル構築を行ってきた。天体現象としてのリコネクションの特徴は、タイムスケール/空間スケールのダイナミックレンジが非常に大きい事である。このような系では、外部環境が特性長や特性時間を系に持ち込む事が出来ないため、系は必然的に自発的時間発展をし、その結果、自己相似的に拡大する解を持つ事になる（自己相似モデル：新田他 01, 02, 新田 04, 06, 07）。講演者らは、初期電流シートに対して物理量分布が非対称な場合に拡張して自己相似モデルを発展させて来た（新田他 16,18）。

本研究では、自己相似モデルをガイド磁場を印加した場合に拡張しようとしている。まず、物理量分布が対称でガイド磁場を印加した場合について OpenMHD コード（HLLD 法）を用いて 2D シミュレーション（ベクトル量は 3D 成分を持つ）した所、下記の事が明らかになったので報告する。1) 従来の理論通り Petschek 的 slow shock (SS) は回転不連続 (RD) と SS のペアに分離する。2) プラズモイド前方の SS も RD と SS のペアに分離する。3) ジェット内部の不連続構造はガイド磁場無しの場合と類似。これらを踏まえて、自己相似モデルのガイド磁場有り初期平衡への拡張について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26b プロミネンス噴出の3次元磁気流体シミュレーション

金子岳史、草野完也（名古屋大学）

プロミネンスの噴出は、磁気流体力学 (MHD) 不安定性 (トーラス不安定、ダブルアーク不安定) や磁気リコネクション、プロミネンスへの質量供給 (または損失) による重力変化など、様々な物理過程の複雑な相互作用によって引き起こされると考えられるが、詳細は未解明である。数値シミュレーションはメカニズム解明にとって有用であるが、低温高密度なプロミネンスを含める場合、熱伝導計算に多大なコストがかかる。近年、熱伝導を陽解法で効率良く解く Super Time-Stepping 法 (Meyer et al., 2014) が開発され、プロミネンス噴出のシミュレーションが行われはじめた。ただし、2次元シミュレーションであったり (Zhao et al., 2017; 金子, 草野, 2018 年春季年会)、3次元だが現実的なプロミネンスの密度、温度が再現できていない (Fan, 2017) など、課題は多い。

本研究では、非等方熱伝導と放射冷却、重力を含む3次元 MHD シミュレーションを実施し、プロミネンスの形成から噴出までの再現を目指した。初期コロナ磁場として線形フォースフリー条件を満たすアーケード磁場を配置し、磁気中性線上の一部領域に浮上磁場として逆極性の双極子磁場を導入した。結果、まずコロナ磁場と浮上磁場のリコネクションによりトーラス型の磁束管が形成され、さらに磁束管内部には放射凝縮 (熱不安定) により低温高密度なプロミネンスが形成された。トーラス不安定により磁束管と高温低密度なコロナプラズマは噴出するが、プロミネンスは一旦上昇した後、磁束管軸に沿って落下した。プロミネンスが落下することにより質量が急減し、噴出が駆動されやすくなった可能性がある (mass off-loading; e.g. Seaton et al., 2011)。また、前回の年会で報告した2次元シミュレーションの結果と比べて、噴出を起こすための条件として、磁場強度が強く、半径の大きな浮上磁場が必要であることも分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M27a 黒点データ及び太陽表面磁場観測を用いた活動経度に関する研究

近藤克哉, 今田晋亮, 藤山雅士, 三好由純 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

太陽表面に見られる太陽黒点の数は周期的に増減を繰り返しており、11年の周期的な活動をしていることが広く知られている。太陽活動の極大期では、太陽表面において黒点が多くみられ、黒点にともなう活動を通して、地球環境へ様々な影響を及ぼしている。黒点の出現には緯度依存性があることが古くより知られていて、太陽周期の初めは緯度 ± 30 度付近に、終盤では赤道付近に多く出現する。一方で、経度依存性の理解はそれほどされていないのが現状である。そこで、本研究では黒点の出現の経度依存性に関する調査を行う。太陽の磁場構造は基本的に軸対称な構造をしていると考えられており、ほとんどの研究で経度方向の依存性は無視されてきた。大局的な磁気構造は確かに軸対称であるが、擾乱成分のようなものには大きな偏りが生じる可能性も否定できず、黒点出現位置が経度方向に偏る可能性は以前より考えられてきた。本研究では Debrecen Photoheliographic Data(DPD、1974年から2018年現在まで)による黒点面積等のデータ、及び衛星から得られた太陽表面の磁場データから黒点出現位置の偏りについて調査した。1) DPDを用いてある黒点が出現してから緯度経度 ± 5 度以内の領域で再び黒点が出現する事象(黒点の再出現)を観測データと経度をランダムにしたデータと比較したところ、観測データは経度ランダムな場合に比べて黒点の再出現確率が高いことが分かった。2) 太陽サイクル24の磁場データを用いて、経度20度の幅を持つ帯内の磁場の変化を調査したところ、ある経度帯と180度反対側の経度帯で磁場の変化に正の相関があることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28a 活動領域 NOAA12673 が与える次期太陽周期への影響

渡邊優作, 今田晋亮, 飯島陽久, 三好由純

次の太陽周期活動を予測することは、太陽地球環境の予測にとって重要であり、そのため次の太陽周期予測スキームを構築することは、宇宙天気における長期変動研究の鍵である。近年、太陽極小期における極磁場と次の太陽活動との関係が集中的に議論されている。Iijima et al. (2017) は、表面フラックス輸送モデル (SFT) を用いて太陽極小における極磁場について議論し、次のサイクルは現在の太陽サイクルよりも弱いと結論づけている。我々はその結果の妥当性を評価する一環として、SFT による特定の活性領域の太陽磁場の時間発展を計算し、モデルによる結果と Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) で得られた観測値との間の相違について議論した。観測データの特異な例として、2017年9月6日に発生した X9.3 太陽フレアを引き起こした活動領域 NOAA12673 である。この例について、太陽の自転1周後のモデル計算結果と観測データと比較したところ、相関係数が0.6という高い相関が得られた。一方、2、3自転後の予測結果と観測結果の比較では相関は悪く、-0.1と-0.2であった。この結果は浮上磁場によるものと考えられる。また、活動領域の磁束が極域にどれだけ到達できるか評価したところ、NOAA12673 が引き起こす影響は極めて高く、この活動領域に発生に伴って、次の太陽周期の黒点数は Iijima et al. (2017) よりさらに低いものになるという結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M29a 黒点の拡散における太陽深部熱対流の影響

堀田英之（千葉大学）

これまででない深い計算領域を用いた輻射磁気流体計算により、黒点の拡散における深部熱対流の影響を調べた。太陽表面に現れる黒点は、数日から1ヶ月程度の寿命を持つ。黒点は、太陽内部の熱対流によって拡散されていくと考えられている。これまでに18 Mmほどの深さの領域の数値計算を用いて、黒点の拡散について調査されたことはあったが (Rempel, 2015)、太陽の対流層の深さは200 Mmあり、深部の熱対流の影響は無視することになってしまっている。そこで、対流層全体を取り扱うために開発されたR2D2コードを用いて、深さ140 Mm程度の大きな計算領域で深部熱対流の黒点の拡散における影響を調査した。数値計算の結果、数値計算の根元が浅くにあるときにくらべて、深くにある時の方が寿命が長いこと、大規模な下降流のある場所に比べて、上昇流のある場所に黒点がある時の方が寿命が長くなることがわかった。以上の結果より、黒点の拡散は深部の熱対流の影響を非常に大きく受けることがわかった。この結果は黒点の拡散自体が深部調査に使えることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 太陽表面对流に伴う平均磁場輸送過程の数値的検証

飯島陽久（名古屋大学）、堀田英之（千葉大学）、今田晋亮（名古屋大学）

本研究では、太陽表面の対流運動を精度良く再現する輻射磁気流体シミュレーションを用いて、太陽表面付近の対流運動が空間スケールの大きい磁場構造の輸送過程に果たす役割を検証した。

太陽ダイナモの平均場的な描像において、対流層内の乱流運動は拡散やパンピングなど空間スケールの大きい磁場に対する輸送過程の源になっている。対流層内部における平均場的な輸送パラメータに関しては、これまで多くの数値的研究がなされてきた。しかし、輻射の効果や磁場からのフィードバックの強い太陽表面における輸送過程の振る舞いに関しては、水平方向の乱流拡散係数の大きさを見積もる程度にとどまっていた。

乱流パンピングに代表される太陽表面における鉛直方向の磁場の輸送過程は、対流層内部における磁束の閉じ込めに大きく影響する。表面付近の鉛直方向の磁場の輸送過程を理解することは、太陽ダイナモ問題において、太陽表面の境界条件を定量化するという意味で重要である。

本研究では、太陽表面付近の対流運動を良く再現することが可能な輻射磁気流体シミュレーションを用いることで、空間スケールの大きい磁場の太陽表面对流による輸送過程を数値的に検証した。その結果、太陽表面付近では平均磁場の水平成分が非常に早く鉛直方向に輸送され消失することがわかった。これは、太陽内部の磁場が強く閉じ込められていることを示唆し、また太陽周期活動予測に利用される表面磁束輸送モデルの妥当性を支持する。発表では、この物理機構や、磁場からのフィードバックの影響などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M31a ひので衛星で観測したスペクトル線幅から得られる太陽光球面乱流の空間分布

石川遼太郎 (東北大学), 勝川行雄 (国立天文台), 大場崇義 (JAXA/ISAS)

太陽光球面では、乱対流がプラズマの動きを大きく支配しており、粒状斑と呼ばれる熱対流セルで埋め尽くされている。光球面のプラズマがこのような対流運動をするため、それらに凍結された磁場も同様にセル内の対流運動に従って移動し、最終的には対流セル境界に集められることでセル境界に沿った磁場構造を形成する。Rempel (2014) は RMHD シミュレーションにより、非常に小さい (< 100 km) 磁場構造が、静穏領域の磁気エネルギーの約 50 % を占めていると結論付けた。しかしながら、Katsukawa & Orozco Suárez (2012) はひので衛星の観測データについてパワースペクトル解析を行い、高波数領域でパワースペクトルが急峻に落ちていることから、粒状斑よりも小さい構造の保有するエネルギーが顕著に小さいことを示している。このように静穏領域光球面における微細構造の重要性については、まだよく分かっていない。

空間分解能以下の微細な乱流や強い磁場構造が存在する場所では、スペクトル線の線幅が変化する。本研究では、ひので衛星に搭載された可視光望遠鏡による偏光分光観測によって得られた、Fe I 6301.5 Å と 6302.5 Å のスペクトル線の線幅から乱流速度を推定し、静穏領域の光球において、乱流が発達している領域の解析を行った。線幅は乱流だけでなく磁場によっても広がるが、ランデ因子の異なる 2 本のスペクトル線を比較することで、磁場の強弱と線幅の大小を切り分けて議論した。その結果、まず線幅の広い領域 (65 mÅ 程度) がセル境界に沿って分布していることが分かった。さらにその中で局所的に線幅のさらに広い領域 (> 75 mÅ) が存在することが分かった。磁場によって線幅が広がっていると考えられる領域が存在する一方で、磁場が弱く線幅の広い領域も見られた。本講演では、これらの結果を踏まえ、光球面乱流の空間分布について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M32a 太陽白斑領域の「ひので」CNバンド高分解能観測

末松芳法（国立天文台）

「ひので」可視光望遠鏡の一番短い観測波長 CN バンド (388.3 nm) で、0.2 秒角を切る空間分解能で太陽光球を観測することが可能である。この分解能を更に改善し、光球微細構造のダイナミックな運動を調べるため、半ピクセルスケールの超解像の手法を適用した。このため、像安定のコリレーショントラッカーを止め、最小のケーデンス 1.6 秒で連続 5 データを取得することで、サブピクセルのサンプリングを行う。これを 18 秒間隔で 1 時間 15 分間にわたり、活動領域 NOAA11934 の白斑領域 (視野 27 秒角) で CN バンド・フィルター観測を行った。データを半ピクセルにビンニングし、連続 5 データを位置合わせして平均を取ることで 0.027 秒角サンプリングのフィルター像が得られる。直前に行った CN バンド・フォーカススキャン・データに、フェーズダイバーシティ法を適用して点像関数 (PSF) を得、これで半ピクセルフィルター像のデコンボリューションを行い、分解能 0.054 秒角の CN バンド・フィルター像を得た。この観測から、磁気要素に対応する CN 輝点の非常にダイナミックな振舞いがわかり、粒状斑に明るい波動構造が現れ伝播する様子や、渦構造が粒状斑接点ではっきり見ることができる。また、SDO-AIA304Å/HMI 磁場像でみえる浮上磁場構造の根元に対応する CN 輝点の運動と粒状斑の複雑な関係を見ることができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a マウンダー極小期中の低緯度オーロラの起原

磯部洋明（京都市立芸術大学）、早川尚志（大阪大学）、海老原祐輔（京都大学）、玉澤春史（京都市立芸術大学）、河村聡人（京都大学）

本研究の目的は歴史文献中に記録されている低緯度オーロラの記録から黒点がほとんどない時期が長期間続いたマウンダー極小期（1645-1715）における太陽活動について探ることである。マウンダー極小期における磁気緯度が30度以下の低緯度地域の記録のうち、多地点同時観測によりオーロラであることが確認されているのが1953年3月2日のオーロラである。このイベントは中国と日本の文献に独立した記録がある（Willis & Stephenson 2000）。

オーロラの仰角を10度程度と仮定すると、観測地の磁気緯度（約27度）から推定されるオーロラ帯低緯度境界の磁気緯度は約40度となり、これにオーロラ帯の磁気緯度とDst指数の経験則（Yokoyama et al. 1998）を適用するとDst指数は-600nT程度となる。マウンダー極小期中も黒点が皆無だったわけではないので、このような大規模磁気嵐を起こす一つの可能性は、この時期にたまたま大きな黒点が出現していたということである。しかし同時期にHeveliusがヨーロッパで行っていた黒点観測記録と照合すると、3月1日と9日は無黒点との記録があり、少なくとも大きな黒点はなかった可能性が高い。一方で、1994年4月14日の磁気嵐（Dst \sim -200nT）のように、黒点から離れた静穏領域のフィラメント噴出が強い磁気嵐を起こすこともありうる。Burton et al. (1975) が経験的に導出したDst指数の発展方程式を解くと、太陽風中の南向き磁場40nT、太陽風速度毎秒500kmが8時間程度続けば、Dst \sim -600nTが実現されることが示唆される。これはフラックスロープの磁束にして約 2.5×10^{21} Mxに相当し、超巨大静穏領域フィラメントの噴出に付随する値としては可能な範囲と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M34a 東アジアの新出史料に見る 1730 年代の巨大宇宙天気イベント

服部健太郎（京都大学），早川尚志（大阪大学），海老原祐輔（京都大学）

太陽活動に由来する宇宙天気イベントがどの程度の規模・頻度で発生したかを知ることは、電気インフラに依存した現代社会にとって喫緊の課題である。宇宙天気イベントについては、1859 年のキャリントン・イベントが過去最大規模のものとされるが、近年の放射性同位体比や歴史文献の精査によって過去キャリントン・イベント程度、あるいはそれ以上の宇宙天気イベントが発生していた可能性が明らかになりつつある。今回の報告では、18 世紀前半での東アジアの文献の低緯度オーロラ記録のサーベイに基づき、特に低緯度まで複数地点でオーロラが報告された 1730 年と 1737 年の宇宙天気イベントについて、歴史文献から得られた知見を紹介する。

1730 年 2 月 15 日にはオーロラが日本や中国の各地で京都（25.8 ° MLAT）に至るまで観測され、史上最大という 1859 年の磁気嵐ほど強くはないが、Dst 値観測史上最大の 1989 年の磁気嵐と同等の強さの磁気嵐が生じたことが判明した [1]。加えて、その後の調査で中国清代の歴史的公文書でも低緯度オーロラが記録されていることが分かった。現象の発生・終了に至るまでの時間表現も含まれていることから、観測地点が増え、より詳細な議論を行う上で役立つと期待される。また、これまでほとんど検討されてこなかった 1737 年 12 月の赤気記録について、同時期の東アジアの歴史文献を精査した結果、中国（1737.12.23-12.26）、韓半島（1737.12.1425）、日本（1737.12.11 12.20）などで、独立して赤気が報告され、1770 年 9 月同様、磁気緯度 30 ° 以下の東アジア一帯で 10 日以上低緯度オーロラが見え続けるような異常な宇宙天気イベントが進行していたと推定される。1730 年及び 1737 年の東アジアのオーロラ記録を通じ、未解明の部分が多い 1730 年代の太陽活動の一端を明らかにする。[1] Hayakawa, ... , Hattori, et al. 2018, *Astronomy & Astrophysics*, doi: 10.1051/0004-6361/201832735.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a 惑星間空間シンチレーション観測を用いたデータ同化型太陽嵐到来予測モデルの開発

岩井一正 (名古屋大学), 塩田大幸, 久保勇樹, 田光江 (NICT), 徳丸宗利, 藤木謙一 (名古屋大学)

太陽から放出されるコロナ質量放出 (CME) 現象は地球に到来すると地球周辺環境に擾乱をもたらす、電波通信や人工衛星・航空機の航行、GPS 測位など、社会生活に様々な影響を与えるため、到来前に予報することが重要である。従来の CME 予報モデルでは、可視光のコロナグラフ観測などから CME の初期速度を導出し、MHD シミュレーション上で、惑星間空間における伝搬を解くことで地球への到来を予報していた。しかし観測から求める初期速度に誤差があることや、惑星間空間中を伝搬する過程で CME が加速・減速を受ける影響で予報精度は低かった。惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測は、遠方天体の地上電波観測から太陽風や CME の通過に伴う電波の散乱現象を捉えることで地球方向に飛来する CME を検出できる。名古屋大学で行っている IPS 観測の観測周波数では、0.2 から 1AU までの範囲に感度があり、伝搬過程の CME を検出しやすいという利点がある。本研究では CME 到来予測精度の向上を目的とし、MHD シミュレーションに IPS 観測から得られたデータを組み入れるための手法を開発した。まず MHD シミュレーション SUSANOO-CME (Shiota and Kataok 2016) を用いて、コロナグラフ観測から CME の初期速度を与え、伝搬のシミュレーションを行う (塩田他本年会)。そこで得られる内部太陽圏の 3 次元密度分布を元に、地球から各電波天体への視線に沿った電波の散乱を解くことで擬似的な IPS データを再現する。複数の CME 初期速度で計算し、それぞれから得られる擬似 IPS データの中から、最も実際の IPS 観測を再現する結果を採用することで予報精度の向上を可能とする。2017 年に発生した代表的な CME に対して本シミュレーションを行った結果、実際の観測に近い擬似 IPS データの再現に成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【N. 恒星】

9月19日(水) 午前(11:00-13:00) [F会場]

N01a	11:00	可視中分散分光観測による M 型矮星の特性決定 小泉陽平 (東京工業大学)
N02a	11:12	放射層を持たない晩期 M 型星の自転と定常 X 線光度の関係 佐藤樹 (中央大学)
N03a	11:24	巨大黒点を持つ近傍太陽型星の K2 ミッション測光観測と同時高分散分光観測 野津湧太 (京都大学)
N04a	11:36	赤色巨星変光星の周期光度関係の微細構造について 高山正輝 (兵庫県立大学)
N05a	11:48	星風衝突 Wolf-Rayet 連星系 WR 125 の X 線光度変動 御堂岡拓哉 (東京大学)
N06a	12:00	X 線分光を用いた Wolf-Rayet 連星系 WR 25 の星風測定 菅原泰晴 (宇宙航空研究開発機構)
N07a	12:12	Be 星プレオネの H α 輝線観測が示す伴星が円盤に与える影響 本田敏志 (兵庫県立大学)
N08a	12:24	共生星 AG Dra の 2016-2018 アウトバースト期における可視分光観測 安藤和子 (岡山理科大学)
N09a	12:36	磁気流体数値計算に基づく M8 型星 TRAPPIST-1 の恒星風加熱・駆動機構の考察 坂上峻仁 (京都大学)
N10a	12:48	炭素過多 AGB 星における磁気駆動風での厚いダストシェルの形成 保田悠紀 (北海道大学)

9月20日(木) 午前(9:30-10:54) [F会場]

N11a	09:30	マグネシウム・ケイ素の過剰を示す炭素過剰星 LAMOST J2217+2104 青木和光 (国立天文台)
N12a	09:42	KIC11145123 内部に存在する速度シアとその物理的考察 八田良樹 (総合研究大学院大学)
N13a	09:54	3次元モデルに基づいた混合距離パラメータの制限 園井崇文 (東北大学)
N14a	10:06	長周期変光星における VLBI と Gaia による年周視差の比較 中川亜紀治 (鹿児島大学)
N15a	10:18	近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた分子雲複合体 G23.3-0.4 近傍にある赤色超巨星の組成解析 谷口大輔 (東京大学)
N16a	10:30	Line-depth ratios as indicators of stellar parameters: the metallicity and gravity effects based on WINERED near-IR high-resolution spectra Mingjie Jian (The University of Tokyo)
N17b	10:42	原始惑星状星雲 QX Pup の近赤外線波長帯での変光周期の変化 儀間博考 (鹿児島大学)
N18c		IR-TMT と位置天文衛星の距離データを用いたレッドクランプ星の絶対等級の決定 小野里宏樹 (東北大学)
N19c		Near-Infrared Thirty ”Millimeter” Telescope による銀河面サーベイ (2) 幅崎裕太 (東北大学)
N20c		北極星の脈動振幅の変動の共鳴仮説 II 石田俊人 (兵庫県立大学)

N01a 可視中分散分光観測による M 型矮星の特性決定

小泉陽平 (東京工業大学), 佐藤文衛 (東京工業大学), 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 大宮正士 (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), J. Wisniewski (オクラホマ大学), IRD チーム

近年、M 型矮星は地球型惑星探索のターゲットとして注目を集めている。世界中で M 型星周りでの地球型惑星の探査が計画されており、日本でも、すばる望遠鏡に搭載される近赤外高分散分光器 IRD を使った観測が計画されている。惑星の特性決定は中心星の特性に強く依存するので、惑星探索において中心星の詳細な理解はとても重要であるが、特性が決定されていない M 型矮星は未だ多く存在する。

2016 年秋季年会では IRD のターゲット候補天体のスペクトル型決定について発表したが、今回の講演では、IRD のターゲット候補天体 270 星に対する温度、半径決定について発表する。国内外の望遠鏡を用いて取得した可視中分散分光スペクトルと理論スペクトルの比較によって温度の決定を行った。その際、分子の吸収帯ごとに解析を行い、温度決定精度を確かめたところ、VO の吸収帯のみを使用する場合が一番高い精度を達成することができた。半径の決定には測光観測データとスペクトルエネルギー分布との比較を用いた。今回の解析の結果、我々のサンプルの有効温度は 2500 – 3800 K のものが多く、半径は 0.45 – 0.1 太陽半径に分布していた。ほとんどの天体で可視のスペクトルからの温度決定の例はなく、我々の研究で初めて温度を決定した星が多い。

今回の研究によって、今後の地球型惑星探索のターゲット候補天体に対して重要な特性を提供することが可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02a 放射層を持たない晩期 M 型星の自転と定常 X 線光度の関係

佐藤樹, 坪井陽子, 岩切渉, 杉田龍斗, 佐々木亮 (中央大学)

小質量星は数百万 K の高温のプラズマを持ち、定常的に X 線を放射しており、この X 線光度と自転の関係は、恒星ダイナモの振る舞いを表していると考えられる。太陽型星のように対流層と放射層の 2 つの層の境界 (タコクライン) では、効率的にダイナモが駆動すると考えられている。一方で、スペクトルタイプ M4 以降の晩期 M 型星は、全てが対流層のみでありタコクラインを持たない為、ダイナモがどのように働くのかは分かっていない。Wright et al. 2011 及び Wright et al. 2016 では、回転のパラメーターに対流運動を考慮したロズビー数 (R_o) を用いて、晩期 M 型星も含めた小質量星の回転と X 線放射の関係を結びつけた。その結果、小質量星はそのスペクトル型に依らず、 $R_o < 0.13$ の天体は全放射光度で正規化した定常 X 線光度 (L_X/L_{bol}) が $10^{-3} \text{erg s}^{-1}$ で一定になり、 $R_o > 0.13$ の天体では $L_X/L_{bol} = 10^4 - 10^8 \text{erg s}^{-1}$ の範囲で、 $L_X/L_{bol} \propto R_o^{-2.70}$ の冪乗則に従って減少する事を示した。この観測事実は、恒星ダイナモが放射層を持たない晩期 M 型星にまで拡張できる事を示唆している。しかし、 $R_o > 0.13$ の天体のサンプル数は、太陽近傍 13 pc 以内の 4 天体のみであったため、我々は $R_o > 0.13$ の晩期 M 型星を 30 pc 以内からサンプリングすることで、天体の統計数を増やし、 L_X/L_{bol} と R_o の関係が放射層を持つ恒星と同様になるかを調査した。具体的には、X 線天文衛星 Chandra と XMM-Newton のアーカイブデータを用いて、全 7 天体を解析し、各天体の定常 X 線光度 (0.2-2.4 keV) を算出した。その結果、我々のサンプルから得られた冪は $\beta = -2.65$ であり、先行研究と矛盾が無いことが分かった。このことから、我々の結果も、晩期 M 型星の X 線放射機構が太陽型星と同様であり、タコクラインの有無には依らないことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N03a 巨大黒点を持つ近傍太陽型星のK2ミッション測光観測と同時高分散分光観測

野津湧太, 前原裕之, 行方宏介, 幾田佳, 野津翔太, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), Suzanne Hawley, James Davenport (University of Washington)

近年、Kepler 宇宙望遠鏡の可視測光観測データにおいて、星の自転に伴う明るさ変動の情報から星表面の黒点面積等を調べる研究が幅広く行われている (Maehara et al. 2017 他)。しかし、可視光の明るさ変動データのみでは、巨大黒点 (活動領域) の個数や分布、白斑の効果など恒星表面の詳細な構造に迫ることは出来ない。そこで、可視光での明るさ変動に加えて、彩層線強度や X 線強度の自転に伴う時間変化へ着目した探査も重要である。

Kepler 宇宙望遠鏡の第 2 期ミッション K2 では、黄道面付近の様々な領域について、1 領域あたり約 80 日間の測光観測が実施されている。このうち、2017 年 12 月 7 日から 2018 年 2 月 25 日にわたって実施された K2 Campaign-16 は、観測領域が地上から夜に同時観測可能であった。この観測領域内には、過去の明るさ変動観測から巨大黒点の存在が示唆され (BY Dra 型変光星として分類)、ROSAT 全天 X 線サーベイで X 線源 ($L_X > 10^{28} \text{erg s}^{-1}$) として検出された近傍太陽型星 (IK Cnc, $V \sim 8.3$ 等) が 1 星含まれていた。

私達は、この太陽型星 IK Cnc について、Apache Point 天文台 3.5m 望遠鏡を用いた高分散分光観測 (波長域 3200~10000Å, 波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) 約 32000) を、K2 で観測中の約 80 日間の間に 5 晩、K2 の観測終了から約 2ヶ月後に 2 晩、合計 7 回実施した。その結果、まず IK Cnc が温度差約 150K の太陽型星同士の実視連星と確認した。そして片方の星 (IK Cnc A) でのみ、Ca II H&K 線や Ca II 8542Å 線の彩層線で peak 強度の変化と、7 回中 3 回の観測で 30~40km s⁻¹ の大きさの red shift 成分を検出した。さらに、K2 の測光観測では自転周期と思われる約 9 日周期の変動が見られた。講演ではこの彩層線の変動と K2 測光観測での変動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](#)

N04a 赤色巨星変光星の周期光度関係の微細構造について

高山正輝 (兵庫県立大学)

明るい赤色巨星の変光星の多くは、変光周期が1日から1000日を超える長周期変光星 (long period variable, LPV) である。また多くのLPVは多重周期の変光星でもある。これらの周期と星の明るさには相関があり、現在ではA', A, B, C', C, D, E, Fの8本の周期光度関係が確認されている (e.g. Soszynski et al. 2013)。この内、脈動変光星が作る系列はDとEの2本を除く6本の系列である。

これら脈動変光星で複数の周期光度関係が現れる理由は、それぞれの系列ごとに、対応する星の脈動モードが異なっているためであると考えられてきた。系列CとC'はそれぞれ動径脈動のfundamental modeとfirst overtone modeで上手く説明できる (e.g. Wood et al. 1999; Ita et al. 2004)。それより短い周期の系列はより高次の脈動モードに対応すると予想されている (e.g. Trabucchi et al. 2017)。しかし多くの先行研究において理論的な数値計算結果と観測された周期の比較が行われてきたが、A', A, Bの各系列がどの脈動モードに対応するかの議論には未だに決着がついていない (cf. Takayama et al. 2013; Soszynski et al. 2013; Wood 2015)。その理由の一つとして、周期光度関係には更に微細な構造が隠されているために、理論的なモデルと比較するために不可欠な、観測結果に対する我々の理解が不足していることが考えられる。

本講演では、OGLEの大マゼラン星雲のデータを用いて、周期光度関係の微細な構造を理解するための新しい手法の提案を行う。この手法を用いて、系列AとBが複数の微細な周期光度関係から構成されていることを見つけた。一方系列A'は単一の構造であることがわかった。この結果は先行研究の主張とは異なる (cf. Soszynski et al. 2007; Wood 2015)。この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](#)

N05a 星風衝突 Wolf-Rayet 連星系 WR 125 の X 線光度変動

御堂岡拓哉, 菅原泰晴 (ISAS), 海老沢研 (ISAS, 東京大学)

Wolf-Rayet 星 (WR 星) の多くは連星系であり、特に両者の星風衝突によって高温ガスが形成されているものを「星風衝突 WR 連星 (Colliding Wind Wolf-Rayet Binaries; CWWB)」と呼んでいる。CWWB の高温ガスは X 線を放射しており、連星間距離の変化が X 線スペクトルに与える影響の観測から、星風パラメータに制限をつけることができる。一般に、楕円軌道を持つ長周期 CWWB は近星点付近でダストを生成し、周期的に赤外線増光する。今回のターゲットである WR 125(WC7+O9) は 1991–1992 年にかけてダストによる赤外線増光が報告されている (Williams et al. 1992, 1994)。前回年会において、2016–2017 年に実施した Swift 衛星及び XMM-Newton 衛星による観測で X 線を初検出し、有意な光度変動が得られなかったことから、WR125 は少なくとも周期 25 年以上の長周期 CWWB である可能性が報告された (2018 年春季年会 N01)。

今回我々は、赤外線増光の報告から近星点付近であったと推測される、1991 年の ROSAT 衛星による指向観測データに注目した。解析の結果、ROSAT/PSPC では有意に X 線は受かっておらず、近星点から十分遠いと推測される 2016–2017 年に観測されたフラックスの $1/3$ ($7.8 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ @ 0.1–2.0 keV) 以下であった。つまり X 線光度は、連星間距離に反比例して変動するという予想 (e.g., Usov 1992) に反して、WR 140 や WR 21a と同様 (e.g., Sugawara et al. 2015)、近星点付近で低エネルギー X 線が大きく減光していることが示唆される。その原因としては、(1) 星風加速不足による衝突領域の減少、(2) WR 星や伴星が星風衝突領域の手前に在る場合、(3) 星風衝突領域からの X 線が WR 星星風に大きな吸収を受けているなどの可能性があげられる。本講演では、今までの WR 125 の解析結果をまとめ、その X 線光度変動の起源について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N06a X線分光を用いた Wolf-Rayet 連星系 WR 25 の星風測定

菅原泰晴 (JAXA)

大質量星の進化では、内部の核融合反応を反映する元素組成比と進化のタイムスケールに影響する質量放出率が重要なパラメータとなっている。大質量星の多くは連星系を成し、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、X線帯域で星風の密度や加速量を定量的に調べるのが近年可能となった。現在までに、星風衝突を起こしている楕円軌道の連星系 WR 21a(WN5h+O3, P~32 days)、WR 140(WC7+O5.5, P~7.9 yr)、WR 19(WC5+O9, P~10.1 yr) の X線観測をもとに星風測定を行い、質量放出率を求めることに成功している。

今回、X線帯域で最も明るいWR星であり、X線観測データが非常に豊富なWR 25(WN6h+O4, P~208 days) をターゲットとした。観測データの中から、集光力があり質の高いスペクトルが得られるXMM-Newton衛星のデータを採用し、スペクトル解析を行い、X線吸収量が連星位相に伴って変動していることを確認した。WR星からの球対称な星風による吸収を仮定した結果、観測されたX線吸収量の変化が軌道傾斜角10度以下で再現され、連星の軌道傾斜角を制限することに初めて成功した。また、WR星の質量放出率が $\dot{M}_{\text{WN}} \sim 5 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ であると求めることができた。本講演ではこれらの解析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](#)

N07a Be星プレオネのH α 輝線観測が示す伴星が円盤に与える影響

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

Be星は過去に一度でもバルマー輝線がみられたB型星のことで、通常のB型から輝線を示すBe、あるいはその逆へと変化することが知られている。輝線は恒星周囲の円盤から放射されると考えられ、円盤を真横から見た場合には、ガス殻の吸収線が重なって見える。Be星円盤の生成や星からの質量輸送などを明らかにすることが課題となっている。プレオネは長年研究されているBe星の一つで、約35年の周期活動中で位相変化を見せることが分かっており、2006年以来“Be-ガス殻”期を示しているが、数年以内にBe期へ移ると予想される。この位相変化は、長期偏光観測解析から、周期218日の分光連星であるプレオネの伴星による円盤歳差運動で説明されている(Hirata 2007)。しかし、伴星が円盤へ与える影響など詳しいことは分かっていない。我々は、218日周期の伴星による円盤への影響を調べるため、近星点通過時期を狙って兵庫県立大学西はりま天文台でH α 輝線の分光観測を行ってきた。2017年の近星点通過時の観測では、輝線のダブルピーク強度比が逆転し、その後再び元に戻ることが観測された(2017年年会報告)。このような現象はBe-ガス殻期での近星点通過時に毎回起きていることが、Pollmann(2018)によって報告されている。そこで、輝線の変化についてより詳しく調べるために、2018年1月の近星点通過時に集中的な観測を行い、Be星スペクトルデータベース(BeSS)からもこの期間のスペクトルを得て、約2ヵ月間にわたる連続的なH α 輝線のプロファイル変化を追った。その結果、輝線強度の変化は単純なダブルピーク比で示せるものではなく、円盤のやや内側を反映する速度成分に段差構造が近星点通過直後に発生し、その後すぐに、赤側輝線ピークの中央部分がフラットな形へとつながるような変化が検出された。この現象は、過去のスペクトルでも確認することができた。本発表ではこの解釈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](#)

N08a 共生星 AG Dra の 2016-2018 アウトバースト期における可視分光観測

安藤和子、田邊健茲、赤澤秀彦、福田尚也（岡山理科大学）

AG Dra (りゅう座 AG 星) は K 型巨星と白色矮星の共生星として古くから知られている。この天体は Janssen and Vyssotsky(1943) によって発見され、弱い連続スペクトルに H I と He II の輝線が観測された。その後輝線の視線速度は、 -146 km/s、吸収線の視線速度は -137.6 km/s と観測された。この天体は大きい固有運動を示すことから Eggen(1964) によって高速度星のリストに加えられた。この天体のスペクトルには H I、He I、He II の強い輝線と低温度の伴星の吸収線が観測される。静穏期で約 11 等、アウトバースト時は約 2.5 等の増光を示し、その間には約 0.6 等の小さな変光も観測される。歴史的に最初の増光は 1980 年で、極大は 8 等となった。その後、約 15 年周期で増光が観測されている。2016 年 4 月にこの天体の増光の報告を受け、我々は岡山理科大学天文台の 28cm 分光観測望遠鏡に低分散可視分光器 DSS-7 を取り付けて分光観測を行った。そして我々はこの天体に対して 2016 年 4 月から現在まで、20 夜の分光観測を行ってきた。AAVSO に報告された観測によると、2008 年以降は極小から約 1.5 等の増光となっており、1980 年のアウトバーストに比べ小規模なイベントしかおこっていないと考えられる。我々の観測で得られたスペクトルの主な特徴は水素の Balmer 線 ($H\alpha$ 、 $H\beta$)、He I、He II の顕著な輝線である。2016-2018 年のアウトバースト時の低分散可視分光器による観測はあまりされていないため、本講演ではこれまでの我々の観測で得られたスペクトルの振る舞いを、水素の Balmer 線と He II の輝線に着目して報告する。またこの天体は高い銀緯 ($l = 100.288$ 、 $b = +40.971$) をもつ。2018 年 4 月に公開された Gaia DR2 を用いると、距離は約 5kpc となり、これによりアウターアーム上の銀河面から約 2.5 kpc に位置するハローの天体であることが分かった。Gaia の結果と我々の得たスペクトルとの関係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](#)

N09a 磁気流体数値計算に基づく M8 型星 TRAPPIST-1 の恒星風加熱・駆動機構の考察

坂上峻仁, 柴田一成 (京都大学)

TRAPPIST-1 は M8 型の主系列星で、有効温度 2559K、質量 $0.08M_{\odot}$ の低温低質量星である。この恒星には 7 つの惑星が確認されており (Gillon et al. 2017)、恒星物理学・宇宙生物学などから幅広く関心が集まっている。とりわけ TRAPPIST-1 からの恒星放射や恒星風は、惑星間環境を特徴づける上で重要な研究対象である。こうした観点から、太陽風研究を通じて構築されてきた理論モデルを TRAPPIST-1 の恒星風に適用する研究が進んでおり、中でも恒星下層大気で励起された非圧縮性磁気流体波の散逸により、恒星風を加熱・駆動するモデルが有力である。実際先行研究 (Garraffo et al. 2017) では、非圧縮性磁気流体波の乱流散逸を考慮した太陽風モデルを拡張することで、TRAPPIST-1 の恒星風の 3 次元数値実験に成功している。一方、恒星大気において非圧縮性磁気流体波の散逸を担うのは乱流だけではなく、非線形過程を通じて形成される衝撃波の散逸も重要である。この過程は太陽下層大気のダイナミクス (Kudoh & Shibata 1999) や太陽風駆動 (Suzuki & Inutsuka 2005) などの数値実験において観測との整合性が確かめられているのだが、TRAPPIST-1 への適用例はまだない。そこで本研究では、非圧縮性磁気流体波の非線形化・衝撃波形成を考慮した 1 次元磁気流体数値実験を試み、TRAPPIST-1 の恒星大気形成・恒星風駆動の実現に成功した。本講演では実現された大気構造と先行研究とを比較した結果について詳述する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N10a 炭素過多 AGB 星における磁気駆動風での厚いダストシェルの形成

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

光学的に厚い炭素ダスト (シェル) で覆われた炭素過多 AGB 星からの質量放出現象は脈動とダストに働く輻射圧を考慮した動力学モデルの枠組みで研究されてきた (e.g., Fleischer et al. 1992)。一方で我々は磁気駆動星風機構のみで炭素過多 AGB 星からの星風特性 (質量放出率やガス速度) が再現可能であることを示した (保田他 2018 年春季年会)。今回はその磁気駆動風モデルを炭素ダスト形成とダストに働く輻射圧を考慮したものへと拡張する。特に近年の観測 (Duthu et al. 2017) により表面磁場が 3.8 G 程とみなされている代表的な炭素過多 AGB 星 IRC+10216 に注目する。そして星風構造 (ガス密度、速度の動径分布) 及び星風特性の (観測から見積もるのが困難な) C/O 値への依存性を探る。計算に際しては、既存の動力学モデルとの比較のため Gail and Sedlmayr 1988 の炭素ダスト形成モデルを採用し、またガスとダストが一緒に移動する (Position Coupling (PC)) とする。

酸素の元素存在度 (O/H) を個数比で 4.57×10^{-4} (Asplund et al. 2005) とし、C/O を free parameter として以下の結果を得た。C/O=1.3 以下の場合、形成されるダストはその平均サイズは半径で 0.1-0.3 μm と比較的大きい一方で、核形成率が小さいため、凝縮効率が低く、(3.4 μm で光学的厚さが 1 以上の) 光学的に厚いダストシェルは生成されない。C/O の値が 1.4 以上となると凝縮効率が 0.3 以上となり、光学的に厚いダストシェルが形成されるようになった。同時にガス速度も磁気駆動星風機構のみの場合 (10km/s 程) に比べて有意に増大し、C/O=1.6 の場合には 17km/s にまで増大した。本講演ではこれらの結果を詳述し、既存の動力学モデルでの結果と比較し議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11a マグネシウム・ケイ素の過剰を示す炭素過剰星 LAMOST J2217+2104

青木和光, 松野允郁 (国立天文台, 総研大), 本田敏志 (兵庫県立大学), 石垣美歩 (Kavli IPMU), 須田拓馬 (東京大学), Haining Li, Bharat Kummer Yerra (NAOC)

銀河系に存在している金属量の非常に低い星は初代星が作り出した元素組成を概ね反映していると考えられ、ここ 20 年ほど集中的に調べられてきた。その結果、金属量の特に低い ($[Fe/H] < -3.5$) 星の多くで鉄に比べると炭素が相対的に過剰 ($[C/Fe] \gtrsim +1$) であり、一部の天体はマグネシウムやケイ素にも過剰 ($[Mg/Fe] \gtrsim +1.5$ など) を示すことが明らかになり、初代星の起こす超新星の特徴を記録した天体として注目されてきた。しかしこのような天体はきわめて稀で、これまでに組成が詳細に調べられたのは 4 例程度しかない。我々が進めてきた LAMOST とすばる望遠鏡を用いた金属欠乏星探査のなかで、この種の天体が新たに発見された (LAMOST J2217+2104)。この星の酸素から鉄族元素までの組成比は、これまでに知られていた 4 例と非常によく似ている。炭素と窒素の組成比は天体ごとに異なるが、その合計と酸素の組成比 $(C+N)/O$ はほぼ一定であり、炭素・窒素の組成比の違いは、いったん炭素が合成された後の CN サイクルの影響と解釈できる。炭素から鉄族元素までの組成パターンは、25 太陽質量程度の初代星が起こす超新星爆発による元素合成モデルで最もよく説明される。これは金属欠乏星一般の起源天体として想定されている星の質量と大きく違うものではなく、炭素からケイ素までの過剰を作り出すような爆発を引き起こす原因は別にある (自転や伴星の有無など) と考えられる。

J2217+2104 の Sr と Ba 組成は、これまでに知られていた同種の天体に比べて低く、鉄より重い中性子捕獲元素の組成比は星ごとに大きく異なることが判明した。これは金属量の非常に低い星一般にみられる特徴であり、中性子捕獲元素の合成と炭素からケイ素までの過剰を作り出すプロセスは直接関係しないと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a KIC11145123 内部に存在する速度シアとその物理的考察

八田良樹, 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学), 高田将郎 (東京大学)

星震学は Kepler 探査機による高精度測光観測により飛躍的に発展し、基本的恒星パラメタの導出 (Kjeldsen et al. 1995) や、内部自転角速度分布の推定 (Deheuvel et al. 2012) において大きな威力を発揮している。

中でも青色はぐれ星とも推定される KIC11145123 の星震学は注目度が高い。Kurtz et al. (2014) は星震学を用いてこの星の一次元的な自転角速度分布を推定し、「この星の外層 ($r/R > 0.8$) が深部放射層 ($r/R \sim 0.05$) よりも僅かに速く自転していること」を発見した。我々は Kurtz らの解析を二次元に拡張し、同様のトレンドを確認した (2017 春季年会 N24)。しかし、その後の詳細な解析から「この星の対流コア ($r/R < 0.045$) は他の領域に比べ 6 倍ほど速く自転していること」を新たに発見した (Hatta et al., in prep.)。ここまでの強い速度シアが、水素燃焼を行なっている星について見つかったのはこの星が初めてであり、この発見は対流コアとその上部放射層との間の角運動量の輸送機構を探る上で大きな制約となりうる。

本講演では、KIC11145123 の恒星モデルの改善 (2018 春季年会 N21) から示唆された、「この星の深部において拡散が弱められていること」と、上記の「強い速度シア」との間の物理的関係性を、対流やオーバーシュートなどによる元素混合に焦点を当てて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N13a 3次元モデルに基づいた混合距離パラメータの制限

園井崇文(東北大学), H.-G. Ludwig(ハイデルベルグ大学), M.-A. Dupret(リエージュ大学), R. Samadi, K. Belkacem, E. Caffau, M.-J. Goupil(パリ天文台), J. Montalbán(パドバ大学)

近年、CoRoT, Kepler といった宇宙望遠鏡により、太陽型振動の高精度データが系統的に得られている。この観測結果を用いた星震学によって、恒星の質量、年齢などの諸性質を、高精度で決定することが可能になると考えられている。この観測を最大限活かすには、それに見合った精度を持つ理論恒星モデルが必要である。一般に、恒星進化モデルでは、混合距離理論 (MLT) を用いて、対流フラックスを計算しているが、混合距離がフリーパラメータに依存していて、モデルの不定性の一因となっている。このパラメータの値は、光球面直下にある超断熱層の構造、そして、太陽型振動の振動数に大きな影響を及ぼす。

本研究では、3次元流体シミュレーションコード CO⁵BOLD で得られたモデルに、1次元モデルを整合することで、混合距離パラメータの制限を行った。1次元モデルにおける対流フラックスの計算に、MLT の他に、Canuto & Mazzitelli (1991), Canuto, Goldman & Mazzitelli (1996) によって提唱された Full Spectrum Turbulence モデルを用いた場合も検証した。まず、太陽モデルについては、混合距離が圧力スケールハイトの何倍かを表すパラメータ α が、先行研究における観測との整合により得られた値に近いものとなった。太陽モデルの他、主系列から赤色巨星段階にかけての太陽型星のモデルについても整合を行ったが、低有効温度、あるいは高表面重力加速度の星ほど α が大きくなるという結果が得られた。主系列から赤色巨星段階への進化の過程では、最大 30%ほど太陽での値が逸脱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](#)

N14a 長周期変光星における VLBI と Gaia による年周視差の比較

中川亜紀治 (鹿児島大学), 須藤広志 (岐阜大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 国立天文台 VERA プロジェクト

2018年4月、位置天文衛星 Gaia による観測結果が Data Release 2 (DR2) として公表され、13億を超える天体の位置天文情報(位置、固有運動、年周視差)が利用可能となった。著者たちは VLBI の手法を用いて長年にわたり Mira 型変光星を含む長周期変光星の位置天文観測を行ってきた。本講演では、国内外のすべての位置天文 VLBI による年周視差を、予備的結果も含めて集め、これらを Gaia による計測値と比較した結果を報告する。約 25 天体の年周視差比較が可能であったが、VLBI と Gaia の間で、互いの誤差範囲内で計測値が一致する天体は全体の半分にも満たなかった。VLBI による年周視差計測誤差が距離にほとんど依存しない一方で、Gaia では遠い天体の誤差が大きくなる傾向がみられた。また Gaia では、その計測精度に関わらず、同一天体に対して VLBI の計測値より小さな年周視差値を示す傾向が見えてきた。この理由について解釈が難しいところではあるが、ここで論じている長周期変光星の見かけの光球サイズは数 mas であり、これが年周視差の値と同程度の大きさを持つことと関連している可能性がある。変光周期との関連も議論する。また距離 100pc 程度の近い星の年周視差については、VLBI と Gaia の間より、むしろ VLBI と HIPPARCOS の間で良い一致を見せるものもあった。このほかに固有運動の比較結果なども報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N15a 近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた分子雲複合体 G23.3–0.4 近傍にある赤色超巨星の組成解析

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

近年の近赤外線高分散分光の発展により, 銀河系内縁部の金属量分布の研究が進展しつつある. とりわけ銀河中心から 4 kpc あたりより外側においては, 銀河中心から外側に行くほど金属量が低くなる金属量勾配の存在がよく知られている. 一方, 若い散開星団 RSGC1 と RSGC2 ($R_g \sim 4$ kpc) の組成解析により, 棒状バルジの終端あたりでは, 上記の金属量勾配からの予想よりずっと金属量が低い ($[Fe/H] \sim -0.2$ dex) ことが示唆されている (Davies et al. 2009 等). しかしながら, この示唆は少ない数のサンプルに基づいているため, 新たな天体の観測により検証することが必要不可欠である.

そこで我々は棒状バルジ終端部にある分子雲複合体 G23.3–0.4 ($R_g \sim 5$ kpc) 近傍の金属量を決定することを試みた. この領域で Messineo et al. (2014) が同定した 4 つの赤色超巨星候補を, 2015 年に近赤外線高分散分光器 WINERED の WIDE mode ($0.91\text{--}1.35 \mu\text{m}$, $R \sim 28,000$) で観測した. この波長帯での組成解析手法は未だ途上にあると言え, 我々は最初の一步として K 型巨星に対して組成解析手段を確立しつつある (2017 年秋季年会 N18a, N19a). 具体的には, 有効温度は星間減光や他の大気パラメーターからの影響を受けにくい温度指標であるライン強度比を用いた手法 (Taniguchi et al. 2018) で決定した. 更に, ミクロ乱流と金属量は吸収線毎に導出した金属量が吸収線の強さに依存しないという条件を課すことで決定した. 得られた金属量は棒状バルジ終端部での金属量の欠乏を支持するものであった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N16a Line-depth ratios as indicators of stellar parameters: the metallicity and gravity effects based on WINERED near-IR high-resolution spectra

Mingjie Jian, Noriyuki Matsunaga, Scarlet Saez Elgueta, Daisuke Taniguchi, Naoto Kobayashi (UTokyo), Yuji Ikeda (Photocoding), Chikako Yasui (NAOJ), Sohei Kondo, Hiroaki Sameshima, Satoshi Hamano, Kei Fukue, Akira Arai, Shogo Otsubo, Hideyo Kawakita (Kyoto Sangyo Univ.)

Determination of effective temperature (T_{eff}) is often the first and essential step in stellar spectral analysis. When high-resolution spectra are available, the line-depth ratio (LDR) method can achieve a precision of 5–10 K. Ratios of depths of two carefully selected lines are very sensitive to T_{eff} . However, their dependencies on other stellar parameters like metallicity and gravity need to be controlled, if not negligible. They may alter the LDR– T_{eff} relations and increase the error in derived T_{eff} .

To quantify these effects, we observed a moderate sample (around 200) of stars spreading a wide range of stellar parameters using $z'JY$ -band high-resolution spectrograph WINERED. Similarly to the result with APOGEE H -band spectra which we presented in the last meeting, the metallicity effect for the WINERED dataset is confirmed, and we can describe the effect as “rotation” of the relation caused by line saturation. We also detected the gravity effect as a clear separation between LDR– T_{eff} relations for dwarf and giant/supergiant. The separation is larger in lower T_{eff} , while it diminishes in high temperature; such a trend is also found in a simulation using synthetic spectra. These effects of metallicity and gravity may allow one to determine multiple stellar parameters simultaneously and empirically based on LDRs, very simple observables.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17b 原始惑星状星雲 QX Pup の近赤外線波長帯での変光周期の変化

儀間博考, 永山貴宏, 面高俊宏 (鹿児島大学)

QX Pup は $6'' \times 57''$ の双極状反射星雲を伴った AGB (Asymptotic Giant Branch) 星で、惑星状星雲へ移行途中の天体であると考えられている。距離は VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) の年周視差から 1.6 ± 0.1 kpc とわかっている。Feast らは、1978/1 から 1982/5 まで、近赤外線 J ($1.2 \mu\text{m}$)、H ($1.6 \mu\text{m}$)、K ($2.2 \mu\text{m}$)、L ($3.6 \mu\text{m}$) バンドで、単素子フォトメータによる観測を行った。星雲のほぼ全体を含む $36''$ ($66\text{kAU}@1.6\text{kpc}$) アパーチャーでの測光が行われ、JHKL バンドそれぞれで、サインカーブでよくフィットできるライトカーブが得られ、変光周期 J: 655、H: 658、K: 658、L: 660 日、振幅約 0.6 等、平均等級 J=8.9、H=7.4、K=6.2、L=4.6 等の変光が見つかった。

私たちは、鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡と IRSF1.4m 望遠鏡を用いて、2004/4 から 2018/2 までに J: 20 回、H: 19 回、K' (または Ks): 26 回の観測を行った。Feast らにあわせた、 $36''$ アパーチャーでの測光の結果、周期 J: 551、H: 556、K': 555 日を得た。Feast らが観測を行った 1980 年前後に比べ、周期が 3 バンドすべてで約 100 日短い事がわかった。この周期は、AAVSO での I バンドでの 2008/2-2018/2 までの観測から求めた周期 550 日程度とも一致している。また、振幅も各バンド 0.3 等程度まで減少している。一方で、平均等級は J=8.8、H=7.4、K'=6.4 等で、有意な変化はない。この星の変光が脈動変光であり、脈動モードが 1980 年と変わっていない、すなわち、脈動定数が一定のままに変光周期が変化したと仮定すると、変光周期は、恒星大気の密度の $-1/2$ 乗に比例するため、現在の密度は、1980 年当時に比べ、1.4 倍に増加したと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N18c IR-TMT と位置天文衛星の距離データを用いたレッドクランプ星の絶対等級の決定

小野里宏樹, 板由房, 森田亮介, 幅崎裕太, 市川隆, 花上拓海, 小宮山貴洋, 岩松篤史 (東北大学), 筒井寛典, 柳澤顕史, 泉浦秀行 (国立天文台), 中田好一 (東京大学), 西山正吾 (宮城教育大学)

レッドクランプ (RC) 星は絶対等級のばらつきが小さく、天体数が多いことから広く標準光源として用いられている。星間減光の強い領域を観測する際には、透過力の強い近赤外線を観測することで星間減光の影響を最小限に抑えることができる。また、金属量の絶対等級への依存性も近赤外線では非常に小さくなる (小野里他 2017 N04a, 2018 N19a など)。そのため、RC 星は近赤外線においてより優秀な標準光源であり、RC 星の近赤外線の絶対等級を精度よく決定することが非常に重要である。絶対等級を精度よく決定するためには、減光の影響が無視できるほど小さい近傍の RC 星を観測する必要がある。

しかしながら、そのような非常に近傍に存在するレッドクランプ星は既存の望遠鏡と近赤外線装置では明るすぎるため、精度の良い観測を行うことができていない。そのため、Hipparcos や Gaia という位置天文衛星が高精度の距離情報を提供しているものの、RC 星の近赤外線の絶対等級の決定精度は高くない。そこで我々は、そのように非常に明るい天体を観測するために開発された超小型近赤外線望遠鏡 IR-TMT を用いて銀河面に存在する近傍の RC 星の観測を行った。この IR-TMT と Hipparcos や Gaia の距離データを組み合わせることで RC 星の絶対等級を決定できる。本ポスターでは IR-TMT の観測と距離データを組み合わせて得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N19c Near-Infrared Thirty "Millimeter" Telescope による銀河面サーベイ (2)

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

K のみかけ等級で 4 ないし 5 等よりも明るい星の高精度近赤外測光カタログは、Neugebauer & Leighton (1969) の TMSS カタログ (I and K) を除いて存在しない。そこで我々は、明るい星の高精度近赤外 (J , H , and K_s) 測光データを得る目的に特化した超小型赤外望遠鏡 IR-TMT を開発した。IR-TMT の設計思想と仕様、及び、IR-TMT による観測計画については、過去の報告 (板他 2017N15c, 森田他 2017V253c, 花上他 2016V215a, 2015V221b) を参照されたい。

我々はこの IR-TMT 望遠鏡を用いて、2016 年より $|b| < 5^\circ$ かつ $\delta > -30^\circ$ を満たす、銀河面に沿ったベルト状の領域 ($0^\circ < l < 250^\circ$) の観測を続けている。2018 年 3 月にこの領域の掃天観測が終了し、現在は近赤外で明るい変光星の観測を目的として、同領域の反復観測を行っている。

掃天観測は前述の領域に存在する明るい星の精密測光カタログを作成し、TMSS カタログの刷新を行う事が目的である。広く使用されるカタログになるためには、測光値のキャリブレーションと、近赤外の測光システムで事実上世界標準となっている 2MASS システムへの変換が重要である。本ポスターでは、IR-TMT 機械等級をいかにキャリブレーションして 2MASS システムへ変換するかについて議論し、最終プロダクトである IR-TMT 測光カタログの測光精度について述べる。GAIA 衛星が銀河系内天体の距離や運動を測定したデータ (GAIA-DR2) が公開されたが、GAIA-DR2 と IR-TMT 測光カタログとを組み合わせることで、今後距離指標の校正、星間減光則の研究等を行う。IR-TMT 望遠鏡の今後の展望についても触れたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N20c 北極星の脈動振幅の変動の共鳴仮説II

石田俊人 (兵庫県立大学)

北極星系中のセファイド変光星 ($P=3.9696\text{day}$, F8Ib) は、最も多くの研究が行われている古典的セファイドの一つである。この星は、小振幅セファイドと呼ばれるサブグループに属し、進化によると思われる周期変動が観測されている。また、脈動振幅の変動が観測されている。急速に振幅が小さくなったことからセファイド不安定帯から出て行くのかと考えられたときもあったが、最近振幅が回復してきていることが報告されている。また、脈動モード、進化状態、距離についての議論がある (Turner et al. 2013, Neilson 2014 など)。

これまでに観測されている振幅の変動 (減少と回復) の原因について、いくつかの説明が提案されてきたが、それらは振幅の増減を繰り返すことを仮定していた。しかしながら、実際に観測されているのは一度の減少と回復の開始であり、再度の振幅の現象が起こらなければ、それらの説明は北極星の現象には該当しない。そこで、一度のみの現象の場合の説明として、2対1共鳴の中心での振幅の変動が起こっているのではないかという仮説を提案し、検討した (2016 年秋季年会)。その結果、基本振動が関わる共鳴の可能性はなく、以前から近いと言われていた第1倍振動と第4倍振動の間の2対1共鳴の可能性を確認した。

最近、ハッブル望遠鏡による星系中メンバーについて、Hipparcos 衛星による結果より小さな年周視差の測定結果が出た (Bond et al, 2018)。その距離を元に、恒星進化計算との比較により、脈動不安定帯を始めて横切る天体であり、第1倍振動モードで脈動している可能性が示された (Anderson, 2018)。

そこで、今回は検討するパラメータ範囲を広げて、第1倍振動が北極星の変動周期を再現し、第4倍振動との2対1共鳴の中心となるモデルパラメータを求めた。さらに、有効温度などの変動による結果の変化も検討した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成】

9月19日(水) 午前(11:00-13:12) [D会場]

P101a	11:00	ALMA Observations of the 70 μm Dark Massive Clump G14.49-0.14	Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications)
P102a	11:12	Molecular complexity around a high-mass young stellar object in the Small Magellanic Cloud seen by ALMA	下西隆 (東北大学)
P103a	11:24	Class I 低質量原始星天体 Elias 29 における円盤/エンベロープ構造の解析	大屋瑤子 (東京大学)
P104b	11:36	ALMA observations toward the TUKH122 prectellar core in the Orion A cloud	大橋聡史 (理化学研究所)
P105b	11:36	C^{18}O ($J = 1 - 0$) 輝線によるオリオン座 A 分子雲の高密度コア探査	竹村英晃 (国立天文台)
P106b	11:36	The CARMA-NRO Orion Survey	中村文隆 (国立天文台)
P107a	11:48	初期進化段階にある円盤構造を付随した超低質量原始星の探査	大小田結貴 (東京大学)
P108a	12:00	B335 における原始星近傍エンベロープガスの回転構造	今井宗明 (東京大学)
P109a	12:12	Hot Core のグリシン形成モデル	鈴木大輝 (アストロバイオロジーセンター)
P110b	12:24	ALMA ACA 7m observations toward two Orion cores very close to the onset of star formation (2)	立松健一 (国立天文台)
P111b	12:24	ALMA Pilot Survey of 70 μm Dark, High-Mass Clumps	Patricio Sanhueza (NAOJ)
P112c		“Warm” Cores and Molecular Outflows in 70 μm Dark, High-Mass Clumps	Patricio Sanhueza (NAOJ)
P113b	12:24	ALMA-IMF: ALMA Transforms our View of the Origin of Stellar Masses	Patricio Sanhueza (NAOJ)
P114a	12:36	星形成領域 L1527 における炭素鎖分子 CCH の重水素化物の ALMA 観測	吉田健人 (東京大学)
P115a	12:48	ALMA Observations of Circumbinary Disks in Protostellar Binary Systems L1551 IRS 5 and NE	Shigehisa Takakuwa (Kagoshima University)
P116b	13:00	Atacama Compact Array による小質量星形成領域分子雲コアの詳細観測	高宇辰 (大阪府立大学)
P117b	13:00	VLA を用いた赤外線暗黒星雲 G34.43+00.24 MM3 に対する NH_3 輝線観測	植松海 (電気通信大学)
P118b	13:00	原始星周囲の磁場構造 -ALMA のための疑似偏光観測シミュレーション-	藤城翔 (名古屋大学)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [D会場]

P119a	09:30	衝突 HI 流で形成される多相星間媒質の時間発展	小林将人 (大阪大学)
P120a	09:42	分子雲形成シミュレーションで探る高密度クランプの統計的性質	岩崎一成 (大阪大学)
P121a	09:54	星形成初期段階分子雲コアの乱流ショックにより生じた暖かい CO ガス	徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)
P122b	10:06	ALMA アーカイブデータを用いた星形成領域におけるアミノ酸前駆体の探査	源治弥 (東京工業大学)
P123b	10:06	Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus with ALMA	樋口あや (理化学研究所)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P124b	10:06	大マゼラン雲における大質量原始星に付随する分子雲の ALMA 観測	後藤健太 (大阪府立大学)
P125a	10:18	Pipe nebula における分子雲形成の研究 II	海老澤勇治 (東京大学)
P126a	10:30	Sagittarius arm における大質量星形成	西村淳 (名古屋大学)
P127a	10:42	分子雲破壊における解離光の役割: 残骸化学組成と星形成効率の抑制	猪口睦子 (京都大学)
P128a	10:54	分子雲コア L1544 中心領域における重窒素の希釈	古家健次 (筑波大学)
P129b	11:06	銀河面における前主系列星の広域探査	木内穂貴 (埼玉大学)
P130b	11:06	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): Spitzer Bubble N4 の星形成 (2)	藤田真司 (名古屋大学)
P131b	11:06	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀経 $10^{\circ} - 20^{\circ}$ でのホットコアカタログ	佐藤一樹 (東京大学)
P132c		Star Formation Rates of Massive Molecular Clouds in the Central Molecular Zone	Xing Lu (NAOJ)
P133b	11:18	星なし分子雲 CB126 の近赤外線撮像観測	苅田菜由 (兵庫県立大学)
P134b	11:18	分子雲コアの角運動量の起源について (その 2)	三杉佳明 (名古屋大学)
P135b	11:18	T タウリ型星の表面構造における磁場の役割	飯島陽久 (名古屋大学)
9月20日 (木) 午後 (13:30-15:30) [D 会場]			
P136a	13:30	BISTRO Project Status (4)	Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
P137a	13:42	BISTRO: 星形成領域における $450\ \mu\text{m}$ 帯ダスト熱放射偏波撮像マップ	古屋玲 (徳島大学)
P138b	13:54	Herbig Be 型星 Z CMa の可視光分光モニター観測	秋本妃奈子 (兵庫県立大学)
P139b	13:54	孤立した Spitzer Bubble S44 に対する CO 輝線観測と星形成	河野樹人 (名古屋大学)
P140b	13:54	エネルギー保存を保証する自己重力流体方程式の差分法	花輪知幸 (千葉大学)
P141a	14:06	強い磁場を持つ星周円盤の内縁における激しい降着	高棹真介 (名古屋大学)
P142a	14:18	中心星付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Tuauris 星生成領域中の中質量星の観測	安井千香子 (国立天文台)
P143a	14:30	EHV 天体 MMS 5/OMC-3 におけるジェットの構造	松下祐子 (九州大学)
P144a	14:42	原始星形成期におけるアウトフロー・ジェット・降着円盤・磁場の軸ずれ	平野信吾 (九州大学)
P145a	14:54	Rotation in the NGC 1333 IRAS 4C Outflow	Yichen Zhang (RIKEN)
P146b	15:06	Gaia 衛星データと分光観測に基づく高銀緯分子雲における星形成探査	大朝由美子 (埼玉大学)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

P147b 15:06 Gaia DR2 による Upper Scorpius OB アソシエーションとへびつかい座 ρ 分子雲星形成領域の解析 南祥平 (新潟大学)

P148b 15:06 始原ガス円盤分裂による多重星系形成可能性と数値計算法の不定性 島和宏 (京都大学)

P149b 15:18 Baryon-dark matter scattering and first star formation 平野信吾 (九州大学)

9月21日(金) 午前(9:30-10:54) [D会場]

P150a 09:30 大質量原始星の近赤外線変光の検出 吉田泰 (東京大学)

P151a 09:42 大質量原始星周りでの Outflow-Confined HII 領域の時間変動・進化とその観測的特徴 田中圭 (大阪大学/国立天文台)

P152a 09:54 大質量星形成領域 RCW106 分子雲の近赤外線偏光観測 玉置捷平 (名古屋市立大学)

P153a 10:06 銀河系での大質量星形成における光電離フィードバックの役割 細川 隆史 (京都大学)

P154a 10:18 Gaia DR2 を用いたオリオン領域の星形成過程の解析 西亮一 (新潟大学)

P155a 10:30 中間質量ブラックホール形成モデルの精緻化に向けた恒星合体計算 山内俊典 (東京大学)

P156a 10:42 連星を考慮した質量関数及びその重力マイクロレンズのレンズ星の質量推定値への影響 越本直季 (東京大学/国立天文台)

9月21日(金) 午後(13:30-15:06) [D会場]

P157a 13:30 始原ガスからの磁場散逸について 仲内大翼 (東北大学)

P158a 13:42 炭素過剰超金属欠乏星と宇宙初期における星・連星系形成史 (II) 藤本正行 (北海学園大学)

P159a 13:54 ‘Oumuamua を始めとする恒星間天体との衝突による初代星の金属汚染 谷川衝 (東京大学)

P160a 14:06 2次元輻射流体計算による大質量星質量の金属度依存性の解明 福島肇 (京都大学)

P161a 14:18 星形成円盤中での分裂片の migration 過程と連星形成 鄭昇明 (東北大学)

P162a 14:30 Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 4 Jungmi Kwon (ISAS/JAXA)

P163a 14:42 磁場が強い分子雲におけるフィラメントの形成と分裂 工藤哲洋 (長崎大学)

P164a 14:54 Serpens South Cloud の近赤外線偏光観測 楠根貴成 (国立天文台)

P101a ALMA Observations of the 70 μm Dark Massive Clump G14.49-0.14

Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications), Patricio Sanhueza (NAOJ) Yanett Contreras (Liden Observatory), Kenji Furuya (Tsukuba University), Satoshi Ohashi (RIKEN), Andrés Guzmán, Fumitaka Nakamura, Ken'ichi Tatematsu (NAOJ)

For understanding the formation mechanism of high-mass stars, it is crucial to reveal their initial conditions. For this purpose, 70 μm dark massive clumps, which were identified by Herschel observations, are thought to be the ideal targets, because they are very cold (~ 10 K) and massive ($> 500 M_{\odot}$). By using ALMA, we observed the 70 μm dark massive clump G14.49-0.14, whose distance is 3.9 kpc and mass is $5.2 \times 10^3 M_{\odot}$. We observed the N_2D^+ , DCO^+ , DCN , SiO , H_2CO , and CO lines in ALMA Band 6 with an angular resolution of $1''.5$.

Toward G14.49-0.14, we detected strong SiO and H_2CO emission. Judging from the morphology, the SiO and H_2CO emission is likely to trace outflows. Thus, active star formation has already started in this clump, although it is dark at 70 μm . We also found that the distribution is very different among the observed deuterated molecules. In particular, the N_2D^+ emission is found to be almost anti-correlated with the DCO^+ emission, although N_2D^+ and DCO^+ are both ion deuterated molecule. The DCO^+ emission seems to trace warm regions near protostars, while the N_2D^+ emission comes from cold regions. This difference could be due to the different formation pathway between them; N_2D^+ is formed from H_2D^+ , while DCO^+ can be formed from other deuterated species (e.g. $\text{HCO}^+ + \text{D} \rightarrow \text{DCO}^+ + \text{H}$). In this talk, we discuss how star formation activities affect the chemical composition, and also discuss the timescale of core/star formation in this clump.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102a Molecular complexity around a high-mass young stellar object in the Small Magellanic Cloud seen by ALMA

下西隆 (東北大学), 渡邊祥正 (筑波大学), 西村優里 (東京大学/NAOJ), 相川裕理, 山本智, 尾中敬 (東京大学), 坂井南美 (理研), 河村晶子 (国立天文台)

Observations of complex organic molecules in low-metallicity environments will be crucial information for understanding organic chemistry in the past metal-poor universe. The Small Magellanic Cloud (SMC) is a nearby star-forming dwarf galaxy, whose metallicity is lower than the standard solar value by a factor of five. Here we report the first detection of a complex organic molecule, methanol (CH_3OH), in the SMC based on submillimeter observations towards a high-mass young stellar object (YSO) with ALMA. Besides CH_3OH , we also detect the dust continuum as well as emission lines of CS, C^{33}S , H_2CS , SO, SO_2 , H^{13}CO^+ , H^{13}CN , SiO, and tentatively HDS from the observed source. The target infrared point source is spatially resolved into two dense molecular cores; one is associated with a deeply embedded high-mass YSO, while another is not associated with an infrared source but shows rich molecular lines including those of CH_3OH . The CH_3OH gas temperature is estimated to be ~ 10 K based on the rotation analysis, and the fractional molecular abundance is estimated to be $(0.5\text{--}1.5) \times 10^{-8}$, which is comparable with or marginally higher than those of similar cold sources in our Galaxy, despite a factor of five lower metallicity in the SMC. In this presentation, we discuss observed properties of chemically-rich molecular gas and a possible origin of cold CH_3OH gas around a high-mass YSO at 0.2 solar metallicity.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a Class I 低質量原始星天体 Elias 29 における円盤/エンベロープ構造の解析

大屋瑠子, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理研), Ana López-Sepulcre (Université Grenoble Alpes)

若い原始星の近傍 (100 au スケール) において、ガスの速度構造と化学組成の観測的研究は、ALMA の登場によって近年格段に進展しつつある。我々は、複数の若い低質量原始星天体について、エンベロープガスからその内側の円盤にかけてガスの化学組成が大きく変化する現象を報告してきた。中でも、おうし座にある Class 0/I 原始星コア L1527 における SO 分子輝線が特徴的である。すなわち、エンベロープと円盤の境界である遠心力バリアの位置で、SO 分子がリング状に局在する。SO 輝線は従来アウトフロートレーサーと考えられてきたが、この現象は化学診断による円盤形成領域の研究にも有用であると期待される。本研究では、へびつかい座にある Class I 低質量原始星天体 Elias 29 ($d = 125$ pc) について、SO 分子輝線の ALMA 観測 (Cycle 2) を行った。

Elias 29 では、以前の観測から、SO 輝線が比較的強く検出されることが知られている。ALMA 観測の結果、SO (6_7-5_6) は原始星の周囲 100 au 程度と、原始星から南に 600 au 程度離れた位置で強く検出された。原始星に集中した成分には、南北に速度勾配が見られた。この勾配は、以前に報告されていた東西に伸びるアウトフローと直交することから、原始星周りの回転構造を捉えたものと考えられる。この回転成分は、SO₂ ($10_{3,7}-10_{2,8}$) と SiO ($J=6-5$) でも検出された。一方で、CS ($J=5-4$) は原始星付近には検出されなかった。この回転運動をケプラー回転で解釈すると、原始星質量は (0.5–2.0) M_{\odot} 程度と見積もられる (face-on から 60° の傾き角を仮定)。一方、SO 輝線が遠心力バリアにおける回転を捉えると仮定すると、バリアの半径は ~30 au、原始星質量は (0.5–1.0) M_{\odot} 程度となる。このように、SO 輝線で回転構造が検出されたことで、この原始星の質量を制限することができた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P104b ALMA observations toward the TUKH122 prectellar core in the Orion A cloud

大橋聡史, 坂井南美 (理研), 立松健一, Patricio Sanhueza, 廣田朋也, 西合一矢, 泉奈都子 (国立天文台), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 大西利和 (大阪府立大学)

我々は、化学進化の観点から星形成直前の分子雲コアを探索し、一つの有力な候補天体 (TUKH122) を発見してきた (e.g., Tatematsu et al. 2014, Ohashi et al. 2014)。このコアは filament の一部であり、乱流がほぼ散逸し、化学的に進化しているにも関わらず星形成活動がまだない。

ALMA cycle 3 では、この領域を 3 mm dust continuum, N_2H^+ , CH_3OH で観測した。その結果、 CH_3OH はコアを囲むようなシェル構造をし、 N_2H^+ とダストではその内部でいくつかのピークを filament に沿って発見した。また filament に沿って 0.033 pc の間隔で密度の変動が見られた。この間隔は活発な星形成領域である、OMC-3 の原始星の間隔と一致し、ジーンズ不安定性によってコアから分裂が行っていることを示唆している。さらに ALMA cycle 5 で ACA 観測を行い、 N_2D^+ ($J = 3 - 2$), DCO^+ ($J = 3 - 2$) の速度構造を詳細に調べた (分解能 $\sim 7''$)。その結果、 DCO^+ , N_2D^+ とともに複数の速度成分を同定した。 N_2D^+ は線幅 0.2 km s^{-1} 程度で、分裂した塊は 0.1 km s^{-1} 程度の中心速度のずれを持っていることがわかった。ただし、 N_2D^+ のピーク位置がダスト連続波のピークに比べビーム幅ほどずれていることも新たにわかった。電離度が低くなる非常に高密度な領域 ($> 10^6 \text{ cm}^{-3}$) では、 N_2D^+ は存在しにくいことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105b $C^{18}O$ ($J = 1 - 0$) 輝線によるオリオン座 A 分子雲の高密度コア探査

竹村英晃、中村文隆、Patricio Sanhueza、石井峻 (国立天文台)、Hector Arce、Shuo Kong (Yale)、John Carpenter (JAO) ほか星形成レガシープロジェクト + CARMAOrion プロジェクト

星は分子雲の中にある高密度コアで誕生する。したがって、分子雲内での高密度コアの分布や構造、物理状態を明らかにすることは星形成過程を解明する上で非常に重要である。典型的な分子雲の大きさは数十 pc、質量は $10^5 M_{\odot}$ 程度、密度 10^2 cm^{-3} 程度である。それに比べて、高密度コアは大きさが 0.1 pc 程度、質量が $10 M_{\odot}$ 、密度 10^4 cm^{-3} 程度と非常にコンパクトである。このような構造を十分な分解能で検出するには、高角分解能の分子輝線データが必要である。

最近我々は、野辺山 45m 鏡を用いて、最も近傍 (414 pc) にある巨大分子雲であるオリオン A 分子雲の広域マッピング観測を行い、 ^{12}CO ($J = 1 - 0$)、 ^{13}CO ($J = 1 - 0$)、 $C^{18}O$ ($J = 1 - 0$) の広域高分解能マップ ($\sim 21''$ 分解能 $\simeq 0.04$ pc) を作成した。本研究では、高密度ガス ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) をよくトレースする $C^{18}O$ ($J = 1 - 0$) 輝線データを用いて、オリオン A 分子雲の高密度コア探査を行った。そして、階層構造解析ツールである Dendrogram を用いて、359 個の高密度コアを同定した。その同定した高密度コアの平均サイズ、平均線幅はそれぞれ 0.09 pc、0.39 km/s であった。また北側の領域では南側の領域に比べて、コアのサイズが小さく、線幅は大きい傾向にあることがわかった。今後、周囲の低密度ガスをトレースする ^{13}CO データを用いてコアを取り巻く低密度ガスの物理状態を明らかにし、コアの力学状態を明らかにする予定である。さらに、同様の手法を適用し、より高分解能 ($\sim 10'' \simeq 0.02$ pc) の CARMA+NRO 大規模合成データを用いて、同様の解析を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106b The CARMA-NRO Orion Survey

Fumitaka Nakamura, Shun Ishii, Ryohei Kawabe (NAOJ), Shimajiri Yoshito (Saclay), Hector Arce, Shuo Kong (Yale), John Carpenter (JAO) and CARMA-NRO Orion Team

Star formation not only determines the observed properties of galaxies, but also significantly influences galaxy evolution. What drives and regulates star formation in galaxies? There is little consensus to this apparently simple and fundamental question. Theoretical studies have demonstrated that star formation in turbulent clouds proceeds at high rates. However, star formation is known to occur in a very low rate in galaxies. Therefore, some processes must slow down star formation. It remains uncertain what processes make inefficient, e.g., stellar feedback, magnetic field, and cloud turbulence. It is crucial to characterize internal cloud structure and physical properties of nearby star-forming regions to understand the roles of the processes listed above in star formation.

In our Orion project, we have made wide-field ($1^\circ \times 2.5^\circ$), high-resolution ($5'' - 10''$) ^{12}CO ($J = 1 - 0$), ^{13}CO ($J = 1 - 0$), and C^{18}O ($J = 1 - 0$) maps toward the nearest Giant Molecular Cloud, **Orion A** (see Kong et al. 2018 for more details). The maps can be used as a template of the nearby star-forming regions. We will provide the CARMA-NRO Orion dataset to public. Using these maps, we attempt to comprehensively-characterize the cloud structure and kinematics to answer the above questions, In this presentation, I will show some of the latest results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P107a 初期進化段階にある円盤構造を付随した超低質量原始星の探査

大小田結貴, 大屋瑤子 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (筑波大学), 山本智 (東京大学)

Class 0 原始星 IRAS 15398–3359 の ALMA データ (分解能 $0.2''$) を解析し、原始星質量が $0.007 M_{\odot}$ と非常に小さいにもかかわらず、すでに円盤構造を形成していることを示した (2017 年秋季年会)。今回我々は、このような非常に若い進化段階における円盤形成が他の天体でも見られるかを調べるため、同様の天体の探査を行った。まず初めに、そのような天体の候補として Very Low Luminosity Object (VeLLO) である L328–IRS の ALMA のアーカイブデータ (分解能 $0.3''$) を解析し、原始星周りの速度構造を調べた。L328–IRS は原始星の光度が非常に低い ($\sim 0.05 L_{\odot}$)、Class 0 原始星である。C¹⁸O 輝線の速度構造からケプラー回転を仮定して原始星質量を $0.2 M_{\odot}$ と見積もった。IRAS 15398–3359 と比較すると、L328–IRS は光度が非常に低いにもかかわらず、原始星質量は大きいことがわかった。この天体の解析から、超低質量原始星を探査するためには光度だけではなく他の指標も加味する必要があると考えた。

そこで我々は、新たな指標として、原始星周りにおける分子輝線の線幅に着目した。線幅が狭い天体の原始星質量は比較的小さいと予想される。その条件に適する天体として Chamaeleon–MMS1 を選んだ。ALMA のアーカイブデータ (分解能 $0.5''$) を用いて、この原始星周りの CS 分子輝線と ¹³CO 分子輝線の速度構造を調べたところ、それらの分子輝線で原始星周りに回転する円盤構造を見出した。¹³CO の速度構造からケプラー回転を仮定して原始星質量を $0.02 M_{\odot}$ と見積もった。このことから、IRAS 15398–3359 と同様に若い進化段階から円盤構造を持つ天体が他にも存在することがわかってきた。また、超低質量原始星の探査において、原始星周りの線幅が有効な指標の一つであることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108a B335 における原始星近傍エンベロープガスの回転構造

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

B335 は有名な Bok globule で、他の原始星から孤立した単純な環境を持つため、星形成における理想的なモデル天体としてよく研究されている。100 au スケールで見た B335 のエンベロープガスは、ほぼ自由落下に近い運動をしており、これまで明瞭な回転構造は報告されていない。本研究では ALMA Cycle 4 による観測の結果、内側 10 au スケールでエンベロープの回転構造を検出したので、そこから明らかになった原始星近傍のガスの構造について報告する。

2016 年秋季年会 (P117a) で報告したように、B335 はエンベロープの内側と外側で複雑な有機分子 (COMs) に富む hot corino 化学と、不飽和炭素鎖分子に富む WCCC (Warm Carbon-Chain Chemistry) を併せもつことがわかっている。原始星近傍でのエンベロープの速度構造を調べるために、内側で豊富な複雑な有機分子の輝線を 10 au の空間分解能で観測した。その結果、アウトフローと直交する方向 (南北方向) に対して、10 au スケールでの回転構造を検出した。このような回転構造は、外側に多く存在する不飽和炭素鎖分子やその関連分子では検出されなかった。運動モデルによる解析の結果、複雑な有機分子で見られた回転構造は、ケプラー運動ではなく、回転しながら落下するエンベロープガスのモデルでよく再現がされた。さらに、B335 は半径 5 au 以下の非常に小さな領域にケプラー円盤をもつ可能性があることがわかった。この大きさは、これまで他の天体で報告されているケプラー円盤の大きさよりも一桁程度小さい。ガスの降着率から推定される原始星の年齢は比較的若いいため、円盤が形成され始める初期の段階を見ている可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109a Hot Coreのグリシン形成モデル

鈴木大輝 (アストロバイオロジーセンター), Liton Majumdar (JPL), 大石雅寿 (NAOJ), 齋藤正雄 (NAOJ), 廣田朋也 (NAOJ), Valentine Wakelam (ボルドー大学)

もっとも簡単なアミノ酸であるグリシンは、生命起源にとって重要な生体分子として古くから電波望遠鏡による探査の対象とされてきた。しかし、未だに検出に至っていない。そこでALMAの高感度観測によるグリシン探査のためにも、化学モデルによるシミュレーション計算を通じて星間空間におけるグリシンの化学進化とその前駆体分子の理解を深めることが重要である。当研究では kida.uva.2014 の星間化学反応データベースや最新のグリシン形成経路を取り入れることで2013年に構築された過去のグリシンの形成モデルをアップデートし、最新のグリシン形成モデルを構築した。気相、星間塵表面、星間塵内部の三相モデルを用いて、冷たいガスの収縮後に星が生まれて温度が上昇するという物理進化に沿って化学反応による分子ごとの存在量の増減を数値計算した。また、グリシンの binding energy (グリシンがアモルファス氷から熱的に蒸発する時の温度を決めるパラメータ) に大きな不定性があることを踏まえ、複数の値を採用した。

計算の結果、過去の研究と同様、我々のモデルでも CH_2NH_2 と COOH の反応が星間塵表面でグリシンを形成する主要な経路であった。しかし当研究では、グリシンの蒸発温度が高い場合、グリシンが星間塵表面の蒸発する前にラジカル分子によって塵表面で破壊されてしまうことが明らかになった。この場合、熱的蒸発よりも NH_2OH と CH_3COOH から始まる気相反応が重要になる可能性がある。この結果は星間空間のグリシン存在量やその前駆体分子を理解するためには正確な binding energy の研究が不可欠であることを示す。講演では当モデルの概要とモデル計算の結果、そしてグリシン形成をさらに理解する上での課題を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P110b ALMA ACA 7m observations toward two Orion cores very close to the onset of star formation (2)

立松健一 (国立天文台)、Tie Liu(KASI, EAO)、Gwanjeong Kim (国立天文台)、Heeweon Yi、Jeong-Eun Lee (Kyung Hee U)、大橋聡史 (理研)、平野尚美、Sheng-Yuan Liu(ASIAA)、Patricio Sanhueza、Siyi Feng、神鳥亮 (国立天文台)、Minho Choi、Miju Kang(KASI)、廣田朋也 (国立天文台)、酒井剛 (電通大)、Xing Lu (国立天文台)、TOP-SCOPE Planck Cold Clump team

我々は、TOP-SCOPE Planck Cold Clump collaboration として、約千個のクラumpを JCMT の SCUBA-2 で観測してコアを同定し、さらに野辺山 4.5 m 望遠鏡でコアの進化段階を星間化学的に調べている。重水素比が特に高い天体を 2 個 (星なし 1 個、星あり 1 個) を選び、ALMA ACA 7 m で観測した。高い重水素比は、コアが星形成の直前直後であることを示し、それらを比較することにより、星形成開始のメカニズムを探ることを目指している。星なしコアは 1.2mm 連続波、 DCO^+ (3-2)、 HCO^+ (3-2)、 CO (2-1) で検出され、星ありコアは 1.2mm 連続波、 N_2D^+ (3-2)、 DNC (3-2)、 DCN (3-2)、 DCO^+ (3-2)、 HCO^+ (3-2)、 CS (5-4)、 HCN (3-2)、 HCO^+ (3-2)、 H^{13}CO^+ (3-2)、 H^{13}CN (3-2)、 CO (2-1) で検出された。星なしコアでも、連続波ならびに輝線がしっかり受かったことは興味深い。2 つのコアの DCO^+ ライン幅はそれぞれ 0.23、0.35 km/s と小さな値を示した。星ありコアは、2 つの N_2D^+ ピーク「2 つ目玉構造」を示し、それらはダスト連続波源について対称に分布する。速度差はほとんどない。「2 つ目玉構造」は、回転していない pseudo disk を edge-on で見ているとも解釈できる。一方、星ありコアでは、速度幅 15 km/s にわたる分子流が観測された。分子流の方向 (軸) は、「2 つ目玉構造」を結ぶ線とほぼ平行であり、pseudo-disk 解釈からの予測である垂直とは矛盾する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P1111b ALMA Pilot Survey of 70 μm Dark, High-Mass Clumps

Patricio Sanhueza (NAOJ), Yanett Contreras (Leiden University), Andres Guzman, Fumitaka Nakamura, Ken'ichi Tatematsu, Xing Lu, Kazuya Saigo, Andrea Silva, Natsuko Izumi (NAOJ), Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications), Satoshi Ohashi (RIKEN)

In order to characterize the earliest stages of high-mass star formation and constrain theoretical models, we carried out a survey of prestellar, high-mass clump candidates at 1.3 mm with ALMA at 1.2". We made 10-pointings mosaics with the 12 m array, in addition to ACA and total power observations, to fully cover 12 (40 for the whole survey) cold, massive 70 μm dark clumps from the MALT90 survey. In addition to dust continuum emission, 10 molecular lines are included in the spectral setup. Here, we present here results on the dust continuum emission from the pilot survey.

Using the combined 12 and 7 m arrays, we find no high-mass prestellar cores ($>30 M_{\odot}$). Using dendrograms, we define 450 cores, from which $\sim 25\%$ are indeed protostellar based on their association with emission from "warm" lines and molecular outflows. The core mass function has an index $\alpha \sim 1$, smaller than the standard initial mass function index of 1.35, indicating that at the very early stages, there is an excess of massive cores with respect to low-mass cores. Although there is no high-mass cores, $\sim 10\%$ of cores have surface densities $>1 \text{ gr cm}^{-2}$, suggested by some models as the necessary concentration of mass to allow the formation of high-mass stars. However, these cores need to accrete a significant amount of mass to become massive and end up forming high-mass stars, as can occur based on recent ALMA observations (Contreras, Sanhueza et. al 2018).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P112c “Warm” Cores and Molecular Outflows in 70 μm Dark, High-Mass Clumps

Patricio Sanhueza, Natsuko Izumi, Xing Lu, Andres Guzman, Fumitaka Nakamura, Ken’ichi Tatematsu (NAOJ), Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications), Yanett Contreras (Leiden University)

It is frequently believed that infrared dark clouds (IRDCs), specially those that are 70 μm dark, host the earliest stages of high-mass star formation. 70 μm dark IRDC clumps are usually assigned a status of prestellar. However, without sensitive interferometric observations is not possible to rule out deeply embedded star formation. Using a survey of prestellar, high-mass clump candidates at 1.3 mm carried out with ALMA at 1.2”, we have search for signs of star formation. Specifically, we have measured temperatures using H₂CO transitions and found the presence of “warm” cores of ~ 80 K, which are likely “hot” core precursors. To determine the temperature of cores, we have assumed local thermodynamic equilibrium (LTE) conditions. However, for the outflow emission, non-thermal conditions dominate. In addition to high temperatures, some cores show several emission lines of high upper energy levels (E_u), indicating the presence of high temperatures. Therefore, we find that some cores embedded in 70 μm dark IRDCs are already protostellar, but extremelly young because they are not yet detected in IR emission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113b ALMA-IMF: ALMA Transforms our View of the Origin of Stellar Masses

Patricio Sanhueza (NAOJ), Frederique Motte (Universite Grenoble Alpes), Adam Ginsburg (NRAO), Fabien Louver (Universidad de Chile), Fumitaka Nakamura, Ken'ichi Tatematsu, Xing Lu (NAOJ), Takeshi Sakai (The University of Electro-Communications), Satoshi Ohashi (RIKEN), & ALMA-IMF Team

The study of massive protoclusters is a requirement to investigate the origin of the initial mass function (IMF) in the typical, extreme environments where high-mass stars are born.

Recent ALMA imaging of a young massive protocluster revealed the first definitive case of a core mass function (CMF) whose shape is different from the IMF. In contrast, the CMF shape in more evolved but still embedded massive clusters more closely resembles the IMF. This raises the intriguing possibility of CMF evolution with time. We aim to determine when and by which physical processes the CMF of massive protoclusters is reconciled with the canonical IMF.

We propose to investigate the CMF evolution of massive protoclusters with the 15 most massive pc^2 clouds at distances < 6 kpc. We focus on 1) investigating the distribution of $0.5\text{-}200 M_{\odot}$ cores at 1 and 3 mm at the 2000 AU core size; 2) characterizing the core mass evolution through gas inflows toward individual cores and gas outflows driven by protostars; and 3) compare massive protocluster CMFs to the IMF and determine which variables (such as inflows, outflows, or forming filaments) might be correlated with CMF evolution toward the IMF shape.

Here we present the overall strategy and first early results on this ALMA large program.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P114a 星形成領域 L1527 における炭素鎖分子 CCH の重水素化物の ALMA 観測

吉田 健人 (東大)、坂井 南美 (理研)、山本 智 (東大)

低温の分子雲では分子に重水素が濃縮する現象が知られている(重水素濃縮)。重水素濃縮は星なしコア段階で効率よく進行し、星・惑星系形成とともにある程度解消に向かう。その総合的解明は、太陽系有機物における同位体異常の意味を理解する上で重要である。我々は、おうし座の代表的な Class 0 原始星 L1527 を対象に、重水素濃縮の空間分布からこの問題に取り組んでいる。ALMA を用いた観測で H_2CO と D_2CO の分布を比較したところ、 H_2CO は原始星近傍 500 au 程度以内の回転落下エンベロープに集中して存在している一方、 D_2CO は温度の低い外側 (100 au 程度) のエンベロープの気相中に偏在しており、そこでは高い重水素濃縮度を示すことがわかった。

本研究では、 H_2CO 以外の分子で重水素化物がどのような分布や濃縮度を示すのかを調べるため、代表的な炭素鎖分子である CCH に着目した。CCH とその重水素化物 CCD の $N = 3-2$ 輝線について ALMA 12 m array および ACA で観測を行ったところ、 H_2CO および D_2CO とは異なる振る舞いを示すことがわかった。CCH は、回転落下エンベロープ成分と原始星の南西方向に伸びるアウトフローに付随する成分が存在しており、 H_2CO と似た分布を示した。一方 CCD は D_2CO が多く存在する原始星南側のエンベロープ成分は弱く、CCH と同様にアウトフローに付随する成分が卓越していることがわかった。また重水素濃縮度についても、 D_2CO はピーク位置で数十%の高い値を示す一方、CCD はピーク位置で 10%程度にとどまった。これらの結果は、CCH が H_2CO よりもより密度の低い領域をトレースしており、それに伴って観測される重水素濃縮度も低くなっていることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P115a ALMA Observations of Circumbinary Disks in Protostellar Binary Systems L1551 IRS 5 and NE

Shigehisa Takakuwa, Kazuya Saigo (NAOJ), Tomoaki Matsumoto (Hosei Univ.), Masao Saito (NAOJ) and the L1551 Research Team

We will report our latest ALMA results of the Class I protostellar binary systems L1551 IRS 5 and NE in the 0.9-mm dust-continuum and C¹⁸O (3–2) line emission at an angular resolution of ~ 0.20 arcsec (= 25 AU). Between L1551 IRS 5 and NE, there are two interesting differences of the binary properties, binary mass ratio q (=1 in L1551 IRS 5 and 0.2 in NE) and the centrifugal radii of the circumbinary disk (= 60 au in L1551 IRS 5 and 300 au in L1551 NE). Our ALMA observations of L1551 NE show that the circumbinary disk shows two-arm features and infalling gas motion. Furthermore, the western parts of the spiral arms are brighter than the eastern parts, suggesting the presence of an $m = 1$ spiral mode. On the other hand, ALMA observations of L1551 IRS 5 found a rotating circumbinary disk but no clear arm feature. From comparisons between these ALMA results and our theoretical simulations, we will discuss these differences of the internal structures and gas motions of the circumbinary disks as a function of the binary properties.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116b Atacama Compact Array による小質量星形成領域分子雲コアの詳細観測

高宇辰, 原田遼平, 大西利和 (大阪府大), 徳田一起 (大阪府大/国立天文台チリ観測所), 西合一矢 (国立天文台チリ観測所), 立原研悟 (名古屋大), 松本倫明 (法政大)

形成される星の質量や連星/多重星の個数等は原始星形成直前の状態にある分子雲コアの性質に強く依存すると言われており、このような分子雲コアを同定し、その物理的性質を観測的に明らかにすることは、星形成の初期条件を探る上で重要かつ本質的な課題である。これまでの赤外線減光や単一鏡電波望遠鏡によるミリ波連続波の観測で分子雲コアの詳細な構造が測定されてきたが、中心部の ~ 1000 AU 以下の局所的な密度の高まりの有無や内部構造を特定することが困難であった。また、最近の ALMA 12 m array を用いた近傍小質量星形成領域の分子雲コアサーベイ観測では、数多くの星なし分子雲コアで内部構造を持たないという報告もあり、より原始星形成の段階に近いコンパクトな高密度コアは非常に希少であると考えられる。我々は、単一鏡 (IRAM 30 m, ASTE 等) を用いて得られていた 1.2 mm 帯連続波の結果と合わせて 1000 AU 以上のスケールから数 100 AU 程度の連続的な密度分布を明らかにするため、ACA (Atacama Compact Array) を用いて、小質量星形成領域に存在する分子雲コア 16 天体に対して 1.2 mm 帯連続波等による観測を行った。その結果、約半数以上の天体で連続波放射を検出し、分子雲コアの中心部は必ずしも一様密度となっているわけではなく、複数の局所的な強度ピークなど複雑な内部構造を持っているものも存在することが分かった。例えば、おうし座分子雲に存在する MC5 は、サンプルの中で最も軽い質量 (~ 0.2 太陽質量) であるにも関わらず、中心部が $\sim 10^6 \text{cm}^{-3}$ と最も高密度であり、褐色矮星などの低質量天体の形成機構を探る上で重要な手がかりになり得ると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117b VLA を用いた赤外線暗黒星雲 G34.43+00.24 MM3 に対する NH₃ 輝線観測

植松 海, 酒井 剛 (電気通信大学)

赤外線暗黒星雲に付随する大質量分子雲クランプは、低温かつ高密度であることから大質量星形成の初期状態を理解する上で重要な観測対象として注目されている。赤外線暗黒星雲 G34.43+00.24 MM3 は、過去の ALMA による観測 (T. Sakai et al. 2013) によって非常に若いアウトフローとホットコアが発見されており、大質量星形成初期段階にある可能性が高い天体と考えられている (T. Sakai et al. 2018)。今回、我々は、ホットコア周囲の物理状態を調べるため、G34.43+00.24 MM3 に対する NH₃ 輝線観測の VLA アーカイブデータについて解析を行った。

解析を行ったデータは NH₃ (J,K)=(1,1), (2,2), (3,3), (4,4) 及び H₂O メーザーである。空間分解能は $\sim 0''.3$ であり、これまでの ALMA の観測 ($\sim 0''.8$) よりも高い。解析の結果、rms ノイズレベルが ~ 20 K と比較的高く、(J,K)=(1,1),(2,2),(4,4) 輝線は検出されなかった。しかし、NH₃ (3,3) 輝線が $T_B \sim 1200$ K と非常に強い強度で検出された。この (3,3) 輝線の異常な振る舞いについては、メーザー放射によるものであると考えられる (Wamsley & Ungerechts 1983)。また、NH₃(3,3) メーザーは、これまで見つかったアウトフローとは全く異なる位置で検出された。NH₃(3,3) メーザーは、ショックによって励起されると考えられ (e.g. Kramer & Jackson 1995)、メーザーの観測された方向にこれまで認識されていなかったアウトフローが存在することが示唆される。また、NH₃(3,3) メーザーがこれまで観測されていたアウトフローで検出されなかったのは、NH₃(3,3) メーザーが比較的低密度な領域でのみ励起されるためと考えられる。ポスターでは、NH₃(3,3) メーザーの起源に加え、H₂O メーザーの解析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](#)

P118b 原始星周囲の磁場構造 -ALMAのための疑似偏光観測シミュレーション-

藤城翔(名古屋大学)、富田賢吾、岩崎一成、田中圭(大阪大学)、Charles Hull、富阪幸治、西合一矢(国立天文台)、町田正博(九州大学)

星形成過程では磁場が角運動量輸送やアウトフロー駆動に大きな役割を果たすため、原始星周囲の磁場構造を知る事は重要である。分子雲中のダストは磁力線に対し垂直に整列するため、偏光観測により磁場構造を調べることができる。そこで近年、ALMA等による偏光観測で原始星周囲の磁場構造が研究されている。単純な重力収縮モデルでは、磁力線は収縮するガスに引きずられて砂時計型になると考えられている。しかし観測では砂時計状の磁場を持つ天体がある一方、明確な構造が見られない天体もある [Hull et al. 2017]。後者は磁場が弱く乱流によって磁力線が乱されている可能性が指摘されている。一方、現実的な理論モデリングにはアウトフローによる磁場の巻き込みや見込み角等によって視線方向に磁力線が重なり、偏光が相殺される効果も考慮する必要がある。加えて、干渉計はある大きさより広がった構造を復元することができない。従って、アウトフローの広がりより復元可能スケールが小さい場合、実際の磁力線構造が復元できない可能性が示唆される。

本研究では星形成過程のMHDシミュレーションに対しダスト熱放射の偏光を含む輻射輸送計算を様々な見込み角に対して行い偏光の性質を調べた。そして、そのモデルを観測シミュレーションソフトCASAを用いて様々な周波数、分解能、MRSを用いて疑似観測し、干渉計による偏光観測の影響を調べた。その結果、アウトフロー内では視線方向の磁場が相殺することにより偏光度が下がり、その効果は見込み角ごとに異なることが分かった。また、アウトフロー領域まで含めた偏光観測を行う場合、従来使用されてきた小さいスケールの分解に優れた観測設定ではなく、より広いスケールを復元することのできる観測設定を用いなければなら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](#)

P119a 衝突 HI 流で形成される多相星間媒質の時間発展

小林将人 (大阪大学), 井上剛志, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

銀河円盤のかなりの体積を占める中性水素原子ガス (HI ガス) から星形成の材料となる水素分子ガスを形成する際には、超音速流による圧縮で駆動される熱不安定性が重要と考えられており、こうした超音速流は大質量星周囲の電離領域や超新星残骸の膨脹・銀河渦状腕の重力ポテンシャルが担うと推測される。超音速流による分子雲形成を模擬した衝突 HI ガス流のシミュレーション研究が近年精力的に行われている (e.g., Inoue & Inutsuka 2008, Valdivia et al., 2016, Iwasaki et al., in prep.) 一方で、観測では可視・近赤外・電波に跨る近傍銀河の大規模多波長サーベイ時代が到来するため、分子ガス形成の素過程と銀河円盤全体の進化を接続する理論モデルの構築が今後ますます重要となる。

そこで我々は衝突 HI ガス流のシミュレーションを実行し、衝撃波圧縮層に形成される多相星間媒質の物理的状態を調査した。その結果、衝突流の衝突速度を上昇させると衝撃波圧縮層内の密度重み付け速度分散は飽和する傾向にあり、分子雲程度の高密度ガスの速度分散は毎秒 10 km を下回るという示唆を得た。さらに形成された多相星間媒質に対して垂直衝撃波のショックジャンプ条件を適用し、多相星間媒質の実効的なポリトロピック指数が 1 (すなわち等温) に近いという示唆を得た。これは衝撃波後面の体積の 80% 程度を HI ガスが担っており、衝撃波後面で断熱的に加熱された直後に放射で冷える過程全体を体積重み付けで平均すると、等温過程に近いことを意味している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P120a 分子雲形成シミュレーションで探る高密度クランプの統計的性質

岩崎一成, 富田賢吾 (大阪大学), 井上剛志 (名古屋大学)

中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を理解することは、その後の星形成の初期条件を決定するうえで不可欠である。分子雲は、超新星爆発やスーパーバブル、銀河の渦巻き構造などの多様な現象により中性水素原子ガスが圧縮を受けることで形成される。近年の研究によると、平均密度の高い中性水素原子ガスが分子雲の直接の材料になると考えられている (Blitz et al. 2007, Fukui et al. 2009, Inoue & Inutsuka 2009, 2012)。我々は、高密度な中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を、詳細な物理的素過程 (熱過程, 化学反応, 輻射輸送) を考慮した3次元磁気流体シミュレーションにより調べ、形成される分子雲の性質が圧縮方向と磁場の方向の成す角 θ に強く依存することを2018年春季年会 (P133a) で報告した。磁場と圧縮方向がほぼ平行な場合は、非等方な超Alfvén マッハ数の乱流が発達する。磁場と圧縮方向に少しでも角度がつくと ($> 10^\circ$)、衝撃波圧縮で増幅された磁場により乱流が抑制される。

本研究では星形成の初期条件と直接関係する高密度クランプの統計的性質と、その θ 依存性を調査した。クランプの磁束 μ_{cl} は、質量 M_{cl} に対して $\mu_{cl} = AM_{cl}^{1/3}$ の依存性を普遍的にもつことがわかった。比例定数 A はクランプの平均密度と分子雲の磁場強度-密度関係から定量的に見積もることができ、シミュレーション結果をよく説明する。また、クランプ内部乱流のAlfvén マッハ数は質量にほとんど依存せず、 θ が大きい場合に磁気乱流は弱くなる。このようにクランプの安定性を決定する磁束と速度分散は、普遍的な関係に従って進化することがわかった。講演では星形成の初期条件への示唆も合わせて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P121a 星形成初期段階分子雲コアの乱流ショックにより生じた暖かいCOガス

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

原始星形成の初期条件を探るためには、星形成直前もしくは直後の非常に高密度 ($>10^6 \text{ cm}^{-3}$) かつ低温 ($\sim 10 \text{ K}$) な分子雲コアの観測が必要となる。本研究の対象である MC27/L1521F は、単一鏡の研究によりこのような性質が示されており、中心に超低光度 ($<0.1 L_{\odot}$) 原始星を含む貴重なコアである。我々のこれまでの ALMA 観測により、複数の高密度ガス塊がみられたことから連星 (多重星) 形成現場になり得ること (Tokuda+ 14,16) や、原始星に付随する円盤が半径 $\sim 10 \text{ AU}$ と非常にコンパクトであること (Tokuda+ 17) などから、この天体は等方的な収縮では説明できない非常に動的な星形成現場であることがわかった。本講演ではこの原始星の周辺数 $10\text{--}1000 \text{ AU}$ に存在するエンベロープガスの ^{12}CO ($J = 3\text{--}2$) による観測結果を主に紹介する。先行研究よりも数倍高い空間分解能 ($\sim 20 \text{ AU}$) の観測により、 ^{12}CO の輝度温度がコアの中心の平均的な温度である 10 K よりも優位に高い $15\text{--}60 \text{ K}$ のフィラメント/クランプ状構造が多数存在していることが明らかになった。この非常に高い温度は低光度中心星からの加熱やアウトフロー自体の影響では説明できず、乱流状態にあるガスが相互作用することにより生じた衝撃波加熱が主な原因であると思われる。さらに、上記で述べた高密度ガス塊やコンパクトな円盤は暖かい CO ガスのすぐそばに位置していることから、乱流フローによるガスの圧縮や剥ぎ取りがこれらの構造形成に重要な役割を果たした可能性がある。これは分子雲コア内部の乱流状態や星形成活動を探る上で ^{12}CO の高分解能観測が有用な指標になり得ることを示している (Tokuda+18, ApJ in press)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122b ALMA アーカイブデータを用いた星形成領域におけるアミノ酸前駆体の探査

源治弥 (東京工業大学), 大屋瑤子 (東京大学), 野村英子 (東京工業大学), 廣田朋也 (国立天文台)

メチルアミン (CH_3NH_2) は最も単純なアミンであり、アミノ酸の一種であるグリシン ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) の前駆体候補と考えられている。メチルアミンと CO_2 が紫外線照射下で反応してグリシンを生成することは氷上での実験で確認されており (Bossa et al. 2009) 太陽系内でも彗星での検出例は報告されている (Altwegg et al. 2016)。しかし太陽系外では、電波観測により多種多様な有機分子が検出されているにもかかわらず、分子雲でのメチルアミンの検出例は銀河系中心方向の大質量星形成領域 Sgr B2 (N) に限られている (Halfen et al. 2013)。

本研究では更なる検出を目指し、太陽系から最も近い大質量星形成領域であるオリオン座の Kleinmann-Low 星雲 (以下"オリオン KL") に着目した。ALMA 望遠鏡の Cycle2 アーカイブデータを解析したところ、メチルアミンの候補と思われる輝線が複数発見された。他の分子輝線によるブレンドの可能性はまだ棄却できないが、ホットコアの中心付近で $V_{\text{peak}} \sim 5\text{km/s}$ の成分を持つコンパクトな構造の放射が確認されている。しかし Cycle2 データの周波数帯域は限られており、比較的強いと予想される分子輝線が観測データ内に含まれていなかった。そこで観測周波数域の広い ALMA 科学評価 (SV) データも使用してより多くの分子輝線の検出を試みた。このデータには連続波成分も混在していたため、2017 年秋季年会 P126b にて発表した統計的手法を用いて分子輝線強度のみを抽出した。

本発表では回転ダイアグラム解析によるオリオン KL 内でのメチルアミンの詳細な検出を試み、励起温度、柱密度などの物理量を議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123b Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus with ALMA

樋口あや, 坂井南美, Zhang Yichen (理化学研究所), 大屋瑤子, 山本智 (東京大学), 渡邊祥正 (筑波大学), 酒井剛 (電通大)

我々はこれまでに、同じ物理的進化段階にある低質量原始星でも、付随するエンベロープの化学組成は大きく異なることを示してきた。IRAS 16293-2422 を代表とする Hot Corino 天体では、ギ酸メチルを始めとした飽和有機分子が原始星近傍の 100 au スケールの領域 (円盤形成領域) に非常に豊富に存在する一方、L1527 を代表とする WCCC 天体では、 C_2H や $c-C_3H_2$ を始めとする不飽和な炭素鎖分子が 1000 au スケールの領域に豊富に存在する。低質量原始星では、将来、原始惑星系円盤が形成され惑星系へと進化するので、どのような物理的環境でどのような化学組成が実現されるのかを解明することは、太陽系の物質的起源の理解のために非常に重要である。

そこで我々はペルセウス座分子雲にある 37 個の Class0/I 天体に対して、ALMA (Cycle 4, 空間分解能:0.3–0.6 arcsec) を用いて C_2H や CH_3OH の観測を行い、化学組成の特徴を先入観なく調べた。その結果、37 個の Class0/I 天体は全部で 51 天体に分解され、そのうち 3 天体はさらなる連星の可能性が明らかになった。また分子輝線の解析から、40 天体で C_2H が検出、26 天体で CH_3OH が検出された。空間構造を比較すると、連続波と C_2H の分布は反相関する傾向が明らかになった。 CH_3OH に関しては、連続波の分布と相関、つまりコアをトレースしている天体と、また outflow の高速度成分をトレースする天体に分かれた。さらに、 C_2H と CH_3OH の検出・非検出および分布は、Hot Corino 天体と WCCC 天体、そしてその両方の特徴を持つ天体で特徴的に分類され、これまでの単一鏡の結果 (Higuchi et al. 2018) を支持するように、100 au スケールの円盤形成領域についても化学的多様性を示唆する結果が明らかになった。本講演ではそ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](#)

P124b 大マゼラン雲における大質量原始星に付随する分子雲の ALMA 観測

後藤健太, 大西利和, 原田遼平 (大阪府立大学), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府立大学/国立天文台), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学)

銀河の進化を理解するためには、星間空間に多大な影響を与える大質量星の形成やそのフィードバックの調査が重要である。大マゼラン雲は銀河面が我々に対して正面に向いており、個々の星形成領域への距離も同じとしてよく、銀河全体に渡って均質な大質量原始星のサンプルを得ることができる。我々は、活発な星形成現場である N159 領域の分子雲の観測を ALMA を用いて進めてきた (Fukui+15, Saigo+17)。この領域には、 $10^5 L_{\odot}$ を超える大質量原始星が数個存在し、その原始星方向で、アウトフロー、1mm/3mm 帯連続波放射、電波再結合線の有無等から赤外線観測のみでは判別できなかった異なる進化段階毎の状態を捉えることに成功した。そこで我々は、これらの特徴から大質量原始星の進化段階を分類し統計的に調査するため、大マゼラン雲の全域で赤外線 ($8\mu\text{m}$) 放射が最も明るいものから 50 個の大質量原始星の観測を計画し、その大部分を ALMA Cycle 5 にて実行中である (PI: T.Onishi, 2017.1.00093.S)。現在までに Band 3 帯の観測 (^{13}CO , C^{18}O ($J = 1-0$) 等) の 12 m, 7 m array のデータがデリバリーされた。本講演では初期解析結果として、 ^{13}CO ($J = 1-0$) 強度が比較的強く見られた天体等を紹介する。例として、YSO-25 は $\sim 3 \times 10^5 L_{\odot}$ の光度を持ち、その星形成の規模は N159 の原始星と同程度かそれ以上と考えられる。原始星に付随する分子雲は $\sim 5 \times 10^3 M_{\odot}$ (^{13}CO の線幅から導出したピリアル質量) であり、また原始星方向で C^{18}O ($J = 1-0$) が検出できたことから、高密度な分子雲がまだ存在し、大質量星形成の早期段階であることが考えられる。またこの天体は巨大な分子雲複合体である Molecular Ridge から数 100 pc 離れていることが特徴であり、比較的孤立した環境下で大質量星形成が行われている現場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](#)

P125a Pipe nebula における分子雲形成の研究 II

海老澤勇治 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), Karl M. Menten(MPIfR), 山本智 (東京大学)

へびつかい座の Pipe nebula は特徴的な直線構造を示す静かな分子雲である。西端の低質量星形成領域 B59 から東西方向に伸びる直線構造をもち (Stem 領域)、その東端に空間的に広がった構造をもつ (Bowl 領域)。CO の同位体種の電波観測から、Bowl 領域には、Stem 領域の速度成分 ($\sim 3 \text{ km s}^{-1}$) よりも赤方偏移 ($4 \sim 6 \text{ km s}^{-1}$) した南北方向に伸びる直線構造が知られている (Onishi et al. 1999)。2 つの直線構造は Stem 領域と Bowl 領域の境界で接しており、偏光観測からこれらの衝突が示唆されている (Frau et al. 2015)。

そこで我々は、Pipe nebula において GBT 100-m 電波望遠鏡を用いて OH 18 cm 線の観測を行った。これまでの我々の研究で、OH 18 cm 線の強度異常が分子雲のよい温度指標となることがわかっている (Ebisawa et al. 2015)。このことを利用して、Pipe nebula の温度構造から衝突を検証した。観測の結果、衝突が示唆されている領域で 1720 MHz 線が局所熱力学平衡 (LTE) で予想されるよりも強く検出された。これは、衝突による温度上昇を示唆している (天文学会 2018 年 春季年会 Q41c)。本研究では、これらの観測結果についてより詳細な解析結果を報告する。特に、Bowl 領域では 1665 MHz および 1667 MHz 線の吸収線が検出された。統計平衡計算の結果、これらの吸収線は 100 K 近い高温において再現できることがわかった。また、Stem 領域から Bowl 領域に向かって温度が上昇していく傾向が得られた。以上の結果から、2 つの直線構造は Bowl 領域において衝突したと示唆される。衝突により生じた高密度ガスの冷却と、OH 18 cm 線によって観測された高温のガスの関係についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a Sagittarius arm における大質量星形成

西村淳, 大河一貴, 堤大陸, 河野樹人, 藤田真司, 吉池智史, 大浜晶生, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 大西利和 (大阪府立大学), 久野成夫 (筑波大学)

Sagittarius (Sgr) arm は太陽系に最も近い渦状腕であり、渦巻銀河における星形成を理解する上で重要な領域である。Hou et al. (2014) による最新の銀河系渦状腕モデルを元に、NANTEN-GPS の CO(1-0) データより Sgr arm の速度成分だけを抽出したところ、 $20^\circ \geq l \geq -20^\circ$ の範囲 (Sgr arm の距離 $d \sim 2$ kpc において ~ 1.7 kpc の長さに相当) に、総質量 $1.1 \times 10^7 M_\odot$ の分子ガスを検出し、17 個の GMC を同定した。そのうち 15 個は HII 領域が付随している。また、HII 領域に付随する分子ガスの質量割合は $\sim 38\%$ であった。

我々は、これら Sgr arm に付随する HII 領域に対して星形成の起源を調査してきた。その結果、少なくとも以下の 10 天体において、分子雲衝突が大質量星形成をトリガした可能性がある事が分かった; O 型星が 10 個を超すクラスター NGC6334(福井他 2018a), NGC6357(福井他 2018a), M17(西村他 2018), M16(西村他投稿中), M8(西村他準備中), O 型星が 1 個の HII 領域 Gm24(福井他 2018b), M20(鳥居他 2017), RCW120(鳥居他 2015), W28 A(吉池他準備中), Sh2-29(西村他準備中)。残りの 5 つの HII 領域は解析/観測がまだ完了していないが、いずれも O 型星は 1 個程度で minor な大質量星形成領域である。従って Sgr arm における大質量星形成は、そのほとんどが分子雲衝突にトリガされている可能性がある。分子雲衝突が検出された 10 天体からはいずれも、視線速度が 10 km s^{-1} 程度離れた 2 つの分子雲による相互作用が見られた。さらに、 $l > 0^\circ$ での衝突雲の視線速度は、arm 速度 v_{arm} と $v_{\text{arm}} + 10 \text{ km s}^{-1}$ なのに対し、 $l < 0^\circ$ では v_{arm} と $v_{\text{arm}} - 10 \text{ km s}^{-1}$ であった。この事は、銀河規模でのガスの運動が Sgr arm での高頻度の分子雲衝突をもたらしている事を強く示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P127a 分子雲破壊における解離光の役割：残骸化学組成と星形成効率の抑制

猪口睦子, 嶺重慎, 細川隆史 (京都大学)

分子雲の星形成効率が何によって決まるのかを明らかにすることは星形成研究における大きな課題の一つである。天の川銀河の観測から示唆される低い星形成効率(数%)を説明するためには、なんらかの“フィードバック”が働いていると考えられる。中でも光電離フィードバックの効果が重要視されている (Kim et al. 2016)。ただし実際は解離光によるガス加熱も星形成抑制に寄与すると考えられる (e.g. Inutsuka et al. 2015)。さらに、解離光の影響は星間物質の循環の観点からも重要である。いかにして次の星形成につながっていくのかについての検討はこれまで手付かずとなっていた。

そこで我々は光電離・光解離フィードバックを同時に計算するべく、電離領域のダイナミクスと同時に外側の温度・化学構造を解く球対称一次元準解析的コードを作成した。前回の年会では分子雲破壊時のガス組成を計算し、結果として解離光によってCO分子を伴わない水素分子ガスが大量に残されることを報告した。しかし前回の計算では解離光の計算に電離光と同じ質量-光度関係を用いていた。解離光の光度は質量の小さい星からの寄与も大きいことが予想され、その影響はより如実に現れることが期待される。そこで本研究では電離光と解離光の光度を自己矛盾なく取り込めるようにスペクトル合成モデルを用いて計算した。さらに様々な質量・面密度を持つ分子雲について幅広くパラメータをとり、それらの依存性を詳しく調べた。結果、COは分子雲の面密度が高いほどより壊されていること、および分子雲の質量によらず同様の傾向が見られることがわかった。また、ダスト光電加熱を考慮して星形成効率決定法の再検討を行ったところ、これまでの見積もりよりファクター2程度小さくな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](#)

P128a 分子雲コア L1544 中心領域における重窒素の希釈

古家健次，渡邊祥正（筑波大学），酒井剛（電気通信大学），相川祐理，山本智（東京大学）

分子の同位体比は星形成領域の物理・化学進化を調べる重要なツールである。例えば水素同位体分別の機構は既によく理解されており、重水素濃縮度は天体の温度や年齢の指標として広く用いられている。一方で窒素同位体分別の機構はよく分かっていない。本研究では星形成領域における窒素同位体分別機構を明らかにするため、IRAM 30 m 望遠鏡を用いて、分子雲コア L1544 に対して $N_2D^+(J=1-0)$ 、 $N^{15}ND^+(J=1-0)$ 、 $^{15}NND^+(J=1-0)$ 輝線の観測を行った。 N_2D^+ は低温な高密度ガスのトレーサーである。 $N^{15}ND^+$ 及び $^{15}NND^+$ の輝線は検出されなかったが (rms ~ 2 mK)、積分強度の上限値から N_2D^+ の $^{14}N/^{15}N$ 比の下限値は約 700 と見積もられた。この値は太陽系近傍の星間空間における元素存在量比 $^{14}N/^{15}N \sim 200-300$ よりも有意に大きい。つまりこの結果は、L1544 中心領域において N_2D^+ の親分子である N_2 が ^{15}N に希釈していることを意味する。

星形成領域における窒素同位体分別過程としては (1) 同位体交換反応、(2) N_2 の同位体選択的光解離の 2 つが考えられてきたが、いずれも上述の観測結果を説明することは難しい。前者は N_2 に ^{15}N を濃縮する方向に働き、後者は分子雲コア中心領域への星間紫外線の透過が要求されるためである。すなわち、分子雲コア中心領域”その場”での化学過程では説明できない。我々は 2018 年春季年会 (P115a) において、星間紫外線が透過できる分子雲の段階で気相と固相間で窒素同位体が分別され、気相では ^{15}N が希釈し、固相 (氷) では ^{15}N が濃縮する、というモデルを提唱した。本研究の観測結果は我々の提唱したモデルと整合的である。講演では、以上の結果が窒素化学へ与える制約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](#)

P129b 銀河面における前主系列星の広域探査

木内穂貴, 大朝由美子 (埼玉大学), 平塚雄一郎 (埼玉大学/埼玉県立寄居城北高等学校), 伊藤洋一, 本田敏志 (兵庫県立大学), 高木悠平, 松尾光洋 (国立天文台)

星は密度の高い分子雲で主に形成されると考えられている。一方、分子雲の付随しない、またはガス・ダスト密度が低い領域において、前主系列星 (PMS) の探査は不十分であり、低密度領域での星形成の理解が進んでいない。そこで我々は銀河面付近及び高銀緯の低密度分子雲領域において、 $H\alpha$ 輝線、赤外超過などの特徴を示す PMS の無バイアスな探査を行い、PMS の分布や分子雲密度等の異なる環境における星形成の相違を探っている。

本研究では、銀河面における PMS と分子雲との空間分布や距離を調べるために、IPHAS, 2MASS, WISE 測光値から選別した PMS 候補天体について、2017-2018 年に兵庫県立大学なゆた 2.0m 望遠鏡を用いた可視分光観測を実施し、PMS の同定を行った。観測より得られた PMS のスペクトル型から距離を推定し、NRO 銀河面探査プロジェクト (FUGIN) により新たに同定された分子雲と空間分布や距離の比較をした。結果、距離の不定性が大きい、分子雲と一致する PMS の大半が低質量星である可能性が示唆された (大朝ら 2018 年春季年会)。

本講演では、その後にさらに分光観測を行った天体と合わせサンプル数を増やし、(1)PMS の選別・同定手法の妥当性を検証し、(2)分光観測から求めたスペクトル型と、2MASS, WISE 等の多波長測光観測による SED の両者から温度を求めて比較を行った。(3) $H\alpha$ 輝線が見られる PMS の年齢を 110Myr と仮定し、輻射補正した J バンドの光度から推定した距離と Gaia 位置天文衛星観測による年周視差から求めた距離とを比較し、(4)Gaia で得られた距離を補正した光度と (2) で求めた温度と低質量星の理論進化トラックから推定した PMS の年齢や質量の考察を行った。加えて、(5)FUGIN で求めた分子ガスと PMS の空間分布と距離について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130b NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : Spitzer Bubble N4 の星形成 (2)

藤田真司, 西村淳, 河野樹人, 立原研悟, 大浜晶生, 佐野栄俊, 林克洋, 榎谷玲依, 吉池智史, 堤大陸, 大河一貴, 福井康雄 (名古屋大), 久野成夫 (筑波大), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史, 松尾光洋 (NAOJ), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 瀧崎智佳 (上越教育大), 津田裕也 (明星大), 他 FUGIN チーム

Spitzer Bubble は、 $8\mu\text{m}$ でトレースされる半径数 pc のリング構造とその内部を満たす電離ガスから成る天体である (Churchwell et al. 2006)。このリングは OB 型星の紫外線放射によるガスの膨張によって形成され、さらにその圧縮により周囲の星形成が誘発されていると理解されてきた (e.g., Deharveng et al. 2010)。しかしながら近年、Torii et al. (2015) による Spitzer Bubble RCW 120 の観測的研究などから、リングの形成及び領域内の星形成をよりよく説明するメカニズムとして分子雲衝突が提案されている。

我々は、RCW 120 と類似した特徴を持つ Spitzer Bubble N4 に着目し、FUGIN データから同定された視線速度の異なる 2 つの分子雲同士の衝突により大質量星の形成が誘発されたというシナリオを提案した (藤田他 2018 年春季年会)。今回我々は、N4 から $\sim 5'$ 離れた場所に位置する半径 1–2 pc ほどの star-forming clump N4W における FUGIN データの解析を新たに行った。その結果、本領域で同定されている 4 つの中間質量 ($> 5 M_{\odot}$) Young Stellar Object (YSO) (Chen et al. 2016) からの molecular outflow が検出された他、N4W に付随する視線速度の異なる 2 つの分子雲をつなぐ輝線強度の低い広がった成分の存在が位置–速度図等からわかった。これは分子雲衝突天体における重要なシグネチャーとして知られる bridge feature である可能性が高く、N4 と同様に N4W でも分子雲衝突のシナリオが考えられる。想定される衝突のタイムスケールと 4 つの YSO の年齢 ($< 0.5 \text{ Myr}$) との間に大きな矛盾はなく、またそれら 4 つの年齢が互いに概ね等しいという先行研究の結果も解釈可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131b NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 銀経 $10^\circ - 20^\circ$ でのホットコア カタログ

佐藤一樹 (東京大学), 長谷川哲夫, 梅本智文, 阪本成一 (国立天文台), 齋藤弘雄, 久野成夫 (筑波大学),
瀬田益道 (関西学院大学), 他 FUGIN チーム

我々は NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) で得られた CO 輝線及び帯域内に含まれる HNC, CH₃CN 輝線の解析に基づいて、電波連続波源の強度にバイアスしないホットコアのサーベイを行っている。大質量星形成段階であるホットコアの統計的サンプルを得ることは大質量星形成過程の理解には重要である。現在 FUGIN データの解析で得られたホットコア候補について確認観測を進めている。

前回の年会では 99 候補中 5 個のみしか検出されなかった 3 月の観測結果を速報した。候補天体の選択方法を再検討し、C¹⁸O 輝線が検出された同じ速度にホットコア輝線を探す方法に変更し、新たに 47 候補について 5 月に確認観測を行った。その結果、3 月の観測と合わせ $\ell=10^\circ-20^\circ$ で合計 29 天体が検出された。このうち 24 天体で OCS や CH₃OH を含むホットコアトレーサーのスペクトル線が検出され、ほかに 5 天体で高密度ガストレーサーである C³⁴S を検出した。このうち 5 天体については過去に大質量星形成領域としての報告がない。

本講演では FUGIN データからの候補の検出方法を紹介するとともに、他の観測手段によるサーベイ観測との比較結果を報告する。さらに、ホットコア候補天体の化学的特徴による分類や分子の励起状態を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132c Star Formation Rates of Massive Molecular Clouds in the Central Molecular Zone

Xing Lu (NAOJ), Qizhou Zhang (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics), Jens Kauffmann (MIT), Thushara Pillai (Boston University), Steven N. Longmore (Liverpool John Moores University), J. M. Diederik Kruijssen (Universität Heidelberg), Cara Battersby (University of Connecticut)

The measured star formation rates (SFRs) of massive molecular clouds in the Central Molecular Zone (CMZ) of the Galaxy are an order of magnitude lower than expected from the dense gas star formation law, where the dense gas is of densities $\gtrsim 10^4 \text{ cm}^{-3}$. Here we report new interferometer observations of five massive clouds in the CMZ and one cloud likely outside of the CMZ. Using H_2O masers and ultra-compact H II regions, we find evidence of ongoing star formation in early evolutionary phases, and estimate the SFRs of these clouds. The resulting SFRs are consistent with previous works, reinforcing the conclusion that star formation in these clouds is inactive with respect to the dense gas star formation law. The observations, however, can be reconciled with the dense gas star formation law, if we assume a $\sim 10\%$ dense gas fraction for these clouds, where the dense gas refers to gas of densities $\gtrsim 10^6 \text{ cm}^{-3}$ and being gravitationally bound. This suggests a higher density threshold for star formation to take place in the CMZ, which may be related to the strong turbulence in this region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P133b 星なし分子雲 CB126 の近赤外線撮像観測

荻田茉由, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台)

太陽程度の質量を持つ天体が付随せず、星形成に伴うアウトフローの兆候などが見られない分子雲を「星なし分子雲」という。星形成が起きるための十分な質量を持つため、星なし分子雲は一般に星形成を起こす前の段階にあると考えられているが、今までの観測の感度では検出困難な低質量の天体、もしくはより進化した前主系列星が付随している可能性も考えられる。

我々は西はりま天文台の口径 2m の反射望遠鏡 (なゆた望遠鏡) に近赤外域 J、H、K_s の 3 バンドを同時に撮像できる近赤外撮像装置撮 NIC (Nishi-harima Infrared Camera) を取付けて、星なし分子雲の一つである CB126 の観測を行った。CB126 は 200pc の距離にあり、3.4 ' × 2.2 ' の広さを持つ分子雲である。広域赤外線探査衛星 WISE のデータでは、この分子雲に付随する前主系列星は見つかっていない。本観測では J、H、K_s の 3 バンドでそれぞれ 60 秒積分の画像を 40 枚取得した。各バンドにおける限界等級は J バンドで 17.8 等、H バンドで 17.3 等、K_s バンドで 16.4 等で、0.01 太陽質量の前主系列星が検出できることが分かった。本講演では、近赤外超過を示す前主系列星の数や分布、推定される質量などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P134b 分子雲コアの角運動量の起源について (その2)

三杉佳明、犬塚修一郎、Doris Arzoumanian (名古屋大学)

星の進化はその質量により決められており、星の形成と進化を繰り返すことで、銀河は進化する。星の生まれる場所である分子雲コア (以下、コア) は分裂し多重星を作り出すことが知られており (e.g., Machida et al. 2008)、一つのコアからどれくらいの質量の星が何個できるかによって、生まれる星の質量は異なる。したがって、多重星形成過程の解明は星の進化を決定することであり、銀河進化を理解する上でも重要である。上記の分裂過程において、分裂の有無を決める重要な物理量がコアの初期角運動量であるが、コアが角運動量を獲得する機構については詳しく研究されていない。一方で近年の Herschel 宇宙望遠鏡による観測は、分子雲内のフィラメント構造が普遍的であること、コアはこのフィラメント構造に沿って分布していることを明らかにした (e.g., André et al. 2010)。したがって、フィラメントからのコア形成理論は観測されているコアの角運動量を説明する必要がある。

角運動量を計算する上で重要な物理量はフィラメント内の速度場である。観測によりフィラメントの各部分の重心速度 (centroid velocity) の空間分布ゆらぎが亜 (遷) 音速であることがわかっているが、3次元速度構造は明らかになっていない。そこで我々はまず簡単のため、角運動量の起源として乱流を考え、任意のパワースペクトルにしたがう3次元速度場を作った。次にコアをつくる領域内での角運動量保存を仮定し、領域内の角運動量をコアの角運動量として採用した。その結果、コルモゴロフ乱流では観測されているコアの角運動量を再現できず、フィラメント短軸方向の波により多くのエネルギーを与えた非等方速度パワースペクトルにより再現できることがわかった。この結果は近年提唱されたフィラメント形成過程 (e.g., Inoue et al. 2017) と無矛盾である。本講演ではこれらの結果を紹介し、コアの角運動量の時間発展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](#)

P135b Tタウリ型星の表面構造における磁場の役割

飯島陽久, 高棹真介 (名古屋大学)

本研究では、恒星の表面付近を局所的に切り取った3次元輻射磁気流体計算を用いて、若いTタウリ型星の光球付近の温度構造に対して磁場が果たす役割を検証した。

恒星表面の構造は、磁場の存在により大きく変化する。磁場が周囲の運動エネルギーと同程度になれば白斑が現れ、より強い磁場は黒点となり周囲に比べ非常に温度が低い領域を作る。このような物理過程は、特に空間分解した観測が容易な太陽表面において、古くから研究されてきた。この磁気対流と輻射の影響が混在する物理現象の理解のため、現実的な恒星表面付近の対流運動を再現できる、輻射磁気流体計算がしばしば利用される。

Tタウリ型星の明るさや有効温度は、恒星進化モデルと照らし合わせて星や原始惑星系円盤の年齢推定に利用される。しかし、有効温度は上述のように磁場によって変化するため、正確な年齢推定のためには磁場の影響の定量化が必須である。近年ゼーマン偏光観測を始め様々な手法でTタウリ型星の磁場が推測されているが、星表面の温度構造の磁場に対する依存性の影響や方向が異なる磁場の空間分解能以下での打ち消し合い、さらには磁場の充填率の不定性もあり、正確な磁場強度を知ることは困難である。

そこで我々は、星表面の温度や速度構造などといった観測可能量が星の平均的な磁場強度にどのように依存するのかを、現実的な恒星対流シミュレーションにより考察した。本シミュレーションは恒星表面付近を局所的な計算ボックスとして切り取り輻射磁気流体計算を行うものである。発表では、計算手法の詳細や表面对流構造の磁場強度依存性、考えるTタウリ型星の表面磁場構造の候補について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136a BISTRO Project Status (4)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian³, Yasuo Doi⁴, Saeko Hayashi¹, Charles Hull¹, Tsuyoshi Inoue³, Shu-ichiro Inutsuka³, Kazunari Iwasaki⁵, Yoshihiro Kanamori⁴, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Masato Kobayashi³, Takayoshi Kusune¹, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka⁴, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and the BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Osaka U., ⁶Hiroshima U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²U. Tsukuba, ¹³Kwansai Gakuin U., ¹⁴Astrobiology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make sub-millimeter linear polarization images of nearby star forming regions as one of the EAO/JCMT Large Programs, and it involves over a hundred researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Vietnam and the East Asian Observatory. This paper reports an update of the research program including; a) newly published 850 micron polarimetry results of Oph B and M16 and forthcoming publications, b) extension to BISTRO2 to cover the objects originally included in the BISTRO proposal, and c) 450 micron polarimetry (specifically for the last topic, please refer to the paper presented by Furuya et al. in this meeting).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137a BISTRO : 星形成領域における $450 \mu\text{m}$ 帯ダスト熱放射偏波撮像マップ

古屋 玲¹, D. Arzoumanian², 犬塚 修一郎², 井上 剛志², 岩崎 一成³, 大橋 永芳⁴, 尾中 敬⁵, 片岡 章雅⁴, 川端 弘治⁶, 権 静美⁷, 楠根 貴成⁴, 斎藤 弘雄⁸, 新永 浩子⁹, 瀬田 益道¹⁰, 善光 哲哉¹¹, 田村 元秀⁵, 塚本 祐介⁹, 土井 靖生⁵, 富阪 幸治⁴, 長田 哲也¹¹, 中西 裕之⁹, 中村 文隆⁴, 長谷川 哲夫⁴, 林 左絵子⁴, Charles Hull⁴, 表 泰秀⁴, 松村 雅文¹², D. Berry¹³, S. Graves¹³, H. Pearson¹³, M. Rawlings¹³, P. Friberg¹³, D. Ward-Thompson¹⁴ 他, BISTRO Consortium (¹ 徳島大, ² 名大, ³ 阪大, ⁴ NAOJ, ⁵ 東大, ⁶ 広島大, ⁷ 宇宙研, ⁸ 筑波大, ⁹ 鹿児島大, ¹⁰ 関学, ¹¹ 京大, ¹² 香川大, ¹³ EAO, ¹⁴ U.C.Lan)

BISTRO(長谷川ら本年会) は, 波長 $450 \mu\text{m}$ 帯においても科学的解析の段階に歩を進めつつある. SCUBA2 と POL-2 による観測系は, $850 \mu\text{m}$ および $450 \mu\text{m}$ 帯を同時受信できる. $450 \mu\text{m}$ データも 2016 年春から取得できていたが, 解析は手つかずであった. そこで, 2017 年夏から惑星を用いた較正観測を重ね, 2017 年冬までに機械的偏波 (IP) の仰角および方位角依存性を測定, 較正表を完成させた. さらに IP 発生の主要因である, 望遠鏡ドームカバーを開けた測定を昨年冬に行い, 偏波率の測定精度は, 整合性と再現性にして大旨 2%以下であると推定した.

大気の可干渉尺度が短く, 透過率も低減する $450 \mu\text{m}$ 帯地上観測では, 大気熱輻射を適切に差し引く必要がある. そこで, 個々のデータの積分時間と足し合わせの重み付けを最適化し, Stokes I 強度が強い放射源に準拠して差し引くなど, 像合成法にも改善を加えた. この結果, Stokes $I \sim \text{a few mJy}/14''$ beam で淡く広がった放射 (e.g., 分子雲の周縁部) に対しても $P/\Delta P \gtrsim 3$ ($P = \sqrt{Q^2 + U^2}/I$) で議論に耐えうる偏波マップを得られるようになった. 本講演では, 代表的な観測領域 (e.g., Ophiuchus) の偏波マップ, 偏波観測の相関 (e.g., Stokes I vs. $\sqrt{Q^2 + U^2}$) および物理量との比較 (e.g., N_{ISM} vs. P) を示し, 新たなデータが星間塵や星形成研究にもたらす知見を展望する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P138b Herbig Be 型星 Z CMa の可視光分光モニター観測

秋本妃奈子, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

前主系列星の変光を調べることは、若い星の質量獲得のメカニズムの解明に役立つと考えられる。Herbig Be 型星である Z CMa は、 $16M_{\odot}$ 程度の主星と $3M_{\odot}$ 程度の伴星からなる若い連星である。静穏時には V バンドで 11 等級だが、2014 年から 2018 年の間に 4 度の急激な増光を起こし、最大で 8 等級前後まで明るくなった。

本研究では 2 度の増光期間を含む 2015 年 10 月から 2018 年 1 月にかけての分光モニター観測の結果を報告する。観測には西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡「なゆた」に搭載される、可視光中低分散分光器 MALLS (Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph) を使用した。19 夜において、6280 から 6720 の波長範囲で波長分解能 $R \sim 7500$ のスペクトルを取得した。また、Keck 望遠鏡の高分散分光器 HIRES で撮られた、2000 年から 2008 年までの 5 夜のデータも使用した。

得られたスペクトルには $H\alpha$ や FeII など多数の輝線が確認され、活発な質量降着現象が起きていることが分かった。一方で質量放出現象と密接な関わりがあるといわれている [OI] 輝線は、観測期間中に等価幅が -0.2 から -3.5 まで変化した。V 等級が明るくなると等価幅は減少したことから、増加した連続光に [OI] の輝線が埋もれたものと考えられる。

[OI] の等価幅から質量放出率は $10^{-6}M_{\odot}\text{yr}^{-1}$ 程度と推定できる。これらの結果から Z CMa の連続光の急激な増光と質量放出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](#)

P139b 孤立した Spitzer Bubble S44 に対する CO 輝線観測と星形成

河野樹人, 立原研悟, 藤田真司, 服部有祐, 花岡美咲, 西村淳, 大濱晶生, 吉池智史, 榎谷玲依, 大河一貴, 長谷川敬亮, 佐野栄俊, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大), 鳥居和史 (国立天文台野辺山)

Spitzer Bubble は、Spitzer 宇宙望遠鏡によって同定されたリング状に分布した $8 \mu\text{m}$ のダスト放射を持つ天体であり、その多くは中心に大質量星を内包した HII 領域である (Churchwell et al. 2006, 2007)。S44 は、Churchwell et al. (2006) によってカタログ化された Spitzer Bubble の 1 つであり、サイズはおよそ 5 pc 、太陽系からの距離は 4.6 kpc である。また、warm dust ($24 \mu\text{m}$) が非対称構造を持ち、周囲 20 pc にわたって他の大質量星形成領域が無い孤立した環境下にあるのが特徴である。これまで我々は、NANTEN2, Mopra, ASTE 望遠鏡による観測結果から母体分子雲はバブルの南側 20 pc にわたって分布しており、2つの速度成分が存在することから、分子雲衝突による大質量星形成の現場として議論を行ってきた (服部他 2017 年春季年会)。今回、新たに $^{12}\text{CO } J=3-2/1-0$ 輝線強度比 ($R_{3-2/1-0}$) の解析、さらに分子雲データと MOST によって得られた電離ガス (36 cm)、APEX によって得られた cold dust ($870 \mu\text{m}$) との空間分布の比較を行った。これらの解析の結果、 $8 \mu\text{m}$ のリング構造の上で強度比が高い ($R_{3-2/1-0} \sim 1.0-1.2$) ことから、2つの速度成分は大質量星による加熱の影響を受けている可能性が高いことがわかった。さらに電離ガスの放射強度から、電離光子数を見積もったところ、 $N_{\text{Ly}} \sim 10^{48.05} \text{ s}^{-1}$ であり、単一星を仮定した場合、バブル内部に O9-9.5 型の大質量星が埋もれている可能性を示した。また、分子雲の柱密度が最大となる ($N_{\text{peak}}(\text{H}_2) = 5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) バブルの南側で、分子雲と cold dust のピークが一致することがわかった。これは、バブルの南側では次世代の星形成が起こる可能性を示唆している。本講演では、バブルに埋もれた第 1 世代の O 型星形成と次世代の星形成シナリオとして、分子雲衝突モデルを提案し議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P140b エネルギー保存を保証する自己重力流体方程式の差分法

花輪知幸 (千葉大)

星形成でも系の全エネルギーは重要な物理量である。このため多くのシミュレーションでは、質量やエネルギーが物理的なプロセスだけで変化するよう、保存形式の流体力学方程式が採用されている。しかし単位体積あたりの重力エネルギーの解放率 ($\rho v \cdot g$) が源泉項となるため、一般には、打ち切り誤差によるエネルギー変化が残る。このポスターでは、この打ち切り誤差を陽的に消去する時間2次精度の方法を紹介する。

本ポスターの方法で重力は、各数値セルの表面で面に垂直な成分 (g_n) と、面内の成分 (g_t) を持つとする。前者 g_n は、Poisson 方程式 ($\int g \cdot dS = -4\pi G \int \rho dV$) を満たす。ここで G は重力定数、 dS と dV は数値セルの表面積分と体積積分を表す。また隣接するセルの中心を結ぶベクトルのセル表面に垂直な成分 Δs_n と g_n の内積とポテンシャル差と一致させる ($\Delta\phi = -g_n \cdot \Delta s_n$)。セル表面内の成分 g_t は、重力ポテンシャルの存在 ($\nabla \times g = 0$) と作用反作用の法則 [$\nabla \cdot (gg - |g|^2/2) = 4\pi G\rho g$] により一意に定められるが、数値計算に陽には現れないので求める必要はない。重力エネルギー解放率は、 g_n とセル表面を通過する質量流束 ρv の積と表される。質量保存の方程式を解き、密度分布を更新させたのち、その時刻で求めた重力も使って速度やエネルギーを更新させれば、重力エネルギーを含む全エネルギーが保存する。

一様格子の場合、2次の中心差分により Poisson 方程式を解けば、上記の方法が適用できる。Adaptive Mesh Refinement 法 (AMR) で用いられる計算領域の一部で、セルを $1/8$ に分割する格子でも、上記の条件に合うよう Poisson 方程式を差分化することができる。求められた重力は解像度が変化する場所で1次精度であるが、エネルギー保存は厳密に成り立つ。重力が外場として与えられる場合にも本発表の方法は適用できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P141a 強い磁場を持つ星周円盤の内縁における激しい降着

高棹真介 (名古屋大学), 富田賢吾, 岩崎一成 (大阪大学), 鈴木建 (東京大学)

原始星・前主系列星段階にある星は星周円盤と相互作用しながら成長するため、星近傍の降着構造の解明が中心星進化の理解にとって重要である。星近傍は星や円盤の持つ磁場が強く降着構造が磁場によって大きく影響を受けると考えられているが、その詳細は十分理解されていない。これまで星近傍の降着に関する研究として強いダイポール磁場を持つ星と円盤のモデル (Romanova et al. 2011) や我々の弱い星・円盤磁場を持つ星・円盤モデル (Takasao et al. 2018) が行われており、3次元性や磁場強度の重要性が数値的に示されてきた。ただし原始星形成の早期段階等で予想される、円盤が強い磁場 (プラズマベータで 100 程度) を持つような状況は3次元計算によってこれまでほとんど調べられてこなかった。そこで我々はこれまで構築してきた星・円盤相互作用モデルと Athena++コードを用いて3次元磁気流体シミュレーションを行い、強い磁場を持つ円盤 (プラズマベータで 100) の降着構造を調べた。本モデルの星は初期にユニポーラーな磁場を持つがダイポール磁気圏は持っていない。シミュレーションの結果、円盤内や近傍で繰り返し磁気リコネクションが起きて星近傍の磁場構造が大きく変化し、それに伴って激しい降着が駆動される様子が見つかった。これまで磁気圏を持つ星への降着はリコネクションによって大きく時間変動することが言われていたが、この結果は星に磁気圏を与えなくても磁場が十分強ければ極めて動的な降着が起きる可能性を示唆している。本発表では星近傍の磁場構造の変化に注目してシミュレーション結果の詳細を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P142a 中心星付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Tuauris 星生成領域中の中質量星の観測

安井千香子 (国立天文台)、濱野哲史、福江慧、近藤荘平、鮫島寛明、竹中慶一、池田優二、河北秀世、大坪翔悟、渡瀬彩華 (京都産業大学)、松永典之、水本岬希、谷口大輔、泉奈都子、小林尚人 (東京大学)、WINERED 開発チーム

星形成過程において、初期に分子雲中に存在するほとんど全ての角運動量をいかに抜き去るかは、50 年来の大きな問題となっている。本研究は、その中で最も重要なプロセスの 1 つである、中心星付近 ($\lesssim 1$ AU) での mass flow に着目した。われわれは、近赤外線高分散分光器「WINERED」($R = 28,000$) を用いて、Taurus 星生成領域における 13 個の若い中質量星の分光観測を行った。先攻研究より、中質量星の原始惑星系円盤の進化段階は、近・中間赤外線の色超過の有無から 3 つに分けられることが知られている。本観測では、全ての進化段階の星をカバーした。得られたスペクトル ($\lambda = 0.91\text{--}1.35 \mu\text{m}$) には、質量降着やアウトフローを起源とする He I $\lambda 10830$ や水素 ($P\epsilon$, $P\gamma$, $P\delta$, and $P\beta$) のラインが検出された。観測から得られたプロファイルを進化の段階ごとにモデルと比較した結果、初期には恒星風と磁気降着が見られた一方で、次の段階では円盤風と磁気降着が見られた。そして、最終段階ではいずれの活動も見られなかった。各進化段階において異なるプロセスが見られたことは、mass flow のプロセスに明確な時間進化が存在することを意味する。また、ここでの進化段階が、原始惑星系円盤による赤外線での色超過に基づくことを考えると、mass flow のプロセスには円盤中の opacity が大きな役割を果たすことが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P143a EHV天体 MMS 5/OMC-3 におけるジェットの構造

松下祐子 (九州大学), 高橋智子, 富阪幸治 (国立天文台), 町田正博 (九州大学)

Orion molecular cloud-3 (OMC-3, 距離=388 pc: Kounkel et al. 2017) に存在する Class 0 天体 (MMS 5) から、低速度アウトフローと高速度のコリメートしたジェットが駆動していること (2017 年秋季年会:P139a)、アウトフローとジェットの軸にズレが生じていること (2018 年春季年会:P122a) をこれまで紹介してきた。今回の発表では、MMS 5 の ALMA Cycle3 による高分解能観測から解析したジェットとその内部の構造について議論する。MMS 5 からのジェットは、速度は $60\text{--}100\text{ km s}^{-1}$ で、サイズは 1600 AU、ダイナミカルタイムスケールは $100\text{--}200\text{ yr}$ であった。これは、過去に見つかっている EHV 天体 (low-velocity outflow と extremely high-velocity jet が駆動している天体) のジェットと比較しても非常にコンパクトである。したがって、MMS 5 は、Class 0 の中でもかなり若い段階であることが予測される。また、ジェットの内部には、knot の成分が 7 つほど検出されており、knot の間隔はおおよそ 0.4 arcsec であることが分かった。この knot は、ジェットが非定常に駆動し、その際のショックにより形成されたものであると考え、MMS 5 は約 8 年の間隔でジェットを駆動していると考えられる。また、ジェットの軸に沿って、PV 図を作成したところ、ノコギリの歯のようなパターンが見られた。これは、インクリネーションの効果を考慮すると、ジェットの視線方向上流側では速度が増して観測され、下流側では減速してみられることによる (Santiago-Garcia et al. 2009)。アウトフローの観測結果から、MMS 5 のインクリネーションの角度は 50° であることも分かっており (Matsushita et al. 2018 in prep)、その結果とも矛盾しない。このようなパターンは、パルスジェットモデル (e.g., Raga et al. 1990; Stone & Norman 1993) のシミュレーションからも確認されており、MMS 5 のジェットの形状とも類似している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P144a 原始星形成期におけるアウトフロー・ジェット・降着円盤・磁場の軸ずれ

平野信吾, 町田正博 (九州大学)

星形成過程におけるアウトフロー・ジェットなどの質量放出現象は、星周ガスから質量・角運動量を持ち去るため、誕生する星の性質を理解する上で重要である。ALMA による高分解能観測により、原始星近傍の詳細な構造を調べることが可能となった。近年、大局的な磁場と異なる方向に吹き出すアウトフロー (Hull et al. 2013; 2017)、方向が変化するジェット (Riaz et al. 2017) など、従来の星形成シナリオでは説明できない現象が報告されている。これは理論モデルに何らかの見落とししがあることを示唆する。

今回、星形成初期のガス雲回転軸が大局磁場と一致しなければ観測された軸ずれが自然に現れることを、数値シミュレーションより確認した。一様磁場から回転軸が 45° 傾いている Bonner-Ebert 球における原始星形成過程を、3次元多層格子法を用いた抵抗性磁気流体シミュレーションにより調べた。磁場はある密度 ($n_{\text{H}_2} > 10^{11} \text{ cm}^{-3}$) 以上になると散逸されて弱まるため、ガス雲の収縮方向が低密度・大スケール (磁気力+遠心力が重力と釣り合う偽円盤) と高密度・小スケール (遠心力が重力と釣り合う回転円盤) では変化し、結果的に円盤状構造は歪む。円盤の外側・内側・原始星スケールで駆動された低速のアウトフロー・高速のジェット・非定常な質量放出は、歪んだ円盤の法線方向へと、異なる方向にそれぞれ噴出した。これらの軸は初期の大局磁場方向とは一致しない。また降着進化中に円盤の方向は変化し、噴出現象の軸もそれに伴って時間変化することがわかった。

本公演では、星形成ガス雲の回転軸方向によって近年の観測結果を再現できることを紹介し、今後の観測で確認されることが期待される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](#)

P145a Rotation in the NGC 1333 IRAS 4C Outflow

Yichen Zhang, Aya Higuchi, Nami Sakai (RIKEN), Yoko Oya (U. Tokyo), Ana López-Sepulcre (IRAM), Muneaki Imai (U. Tokyo), Takeshi Sakai (U. Electro-Comm.), Yoshimasa Watanabe (U. Tsukuba), Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch (IPAG), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo)

We report ALMA molecular line observations of the outflow from the NGC 1333 IRAS 4C Class 0 protostar in the Perseus Molecular Cloud. The CCH and CS emission reveal an outflow cavity structure with clear signatures of rotation with respect to the outflow axis. The rotation is detected from about 120 au up to about 1400 au above the envelope/disk mid-plane. As the distance to the central source increases, the rotation velocity of the outflow decreases while the outflow radius increases, which gives a flat specific angular momentum distribution along the outflow. The mean specific angular momentum of the outflow is about 100 au km s^{-1} . Based on reasonable assumptions on the outward velocity of the outflow and the protostar mass, we estimate the range of outflow launching radii to be 5 – 15 au. Such a launching radius rules out that this outflow is launched as an X-wind, but rather, it is more consistent to be a slow disk wind launched from relatively large radii on the disk. The radius of the centrifugal barrier is roughly estimated, and the role of the centrifugal barrier in the outflow launching is discussed.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P146b Gaia 衛星データと分光観測に基づく高銀緯分子雲における星形成探査

大朝由美子, 岩澤司季, 木内穂貴 (埼玉大学), 平塚雄一郎 (埼玉大学/埼玉県立寄居城北高校)

低質量星の多くは、高密度分子雲で集団的に形成されることが観測的に明らかになりつつある。一方、いわゆる星なし分子雲と呼ばれる静穏な分子雲や低密度環境下での星形成、そこに至る分子雲形成については理解が進んでいない。そこで我々は、星形成が活発におきている高密度分子雲だけでなく、銀河面付近及び高銀緯に存在する、ガス・ダスト密度が低い低密度分子雲領域に着目し、低質量星や褐色矮星などの形成が起きているかどうか、その形成の描像が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。

高銀緯分子雲においては、2006~15年 UH2.2m 望遠鏡を用いたスリットレス可視分光観測及び SDSS, 2MASS, WISE 測光データにより、 $H\alpha$ 輝線と SED に基づく T タウリ型星 (TTS) 探査を行ってきた。これまで6つの高銀緯分子雲 (~2 平方度) において、 $H\alpha$ 輝線の有無とスペクトル型を決定し、TTS 候補天体が複数同定され、各分子雲で、~5%の星形成が起きていることが示唆された。若い褐色矮星の発見は高銀緯分子雲で初めてであり、特筆すべき事である (大朝ら 2015 秋季、平塚ら 2016 秋季、2017 春季、秋季 2018 春季年会)。しかし、スターカウント手法で求められた個々の分子雲の距離 (Schlafly et al. 2014) から求めた光度と、分光で求めた温度、及び低質量星の理論進化モデルから TTS の年齢や質量を求めていたため、距離による不定性があった。

本研究では、これまで報告した分子雲 MBM01、02、03、32、53、54、55、106 の TTS 候補、及び距離の制限から候補から除いていた $H\alpha$ 輝線天体について、Gaia 位置天文衛星によって求められた年周視差の結果をふまえ、再解析を進めた結果を報告する。加えて、各分子雲の距離についても Gaia データを用いて検討を行い、各分子雲での星形成率や TTS の UV/IR 超過の観点から円盤保有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](#)

P147b Gaia DR2 による Upper Scorpius OB アソシエーションとへびつかい座 分子雲星形成領域の解析

南祥平, 西亮一 (新潟大学), 中村文隆 (国立天文台)

Scorpius-Centaurus OB アソシエーションは、3つのサブグループからなる OB アソシエーションである。この OB アソシエーションは、太陽から最も近い OB アソシエーションであるため、よく研究がされてきた。Nicholas & Eric (2018) は、この OB アソシエーションについて、Gaia DR1 を用いて解析を行った。その結果、この OB アソシエーションは、複数の小規模な星形成のイベントによって生まれたことがわかった。ただし、膨張運動についての解析は明確な結果を得られていない。2018年4月にリリースされた Gaia DR2 によって、より多くの星に対しての、年周視差と固有運動の精度良いデータが得られた。我々はこのカタログを用いて、サブグループ内の1つである Upper Scorpius OB アソシエーションの解析を行った。このサブグループは 145pc の距離に存在し、へびつかい座 ρ 分子雲が含まれる領域である。へびつかい座 ρ 分子雲は、その近さ (141pc)、若い星の多さ、そして星形成効率が 23%(Greene & Yang 1992) と、現在でも星形成が活発に行われている領域であるため、非常に良い研究対象となっている。このサブグループの解析を行った結果、年代が $10^6 \sim 10^7 yr$ と幅広い年齢の星が存在していることがわかった。また、subcluster を同定し、それぞれの運動速度と、内部運動を調べることができた。特にへびつかい座 ρ 分子雲の領域では、この領域に存在する $H^{13}CO^+$ コアの視線方向の運動の速度分散は $\sim 0.53 km s^{-1}$ であり、コア内部のガスの速度分散 $\sim 0.49 km s^{-1}$ (maruta et al.2010) と同程度である。それに対して、領域全体の星の速度分散は、赤経方向 $\sim 1.3 km s^{-1}$ 、赤緯方向 $\sim 1.2 km s^{-1}$ となることがわかった。さらに、この領域の膨張運動についての解析結果も示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P148b 始原ガス円盤分裂による多重星系形成可能性と数値計算法の不定性

島和宏, 細川隆史 (京都大学)

初期宇宙における連星、あるいは多重星系の形成過程のひとつとして始原ガス円盤の重力不安定による分裂が注目されている。例えば、Regan & Downes (2018) ではいわゆるダイレクト・コラプスシナリオの文脈で、始原ガス円盤の分裂過程を様々な空間解像度の3Dシミュレーションで調べている。彼らはAMR法を用いるENZOコードに星形成をモデル化するためのシンク粒子をFederrath et al. (2010) に従って導入し、場合によっては100個を超える大量のシンク粒子が円盤分裂の結果生じると主張した。しかし、シミュレーションの解像度を高くするほど、より小質量のシンク粒子が多数形成される傾向となっており計算が収束していない。

シンク粒子の導入は長時間進化を追うためには避けられないが、その取扱には注意を要する。例えば、SPH法の計算ではシンク半径をジーンズ長よりも小さく取りすぎると非物理的な分裂によって、分裂片の数が1桁以上増えることがすでに報告されている(須佐 2017年秋季年会 P163a)。Reganの論文ではガスのジーンズ長を最低でも32個の格子で分解して流体を計算しているのに対して、シンク粒子の半径は格子4個分としており、同様の人為的な分裂を見ている可能性がある。

そこで我々は、ENZOコードに同様のシンク粒子法を実装し、ジーンズ長の解像度とシンク粒子の半径を系統的に変化させた計算を行い、形成されるシンク粒子の個数や質量の依存性を調べた。AMR法で重力不安定による円盤分裂をシンク粒子を用いて追跡する際、その手法の限界によって結果にどの程度の不定性が現れるかを定量的に示すことが最終的な目標である。本講演ではその結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P149b Baryon-dark matter scattering and first star formation

Shingo Hirano (Kyushu University), Volker Bromm (University of Texas at Austin)

The recent detection of the sky-averaged 21-cm cosmological signal indicates a stronger absorption than the maximum allowed value based on the standard model. One explanation for the required colder primordial gas is the energy transfer between the baryon and dark matter fluids due to non-gravitational scattering. Here, we explore the thermal evolution of primordial gas, collapsing to form Population III (Pop III) stars, when this energy transfer is included. Performing a series of one-zone calculations, we find that the evolution results in stars more massive than in the standard model, provided that the dark matter is described by the best-fit parameters inferred from the 21-cm observation. On the other hand, a significant part of the dark matter parameter space can be excluded by the requirement to form massive Pop III stars sufficiently early in cosmic history. Otherwise, the radiation background needed to bring about the strong Wouthuysen-Field coupling at $z \sim 17$, inferred to explain the 21-cm absorption feature, could not be built up. Intriguingly, the independent constraint from the physics of first star formation at high densities points to a similarly narrow range in dark matter properties, compared to the conclusions from the 21-cm signal imprinted at low densities.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P150a 大質量原始星の近赤外線変光の検出

吉田 泰, 宮田 隆志 (東京大学), 内山 瑞穂, 杉山 孝一郎 (NAOJ), 米倉 覚則, 斎藤 悠 (茨城大学), 中岡 竜也, 川端美穂, 黄 若晨, 川端弘治, 山中雅之 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学), 他広島大学かなた観測チーム

大質量 ($> 10M_{\odot}$) の星形成プロセスは、小・中質量星の星形成プロセスと比べて解明が遅れている。それは主に大質量原始星の中心付近を直接見ることが難しいということと、星中心部への膠着率が $10^{-3}M_{\odot}/\text{year}$ と高く、これの実現には質量が大きくなって来た時に大きくなる中心星からの輻射圧の問題をクリアする必要があるからである。この輻射圧の問題を解決し、大質量星形成プロセスを解明するには、大質量原始星の中心付近 (数 AU) の構造解明が不可欠である。

このような中心付近の構造を見るのに近赤外線での測光モニター観測は非常に有効な方法である。それは近赤外線が星の温度変化や視線方向のダストの濃淡などに感度があり、その光度変動を追うことによって星近傍に関する情報を得ることができるからである。

我々は東広島天文台の所有するかなた望遠鏡/HONIR を用い、J, H, Ks band での同時モニター観測を 2015 年 11 月から 3 年間にわたり実施した。その結果、各 band について 0.30.7 (mag) の変光を検出し、同時期にモニター観測されていた 6.7GHz Class II メタノールメーザーとの相関を初めて系統的に捉えた。本発表ではこれらの変動の詳細について詳述し、その成因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P151a 大質量原始星周りでの Outflow-Confined HII 領域の時間変動・進化とその観測的特徴

田中圭 (大阪大学, 国立天文台), Jonathan C. Tan (チャルマース工科大学バージニア大学), Jan E. Staff (バージン諸島大学), Yichen Zhang (理化学研究所)

大質量星は星間物質の物理的/化学的進化に多大な影響を与える天体だが、その形成過程はまだあまりよく理解されていない。我々は理論モデル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ている。本研究では 3 次元磁気流体力学計算 (Staff et al. 2015) と原始星進化計算 (Tanaka et al. 2017a) の結果を利用し後処理輻射輸送計算を行い、HII 領域構造の変動性と進化を調べた (Tanaka et al. 2017b)。HII 領域は原始星質量が $10M_{\odot}$ 程度で形成が始まる。初期段階では高密度な中心星付近のアウトフローが「壁」となり、HII 領域はアウトフロー軸に沿って 10–100 AU 程度に閉じ込められる。この Outflow-Confined HII 領域は周囲の密度構造に敏感なため、間欠的質量降着等によってアウトフロー密度が増加することで 10–100 年以下の短い時間スケールで free-free 電波強度が 1 桁以上低下することがわかった。その後、Kelvin-Helmholtz 収縮に伴い電離光子放出率が急激に上昇するため、1 万年程度で HII 領域はこの壁を突き破りアウトフロー領域全体に広がり free-free 放射は著しく明るくなる。典型的な場合、赤外光度が 2 倍程度の増加する間に 10 GHz では 0.1 mJy kpc^2 から 100 mJy kpc^2 程度まで増光する。また構造の変化に伴い電波スペクトル指数も光学的に厚いことを示す 2 から部分的に薄い 0.6 程度へと変化する。本公演では実際の観測と我々の理論モデルを比較することで大質量原始星進化と質量降着過程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](#)

P152a 大質量星形成領域 RCW106 分子雲の近赤外線偏光観測

玉置捷平, 杉谷光司 (名古屋市立大学), 楠根貴成 (国立天文台) 他

分子雲や銀河の進化に多大な影響を与える大質量星形成については未だに知られていないことが数多い。また、宇宙空間に存在する磁場は星形成を含む星間現象において重要な役割を果たしている可能性が高いことが示唆されている。しかし、この星間磁場がどのようにして星形成、特に大質量星形成に関わっているかは未だ明らかではない。最近の研究によると分子雲は一般に伸びた構造をしており、密度が高く星形成の兆候がある分子雲ではその伸長方向に対して磁場が垂直に貫いている傾向があることが指摘されている。しかしながら、磁場構造の研究対象となっているのは小中質量星形成領域が多くを占めており、大質量星形成領域における磁場の観測例はまだまだ少なく、大質量星形成領域の磁場を研究することは大質量星の形成過程の解明にも繋がると考えられる。私たちは観測対象として RCW106 分子雲を選出し、南アフリカ天文台のサザーランド観測所にある IRSF1.4m 望遠鏡と近赤外線偏光観測装置 SIRPOL を用いて観測を行っている (2017 年 5 月、2018 年 1 月、2018 年 8 月 (予定))。RCW106 は巨大な HII 領域であり、この RCW106 に付随する分子雲は銀河面の中で最も活発な大質量星形成領域の一つとして知られている。この観測からは今までの研究結果とは異なるようで、分子雲の全体の伸長構造に対しては平行な磁場構造であるが、その中にある微細な構造 (フィラメント) に対しては平行あるいは垂直に分かれている、という結果が得られた。本講演では 8 月に観測予定の領域も含めて RCW106 分子雲全体の磁場構造について報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P153a 銀河系での大質量星形成における光電離フィードバックの役割

細川 隆史 (京都大学), Rolf Kuiper (チュービンゲン大学)

銀河系の大質量星形成では、形成しつつある原始星からの輻射圧が降着を止めかねないほど強くなることが問題視されてきた。ただ、最近ではこの問題は緩和されたとみなされている。多次元の輻射流体シミュレーションを行うと降着円盤や降着エンベロープの非球対称構造が自然とでき、この下での輻射圧の効果は大幅に減ぜられることが示されたのである (e.g., Krumholz et al. 2008; Kuiper et al. 2010)。しかし、この手の計算ではいまだかつて電離領域の形成に伴うフィードバックの効果が取り入れられていない。本来は大質量星周囲のガスが光電離され、その大ガス圧によるフィードバック効果があるはずだが、これは単に無視されてきた。一方、この効果はダストの無い初代星形成の文脈では広く注目され、星への降着を止め得る機構であると考えられている (e.g., McKee & Tan 2008; Hosokawa et al. 2011, 2016)。

そこで今回、銀河系の大質量星形成の文脈で、輻射圧と光電離両方のフィードバック過程を組み込んだ輻射流体シミュレーションを初めて行った (Kuiper & Hosokawa 2018 A&A in press, arXiv:1804.10211)。円盤の極方向のガスが輻射圧で飛ばされてバブルが生じるが、次第に星からの UV 光が強まって電離領域もともに成長していく様子を追跡した。各々のフィードバック効果は計算中で切ることが出来るため、特に中心星への質量降着にどのような影響を及ぼしているか調査した。その結果、意外なことに銀河系の大質量星形成の場合、電離のフィードバックはむしろ中心星への降着を促進することが分かった。これは、電離領域の膨張に伴ってエンベロープ中のガスが円盤の陰となっている赤道面近くに集められ、結果的に輻射圧のフィードバックを免れるためである。講演では初代星形成の場合との違いについてもさらに議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P154a Gaia DR2 を用いたオリオン領域の星形成過程の解析

西亮一, 南祥平 (新潟大), 中村文隆 (国立天文台)

オリオン領域はオリオン A, B の巨大分子雲やオリオン OB アソシエーションなどが存在し, 大質量星を含めた活発な星形成領域として非常に重要な研究対象である。この領域の分子雲については, 野辺山 45 m のレガシープロジェクトをはじめ, 多くの観測がなされている。それに対して, 2018 年 4 月に公開された ESA の位置天文観測機 Gaia の Data Release 2 (DR2) では, 13 億個以上の星に対して, 年周視差や固有運動を含むデータが公開された。15 等より明るい星に対しては, 年周視差の精度が 0.04 milli arc second (mas) 程度であり, 距離が 400 pc 程度であるオリオン領域の星に対して, 数%以下の誤差で距離の測定が可能となった。また, 固有運動についても, 15 等より明るい星に対しては, 精度が 0.06 mas/y であり, km/s のオーダーで固有運動を調べることが可能となった。我々は, Gaia DR2 のデータを用いてオリオン領域の星について解析を行い, 分子雲のガスの観測との比較も行った。まず, オリオン A 巨大分子雲に付随した年齢が 10^7 y 程度以下の若い星に対して 3 次元の空間分布を調べると, 南北に沿って系統的に距離の差があることが明らかになった。また, オリオン大星雲に付随する星団は奥行方向に大きく広がっていると共に, 平均位置が明確に分子雲本体より遠方であることがわかった。また, 固有運動については, オリオン大星雲を境に南側と北側で明らかに違いが存在し, 特に北側では南北方向の運動が重要になっていることがわかった。次に, オリオン A から北側に離れた OB アソシエーション領域について, 若い星について分布を調べると複数のサブグループの存在が明らかになった。これらのサブグループは固有運動で見ても集団的な運動をしており, 星形成領域の変遷と相互作用の影響と見ることができる。これらの結果と分子雲ガスの観測との比較により, この領域の星形成過程についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P155a 中間質量ブラックホール形成モデルの精緻化に向けた恒星合体計算

山内俊典、谷川衝、鈴木建、櫻山和己 (東京大学)

巨大ブラックホール (SMBH) は、その質量が 10 億太陽質量以上のブラックホールである。近年の可視・赤外線観測によって、宇宙年齢が 10 億歳未満の遠方宇宙に SMBH が存在することが分かってきた。このような早期に形成される SMBH の形成過程は詳しくは分かっていない。可能性の一つとして、遠方宇宙で形成された高密度星団内で星が衝突を繰り返すことで、 10^2 から 10^5 太陽質量程の中間質量ブラックホール (IMBH) が形成され、その IMBH が成長することで SMBH になったという過程がある。この過程を調べるため、IMBH 形成が起こるような高密度星団の N 体計算が行われている (e.g. Portegies Zwart et al. 2004; Fujii et al. 2009; Sakurai et al. 2017)。しかしそれらの計算において、星の合体条件の設定は単純化されている。そこで本研究では、どのような状況下で星が合体するのかを明らかにする流体数値実験を行った。

本数値実験には SPH コードを用いた。この SPH コードは FDPS (Iwasawa et al. 2016) によって並列化されており、さらに GPU (Graphics Processing Unit) によって加速化されている。2 つの星の初期条件には力学的に安定なポリトロープ球を用意した。我々は、星の質量比 q 、無限遠での相対速度 v_∞ 、星同士の近点距離 r_p 、ポリトロープ指数 n に様々な値を採用して多くの合体実験を行った。結果の一例として $q = 1$ 、 $v_\infty = 10 \text{ km s}^{-1}$ 、 $n = 1.5$ の結果を紹介する。2 つの星の半径の和を R とすると、近点距離 r_p が $r_p = R$ 、 $r_p = 1.2R$ のとき合体をし、 $r_p = 1.5R$ 、 $r_p = 2.0R$ のとき合体をしなかった。一般的に、星の合体条件として $r_p = R$ または $r_p = 2R$ が用いられているが、上記の数値実験により、合体条件を $r_p = 1.2R$ から $r_p = 1.5R$ の間に絞ることができた。本公演では数値実験の結果を報告するとともに、これらの知見を用いて高密度星団内での IMBH 形成を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P156a 連星を考慮した質量関数及びその重力マイクロレンズのレンズ星の質量推定値への影響

越本直季 (東京大学/国立天文台)

重力マイクロレンズは背景星の光が、その手前を通ったレンズ星の重力により曲げられて増光される現象である。増光曲線から高次の効果が観測された場合は、レンズ星の質量を直接決定できるが、それ以外のほとんどの場合は、レンズ星までの距離とその質量が縮退して決定できない。銀河系バルジ方向の重力マイクロレンズ現象は銀河系の構造を反映するため、増光曲線から質量を決定できない場合は、銀河系の星の数密度および速度の分布、また、単一星の質量関数を事前確率分布として用いたベイズ推定により、レンズ星の質量の事後確率分布が求められてきた。しかしながら、連星レンズイベントのように、増光曲線からレンズ星が連星に属するとわかっている場合でも、単一星の質量関数が事前確率分布として用いられている。太陽近傍星の観測から伴星を持つ確率は主星の質量に依存することがわかっており、連星レンズイベントに対して単一星の質量関数を適用すると、その質量推定値に系統的なずれが生じると考えられる。

本研究では、太陽近傍星の観測による連星系の分布と単一星の質量関数を組み合わせることにより、マイクロレンズのレンズ星のような、連星系に属する可能性もある任意の星に適用可能な質量関数を構築した。それを過去の連星イベントに適用することにより、レンズ星の質量の事後確率分布への影響を見積もった。その結果、質量比 q (=伴星質量/主星質量) が 1 に近い場合は単一星の質量関数を用いた場合とほとんど変わらない分布になる一方で、質量比 q が小さい場合は、単一星の質量関数を用いた場合よりも、質量が重い確率が高くなることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P157a 始原ガスからの磁場散逸について

仲内 大翼, 大向 一行 (東北大学), 須佐 元 (甲南大学)

初代星を形成する始原ガス雲に磁場が存在すると、磁気制動やアウトフローの駆動を通して中心部から角運動量を持ち去るので、原始星周囲の降着円盤や連星系の形成過程に大きな影響を与える。この効果は初期磁場の大きさだけでなく、始原ガスからの磁場散逸率にも依存する。磁場散逸は両極性拡散やジュール散逸により起こるので、散逸率を正しく評価するためには、詳細な化学反応計算によりガス電離度を調べる必要がある。特に化学平衡及び熱平衡へと遷移する高密度において電離度の変化を知るためには、全化学反応に対して逆反応を含めた計算を行う必要がある。それにもかかわらず先行研究では、一部の反応に対してしか逆反応を考慮していない。また、電離度が熱平衡の値となる密度を人為的に決めているので、電離度の変化がその密度で不連続となる。電離度は化学反応の扱いに敏感であるから、上記の点が磁場散逸率の評価に大きく影響するかもしれない。そこで本講演では、詳細な化学反応の扱いを通して、収縮する始原ガスの温度や電離度の進化を計算した。密度 $> 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ になると、光子がガス雲から抜け出しにくくなり、リチウムの再結合と光電離反応の間で化学平衡が成立することがわかった。またこれが原因となり、密度 $10^{14} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ において電離度の値が先行研究に比して2-3桁大きくなることがわかった。本講演では以上の結果をもとに、磁場散逸率も評価した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P158a 炭素過剰超金属欠乏星と宇宙初期における星・連星系形成史 (II)

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

近年銀河系ハローから、超金属欠乏星が多く発見されているが、これらの初期宇宙で形成された恒星では、炭素過剰を示す炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星が多くの割合、20%あるいはそれ以上に昇ることが観測されている。したがって、これらの恒星の素性、形成過程とその進化を調べることで、宇宙の黎明期の星形成、銀河系形成過程についての貴重な情報をもたらされると考えられている。

CEMP 星は、炭素以外にも、中性子捕獲元素の組成でも大きな変動を示し、s-過程で合成される Ba の過剰の有無によって、CEMP-s ($[Ba/Fe]_{\pm 0.5}$) と CEMP-no ($[Ba/Fe]_{\pm 0.5}$) に分類される。CEMP-s 星については、連星系の周期が測定されていて、その炭素と s-過程元素の組成増加は、連星系で主星である漸近巨星分枝 (AGB) 星からの質量輸送によると認められている。我々は、CEMP-no 星についても、s-過程元素合成の効率と炭素組成の増加の割合の違いを考慮すると、その起源が、連星系での AGB 星からの質量輸送で説明できることを示した。CEMP-no 星のうち、s-過程元素合成の効率が悪いものは、質量の大きい AGB 星が主星の連星系で生まれ、CEMP-s 星と同じく大きな炭素組成を持つ。一方、その他の CEMP-no 星は、これらの高背に比して、平均して一桁以上小さい炭素組成で特徴づけられるが、これは、AGB 星の星風からの質量降着の違い、したがって、連星の軌道半径で決まっていることになる。

本研究では、これらの CEMP 星の観測特性から導かれる、宇宙初期における星及び連星系の形成史について議論する。また、これらの結果を踏まえて、銀河形成過程における、星形成、連星系形成過程に関わる物理過程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](#)

P159a 'Oumuamua を始めとする恒星間天体との衝突による初代星の金属汚染

谷川衝, 鈴木建, 土井靖生 (東京大学総合文化研究科)

初代星は金属量ゼロのガスから形成された星である。初代星形成の主要モードは大質量星形成であるが、低質量星形成のモードの存在も指摘されている。従って、我々の銀河系にも初代星の生き残りが存在する可能性がある。しかし、これまで金属量ゼロの星は発見されていない (Aoki et al. 2006; Frebel, Norris 2015)。この理由として星間物質による初代星の金属汚染が考えられる (Yoshii 1981; Komiya et al. 2015)。しかし、星間ダストは初代星からの輻射圧によって (Johnson 2015)、星間ガスは初代星からの恒星風によって (Tanaka et al. 2017; Suzuki 2018)、それぞれ初代星にほとんど降着できないことが明らかとなっている。

近年、太陽系外起源の恒星間天体 'Oumuamua が初めて発見された (Meech et al. 2017)。この発見により恒星間天体の個数密度は $\sim 0.2 \text{ au}^{-3}$ と導出された (Do et al. 2018)。我々が初代星と恒星間天体との衝突率を計算したところ $\gtrsim 10^5 \text{ Gyr}^{-1}$ と非常に高い値であった。'Oumuamua は半径 100 m の天体で初代星に到達する前に蒸発するはずだが、半径 3 km の天体ならば初代星に到達できる。我々は恒星間天体の累積サイズ分布を冪乗則と仮定し、恒星間天体による初代星の金属汚染を計算した。その結果、恒星間天体と太陽系の小惑星や彗星の累積サイズ分布が大きく異なる限り、全質量 $10^{-16} M_{\odot}$ 以上の恒星間天体が初代星に衝突することがわかった。この恒星間天体による金属汚染は星間ガス・ダストによる金属汚染よりも 2 桁以上大きく、恒星間天体は初代星の最大の金属汚染源と言える。恒星間小惑星によって汚染された初代星の金属量は、初代星の表面对流層を考慮すると、典型的には $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -8$ であり、恒星間天体の累積サイズ分布によっては $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -6$ になりうる。この結果は Tanikawa, Suzuki & Doi (2018, arXiv:1804.08200, PASJ accepted) にまとめられている。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P160a 2次元輻射流体計算による大質量星質量の金属度依存性の解明

福島 肇, 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学), 千秋 元 (ジョージア工科大), 吉田直紀 (東京大学), Rolf Kuiper (チュービンゲン大学)

大質量星は HII 領域形成や超新星爆発等により星間空間に多大な影響を与えるために、その形成率や質量分布は銀河形成・進化に大きく影響を与える。特に、原始銀河の低金属度環境における大質量星形成がどのように起こるかを理解することは、その後の天体形成を理解するために必要不可欠である。

大質量形成において原始星質量の増加に伴って光度も増大するため、星へ降着するガスは輻射によるフィードバックを受ける。太陽金属度星の場合、ガスに含まれるダスト粒子が受ける輻射圧により質量降着が抑制される (Wolfire & Cassinelli 1987, Kuiper et al. 2010)。また、重元素を含まない初代星形成では電離光子による HII 領域形成により質量降着が抑制される (McKee & Tan 2008, Hosokawa et al. 2011)。低金属度星形成における輻射フィードバックは $Z \geq 10^{-2} Z_{\odot}$ においてダストによる輻射圧が有効となり、これより低い金属度では HII 領域形成が有効となることが予想されている (Fukushima et al. 2018)。

本研究では、2次元輻射流体シミュレーションを用いて最終的に形成される大質量星質量を調べた。太陽金属度星については、主としてダスト粒子への輻射圧により質量降着が抑制される。一方、初代星形成については、電離光子による HII 領域形成によって質量降着が抑制される様子を確認できた。どちらの場合においても、エンベロープから降着円盤へのガス供給が遮断された後に、降着円盤に残ったガスの降着が終了することで大質量星質量が決定する。本講演では、低金属度星について計算を行い大質量星質量の金属度依存性について調べた結果を述べた後、輻射フィードバックのメカニズムが低金属度環境でどのように変化するかも議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P161a 星形成円盤中での分裂片の migration 過程と連星形成

鄭昇明 (東北大学) 細川隆史 (京都大学)

多くの星が連星や多重星として形成すること、また、大質量になるにつれて連星率が大きくなることが知られている。さらに近年、重力波により $\gtrsim 20M_{\odot}$ のブラックホール連星の合体も観測された。このような連星を形成する有力な物理過程の一つとして、星形成円盤の自己重力による分裂が考えられている。特に大質量星を形成するような環境においては、星形成円盤は非常に重たい。結果として、重力的に不安定で多くの分裂を経験する。分裂片の多くは中心星に落ち込む (migration) が、幾つかは円盤中で生き残り連星を成すであろう。

我々は円盤中で生じた分裂片がどのように migration するかを数値計算により探った。具体的に、星形成円盤に分裂片を模した星粒子を置きその migration 過程を調べる。星粒子の質量を中心星質量の 1%、2%、4% に設定し、円盤の異なる初期位置から計算を行う。計算の結果、星粒子の質量が大きいほど中心に落ち込みにくいことがわかった。特に星粒子の質量が最も大きいモデル (4%) では、初期位置によらずほとんどが円盤中で生き残る。生き残った星粒子は中心星からある距離で migration が止まり、その後時間とともに遠ざかる。この migration が止まる距離、そして、星粒子が落ち着く最終的な距離は、その質量にあまり依存しないことも分かった。

以上のような星粒子の migration 過程は、disk scale height、Hill 半径、星粒子周りのガス envelope の半径の 3 つのスケールの大小で解釈できる。特に、envelope の半径が Hill 半径より大きい場合は、星粒子周囲のガスが剥ぎ取られ大きな角運動量が失われる。結果的に、星粒子は中心星に急激に落ち込んでゆき最後には合体すると考えられる。この効果により、連星が生き残ることのできる最小の separation が決まると考えられる。本講演では最後に、この結果から示唆される、観測される連星の性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P162a Near-infrared Circular Polarization Survey in Star-forming Regions: 4

Jungmi Kwon, Takao Nakagawa (ISAS/JAXA), Motohide Tamura (UTokyo/ABC/NAOJ), James H. Hough (University of Hertfordshire), Ryo Kandori (ABC), Minhoo Choi, Miju Kang (KASI), Jungyeon Cho (Chungnam National University), Tetsuya Nagata (Kyoto University)

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 from high-mass to low-mass star-forming regions, using the SIRPOL imaging polarimeter on the Infrared Survey Facility (IRSF) 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 report the first detection of CP in the reflection nebula associated with the massive star forming region AFGL 6366S in the Gemini OB1 molecular cloud complex, which is in the anti-galactic center region. The CP region is probably illuminated by the IRAS/WISE source and its polarization is amplified by the dichroic absorption of the dense core, which is associated with the cluster. This is the ninth source whose degrees of CPs are measured to be greater than 3%, suggesting that large and extended infrared CP regions are common among mid- to high-mass young stellar objects.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P163a 磁場が強い分子雲におけるフィラメントの形成と分裂

工藤哲洋（長崎大），花輪知幸（千葉大），富阪幸治（国立天文台）

磁場が強く亜臨界な分子雲の中で，外的な要因により圧縮されてフィラメント状の細長い分子雲が形成され，それが分裂して分子雲コアになっていく一連の課程を数値シミュレーションによって調べた．

星形成の舞台である分子雲は，フィラメント状の細長い構造をしており，多くの場合，大スケールの磁場がフィラメントの軸に対して垂直方向に貫いていることが観測されている．私たちは，以前の研究において，磁場に貫かれた細長い分子雲は，磁場の強さに関わらず自己重力に対して不安定で，強い磁場に貫かれている場合には形が変形する不安定性によって分裂が生じるという結果を報告した．以前の研究においては，初期のフィラメント状分子雲は磁場がない場合の力学平衡を仮定し，そこに一様な磁場が貫いている状況を設定していた．そこで，今回は，フィラメント状分子雲の形成からその分裂にいたるまでを，同一の数値シミュレーション内で追いかけ，より一般的な場合でも同じ結果が得られるかどうかを調べた．

初期条件として，一様な磁場に対して垂直方向に平板状の分子雲があり，それが分子雲に平行方向に発生した外的な超音速の流れによって細長い領域に圧縮される状況を設定する．その際，初期の磁場は強くて亜臨界な状況を考える．そのため，もし両極性拡散などによって磁場が拡散しなければ，圧縮と膨張をくり返すだけでフィラメントは形成されない．しかし，両極性拡散などによって磁場が拡散する場合は，圧縮された領域にガスが集まり細長いフィラメントが形成される．今回，そのような状況で，両極性拡散の強さを変化させて計算を行った．その結果，以前の研究における強い磁場に貫かれた場合と同じ特徴を示す分裂が，両極性拡散が弱い状況で形成されたフィラメント状分子雲で生じることを確認した．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P164a Serpens South Cloud の近赤外線偏光観測

楠根貴成、中村文隆（国立天文台）、土橋一仁、下井倉ともみ（東京学芸大）、杉谷光司（名古屋市立大学）、ほか SIRPOL チーム

星は分子雲中で誕生することが知られているが、星形成過程における磁場の役割は未だ完全には理解されていない。分子雲の構造に目を向けるとそれらは決して単純な構造ではなく、様々な形状で分子雲は構成されていることが近年の観測技術の向上により明らかになった。しかしながら、分子雲構造と磁場の関係の理解は進んではいない。そこで今回我々は、Aquila Rift の Serpens South Cloud に注目し、その磁場構造・磁場強度等と分子雲構造の関係の詳細を調べるべく、この天体に対して近赤外線偏光観測を実施した。観測は南アフリカ天文台サザーランド観測所の IRSF1.4m 望遠鏡とそれに搭載されている近赤外線 (JHK_s) 偏光撮像装置 SIRIUS/SIRPOL (視野 $\sim 7'.7 \times 7'.7$) を用いた。

Serpens South Cloud は異なる速度を持つ3本のフィラメントから主に構成され、それぞれは平行の関係になっている。近赤外線偏光観測からわかる磁場構造と Herschel データによる柱密度図に対し、Histogram of Relative Orientations (Soler et al. 2015) の手法を適用した結果、フィラメントはグローバルな磁場構造に対して垂直であることが明らかになった。この磁場構造と分子ガス構造の関係は、フィラメント進化過程において磁場が重要な役割を果たしていることを示唆する。さらに、Davis-Chandrasekhar-Fermi の手法によってフィラメント各所の磁場強度を 30-100 μG と見積もり、質量磁束比を算出したところ、フィラメントは磁氣的に超臨界であり、重力収縮に対してフィラメントを完全に支えられるほど磁場強度は強くないことが明らかになった。この結果は、フィラメントの南部領域で既に活発な星形成が起きている事実と一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

9月20日(木) 午後(14:42-15:30) [J会場]

P201a	14:42	分子雲コアの磁場と角運動量の傾きは円盤形成を促進するか?、それとも抑制するか? 塚本裕介(鹿児島大学)
P202a	14:54	星形成領域における Spin alignment 逢澤正嵩(東京大学)
P203b	15:06	ホットジュピターをもつ若い系 CI Tau まわりの遠方惑星の兆候探査 小西美穂子(アストロバイオロジーセンター)
P204b	15:06	原始惑星系円盤から恒星へのガス降着に伴う短波長放射の理論モデル開発 青山雄彦(東京大学)
P205b	15:06	FU Ori 型星 V960Mon の分光モニター観測 II 高木悠平(国立天文台)
P206b	15:18	ダストとスノーラインの共進化: 数値計算法の開発 奥住聡(東京工業大学)
P207b	15:18	円盤風による円盤構造形成の観測的特徴 高橋実道(工学院大学/国立天文台)
P208b	15:18	粘性と摩擦を考慮した原始惑星系円盤における不安定性の詳細なモード解析 冨永遼佑(名古屋大学)
P209c		乱流分子雲コア中で形成した原始星、原始惑星系円盤、エンベロープの回転構造について 高石大輔(鹿児島大学)
P210c		原始惑星系円盤と微惑星形成過程の関係性 長谷川幸彦(中部大学)

9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [J会場]

P211a	09:30	遷移円盤をもつ天体 GM Aur の星近傍領域におけるハロー構造の空間分解 森智宏(東京大学)
P212a	09:42	Subaru/HiCIAO による LkH α 330 の H, K _s バンド偏光観測: スパイラルと溝の検出 鶴山太智(東京大学)
P213a	09:54	Gas and Dust Distribution in the Transitional Disk of a Sun-like Young Star, PDS 70 秋山永治(北海道大学)
P214a	10:06	Investigations of FS Tau A Circumbinary Disk Structures from Near-infrared and Sub-millimeter Observations Yi Yang (Astrobiology Center)
P215a	10:18	Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527 Kang-Lou Soon (Ibaraki University)
P216a	10:30	TW Hya まわりの原始惑星系円盤からの分子輝線の ALMA 観測 野村英子(東京工業大学)
P217a	10:42	TW Hya の原始惑星系円盤に付随する局所的なサブミリ波超過の検出 塚越崇(国立天文台)
P218a	10:54	原始惑星系円盤の近赤外線散乱光に対するダストサイズ・構造の影響 田崎亮(東北大学)
P219a	11:06	原始惑星系円盤中の円盤風、ガス密度進化のダスト粒子成長への寄与 桑原滉(東京大学)
P220a	11:18	原始惑星系円盤で鉛直方向に巻き上げられた小粒子の周惑星円盤への降着 本間徹(神戸大学)

9月21日(金) 午後(13:30-15:30) [J会場]

P221a	13:30	星団形成期における星周円盤の破壊 長谷川大空(東京大学)
P222a	13:42	コンドリユールが生存可能な原始太陽系星雲の条件について 瀧哲朗(東京大学)
P223a	13:54	原始惑星系円盤中の非理想磁気流体力学効果に依存する温度構造 森昇志(東京工業大学)

(次頁に続く)

【P2. 星・惑星形成】

P224a	14:06	ロスビー波不安定性の進化と軸対称成分の安定性推移	小野智弘 (大阪大学)
P225a	14:18	SPH 法におけるシア問題の再考	稲吉勇人 (名古屋大学)
P226a	14:30	Linear and Non-linear Instability of Protoplanetary Disks	Yoshiaki Kato (RIKEN)
P227a	14:42	有機物マントルを持つシリケートダストの合体成長と微惑星形成	本間和明 (東京工業大学)
P228a	14:54	強い乱流が作る巨大惑星：巨大ガス惑星形成のための条件	小林浩 (名古屋大学)
P229a	15:06	巨大衝突ステージにおける衝突・破壊を考慮した N 体シミュレーション	磯谷和秀 (名古屋大学)
P230a	15:18	プラズマプロセスによる星間環境変異原/核酸塩基アナログ/Tholin の形成	前澤裕之 (大阪府立大学)

P201a 分子雲コアの磁場と角運動量の傾きは円盤形成を促進するか？、それとも抑制するか？

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

分子雲コアの重力崩壊中にガスに働く磁気ブレーキは円盤のサイズ進化に大きな影響を与えるため、これまで精力的に調べられてきた。

Henebelle+09 は、「磁場と角運動量が初期に平行でなく互いに傾いている場合、磁気ブレーキの効率が下がる」ことを主張し、磁場と角運動量の misalignment によって円盤形成を促進するシナリオが提案された。一方で Matsumoto+04 では「磁場と角運動量が傾いている場合、磁気ブレーキの効率が上がる」というまったく逆の主張がなされている。近年、分子雲コアや円盤近傍のダスト偏波の観測によって、実際に磁場の大局的な方向と円盤法線が明らかになりつつあるなか、理論研究に矛盾があることは大きな問題である。

この矛盾を解決するために我々は理想/抵抗性輻射磁気流体力学シミュレーションを行い、先行研究間の矛盾の原因を調べた。その結果、Matsumoto+04 と Henebelle+09 の間の矛盾は、等温収縮段階での磁気ブレーキの効率が初期条件の違いによって大きく異なることに起因することをつきとめた。

さらに、より現実に近いと考えられる抵抗性磁気流体力学シミュレーションの結果からは「磁場と角運動量が misalign している場合、磁気ブレーキの効率が上がる」という結果が得られた。従って、現実的な星形成環境下では、磁場と角運動量が平行の場合のほうがより大きな円盤が形成することが示唆される。

講演では、これらの結果について詳しく説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a 星形成領域における Spin alignment

逢澤正嵩, 須藤靖 (東大)

星団は、恒星を形成する主な場所として宇宙で重要な役割を果たしている。そのため、星団が時間とともにどのように進化、成長していくかを理解することは、宇宙を理解する上で重要である。そこで、本研究では星団中の角運動量進化、特に星団中の恒星の持つ角運動量の相関とその進化を考察する。

Corsaro et al. 2017 では、散開星団 NGC 6791 と NGC 6891 に注目し、それぞれの恒星の自転軸の向きを星震学を用いて測定した。その結果、恒星の自転軸の向きがある方向に揃う傾向にあることを示した。また、Kovacs 2018 では同じく散開星団であるプレセペ星団に対して、分光観測から得た恒星の自転軸の向きを用いて、恒星同士が揃う傾向にあることを示した。これらの結果は、分子雲が初期に持っていた回転がそれぞれの恒星に同等に分配されたとすることで直感的には説明可能である。もっとも、いずれの結果も、手法自体存在する不定性が大きいことが指摘されており、解析結果がどこまで正しいのかは未だ明らかになっていない。また、角運動量の進化を追うためには、若い段階での Spin alignment を調べることが必要である。

さて、原始惑星円盤の軸の向きが星の自転の向きと揃っているとすると、原始惑星円盤同士の alignment を調べることで、星同士の alignment を調べることができるはずである。そこで、本研究では、原始惑星円盤を用いて近傍の星形成領域中での Spin alignment を考察し、星団中の角運動量進化を調べた。講演では、近傍の星形成領域に対して系統的に行った各解析の結果の紹介、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](#)

P203b ホットジュピターをもつ若い系 CI Tau まわりの遠方惑星の兆候探査

小西 美穂子, 橋本 淳, 堀 安範 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)

CI Tau は年齢が約 200 万年の若い T タウリ型星であり、原始惑星系円盤を持つことが知られている。また、CI Tau 系にはホットジュピター候補 ($M_p \sin i \sim 8.1$ 木星質量、軌道離心率 ~ 0.3) の存在も報告されている (Johns-Krull et al. 2016)。巨大ガス惑星が円盤 (Type II migration) や他の伴星との相互作用 (惑星散乱・古在機構) によって主星近傍に移動して、ホットジュピターになると考えられている。特に、若くて軌道離心率が大きなホットジュピターは他の伴星と相互作用した可能性が高い。このような摂動源となりうる遠方惑星の存在を CI Tau 系内で確かめるために、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) 望遠鏡のアーカイブデータを用いて CI Tau まわりの円盤の構造を調べた。1.3 mm のダスト連続波データを調べたところ、0.8 秒のところにギャップ構造を見つけた。このデータの分解能ではギャップ構造が十分に分解できていなかったため、軸対称なモデル円盤のビジビリティと比較を行ったところ、幅が 36.9 ± 2.9 au のギャップが 104.5 ± 1.6 au の位置にあることがわかった。推定したギャップの性質 (幅および深さ $0.41^{+0.06}_{-0.04}$) から、ギャップを作っている惑星は 0.25 木星質量から 0.8 木星質量の質量を持ち得ることが予測される。これは過去の高コントラスト撮像観測によって惑星候補が見つかっていないことと矛盾しない。しかし、この重さの遠方惑星による古在振動のタイムスケールは数千万年以上であるため、年齢が約 200 万年の CI Tau 系において重力散乱によるホットジュピター形成は難しいことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P204b 原始惑星系円盤から恒星へのガス降着に伴う短波長放射の理論モデル開発

青山雄彦, 生駒大洋 (東京大学)

質量成長途中の若い恒星からは、強い水素の輝線や再結合放射などの、高温ガス由来の放射光が検出されている。観測される水素の再結合放射の観測スペクトルを用いて、ガスの集積エネルギーや質量集積率を推定するモデルが既に開発されている。しかし、一部の天体で観測された水素輝線のエネルギーは、このモデルで推定される集積ガスの総エネルギーを超えている。従って、集積ガスのエネルギーや質量フラックスを正しく推定するには、再結合放射だけでなく、水素輝線放射を同時に説明できる高温ガスの放射モデルが必要である。

そこで本研究では、衝撃波面直後の高温ガスが冷却する過程に着目する。先行研究のモデルでは、この領域を等温の局所熱平衡状態で仮定した。この場合、衝撃直後のガス温度は百万 K に達するため、観測された輝線や再結合放射にはほとんど寄与しない。しかし実際には平衡に達することなく冷却が進行するため、輝線と再結合連続スペクトルの双方を、観測可能な強度で放射し得る。温度・電子準位・放射場の全ての時間発展を同時に解く数値モデルを開発し、高温ガスからの放射スペクトルを推定する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205b FU Ori 型星 V960Mon の分光モニター観測 II

高木悠平（国立天文台）、本田敏志、高橋隼、伊藤洋一（兵庫県立大学）、新井彰（京都産業大学）、森鼻久美子（名古屋大学）、大朝由美子（埼玉大学）

前主系列段階にある星は、原始惑星系円盤を介した質量降着により成長する。質量降着率の典型的な値は 10^{-7} 太陽質量/年であるが、稀に 10^{-4} 太陽質量/年まで突発的に上昇し、増光する。このような増光を示す星は FU Ori 型星と呼ばれ、主に原始惑星系円盤が光源となっていると考えられている (e.g., Hartmann & Kenyon 1996)。FU Ori 型アウトバーストが生じた際の原始惑星系円盤の物理状態とその変動を理解することは、星や原始惑星系円盤、惑星の進化を議論する上で重要であるが、このような増光を示す天体は数十天体しか発見されておらず、未だ理解が乏しい。

我々は 2014 年 11 月にアウトバーストが確認された FU Ori 型星 V960 Mon に対し、兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡と中低分散分光器 MALLS を用い、分光モニター観測を実施している。2017 年 1 月までの観測でスペクトル中の吸収線等価幅の変動を捉え、その結果から原始惑星系円盤大気温度低下と表面重力増加が示唆された。これは、アウトバーストで一時的に増加した質量降着率が減少していることと、原始惑星系円盤の鉛直方向の進化を表していると考えられる (Takagi et al. 2018)。

本講演では、上記の観測結果を発表するとともに、2017 年 9 月から 2018 年 2 月にかけて行ったなゆた/MALLS の中分散分光モニター観測と、2018 年 1 月のすばる望遠鏡/HDS による高分散分光観測で得られた吸収線・輝線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](#)

P206b ダストとスノーラインの共進化: 数値計算法の開発

奥住聡 (東京工業大学), Neal Turner (NASA/JPL)

スノーラインとは水が固体として存在できる領域の境界のことであり、温度がおおむね 140–170 K の位置に対応する。スノーラインは惑星をつくる固体の組成分布を決定づけるばかりでなく、氷の有無に依存するダストの成長進化にも大きな影響を与える。このため、スノーラインの位置を理解することは、惑星形成を理解する上で非常に重要である。ところが、スノーラインの位置を含む円盤の温度構造は、円盤の面密度や降着率だけでなく、オパシティ源であるダストのサイズや空間分布にも依存する。したがって、スノーラインの位置とその移動を正しく理解するためには、スノーラインとダストの相互作用を矛盾なく考慮しなければならない。

本研究では、スノーラインとダストの共進化の解明へ向けて、ダストの成長と円盤温度構造の変化を同時に追跡する数値計算手法を開発した。ダストのサイズ分布・空間分布の時間発展は、ダストの合体・破壊・拡散・動径移動を考慮して統計的に追跡する (Okuzumi et al. 2012)。時間発展の毎ステップにおいて、ダストサイズ分布・空間分布から円盤のオパシティ分布を求め、放射冷却と加熱 (降着加熱と中心星放射) の釣り合いから円盤の温度分布を決定する。我々の計算モデルで特に新しい点は、円盤表面に影が差す場合でも温度分布を正しくかつ高速に計算できるようにするため、Jang-Condell & Turner (2012) の開発した解析的輻射輸送モデルを温度計算に採用した点である。このような取り扱いにより、光学的厚みが動径方向に急激に変化するスノーライン前後や惑星ギャップ前後においても、ダストの成長と温度構造進化を互いに矛盾なく計算することを可能にした。本発表では、計算手法の概要といくつかの試験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](#)

P207b 円盤風による円盤構造形成の観測的特徴

高橋実道 (工学院大学/国立天文台) 武藤恭之 (工学院大学)

近年の ALMA 望遠鏡による原始惑星系円盤の観測から、原始星 HL Tau や WL 17 の周囲の若い円盤にリング構造が形成されていることが発見された。これらのリング構造形成のメカニズムとしては、惑星によるギャップ形成や円盤中でのダストの集中が考えられる。そのため、リング構造形成メカニズムは惑星形成過程と関係していることが期待されるが、依然として未解明のままとなっている。そのため、これらの構造形成の理解は円盤形成・進化過程の理解を深めるだけでなく、惑星形成過程を解明するためにも重要となる。

我々はこれまでの研究で、円盤風によって若い円盤に観測と整合的なリング構造を形成可能であることを示した。また、円盤風の質量流出効率等の違いにより、リング構造を含む 5 種類の構造が若い円盤に形成可能であることを示した (2018 年春季年会, Takahashi and Muto submitted)。一方で、観測的には若い円盤の詳細な構造を分解できる観測は少なく、上に挙げた二つの円盤にリング構造が見つまっているのみとなっている。そのため、今後より多くの若い円盤の高分解能観測を行い、多様な円盤構造形成を観測的に検証することが必要となる。

我々は、円盤形成進化のモデル計算から得られた円盤構造に対して模擬観測を行い、多様な円盤構造の観測的特徴を調べた。その結果、近傍の星形成領域 ($\sim 150\text{pc}$) において、0.1 秒程度の分解能のダスト熱放射と、円盤全体のガスの輝線放射の観測から、モデルで示唆される 5 種類の円盤構造を分類可能であることが分かった。原始星 WL 17 を含む近傍の星形成領域 ρ Ophiuchus においては、20 天体以上のエンベロープを持つ天体が確認されており、若い円盤を持つと期待される。今後、これらの観測を通して若い円盤構造の多様性を統計的に明らかにす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](#)

P208b 粘性と摩擦を考慮した原始惑星系円盤における不安定性の詳細なモード解析

富永遼佑 (名古屋大学), 高橋実道 (工学院大学/国立天文台), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) による原始惑星系円盤の高解像度観測によって、様々な円盤に多重リング構造が発見された (e.g., ALMA Partnership et al. 2015)。観測された多重リングの形成機構は未解明であるが、その候補のひとつとして永年重力不安定性が提案されている。永年重力不安定性は自己重力的に安定なガス円盤で成長する不安定性である (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014, Latter & Rosca 2017, Tominaga et al. 2018)。先行研究では、不安定性の安定化に最も寄与するダストの乱流拡散を考慮するために、ダストの連続の式に拡散項を導入して線形解析を行っていた。しかし用いられていた方程式系には、導入した拡散項のために円盤の角運動量が保存しないという理論的な不備がある。そこで本研究では、角運動量が保存しつつ摩擦が強い場合の拡散を適切に記述する現象論的な方程式系を平均場近似に基づいて定式化した。定式化した方程式系を用い線形解析を行った結果、永年重力不安定性は指数関数的に単調成長するモードであることがわかった。これはパラメータによって永年重力不安定性が過安定モードとなる先行研究とは異なる結果である。さらにガスの粘性がある場合には、永年重力不安定性とは異なるダスト-ガス混合系の新しい不安定性が現れることを発見した (2018 年春季年会)。この不安定性は粘性とダスト-ガス間の摩擦によって、ダストとガスそれぞれのコリオリ力が弱まることで成長する不安定性である。2018 年春季年会ではこの不安定性が永年重力不安定性と同様に、観測された多重リング構造の形成機構となり得ることを示した。本研究では新しい不安定性をさらに詳細に解析し、不安定モードの起源が粘性と摩擦がない場合の複素振動数が 0 のモードであることを明らかにした。また永年重力不安定性との間でモード交換が起こることを発見した。本講演ではこれらの結果をもとにモードの分類について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P209c 乱流分子雲コア中で形成した原始星、原始惑星系円盤、エンベロープの回転構造について

高石大輔、塚本裕介(鹿児島大学)、須藤靖(東京大学)

近年の系外惑星の観測から、主星の自転軸と惑星の公転軸が互いに傾いた惑星系がいくつも発見されており、極端なものでは、主星の自転に対して惑星の公転が逆転しているものまで見つかっている。これらの惑星系は、まずはじめに「主星の自転に赤道面がそろった原始惑星系円盤」内で惑星が形成し、そのあと惑星同士の軌道散乱によって惑星軌道が乱されることで形成したと標準的には考えられている。つまり、惑星形成時には、主星の自転軸と惑星の公転軸はそろっていることを暗に仮定している。しかし、乱流的な速度場を持つ分子雲コア(以下、乱流分子雲コア)で形成される原始星と原始惑星系円盤では、角運動量の大部分を獲得する進化段階が異なるため、「主星の自転に赤道面がそろった原始惑星系円盤」が形成されるという仮定は必ずしも自明ではない。そこで本研究では、原始惑星系円盤の形成に関する大規模数値シミュレーションを行い、乱流分子雲コアから形成される原始星と原始惑星系円盤のそれぞれの回転軸がなす角 ψ の時間進化を調べた。その結果、 ψ の値は原始星形成後 10^4 年程度で 10° から 30° 程度、 10^5 年後で 10° 以下となった。このことから、とくに年齢が 10^4 年程度の若い YSOs では、原始星と原始惑星系円盤の回転軸が必ずしも揃っていない可能性がある。一方で、乱流分子雲コア中であっても、原始星と回転方向の反転した円盤 ($\psi > 90^\circ$) は形成しないこともわかった。これは、逆行惑星は標準シナリオ通り、軌道進化によって形成したことを示唆する。さらに、エンベロープの回転軸と原始星の回転軸がなす角 θ の時間進化についても調べた。その結果 θ の値は、形成初期の 10^4 年程度ではおおよそ 90° 以下であり、その後は時間進化とともに原始星や原始惑星系円盤の回転構造に近づいた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210c 原始惑星系円盤と微惑星形成過程の関係性

長谷川幸彦(中部大学), 小久保英一郎(国立天文台)

原始惑星系円盤において岩石微惑星の形成が可能な過程としては長年、ダスト層の(古典的な)自己重力不安定が考えられてきた。しかし近年、セキュラー重力不安定やストリーミング不安定、ナノサイズのダストモノマーの直接衝突合体等の新しい過程が提案されている。これらの過程はダスト層の古典的重力不安定よりも円盤のダスト量が少なくても微惑星形成が可能であることが示されている一方、不安定の成長に大きな領域が必要であったりダストアグリゲイトがある程度大きく成長しなければならない等のダスト量以外の問題が存在する。これらの各不安定における問題は原始惑星系円盤のガスの量や温度等のパラメータに依存する。本講演ではこれらの原始惑星系円盤のパラメータと各微惑星形成過程の可能性の関係について調査した内容について発表する。ダストはシリコンを主成分とする岩石ダストを考え、このダストが存在する原始惑星系円盤の比較的内側の磁気回転不安定不活性なデッドゾーンに注目する。円盤に垂直な方向のダストの密度分布はシア不安定駆動乱流によるダストの巻き上げと重力による沈殿の釣り合いによって決まる。円盤のパラメータによらず、古典的重力不安定は最も起こる可能性が低いことが示唆された。他の微惑星形成過程のうち最も起こる可能性が高い過程は円盤のパラメータに強く依存することが示唆されている。また、シア不安定の起こりやすさを表す指数が円盤のダスト量に依存することを考慮した場合についても調査を行った。本講演ではその詳細について発表・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](#)

P211a 遷移円盤をもつ天体 GM Aur の星近傍領域におけるハロー構造の空間分解

森智宏 (東京大学), 片岡章雅 (国立天文台), 宮田隆志 (東京大学), 大仲圭一 (Universidad Católica del Norte)

地球型惑星の形成過程や原始星への降着過程の物理を探るためには、星から 0.1-数 AU 以内といった、星近傍領域における原始惑星系円盤の空間構造を観測的に調べることが必須である。しかし、この領域には、数ミリ秒角という高い分解能が要求されることや、コロナグラフを用いた直接撮像ではマスクされてしまい、観測できないといった観測的困難が存在する。そのため、円盤の外側領域に比べて、空間構造や温度等といった物理量に対する観測的制限が乏しい状態である。

我々は近赤外干渉計を用いた観測によって、星近傍領域の円盤構造を実際に空間分解することで、この領域における円盤構造やダスト密度分布に制限を与えることを目指した。遷移円盤をもつ天体 GM Aur について、VLTI/AMBER で 2012 年に取得されたアーカイブデータの解析を行った。解析の結果、観測された輝度の最大値で規格化されたビジビリティの値は空間周波数 $\sim 20-60$ [1/rad] の範囲において 0.92 ± 0.02 であり、1 を有意に下回っていた。このことは、星の周囲に数 AU 以上にわたる広がった構造が存在することを示唆する。さらに我々は、この構造について調べるため、球状にダストが分布する単純なハローモデルを仮定し、RADMC-3D を用いた輻射輸送シミュレーションを行うことで、天体の SED とビジビリティの振る舞いを同時に説明できるパラメータを探った。その結果、今回解析した干渉計の結果と SED を同時に説明するには、これまでの研究で考慮されていた星と円盤に加えて球状のハローを加える必要があることがわかった。さらに、このハローはシェル状の構造を持ち、その内縁半径は 0.5 AU 以上でなければ、本観測を再現できないこともわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212a Subaru/HiCIAO による LkH α 330 の H , K_s バンド偏光観測: スパイラルと溝の検出

鷓山太智 (東京大学)、橋本淳 (アストロバイオロジーセンター)、武藤恭之 (工学院大学)、秋山永治 (北海道大学)、Dong Ruobing (アリゾナ大学)、de Leon Jerome、左近樹、田村元秀 (東京大学)、他 SEEDS/YSO チーム

近年大型赤外望遠鏡における偏光観測や ALMA 望遠鏡の高空間分解能観測によって、スパイラル構造や溝といった原始惑星系円盤の様々な非対称構造 (例; SAO 206462, HL Tau) が報告され、円盤進化や惑星形成への理解が着実に進歩している。LkH α 330 の円盤はスペクトル情報や SMA 望遠鏡の観測 (Brown et al. 2007; Andrews et al. 2011) などから大きな溝を持つと報告されており、有望な観測ターゲットの一つである。そこで我々は HiCIAO というすばる望遠鏡の高コントラスト観測装置を用いて H , K_s バンドにおいて偏光観測を行った。結果として、この天体においてスパイラル構造と溝を初めて同時に検出した。円盤構造のシミュレーション結果と比較したところ、惑星形成に伴って非対称構造ができた可能性を示すことができた。また、二つの波長領域から得られた円盤の散乱プロファイルは大きく異なっており、単純なダストのサイズ・組成モデルを用いてこれらのプロファイルを再現することができなかった。これは円盤のダスト分布が非対称なものであることを示唆している。最後に、 H バンドで得られた結果では円盤の外側領域に欠けている部分が見られた。円盤の偏光観測における先行研究から (例; Garufi et al. 2014)、主星の近傍に円盤 (inner disk) またはクランプが存在し、主星の光が遮られたために影ができたと考えられる。本講演では Subaru/HiCIAO を用いた観測の紹介と、本観測で得られた円盤の特徴について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P213a Gas and Dust Distribution in the Transitional Disk of a Sun-like Young Star, PDS 70

E. Akiyama (Hokkaido U.), Z. C. Long, M. Sitko, K. Assani (U. Cincinnati), R. B. Fernandes (U. Arizona), C. A. Grady (Eureka Scientific), T. Nakazato (NAOJ), M. Tamura (ABC / U. Tokyo)

Protoplanetary disks associated with an inner hole at the center are known as transitional disks and many of them contain a sub-structure so-called an inner disk in the hole. Although the origin and mechanism to maintain its structure are mystery, they are thought to be highly responsible for formation of planets including earth-like rocky planets. We present ALMA 0.87 mm continuum, HCO^+ ($J=4-3$) emission line, and CO ($J=3-2$) emission line data of the disk of material around the young Sun-like star PDS 70. These data reveal the existence of the inner disk and a possible two-component transitional disk system with a radial dust gap of about 60 AU and an azimuthal gap as well as two bridge-like features connecting outer and inner disks in the gas data. We simulated the dust disk using the sparse modeling to obtain the image with higher spatial resolution. As a result, a bridge-like structure appears as seen in the gas data, which indicates that the bridge-like feature will probably be detected by high resolution observation. We also discuss the overall structure of the dust disk found from the continuum data and Monte Carlo radiative transfer modeling. The disk seems to have no strong segregation between the dust grain sizes (micron to millimeter) in the outer disk, but the inner disk appears to be devoid of large grains. This is contrary to what is suggested in previous work, but is supported by the large silicate peaks in the SED.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214a Investigations of FS Tau A Circumbinary Disk Structures from Near-infrared and Sub-millimeter Observations

Yi Yang (ABC), Eiji Akiyama (Hokkaido University), Jun Hashimoto (ABC), Saeko Hayashi (NAOJ), Motohide Tamura (Univ. of Tokyo), HiCIAO/AO188/SEEDS team

We investigated FS Tau A, a 2.8 Myr young binary system using the Subaru/HiCIAO near-infrared H-band high-contrast polarimetry as well as ALMA sub-millimeter CO 2-1 observation results. Both near-infrared and sub-millimeter observations successfully revealed that the FS Tau A binary is surrounded by disk structures extending to about 200 AU from the stars. The structures detected in the CO 2-1 emission image can be divided into blue-shifted component 1 and red-shifted component 2. For component 1, two bar-like structures A and B are detected, and velocity gradient is detected in structure B extending to the south of the binary, which could be explained by either a nearly edge-on inner circumbinary disk with radius about 56 AU, or a streamer bring materials from the outer circumbinary disk to the central binaries. For component 2, one spiral-arm like structure extending from the north of the binary is detected, which can also be seen in the near-infrared image. It could be part of ring structure with inner edge about 100 AU around the binary, or a spiral arm triggered by an undetected object in this system.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P215a Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

Kang-Lou Soon, Munetake Momose (Ibaraki University), Takayuki Muto (Kogakuin University), Takashi Tsukagoshi, Akimasa Kataoka (NAOJ), Tomoyuki Hanawa (Chiba University), Misato Fukagawa (Nagoya University), Kazuya Saigo (NAOJ), Hiroshi Shibai (Osaka University)

We investigate the gas-to-dust ratio (g/d) in the protoplanetary disk of HD 142527 (located at 156 pc) using the ALMA Band 3 data of ^{13}CO and $\text{C}^{18}\text{O } J = 1 - 0$ lines and 99.5 GHz continuum emission (beam size $\approx 0.5''$). The continuum map shows that the northern region has a peak optical thickness of ~ 0.2 and is brighter than the south by a factor of ~ 60 . The gas distribution is also revealed to be azimuthal-asymmetric, where the peak of C^{18}O spectral-averaged optical thickness is ~ 0.9 in the north and ~ 0.3 in the south.

We derive the gas and dust surface densities within a radius of $\approx 0.5'' - 1.6''$, or 78 – 250 au, of the disk from the C^{18}O line and 99.5 GHz continuum emission from simple LTE calculations. The calculations assume that the peak brightness temperature of the ^{13}CO line is the same as the excitation temperature and that the C^{18}O abundance is the same as the interstellar value. The g/d map shows that the ratio is spatial dependence and $g/d \approx 7.7 (\Sigma_{\text{d,peak}}/0.1 \text{ g cm}^{-2})^{-0.52}$, where $\Sigma_{\text{d,peak}}$ is the peak dust surface density in each azimuthal direction. The ratio is ~ 5 at the dust peak emission in the north and ~ 30 in the south; they are consistent within a factor of ~ 2 with the results obtained by Muto et al. (2015), who model the optically thick ^{13}CO and $\text{C}^{18}\text{O } J = 3 - 2$ lines and 336 GHz continuum emission. The low g/d in the north may indicate the existence of a vortex that traps dust grains with a larger size.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216a TW Hya まわりの原始惑星系円盤からの分子輝線のALMA観測

野村英子(東工大), 塚越崇, 川邊良平(NAOJ), 武藤恭之(工学院大), 秋山永治(北大), 相川祐理, 金川和弘(東大), 奥住聡, 井田茂(東工大), C. Walsh(Univ. of Leeds), T.J. Millar(Queen's Univ. Belfast)

大型ミリ波サブミリ波望遠鏡アルマによる高空間分解能・高感度観測により、原始惑星系円盤内の惑星形成領域における詳細な物理・化学構造が明らかになりつつある。特にTW Hya 円盤は我々の太陽系から最も近傍に位置する原始惑星系円盤で、これまで詳細な観測的研究がされてきた。

本講演では、TW Hya まわりの原始惑星系円盤のALMAによる観測結果、具体的には、ALMA Cycle 4で空間分解能 $\sim 0.2''$ で観測した ^{13}CO 3-2, C^{18}O 3-2, CN 3-2 (Band 7)の観測結果を報告する。今回の観測の結果、まず、円盤外縁部($r \geq 30$ au)で、 ^{13}CO , C^{18}O , CN輝線の強度分布がフラットになる傾向がみられた。これまでのTW Hya 円盤ダストの高空間分解能観測により、円盤内のダスト分布は円盤内縁部の $r \leq 20$ auに集中していることがわかっている。この効果を考慮したモデル計算との比較の結果、円盤内縁部のダスト集中により円盤外縁部に照射される紫外線量が影響を受け、フラットな輝線強度分布が再現された。また、 ^{13}CO , C^{18}O の輝度温度が円盤内縁部で高いという観測結果もこのモデルで再現された。これは、円盤内縁部に大きいダストだけではなく、小さいダストも集中していることを示唆する。

また観測によると、 ^{13}CO , C^{18}O 輝線に比べ、CN輝線の強度が強かった。モデル計算との比較によると、このような傾向は、CO分子の枯渇あるいは気相中の酸素元素の枯渇で再現された。TW Hya 円盤では、HD輝線を含めたこれまでの様々な分子輝線観測とモデル計算の比較により、気相中の炭素や酸素の枯渇が示唆されている。本講演では、このような炭素・酸素の枯渇過程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](#)

P217a TW Hya の原始惑星系円盤に付随する局所的なサブミリ波超過の検出

塚越崇, 川邊良平 (NAOJ), 武藤恭之 (工学院大), 野村英子, 奥住聡, 井田茂 (東工大), 橋本淳 (ABC), 金川和弘, 鶴山太智, 田村元秀 (東京大), Catherine Walsh (Univ. of Leeds), Tom Millar (Queen's Univ. Belfast)

原始惑星系円盤内における原始惑星の直接的な検出は、惑星形成過程の理解にとって極めて重要である。とりわけ、形成中の惑星に付随すると考えられる周惑星円盤は、直接検出が期待できる有力な観測対象の1つである。しかしながら、期待される原始惑星系円盤内の局所的な構造は、ALMA の高分解能・高感度観測をもってしてもこれまで発見に至らなかった。そこで我々は、最近傍の原始惑星系円盤天体である TW Hya に対し、ALMA 望遠鏡を用いたさらなる高感度観測を行ってきた。

観測の結果、従来の結果より3倍高い感度、かつ2auという高解像度の画像が取得に成功し、原始惑星系円盤内に局所的なミリ波放射の超過を検出した (SN \sim 32)。この超過成分は中心星に対し、半径52 au、方位角237°の位置にあり、周囲の原始惑星系円盤放射に比べておよそ1.5倍ほど明るい。過去のBand7イメージにおいても、1.2 auほど離れた位置に同様の放射超過が確認でき、これはおよそ2年間のケプラー回転運動と整合する。画像上の超過成分は観測分解能とほぼ同程度かやや大きく、deconvolved サイズは3.3 \times 0.5 auと見積もられた。放射の輝度温度は14.3 Kであり、円盤赤道面の温度よりもやや低く、光学的に薄い放射を示唆している。超過成分のダスト質量はおよそ0.017 M_{earth} 相当であった。このような局所的な放射超過は、形成中の惑星に付随する周惑星円盤に起因すると考えられ、海王星質量程度の比較的軽い惑星の存在を想定すると、これまでの観測結果を整合的に説明できる。もしくは、長寿命のガス渦に捉われたダストからの放射の可能性も考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P218a 原始惑星系円盤の近赤外線散乱光に対するダストサイズ・構造の影響

田崎亮 (東北大学), 田中秀和 (東北大学), 武藤恭之 (工学院大学), 片岡章雅 (国立天文台), 奥住聡 (東京工業大学)

惑星形成の第一歩は、原始惑星系円盤に存在するミクロンサイズのダストから微惑星を形成することである。ダストから微惑星への成長過程には未だ多くの問題が残されているが、ダストの付着成長によって形成されるダスト・アグリゲイトの構造が微惑星形成にとって重要な役割を果たすことが理論的に指摘されている (e.g., Krijt et al. 2016)。そこで、我々は、原始惑星系円盤の観測量とアグリゲイトのサイズや構造の関係を 3 次元輻射輸送シミュレーションを用いて調べ、観測量からアグリゲイトの構造に制約を与えることを目指している。

本研究では、原始惑星系円盤の 3 次元輻射輸送シミュレーションを行い、アグリゲイトのサイズや構造が円盤の近赤外線の観測量に与える影響を調べた。特に、我々は、世界で初めて低密度アグリゲイトの光学特性を適切に考慮した輻射輸送計算を行った。まず、波長に比べてサイズの大きなアグリゲイトが円盤に存在する場合、前方散乱が卓越するため、円盤表面輝度に非対称が現れる。この時、アグリゲイトが高密度の場合、アグリゲイト内部で多重散乱が生じるため、低い偏光度の円盤が観測される。しかし、アグリゲイトが低密度である場合、アグリゲイト内による多重散乱が抑制され、散乱光が高い偏光度を持つことが明らかとなった。次に、散乱光の波長依存性について調べた。先行研究では、低密度アグリゲイトは赤く・暗い散乱光を示すことが期待されていた。しかし、我々の計算結果は、低密度アグリゲイトは灰色、もしくはわずかに青い散乱光を示す性質があることが明らかとなった。これらの結果は、低密度アグリゲイトの光学特性を正確に取り扱うことが、円盤近赤外線の観測量を解釈する上で重要であることを示している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P219a 原始惑星系円盤中の円盤風、ガス密度進化のダスト粒子成長への寄与

桑原滉、瀧哲朗(東京大学)、小林浩(名古屋大学)、鈴木建(東京大学)

星の誕生とともに形成される原始惑星系円盤はダストとガスにより構成されている。惑星はその円盤内のダストの合体、成長により形成されていくと考えられている。原始惑星系円盤の散逸時間は、近赤外線観測により 10^6 – 10^7 年であると推察されている。円盤の散逸機構としては、従来より考えられていた、中心星への質量降着と UV や X 線放射による光蒸発に加え、磁気回転不安定性により駆動する円盤風の役割が最近注目されているが、いずれの機構においても不確定要素が大きく、実際の円盤散逸がどのように起きるのかは未だ理解されていない。一方で、円盤ガス中での固体成分の成長に目を転じると、こちらも多く未解明問題が残されている。代表的なもの1つが、ダストが成長する前にガスとの摩擦により中心星に落下してしまう問題 (radial drift barrier) が微惑星形成過程の課題となっている。

本研究では1次元数値シミュレーションを用いて、磁気駆動円盤風の効果を考慮した上で、時間進化する円盤ガス中のダストの成長を調べた。磁気活動が不活性なデッドゾーン、および、ガスによるダストの巻き上げと一部散逸の影響も取り入れた。ダスト粒子の成長進化では Ormel & Spaans(2008) の代表的なダストサイズで近似したモデルを用いて、破壊せずに成長し続けるモデル式で計算を行った。

ガス密度変化では磁気駆動円盤風やデッドゾーンの影響が円盤内側で顕著に現れ、ダスト密度変化に大きく寄与した。radial drift barrier とは成長する過程で Stokes 数が 1 に近づくことで中心星に accretion してしまう問題であったが、本研究ではガス密度の時間変化を考慮することにより、ガス密度の 1au 付近での濃集に伴い、ダスト密度が部分的に濃集する部分が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a 原始惑星系円盤で鉛直方向に巻き上げられた小粒子の周惑星円盤への降着

本間徹, 大槻圭史 (神戸大学), 末次竜 (産業医科大学), 町田正博 (九州大学)

木星や土星といった巨大ガス惑星の主要な規則衛星は、母惑星形成時にそのまわりに存在したガス円盤 (周惑星円盤) 内で形成されたと考えられている。周惑星円盤の構造は高解像度の数値流体計算によって調べられており (e.g., Machida et al. 2008), ガスは周惑星円盤の上空から降着するということが明らかとなった (Tanigawa et al. 2012)。そのようなガスの流れはガス抵抗力を通じて衛星材料物質の運動に影響を与えるため、原始惑星系円盤から周惑星円盤への固体物質の供給は衛星形成・惑星形成に対する理解を深めるうえで重要な過程であると考えられる。

本研究では、太陽・惑星・粒子の3体からなる系を考え、数値流体計算の結果を用いて粒子の軌道計算を行うことで周惑星円盤への粒子の供給について調べた。従来と同様の研究では赤道面内の粒子のみについて調べていた (Tanigawa et al. 2014) のに対し、本研究では鉛直方向へ巻き上げられた粒子の供給過程を詳しく調べた。その結果、ガスと一体となって運動するような小粒子は上空から降着するガスの助力を得て周惑星円盤に降着することがわかった。また、その降着率は小粒子が原始惑星系円盤でどの程度巻き上げられているかに依存するということもわかった。この結果は、原始惑星系円盤における粒子の鉛直方向の巻き上げが周惑星円盤への粒子の供給に対して重要な役割を果たす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](#)

P221a 星団形成期における星周円盤の破壊

長谷川大空, 藤井通子 (東京大学)

星団は多くの星の集団的・形成・進化の現場であり多くの惑星が存在することが期待されるが、これまでに観測された惑星の主星の多くは、星団に属していない星、フィールド星である。フィールド星の少なくとも半分は惑星を持つが、星団では、近傍のものでも惑星は数個しか発見されていない。星団内の星とフィールド星との大きな違いは、周囲の恒星との相互作用の有無である。星団内では惑星の材料たる星周円盤は、周囲のOB型星からの輻射(光蒸発)や恒星同士の近接遭遇による円盤破壊の効果を受ける。この外的効果について、Adams et al.(2004)などは光蒸発が支配的であると述べている一方、Portegies Zwart(2016)などは恒星同士の近接遭遇時の円盤破壊が支配的であると主張しており、どちらが支配的なのかまだわかっていない。

そこで本研究では、Fujii & Portegies Zwart (2016) の、乱流を持つ分子雲を初期条件に用い、恒星同士の近接遭遇による円盤破壊の効果を入れた N 体シミュレーションを実行し、巨大分子雲から誕生した星団内での星周円盤の進化を調べた。また、星団内のOB型星からのFUVの輻射の強さを見積もり、光蒸発の円盤の進化への影響を調べた。その結果、星団中心から1 pc以内の領域では光蒸発の方が大きな役割を果たすことが示唆された。以上より、光蒸発・恒星遭遇による円盤破壊のどちらの効果も円盤の外的破壊に大きな役割を果たすことがわかった。また、星団内の星周円盤の観測との対応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](#)

P222a コンドリュールが生存可能な原始太陽系星雲の条件について

瀧哲朗（東京大学），脇田茂（東京工業大学地球生命研究所）

コンドリュールとはコンドライト隕石中に多量に含まれる～1 mmサイズの球状の固体微粒子である．岩石惑星の材料となった微惑星はコンドライト隕石の母天体であったと考えられており，コンドリュールからいつどのようにして隕石母天体が形成されたのかを理解することは，惑星形成理論において重要である．

同位体比分析の結果から，コンドリュール形成はCAI形成直後から200万年後までの間にわたって起こったと考えられている．一方で，始原的なコンドライト隕石が熱変性を受けていないという事実から，このような始原的な隕石母天体の形成年代はCAI形成後200–300万年後であったと考えられている（Doyle et al., 2015）．すなわちコンドリュールとコンドライト隕石母天体の形成年代には～100万年のずれが存在しており，コンドリュールは原始太陽系星雲の中でコンドリュールのまま～100万年存在しなければならない．

しかし，コンドリュールのような固体粒子は，円盤ガスからの抵抗を受けて中心星方向に移動してしまうことが知られている．このため最小質量太陽系星雲（MMSN; Hayashi 1981）におけるコンドリュールの寿命は100万年よりも大幅に短い（e.g., Nakagawa et al., 1986）．

今回我々は，ガス乱流の強度・コンドリュールの初期位置・サイズ・必要な生存時間などをパラメータにして，鉛直方向の沈殿と不安定性の影響を考慮しながらコンドリュールの動径方向移動時間を見積もることで，コンドリュールの生存を説明できるような円盤の金属量－圧力勾配関係を求めた．ややフラットな円盤構造と弱い乱流を仮定すれば現実的な金属量の範囲でコンドリュールは生存可能であることが分かった．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P223a 原始惑星系円盤中の非理想磁気流体力学効果に依存する温度構造

森 昇志 (東京工業大学), Xuening Bai (清華大学), 奥住 聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤の内側領域の温度構造は、降着加熱によって決定されると考えられている。降着加熱は、円盤降着時に力学的エネルギーがなんらかの機構で散逸し、発生した熱が円盤温度を上昇するという機構である。円盤内部の光学的に厚い領域でこの加熱が起これば、発生した熱は円盤内部に蓄積し効果的に円盤の温度を上昇する。

降着加熱を考慮する際、円盤全体が乱流状態にあるという仮定がしばしば用いられる。この時、エネルギー散逸率は密度に比例するため、降着加熱は赤道面付近の光学的に厚い領域で起きる。しかし、この仮定は必ずしも現実的ではない。磁気回転不安定性は乱流の駆動源として有力であるが、ガスの電離度が十分低い時には非理想磁気流体力学 (MHD) 効果が働くため、乱流を生成しない。特に円盤内側は、層流状態であることが非理想 MHD シミュレーションから示唆されている。この場合、エネルギー散逸はジュール散逸によって起こり、非理想 MHD 効果に大きく依存すると考えられる。

本研究の目的は、非理想 MHD 効果に依存するエネルギー散逸分布を考慮し、降着加熱による温度構造を明らかにすることである。本研究では、非理想 MHD 効果を全て考慮した局所 MHD シミュレーションを行い、得られたエネルギー散逸分布から円盤の温度構造を計算した。本公演では、中心星から 1AU の最小質量円盤を模擬したパラメータの計算結果を紹介する。計算の結果、円盤赤道面から 3 スケールハイトの高さでエネルギー散逸率が最大値をとることが分かった。この場合、円盤上層でエネルギー散逸が起きるために、従来考えられていたよりも降着加熱が非効率的となる。また、円盤上層では中心星からの照射による加熱が起き、全高度で照射加熱が卓越する結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P224a ロスビー波不安定性の進化と軸対称成分の安定性推移

小野智弘 (大阪大学), 武藤恭之 (工学院大学), 富田賢吾 (大阪大学), Zhaohuan Zhu (ネバダ大学)

原始惑星系円盤上では、円盤と逆方向に回転するガス渦が存在することができる。ガス渦は中心にダスト微粒子を集積させ、微惑星形成の現場となることが期待される。また、近年の観測によって明らかにされてきた円盤三日月状構造は、ガス渦を用いて説明できると考えられている。このような背景の下、ガス渦に関する研究の重要性が高まってきた。そこにおいて、ガス渦の準定常解を得ることで、ガス渦研究を飛躍させることができると期待されている。非圧縮・局所系においては、Kida 解や GNG 解と呼ばれるガス渦の定常解が知られている。しかし、圧縮性や系の曲率を考慮したガス渦の準定常解は未だ求められていない。

ロスビー波不安定性は、円盤上における有力なガス渦の形成機構である。我々は、ロスビー波不安定性によるガス渦形成を数値流体計算を用いて調べた。不安定な初期場を置くと、ロスビー波不安定性の成長によって初期場の最大成長不安定方位モードに対応した数のガス渦が形成される。その後、渦同士の合体が起こり、最終的には一つの準定常なガス渦が形成される。特に、ロスビー波不安定性の進化と共に軸対称成分の安定性がどのように推移していくのかについて我々は注目した。結果として、初期場の最大成長不安定方位モードに対して軸対称成分が中立安定になった時、ロスビー波不安定性の成長は飽和する。さらに、渦合体によって渦が一つになった時、軸対称成分はロスビー波不安定性における中立安定状態に至ることが分かった。これらの結果は、ガス渦の準定常解を得るための理論的素地となると考えられる。本講演では、以上に示した研究成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P225a SPH 法におけるシア問題の再考

稲吉 勇人, 犬塚 修一郎 (名古屋大学)

宇宙には原始惑星系円盤や円盤銀河など多様な円盤が存在している。円盤の形成・進化過程における非線形現象の理論研究には流体力学的数値計算が有効である。流体力学の数値計算法として、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法と呼ばれる粒子を用いる手法がある。流体をオイラー的に記述するメッシュ法と比べ、SPH 法はラグランジュ的に記述するため、移流項に伴う数値誤差が発生せず、高密度の領域を高解像度に記述でき、流体が大きく変形する場合の計算に有利である。しかし、冷たいシア流が存在する流体の数値計算を限られた粒子数の SPH 法で行うと、非物理的な密度エラーが発生し、精度良く計算できないという問題 (シア問題) がある。原始惑星系円盤は低温で差動回転、つまりシア流が存在しているため、円盤の形成や進化を SPH 法で計算することには問題がある。SPH 法を用いてこれらの円盤の計算を精度良く行うためには、シア問題の解決が不可欠である。

このシア問題の解決策として、Imaeda & Inutsuka (2002) では SPH 法の定式化を見直し、流体素片の速度と SPH 粒子の速度を区別する手法が提案されている。この手法は、密度がほぼ一様な流体のみ有効であり、密度エラーを 20% 程度に抑えることを可能にした。つまり、この手法の密度一様という制約を解消すれば、シア問題の解決につながる。そこで本研究では、Imaeda & Inutsuka (2002) の定式化をさらに見直し、密度が非一様な場合でも計算可能となるように再定式化を行った。この再定式化により、密度が非一様な場合でも密度エラーを小さく抑えることに成功した。本講演では我々の新しい定式化を紹介し、さらにその有用性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226a Linear and Non-linear Instability of Protoplanetary Disks

Yoshiaki Kato, Toshikazu Ebisuzaki

Our group have investigated the growth of planetesimals accumulated at the inner and outer edges of a turbulent-free zone (a quiescent zone), which appears in the middle region of protoplanetary accretion disk (Ebisuzaki & Imaeda 2017). A peak of the gas pressure distribution at the inner edge of the quiescent zone is formed in response to the reduction of the gas flow velocity by diminishing turbulent viscosity. Such pressure profile leads to accelerate the formation of rocky planets during the early stage of the accumulation of solid particles. However, the 1-D steady accretion disk model in the previous study is not sufficient to comprise the whole process of the protoplanetary formation. For more realistic scenario, the generation of turbulence and vortices in the accretion disks should fully be taken into account. It is therefore necessary to investigate the stability of protoplanetary disk in multi-dimension.

In the first paper of a series, we have constructed a 2-D model of protoplanetary disk by using an analytical solution for irradiated accretion disk in local thermal equilibrium (LTE), and have investigated the stability against non-axisymmetric perturbations. We will report how the disturbance grows in the inner turbulent zone and propagates toward the quiescent zone as a wave while being distorted by the differential rotation. As a result, the spiral structure of both gas density and temperature is generated in the protoplanetary disk. This study will be a theoretical basis in understanding the elemental and isotopic compositions on the rocky planets and meteorites.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227a 有機物マントルを持つシリケイトダストの合体成長と微惑星形成

本間和明, 奥住聡 (東京工業大学)

岩石惑星の形成の第一段階は、シリケイトダストから岩石微惑星の形成である。しかしダストの付着合体を経由した岩石微惑星形成には複数の困難があり、その1つとして衝突破壊問題が知られている。衝突破壊問題とは、シリケイトの付着効率が低いため、シリケイトダストが高速衝突で合体できずに破壊してしまう問題である。

そこで本研究では、表面に有機物を持つシリケイトダスト(有機物マントルダスト)に注目する。有機物のマントルは、彗星由来と考えられる始原的物質である惑星間塵の中に存在が確認されている。有機物は氷よりも昇華しにくく、岩石惑星形成の場であるスノーラインの内側でもダスト表面上に存在できた可能性がある。興味深いことに、有機物はシリケイトより柔らかいため、シリケイトより付着効率が高いことが指摘されている。したがって、有機物マントルはシリケイトダストをつなぎ合わせる「糊」のような役割を果たし、微惑星の形成を促進した可能性がある。

本研究では、有機物マントルダストが付着成長を通じて微惑星を形成する可能性を、次の手法により検証した。まず、弾性体球の付着理論であるJKR理論を元に、有機物マントルシリケイトコア球の付着モデルを構築した。次に、この付着モデルをダスト合体成長の統計計算法(Okuzumi et al. 2012)に組み込み、合体成長に伴う有機物マントルダストのサイズ分布の進化をシミュレートした。その結果、有機物が柔らかくなる比較的高温の領域(中心星からの距離にしておおむね1 au以内)において、有機物マントルダストが付着合体を通じて微惑星へと成長することを明らかにした。発表では、本研究の結果と地球型惑星の形成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](#)

P228a 強い乱流が作る巨大惑星：巨大ガス惑星形成のための条件

小林浩（名大）， 田中秀和（東北大）

木星や土星のような巨大ガス惑星は、十分に重い固体核形成により引き起こされるガス集積により形成される。固体核は周りの微惑星を集積し成長するが、重くなるに従い微惑星の軌道は乱され、微惑星同士の衝突により破壊が起こる。破壊による破片は、ガス抵抗によりランダム運動を抑制されるため効率よく固体核に集積される。一方、ガス抵抗により角運動量を減らされるため、中心星に落下して、減少する。その結果、固体核成長が阻害される。固体核のまわりの微惑星のサイズ分布は、固体核の暴走成長が始まる時に決まり、その後も維持される。大きな微惑星ほど自己重力が強く実質的な破壊が起きにくい。そのため、強い乱流により暴走成長が遅れられるほど、固体核の周りの微惑星が大きくなり、破壊が起きにくくなるため固体核は大きくなれる。惑星形成のための衝突進化シミュレーションの結果、無次元乱流パラメータ $\alpha \gtrsim 10^{-3}$ の強い乱流ならば巨大ガス惑星を形成可能な固体核が作れることがわかった。また、ダストアグリゲイトの衝突・成長により固体面密度が上昇した初期円盤進化時間が百万年ほどの円盤であれば、円盤寿命の数百万年以内で惑星移動を回避しつつ固体核の形成が可能である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P229a 巨大衝突ステージにおける衝突・破壊を考慮した N 体シミュレーション

磯谷和秀, 小林浩 (名古屋大学)

太陽系の地球型惑星は、最終段階で火星サイズの原始惑星同士が衝突合体を繰り返し形成されたと考えられており、この進化段階は巨大衝突ステージと呼ばれる。巨大衝突ステージを模擬し原始惑星の N 体計算を行うと、合体成長を繰り返し数億年程度で現在の太陽系の地球型惑星のようないくつかの地球質量の惑星が形成される (Kokubo et al., 2006)。しかし、形成される地球型惑星の離心率 (~ 0.1) は、現在の太陽系の地球型惑星の離心率 (~ 0.01) を説明できない。原始惑星だけでなく微惑星も考慮すると、微惑星との力学的摩擦により原始惑星の離心率は下げられる (Morishima et al., 2010)。しかし、力学的摩擦によって原始惑星の離心率が下がる代わりに、微惑星の離心率が上がるため、微惑星同士の破壊的な衝突が起きるほど相対速度は速くなり、この破壊現象によって微惑星円盤の面密度は減少していく (Kobayashi & Tanaka, 2010)。微惑星の面密度減少によって力学的摩擦の効率が下がってしまう。この問題を調べるためには、長期的軌道進化と破壊を扱うことができる計算が必要である。しかし破壊によって生じる様々なサイズの微惑星は 10^{35} 個以上にもなり、 N 体計算ではとても扱うことはできない。このような多数の粒子を取り扱うには統計力学に基づいた統計的手法が有効であるか、統計的手法では重力相互作用の取り扱いができない。そこで本研究では、 N 体計算で軌道進化、統計的手法で破壊現象を扱うようなハイブリッドコードを開発した。そしてこのコードにより、巨大衝突ステージにおける残存微惑星間の衝突・破壊現象を考慮すると、惑星-微惑星間の力学的摩擦の効率が下がることを確かめた。本公演では以上の成果を報告し、さらに破壊によって生じる様々なサイズの微惑星が構成するデブリ円盤の明るさの進化を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P230a プラズマプロセスによる星間環境変異原/核酸塩基アナログ/Tholinの形成

前澤裕之、松本怜、松原浩 (大阪府立大学大学院理学系研究科)

地球の生命を構築する有機物がどのように供給されたか、議論が古くから活発に展開されている。隕石からは地球の生物のアミノ酸がもつL体のエンチオマーが検出されていることから、アミノ酸は地球の外から供給された可能性も指摘されている。一方、核酸塩基はホモキラリティを持たず、どのような起源を経て生命をデザインするに至ったのかまだよく分かっていない。我々は、彗星や原始惑星系円盤、星間分子雲でも広く検出される CH_3CN などを母ガスとして、常温程度の環境で RF プラズマ放電を行った。その結果、多種多様の有機物を含む茶褐色の Tholin が合成され、質量分析により、その中には組成式が $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5$ の分子も含まれていることが分かった。この分子のマススペクトルはアデニンや 9H-purin-2-amine など、パターンがほぼ同じで分別が困難な候補が多く存在したため、液体クロマトグラフィーのリテンションタイムによる同定を実施したところ、アデニンのアナログである 1H-Pyrazolo[3,4-d]pyrimidin-4-amine であることが分かった。この結果は、量子化学計算による真空に対する結合エネルギーの違いから予想される結果とも合致した。1H-Pyrazolo[3,4-d]pyrimidin-4-amine は核酸塩基のアデニンと酷似した異性体であり、アデニンのアナログとして DNA、RNA を担うことが可能である。通常は、アデニンはチミンと対を形成するが、このアナログはあらゆる核酸塩基とフレキシブルに結合できるものと推察される。したがって、彗星や隕石などから大量に供給されて生物に取り込まれた場合は突然変異や進化を誘起する可能性も考えられる。現在はプラズマ装置に四重極質量分析装置を実装して、生成プロセスをリアルタイムにモニタリングし、形成される核酸塩基の異性体の割合のパラメータ依存性についてより詳しい研究調査を進めている。本研究では、ニトリルからアデニンのアナログが形成された意味について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【P3. 星・惑星形成】

9月19日(水) 午前(11:00-13:24) [H会場]

P301a	11:00	円盤ギャップを持つ惑星の動径移動速度について 金川和弘(東京大学)
P302a	11:12	Diversity of Planetary Architecture Out of the Observed Protoplanetary Disks Shijie Wang (The University of Tokyo)
P303a	11:24	詳細な円盤化学進化計算を初期条件とした系外ガス惑星大気の平衡化学構造 野津翔太(京都大学)
P304a	11:36	自転傾斜角を持つ系外惑星の大気循環構造と熱光度曲線 大野和正(東京工業大学)
P305a	11:48	巨大氷惑星の衝突による水素大気損失 黒崎健二(名古屋大学)
P306a	12:00	ヘイズを持つ系外惑星の大気透過スペクトルモデル: 元素存在度の影響 川島由依(東京工業大学)
P307a	12:12	高次の効果が見える惑星候補イベント: MOA-2013-BLG-551 の解析 宮崎翔太(大阪大学)
P308a	12:24	北天で発見された最近傍マイクロレンズ惑星イベントのフォローアップ観測 福井暁彦(国立天文台)
P309a	12:36	TRAPPIST-1系のTTV解析のためのトランジット観測と解析 森万由子(東京大学)
P310a	12:48	Discovery and Validation of ~100 New Planets from <i>K2</i> John Livingston (The University of Tokyo)
P311a	13:00	分光連星を対象とした星周に付随する巨大ガス惑星の探査 加藤則行(兵庫県立大学)
P312a	13:12	視線速度法を用いた連星ブラックホールの探査—天体力学的摂動論の応用 林利憲(東京大学)

9月20日(木) 午前(9:30-10:18) [H会場]

P313a	09:30	恒星フレア影響の評価に向けた、太陽系外惑星データベース ExoKyoto の整備 山敷庸亮(京都大学)
P314a	09:42	N体計算による準惑星ハウメアのリング形成過程の検証 角田伊織(京都大学)
P315a	09:54	太陽系外天体オウムアムアの形状の起源解明に向けて: 衝突引き伸ばしによる極端細長形状の形成条件 杉浦圭祐(名古屋大学)
P316b	10:06	大気大循環モデルを用いた系外惑星の光度曲線解析による自転傾斜角推定 中川雄太(東京大学)
P317c		周連星惑星の原始惑星系円盤における軌道進化とその安定性 山中陽裕(京都大学)

P301a 円盤ギャップを持つ惑星の動径移動速度について

金川和弘 (東京大学), 田中秀和 (東北大学), Ewa Szuszkiewicz (シュチェチン大学)

巨大惑星は円盤ガスとの相互作用によってギャップを開けながら円盤内を移動する (タイプ 2 移動). 従来のタイプ 2 惑星移動モデルでは, ガスはギャップによってせき止められ, 惑星はガス粘性降着と同じ速度で中心星に落下すると想定されていた. しかし, 近年の高解像度数値流体シミュレーションでは, ガスは惑星が作るギャップを容易に横切ることができ, 惑星は円盤の粘性ガス降着とは独立に移動するという結果が得られている. このため, 従来モデルに代わるギャップを持つ惑星の移動モデルの構築が必要とされている.

我々は様々な惑星質量, 円盤パラメータ (スケールハイト, 粘性) で数値流体シミュレーションを行い, 惑星の動径移動速度を調べた. その結果, 惑星がガス円盤から受け取る重力トルクは, ギャップ内の低下したガス面密度に比例していることが示された. すなわち, タイプ 2 惑星移動の減速は単純にギャップ内のガス面密度の低下で説明できる. ギャップによるガス面密度の低下は我々のこれまでの研究で既にモデル化されている. このモデルを用いて, 惑星移動速度の経験式を導出した. これは我々のシミュレーションだけでなく, 先行研究の結果とも整合的である.

さらに円盤内に 2 つの惑星 (惑星ペア) がある場合の数値流体シミュレーションも行った. 複数惑星が円盤内を移動する場合, 惑星同士の重力相互作用の帰結として惑星ペアの公転周期が簡単な整数倍 (平均軌道共鳴) になることが知られている. 先行研究では, 浅いギャップを作るような惑星の場合, 平均軌道共鳴に入った惑星ペアが徐々に共鳴から離れていく現象が報告されていた. 我々の計算でもこのような現象は再現できたが, これはギャップ形成に伴う外側惑星の移動速度の減速で説明できることが分かった. 本発表では上記の結果を紹介し, ギャップを持つ惑星ペアが平均軌道共鳴に入る条件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](#)

P302a Diversity of Planetary Architecture Out of the Observed Protoplanetary Disks

Shijie Wang(U.Tokyo), Toshinori Hayashi(U.Tokyo), Kazuhiro D. Kanagawa(U.Tokyo), Yasushi Suto(U.Tokyo)

The configurations of exoplanetary systems were known to exhibit great diversities, including Hot Jupiters(HJs), misaligned and/or free-floating planets. Previous researches that attempted to account for this diversity started from ad-hoc initial conditions that were intentionally designed towards unstable systems. Meanwhile, recent observations from Atacama Large Millimetre Array have revealed around 10 proto-planetary disks with concentric rings and gaps, which are commonly interpreted as a result of orbital clearing due to the proto-planet formation. Simbulan et al.(2017) did the pioneering work which used HL-tau disk as initial conditions to predict the outcomes of dynamical evolution. In addition to the conventional N-body method, we incorporate the detailed planet-disk interaction during the gas-disk phase, and also improve the mass accretion model to give a better estimate of the planet's mass. We present the statistical distribution of final configurations and compare with the current exoplanet observations. We also give the fractions of planets that evolve to HJs, misaligned and/or free-floating planets. With the unbiased outcomes, we will discuss the validity of the previous ad-hoc initial conditions and examine if the planet-planet scattering dominates the formation channel for HJs and misaligned planets.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P303a 詳細な円盤化学進化計算を初期条件とした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), Christian Eistrup (Leiden University), Catherine Walsh (University of Leeds), 佐藤文衛, 藤田大地 (東京工業大), Ingo Waldmann, Giovanna Tinetti (UCL)

惑星大気の元素組成は、大気形成時の円盤ガス元素組成を反映すると考えられる (Öberg et al. 2011)。水は酸素を含む主要な分子なので、円盤ガス中の炭素-酸素元素組成比 (C/O 比) は H₂O スノーライン前後で値が大きく変化する。円盤内と惑星大気の C/O 比の比較を通じ、惑星大気獲得・移動の過程に制限を与える研究がなされてきた (e.g., Mordasini et al. 2016)。一方で近年の詳細な円盤化学進化計算の結果 (Eistrup et al. 2016) によると、スノーラインの影響に加え円盤内の電離状態や初期化学組成等を変えた場合にも、円盤内の C/O 比分布が大きく変化する事が示されている。本研究では系外惑星の大気化学構造と惑星形成環境の関係をより詳細に探る事を目的とし、Eistrup et al. (2016) で得られた円盤内元素組成分布の結果を初期条件としてガス惑星大気の化学平衡計算 (Blecic et al. 2016 の TEA コードを使用) を行い、円盤の詳細な化学進化過程が系外ガス惑星大気の子組成分布におよぼす影響を調べた。その結果、短周期ガス惑星大気下部 (圧力 ~1 bar) で $n(\text{CH}_4)/n(\text{H}) \gtrsim 10^{-5}$ かつ $n(\text{H}_2\text{O})/n(\text{H}) \lesssim 10^{-5}$ となるのが、ガス惑星形成領域の円盤ガス C/O 比が 1 を超える場合に限られる事が分かった。Eistrup et al. (2016) によると円盤ガス C/O 比が 1 を超える円盤環境は、電離度が小さく、加えて初期化学組成として分子雲の組成を保持している円盤内の CO₂ スノーライン外側領域に限られていた。これらの結果から、CH₄, H₂O, CO, CO₂ 等の分子種を系外惑星大気観測の指標とする事で、惑星形成環境に制限が与えられる可能性が示唆される。また並行して惑星大気のスเปクトル計算も実行し、これらの分子種の輝線・吸収線の強度も調べている。講演では、将来の分光観測 (すばる望遠鏡等) での観測可能性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](#)

P304a 自転傾斜角を持つ系外惑星の大気循環構造と熱光度曲線

大野 和正 (東京工業大学), Xi Zhang (University of California Santa Cruz)

Planetary obliquity, defined as an angle between a planet spin axis and an orbital normal, has a large impact on climate on exoplanets. The obliquity is also an important clue to explore the formation processes of planets. One of the possible approaches to constrain the obliquities of exoplanets is the thermal light curve observation because tilted planets should have distinct thermal structures. However, the thermal structure is strongly associated to the atmospheric dynamics, which has been poorly understood for tilted exoplanets.

In this study, using a 2D atmospheric circulation model, we investigate the atmospheric temperature distributions and circulation patterns of tilted exoplanets for various obliquities, eccentricities, and radiative timescales. We find that the climate on tilted planets could be classified into five regimes according to the radiative timescale, rotation period, orbital period, and obliquity. The circulation patterns of tilted exoplanets are drastically reshaped when the obliquity is larger than $\sim 30^\circ$ or $\sim 60^\circ$, depending on the radiative timescales. This is because planet receives more insolation at the poles than that at the equator, results in distinct thermal and dynamical structures from non-tilted planets. We calculate the synthetic thermal light curves based on the simulation results, and find that tilted planets potentially yield the flux peak after the secondary eclipse. This negative peak-offset is also caused by eccentricity in some specific configurations. We find that it is possible to solve this degeneracy when the secondary eclipse occurs after the periapse passage timing. Our results would be useful to constrain the exoplanetary obliquity with current and future observations such as JWST.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P305a 巨大氷惑星の衝突による水素大気損失

黒崎健二，犬塚修一郎（名古屋大学）

発見された系外惑星の半径には，1.5 地球半径以下（地球サイズ）と，2-3 地球半径程度（海王星サイズ）の惑星に分かれていることが知られている．2-3 地球半径の惑星は太陽系内の海王星型惑星のように分厚い大気を持っていることが予想される．惑星形成時には巨大衝突が発生することが期待されるが，その衝突によって大気が剥ぎ取られるだけでなく，衝突によって内部組成が巻き上げられることで，大気が水などの重元素により汚染される可能性がある．衝突による大気損失や内部組成の再分配は，大気質量，衝突天体の質量比，衝突角度，衝突速度に依存するが，高解像度によるパラメータサーベイは十分にされていない．今後，TESS の稼働に伴い海王星サイズの天体発見数が増加することが期待され，衝突による天体の大気質量や組成分配の影響を理解することは，惑星形成論と観測を結びつける上で重要と考えられる．本研究では，水素大気と水成分マントルを持ったターゲット天体に，水を主成分とするインパクターが衝突する描像を議論する．衝撃波が水素大気中を伝播するため，Godunov 法を適用した Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いて，衝突現象の数値実験を行う．それによって，衝突に伴う水素大気の損失と水素大気に巻き上げる水成分を定量的に評価し，衝突現象による巨大氷惑星の大気質量や内部組成構造の変動を議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P306a ヘイズを持つ系外惑星の大気透過スペクトルモデル：元素存在度の影響

川島由依（東京工業大学 地球生命研究所）、生駒大洋（東京大学）

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

そこで我々は、トランジット観測がされるような中心星近くに存在する低質量惑星を想定した上で、物理的な根拠を持つヘイズ粒子の粒径・密度分布を求めるため、大気中のヘイズ粒子の生成と成長、沈降を考慮した理論モデルを新たに開発した。そして、得られたヘイズの特性を基に、大気透過スペクトルをモデル化した（Kawashima & Ikoma 2018）。Kawashima & Ikoma (2018) では、惑星大気組成の元素存在度については太陽組成の場合のみを考えたが、惑星大気を取り得る元素存在度は、中心星の元素存在度や原始惑星系円盤中での惑星の形成場所、形成後の進化等の違いにより様々である。そこで本講演では、元素存在度の違いがヘイズの生成量とスペクトルに及ぼす影響について、議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P307a 高次の効果が見える惑星候補イベント:MOA-2013-BLG-551 の解析

宮崎翔太 (大阪大学), 他 MOA コラボレーション

我々 Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは、ニュージーランド南島のマウントジョン天文台にて重力マイクロレンズ法を用いた系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ現象は、背景天体(ソース天体)の光が視線上手前に存在する天体(レンズ天体)の重力場によって曲げられる事で増光して観測される現象である。特に、レンズ天体が伴星を持つ場合は、光度曲線上で伴星を持たない場合とのズレ(アノマリー)が生じる。2013年に発見された本イベント MOA-2013-BLG-551 では、光度曲線のピーク付近に有意なアノマリーが観測され、伴星モデルフィットにより質量比 $q \sim 10^{-2}$ の伴星を発見することができた。しかし、標準的な伴星モデルフィットでは説明できない残差があり、その説明のためにはさらに高次の効果を考慮する必要がある。高次の効果として、1. 地球の公転運動の効果(パララックス効果)、2. レンズ天体の公転運動の効果、また、ソース天体が連星系であった場合に、3. ソース天体の公転運動の効果(ザララップ効果)、及び、4. ソース天体の伴星も増光される効果(バイナリーソース)の4つをそれぞれ考慮し、結果を比較した。本講演では、これらの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](#)

P308a 北天で発見された最近傍マイクロレンズ惑星イベントのフォローアップ観測

福井暁彦 (国立天文台), 鈴木大介 (JAXA), 前原裕之 (京大), 柳澤顕史 (国立天文台/東大), 米原厚憲 (京産大), 成田憲保, 越本直季 (東大), 平野照幸 (東工大/ハワイ大), 葛原昌幸 (ABC), 村田勝寛, 河合誠之 (東工大), David Storey, Tonny Vanmunster (AAVSO), Etienne Bachelet (LCO), David P. Bennett (NASA), MuSCAT/MuSCAT2 チーム, MITSuME チーム

日本のアマチュア天文家 (小嶋正氏) の変光星探索によって、2017 年 10 月におうし座方向で突発的な増光を示す天体 TCP J05074264+2447555 が発見された。この天体は (我々も含め) 直ちに世界中でフォローアップ観測が行われ、その分光的および測光的特徴から、距離約 700 pc の F 型星を光源とする重力マイクロレンズ現象であることが確認された。さらに、海外のアマチュア天文家によって増光ピーク付近で光度曲線の逸脱が捉えられ、後の解析からレンズ星に惑星が付随する事が判明した (Nucita et al. 2018)。Nucita らは銀河モデルの事前分布に基づく確率解析から、惑星は M 型星をまわるスーパーアース ($9.2 \pm 6.6 M_{\oplus}$) であると報告した。

我々は天体発見の一報を受け、直ちに岡山 188cm 望遠鏡/HIDES を用いて高分散分光観測を行うと共に、同望遠鏡/MuSCAT、カナリア諸島 1.5m 望遠鏡/MuSCAT2、岡山 91cm 望遠鏡、岡山 50cm 望遠鏡、JAXA/ISAS 1.3m 望遠鏡、および京産大 1.3m 望遠鏡などを使って、可視から近赤外にかけて多バンドでの測光フォローアップ観測を実施した。その結果、高精度かつ多波長の光度曲線が得られ、その解析を通して主星の放射光を検出することに成功した。それにより、銀河モデルを使わず惑星系の物理量が決まり、主星は距離約 500 pc の K 型矮星で、惑星は海王星質量 (約 $25M_{\oplus}$) をもつことが判明した。この惑星系は重力マイクロレンズ法で発見された惑星系の中で最も近傍にあり、主星が比較的明るいため、将来的に様々なフォローアップ観測が期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P309a TRAPPIST-1 系の TTV 解析のためのトランジット観測と解析

森万由子, 成田憲保, 田村元秀, John Livingston, Jerome de Leon, 鵜山太智, 寺田由佳 (東大), 福井暁彦 (国立天文台), 日下部展彦 (ABC), 平野照幸 (東工大), 渡辺紀治 (総研大)

TRAPPIST-1 系は、M 型星の非常に近く ($< 0.1\text{au}$) を 7 つの地球サイズの惑星が公転している系であり、そのうち 3 つの惑星 e・f・g はハビタブルゾーン内にあると考えられている。これらの惑星の詳細な分析のためには、惑星の半径と質量のデータが不可欠である。通常、半径はトランジット法、質量は視線速度法を用いて求められるが、TRAPPIST-1 系は、主星が非常に暗いことなどの理由により視線速度法による質量推定が難しい。そこで、TTV(Transit Timing Variation) 法という手法が用いられてきた。TTV とは、惑星のトランジット周期が、周りの惑星からの重力摂動により変動する現象である。TTV のデータを理論モデルと比較することで、重力摂動を引き起こしている惑星の質量に制限を加えることができる。特に、TRAPPIST-1 系ではそれぞれの惑星が軌道共鳴の関係にあるため TTV の振幅が大きくなり、この方法で惑星の質量を比較的精度良く決定できる。

先行研究でもこの方法が用いられてきたが、データの数少なく、依然として質量の不確かさは大きかった。そこで本研究では、TTV の新たなデータを得るため、トランジット中心の正確な時刻を求めることを目標に、撮像装置 MuSCAT を用いて TRAPPIST-1d・e のトランジット観測を行った。得られたライトカーブは、MCMC を用いたモデルフィットにより解析した。結果として、TRAPPIST-1d・e のトランジット中心時刻を $\sigma \sim 1\text{min}$ の不確かさで得ることができた。これは K2 ミッションによる観測の $\sigma \sim 3\text{min}$ よりも良い精度であり、地上の中口径望遠鏡でも TTV モデルを制限するのに有用なデータが得られることが確認できた。この結果は、惑星 d・e と軌道共鳴の関係にある惑星の質量の制限に繋がる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P310a Discovery and Validation of ~ 100 New Planets from *K2*

John Livingston (Todai), Ian Crossfield (MIT), Erik Petigura (Caltech), Michael Werner (NASA/JPL), Joshua Schlieder (NASA/ARC), Charles Beichman (NExSci), Motohide Tamura (Todai/NAOJ/ABC)

The NASA *K2* mission is extending the Kepler transit survey to many fields along the ecliptic plane. *K2* has revealed hundreds of new planets, most of which orbit brighter stars than those studied by the original Kepler mission. The wider sky coverage of *K2* has also enabled the discovery of planets orbiting stars in clusters, offering a rare glimpse of the time domain of planet formation. In particular, many planets from *K2* are good targets for follow-up radial velocity and transmission spectroscopy observations, placing them among the best currently known targets for characterization studies. We present the results of detailed light curve analyses, follow-up imaging and spectroscopy, and statistical validation, resulting in ~ 100 new planets. Of particular interest are planets with bright host stars, ultra-short period planets, multi-planet systems, and temperate sub-Neptunes. We also perform follow-up transit observations with *Spitzer* to refine ephemerides, which ensures the feasibility of future study by *JWST*. These *K2* results provide an appetizer for the newly launched NASA *TESS* mission, which is about to begin a survey of $\sim 85\%$ of the sky.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P311a 分光連星を対象とした星周に付随する巨大ガス惑星の探査

加藤則行，伊藤洋一（兵庫県立大学天文科学センター），佐藤文衛（東京工業大学）

これまでの観測により、星形成とともに惑星形成が起きること、恒星の多くが誕生直後は連星をなすこと、今日 4000 個近くもの太陽系外惑星の発見例があることが示された。これらのことを踏まえると、連星という環境は、惑星形成を考えるうえで重要である。現在、連星に付随する太陽系外惑星のうち、恒星一つ一つを公転する星周タイプのものは、主星と伴星の平均距離（連星間距離）が長い実視連星で 140 個しか確認されていない。連星間距離の短い分光連星では、星周惑星の明確な発見例はまだない。

本研究では、分光連星に付随する星周惑星を探査するため、2005 年から 2012 年まで視線速度のモニター観測を行った。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、分光連星 70 天体を観測した結果、34 天体について連星の公転軌道要素を精度良く決定できた（Kato et al. 2013）。

これら 34 天体は、連星の公転運動に起因する視線速度を正確に導出できる。視線速度の観測点から連星に起因する成分を除去した残差は、星周惑星の公転運動により作り出されたかもしれない。34 天体の残差成分について、離散フーリエ変換による周期解析を行った結果、残差が周期変化する 2 天体を同定した。恒星の視線速度を周期変化させる原因は、伴天体の公転運動のほか、恒星の表面活動に起因するスポットの移動や脈動が考えられる。本講演では、これら 2 天体の残差成分の由来を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P312a 視線速度法を用いた連星ブラックホールの探査—天体力学的摂動論の応用

林 利憲 (東京大学), Shijie Wang (東京大学), 須藤 靖 (東京大学)

近年、LIGOによる重力波検出により、合体直前の連星ブラックホールが発見された。このような大質量かつコンパクトな連星ブラックホールの起源は大きな謎となっている。さて、連星ブラックホールの存在が明らかになった一方、質量、離心率、長半径といった軌道要素の一般的な性質についてはよく分かっていない。重力波は非常に弱いため、合体直前という、極めて限られた状況下でしか利用できない。また、ブラックホールは周囲に降着円盤等を持たない限り、観測可能な電磁波を發さず、直接観測は難しい。そこで、近傍を通過する恒星の運動から、間接的に連星ブラックホールを観測することを考える。連星ブラックホールの重力場下においては、恒星の運動はケプラー運動と僅かに異なる。その微小な差を検出する為に、系外惑星観測に伴い、既に1m/s以下の精度に達した視線速度法を用いた探査を考える。現在、Gaia衛星による恒星のアstrometry観測から、恒星—ブラックホール系を探査する試みがある。しかし一般的には、Gaiaの観測は連星ブラックホールと単一ブラックホールを区別する精度は期待できない。視線速度法は、その二者の区別を可能とする観測を提案しよう。

最初に、視線速度データに含まれる連星ブラックホールの軌道情報の性質を明らかにするために、同一平面・円軌道下で天体力学の摂動論を用いて、視線速度の解析的近似解の導出を行った。その結果、数値シミュレーションとの比較において、短期間に限定されるもの十分な精度をもつ近似解を得た。次に、より一般的な状況下についての数値シミュレーションを行い、上述の近似解を参考に、視線速度シグナルの性質を調べた。以上の結果に基づいて、視線速度法を用いた連星ブラックホールの検出可能性について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P313a 恒星フレア影響の評価に向けた、太陽系外惑星データベース ExoKyoto の整備

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

M型星は一般に、太陽型星に比べ磁気活動が活発である。そのためハビタブルゾーン内の惑星においてフレア等の影響が太陽系惑星の場合と比べ著しく大きいと予想され、この定量化が重要である。私達はこれまで、異なる定義のハビタブルゾーンを比較する ExoKyoto 太陽系外惑星データベース (2017年春季年会 P245a) に、恒星のフレア発生頻度の情報を入れ、惑星境界上のフレア強度についての考察等を行ってきた (2017年秋季年会 N850a)。

以上の研究を進展させ私達は今回、代表的な系外惑星系 (e.g., Proxima Cen b や Trappist-I e) に対して、以下の手順で放射線強度の影響評価を行った。まず、中心星の黒点面積から巨大フレア発生頻度の推定を行い (Maehara et al. 2017 PASJ)、1年に1回の頻度で発生するフレアのエネルギーと、その黒点が生じうる最大のフレアエネルギーを推定した。その上で、フレアに伴って中心星から惑星へと到達するプラズマ噴出 (CME) の軌道を考慮し、大気上端での高エネルギー陽子の強度とスペクトルを算出した。その上で、モンテカルロ計算コード PHITS を用いて、3つの異なる大気 (N_2+O_2 , CO_2 , H_2) の場合の大気シャワーを計算し高度毎の被曝量の推定を行なった。その結果、地球程度の大気圧を持つ場合、最大でも地表面では年間数ミリシーベルトの被曝にとどまり、大気が存在する限り、これらの惑星において地球型生命の発達に影響があるレベルの被曝は見られなかった。また、フレアによる XUV, EUV による影響評価も行ったが、地球程度の大気圧が保持される場合、これらの影響も限定的であることが示唆された。今後、大気損失の影響やフレアによる紫外線成分のエネルギー分布の詳細、オゾン層が破壊された場合の影響などを評価することにより、より詳細なハビタブル評価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](#)

P314a N 体計算による準惑星ハウメアのリング形成過程の検証

角田伊織 (京都大学), 石澤祐弥 (京都大学), 細野七月 (海洋研究開発機構), 佐々木貴教 (京都大学)

恒星の掩蔽観測によって準惑星ハウメアの周囲にリングが発見され、そのリングは、ハウメアの自転周期と 3:1 の平均運動共鳴を起こす位置にあることがわかった (Ortiz et al., 2017)。このリングの形成過程は、まだわかっていない。本研究では、このリングの形成過程を理解することを目的とする。我々は、ハウメアの自転による分裂によってハウメアの 2 つの衛星が形成されたという説 (Ortiz et al., 2012) に着目し、このモデルに基づいて以下のようなハウメア系形成のシナリオを提示した。まず、ハウメアから衛星サイズの破片が複数飛び散ったという状況を考える。三軸不等楕円体の形状をしているハウメアの自転によって、ハウメアの近くでは重力場が乱され、そこでは物体が安定して存在できない。また、安定領域にある物体のうち、ロッシュ半径の内側にあるものは、潮汐力によって破壊され、それがハウメアを公転することでリングになる。ロッシュ半径の外側に位置していた物体は、潮汐で軌道進化し、現在の衛星の位置まで移動する。以上のシナリオのうち、本研究では、軌道不安定領域の外側かつロッシュ半径の内側に位置している物体が潮汐破壊され、リングになる過程を検証する。まず、三軸不等楕円体の周囲の重力場を計算し、時間変動する重力場を組み込んだシミュレーションにより、ハウメアを公転する物体が安定して存在できる領域を見積もった。その結果、ちょうど現在のリングの位置よりも内側では、物体の軌道が不安定となることがわかった。一方、三軸不等楕円体の周囲のロッシュ半径を、完全剛体と完全流体に対して計算した。その結果、完全剛体ロッシュ半径と完全流体ロッシュ半径の間に現在のリングが位置することがわかった。実際のロッシュ半径の位置は、ハウメアを公転する物体の物質強度によって異なる。そのため、現在、パラメータスタディとして、物質強度を変数とした N 体シミュレーションを行っているところである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P315a 太陽系外天体オウムアムアの形状の起源解明に向けて: 衝突引き伸ばしによる極端細長形状の形成条件

杉浦圭祐, 小林浩, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

1I/Oumuamua は2017年10月にPan-STARRS望遠鏡によって発見された。この天体の平均半径は100m程度であり、太陽系外起源と考えられている。また、限られた観測期間の中で2.5等級程度の大きな光度変化を示しており、このことから中間軸/長軸比が少なくとも0.3よりも小さいような極端に細長い形状をしていると考えられている。いびつな形状は微惑星同士の衝突によっても形成されるため、1I/Oumuamuaの極端細長形状は微惑星衝突によって形成された可能性がある。そこで本研究では極端細長形状を形成する衝突条件を調べるため、弾性体力学に拡張されたSmoothed Particle Hydrodynamics法に自己重力及び破壊モデルと摩擦モデルを導入した計算コード (Sugiura et al. 2018 submitted to AA) を用いて、破壊された岩石で構成される半径50mの標的微惑星への衝突を、2衝突体の質量比 q 、摩擦係数 $\tan(\phi_d)$ 、衝突速度 v_{imp} 、衝突角度 θ_{imp} を様々に変化させて再現した。その結果、 $q \geq 0.5$, $\phi_d \geq 40^\circ$, $\theta_{\text{imp}} \leq 30^\circ$, $v_{\text{imp}} \leq 40 \text{ cm/s}$ という条件を満たす一部の衝突で中間軸/長軸比が0.3を下回るような極端細長形状が形成されることが分かった。惑星形成が起こる原始惑星系円盤の中で $v_{\text{imp}} \leq 40 \text{ cm/s}$ という小さい衝突速度を実現するのは、乱流が弱く (Shakura-Sunyaevの $\alpha < 10^{-4}$) 半径が7km以上の微惑星が存在しないような環境である。つまり、1I/Oumuamuaは惑星形成初期の原始惑星系円盤で形成され、そこから飛来してきた可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P316b 大気大循環モデルを用いた系外惑星の光度曲線解析による自転傾斜角推定

中川雄太, 小玉貴則 (東京大学), 石渡正樹 (北海道大学), 河原創, 須藤靖 (東京大学)

地球のように海陸の分布などによって色の不均一な惑星を遠方から観測すると、自転と公転に伴って観測される散乱光が変動する。この時間変動を解析すれば地表面に関する情報や惑星の自転情報を取り出すことができる。観測で角度分解できない太陽系外惑星の場合、表層の情報を取り出す手段はこの光度曲線解析に限られる。Kawahara (2016) は、惑星の光度曲線の周波数変調からその自転傾斜角と自転周期を推定する手法を提案し、地球のデータから雲の影響を取り除いた光度曲線を解析することでその有用性を示した。

今回我々は雲の効果も考慮しても自転傾斜角を推定できるかどうかシミュレーションで調べた。地球のように雲が形成されて地表の大部分を覆う惑星では、雲はその高い反射率で光度曲線に強く影響する。自転傾斜角の異なる惑星における雲構造と大気構造を矛盾なく考慮する必要があるため、我々は大気大循環モデル DCPAM5 を用いて雲の形成・運動を表現した。惑星表層環境は地球と揃えたが、自転傾斜角のみは0度から180度まで6通りに変更した。さらに輻射輸送計算と組み合わせることで惑星の散乱光度曲線を構成し、時間-周波数解析を行った。

この結果、北半球が照らされている様子をノイズなく観測できる場合、惑星の自転傾斜角と自転周期をよく推定できることがわかった。反対に大きな陸の少ない南半球では、本手法を用いた推定は困難であった。これは、北半球に集中する大きな陸の周りでは気候学的に雲の形成や運動が制限され、自転に伴う見かけの周期的変化が観測されうると考えられる。以上のことから、雲を考慮した場合における Kawahara (2016) の自転パラメータ推定法の適応可能性は惑星の地形に依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](#)

P317c 周連星惑星の原始惑星系円盤における軌道進化とその安定性

山中陽裕 (京都大学), 佐々木貴教 (京都大学)

連星周りでは単独星周りとは異なる惑星系が形成される可能性があるため、単独星のみならず連星周りの惑星形成を理解することは重要である。Kepler 宇宙望遠鏡によって、連星の近くを公転する周連星惑星が見つまっている。それらの惑星は、海王星から土星程度の惑星質量、およそ 1AU 以内の軌道長半径という共通した特徴を持っている。これらの惑星は、周連星原始惑星系円盤の遠方で形成した後、現在の軌道まで移動してきたと考えられる。一方、連星の公転によって時間変動する重力場により、連星の近傍には力学的な不安定領域が存在する (Holman & Weigert, 1999)。実際の周連星惑星は、この不安定領域境界のすぐ外側に位置している。また、連星周りの原始惑星系円盤の内側には空隙が生じる (Artymowicz & Lubow, 1994)。惑星の軌道移動はこの円盤内縁で止まると推測され、円盤内縁が軌道不安定領域の中に位置している場合、円盤ガスの散逸後に惑星軌道が不安定になる。そのため、円盤の散逸前に惑星が外向きに移動し、不安定領域を脱することが必要である。軌道不安定領域では、惑星は連星から角運動量を受け取り、外向きに移動しようとする。一方で、円盤のガス抵抗は惑星から角運動量を奪い内側へ落下させるように働く。我々は、軌道不安定領域の中でも、円盤のガス抵抗が十分に強ければ惑星の軌道発散が抑えられ、円盤の散逸によるガス抵抗の減衰に伴って惑星が外向きに移動して不安定領域を脱出すると考えた。以上の軌道移動が可能な連星系に制限を加えるため、我々は連星の離心率と質量比をパラメータとして N 体計算を行った。結果、惑星の不安定領域内の軌道移動が可能な連星離心率の範囲は、実際の周連星惑星を持つ連星系と調和的であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【Q. 星間現象】

9月20日(木) 午前(10:42-11:30) [G会場]

Q01a	10:42	小マゼラン雲中の高密度ダスト雲におけるコンパクト CO クランプの検出	竹腰達哉 (東京大学)
Q02a	10:54	ALMA による小型高速度コンパクト雲の詳細観測	竹川俊也 (国立天文台)
Q03a	11:06	高速度コンパクト雲 CO 0.02-0.02 の 3 mm 帯ラインサーベイ観測	岩田悠平 (慶應義塾大学)
Q04a	11:18	ALMA による銀河系中心の衝突分子雲の検出	田中邦彦 (慶應義塾大学)

9月20日(木) 午後(13:30-15:18) [G会場]

Q05a	13:30	銀河系中心部の二重らせん星雲に付随する分子雲の詳細観測	榎谷玲依 (名古屋大学)
Q06a	13:42	銀河中心 SgrB2(M) の Envelope における有機物 CH ₃ CN の検出	荒木光典 (東京理科大学)
Q07a	13:54	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN):銀河系内域における分子雲同定 2	齋藤弘雄 (筑波大学)
Q08a	14:06	FUGIN に基づく野辺山アンモニアサーベイ (KAGONMA) の現状:W33 について	村瀬建 (鹿児島大学)
Q09b	14:18	野辺山 45m 望遠鏡を用いた outer 領域分子雲 Kag71 のアンモニアサーベイ	平田優志 (鹿児島大学)
Q10b	14:18	SNR shock が分子雲スケールの化学組成に与える影響: NRO 45m による分子雲 G23.3-0.4 のマッピングラインサーベイ	吉村勇紀 (東京大学)
Q11b	14:18	銀河系中心領域の磁気流体数値計算コード開発	柿内健佑 (名古屋大学)
Q12a	14:30	スーパーバブル 30 Doradus C における衝撃波と星間ガスの相互作用	山根悠望子 (名古屋大学)
Q13a	14:42	野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた超新星残骸 G166.0+4.3 に付随する分子雲の発見と過電離プラズマ生成起源への示唆	松村英晃 (Kavli IPMU)
Q14a	14:54	過電離プラズマ成因解明に向けた超新星残骸 W44 における分子雲からの影響の調査	尾近洸行 (京都大学)
Q15a	15:06	大マゼラン雲の Ia 型超新星残骸 N103B に付随する分子雲の発見	佐野栄俊 (名古屋大学)

9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [G会場]

Q16a	09:30	Chandra 衛星による超新星残骸 Tycho の縞状非熱的 X 線放射の時間変動観測	奥野智行 (京都大学)
Q17a	09:42	機械学習 VAE を用いた Tycho の超新星残骸の X 線解析	岩崎啓克 (立教大学)
Q18a	09:54	Chandra X 線観測衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7-3946 北西領域の hot-spot の解明	日暮凌太 (立教大学)
Q19a	10:06	6.4 keV 鉄輝線を用いた超新星残骸における MeV 宇宙線の測定	信川久実子 (奈良女子大学)
Q20a	10:18	すざく衛星による超新星残骸 IC 443 からの中性鉄輝線の発見	平山ありさ (奈良女子大学)
Q21a	10:30	NuSTAR による超新星残骸 W49B の観測 (1): 熱的放射編	山口弘悦 (NASA/GSFC)
Q22a	10:42	NuSTAR による超新星残骸 W49B の観測 (2): 非熱的放射編	田中孝明 (京都大学)
Q23a	10:54	相対論的衝撃波における航跡場加速	岩本昌倫 (東京大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

Q24b	11:06	プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションのための新粒子解法 銭谷誠司 (京都大学)
Q25b	11:06	CTA による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の観測シミュレーション 高橋知也 (山形大学)
Q26b	11:06	「すざく」衛星によるベラ超新星残骸のパルサー周辺部の観測 金丸善朗 (宮崎大学)
Q27b	11:18	かに星雲の可視偏光における解析手法の構築 高木健吾 (広島大学)
Q28b	11:18	すばる望遠鏡 MOIRCS による銀河面拡散 X 線放射構成種族の深撮像観測 森鼻久美子 (名古屋大学)
9月21日 (金) 午後 (13:30-15:30) [G会場]		
Q29a	13:30	<i>Chandra</i> と <i>XMM-Newton</i> を用いた超新星残骸 G359.1-0.5 の X 線空間分解解析 鈴木寛大 (東京大学)
Q30a	13:42	パルサー星雲 G21.5-0.9 と 3C 58 での粒子の空間拡散と流体運動への反作用 石崎渉 (東京大学)
Q31a	13:54	XMM-Newton 衛星搭載の RGS による超新星残骸 N49 の X 線精密分光 天野雄輝 (京都大学)
Q32a	14:06	偏光 H α 輝線による超新星残骸衝撃波での宇宙線量の測定とライマン輝線捕獲の影響についての理論研究 霜田治朗 (東北大学)
Q33a	14:18	フェルミ衛星 LAT 検出器による近傍原子雲領域の星間ガス・宇宙線の研究 水野恒史 (広島大学)
Q34a	14:30	あかり全天サーベイデータを用いた V1065 Cen 周囲のダストの性質調査 遠藤いずみ (東京大学)
Q35a	14:42	ガンマ線バーストの X 線残光を用いた天の川銀河の星間ガスの評価 (2) 小山恭弘 (広島大学)
Q36a	14:54	冷たい水素原子ガスに着目した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)
Q37a	15:06	ペガサスループに付随する星間物質の詳細解析 佐伯駿 (名古屋大学)
Q38a	15:18	Measuring the ionisation fraction across the Galaxy using Planck cold clumps Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University /NAOJ)

Q01a 小マゼラン雲中の高密度ダスト雲におけるコンパクトCOクランプの検出

竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 南谷哲宏, 川邊良平 (国立天文台), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台), 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大)

一酸化炭素 (CO) のミリ波帯の分子輝線観測は、低温・高密度な水素分子ガス、そして星形成の母体となる巨大分子雲 (GMC) のトレーサーとして、銀河系内や近傍銀河の観測的研究に用いられている。一方近年、ALMA 望遠鏡や単一鏡において遠方銀河における CO 輝線の観測的研究が進展しているが、星間物質の金属量が異なる環境において、CO 輝線が GMC 全体のよいトレーサーであるかは自明ではない。したがって、異なる銀河環境下における低温ガスの描像を正確に明らかにするために、低金属量環境下における CO 輝線がどのような天体を効率的にトレースするかを理解する必要がある。近年 ALMA による高感度・高分解能観測によって、銀河系の 1/5 から 1/10 の金属量を持つ近傍矮小銀河では、CO 輝線は典型的に数 pc 程度のコンパクトなクランプをトレースすることが明らかにされた。しかしこれらの観測は星形成が活発な領域に対する観測であり、強い紫外線場による CO 分子ガスの光解離の影響を排除できない。そこで我々は、銀河系の約 1/5 の金属量を持つ小マゼラン雲において、ASTE 望遠鏡を用いた 1.1mm 連続波で発見された高密度ダスト雲のうち、活発な星形成を伴う天体とそうでない天体 1 つずつに対して、ACA を用いた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線の観測を行った。この結果、星なしを含むコンパクトな CO クランプ 27 個を検出することに成功した。これらの天体の多くは ~ 3.5 pc の空間分解能でも分解されていなかった。また、典型的なビリアル質量は $\sim 10^3 M_{\odot}$ であり、他の矮小銀河における高分解能観測と同程度であった。以上の結果は、低金属量環境下における CO 形成は星形成に直結するコンパクトなクランプスケールで選択的に進み、より大きな GMC 相当のスケールでは十分に CO を形成しないシナリオを支持している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a ALMAによる小型高速度コンパクト雲の詳細観測

竹川俊也 (国立天文台), 岡 朋治, 岩田悠平, 辻本志保 (慶應義塾大学), 野村真理子 (東北大学)

銀河系中心核から半径 ~ 200 pc の領域は Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれ、高温かつ高密度な分子ガスが密集する特異な領域である。この領域において、高速度コンパクト雲 (HVCC) と呼ばれる極端に大きな速度幅 ($\Delta V \gtrsim 50 \text{ km s}^{-1}$) を有する分子雲が多数発見されている。HVCC の起源としては、これまで超新星爆発や分子雲衝突、点状重力源による重力散乱などが考えられてきた。近年、James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) を用いて銀河系中心核近傍 20 pc 以内の領域を HCN $J=4-3$ および $J=3-2$ 輝線により観測したところ、大きさが 1 pc 程度と小型な HVCC を新たに 2 つ発見した。これらの速度構造と運動エネルギー、そして明るい恒星状天体が同方向に検出されないことから、 ~ 10 太陽質量以上の非活動的なブラックホールが高速で分子雲に突入することで小型 HVCC が形成されたとする説を提唱した (Takekawa et al. 2017)。

今回我々は、これら 2 つの小型 HVCC の起源解明を目的として、ALMA を用いて HCN $J=4-3$ 、 HCO^+ $J=4-3$ および CS $J=7-6$ による詳細なイメージング観測を行った。観測は 2018 年 5 月に行われ、 $1''$ を切る空間分解能で 2 つの小型 HVCC の内部構造を詳細に描き出すことに成功した。その結果、小型 HVCC は大きさが 0.2 pc 程度の極めて小さな複数の分子雲から成り、さらにその内の 1 つは異常に広い速度幅を有し急峻な速度勾配を示すことがわかった。本講演では、ALMA による観測で明らかとなった小型 HVCC の詳細な空間・速度構造および物理状態を紹介し、その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](#)

Q03a 高速度コンパクト雲 CO 0.02–0.02 の 3 mm 帯ラインサーベイ観測

岩田悠平、岡 朋治、Justin A. Roll、辻本志保 (慶應義塾大学)、竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心分子層中に発見された高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC) は、非常に広い速度幅 ($\Delta V \gtrsim 50 \text{ km s}^{-1}$) とコンパクトな空間サイズ ($d \lesssim 10 \text{ pc}$) で特徴づけられる特異分子雲の一群である。銀河系中心核 Sgr A* から約 5' 東に位置する CO 0.02–0.02 は、特に energetic ($E_{\text{kin}} \sim 10^{51.5} \text{ erg}$) かつ高温・高密度状態で特徴づけられる HVCC である。その南東部には空洞が付随しており、空洞内部に赤外線点源の集団が見られる。これらの事から、ここに付随する星団中の度重なる超新星爆発が、CO 0.02–0.02 の膨大な運動エネルギーの供給源と考えられてきた。一方で、近年行われたミリ波サブミリ波スペクトル線の詳細観測から、CO 0.02–0.02 の位置-速度構造は単純な膨張運動モデルではフィットできず、むしろ極めて限られた空間領域に高速度成分が集中する特異な構造を持つことが分かってきた。この事を説明するために、より複雑な膨張モデル、または他の HVCC で成功を収めた点状天体による重力散乱モデル等が検討された (岩田他、2017 年春季年会 Q43a)。

今回我々は、CO 0.02–0.02 の起源を探る目的で、同分子雲中の 2 方向について、野辺山 45 m 望遠鏡を用いた 3 mm 帯のラインサーベイ観測を行った。観測は 2018 年 1 月に行われ、観測点は最高速度成分の方向 $(l, b) = (0.014^\circ, -0.024^\circ)$ と、最大 CO 柱密度方向 $(l, b) = (0.014^\circ, -0.020^\circ)$ の 2 点である。2 日間の観測により、81 GHz から 116 GHz の周波数帯域を無バイアスにサーベイし、速度分解能 $\sim 3 \text{ km s}^{-1}$ で $\Delta T_A^* \leq 0.05 \text{ K}$ の高品質な広帯域スペクトルを取得した。その結果、少なくとも 26 種の分子種から 41 本のスペクトル線を検出した。特徴的なものは、SiO や SO 等の難揮発性分子の検出であり、 $\text{CH}_3\text{OH } 8_0-7_1 \text{ A}^+$ (95.169 GHz) などの高励起スペクトル線も検出された。これらのデータを元に、講演では主に化学的な見地から CO 0.02–0.02 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](#)

Q04a ALMA による銀河系中心の衝突分子雲の検出

田中邦彦 (慶應大)

銀河系中心は銀河系の分子ガス質量の数%を占める極端な分子雲密集領域であり、分子雲相互の頻繁な衝突が予想される。事実 Sgr B2、Brick、 50 km s^{-1} GMC など数個の分子雲衝突 (候補) 領域がすでに知られているが、標準的な衝突頻度を仮定すれば 100 個前後が存在していてもおかしくはない。本講演では、銀河系中心衝突分子雲候補の一つ、CO-0.40-0.22(CO-0.4) の ALMA Cycles-1,5 での観測結果を報告する (Tanaka 2018a)。同分子雲では、単一鏡観測が検出した 100 km s^{-1} 超の高速分子放射 (Tanaka et al 2014 他) に基づき、強い衝撃波圧縮/加熱の存在が示唆され、分子雲衝突あるいは中間質量ブラックホール (IMBH) の潮汐力がその加速源として想定されていた。ALMA の高分解能画像の解析から、(1) 高速度放射は 3 速度成分 ($-40/-60/-80 \text{ km}^{-1}$) の乱雑な集合であり、潮汐変形の数値場と一致しない (2) 広輝線 HCN 放射は、 -80 km s^{-1} のフィラメントが -40 km s^{-1} 分子雲と交差する二つの狭い領域に限られ、フィラメント断面を頂点とした V 字型の鋭い速度勾配を形成する (3) $-40, -80 \text{ km s}^{-1}$ 成分は単一鏡では独立の分子雲に見えるが、ALMA の ^{13}CO 画像では無数の広輝線成分によって架橋されている (4) -80 km s^{-1} フィラメントは温度 100 K、密度 10^6 cm^{-3} 以上の高温・高密度状態にある、の四つの主要な結果を得た。特に (2)(3) は分子雲衝突のシミュレーション (Haworth et al. 2017a 他) をよく再現し、CO-0.4 が進行中の分子雲衝突領域の良好なサンプルであることを意味する。類似した高速度分子輝線 feature が銀河系中心に無数に存在するため、頻繁な分子雲衝突を銀河系中心部の特異な星形成の一要因として考慮すべきである。一方、先行研究が報告する”IMBH と相互作用する分子雲の高速度放射” は、地球公転の補正失敗による誤検出であり、IMBH 候補とされた 1mm 連続波放射源は銀河円盤部の星形成コアであることも確認された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q05a 銀河系中心部の二重らせん星雲に付随する分子雲の詳細観測

榎谷玲依 (名古屋大), 鳥居和史 (国立天文台), 朝比奈雄太 (京都大), 松元亮治 (千葉大), 井上剛志, 犬塚修一郎, 立原研悟, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大)

二重らせん星雲は, $(l, b) = (0^\circ.1, 0^\circ.8)$ に位置する赤外線星雲であり, その特異な見た目と位置する方向から, 発見当初より銀河系中心部の磁気活動に起因する現象であると考えられてきた (Morris et al. 2006). その後の電波連続波による観測から, 二重らせん星雲に対応したシンクロトロン放射や偏波度の有意な増大が検出されている (Tsuboi & handa 2010; Law et al. 2008). 我々は, これまでに NANTEN2, Mopra, CSO の三基の電波望遠鏡を用いて二重らせん星雲に対して CO 輝線を用いた観測を実施し, 銀河系中心部核周円盤からタワー状に二重らせん星雲までのびる分子雲を発見した. さらに, この分子雲が星雲に付随すること, 銀河系中心部の天体であることを明らかにし, 付随分子雲が銀河系中心部核周円盤から立ち昇る磁気タワージェットのパウショックの圧縮によって形成されたというモデルを提案した (Enokiya et al. 2014; Torii et al. 2014).

近年, 我々は, 新たに ASTE・野辺山 45m 鏡を用いた付随分子雲の観測を行い, これまでの倍以上良い最大 17 秒角 ($= 0.7$ pc) の $^{12,13}\text{CO}(J=1-0)$, $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ のデータを得た. このデータから, 付随分子雲は, 長さ 2 pc, 柱密度 $10^{21-22} \text{ cm}^{-2}$ 程度の約十個の楕円型のクランプに分解され, それらの長軸が磁力線と垂直になるように分布することを明らかにした. また, クランプの柱密度は銀緯が低いほど高くなっていることを明らかにした. 磁気タワージェットモデルに照らし合わせると, このクランプはタワージェットが上昇する際に引き起こされるパウショックと磁場が相互作用することで圧縮され形成されたと考えられる (Inoue et al. 2013, 2018). 本講演では, 以上の観測結果を手掛かりに磁気タワージェット以外の起源についても言及する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q06a 銀河中心 SgrB2(M) の Envelope における有機物 CH₃CN の検出

荒木光典（東京理科大学）、高野秀路（日本大学）、小山貴裕（東京理科大学）、久世信彦（上智大学）、亀谷和久（国立天文台）、築山光一（東京理科大学）

これまで、有機物の探査は、晩期型星の星周雲、暗黒星雲、星形成領域など主として密度の高い分子雲で行われてきた。しかし、これらの天体は分子雲の局所構造であり、量においては、密度の低い分子雲（diffuse cloud など）が1~2桁多いとされている。分子雲進化において、そこでの有機物の発見は有機物の進化の歴史を明らかにすることになる。ところが、そこに存在する分子は弱い衝突励起により電波を放射できず、一般に輝線を観測することは困難である。しかし、吸収線を用いれば密度の低い分子雲の環境下でも観測することができる。特にCH₃CNは軸周りの回転が放射冷却を起こさないために、強い吸収線を生ずる。我々はこれを Hot Axis Effect として、これまで定式化してきた。

今回、密度の低い分子雲でこの分子の高励起順位からの吸収線を捉えるため、野辺山宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡を用い、銀河中心 SgrB2(M) 方向の73 GHz に位置する $J_K = 4_3-3_3$ 遷移の観測を行った。その結果、この遷移の吸収線を SgrB2(M) の envelope で検出できた。柱密度は $1.3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、水素分子の運動温度は95 K、励起温度は2.9 Kとなった。これまで観測された diffuse cloud や SgrB2(M) のコアと化学組成の比較を行ったところ、envelope とコアでは相互に類似し、一方、diffuse cloud と envelope では相互に異なることが明らかになった。近年、「envelope や diffuse cloud 等の密度の低い分子雲には、原子ガス由来のものと密度の高い分子雲由来のものがあり、両者は化学組成が大きく異なる」ことが示唆されている（Price et al. 2003, MNRAS, 343, 1257）。今回の結果はこのモデルと矛盾しない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 銀河系内域における分子雲同定 2

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

銀河系内域は、複数の渦状腕、腕間、棒状構造と異なる環境下での分子雲が存在する領域であり、活発な星形成領域も数多く見られる。このため、銀河系内域は、腕間ガスから巨大分子雲への分子ガス構造の進化や巨大分子雲内で起こる大規模な星形成の発生メカニズムを検証する上で非常に適した領域である。

このような観点から、我々は FUGIN データの銀河系内域に対して Dendrogram の結果を用いた分子雲同定を進めている。FUGIN データは、数十秒角スケールから数度角スケールに及ぶ分子ガス分布を明らかにしたデータであり、銀河系内における分子ガスの分布から分子雲の内部構造も把握することができる。また、Dendrogram は階層構造の把握に適したアルゴリズムである。我々は、Dendrogram の結果に、速度成分を分離する閾値を組み込むことで分子雲構造の同定方法の構築を行ってきた (2017 年秋季年会参照)。さらに、同定方法に修正を加えつつ、銀河系内域全体 (銀経 10 – 50 度) に対して分子雲同定を行い、約 10 万個に及ぶ分子雲候補の構造の同定に成功した。現時点で距離の検証は不十分ではあるが、分子雲候補の物理量は、サイズ 0.1 pc - 36 pc, 質量 1.0 Mo - 1.4×10^6 Mo に及ぶ、物理量範囲の広い分子雲候補のサンプルの取得に成功した。

本公演では、同定された分子雲の物理量の特性や分子雲の物理状態について報告する。さらに、簡易解析ではあるが、銀河系内域と外域に存在する分子雲の質量関数の指数に大きな違い (内域: -1.9, 外域: -2.5) も確認された。このような銀河系内における領域に対する分子雲の物理的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](#)

Q08a FUGINに基づく野辺山アンモニアサーベイ (KAGONMA) の現状:W33について

村瀬建, 上杉正裕, 水窪耕平, 岩井智美, 大山まど薫, 椎原駿介, 前畑美瑠, 楊梓, 和田晃司, 石崎滉也, 平田優志, 半田利弘, 面高俊宏, 高桑繁久 (鹿児島大学), 梅本智文, 松尾光洋, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 砂田和良 (水沢 VLBI 観測所), 仲野誠 (大分大学), 久野成夫 (筑波大学)

NH₃ 分子は 1968 年に星間空間で発見されて以来、数多くの観測がなされてきた。また、同一分子種が周波数 23GHz 付近に多数の輝線を放つ多原子分子で、その輝線強度比から、観測天体の様々な物理量を知ることができる。しかしながら、これまでの多くの観測では分子雲コアの 1 点観測のみであり、分子雲全体にわたる広範囲のマッピングサーベイを行った例は数少ない。そこで、我々は KAGONMA (KAgoshima Galactic Object survey with Nobeyama 45M telescope in Ammonia lines) として数年前より、野辺山 45m 電波望遠鏡のバックアップ共同利用観測として複数の分子雲に対する NH₃ 分子のマッピング観測を実施している。目標は分子雲中での温度分布を手掛かりに個々の星形成領域の性質と、星形成過程の解明である。これまで、NGC7000 や Monkey Head Nebula では、連鎖的星形成が起こっているという従来の解釈とは異なる結論を示した (Chibueze et al. 2013 など)。ここ数年は、FUGIN サーベイの C¹⁸O のマップを元に 72 個の分子雲を選定し、2017 年シーズンまでに 6 天体の観測が完了した。本講演では、その中から (l,b)=(12.82°,0.19°) に位置する大質量星形成領域 W33 について報告する。我々は、W33 main, W33A main W33A を含む計 258 点の観測を完了し、柱密度や回転温度の分布を見積もった。その結果、W33 分子雲は東西で温度や光学的厚さが異なり、星形成の様子も違っていることがわかった。講演では他の観測との比較も交え、相違の原因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](#)

Q09b 野辺山 45m 望遠鏡を用いた outer 領域分子雲 Kag71 のアンモニアサーベイ

平田優志, 半田利弘, 面高俊宏, 村瀬建, 和田晃司, 石崎滉也, 上杉正裕, 水窪耕兵, 岩井智美, 大山まど薫, 椎原駿介, 楊梓, 前畑美瑠, 高桑繁久 (鹿児島大学), 梅本智文, 松尾光洋, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 砂田和良 (水沢 VLBI 観測所), 仲野誠 (大分大), 久野成夫 (筑波大学)

アンモニア分子は 23-24GHz の周波数帯に複数の輝線をもつ。特に、1つの反転遷移に対して5本の超微細構造線を持つので、異なる反転遷移輝線と組み合わせると分子種の相対存在比によらず光学的深さや励起温度などを求めることができる。また臨界密度が高く分子雲コアのトレーサーとなることから、星形成領域の観測において非常に重要な役割を果たす。

我々KAGONMA(KAgoshima Galactic Object survey with Nobeyama 45M telescope in Ammonia lines) グループでは野辺山 45m 電波望遠鏡を使用して、銀河面にある複数の分子雲をアンモニア (J,K)=(1,1)(2,2)(3,3) と水メーザーでマッピング観測している。本講演では $(l, b) = (224.274^\circ, -0.833^\circ)$ 周囲にあるフィラメント状の分子雲 Kag71 の観測について発表する。観測期間は2016年2月と12月から2017年5月および同年12月から2018年5月までの3シーズンである。ビームサイズ75秒角に対し37.5秒角のグリッドで248点をポジションスイッチでマッピングした。速度分解能0.38km/s に対し0.035K(rms) 程度の感度を達成した。得られた回転温度は分子雲の中のほとんどで一様に低く13K程度であった。これは Elia+2013 が示した dust 温度と consistent である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10b SNR shock が分子雲スケールの化学組成に与える影響: NRO 45m による分子雲 G23.3-0.4 のマッピングラインサーベイ

吉村勇紀、谷口大輔、西村優里、河野孝太郎、小林尚人（東京大学） 安井千香子（国立天文台）

ALMA による高分解観測の進展により、系外銀河においては 10-100 pc 程度の分子雲スケールでの化学環境が明らかになりつつある。しかし、分子雲は高密度なコアから希薄な領域までを含む多様な系であるため、分子雲スケールでの化学組成の解釈は容易ではない。一方系内における分子種の探査は高密度でかつ狭い (~ 0.1 pc) 領域でよく行われてきたが、分子雲スケールで薄く広がった成分についてはほとんど調べられてこなかった。この分解能の乖離を解消し、分子雲スケールでの化学組成の意味を理解するには、単一鏡でも容易に分解能が < 1 pc に達する系内分子雲を 10 pc 以上の大スケールでマッピングし、空間分解された場合と比較することが一つの有効な手法となる。すでに大質量星形成領域や暗黒星雲などで複数のマッピングラインサーベイが実行されているが、今回我々は未だ探査されていない環境的要因として、超新星残骸 (SNR) の shock が化学組成に与える影響に着目した。そこで複数の SNR との相互作用が報告されている分子雲 G23.3-0.4 に対して、野辺山 45 m 望遠鏡を用い、およそ $80 \text{ pc} \times 20 \text{ pc}$ の領域に対して 3 mm 帯のマッピングラインサーベイを行った。初期成果として、分子雲スケールの化学組成を先行する他のマッピングラインサーベイと比較した結果、分子雲スケールで HCN が HCO^+ に対して卓越することがわかった。そこで領域内での HCN/ HCO^+ 比の分布を調べたところ、21 cm 連続波でトレースされる SNR シェル構造に沿って、広範囲にこの比が高い傾向にあることがわかった。本講演では他の分子種も含め、SNR shock が分子雲スケールの化学組成に与える影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11b 銀河系中心領域の磁気流体数値計算コード開発

柿内健佑 (名古屋大学 / 東京大学), 鈴木建 (東京大学), 井上剛志 (名古屋大学)

天の川銀河の中心から 200-300 パーセクの周辺領域には、濃密な分子ガスが幅広く集積している。これらの分子ガスの速度構造は銀河回転に沿った円軌道では説明できない複雑な様相を示すが、その力学機構は未解明である。さらに、空間構造としても特徴的で、天の川銀河の中心軸に対して非軸対称なガス分布構造をしている。

ここで、観測事実に基づく銀河系中心領域での磁場強度を考慮すると、磁場のエネルギーは星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵、あるいは超越する。これは、磁場が星間ガスの動力学を支配し得る重要な役割を担うことを示唆している。実際に、天の川銀河中心領域における磁気流体ガスの運動を扱った従来の大規模数値実験では、磁気活動が動径方向や鉛直方向の速度成分を励起することを示し、観測事実から考察される複雑な速度構造を再現する可能性を既に議論している (Suzuki et al. 2015, Kakiuchi et al. 2018)。しかし、これらの数値実験では計算を安定的に解くために、恒常的に温度を高温状態に固定する単純化を行っており、低温である分子ガスなどの観測結果と直接比較が難しく、温度の時間進化を実装したより現実的な数値実験が要請される。

以上の背景を踏まえ、本研究では、従来の磁気流体数値計算コードに以下の改良を加える。まず、本計算は磁気流体をメッシュ法で空間分割しているが、極座標系から円柱座標に変更し、中心近傍においてもより高銀緯のガスに対応した計算を行う。次に、断熱的にエネルギー方程式を解き、その温度進化を再現する。さらに、エネルギー方程式に輻射による加熱と冷却の効果を入れた計算を行い低温ガスの取扱いを可能とする。本講演では、これらの改良から得られた新たな結果についての第1次報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12a スーパーバブル 30 Doradus C における衝撃波と星間ガスの相互作用

山根悠望子, 佐野栄俊, 吉池智史, 長屋拓郎, 山本宏昭, 立原研悟, 田村陽一, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), Omnarayani Nayak, Margaret Meixner (Johns Hopkins 大学)

30 Doradus C は, 大マゼラン雲に位置する直径 ~ 90 pc のスーパーバブルである. シェルの西部でシンクロトロン X 線が明るいことから, 宇宙線加速の現場として注目される (e.g., Bamba et al. 2004). これまでに我々は, ASTE による分解能 $22''$ (~ 5 pc) の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 観測を行い, 直径 $\sim 6-12$ pc の分子雲を 23 個同定した. これらの分子雲がシェル西側のみ分布することから, 超新星残骸 (SNR) 衝撃波と星間ガスの相互作用と, シンクロトロン X 線の増光や宇宙線電子加速との関連性を指摘した (日本天文学会 2016 年秋季年会 山根ほか).

本研究では, ALMA Cycle 3 Band 3 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$, Cycle 5 Band 7 $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ データを用い, 30 Doradus C 西部の分子雲分布を $\sim 3.4''-4.8''$ ($\sim 0.7-0.9$ pc) の高い分解能で明らかにした. これにより ASTE で同定した分子雲をそれぞれ直径 ~ 2 pc の複数の分子雲クランプに分解した. これらのピリアル質量は $\sim 10^3 M_{\odot}$ であり, 水素分子密度は $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ である. クランプは X 線シェル外縁部に沿っているものに加え, シェルの内部にも存在している. また, 分子雲クランプ周りの sub-pc scale の X 線増光も確認できた. さらに, 直径 ~ 2 pc, $\Delta V \sim 10 \text{ km s}^{-1}$ の wing を持つ分子雲が見つかり, その位置に Young Stellar Object (YSO) が分布している (Gruendl et al. 2009). SED fitting の結果, YSO の質量 $\sim 14.30 M_{\odot}$, 光度 $\sim 2.59 \times 10^4 L_{\odot}$ という値を得た. 以上より wing は YSO からのアウトフローと考えて矛盾せず, dynamical age は $\sim 2 \times 10^5 \text{ yr}$ と推定できた. シンクロトロン X 線シェルを形成した SNR の年齢が $\sim 6000 \text{ yr}$ (H.E.S.S. col. et al. 2015) であるため, この YSO は衝撃波の通過以前に形成されたと考えられる. 以上を踏まえ, 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](#)

Q13a 野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた超新星残骸 G166.0+4.3 に付随する分子雲の発見と過電離プラズマ生成起源への示唆

松村英晃 (東京大学), 佐野栄俊, 山根悠望子 (名古屋大学), 田中孝明, 内田裕之 (京都大学)

過電離プラズマ (RP) は電離過程に対して再結合過程が優勢であるプラズマであり、現在までの X 線観測によって 15 個の超新星残骸 (SNR) から発見されている。RP の生成起源については諸説あるが、SNR のイジェクタが比較的密度の高い星周物質から希薄な星間物質へ抜け出した際の断熱冷却を起源とする希薄化説 (Itoh & Masai 1989) と、高温の SNR プラズマと付随する低温の分子雲とが熱接触した際の熱伝導による冷却を起源とする熱伝導説 (Kawasaki et al. 2002) があり議論が続いている。生成起源解明のためには、SNR 周辺のガス環境と熱的プラズマとの空間分布の比較が有効である。

G166.0+4.3 は東側に小さな電波シェル、西側に大きなシェルを持つ SNR であり、X 線天文衛星「すざく」によって小さいシェル領域のみから RP が発見されている (Matsumura et al. 2017)。この東領域は GeV ガンマ線で明るく (Fermi 衛星観測; Araya 2013)、分子雲の存在が期待できるが、直接的な分子雲観測は行われてこなかった。そこで、我々は野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて SNR 周辺の $8.7 \text{ arcmin} \times 8.7 \text{ arcmin}$ の領域 5 箇所を観測した。そのうちの東側の 4 つの領域で、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ および $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の 3σ 以上の有意な放射を発見した。一方で西側の領域からは有意な放射は見られなかった。東領域の CO の分布は小さな電波シェルに対応する形状であり、また輝線の幅が広いことから分子雲と SNR とが相互作用していることが示唆される。分子雲と接触している領域でのみ RP が発見されていることから、これらの結果は G166.0+4.3 の RP の生成起源が熱伝導であることを支持している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14a 過電離プラズマ成因解明に向けた超新星残骸 W44 における分子雲からの影響の調査

尾近洸行, 田中孝明, 内田裕之, 奥野智行, 天野雄輝, 鶴剛 (京都大学), 山口弘悦 (NASA/GSFC), 松村英晃 (東京大学)

W44 は、電波の観測によって分子雲との相互作用が確認されている、銀河系内の超新星残骸 (SNR) である。X 線天文衛星 *すざく* による観測から、これまでの SNR 進化の描像に反する再結合が優勢な過電離プラズマ (RP) の存在が明らかになっている (Uchida et al. 2012, ApJ, 808, 77)。我々は、*すざく* による観測から、W44 を含む幾つかの SNR に対して、RP の電子温度が分子雲の付随する領域で低くなっていることを発見した (IC 443: Matsumura et al. 2017, ApJ 851, 73; W28: Okon et al. 2018, PASJ in press; W44: 2018 春季年会 Q09a 松村英晃)。このことは、高温のプラズマが分子雲によって冷却を受け、RP を生成したことを強く示唆する。

W44 は、X 線帯域で特徴的な clump 状の構造 (≤ 1 pc) を持つ。また、数値シミュレーションから、SNR が分子雲と衝突した際に、両者が激しく混ざり合い sub pc から数 pc 程度の clumpy な構造の生成が予想されている (Slavin et al. 2017, ApJ, 846, 77)。これらをヒントに、W44 の clump 構造に沿って RP の状態を調べることで、分子雲による冷却過程の詳細に迫ることができると考えた。我々は、*すざく* 衛星 (HPD: 2 分 \sim 1 pc) と比較して空間分解の良い *XMM-Newton* 衛星 (HPD: 15 秒 \sim 0.13 pc) で取得した高統計のデータ (総有効露光時間: \sim 350 ks) を用いて、W44 の構造を反映した領域ごとの解析を行った。その結果、明るい clump 領域に対しその周辺領域で、RP の電子温度が低く、過電離の度合いが大きいことを発見した。本講演では、解析から求めた RP のパラメータの詳細を報告し、分子雲からの影響について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15a 大マゼラン雲の Ia 型超新星残骸 N103B に付随する分子雲の発見

佐野栄俊, 山根悠望子, 長屋拓郎, 吉池智史, 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 藤井浩介 (東京大学), 水野範和, 河村晶子 (NAOJ), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 大西利和 (大阪府立大学)

N103B (SNR 0509–68.7) は, 大マゼラン雲の巨大星団 NGC 1850 の縁に位置する超新星残骸 (SNR) である. 年齢は 380–860 年と若く, その視直径は $27'' \times 29''$ (~ 6.8 pc) と小さい (Rest et al. 2005). *Chandra* X 線衛星により, シェル状構造が分解されている (e.g., Lewis et al. 2003). 鉄と酸素の存在比および空間構造から Ia 型に分類されている (e.g., Hughes et al. 1995; Lopez et al. 2011). 近年, 密度 $\sim 5000 \text{ cm}^{-3}$ の電離した星周物質が特定され, 主系列の surviving companion 候補がシェル中心部で発見された (Li et al. 2017). これは single-degenerate 起源を示唆しており, Ia 型超新星の爆発メカニズムを探るうえで注目されている (e.g., Williams et al. 2014).

今回我々は, ALMA 12 m アレイによる $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測を行なったので報告する (#2015.1.01130.S). 角度分解能は $1.92'' \times 1.73''$ (~ 0.4 pc) である. 結果として, シェル南東部の縁に綺麗に沿う分子雲構造を捉えた. これらの分子雲は位置-速度図上で膨張構造を示しており, 膨張速度は $\sim 5 \text{ km s}^{-1}$ である. N103B の年齢は若いため, これらのガス膨張運動を衝撃波加速で説明することは難しく, むしろ爆発前から存在していた可能性が高い. また, シェル中央部と南西部に, サイズ ~ 1 pc, 質量 ~ 100 太陽質量の分子雲クランプを発見した. これらは $\text{H}\alpha$ で特定された星周物質と良い空間一致を示す. さらに南西部のクランプについては, SNR 中心方向から吹き流されたようなテイル構造を持つ. 一方, X 線で明るいシェル北西部では有意な CO 放射はみられなかった. 以上の結果を踏まえ本講演では, N103B の形成モデルとして, wind bubble 内での Ia 型超新星爆発シナリオを提案する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a Chandra 衛星による超新星残骸 Tycho の縞状非熱的 X 線放射の時間変動観測

奥野智行, 田中孝明, 内田裕之, 尾近洸行, 天野雄輝, 鶴剛 (京都大学)

Tycho's SNR (以下、Tycho) は、1572 年に超新星爆発を起こしたという記録が残っている非常に若い超新星残骸 (SNR) である。X 線帯域では、熱的放射と非熱的放射の双方が観測されており、後者は衝撃波で TeV 帯域まで加速された電子からのシンクロトロン放射であると考えられている。非熱的放射が支配的となる hard band (4.0–6.0 keV) では、西部と南部に $\lesssim 10$ arcsec ピッチの縞状の特徴的な構造があることが知られており、これらの構造ではスペクトル解析から磁場乱流を示唆する結果が報告されている (Eriksen et al. 2011)。こうした構造は他の SNR では見つかっておらず、その成因は明らかにされていない。

この縞状構造の成因を探る手段として、我々は放射の時間変動に着目した。例えば、Tycho 同様、若い SNR である Cas A や RX J1713.7–3946 において、X 線放射強度の年スケールの時間変動が観測されている (Cas A; Patnaude & Fesen 2007, Uchiyama & Aharonian 2008, RX J1713.7–3946; Uchiyama et al. 2007)。これらの速い強度変動は、磁場増幅により、粒子加速やシンクロトロン冷却のタイムスケールが短くなった結果と解釈されている。さらに近年、Sato et al. (2018) は、Cas A において時間変動が観測された領域と、内向き衝撃波との空間的な相関から、SNR と分子雲との相互作用を議論している。このように、非熱的 X 線放射の時間変動の観測は、周辺磁場や星間物質との相互作用を探り、ひいては縞状構造の成因を議論する上で重要な手がかりとなる。本講演では、空間分解能に優れた (~ 0.5 arcsec) Chandra 衛星の 2003 年、2007 年、2009 年、2015 年の観測データを用いて、構造に沿った細かい領域に分けて解析を行い、観測年ごとに分けて時間変動を調べた結果について報告する。また、前述の SNR の先行研究も踏まえ、Tycho の縞状構造の時間変動や成因についての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q17a 機械学習 VAE を用いた Tycho の超新星残骸の X 線解析

岩崎啓克, 一戸悠人, 内山泰伸 (立教大学), 山口弘悦 (NASA Goddard Space Flight Center)

超新星残骸 (SNR) 等の広がった天体の観測において、*Chandra* 衛星などの高い角度分解能を活かした分光解析をするには、観測から特徴的な空間構造を見つけ出す必要がある。しかし目視での特徴把握には限界があり、人のバイアスも入る。この解決法として機械学習を利用した観測データからの特徴抽出が考えられる。これまでに機械学習の SNR への応用として、主成分分析による次元削減 (Warren et al. 2005; Sato & Hughes 2017) や、次元削減を介さないクラスタリング (Burkey et al. 2013) が行われたが、学習で得られた情報は限定的であった。特徴的な構造を発見する手法の実現を目指し、教師なし学習の手法である Variational Auto-Encoder (VAE) と混合ガウスモデル (GMM) を組み合わせて、multiband image をピクセル毎にクラスタリングする手法を試みた。VAE は深層学習の手法であり、非線形な関係性を扱い、より高度な特徴量を表現可能である。本手法は次の 2 ステップからなる：(1) VAE による観測データの次元削減；(2) 抽出された特徴量分布の GMM によるクラスタリング。学習データとして *Chandra* 衛星による Tycho's SNR の観測を細かなエネルギーバンドに分割した。それぞれのフラックスイメージを合わせて多色画像として扱い、1 個 1 個のピクセルを VAE への入力要素とした。VAE によって抽出された潜在変数を GMM でクラスタリングし、似た特徴を持つピクセルをカテゴリに分類した。このクラスタリングによって、衝撃波面などのべき型放射の領域、イジェクタ、天体外部が分離された。さらに北西の層状構造、南東の鉄ノットという特徴的な構造が全体的なイジェクタとはそれぞれ別に分類された。これらの特殊な領域が抽出され、本手法が multiband image から特徴的な空間構造発見の能力を持つと示された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18a *Chandra* X線観測衛星を用いた超新星残骸RX J1713.7–3946 北西領域の hot-spot の解明

日暮凌太, 辻直美, 内山泰伸 (立教大学)

超新星残骸から観測される非熱的な X 線は、高エネルギー宇宙線電子のシンクロトロン放射によって放射される X 線であることが確立している。この宇宙線電子は、超新星残骸の表面に形成される衝撃波面を往復することにより超高エネルギーに達すると考えられる (衝撃波統計加速)。本研究の目的は、非熱的な X 線放射が支配的な超新星残骸 RX J1713.7–3946 北西 (NW) 領域の点源状に明るい多数の X 線源 (hot-spot) の正体を解明することである。この超新星残骸は電波やガンマ線の観測から、分子雲と相互作用していることや、TeV ガンマ線で明るいといった特徴がある。本研究では NW 領域の hot-spot に対しスペクトル解析、空間構造の解析や時間変動の解析などを行なった。その結果、この超新星残骸の NW 領域のシェル内には、hot-spot が多いことが示された。これまでに超新星残骸で非熱的な hot-spot のような構造が生成されることは知られていない。これまでの解析結果に基づいて、これらの hot-spot 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](#)

Q19a 6.4 keV 鉄輝線を用いた超新星残骸における MeV 宇宙線の測定

信川久実子 (奈良女子大学)

超新星残骸 (SNR) は、銀河宇宙線の起源として最有力である。ガンマ線観測によって、SNR で GeV-TeV 帯域の宇宙線が加速されている証拠が見つかった。宇宙線は種粒子が徐々にエネルギーを獲得して生成されるので、MeV 以下の低エネルギー宇宙線 (LECR) の情報は宇宙線加速の理解に必須である。しかし、その密度や分布について有効な測定方法は確立していない。我々は、LECR が星間物質中の中性 Fe 原子を電離すると 6.4 keV の特性 X 線が放射されることに着目し、「すざく」衛星が観測した SNR のアーカイブデータを用いて 6.4 keV 輝線の系統的探査を行っている。その結果これまで 10 天体以上の SNR で、宇宙線起源と考えられる 6.4 keV 輝線を発見した (e.g., Nobukawa, K. K. et al. 2018, ApJ, 854, 87)。一部の天体からは高い ionization rate が観測されている (W28、IC443、W51C; Vaupre et al. 2014, A&A, 568, A50 ほか)。宇宙線陽子による H₂ と Fe の電離断面積のピークがそれぞれ ~ 10 keV と ~ 10 MeV と異なることを利用し、我々は輝線強度と ionization rate から、宇宙線スペクトルの MeV 帯域以下の形を観測的に制限した。さらに、低エネルギー宇宙線の密度を見積もると、どの SNR でも概ね $\gtrsim 10\text{--}100$ eV cm⁻³ であった。我々のサンプルは全て爆発後 1 年以上経過している (middle-aged か old)。また多くが、分子雲との相互作用や、過電離プラズマの付随が報告されている天体である。これらの事実は互いに関連しているかもしれない。1000 km/s 程度に減速した衝撃波が濃い星間物質と相互作用することで、LECR 生成が促進される。LECR は SNR の高温プラズマと相互作用 (電離) し、過電離状態を引き起こす。一方で、星間物質と相互作用し 6.4 keV 輝線放射をする、ということが考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q20a すざく衛星による超新星残骸 IC 443 からの中性鉄輝線の発見

平山ありさ, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 小山勝二 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学)

超新星残骸は銀河宇宙線の加速源であると考えられている。中でも、 π^0 崩壊によるガンマ線の観測によって、超新星残骸で加速された陽子について情報が得られてきた。しかし、 π^0 中間子を生成するのは 280 MeV 以上の高エネルギー陽子であり、ガンマ線の観測ではそれ以下の低エネルギー陽子を調べることができない。

keV–MeV 程度の低エネルギー陽子は H_2 を電離して、 H_3^+ イオンを生成することが知られている。従って、 H_3^+ の吸収線の観測から宇宙線による電離率を調べることによって、低エネルギー陽子の存在を知ることができる。また、MeV 程度の低エネルギー陽子は中性鉄を電離して、X 線の波長域で 6.4 keV 中性鉄輝線を放射する。実際すでにいくつかの超新星残骸で、低エネルギー陽子起源と考えられる中性鉄輝線が見つまっている (Nobukawa et al. 2018, ApJ, 854, 87)。中性鉄輝線の強度は低エネルギー宇宙線の密度に比例するため、超新星残骸で加速された宇宙線の量を制限する有効な手段である。

超新星残骸 IC 443 は、 H_3^+ の吸収線の観測から低エネルギー宇宙線の加速が示唆されており (Indriolo et al. 2010, ApJ, 724, 1357)、 π^0 崩壊によるガンマ線放射も報告されている (Ackermann et al. 2013, Sci, 339, 807)。本研究では、すざく衛星によって取得された超新星残骸 IC 443 のスペクトルを詳細に解析し、 3σ 以上の有意度で中性鉄輝線を発見した。さらに、中性鉄輝線の強度分布を測定し、 H_2 の電離率が高い地点と鉄輝線の強度が大きい領域が重なることが分かった。中性鉄輝線の強度から宇宙線陽子のエネルギー密度を推定し、星間空間における GeV 以上の宇宙線の典型値 1 eV/cm^3 より 1–2 桁高い結果を得た。 H_2 の電離率と中性鉄輝線の強度を用いて keV–MeV 帯の宇宙線スペクトルの形について考察した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21a NuSTARによる超新星残骸 W49B の観測 (1): 熱的放射編

山口弘悦 (NASA/GSFC), 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 馬場彩 (東京大学)

W49B は銀河系内の超新星残骸 (SNR) の中で最も高い Fe K 輝線光度とガンマ線光度を持ち (Yamaguchi et al. 2014; Abdo et al. 2010), 熱的過程と非熱的過程の両側面において非常に興味深い天体である。本講演は続く田中講演とテーマを分担し、W49B の熱的な側面に着目する。

近年の観測研究によって多数の SNR から過電離プラズマが発見され (e.g., Yamaguchi et al. 2009; 本年会 尾近講演・鈴木講演)、その存在はもはや特異なものではなくなりつつある。W49B はそれらの中で最も年齢が若く、高温・高電離状態にある。またその X 線スペクトルからは特徴的な Fe xxv の放射性再結合連続 X 線 (Fe RRC: $E_{\text{edge}} = 8.83 \text{ keV}$) が検出されており (Ozawa et al. 2009), 過電離 SNR の初期進化を知る貴重な手がかりになることが期待される。本研究では、Fe RRC を用いたプラズマ電子温度・電離度の空間分布の調査を目的に、米国の NuSTAR 衛星を用いて W49B の深観測を行った。

NuSTAR は 10 keV 以上の硬 X 線で初めての集光撮像を行う衛星として開発されたが、実は 6.5 keV 以上のエネルギーバンドにおいて他のどの X 線望遠鏡よりも大きな有効面積を持ち、Fe RRC の検出・測定に打ってつけの性能を持つ。W49B から得られたデータは大変すばらしく、SNR の北西部で最も電子温度が低く ($\sim 1.2 \text{ keV}$) 激しい放射性再結合が起こっている様子が明らかになった。この領域には分子雲など高密度の星間物質が存在せず、SNR が効率的に膨張することが知られる。この事実は、過電離状態を形成するプラズマの冷却が急速な断熱膨張に起因する可能性を強く示唆する。本講演ではさらに詳細な解析結果を述べるとともに、過電離 SNR の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](#)

Q22a NuSTAR による超新星残骸 W49B の観測 (2): 非熱的放射編

田中孝明 (京都大学), 山口弘悦 (NASA/GSFC), 内田裕之 (京都大学), 馬場彩 (東京大学)

超新星残骸 (SNR) W49B は年齢 ~ 1000 yr と見積もられている Mixed-Morphology 型 SNR である。X 線帯域では、熱的放射が非常に強く、また、近年、プラズマが平衡状態よりも電離の進んだ過電離状態にあることがわかり (Ozawa et al. 2009; 本年会 山口講演) プラズマ進化の観点で注目を集めている。一方で、Fermi LAT や H.E.S.S. によってガンマ線が検出されており (Abdo et al. 2010; Abdalla et al. 2018)、宇宙線加速の現場としても注目すべき SNR である。特筆すべきは 2×10^{36} erg s⁻¹ にも達するガンマ線光度である。これは W49B において加速された相対論的粒子のエネルギー密度が $> 10^4$ eV cm⁻³ に達することを意味する (Abdo et al. 2010)。それでは、被加速粒子のうち、よりエネルギーの低い、サブ相対論的粒子はどれほどの総量になるのだろうか？ここで、NuSTAR 衛星がカバーする硬 X 線帯域が重要となる。なぜなら、サブ相対論粒子が放射する非熱的制動放射が > 10 keV の帯域で検出される可能性があるからである。これを検出できれば、他の波長域ではプローブできないサブ相対論粒子の総量やスペクトルに制限を加えることが可能となる。そこで、我々は 2018 年 3 月に NuSTAR を用いて W49B の観測を実施した。NuSTAR 特有の迷光をはじめとするバックグラウンドを精確に見積もったところ、 ~ 20 keV まで光子指数 1.4 で伸びる放射を 6σ の高い有意度で検出することに成功した。本講演では NuSTAR の解析結果を述べるとともに、電波やガンマ線のデータと合わせ、多波長の観点から、W49B における非熱的放射や宇宙線加速について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q23a 相対論的衝撃波における航跡場加速

岩本昌倫（東京大学）、天野孝伸（東京大学）、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・レーザー不安定 (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。現実には即した多次元系では電磁波の励起の可否自体が不明だったが、近年、我々の研究により 2 次元系でも航跡場加速を引き起こせるほどのコヒーレントな大振幅電磁波が励起されることがわかった (Iwamoto et al. 2017; 2018)。これらの研究では、電子・陽電子プラズマを考えており、コヒーレントな大振幅電磁波の励起過程に焦点を合わせていたが、この研究成果に基づき、電子・イオンプラズマ中での数値計算を新たに行った。その結果、大振幅電磁波が衝撃波上流に伝搬して電場を励起しており、さらには電子・イオンがともに衝撃波上流で加速されていることがわかった。本講演では、この数値計算結果に基づき、2 次元系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](#)

Q24b プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションのための新粒子解法

銭谷誠司 (京都大学), 梅田隆行 (名古屋大学)

プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションは、宇宙空間のさまざまな運動論プラズマ現象を理解するために有効である。PIC シミュレーションの構成要素は概ね粒子計算・電流計算・電磁場計算に分けられるが、粒子計算部分には Boris 法 (Boris 1970; Buneman=Boris 法とも) がよく使われている。Boris 法はローレンツ力による速度変化を 2 次精度で近似し、計算コストが適度で、原理的に安定しているなど利点が多く、半世紀にわたって使われてきた。最近、相対論領域での性能を改善する新解法 (Vay 2008) が提案されたものの、一長一短があるために、依然として Boris 法が標準の地位を占めている。

本発表では、我々は、Boris 法に変わる 2 次精度の粒子解法を提案し、あわせてベンチマーク結果を紹介する。新解法は、一言で言うと、2 つの解析解を operator splitting で繋げたものである。Boris 法と比べて計算量が増えるが、粒子ソルバー単体の性能劣化は 20-30% 程度、PIC シミュレーションの応用問題での性能劣化は数% 程度であった。一方、典型的な $E \times B$ ドリフト運動に対しては、同じ時間刻み幅 Δt で誤差が 2 桁減るなどの高精度の結果を確認した。計算精度が向上しているため、時間刻み幅 Δt を大きくすることで上記の軽い性能劣化を充分相殺できるだろう。これらの詳細な議論をポスターで紹介する。

我々は、この手法が PIC シミュレーションの粒子解法の選択肢の 1 つになることを期待している。

- Zenitani & Umeda, submitted to *Phys. Plasmas*

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25b CTAによる超新星残骸 RX J1713.7–3946の観測シミュレーション

高橋知也、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（青山学院大学）、大平豊（東京大学）、他 CTA Japan Consortium

銀河系内には宇宙線陽子を $10^{15.5}$ eV (knee) まで加速する天体 (PeVatron) が存在すると考えられており、若い超新星残骸 (Supernova Remnants, SNRs) は宇宙線加速源として長年有力視されてきた。近年では SNRs や周辺分子雲に付随する宇宙線陽子起源のガンマ線が観測されたが、knee に届くエネルギーを持つ宇宙線陽子を捉えることはできていない。現在建設中の次世代ガンマ線望遠鏡群 Cherenkov Telescope Array (CTA) の高感度観測による PeVatron SNRs の発見に期待が寄せられている。

RX J1713.7–3946 はシンクロトロン X 線や TeV ガンマ線で明るく若い超新星残骸で、ガンマ線放射シナリオの議論が続いている宇宙線加速天体である。我々は CTA の観測シミュレーションにより、イメージ解析やスペクトル解析を通じてガンマ線放射を担う粒子種の決定や、PeVatron の証拠となる隠れたハードな成分の検出可能性を検証している (Acero et al. 2017)。

CTA は公開天文台として運用されるが、完成直後は Key Science Projects という占有観測キャンペーンを実施する。その中で RX J1713.7–3946 が含まれる銀河面探査プロジェクトでは、実際の観測に即したより現実的なシミュレーションデータが生成された。本講演ではこのデータに対して我々の先行研究での解析手法を適用し、得られた結果を示してガンマ線放射機構への制限を議論する。また、新たに行った空間分解したスペクトル解析の結果と精度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](#)

Q26b 「すざく」衛星によるベラ超新星残骸のパルサー周辺部の観測

金丸善朗, 森浩二 (宮崎大学), 勝田哲 (埼玉大学), 常深博 (大阪大学)

ベラ超新星残骸は年齢が約 11,000 年の重力崩壊型超新星の残骸である。地球からの距離はおよそ 290 pc であり、視直径が約 8 度と極めて大きいためその空間構造を詳細に観測することができる。超新星残骸の中心付近にはベラパルサーが存在し、その周囲にはトーラスとジェットの構造を持つパルサー星雲が形成されている。このパルサーが位置する超新星残骸の中心部は、逆行衝撃波が最後に到達してパルサー星雲と相互作用を起こす領域であることから、パルサー星雲の進化を探る上で重要な領域である。

ベラ超新星残骸のパルサー周辺部は、過去様々な X 線天文衛星によって観測が行われてきた。しかし、それらの観測はエネルギー帯域や調査範囲が限定的であったため、未だそのプラズマ状態についての系統的な解析は行われていない。そこで我々は、エネルギー分解能に優れた「すざく」衛星を用いてパルサー周辺部の観測を行い、観測領域を複数に区分して空間毎にスペクトルの解析を行った。その結果、すべての領域の X 線放射は温度の異なる 2 つのプラズマからの放射と非熱的な放射でよく説明できることが分かった。本講演では、プラズマの温度や非熱的放射の光子指数の空間分布について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27b かに星雲の可視偏光における解析手法の構築

高木健吾, 川端弘治, 深沢泰司, 大野雅功, 中岡竜也, 川端美穂 (広島大)

かに星雲は 1054 年に起きた超新星爆発の残骸である。かに星雲の中心にはかにパルサーという高速で回転する中性子星があり、そこから放出されるパルサー風や超新星残骸が周囲の物質と相互作用することで、かに星雲は光っていると考えられている。その波長域は電波からガンマ線までと幅広い。近年、ガンマ線衛星によって、かに星雲が急激に増光するガンマ線フレアが何度も観測されているが、その原因は未だに分かっていない。

そこで私は広島大学 1.5m かなた望遠鏡と可視赤外線同時カメラ HONIR を用いて、可視近赤外線での偏光観測を行うことでその原因の糸口を得る試みを開始した。可視域のかに星雲の偏光観測は過去にも行われているが、地上観測では大気の影響を受けやすく、淡く広がった天体に対して均質で精度の高い偏光撮像モニターを行うことは容易ではないことから、パルサーやその近傍の星雲成分の偏光変動はほとんど議論できていなかった。

この観測では、時間的に変化するスカイ背景光が本質的な誤差要因となっていた。我々はかに星雲の観測の前後に得たブランクスカイデータと、かに星雲観測と同時に得られる周縁部データとを用いて、背景背景スカイ光を精度良く差し引く手法を確立した。また、点光源であるパルサー本体の測光は、不均一な背景星雲成分やごく近くの明るい恒星像の影響を受けるため、十分な偏光測光精度を得ることが容易ではないが、開口測光パラメータを工夫することで克服した。これにより星雲成分やパルサーの偏光の時間変動の時間変動を R バンドの $I/\Delta I \gtrsim 10$ の所で $\Delta p \lesssim 3\%$ ないし $P/\Delta p \gtrsim 3$ 程度の精度で安定的にモニターすることができるようになった。

発表では、その手法について詳しく述べると共に、2018 年 3 月 13 日に起こったガンマ線フレア直後の偏光データを、それ以前のものと比較した結果についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q28b すばる望遠鏡 MOIRCS による銀河面拡散 X 線放射構成種族の深撮像観測

森鼻久美子 (名古屋大学), 海老沢研 (JAXA/ISAS)

天の川銀河の銀河面に沿ってほぼ一様に放射する X 線放射に銀河面拡散 X 線放射 (以下、拡散放射) がある。拡散放射は見かけ上拡がった放射で、その起源には、真に拡がったプラズマであるとする説 (e.g., Koyama et al., 1986, Ebisawa et al., 2001) と未分解の暗い X 線点源の重ね合わせであるとする説 (e.g., Revnivtsev et al., 2006) の 2 説があり、長年議論されて来た。このような中で、チャンドラ X 線衛星による深観測により、少なくとも銀河バルジ方向においては暗い X 線点源の重ね合わせで説明できることが明らかになった (Revnivtsev et al., 2009)。

我々はこれまで、銀河バルジ領域の暗い X 線点源の種族を星間吸収の影響が小さい近赤外線を用いて探ってきた。銀河バルジ領域で検出された暗い X 線天体の約 11% に近赤外線対応天体を見つけた。さらに、近赤外線対応天体を分光し、暗い X 線点源の種族には、これまで予測されていた強磁場激変星、晩期型星同士のフレア連星以外に、弱い磁場を持つ激変星、激変星の前駆体、共生星が候補となる新たな構成種族が存在することを明らかにした (Morihana et al., 2016)。

今回我々は、すばる望遠鏡 MOIRCS を用いて、銀河バルジ領域でこれまでよりさらに深い近赤外線撮像観測を JHK3 バンドで行った。その結果、Morihana et al. (2016) より多い、視野内の X 線天体 (555 天体) の約 30% に近赤外線対応天体を見つけた。また、X 線のハードネスと近赤外線での色から、今回新たに近赤外線に対応天体が見つかった X 線でハードな点源は、Morihana et al. (2016) で見つかった新たな構成種族の可能性があることが分かった。本講演では、上記の結果を発表するとともに、新たに近赤外線対応天体が見つかった X 線点源を含めて、銀河バルジ領域の拡散 X 線放射の構成種族について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q29a *Chandra* と *XMM-Newton* を用いた超新星残骸 G359.1-0.5 の X 線空間分解解析

鈴木寛大, 馬場彩, 小高裕和 (東大理), 山口弘悦 (The University of Maryland/NASA GSFC)

近年、分子雲と相互作用する超新星残骸 (SNR) の多くが、電子温度が異常に低い X 線プラズマ (過電離プラズマ) をもつことが明らかになってきた (e.g. Yamaguchi et al. 2009)。それらは一般的な SNR と違って過去に急激な冷却過程を経たと考えられる。プラズマの急冷却は高密・低温の分子雲などとの衝突に起因すると考えられ (Kawasaki et al. 2002)、プラズマの電子温度と電離状態から推測できる急冷却の進行度の空間分布と分子雲分布の関係が研究されつつあるもの (Matsumura et al. 2018)、いまだ冷却過程の定量的な理解には至っていない。既知の過電離プラズマは急冷却から数千年以上経過した古いものがほとんどで、現在の分子雲分布と比較して急冷却の起源を探るのは難しい。

そこで我々は急冷却の進行を捉えるのに最適なプラズマをもつ G359.1-0.5 に着目した。この天体の最大の特徴は、プラズマの電子温度が非常に低く、電離平衡状態からの乖離が既知の過電離 SNR の中で最も大きいことだ (Ohnishi et al. 2011)。さらに、直径 ~ 60 pc と非常に大きいにも関わらず、他の過電離 SNR と異なり衝撃波面がほぼ歪んでいない。これらの特徴は分子雲衝突がごく近年に起こったことを示唆する。我々は空間分解能に優れた X 線衛星 *Chandra* と *XMM-Newton* で G359.1-0.5 の観測を行った。我々は ^{12}CO の強度が高い南西領域の X 線プラズマに凹んだ構造を発見した。X 線スペクトルからは、プラズマの過電離タイムスケール (n_{ct}) が $\sim 10^{10} \text{ s cm}^{-3}$ 以下と非常に小さいことを明らかにした。また南西領域と北東領域とでプラズマの電子温度や電離状態に有意な差は見られず、プラズマ全体が同程度の冷却段階にあることが判明した。本講演では、プラズマ急冷却の起源や進行過程、冷却前後でのプラズマ状態の変化を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q30a パルサー星雲 G21.5-0.9 と 3C 58 での粒子の空間拡散と流体運動への反作用

石崎 渉, 浅野勝晃 (宇宙線研究所), 川口恭平 (宇宙線研究所)

G21.5-0.9 と 3C 58 は、数 1000 歳程度の比較的若いパルサー星雲で、広がった非熱的な X 線放射が検出されている。この X 線放射は、パルサー星雲に存在する電子・陽電子のうち、最もエネルギー高い集団が放つシンクロトロン放射である。両天体では、X 線の放射領域が星雲の縁まで広がっており、これは X 線を放つような高エネルギー粒子が星雲の縁まで到達していることを示唆する。しかし、パルサー星雲の標準的なモデルとされる Kennel & Coroniti (1984) のモデルでは、X 線を放つような粒子は星雲の縁に至るまでに放射冷却によってエネルギーを失ってしまうため、両天体の X 線放射の広がりを再現できない (Ishizaki et al. 2017)。このようなモデルの問題点を解決する方法として有力視されているのが、星雲中の乱れた磁場による粒子の空間拡散過程をモデルに考慮するという方法である。いくつかの研究 (e.g., Tang & Chevalier 2012) は、星雲中の流体に乗って移流する効果よりも効率的に空間拡散が起こるような拡散係数を仮定すれば、これらの天体における X 線の放射の問題を解決できることを示している。ただ、このようなパラメータの元では、拡散過程が星雲の流体力学的な構造に影響を及ぼす可能性があるが、その影響は考慮されていない。

本研究では、パルサー星雲における非熱的粒子の移流・拡散と、星雲の磁気流体力学の両方を自己矛盾なく解く手法を開発し、それを一次元定常の範囲で実際に計算し、G21.5-0.9 と 3C 58 の観測事実を説明できるかどうかを調べた。その結果、星雲の X 線放射の表面輝度の空間分布、および星雲全体を積分した放射スペクトルの両方を、このモデルによって概ね再現できた。しかし、主に X 線のスペクトル指数に関して、いくつか再現できなかった観測事実もあった。本講演では、以上の結果について報告し、パルサー星雲の放射モデルについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q31a XMM-Newton 衛星搭載の RGS による超新星残骸 N49 の X 線精密分光

天野雄輝, 内田裕之, 田中孝明, 尾近洸行, 奥野智行, 鶴剛 (京都大学)

N49 は大マゼラン雲に位置する重力崩壊型の超新星残骸 (SNR) である。その年齢は約 4800 年と推定され (Park et al. 2012, ApJ, 748, 117)、周囲の分子雲との衝突も示唆されている (Banas et al. 1997, ApJ, 480, 607)。X 線天文衛星「すざく」を用いた近年の研究から、この SNR のプラズマが過電離状態にあることがわかっている (Uchida et al. 2015, ApJ, 808, 77)。過電離プラズマの成因はプラズマ進化の観点から重要な問題であるが、現在のところ不明である。過電離プラズマの成因解明には各元素の電離状態を測定することが鍵を握る。特に He 様イオンからの微細な輝線の強度比を調べることは有効な手段となる。しかし、CCD のエネルギー分解能では微細輝線の分光は不可能である。そこで我々は、CCD よりも 1 桁以上エネルギー分解能の良い XMM-Newton 衛星搭載の回折格子 (RGS) を用いて N49 の解析を行った。N49 は視直径約 1.5 分角の広がりを持つため、RGS の分光性能が劣化する。そのため、輝度分布を考慮した応答関数を作成する必要がある。そこで我々は同じく XMM-Newton 衛星に搭載された CCD カメラによる N49 の画像を利用し、応答関数を作成した。本講演では RGS の具体的な解析手法と N49 の He 様イオンの微細構造スペクトルについて説明するとともに、そこから得られる物理的な意味について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a 偏光 H α 輝線による超新星残骸衝撃波での宇宙線量の測定とライマン輝線捕獲の影響についての理論研究

霜田治朗 (東北大学)

超新星残骸 (SNR) 衝撃波は $10^{15.5}$ eV までの宇宙線核子の加速現場であると考えられているが、未だその証拠は得られていない。宇宙線加速の標準的なシナリオでは、大量に加速された宇宙線が背景プラズマへ反作用を及ぼし、SNR 衝撃波周辺の磁場を増幅することを要求する (e.g. Bell 04)。このとき、宇宙線を $10^{15.5}$ eV まで加速させるためには、衝撃波の運動エネルギーのうち $\sim 50\%$ に相当する宇宙線量が必要である。

実際の SNR での宇宙線量は、衝撃波のエネルギー損失率として推定されてきた (e.g. Hughes+00, Helder+09)。衝撃波の運動エネルギーの一部が宇宙線加速に消費される分だけ下流の熱エネルギーが断熱衝撃波の場合に比べて小さくなる。このため、実際の下流の温度と衝撃波速度とを比べることで、ミッシングな熱エネルギーとして衝撃波のエネルギー損失率を導くことができる。Shimoda+18 では、水素原子輝線の偏光度が下流の温度と衝撃波速度に依存し、エネルギー損失率を測定できることを理論計算により世界で初めて示した。この手法を応用することで、加速現場の距離すらも決定しうることが従来までの手法と異なる特色である。しかしながら、この計算はライマン輝線捕獲の効果を、ライマン輝線に対して optically thick と thin の2つの極限しか考慮していなかった。ライマン輝線捕獲は、基底状態の水素原子がライマン系列の光子を吸収し、他系列の光子を再放射する効果である。本研究では、ライマン輝線の輻射輸送の効果を考慮し、任意の optical depth での H α 偏光度を計算する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a フェルミ衛星 LAT 検出器による近傍原子雲領域の星間ガス・宇宙線の研究

水野恒史 (広島大学), ほか Fermi-LAT コラボレーション

天の河銀河における宇宙線と星間ガスの分布は、銀河の高エネルギー現象や星形成を理解する上で重要である。数 100 MeV 以上の宇宙線は星間ガスおよび星間光子との相互作用し空間的に広がったガンマ線を放出する。中でも宇宙線の主成分である陽子はガスと反応し、核反応で生じたパイ中間子の崩壊により強い GeV ガンマ線を作り出す。ガンマ線の放射率が物質の状態によらず、またガンマ線の透過力が強いことから、GeV ガンマ線観測は宇宙線と星間ガスを調べる強力なプローブとなる。2008 年に打ち上げられたフェルミ衛星は、広い視野 (全天の約 20%) を生かしサーベイ観測を行うことで、ほぼ「無バイアス」に宇宙線と星間ガスを調べることができる。

星間ガスは従来、中性水素の 21 cm 線や CO 分子の 2.6 mm 輝線で測定されてきたが、伝統的な電波サーベイではトレースしきれない通称“dark gas”があることが徐々に認識されてきた (Grenier et al. 2005)。通常はガスとよく混在するダストの観測データ (放射, 減光または赤化) を用いて dark gas の寄与を推測するが、ダストの性質に原理的に依存するためその手法はいまだ確立しておらず、不定性の要因となっている。そこで我々は精度良くガス分布・宇宙線分布を導出することを目指して、高銀緯にある近傍原子雲 (銀経は 200–260 度) の解析を進めている。Planck 衛星のデータ (ダスト放射) および HI4PI サーベイデータ (21 cm 線) を元にガスの柱密度分布モデルを立てた上で、ガンマ線をガスのロバストなトレーサーとして用い、ガス密度-ダスト放射比のダスト温度依存性や非線形性を評価した。本講演では、解析方法および得られた結果 (ガス密度分布や宇宙線強度) について報告・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](#)

Q34a あかり全天サーベイデータを用いた V1065 Cen 周囲のダストの性質調査

遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬, 大澤亮, 土井靖生 (東京大学), L. Andrew Helton (NASA/SOFIA Science Center), Ryan M. Lau (Caltech), 石原大助 (名古屋大学), 大坪貴文 (ISAS/JAXA)

古典新星は全体の 30-40% がダストを形成することが知られている。AGB 星や II 型超新星と比較すると、その銀河系でのダストの供給効率への寄与ははるかに少ないが、太陽系近傍での発生頻度も高く、赤外線観測によりダストの形成過程を詳細に研究できる貴重な天体である。赤外線天文衛星あかりは 2006 年 5 月から 2007 年 8 月にかけて中間赤外および遠赤外で全天サーベイを行い、その期間中最大 6ヶ月おきの最大三期、同一天域にある天体のデータを取得した。このためこの期間の古典新星のダスト放射の SED 進化を調べる上で非常に貴重な機会を提供する。古典新星 V1065 Cen は 2007 年 1 月 23.35 日に発見され、爆発後約 40 日後に放出ガス中でのダスト形成の形跡が報告されている。あかりの中間赤外線 ($9\mu\text{m}$ および $18\mu\text{m}$) 全天サーベイの期間中、V1065 Cen の天域は 2006 年 7 月 22-24 日、2007 年 1 月 19-20 日、2007 年 7 月 22-24 日の合計三期観測された。第一期目の観測時期は爆発の約 180 日前に対応し、データ中に対応する赤外線源は確認できなかった。第二期目はこれまでに V1065Cen が新星として確認された最も早い日にちである 1 月 20 日の 1 日前に該当し、爆発後極めて短時間が経過した時点での $9\mu\text{m}$ および $18\mu\text{m}$ の赤外線放射を検出した。この時期は新星放射ガス中でのダスト凝縮が起こる前であり、既存の星周ダストの赤外放射が捉えられている。一方、第三期目はダスト形成後約 140 日が経過した時期に該当し、この時期は主に爆発後新たに新星放出ガス中で凝縮したダストの放射を捉えていると考えられる。本講演では、あかりの中間赤外線全天サーベイのデータに基づいて、V1065Cen 周囲の既存のダスト及び新星爆発により新たに凝縮した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](#)

Q35a ガンマ線バーストのX線残光を用いた天の川銀河の星間ガスの評価(2)

小山恭弘、水野恒史、深沢泰司、大野雅功(広島大学)、奥村暁、田島宏康、林克洋、山本宏昭(名古屋大学)

銀河系内の星間ガスは、銀河や恒星の進化に関わっておりその分布は重要である。従来の電波で輝線を観測する方法は輝線強度がガスの性質に大きく影響を受ける。また、星間ガスがダストとよく混在していることからダストの放射や減光を用いて星間ガス分布が推定されてきたが確立された方法はまだない。そこで、本研究では従来のものと相補的な手段としてSwift衛星で観測されたガンマ線バーストのX線残光スペクトルを用いることにした。スペクトルの吸収から全水素柱密度を測定する一方で、電波やダストの強度から天の川銀河の水素柱密度を推定し、母銀河の水素柱密度を算出する。これが天の川銀河の柱密度と相関していれば、不適切な推定方法であると判断できる。先行研究(Willingale et al. 2013)に対し本研究ではPlanck衛星によるダスト放射強度(radiance, τ_{353})を指標に加え、ガンマ線バースト残光のイベント数を約2.5倍に増やした。解析は、ガンマ線バーストをLong/Shortを分けて行い水素21cm線の強度とダストの放射強度がガスの薄い部分で比例しているため、ガス密度が濃い部分でもダストの放射強度と比例関係が保たれると仮定し、星間ガスの量を見積った。その際、近傍のガス以外のものを除くため銀河面付近や高速度雲が存在する場所のイベントを取り除いた。

その上で、ダスト放射強度で天の川銀河の星間ガスを推定すると、見積った水素柱密度が 10^{21} cm^{-2} 程度から相関が見られはじめ、推定が不適であると考えられる。相関の仕方とダスト温度に関連があったためダスト温度を用いて補正を行った。その結果、天の川銀河の水素柱密度、 $6 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 程度まで適切に評価できた。

本公演では、得られた結果と今後の課題について報告と議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36a 冷たい水素原子ガスに着目した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, 早川貴敬, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

星間物質の90%以上は水素で構成される。そのうち水素原子ガスは、およそ100K以下の冷たい成分と数千から1万度程度の温かい成分に大別される (Heiles & Troland 2003 他)。しかしこれまでの多くの研究では、水素原子ガスは光学的に薄いものとみなされ、空間的な広がり小さい冷たい原子ガスはあまり注目されていなかった。一方最近のプランク衛星などの観測データに基づいて、ダストの光学的厚さ (τ_{353}) をベースとしたガスの柱密度の推定法が提唱され、太陽系1キロパーセク内に分布した分子雲領域において、冷たい原子ガスが高い質量比で分布している可能性が浮上した (Fukui et al. 2014; 2015)。その後ペルセウス座分子雲領域の解析 (Okamoto et al. 2017) においては、ダストの進化を起因とするガス/ダスト間の非線形関係も考慮されたが、冷たい原子ガスの効果により、分子雲周辺の原子ガスの質量は、従来の測定より60%程度大きくなるという結果が得られている。

本研究では、先のペルセウス座分子雲領域の解析手法をカメレオン座分子雲領域に適用し、水素ガスの定量及び、その結果導かれる星間物質の状態の探査に挑んだ。具体的には、 τ_{353} と J バンドの減光量を使ってガス/ダスト間の関係性を見出し、分子ガスを含むトータルのガスの定量を行った。その結果、カメレオン座領域においてもガス/ダスト間の非線形性が確認され、冷たい原子ガスの寄与により、原子ガスの質量が40%程度増えることが明らかにされた。その柱密度や空間的分布は、原子/分子ガスの遷移帯域に分布する、組成の未解明なダークガスを説明するものである。さらに得られたガスの柱密度から、水素分子と一酸化炭素間の質量変換係数を導出し、領域内で有意な違いが見られることを見出した。本講演では、これらの解析結果及び、他の分子雲領域と比較して得られた知見を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q37a ペガススループに付随する星間物質の詳細解析

佐伯駿, 山本宏昭, 立原研悟, 林克洋, 福井康雄 (名古屋大学)

星形成の初期条件を決定する分子雲形成の諸性質を明らかにすることは天文学の重要な課題の1つである。Inoue & Inutsuka (2012) の3次元MHDシミュレーションの結果から、高密度で冷たいHIガスはclumpyに分布しており (Fukui et al. 2018)、そのHI clumpの中で分子雲が形成すると考えられる。そこで我々はペガス座領域に存在する中心が $(l, b) = (109^\circ, -49^\circ)$ で、 $20^\circ \times 20^\circ$ の大きさの遠赤外線ループ状構造 (ペガススループ) に着目した。このループでは、「なんてん」で得られた分子雲のデータから、 $1 M_\odot$ 以下の分子雲が多数発見されており、初期の分子雲形成を検証するのに適した領域である (Yamamoto et al. 2006)。また、ペガススループは太陽系近傍の高銀緯領域に存在するため視線方向上の重なりが少なく、多波長のデータの比較が容易である。今回我々は「なんてん」のデータに加え、Planck・IRAS衛星の観測データから求められたダスト放射の353 GHzにおける光学的厚み τ_{353} 、低温ダストの温度 T_d 、GAIA衛星、HIサーベイGALFA (Peek et al. 2017) を使用し、ペガススループ方向の星間物質を詳細に解析した。解析の結果、GAIA衛星のデータからペガススループの中心星HD886が255 pcの距離に存在し、中心星近傍の分子雲が240 pcの距離で減光が大きくなることがわかった。これは分子雲が中心星の形成したループ構造に付随していると考えられる。また、ペガススループ方向の水素原子雲は多数のフィラメント状に分布していた。さらに、フィラメント状構造の内部には τ_{353} の局所的ピークが複数存在しており、分子雲の多くはこのclumpの中に存在していた。特に $3 M_\odot$ 以上の分子雲はフィラメントが交差している特徴的な箇所が存在していた。本講演では、階層構造を含めた分子雲形成についての議論を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q38a Measuring the ionisation fraction across the Galaxy using Planck cold clumps

Sarolta Zahorecz (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Izaskun Jimenez-Serra, Giuliana Cosentino (Queen Mary Univ. of London, UK), Toshikazu Onishi (Osaka Pref. Univ)

Cosmic rays play an important role in the dense interstellar medium as they are the primary source of ionization in dense environments. The cosmic ray ionization rate is generally taken to be $\sim 10^{-17} \text{ s}^{-1}$ (Spitzer & Tomasko 1968), although large variations have been observed toward different sources across the Galaxy. The cosmic ray ionization fraction influences the star-forming process in two ways: i) it influences the fragmentation of clumps and filaments through ambipolar diffusion; and ii) it has a significant impact on the chemistry. With the IRAM 30m telescope we observed the (1-0) transition of HCO^+ , DCO^+ and H^{13}CO^+ toward 18 dense Planck Galactic cold clumps in different evolutionary stages with peak H_2 column density above 10^{22} cm^{-2} . This sample allowed us to investigate the ionization fraction across the whole Galaxy. We derived the ionization fraction and the cosmic ray ionization rate of the gas in this sample of Planck clumps to study the influence of the degree of ionization in clump fragmentation and level of star formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

9月19日(水) 午前(11:00-13:00) [G会場]

R01a	11:00	棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制 3 前田郁弥 (京都大学)
R02b	11:12	棒渦巻銀河 NGC253 における炭素同位体比 小西諒太郎 (大阪府立大学)
R03b	11:12	NRO レガシープロジェクト COMING(19) : 銀河中の星形成効率の動径分布 村岡和幸 (大阪府立大学)
R04b	11:12	NRO レガシープロジェクト COMING(20) : CO 分子ガス速度場のフーリエ解析から求める銀河の基本量と棒状構造の角速度 野間勇斗 (関西学院大学)
R05a	11:24	NRO レガシープロジェクト COMING(21) : CO 3 輝線で探る棒渦巻銀河における分子ガスの物理状態と星形成 矢島義之 (北海道大学)
R06b	11:36	シミュレーションによる棒渦巻銀河の星形成 堀江秀 (北海道大学)
R07b	11:36	M51 の渦状腕に対する力学不安定解析 井上茂樹 (Kavli IPMU / 東京大学)
R08b	11:36	近傍渦巻銀河 M 83 の渦巻腕における巨大分子雲の進化 杉内拓 (大阪府立大学)
R09b	11:48	A GMC catalog for the Circumnuclear Disk of Centaurus A Rie E. Miura (NAOJ)
R10b	11:48	Star Formation Laws at GMC Scales along the Dust Lane of the Elliptical Galaxy NGC 5128 (Centaurus A) Daniel Espada (NAOJ)
R11b	11:48	ENvironmental effect study for cluster galaxies with Molecular and Atomic gas observations (ENMA): ALMA observations of NGC 1316 in the Fornax cluster Kana Morokuma (ISAS/JAXA)
R12a	12:00	SAGA データベースを用いた銀河系の動力学化学進化. II 松野允郁 (総合研究大学院大学)
R13a	12:12	次期位置天文観測衛星, 小型 JASMINE での銀河系中心核バルジの構造の解明 矢野太平 (国立天文台)
R14a	12:24	N 体シミュレーションで探る天の川銀河 Hercules stream の起源 藤井通子 (東京大学)
R15a	12:36	Gaia DR2 による天の川銀河円盤の動力学 馬場淳一 (国立天文台)
R16c		衝突系 1PN N 体シミュレーションの定式化とコード作成 立川崇之 (高知工業高等専門学校/早稲田大学)
R17c		銀河円盤の abundance gradient と親銀河の性質の関係 隈井泰樹 (熊本学園大学)
R18b	12:48	Gravitational Field Flux Picture with Generalized Gauss's law of Gravity to Interpret the Rotation of Disk Galaxies Te Chun Wang (CSIC)
R19b	12:48	近傍銀河の大局的磁力線構造 藏原昂平 (鹿児島大学)
R20b	12:48	VLA-COSMOS 領域における多波長光度関数進化 河野海 (名古屋大学)

9月20日(木) 午前(9:30-10:42) [G会場]

R21a	09:30	ALMA Resolves the Circumnuclear Disk of NGC 1808 in [CI] (1-0) Dragan Salak (Kwansei Gakuin University)
R22a	09:42	Gas dynamics in M100 revealed from high resolution CO(J=2-1) mapping Komugi, Shinya (Kogakuin University)
R23a	09:54	矮小銀河 NGC 1569 の爆発的星形成活動によるダスト変性の可能性 鈴木仁研 (名古屋大学)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

R24a	10:06	矮小楕円体銀河における星形成史と暗黒物質ハロー 佐々木秀幸 (防衛大学校)
R25c		同一環境下にある Ultra-diffuse Galaxies の間欠的星形成の阻害要因について 釜谷秀幸 (防衛大学校)
R26a	10:18	銀河面からの軟 X 線背景放射 (5) 石原雅士 (名古屋大学)
R27b	10:30	NGC 4472 の広がった X 線放射 甲斐優 (金沢大学)

R01a 棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制3

前田郁弥, 太田耕司 (京都大学), 羽部朝男 (北海道大学), 藤本裕輔 (ANU), 馬場淳一 (国立天文台)

棒渦巻銀河の棒部では顕著なダストレーンが見られ星形成の母体となる分子ガスが豊富にあると思われるが、HII領域は見られず、重い星の形成が抑制されていることが知られている。この原因については近年の研究により、棒部では分子雲衝突の相対速度が大きく、衝突している期間が短いため、重い星が形成されない可能性 (Fujimoto et al. 2014) や、分子雲が重力的に束縛されていない可能性 (Sorai et al. 2012) などが指摘されているが依然として不明である。これまでの棒渦巻銀河のCO観測から棒部での星形成効率 (SFE) は、腕部に比べて2~3倍低いことが知られている (e.g., M83; Hirota et al. 2014, NGC4303; Momose et al. 2010)。しかし、これらの棒渦巻銀河の棒部には星形成が見られるものがあり、星形成抑制の原因を調べるためには、抑制が非常に顕著に表れている棒部 (強い棒部) を持つ銀河を対象とする方がより理想的であろう。

2017年秋季年会では、そのような強い棒部を持つ棒渦巻銀河NGC1300(距離 20Mpc) とNGC5383(距離 35Mpc) について、野辺山45mを用いたCO観測により、棒部にも分子ガスが豊富に存在することなどを初めて示した (Maeda et al. 2018)。これまで強い棒部を持つ棒渦巻銀河のSFEは定量化されていなかったが、野辺山45mの観測結果を用いることで導出が可能となった。NGC1300の星形成率はHSTのH α 画像を用いて導出し、NGC5383については過去のH α 観測結果 (Sheth et al. 2000) を用いた。導出の結果、両方の銀河において棒部のSFEは腕部に比べ1桁近く小さいことがわかった。今回の結果はこれまで観測された棒渦巻銀河に比べて、強い棒部では著しくSFEが小さいことを示している。このような棒部を対象として原因解明のための更なる観測が望まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02b 棒渦巻銀河 NGC253 における炭素同位体比

小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和, 原田遼平, 杉内拓, 後藤健太 (大阪府立大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学)

銀河中の星形成過程を詳しく理解するために、 ^{12}CO や ^{13}CO 分子の多輝線/多遷移観測に基づいた分子ガスの温度や密度等の物理状態を導出することは有用な手法である。このような解析では各分子の同位体比を仮定するため、分子ガスの物理状態の決定精度を向上させるためには正確な同位体比を知ることが必要不可欠となる。特に炭素同位体比 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比) は重要な情報である。Langer & Penzias (1990) によると天の川銀河の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は、中心領域では 24 であり、5kpc の地点では 30 ほど、12kpc 離れた地点では 70 程度と、中心から離れるほど $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が増加する傾向がある。一方、系外銀河の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は、NGC253 の中心領域では 40 ± 10 (Henkel et al. 2014) で、M82 の中心は 50-75 (Mao et al. 2000) と報告されている。これらの値は天の川銀河の中心領域の 24 に比べて 1.5-3 倍大きい。また、系外銀河の円盤領域の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定は未だなされておらず、系外銀河において $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比がどのように空間変化するのかはわかっていない。

本研究では、棒渦巻銀河 NGC253 に対して、 $^{12}\text{CN}(N=1-0)$ と $^{13}\text{CN}(N=1-0)$ 輝線から $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の空間分布を調べた。CN は CO よりも光学的に薄く、また微細構造線を持つので、積分強度比をより正確に測定できる利点がある。ALMA 観測により、中心から 2.3 kpc 離れた bar-end 領域で $^{12}\text{CN}(N=1-0)$ と $^{13}\text{CN}(N=1-0)$ 輝線の検出に初めて成功し、そこでの $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は 25 ± 11 と得られた。中心領域の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は 29-45 で、先行研究と大きな矛盾はなかった。この結果から、少なくとも NGC253 の bar-end 領域までは $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が銀河半径に従って増加するとはいえず、天の川銀河での傾向 (中心から 5kpc で、24 から 30 に増加) とはやや異なることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03b NRO レガシープロジェクト COMING(19)：銀河中の星形成効率の動径分布

村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府立大学), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾, 梶川明祐実, 八嶋裕 (北海道大学), 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 喜多将一郎, 小松崎龍聖, 渡邊祥正 (筑波大学), 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 依田萌, 竹内努 (名古屋大学), 諸隈佳菜 (JAXA), 小林将人 (大阪大学), Dragan SALAK, 野間勇斗, 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 他 COMING メンバー

COMING プロジェクトでは、130 を超える銀河の CO(1-0) マップの取得に成功した。その豊富なデータを用いて、銀河中の星形成効率 (単位分子ガス質量あたりの星形成率) の動径分布を調べたので報告する。星形成率の指標として GALEX FUV と WISE 22 μm を採用し、(1) これら 2 種類のデータがアーカイブから利用可能である、(2) inclination が 75° よりも小さい、(3) 明らかな相互作用が見られない、という 3 つの条件を満たす 80 個の銀河を選別した。内訳は、SA 銀河が 30 個、SAB 銀河が 33 個、SB 銀河が 17 個となった。動径方向には $6''$ ごとに bin を切り、銀河半径は r_{25} (B-band isophotal radius at 25 mag asec^{-2}) で規格化し、動径分布を得た。

大局的な傾向として、 $R_{25} (= r/r_{25}) < 0.2$ という銀河の中心に近い領域では、SA 銀河の星形成効率は $(0.6 - 3.0) \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$ であるのに対し、SB 銀河では $(2.0 - 10) \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$ と、3 倍ほど大きいことが分かった。SAB 銀河の星形成効率は $(0.5 - 7.0) \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$ と範囲が広く、SA と SB を合わせたような傾向を示していた。また、 $R_{25} > 0.2$ では、いずれのタイプでも星形成効率が $(0.6 - 3.0) \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1}$ で、明らかな違いは見られなかった。

$R_{25} < 0.2$ において SA と SB を詳しく比較すると、分子ガスの質量面密度は両者であまり変わらないが、星形成率面密度は SB の方が平均的に 3 倍ほど高いことがわかった。これは、SB 銀河の持つ強い棒構造が、中心 (に近い) 領域への大量のガス供給を担うというよりも、そこでの星形成を促進する役割が大きいことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04b NRO レガシープロジェクト COMING(20) : CO 分子ガス速度場のフーリエ解析から求める銀河の基本量と棒状構造の角速度

野間勇斗, Salak Dragan, 瀬田益道, 中井直正 (関学大), 徂徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾, 梶川明祐実, 八嶋裕 (北大), 宮本祐介, 金子紘之 (国立天文台), 久野成夫, 渡邊祥正, 田中隆広, 保田敦司, 喜多将一郎, 小松崎龍聖 (筑波大), 竹内努, 依田萌 (名大), 村岡和幸, 黒田麻友 (大阪府大), 中西裕之 (鹿児島大), 大井渚 (東京理科大), 諸隈佳菜 (JAXA), 松本尚子 (山口大), PAN Hsi-An(台湾中央研究院), 他 COMING

COMING プロジェクトは野辺山 45 m 電波望遠鏡で約 140 天体の近傍銀河を CO(1-0), 速度分解能 10 km s^{-1} でマッピング観測した。銀河のポジションアングル (PA) は測光的に決める事が多いが、face-on の場合は決定が難しい。その場合も速度場からなら PA が精度良く求まる。また、銀河進化の上で重要な棒状構造 (バー) の動力学を理解する上で、そのパターン速度は欠かせないパラメータだが、バーのパターン速度と銀河の回転が同じ角速度になる共回転半径 (CR) を求めるには動径方向の速度成分等の情報が必要で、それらが求められた棒渦巻銀河は少ない。2018 年春季年会 (野間 他 R07b) に続き、銀河の視線速度をフーリエ級数展開し、銀河を楕円フィットして、PA や銀河の回転速度や動径方向の速度などが求まる Kinemetry (Krajinovic et al. 2006) で、COMING の CO 分子ガス速度場から銀河の基本量 (PA や傾斜角、後退速度) と速度成分を求めた。これまでの観測結果から 60° ほど PA が変わる銀河もあった。先行研究 (Font et al. 2011 等) に従いガスの動径方向の速度成分の正負が変わる半径 (動径速度 0 km s^{-1}) を CR とすると、そこから求めたバーのパターン速度は、NGC4303 では先行研究 (Font et al. 2014) の結果が約 $39 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ 、今回の結果が約 $33 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ となり、先行研究とも矛盾しなかった。同様に、今回新しく求めた銀河のバーのパターン速度は約 $30\text{-}70 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ の範囲となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05a NRO レガシープロジェクト COMING(21) : CO 3 輝線で探る棒渦巻銀河における分子ガスの物理状態と星形成

矢島義之 (1), 徂徠和夫 (1,2), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (3), 竹内努 (4), 宮本祐介 (5), 金子紘之 (5), 渡邊祥正 (2), 小林将人 (6), 田中隆広 (2), 黒田麻友 (3), 保田敦司 (2), 依田萌 (4), 柴田修吾 (1), 他 COMING メンバー (1:北海道大学, 2:筑波大学, 3:大阪府立大学, 4:名古屋大学, 5:国立天文台, 6:大阪大学)

棒渦巻銀河のバーでは渦状腕と比べ、星形成効率が低いことが報告されており、これは分子ガスの密度などの物理状態が銀河の構造ごとに異なることを示唆している。我々は昨年年秋季年会 R07a において、棒渦巻銀河 NGC 4303 の分子ガス密度と星形成の関係を発表したが、これはビームダイリュージョン効果を考慮せず、加えて分子ガスの温度はダスト温度と等しいという仮定に基づいていた。今回は我々が考案したビームダイリュージョン補正法を適用し、更に COMING プロジェクトで得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線のデータに、 $^{12}\text{CO}(3-2)$ 輝線のアーカイブデータを加えて分子ガス温度の仮定なしに求めることで、改善をはかった。本研究は近傍の棒渦巻銀河 NGC 3627 と NGC 4303 について、それぞれの銀河の渦状腕、バーエンド、バーごとに 3 輝線の積分強度比を求め、non-LTE 法に基づいて分子ガスの密度と温度を求めた。その結果、NGC 3627 では 39%、NGC 4303 では 25% バーの分子雲は渦状腕よりも密度が低下していることがわかった。分子雲同士の速度分散と分子ガス密度間の関係はビームダイリュージョンの補正がない時では負の相関となる。しかし、今回の結果は速度分散が $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ 以下の範囲では分子ガス密度と正の相関が成立するが、速度分散がそれ以上になると負の相関になる関係性が得られた。これにより、適度な分子雲間の相対速度であれば、分子雲同士が衝突する確率が上昇し、密度が上がる傾向となるが、分子雲間の運動が激しすぎると密度は低下し、星形成が抑制されてしまうことによると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06b シミュレーションによる棒渦巻銀河の星形成

堀江秀，岡本崇（北海道大学）

近年の棒渦巻銀河の観測から，棒部分における星形成効率は渦状腕よりも低いことがわかっている．これは棒部分と渦状腕での物理状態が異なることを示している．観測やシミュレーションによって，渦状腕では分子雲同士の衝突によって重い星の形成が誘発されるが，棒部分では分子雲同士の相対速度が大きすぎるために重い星が形成されないことが示唆されている．しかしながら，棒部分での星形成効率が低いという傾向のメカニズムは未だよくわかっていない．

本研究では分子雲同士の衝突などは考慮しない，宇宙論的シミュレーションで用いられる標準的な星形成の条件の下で棒渦巻銀河の星形成効率の傾向が得られるかどうかを検証した．この条件とは低温・高密度のガスが自己重力的であれば，そのガスから星を形成するというものである．シミュレーションには一般公開されているコード GIZMO を用いた．これにダークマターハロー，銀河円盤，バルジ，棒部分，渦状腕のポテンシャルと宇宙論的シミュレーションに用いられる星形成のモデルを実装し，計算を行った．データの解析の際には，観測結果と比較しやすくするために，まず空間分解能を観測に合わせた．そして各スナップショットで領域ごとにガスの表面密度と単位面積当たりの星形成率を計算し，Kennicutt-Schmidt 図を作った．

その結果，棒部分と渦状腕における星形成効率は同程度であり，観測が示すような結果は得られなかった．これは星形成の条件に，棒部分と渦状腕の物理状態の違いを考慮した，より複雑なモデルを導入する必要があることを示唆している．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07b M51 の渦状腕に対する力学不安定解析

井上 茂樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構 / 東京大学), Erin Mentuch Cooper (The University of Texas at Austin), 江草 芙実 (国立天文台), 吉田 直紀 (東京大学)

我々は先行研究 (Inoue & Yoshida 2018) において、線形摂動理論に基づいた渦状腕に対する重力不安定解析を考案した。これによって渦状腕の力学状態を不安定性パラメータによって定量的に表すことができ、力学的に不安定な場合は渦状腕の分裂を予測できることを示した。本研究は、その不安定解析を初めて実際の銀河の観測データに適用するものであり、近傍銀河である M51 の渦状腕の不安定性を議論する。

M51 は銀河の中心から外縁まで届く 2 本の卓越した渦状腕を持っており、近くの伴銀河によってその形成が誘発されたと考えられている。ゆえに、M51 の渦状腕は最近形成した若い構造であり、近い将来に分裂などの進化をしていく可能性があるため、不安定解析によってその進化を予測することは興味深い。我々は、高解像度の CO 分子輝線の観測 (PAWS; Schinnerer et al. 2013) から得られたガス成分の物理量と、赤外線観測 (VNGS; Mentuch Cooper et al. 2012) から求められた星成分の質量密度を用いて、M51 の渦状腕に対する力学不安定解析を行った。

解析の結果、M51 の渦状腕における不安定性パラメータは、2 本とも安定状態を示す値であった。しかし、解析には様々な仮定やモデルも用いられており、特に CO 分子輝線からの水素分子ガス密度の決定には 2 倍程度の不確実性があるとされる。その誤差範囲においては不安定である可能性も否定はできないが、標準的な変換係数を仮定すれば、M51 の渦状腕はかろうじて安定状態にあると考えられ、分裂などはしないと予想される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08b 近傍渦巻銀河 M 83 の渦巻腕における巨大分子雲の進化

杉内拓, 村岡和幸, 原田遼平, 小西諒太郎, 後藤健太, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/NAOJ), 濤崎智佳 (上越教育大学), 馬場淳一, 廣田晶彦, 江草芙実, 中西康一郎 (NAOJ), 河野孝太郎 (東大天文センター), 久野成夫 (筑波大学)

銀河進化を理解するためには, その素過程である分子雲の進化や星形成を理解することが重要である. 渦巻銀河の円盤内の分子雲は, 渦巻腕を横切る際に衝撃波を受けて圧縮されることで高密度化および星形成が進むと言われている. 最近の研究において, さまざまな渦巻銀河に対する $^{12}\text{CO}(1-0)$ の観測により, 巨大分子雲 (~ 40 pc) が渦巻腕を横切る際に質量が増大し, 下流ほどより大質量になっていくことが分かってきた (Egusa et al. 2011, ApJ, 726, 85, Hirota et al. 2011, ApJ, 737, 40). また, 渦巻銀河 NGC 1068 に対する $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CS}(2-1)$, $\text{CH}_3\text{OH}(2-1)$ の 4 輝線の ALMA 観測により各分子輝線の空間変化が 100 pc スケールで明らかになった (Tosaki et al. 2017, PASJ, 69, 18). 特に, $^{13}\text{CO}(1-0)$ と $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ の輝線強度がよい相関があることがわかり, $\text{CS}(2-1)/^{13}\text{CO}(1-0)$ 強度比とガス質量の関係からガス質量が大きいほど高密度分子ガスを作ることが示唆された.

本研究では, 渦巻腕を横切る際の分子雲の物理的・化学的特性の変化を追うことを目的とした. ALMA 望遠鏡で渦巻銀河 M 83 の東側の渦巻腕の $107'' \times 70''$ (2.4 kpc \times 1.5 kpc) にわたって, 角度分解能 $2''$ (~ 40 pc) で $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CS}(2-1)$, $\text{CH}_3\text{OH}(2-1)$ を観測し, 各分子輝線の空間分布を調べた. その結果, 高密度領域をトレースする $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CS}(2-1)$ は銀河中の分子ガス全体をトレースする $^{13}\text{CO}(1-0)$ に比べて下流側に集中し, 大質量星形成領域をトレースする $\text{H}\alpha$ はさらに下流側に集中することが分かった. これにより, 分子雲が渦巻腕を横切る際に高密度化, そして星形成へと進化している様子を ~ 40 pc のスケールで初めて明らかにすることができた.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09b A GMC catalog for the Circumnuclear Disk of Centaurus A

Rie E. Miura (NAOJ), Daniel Espada (NAOJ), Satoki Matsushita (ASIAA), Sergio Martin (JAO), et al.

Although the properties of resolved giant molecular clouds (GMCs) within the different spiral and dwarf galaxies and their scaling relations are generally compatible among them (Bolatto et al. 2008), those in extreme environments such as the Galactic Center and starburst regions substantially differ (Oka et al. 2001; Leroy et al. 2015; Miura et al. 2018). In this contribution we shed light onto the properties of the GMCs in the molecular disk along the dust lane of the elliptical galaxy Centaurus A (Cen A). Cen A is by far the nearest ($D = 3.8 \text{ Mpc}$) and best studied powerful radio galaxy and giant elliptical (Israel 1998). We present ALMA CO maps towards the CND of this target with high resolution, 20 parsec, and 1.3 km/s channel widths. With these data we have built for the first time a molecular cloud catalog of the CND of Cen A using the CPROPS package, and found that a population of the molecular clouds in Cen A resembles Galactic Center molecular clouds. We show how the scaling relations differ from those in other galaxies, and discuss the possible origin of such deviations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R10b Star Formation Laws at GMC Scales along the Dust Lane of the Elliptical Galaxy NGC 5128 (Centaurus A)

D. Espada (NAOJ, SOKENDAI), S. Verley (University of Granada), R. E. Miura (NAOJ), et al.

We present high resolution ($\sim 1''$, or ~ 18 pc) CO(1-0) and CO(2-1) observations along the dust lane of the nearest elliptical galaxy and radio galaxy, NGC 5128 (Centaurus A), taken with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). We calculate gas mass surface densities with these two transitions at giant molecular cloud scales (~ 20 pc), and derived for the first time the Kennicutt-Schmitt star formation (SF) law using the star formation rate (SFR) surface densities obtained from Spitzer/IRAC $8\mu\text{m}$ at a resolution of $2.4''$ (~ 50 pc). We checked the correlation between the Spitzer/IRAC $8\mu\text{m}$ and MIPS $24\mu\text{m}$ fluxes (to the coarser resolution of $6''$ for the latter) and found that they scale almost linearly. Although the SF law and depletion times are in general similar to 'normal' disk galaxies, we highlight and discuss regions that deviate from the standard relations. This is the most detailed view of the SF law within an elliptical galaxy, and also in regions close to a powerful radio jet.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R11b ENvironmental effect study for cluster galaxies with Molecular and Atomic gas observations (ENMA): ALMA observations of NGC 1316 in the Fornax cluster

Kana Morokuma-Matsui (ISAS/JAXA), Jing Wang (KIAA-PKU), Kenji Bekki, Bi-Qing For (UWA), Paolo Serra (INAF), Yusei Koyama, Kouichiro Nakanishi, Fumi Egusa (NAOJ), Minju Lee (NAOJ/Nagoya U.), Tadayuki Kodama (Tohoku U.), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya U.), Baerbel Koribalski (CSIRO), Tomoki Morokuma (U. of Tokyo), Takuji Yamashita, Shuhei Koyama (Ehime U.)

We are conducting $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ mapping survey toward 65 Fornax cluster galaxies with ALMA 7-m and total power arrays (Morita array) as a cycle-5 project. In this contribution, we introduce preliminary 7-m array results for NGC 1316 (also known as Fornax A), the 3rd-brightest nearby galaxy in radio wavelength (located at 20.8 ± 0.5 Mpc distance) after NGC 5128 (Centaurus A) and M 87. Previous deep optical images of NGC 1316 show outstanding and extended dust patches, several ripples and loops, suggesting a rich history of interaction events and making this galaxy one of the best targets to study galaxy evolution in a cluster environment. The CO emission is detected and the inferred total molecular gas mass is $3.7 \times 10^8 M_{\odot}$ which is $\sim 26\%$ smaller than the value reported in a previous study with single-dish observations. The high-resolution CO map (beam size of 1.56×0.77 kpc) clearly shows the shell structure at the north-west side for the first time and the marginally resolved concentration at the south-east side from the center. These CO distribution is beautifully matched with the dust distribution presented in the HST optical image. With the CO spatial distribution and its velocity field, we discuss the merging history of NGC 1316 in this contribution.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R12a SAGA データベースを用いた銀河系の動力学化学進化. II

松野允郁 (総研大、国立天文台), 須田拓馬 (東京大学), 青木和光 (国立天文台), 勝田豊, 山田志真子 (北海道大学), 藤本正行 (北海学園大学)

Λ CDM 宇宙論のもとでは、銀河は銀河どうしの合体・降着を通じて形成され、銀河外縁部のハローにはその痕跡が残っているとされる。最近の Gaia 衛星からのデータリリース (Gaia DR2) によって、銀河系への銀河の降着の痕跡を恒星の運動から探すことができるようになった。一方で、このような降着の痕跡は銀河を構成する星の化学組成に残っている可能性があるため、銀河系ハローと矮小銀河の化学組成の比較は重要な示唆を与える。我々は高分散分光に基づいた金属欠乏星の化学組成のデータベース、SAGA データベースを、Gaia DR2 とクロスマッチさせることでおよそ 1000 個の銀河系ハローの金属欠乏星の運動と化学組成の関連を調べた。まず、本サンプルではハロー星を銀河系円盤と同じ方向に動いているか否かに応じて 2 つに分けた。先行研究では、これらの 2 種族間の金属量分布の違いと、高金属量端 ($[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1.5$) での化学組成の違いが報告されている。本研究のサンプルで低金属量端 ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.0$) を調べたところ化学組成の違いが見られないことがわかった。この結果から、低金属量の銀河系ハローは運動に関わらず比較的大質量の矮小銀河ひとつが大きな寄与をしたか、非常に多数の矮小銀河の降着を経験したため 2 種族とも単にそれらの平均的な性質を見ているにすぎないという 2 つの仮説が考えられる。本研究ではさらに細かいスケールに注目し、Helmi et al. (2017) で存在が指摘された銀河系ハローのいくつかの運動的副構造に含まれる恒星の化学組成を調べた。その中の一つは Ba 組成が矮小銀河と同様のパターンを示すが、それ以外のどの副構造もハロー全体と同様の化学組成を示した。これらの結果は運動情報に化学組成を組み合わせることで初めて、矮小銀河降着の痕跡を認めることができるという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](#)

R13a 次期位置天文観測衛星，小型 JASMINE での銀河系中心核バルジの構造の解明

矢野太平, 郷田直輝, 馬場淳一 (国立天文台), ほか JASMINE ワーキンググループ同

Gaia の 2016 年、2018 年の 2 度にわたるデータリリースで位置天文観測による銀河系の解明が盛んに進められているが、銀河中心領域においては、ダスト影響が非常に強く可視光を用いる Gaia では十分な観測が出来ない。こうした中、1.1-1.7 ミクロンの赤外線を用いて、銀河系中心核バルジの星をターゲットとする位置天文観測衛星である小型 JASMINE が打ち上げを目指して開発が進められている。小型 JASMINE は銀河系中心核バルジの起源と進化の解明を目指している。具体的な例として、中心核ディスクあるいは内部バーが本当に存在しているのか。また、存在しているとして、そのディスクはいつ形成されたのか。またパターン速度としてどのような回転速度をもっているのかといった事を明らかにする。他、固有運動を詳細に調べる事で隠れた星団の探査を行うとともに、銀河系中心核星団が secular evolution したのかどうかの実証をおこなう。更には、巨大ブラックホールによる周りの星への力学的摩擦などのプロセスによる加熱過程の解明など、小型 JASMINE で解明を目指すサイエンスを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14a N体シミュレーションで探る天の川銀河 Hercules stream の起源

藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (国立天文台), Jeroen Bedorf, Simon Portegies Zwart (Leiden Observatory)

Gaia Data Release 2 (Gaia DR2) が公開され、これまでにない数の天の川銀河の星について、その位置と速度が高精度で求められた。一方、GPU クラスタを用いた N 体シミュレーションでは、最大 80 億体 (銀河円盤の星には 4 億体) を用いた天の川銀河のシミュレーションが可能となった。このシミュレーションでは、ガスを扱わない代わりに、ダークマターハローも粒子を使ってモデル化し、円盤とハローの力学相互作用を取り扱っている。その結果、天の川銀河を再現するためには、ダークマターハローのスピニングが重要であることがわかってきた (2018 年春季年会 R23a)。

本研究では、円盤銀河の N 体シミュレーションから選んだ天の川銀河モデルを、Gaia DR2 の結果と比較するために疑似観測した。特に、これまでの観測から見つかっている Hercules stream に着目し、シミュレーションでの太陽近傍の星の速度空間分布を調べた。先行研究から、Hercules stream は outer Lindblad resonance によって作られると言われていたが、シミュレーションの結果からそれは確認できなかった。N 体シミュレーションでは渦状腕やバーが時間変動しており、円盤内の星の軌道は、モデルのような「キレイ」な軌道にならない。N 体シミュレーションで Hercules stream のような分布が常に見られるわけではないのは、そのため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](#)

R15a Gaia DR2 による天の川銀河円盤の動力学

馬場淳一 (国立天文台)

2014年より科学運用を開始した位置天文観測衛星 *Gaia* (ESA) の第二期データ公開 (DR2) が2018年4月に行われた。*Gaia* DR2 では科学運用開始後の22ヶ月データから解析した、約13億個の星の年周視差・固有運動に加え、約700万個の星の視線速度データも公開された (Gaia Collaboration, Brown et al., arXiv:1804.09365)。これにより *Gaia* データ単独で太陽周辺の kpc スケールに渡る6次元位相空間データで、天の川銀河の銀河円盤の大局的な3次元速度場が初めて明らかになった。前時代の位置天文観測衛星 *Hipparcos* で既に知られていた太陽近傍星 (< 200 pc) の速度分布 (Dehnen & Binney 1998) よりも詳細なサブ構造が描き出された (Gaia Collaboration, Katz et al., arXiv:1804.09380)。さらに様々な銀河中心距離における銀河円盤の速度構造も調べられ、多数の速度サブ構造が発見されるとともに、それらの空間的広がりも新たに明らかになった (Kawata, Baba et al. 2018, MNRAS; Antoja et al. arXiv:1804.10196; Ramos et al. arXiv:180509790)。これらの速度構造は、棒状構造や渦状腕構造の相互作用に起因して生じた共鳴運動や、矮小銀河との相互作用による摂動の影響の位相混合の結果などで生じていると推測される。

本講演では *Gaia* DR2 により明らかになったこれら銀河円盤の動力学構造 (主に速度構造) を紹介するとともに、アテルイ II (国立天文台 CfCA) を用いた様々なパターン速度の棒状構造、密度波 (Lin & Shu 1964) や動的渦状腕 (Baba et al. 2013; Baba 2015) といった異なる渦状腕モデル、矮小銀河からの摂動を考慮した銀河円盤の数値シミュレーション結果と比較し、*Gaia* DR2 で発見された速度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](#)

R16c 衝突系 1PN N 体シミュレーションの定式化とコード作成

立川崇之 (高知高専, 早大理工研)

2017年秋季年会において、巨大ブラックホール (SMBH) の形成過程を考察するため、一般相対性理論の効果を取り入れた N 体シミュレーションのコード開発について発表を行った。この際には中心に中間質量ブラックホール (IMBH) のような重い天体が存在し、その周囲を恒星が取り囲むモデルを想定した。この想定のもとで、IMBH と恒星との相互作用は Post-Newtonian の最低次の効果 (1PN) で計算し、恒星同士の相互作用は Newton 重力で取り扱った (cf. Will, Phys. Rev. D **89**, 044043 (2014))。系を無衝突系を仮定し、累積誤差の問題があるものの 4 次の Runge-Kutta 法での時間発展を行い、GPU への実装を行なった (Tatekawa, Comm. Comp. Phys., in press)。

本発表では重い天体に軽い天体が接近した時の計算を正確に行うため、まず衝突系シミュレーションの定式化について報告する。衝突系の計算には加速度の時間微分を行わなければならない。そこで、前回の発表と同様に IMBH と恒星との相互作用のみを 1PN で考えた場合の加速度の時間微分を導出した。次にこの定式化された式について、4 次の Hermite integrator を用い、かつ GPU を用いてコードの高速化を試みた経過を報告する。

さらに、重い天体が多体系をなし、全ての相互作用を一般相対論的に取り扱う必要がある場合について考察する。この場合には、全ての相互作用を Einstein-Infeld-Hoffman (EIH) 方程式で考えなければならない。相互作用の計算量が $O(N^3)$ になり、現在用いているコンパイラでは GPU を用いた高速化が直ちにできる状況ではないが、今後のコード開発に備えて、衝突系の発展方程式を定式化したことを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R17c 銀河円盤の abundance gradient と親銀河の性質の関係

隈井泰樹 (熊本学園大学)

渦状銀河では、銀河円盤の中心からその外縁部へ動径方向に沿って金属量の系統的な減少 (負の abundance radial gradient; 以下、ARG) が普遍的に観測される。しかし、ARG の形成に対してどのような物理機構が決定的な役割を果たしているのかについては未だに良く分かっていない。今回、我々は、銀河の ARG の起源を解明するための手がかりを求めて、近傍銀河について、銀河円盤の ARG およびそれに関連する量と親銀河の性質の関係に注目して、様々な文献から観測データを収集・解析して統計的調査を行った。その主な結果を以下に示す。

(1) 銀河中心および外縁部を除いた、中心からの距離が中間的 (円盤の有効半径の 0.5 - 2 倍) な領域で測定したガス中の酸素の ARG は、円盤の中心集中度や星の平均表面密度が大きいほど shallow である傾向がある。

(2) 円盤部全体 (中心から光学的半径 r_{25} まで) では、酸素の ARG と円盤の中心集中度や星の表面密度の相関は顕著ではない。ただし、分子ガス量および星形成がバルジが優勢な領域へ集中 (銀河円盤の内側へ集中) している銀河ほど、ARG が shallow であるという緩やかな傾向が見られる。

(3) 親銀河の kinematics に関する量である回転速度、中心の星の速度分散、および両者の比のうち前者は、他の銀河全体の大きさを表す量 (光度、星の質量、光学的半径) や銀河の subclass と同様、銀河中心や有効半径や r_{25} での abundance や酸素と窒素の abundance ratio とは緩やかな相関を示すものの、ARG とは顕著な相関は示さない。また、銀河円盤上の非軸対称構造 (arm や bar) の強さと ARG の間にも顕著な相関は見られない。

本講演では、銀河円盤の arm/interarm 領域や inner/outer 領域での ARG の類似性/差異などに関するより詳しい結果も加えて報告すると共に、これらの関係の起源についての議論も行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R18b Gravitational Field Flux Picture with Generalized Gauss's law of Gravity to Interpret the Rotation of Disk Galaxies

Te-Chun Wang, Chung Shan Industrial and Commercial School

The velocity-radius plots tend to go flat in the outer plane region of disk-shaped high surface brightness galaxies (hsbg) while rise all the way from center to the edge for low surface brightness galaxies (lsbg). Both the disk hsbg and lsbg violate the conventional Keplerian dynamics. Another observation setting constraints to models of galactic dynamics is the Tully-Fisher Relation (TFR), which states that luminous mass of the galaxy is proportional to its flat rotation velocity to the power of roughly 4. The theory of Modified Newtonian Dynamics, "MOND", successfully explains the flat rotation curve and TFR by modifying the Newtonian force law below a critical acceleration, or field. An alternative picture of MOND-type models is proposed here to provide the solution of these problems by a generalization of the Gauss's law of Gravity, along with a picture of the field flux of gravity. It is pointed out first that a flux distribution with a cylindrical symmetry through the side wall of a cylindrical Gaussian surface of the disk galaxies can result in a direct inverse radius dependence and give the flat rotation curve. Next, it is shown that below the critical field, the Stellar Tully-Fisher relation can be proved valid from the condition that the gravitational flux distribution turns into cylindrical from the spherical symmetry. This gravitational flux picture also provides a description in real space for the structure-dynamics relation of bulged, non-bulged hsbg and lsbg.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R19b 近傍銀河の大局的磁力線構造

藏原 昂平, 中西 裕之, 工藤 祐己 (鹿児島大学)

銀河には数 μG 程度の磁場があり、その磁場の構造は銀河の渦状腕によく沿っていることが多くの近傍銀河で観測されている (Beck, 2015)。しかし、数 μG の磁場と、その磁場構造の起源は現在でも未解決である。銀河面内のガスは円運動を行っている。部分電離したガスは磁力線に沿って運動することから、ガスが円運動をしているならば銀河面内の磁場もガスの円運動に沿う円環状の構造を持つことが期待される。しかし、近傍銀河の大局的な磁場構造はスパイラル構造を持っている。そのため、実際の銀河面内のガスの運動とガスが磁力線に沿って運動することに矛盾が生じている。

そこで、我々は近傍銀河について磁場ベクトルを決定し、Dobbs et al.(2016) の結果と比較することで、近傍銀河の磁力線が円環で閉じるかどうかを検証した。磁場ベクトルは、銀河の偏波角、Rotation Measure(RM)、速度場、可視の写真、の情報をを用いて決定する。用いたデータは Very Large Array(VLA) のアーカイブデータを用いた。

我々は近傍銀河 NGC6946 に対して磁場ベクトルマップを作成した。近傍銀河 NGC6946 の磁場のピッチ角の方位角方向変化は可視腕の間で連続的であったが、磁場の向きは不連続であった。一方、Dobbs et al.(2016) で説明される磁場ベクトルの場合、磁場の角度の方位角方向変化・磁場の向きの方角方向変化ともに連続的であった。これらの結果から、近傍銀河 NGC6946 は、Dobbs et al.(2016) で説明できるような磁力線構造は持っていないことがわかった。これは、近傍銀河 NGC6946 の磁力線は円環で閉じないことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20b VLA-COSMOS 領域における多波長光度関数進化

河野海, 竹内努 (名古屋大学)

銀河の光度や個数が各宇宙年齢によってどのように変化してきたか検証し、その振る舞いを説明するモデルを構成することは銀河形成・進化の観点から重要な課題である。本研究では、VLA-COSMOS field (1.77deg^2) の 3GHz 観測から得られた 7729 天体をデータとして用いた。光度・個数密度の赤方偏移依存性を明らかにするために、 $z < 5.5$ の赤方偏移を 9 つの領域に分割して、 C^- 法 (Lynden-Bell 1971) を用いて光度関数の導出を行った。 C^- 法は、 $1/V_{\text{max}}$ 法をはじめとした他の導出法と比較してサンプルサイズによらず最も正確な光度関数の形状を与えることが証明されている。星形成銀河 (SFG)、活動銀河核 (AGN) に対して光度関数をパラメトリックにフィットすることで銀河進化を算出した。その結果、SFG は $z = 3$ 程度に、AGN は $z = 1.5$ 程度に光度・密度のピークを持つことを確かめた。これは、赤外線における観測結果 (e.g., Gruppioni et al. 2013) とも整合的である。である。これに加えて、Square Kilometre Array (SKA) で検出可能な銀河計数を算出した。その結果、SKA において計画されている SKA-wide survey では、単位立体角あたり SFG は 5×10^9 個、AGN は 10^7 個の観測が見込まれることが分かった。見込まれることが分かった。これは、本研究に用いた VLA の感度 ($11.0 \mu\text{Jy} @ 3\text{GHz}$)、観測領域による観測と比較して、個数にして 2000 倍以上の天体を検出可能であることを示している。

本講演では、遠方銀河からの銀河計数への寄与の見積りを目的とした、銀河団起源の重力レンズ効果による増光効果の評価と、VLA-COSMOS 領域の多波長データに対する解析から得られる、多波長光度関数の進化を評価することで、EoR 直前の $z = 6$ までの SFG、AGN 由来の多波長光度進化および電離光子生成率変化について、観測的進化モデルの議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R21a ALMA Resolves the Circumnuclear Disk of NGC 1808 in [CI] (1-0)

Dragan Salak, Naomasa Nakai, Masumichi Seta (Kwansei Gakuin University), and Yusuke Miyamoto (NAOJ)

Recently, the fine-structure line of atomic carbon [CI] ($J=1-0$) at 492 GHz has been considered as a potential probe of molecular gas mass, especially in cosmic-ray irradiated molecular clouds and galactic superwinds, where CO may be depleted. In order to understand the origin of [CI] emission in such environments, which include starbursts and active galactic nuclei, it is important to study its distribution, intensity, and relation with other tracers of molecular gas in well-resolved nearby galaxies. Toward this goal, we have used Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) to image molecular lines, such as CO $J=1-0$, 2-1, and 3-2, mm/sub-mm continuum, and [CI] (1-0) at high resolution (25-50 pc) in the nearby (10 Mpc) starburst/Seyfert galaxy NGC 1808. The galaxy has been the subject of our ALMA observations primarily because of its dusty superwind (Salak et al. 2016, 2017). In this talk, we present initial results of cycle 5 imaging of [CI] (1-0) and 490 GHz continuum at $0.5''$ (~ 25 pc) resolution, as well as the first images of ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O (2-1), CS (5-4), and HNC(10_{0,10} – 9_{0,9}) at $1''$ toward the central 1 kpc of NGC 1808. [CI] in the circumnuclear disk (CND; central 100 pc) is distributed in a double peak and a spiral pattern that emerges from the core. Although similar to the distribution of the widespread molecular gas traced by CO, the intensity of [CI] in the central 1 kpc exhibits variations by a factor of a few compared to the dense gas tracers and continuum. The kinematics of [CI] resembles that of CO, showing large (~ 50 km s⁻¹) noncircular velocities in and around the CND.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a Gas dynamics in M100 revealed from high resolution CO(J=2-1) mapping

Shinya Komugi (Kogakuin Univ.), Hsi-An Pan (ASIAA), Nario Kuno (Tsukuba Univ.), Yoshiaki Sofue (Univ. of Tokyo), Tomoka Tosaki (Joetsu Univ. of Education), Sachiko Onodera (Meisei Univ.), Rie E. Miura (NAOJ)

We have created a high resolution ($1'' \sim 80$ pc) $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ map of the typical grand-design spiral galaxy M100, using archival ALMA data that has recently become public. The new map has a 1σ sensitivity to molecular clouds down to $1.6 \times 10^4 M_{\odot}$, and reveals unresolved GMCs out to galactic radii of 10kpc. The nuclear velocity structure is consistent with Science Verification $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ALMA data, but also reveals unknown features owing to the high sensitivity and resolution. In particular, we find anomalous velocity components which are not consistent with normal galactic rotation with bar induced flows. We will present the broad properties of CO in this galaxy, and focus on the anomalous velocity component and its origin.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R23a 矮小銀河 NGC 1569 の爆発的星形成活動によるダスト変性の可能性

鈴木仁研, 金田英宏 (名古屋大学), 尾中敬 (東京大学), 山岸光義 (宇宙航空研究開発機構), 石原大助, 國生拓磨, 土川拓朗 (名古屋大学)

星形成活動と物質進化は、互いに密接に関係する。銀河内の星の誕生・終焉によってガス中の金属量が増加し、ダストが形成される。ダストは、星の誕生には欠かせない水素分子を効率良く生成する。こうしたサイクルを経て、銀河進化と共に、多様な物質に富む現在の宇宙に至ったと考えられている。多様な星形成活動、物質進化と、その相互作用の総合的理解が銀河進化の理解には欠かせない。

矮小銀河 NGC1569 は、幾度も爆発的な星形成期を経験している。結果、強い恒星風や超新星爆発によって、大量の星間物質が銀河ハローへと流出 (アウトフロー) している。アウトフロー領域では、主に4つのスーパーバブルが存在する。X線とH α による観測によって、バブル内には高温プラズマ (10^{6-7} K) が満たされており、バブルの縁でショックが立っていることが分かっている。

赤外線天文衛星 AKARI と Herschel によって、NGC 1569 の遠中間赤外-サブミリ波帯の撮像観測が行われた。高い空間分解能 ($11''$ @ $160 \mu\text{m}$) による撮像観測によって、銀河円盤からアウトフロー領域までの詳細な赤外線放射分布を得ることができた。特に、アウトフロー領域での空間分布は、4つのバブル構造と良い一致を示す。つまり、高温プラズマ領域にダストが存在していることを意味する。また、領域毎に spectral energy distribution を調べたところ、ダストの emissivity power-law index が爆発的星形成領域および、アウトフロー領域で有意に変化することが分かった。このことは、ダストの特性が星形成活動により変化していることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R24a 矮小楕円体銀河における星形成史と暗黒物質ハロー

佐々木秀幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

矮小楕円体銀河は、 $10^6 \sim 10^9$ 太陽質量程度の比較的小さな銀河である。最近の観測から、それらは見かけの明るさよりも非常に多くの暗黒物質を含むことが分かっている。これらのうち、我々の銀河系やアンドロメダ銀河を親銀河とする矮小楕円体銀河の星形成史を比較すると、最初の星形成 (initial burst) から数十億年程度経過した後、再び星形成率が上昇していたもの (second burst) があったことがわかった。Carina では2度目だけでなく、3度目の星形成のピークがあったこともわかっている。我々はこの原因を、最初の星形成によって飛散した星間物質が crossing time を経て中心に戻り、中心領域での星間物質の密度が上昇したと考えている。

まず、中心付近に回帰した星間物質が星形成率を増加させるには、十分に冷却して密度を増さなければならない。我々は、横断時間を経て中心へと回帰した星間物質が十分に冷却されているかを、簡単なモデルを用いて調べてみた。その結果、コロナガスと化した星間物質が十分に冷却されるまでにかかる時間は、initial burst と second burst の差分を取って求めた横断時間より、4 オーダー程度も小さく、中心に回帰するまでに十分に冷却していたことがわかった。十分に大きな重力半径を持つ矮小楕円銀河であれば、より多くの星間物質の中心への回帰があると考えられ、second burst の有無は矮小楕円体銀河の暗黒物質ハローの多寡との関係性が期待される。

講演時には、さらに second burst の起きていない矮小楕円体銀河について、同現象が露見しない限界の重力半径を求めるなど、second burst の有無の原因について比較検討する予定である。second burst と重力半径との関連性が認められれば、星の形成史を調べることによりその矮小楕円体銀河の暗黒物質ハローの広がりを知ることができるようになる。また、third burst が確認されている Carina についても触れる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R25c 同一環境下にある Ultra-diffuse Galaxies の間欠的星形成の阻害要因について

釜谷秀幸, 佐々木秀幸, 磯川壮太

UDG(Ultra-diffuse Galaxies) は非常に低輝度の銀河であり、おとめ座銀河団の近傍に発見された (Sandage and Binggeli 1984)。UDG は、天の川銀河と同程度の大きさや質量を持つ場合もあるが、その恒星数が天の川銀河の 1% 程度であるために極端に暗い。低輝度である理由は、例えば星間物質が速やかに失われ星形成効率が悪かったためであると考えられているものの、現状では諸説ある。このように極端な性質を持つ UDG の起源を詳らかにすることで銀河形成の素過程がよりはっきりとしてくると期待されている。

Toloba et al. (2018) による最近の研究では、おとめ座銀河団に検出された 3 つの UDG に付随する球状星団の運動状態を調べ、UDG の力学構造を吟味している。Toloba 等の解析によると、3 つのうち VLSB-B と VCC615 はおとめ座銀河団内にあるにも関わらず自らが力学平衡にある。同一環境下で複数の銀河が力学的に安定した暗黒物質ハローを持つ UDG であったことは非常に興味深い。VLSB-D は銀河団からの潮汐力を強く被っていると論じられている。

さて、もし VLSB-B と VCC615 が安定した暗黒物質ハローを持つならば、星形成活動とその後の超新星爆発などにより、星間物質のコロナ成分が広がって存在することになる。加えて UDG では星形成効率が悪いので、いったん広がったコロナ成分でも、放射冷却の後、密度の濃い星間物質として銀河本体へ再集積できることがシンプルな時間尺度の評価から分かる。もしそうならば、星形成活動が間欠的に生じて良いはずであるが、この 2 つの銀河の恒星は古いものが殆どのように見える。講演時には、間欠的星形成が起きない条件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](#)

R26a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (5)

石原雅士, 三石郁之, 中澤知洋 (名古屋大学)

軟 X 線 (< 1 keV) の背景放射成分に対して、銀河面中性物質の吸収による X 線強度の減衰が予想より小さいことから銀河面特有の軟 X 線放射成分が示唆されている (McCammon & Sanders 1997)。その後、すさく衛星を用いた銀河面領域における軟 X 線分光解析により、0.9 keV 付近をヒークとする bump 状の超過成分が検出された (Masui et al. 2009)。銀河面他 14 領域に対してもその全てから超過成分が検出されており、超過成分は銀河面全体に広がった分布をもつことが示唆されている (三石他 2013 年秋季天文学会)。中野 2017 年秋季年会において、広視野と高角度分解能を併せ持つ XMM-Newton のデータを用い、超過成分に対する点源の寄与が見積もられた。すさくの観測領域を含む 4 領域において、XMM-Newton において点源から超過成分が検出され、各領域の点源の寄与は 10 - 40 % 程度であることが求められた。また、点源に対して近赤外対応天体を調査し、点源による超過成分の殆どが星起源であることが示唆された。しかし、点源の寄与の不定性の原因や X 線源の起源の細分化の議論をする上でサンプル数が十分でなく詳細な起源の解明には至っていない。

本研究では、XMM-Newton を使用し、超過成分と点源の寄与の系統的調査を行い起源のさらなる解明を目指す。XMM-Newton の全アーカイブは 13000 領域を超える。銀河面領域 $|b| < 10$ deg, 銀河中心を避けた $|l| > 45$ deg, 軟 X 線に感度が高い PN 検出器で 10 ks 以上の観測時間により selection を行うことで 400 領域を超える多数のサンプルを抽出した。抽出サンプルは選択領域全体の銀経・銀緯を網羅している。中野解析領域に比べて観測時間の長いサンプル (> 50 ks) は 80 領域存在し、その殆どにおいて 100 個を超える X 線点源が確認された。本講演では、多サンプル解析の結果と銀経や銀緯と超過成分の相関などから起源についての考察を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R27b NGC 4472 の広がった X 線放射

甲斐優，辻歩美，田中桂悟，藤本龍一（金沢大学）

NGC 4472 (M49) はおとめ座銀河団の中心からおよそ 1.5 Mpc 南側に位置する明るい楕円銀河であり，銀河団中心への落下の最中にある．ROSAT の観測によって， ~ 100 kpc に及ぶ長く広がった “tail” が見つかっており，これは動圧はぎ取りによるものと考えられている (Irwin & Sarazin 1996)．また 2004 年の XMM-Newton の観測では，核から約 20 kpc 北側におよそ 45 kpc に及ぶ表面輝度不連続面が報告され，この不連続面での圧力差から NGC 4472 の落下速度 v_{infall} は $1000 \text{ km/s} < v_{\text{infall}} < 2200 \text{ km/s}$ の超音速であることが示唆された (Kraft et al. 2011)．G.-Marsolaïs et al. (2017) は中心からおよそ 20 kpc の領域について詳細に報告している．

XMM-Newton は NGC 4472 の南側の領域を，360 ksec にわたって観測している．我々はそのデータを解析し，“tail” のより詳細な構造を調べた．その結果，NGC 4472 のガスは南西から南側に向かって伸びていること，NGC 4472 のほぼ南側にも ICM よりソフトな領域が存在することがわかった．本講演では，これらの結果から NGC 4472 の広がったガスの分布とその起源について議論する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【S. 活動銀河核】

9月20日（木）午後（14:30-15:30）[I会場]

S01a	14:30	ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center Masato Tsuboi (JAXA)
S02a	14:42	銀河系中心巨大 BH を巡る星 S2 の研究 1 : すばる視線速度モニター観測の現状 西山正吾 (宮城教育大学)
S03a	14:54	銀河系中心巨大 BH を巡る星 S2 の研究 2 : 一般相対論の検証への挑戦 齋田浩見 (大同大学)
S04a	15:06	SDSS と WISE を用いた、可視光線で極めて青い Dust-Obscured Galaxies の探査 登口暁 (愛媛大学)
S05b	15:18	高感度 JVN 観測による VLBI 未検出高赤方偏移 AGN ジェットの大規模探査 古谷庸介 (山口大学)
S06b	15:18	MCMC 法を用いた FSRQ 型活動銀河核ジェットの SED 解析 平出尚義 (広島大学)
S07b	15:18	弱い広輝線が母銀河でのフィードバック現象の検証に影響を与える可能性 川口俊宏 (尾道市立大学)
S08c		高光度赤外線銀河 NGC 5135 が持つ活動銀河核の広帯域 X 線スペクトル解析 山田智史 (京都大学)

9月21日（金）午前（9:30-11:30）[I会場]

S09a	09:30	3C 279 の巨大ガンマ線アウトバーストの電子・陽電子カスケードモデル 浅野勝晃 (東京大学)
S10a	09:42	ブレーザーの不規則な光度・偏光度変動の特徴量抽出と分類 植村誠 (広島大学)
S11a	09:54	ブレーザー Mrk 421 の多波長・時系列データから探る放射領域の変動 山田悠梨香 (広島大学)
S12a	10:06	ブレーザーの硬 X 線光度関数と MeV ガンマ線背景放射への寄与 (2) 深沢泰司 (広島大学)
S13a	10:18	電波画像解析によるシュバルツシルト半径スケールから銀河スケールにわたる活動銀河核ジェットの形状調査 中原聡美 (宇宙航空研究開発機構)
S14a	10:30	相対論的流体中での光子多重散乱効果 高橋芳太 (苫小牧工業高等専門学校)
S15a	10:42	$z > 2$ クェーサーにおける 25000km/s 超の Broad Absorption Line の探査 青木賢太郎 (国立天文台)
S16a	10:54	突発的な光度変動を示すクェーサーの多色測光モニター観測 堀内貴史 (国立天文台)
S17a	11:06	超巨大質量ブラックホールの活動と銀河の進化に対するその影響 福田晋久 (首都大学東京)
S18a	11:18	ラインフォース駆動型円盤風の金属量依存性: 銀河-SMBH 共進化への影響 野村真理子 (東北大学)

9月21日（金）午後（13:30-15:30）[I会場]

S19a	13:30	AGN 輻射駆動噴水モデル III: Circinus 銀河における ALMA 観測との比較 泉拓磨 (国立天文台)
S20a	13:42	AGN 輻射駆動噴水モデル IV: 電離ガス領域の起源と性質 和田桂一 (鹿児島大学)
S21a	13:54	NGC1068 における AGN 周囲の回転高密度分子ガストーラスの発見 今西昌俊 (国立天文台)
S22a	14:06	銀河中心核トーラスの磁気流体力学的構造 工藤祐己 (鹿児島大学)
S23a	14:18	クランピートーラスからの X 線スペクトルモデルと NuSTAR data への適用 谷本敦 (京都大学)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

S24a	14:30	超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 吸収線視線速度の時間変動 大西崇介 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
S25a	14:42	電波銀河 3C84 の中心 1 パーセクの遮蔽構造の非一様性 川勝望 (呉工業高等専門学校)
S26a	14:54	Forming circumnuclear disks and rings in galactic nuclei: a competition between supermassive black hole and nuclear star cluster Alessandro Alberto Trani (The University of Tokyo)
S27a	15:06	可視光多バンド測光モニタ観測による PG 2308+098 の降着円盤サイズ測定 小久保充 (東北大学)
S28a	15:18	活動銀河核の広帯域スペクトルモデルの構築と観測への応用 久保田あや (芝浦工業大学)

S01a ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center

Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (JAXA), Kenta Uehara (Univ. Tokyo), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Makoto Miyoshi (NAOJ), and Atsushi Miyazaki (JSF)

The Galactic Center is the nuclear region of the nearest spiral galaxy, Milky Way Galaxy. We present the high angular resolution and high sensitivity spectral line images of the “Circum-Nuclear Disk (CND)” and its surrounding region of the Galactic Center in the CS $J = 2 - 1$, SiO $v = 0 J = 2 - 1$, $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J = 1 - 0$, $\text{C}^{34}\text{S } J = 2 - 1$, and $\text{CH}_3\text{OH } J_{K_a, K_c} = 2_{1,1} - 1_{1,0} A_{--}$ emission lines using the Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA).

The CND is recognized as a torus-like molecular gas with gaps around the Galactic Center Black Hole (Sgr A*) in these emission lines except for the CH_3OH emission line. The inner and outer radii of the CND are estimated to be $R_{\text{in}} \sim 1.5$ and $R_{\text{out}} \sim 2$ pc, respectively. The velocities of the rotation and radial motion are estimated to be $V_{\text{rot}} \sim 115 \text{ km s}^{-1}$ and $V_{\text{rad}} \sim 23 \text{ km s}^{-1}$, respectively. These are consistent with those derived in the previous observations

We analyzed the physical parameters of the CND using also the CS $J = 7 - 6$ emission line images retrieved from the JVO portal by the RADEX LVG program. The CS $J = 2 - 1$ emission line is thermalized, $T_{\text{ex}} \sim 200$ K, although the CS $J = 7 - 6$ emission line is sub-thermally excited, $T_{\text{ex}} \sim 18 - 25$ K. The LTE molecular gas mass of the CND is estimated to be $M_{\text{LTE}} \sim 3 \times 10^4 M_{\odot}$ assuming the fractional abundance of CS molecule is $X_{\text{CS}} \sim 1 \times 10^{-8}$. The LTE mass is consistent with those derived in the previous observations.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a 銀河系中心巨大BHを巡る星S2の研究1:すばる視線速度モニター観測の現状

西山正吾 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), R. Schödel (IAA-CSIC), F. Najarro (Centro de Astrobiologia), 濱野哲史 (京都産業大), 五林遥, 大橋遥介, 小山晃徳, 唐朋央 (宮城教育大), 岩松篤史, 高橋美月 (東北大), 大宮正土 (NAOJ/ABC), 長田哲也, 長友峻, 善光哲哉 (京都大), 田村元秀 (東京大/ABC), 美濃和陽典 (NAOJ)

S2 は、銀河系の中心にある巨大ブラックホール (SMBH)、Sgr A*を周回する星である。軌道周期は約 16 年、2018 年に最近点を通過する。近点通過時は、SMBH からの相対論効果を検出するチャンスである。さらに SMBH の質量の精密測定や、SMBH の周囲に広がった dark mass に制限を与える貴重な機会でもある。

私たちは 2014 年から、すばる望遠鏡と IRCS を用いた S2 の視線速度モニター観測を続けている。高分散分光観測を行うことで、高い精度の視線速度測定が可能となった。それらの結果 (Nishiyama et al. 2018, PASJ, in press) を受け、すばる望遠鏡の intensive program としてモニター観測を継続中である。

本講演では、2014 年から 2018 年の初期までの観測結果を紹介する。2018 年は天候に恵まれず、また地震による観測キャンセルもあり、期待されていた精度での視線速度測定はできていない。しかし 3 月の観測では、視線速度が約 4000km/s という結果が得られた。この値は、過去の観測から決まっている軌道パラメータから予想される視線速度の最大値とほぼ等しい。視線速度が極大となった時期を初めて観測することができた。また視線速度の時間変化をフィットした結果、これまでの観測 (アストロメトリが中心) から予想されていた軌道周期は、過小評価されていたことがわかった。その他、観測と解析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](#)

S03a 銀河系中心巨大BHを巡る星S2の研究2：一般相対論の検証への挑戦

齋田浩見（大同大），西山正吾（宮城教育大），孝森洋介（和歌山高専），高橋真聡（愛知教育大），R.Schödel（IAA-CSIC），F.Najarro（Centro de Astrobiologia），濱野哲史（京都産業大），五林遥，大橋遥介，小山晃徳，唐朋央（宮城教育大），岩松篤史，高橋美月（東北大），大宮正士（NAOJ/ABC），長田哲也，長友竣，善光哲哉（京都大），田村元秀（東京大/ABC），美濃和陽典（NAOJ）

我々の銀河中心の巨大BH，Sgr A* を周回する星 S2 の運動を測定し，その運動がニュートン重力でなく一般相対性理論で説明できることを示したい。星 S2 を観測する意義は次の3つである：

- （1）星 S2 の運動は Sgr A* の重力場の中を（重力以外の力を受けずに）運動するテスト粒子と見なせる。
- （2）星 S2 は 2018 年の前半に Sgr A* に最接近し，その際に星 S2 が感じる Sgr A* の重力の強度は，これまで電磁波観測で測られた重力（Hulse-Taylor パルサー等）よりも約 100 倍強い。
- （3）Sgr A* の質量は約 400 万 M_{\odot} であるが，この巨大 BH を起源とする重力波は現在の重力波干渉計では検出できないので，現在 Sgr A*-S2 系を観測できる手段は赤外線観測しかない。

つまり，赤外線天文と一般相対論の協働により，テスト粒子系という物理的にシンプルな扱いによって，これまでよりも 100 倍強い重力場における一般相対論の検証に迫れるのである。本研究の重要な目標は『電磁波観測では過去最強の重力場における一般相対論効果の検出』である。

私たちは 2013 年に検討を始め，2014 年から すばる望遠鏡を使って星 S2 から届く光の赤方偏移（ \sim 視線速度）を測定し（西山氏の講演），その測定値と一般相対論の予測との比較を進めている。本講演は，一般相対論効果の検出という目標に向けた，理論的な検討の現状報告である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a SDSS と WISE を用いた、可視光線で極めて青い Dust-Obscured Galaxies の探査

登口暁, 長尾透 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (京都大学/ASIAA)

本講演では、中間赤外線のみならず可視光線の明るさの 1000 倍以上である Dust-Obscured Galaxies (DOGs) の中に見られた、可視光線で極めて青い天体 (Blue-excess DOGs: BluDOGs) について報告する。母銀河と銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) の共進化を理解する上で、ガスを豊富に含んだ銀河同士の合体シナリオが近年注目されている。このシナリオの中で DOGs はクエーサーになる前の塵に覆われた段階である天体と考えられているが、観測的に DOGs がクエーサーへ進化するとは明らかにされていない。Noboriguchi et al. (2018) では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) と Wide Infrared Survey Explorer (WISE) を用いて 427 天体の DOGs を発見し、その中から可視光線で極めて青い BluDOGs を 8 天体選出した。この BluDOGs は塵に覆われた活動銀河核でありつつも可視光線では青いという興味深い性質を示し、中心の AGN の光が漏れ出していることが青い可視カラーの起源であると考えられる。しかし、Noboriguchi et al. (2018) では観測領域が狭いため BluDOGs が 8 天体しか発見されておらず、その統計的性質は明らかにされていない。また、この天体は HSC で観測されるような可視光線で暗い光度レンジだけで見られるのか、より明るい光度レンジでも見られるのかは明らかでない。そこで本研究では、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の可視光線超広域サーベイデータと WISE の全天サーベイデータを用いて、可視光線で明るい BluDOGs の探査を行った。結果として、SDSS-WISE DOGs の中にも BluDOGs を発見することができ、BluDOGs は可視光線で非常に暗い光度レンジでしか見られない現象ではないことがわかった。BluDOGs の統計的性質について本講演で議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05b 高感度 JVN 観測による VLBI 未検出高赤方偏移 AGN ジェットの大規模探査

古谷庸介, 新沼浩太郎, 藤澤健太, 松田将紀 (山口大学)

近年の観測から, 高赤方偏移 AGN ジェットは低赤方偏移のものに比べ 1000 倍以下のサイズの電波構造を持つこと, 赤方偏移 $z > 3$ において電波で明るい AGN ジェットの検出数が予想より少ないこと, がわかっている. これは AGN ジェットが宇宙初期と現在で異なる物理状態であることを示唆している.

これまで, 高赤方偏移 AGN ジェットのコンパクトな電波構造を得るため, 47 天体 (赤方偏移 $z > 4$) に対し超長基線電波干渉計 (VLBI) による観測が行なわれている. その結果, 6 割以上の天体について電波構造が mas スケールのビームより小さく, 高赤方偏移 AGN ジェットの全容は明らかになっていない.

今年度から本格運用される東アジア VLBI 観測網 (EAVN) を用いて高感度かつイメージノイズレベルが低い VLBI イメージを効率的に取得するため, 我々は赤方偏移 $z > 3$ の VLBI 検出されていない 523 天体の AGN ジェットを対象に, 日本の VLBI 観測網 (JVN) の 8.4 GHz 帯で VLBI サーベイ観測を実施している. 現在までに 69 天体の観測が終了しており, 44 天体を VLBI で検出することができた. そのうち 18 天体は短基線に比べ長基線で得られたフラックス密度が小さいことから広がったジェット構造を持つと考えられる. また, 1.4 GHz で行われた FIRST の結果と合わせて得られたスペクトルは 6 天体が平坦であり, 38 天体が右下がりであった. この右下がりスペクトルは FIRST と JVN 観測が 1000 倍異なる角度分解能であることに起因する可能性がある. 一方で, 平坦なスペクトルを持つ天体は一般的なシンクロトロン放射で得られる右下がりスペクトルとは異なるため, 強度変動による見かけのスペクトルであると考えられる. このような強度変動を示す天体はドップラー効果が効きやすいコアジェット構造の可能性が考えられる. 今後は JVN サーベイ観測を年度内で完遂し, カタログ化を目指す.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06b MCMC 法を用いた FSRQ 型活動銀河核ジェットの SED 解析

平出尚義、深沢泰司、植村誠、山田悠梨香 (広島大学)

活動銀河核 (AGN) の中には光速近くまで加速されたジェットを放射しているものがある。このジェットの視線方向が地球を向く天体をブレイザーと呼び、さらにブレイザーの中でも特に明るい天体を FSRQ と呼ぶ。FSRQ のエネルギースペクトル (SED) は 2 山構造をとり、leptonic モデルにおいてはそれぞれシンクロトロン放射と逆コンプトン散乱であるとされている。逆コンプトン散乱成分は SSC と EC という放射モデルで説明されている。SSC はジェット中の高エネルギー電子がシンクロトロン光子を出すと同時に、その光子を逆コンプトン散乱するモデルで、EC はジェット以外の場所である降着円盤、BLR、分子雲トラスからも光子が放出され、ジェット中で逆コンプトン散乱するモデルである。SED を SSC と EC からなる放射モデルで fit することで磁場やドップラー因子などのジェットの物理パラメータを推定することができる。従来は FSRQ の放射の理論式は複雑かつパラメータの多さから計算量が多く、SED の fit は簡単ではなく、いくつかのパラメータを固定して主観的な推定を行っていた。そこで Finke et al (2016) で用いられた放射式の近似計算を用いて計算の高速化を行い、MCMC 法と呼ばれる乱数を用いてパラメータの確率分布を推定する方法で不定性を含めたジェットの物理パラメータを推定することを試みている。

まずは 3C279 を対象とし、その多波長データから SED を MCMC 法を用いて計算してパラメータを推定する。3C279 は $z=0.536$ にある FSRQ でたびたび多波長領域でフレアが観測されており、多波長スペクトルの時間変動が得られている。これに対して、SED の fit を MCMC 法を用いて計算し、パラメータの誤差を含めて議論を行った。本講演では、SED の具体的な計算方法とともに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](#)

S07b 弱い広輝線が母銀河でのフィードバック現象の検証に影響を与える可能性

川口 俊宏 (尾道市立大), 尾崎 忍夫 (国立天文台), 菅井 肇 (東京大), 松林 和也, 服部 堯 (国立天文台), 下農 淳司 (東京大), 美濃和 陽典, 早野 裕, 青木 賢太郎 (国立天文台), 満田 和真 (東北大)

銀河中心の巨大ブラックホール周辺からのガス噴出流が母銀河での星形成活動を抑制する(フィードバック)現象が提唱されている。この仮説を検証するため我々は、可視光 [O III] 輝線に顕著な青方偏移が見えるサンプルの中で最も近傍の天体について、すばる望遠鏡の補償光学機能と可視光面分光装置を用いて観測を行った。観測した狭輝線 1 型セイファート銀河 2 天体のうち IRAS 04576+0912 については、[S II] $\lambda\lambda 6716, 6731\text{\AA}$ 輝線を用いて高速(約 900 km/s)で高密度(3000/cc 以上)のガス噴出を発見した(Kawaguchi et al. submitted to PASJ)。

同時に、この [S II] 輝線の青方偏移成分のさらに短波長側(静止波長で約 $6674\pm 7\text{\AA}$)に、スペクトルの盛り上がり(bump)が見つかった。この bump は噴出するガスの諸量の推定に影響を及ぼしうするため、同定が必要である。可能性の一つとして、He I 6678 \AA 輝線がある。我々が観測した残りの 1 天体である I Zw 1 について、1.2''-2'' スリット幅での分光データには弱いながらもこの輝線が過去の文献で報告されている(Veron-Cetty et al. 2004)。

(1) そこで、I Zw 1 の我々の面分光データ(1 lenslet の視野角が 0.084'')を調べたところ、 $H\alpha$ 輝線の中心波長でのピーク位置(\approx 中心巨大ブラックホールの位置)の周辺約 0.5''以内まで He I 6678 \AA 輝線が見えることがわかった。(2) また、IRAS 04576+0912 の bump と $H\alpha$ 広輝線の両強度を比較したところ、He 元素のほとんどが He^+ で、太陽組成であれば、広輝線領域からの He 輝線で bump の強さを説明できることがわかった。[S II] 輝線の青方偏移成分を用いてガス噴出現象を調べる際に、He I 6678 \AA 輝線も考慮してスペクトル解析をする必要性を意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08c 高光度赤外線銀河 NGC 5135 が持つ活動銀河核の広帯域X線スペクトル解析

山田智史, 上田佳宏, 谷本敦 (京都大学), 小高裕和 (東京大学), 川口俊宏 (尾道市立大学), 深沢泰司 (広島大学)

高光度赤外線銀河 ($L_{\text{IR}} [8-1000 \mu\text{m}] > 10^{11} L_{\odot}$) はガスを豊富に持ち、星形成が活発であることから、進化段階の銀河として注目されてきた。特に中心領域に存在する活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) の性質を調べることは、銀河とその中心の巨大ブラックホールの共進化を解明する上で重要である。しかし、これらの中心核構造はガスやダストに深く埋もれているため、多くの天体では、AGNの性質が理解されていない。そこで鍵を握るのが、透過力の高い硬X線 ($> 10 \text{ keV}$) を用いた観測である。特に、X線天文衛星 *NuSTAR* による硬X線観測 (3–79 keV) は、隠されたAGNの性質を理解するのに非常に有用である (e.g., Ricci et al. 2017)。

本研究では、近傍の高光度赤外線銀河 NGC 5135 ($z = 0.014$) に着目した。この天体は、X線の先行研究 (Singh et al. 2012) から、Compton-thick (水素柱密度が $> 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) なAGNを持つことが知られている。しかし、硬X線データの精度が不十分であり、AGNの中心核構造はよく分かっていなかった。そこで我々は、X線衛星 *Chandra*、*Suzaku* のデータに加え、*NuSTAR* の観測データも用いて、広帯域X線スペクトル解析 (0.5–70 keV) を行った。スペクトルモデルには、ガスのクランプが赤道面を中心とした正規分布に従って配置されている、現実的なクランピートラスモデル (Tanimoto et al. in prep.) を適用した。その結果、赤道面上の水素柱密度 ($N_{\text{H}}^{\text{eq}} \sim 4.5 \times 10^{25} \text{ cm}^{-2}$) と、中心から見たトラスの分厚さ (標準偏差角度 $\sigma \simeq 30^\circ$) を正確に見積もった。さらに、視線方向の水素柱密度 ($N_{\text{H}} \sim 6 \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) は先行研究よりも数倍大きいことが分かった。本ポスター講演では、以上の結果が示唆するトラスやAGN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](#)

S09a 3C 279 の巨大ガンマ線アウトバーストの電子・陽電子カスケードモデル

浅野勝晃 (宇宙線研), 林田将明 (甲南大)

2015年の6月にFSRQ 3C 279が球対称換算で 10^{49} erg s⁻¹にまで達する非常に明るいガンマ線アウトバーストを起した。Fermi衛星によって取られたガンマ線の光度曲線は、数分スケールの変動を見せ、ジェットローレンツ因子は50以上になっていることを示唆している。通常のFSRQのガンマ線放射は、広輝線放射領域のUV光子が逆コンプトンによって叩き上げられたとする解釈が定石である。しかし、大きなジェットのローレンツ因子から、シンクロトロン放射がガンマ線領域に達したとする解釈も可能である。通常のFSRQの放射モデルは、ジェットの磁化率が低く、物質優勢のジェットを示唆する一方、このようなモデルの場合、磁場優勢ジェットとして解釈されるのかもしれない。

今回、電子の加速時間が有限となっている効果を取り入れるため、乱流加速に基づいた、時間発展モデルを我々は採用した。電子と放射のエネルギー分布の時間発展は自己無撞着に解かれている。効率の良いシンクロトロン放射を達成するために、電子の最高エネルギーを上げていった結果、ガンマ線の対消滅によって生まれた二次電子が再加速を受け、さらに放射効率を上げていくという非線形な効果が見られた。その結果、X線からガンマ線に至るハードなスペクトルをシンクロトロンで再現することに成功したのだが、意外なことに要求される磁場のエネルギー密度は、加速粒子の密度に比べて相当低いものとなった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S10a ブレーザーの不規則な光度・偏光度変動の特徴量抽出と分類

植村誠, 安部太晴, 山田悠梨香 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所)

活動銀河核 (AGN) のジェットが地球の方向に向いているブレーザー天体は、明るいクエーサー型 (Flat Spectrum Radio Quasar: FSRQ 型) と、比較的暗いとかげ座 BL 型 (BL Lac 型) に分類される。両方に共通してピーミングされたジェット由来の時間変動が観測されるが、変動が不規則なためその特徴付けが難しく、時間変動の特徴、特に型ごとの特徴の違いについては研究が進んでいない。AGN のような不規則な光度変動の特徴付けには通常パワースペクトルや構造関数が用いられ、その冪指数や構造の折れ曲がり周波数などが特徴量として議論される。しかし、これらの方法ではデータの不完全性によって偽の構造が現れることも指摘されている。最近はオルンシュタイン・ウーレンバック (OU) 過程のような確率過程モデルを光度曲線に最適化することで、パワースペクトルの構造パラメータを推定する手法もよく使われている。

本研究では FSRQ 型と BL Lac 型の時間変動を特徴づけるため、光度曲線及び偏光の時系列データに OU 過程回帰を行い、得られた変数を含む 10 個程度の変数を用いて、分類に有効な変数の組み合わせを調べた。データは広島大学「かなた望遠鏡」で得られたブレーザーの可視光データを天体毎・1 年ごとに 1 つのサンプルとし、合計 38 サンプルを使用した。判別にはスパースロジスティック回帰を用い、交差検証によって AUC 値を判別機の性能指標とした。解析の結果、OU 過程回帰で得られた変動振幅とタイムスケール、及び偏光度の中央値などが FSRQ 型と BL Lac 型を分ける重要な変数であることがわかった。この結果から、FSRQ 型は非定常な短期間・大振幅のフレアを起こす頻度が BL Lac 型よりも高いこと、BL Lac 型は複数の偏光した放射源を持つ傾向にあることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11a ブレーザー Mrk 421 の多波長・時系列データから探る放射領域の変動

山田悠梨香, 植村誠, 深沢泰司, 大野雅功, 今里郁弥 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学)

ブレーザーはジェットからの放射が卓越するため、その構造や放射機構を探る手段として有用である。ジェットからはシンクロトロン放射と逆コンプトン散乱放射が観測されており、多波長観測によるエネルギースペクトル分布 (SED) の時間変動からジェットの物理量の変化を推定し、変動の原因を探ることができる。逆コンプトン散乱の種光子としてシンクロトロン放射を考えるモデルでは、SED のモデルパラメータは通常 7-9 個あり、モデルの性質的に全てが独立には決まらない。そこで我々はマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いたパラメータ推定を研究している。今回は特に SED の絶対値を決めるパラメータの縮退の構造と適切な推定方法を、Mrk 421 のデータを用いて研究した。

SED の絶対値を決める、磁場、ドップラー因子 (δ_D)、タイムスケール (T)、電子標準因子は互いに強く関連しており、このうち 1 つを決めると他の 3 つのパラメータも決まることがわかった。 T は光度曲線から推定できるため、確率過程モデルを用いて T を推定し、その結果を SED 解析に用いた。データは Swift/XRT の長期間変動と、あすかによる短期間変動の光度曲線を使用した。XRT データから得られた $T = 15.8$ 日を SED に解析に用いた場合、X 線で暗い時期に δ_D が小さな値 (~ 3) となり、あすかデータから得られた $T = 0.36$ 日を用いた場合、逆に X 線で明るい時期に $\delta_D \sim 1000$ と極端に大きく推定された。そこで δ_D の事前分布を 5-50 と仮定して、SED 解析から T を推定したところ、それらの T は時系列データ解析から得られた T と一致することがわかった。この結果より X 線でフレアした時に T が長くなる、すなわち、放射領域が大きくな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](#)

S12a ブレーザーの硬 X 線光度関数と MeV ガンマ線背景放射への寄与 (2)

深沢泰司 (広島大学), 井上芳幸 (理研), 戸田皓陽 (広島大学)

ブレーザーの形成進化については未だ謎に包まれている。ブレーザーの進化過程を解き明かす手がかりとなるのが、ブレーザーの光度関数である。我々はこれまで Swift 衛星の 70 ヶ月間硬 X 線サーベイデータを使用し、明るいブレーザー種族である Flat-Spectrum Radio Quasars (FSRQ) の光度関数の構築を行い、過去の天文学会で報告してきた。今回は、2017 年末に出た Swift/BAT の 105 ヶ月カタログを用いて同様の解析を行い、さらに不定性の評価を行なった。BZCAT カタログとのマッチングにより、BAT カタログの中から 68 天体を FSRQ として選んだ。LDDE モデルという数密度と光度の両方の進化を考慮した光度関数形を用いた場合には、不定性の範囲内では、Fermi 衛星のデータに基づくブレーザーのガンマ線光度関数や、X 線でデータによる一般 AGN の X 線光度関数とも不定性の範囲内でパラメータに違いはなかった。一方、求めた光度関数を用いて MeV ガンマ線背景放射の寄与を見積もってみると、数 10 のの全部を説明できない可能性も排除できない。講演では、BAT 105 ヶ月カタログと Fermi 衛星 8 年カタログでのブレーザーの比較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](#)

S13a 電波画像解析によるシュバルツシルト半径スケールから銀河スケールにわたる活動銀河核ジェットの形状調査

中原聡美, 土居明広, 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構), 秦和弘 (国立天文台), 中村雅徳, 浅田圭一 (ASIAA), 澤田佐藤聡子, 亀野誠二 (国立天文台)

活動銀河核に付随する相対論的ジェットはどこで、どうやって加速・収束されているのか、太さはどうやって決まっているのか、全部同じなのか、左右対称なのかといった基本的な生成メカニズムが不明である。近年、VLBIによる画像解析から、ジェットの形状が放物形状から円錐形状に、ブラックホールから $\sim 10^5 R_S$ (R_S :シュバルツシルト半径) 下流の位置で変化すること (Asada & Nakamura 2012)、放物形状・円錐形状の領域がそれぞれジェットの加速・減速領域と対応していることが発見された (Asada & Nakamura 2014)。この報告から、ジェットの形状調査はジェットの生成機構解明の新たな手がかりとして期待されるが、シュバルツシルト半径スケールから銀河スケールにわたるジェットの物理状態の調査は、現状 M87 と NGC 6251 (Tseng et al. 2016) の2天体しか調査報告がない。

本講演では、NGC 4261, NGC 1052, Cygnus A の3天体について、シュバルツシルト半径スケールから銀河スケールにわたるジェットの形状を調査し、天体のサンプルを増やしてジェットの形状の共通点や相違点などの特性を調査した結果を報告する。ターゲット天体には、先行研究の2天体と異なり両極ジェットが見えるものを選抜し、ジェット-カウンタージェット対称性も初めて定量的に確認した。FR I型のサンプルは先行研究と同様、放物形状から円錐形状へ変化した。一方、過去に調査のなかったFR II型のサンプル (Cygnus A) では、ジェットがローブに突入するまで放物形状を維持することが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S14a 相対論的流体中での光子多重散乱効果

高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専)、梅村雅之 (筑波大)

銀河中心ブラックホール周囲の降着流・降着円盤・噴出流における輻射流体のエネルギー・運動量の物理状態やその電磁波の観測量への応答を理解するためには、位相空間での光子輻射場の輝度分布を正確に把握する必要がある。時間発展する輻射流体中での光子輻射場を計算するには、光子の放射・吸収・散乱を考慮した輻射輸送方程式を数値的に解く必要があり、講演者らは湾曲時空中での輻射輸送方程式を直接数値的に計算する手法として ARTIST 法を提案した (Takahashi & Umemura, 2017, MNRAS, 464, 456)。この手法は、光学的に薄い状況では、位相空間中の部分的な輝度を解く手法である一般相対論的レイ・トレーシング法の結果を完全に再現し、光子の放射・吸収・散乱の効果も取り入れることができるのであるが、光子多重散乱による相対論的な拡散を正確に計算することが課題となっていた。

流体静止系で見た輻射流体中における光子多重散乱現象では、散乱回数が少ない状況（光学的に薄い状況）では光子の情報は光速に近い速度で伝播する。一方、多重散乱が激しく効く状況（光学的に厚い状況）では拡散速度で伝播する。更に、相対論的速度で運動する流体中での光子多重散乱では、ローレンツ・ブーストの効果も加わり、これらを全てを同時に完全に記述する結果は知られていなかった。今回、任意の速度で運動する流体中で、任意回数の多重散乱（任意の光学的厚み）に対する光子の時空中での確率密度関数を記述する解析解を得ることにできた。この解析解は、相対論的流体中での光子多重散乱のモンテカルロ・シミュレーションの結果を完全に再現し、シミュレーションでは数値精度的に計算が困難な領域に対しても統計的な誤差のない結果を与えることが確認された。今回得られた結果の応用例についても講演する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S15a $z > 2$ クエーサーにおける 25000km/s 超の Broad Absorption Line の探査

青木賢太郎 (国立天文台ハワイ観測所)

ブラックホールと銀河の共進化の原因と考えられている星形成抑制機構として、活動銀河中心核からのアウトフロー現象が注目されている。そのようなアウトフロー現象の一つとして、クエーサーの静止系紫外域に観測される Broad Absorption Line (BAL) が古くから知られている。より高速な BAL ほど星形成抑制の効果が大きいと考えられているが、25000 km/s までの範囲で BAL の探査は伝統的に行われており、それを超える BAL の性質についてはまとまった研究が現在までほとんどなかった。そこで、SDSS 10th quasar catalog から $2.15 < z < 4.27$ のクエーサー約 10000 個を選び、C IV BAL を -1500 から 90000 km/s の範囲で探査した。

探査の結果、1980 個のクエーサーに C IV BAL が 2386 個見つかった。うち 208 BAL が 25000 km/s を超える速度をもち、さらにそのうちの 20 が 50000 km/s を超える速度の BAL であった。50000 km/s を超えるような BAL はこれまで 4 例しか知られていない。頻度分布を調べると、速度が 22000 km/s を超えると BAL の個数は急速に減少している。速度が 25000 km/s を超える高速 BAL の特徴としては、より低速の BAL と比較して、幅は同じ程度だが深さが浅いということが初めて明らかになった。

輻射圧駆動円盤風モデルではアウトフローの終端速度は発射地点の回転速度に比例すると考えられているので、高速 BAL が少ないことは回転速度の速い円盤内側からは C^{3+} イオンが観測できるようなアウトフローが発生しにくいということを示しているのかもしれない。また、浅いという観測事実を考えると、遮蔽率が小さいと考えるのも良さそうである。低速なものより背景光源に近いのかもしれないし、絞られた形状のジェットのようなアウトフローかもしれない。但し、電波放射強度と高速 BAL の発現には関係はなかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S16a 突発的な光度変動を示すクェーサーの多色測光モニター観測

堀内貴史, 花山秀和 (国立天文台), 諸隈智貴 (東京大学), 三澤透 (信州大学)

クェーサーは宇宙で最も明るいクラスの活動銀河核であり、太陽光度の 10^{12-14} 倍に達するその莫大な光度は、中心の大質量ブラックホール周辺の降着円盤によって賄われていると考えられている。クェーサーの重要な性質の一つに光度変動が挙げられ、その性質を調べることは降着円盤の物理状態を解明する手がかりになるだけでなく、活動銀河核から銀河間空間へのフィードバック (アウトフロー) に与える影響も調査できるという点でも非常に重要である。近年は、数年のタイムスケールで1等級程の大きな光度変動とアウトフロー由来の吸収線の変動の相関が報告されている。極端な例として、Catalina Real-Time Transient Survey (CRTS) によって1週間あるいは数日以内のタイムスケールで0.5等級、あるいはそれ以上の2-3等級の非常に大きな光度変動も報告されている。しかしながら、そのような光度変動を示したクェーサーに対する多色での高頻度の追観測はほとんど行われていない。

本研究では突発的で大きな光度変動のメカニズムと、アウトフローの電離状態への影響を調査すべく、むりかぶり望遠鏡/MITSuMEを用いた、クェーサーの高頻度多色測光モニター観測を2017年12月から実施した。サンプルはCRTSで突発的な光度変動が確認され、比較的明るい10天体 ($V = 17.1 - 18.3$, $z = 0.3 - 2.5$) で、フィルターには g' , R_C , I_C を使用した。光度変動解析の結果、10天体中3天体が g' バンド (短波長側) で数週間以内で0.5等級を超える光度変動を示した。一方で、この時 R_C , I_C バンド (長波長側) では、典型的な変動値が0.1等級未満程と非常に小さいことがわかった。この結果は、突発的で大きな光度変動は降着円盤の内側のより高温な領域での現象に起因することを示唆する。また、電離パラメータ変動の見積もりから、サンプルで確認された光度変動がアウトフローの電離状態に変動を与えるのに十分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](#)

S17a 超巨大質量ブラックホールの活動と銀河の進化に対するその影響

福田晋久, 谷治健太郎, 政井邦昭

大半の銀河中心には超巨大質量ブラックホールがあり、その質量と母銀河の速度分散は相関をもつことが観測から示されている。この相関はブラックホールと母銀河の共進化を示唆しており、活動銀河核 (AGN) からのフィードバックを介して形成されたと考えられている。フィードバックの一つとして、光速の 10-30% の速さの AGN 降着円盤風が多くの近傍銀河で観測されている。円盤風は星間物質と相互作用して銀河規模のアウトフローを引き起こし、星間物質を系外に掃き出すことで銀河中の星形成を抑制すると考えられる。

観測から、アウトフローが母銀河からガスを掃き出すには 10^{7-8} 年が必要とされている。しかし、狭輝線領域の大きさからは AGN の典型的な活動時間は 10^{4-5} 年と示唆され、AGN がどれくらいの活動時間を持つか明らかではない。また活動時間が短い場合にどれくらい母銀河に影響を与えるかも明らかではない。

本研究では、Toomre パラメーターから活動時間を見積もり、それに基づいてアウトフローがどのように時間発展するかを流体計算を用いて調べた。また AGN の活動が何回活発になりうるかを蒸発時間から見積み、その場合の時間発展も調べた。

講演では、理論的な見積もりから AGN の活動時間を議論し、流体計算によってアウトフローがバルジのガスを掃き出すことができるか議論する。このような AGN の活動が何回起きうるかも考慮した。これらの結果を元に、ブラックホールの質量による銀河に与える影響の差異を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S18a ラインフォース駆動型円盤風の金属量依存性: 銀河-SMBH 共進化への影響

野村真理子, 大向一行 (東北大学), 大須賀健 (筑波大学)

銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) は, 母銀河と互いに影響を及ぼし合いながら共進化してきたと考えられている. 共進化過程において, 活動銀河核 (AGN) アウトフローによる星間空間へのエネルギーや運動量の注入 (フィードバック) は重要な役割を担っている可能性が高い. 実際に, 一部の AGN では Ultra-fast outflow (UFO) と呼ばれる, 光速の 10–30% の速度とジェットに匹敵する大きなエネルギー放出率を持つアウトフローが観測されており, フィードバックへ寄与していると期待されている. これまで我々は, ラインフォース (中間電離状態の金属が紫外光を束縛-束縛遷移吸収することによる輻射力) によって加速される円盤風が, UFO の観測的特徴を非常によく再現することを明らかにした (Nomura et al. 2016, Nomura & Ohsuga 2017). さらに, 特に円盤への質量供給率がエディントン限界に近い場合に, 円盤風は SMBH への質量降着を抑えると同時に, 星間空間へ多量のエネルギーを放出していることを解明した (2017 年秋季年会 S25a).

これらの計算では, 降着円盤ガスの金属量を太陽組成であると仮定していたが, 現実には, 母銀河の進化に対応して金属量は増加すると考えられる. そこで, 円盤風による質量降着の抑制やエネルギー放出が銀河進化と共にどのような変化を辿るかを明らかにするため, ラインフォースの金属量依存性を考慮した輻射流体シミュレーションを行った. その結果, ラインフォースはおおよそ金属量に比例して変化するため, 低金属量を仮定した場合 (銀河進化の初期に対応) には, 太陽組成を仮定した場合に比べて質量放出率が著しく小さくなり, SMBH 成長を妨げないという傾向があることがわかった. 講演では, 円盤風の構造, 質量・エネルギー放出率の金属量依存性とそれらが共進化へ及ぼす影響についてさらに詳細に議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19a AGN 輻射駆動噴水モデル III: Circinus 銀河における ALMA 観測との比較

泉拓磨 (国立天文台), 和田桂一, 福重亮佑, 濱村颯太 (鹿児島大), 河野孝太郎 (東京大)

活動銀河中心核 (Active Galactic Nucleus = AGN) は, その周囲を光学的かつ幾何学的に厚いガスやダストの「トーラス」に取り囲まれているため, 可視光スペクトル中の広輝線放射の有無が変わるとというのが一つのパラダイムである. しかし, 未だにトーラス構造の物理的起源は解明されていない. そこで我々は, AGN 非等方輻射が駆動する, 非定常なアウトフローとその一部が円盤に落下することで成立するガス流の「噴水」が, 準定常トーラスを自然に形成するというモデル (Wada 2012, ApJ, 758, 66) に注目している. X 線照射下での化学進化も計算した結果, この「輻射駆動噴水モデル」では, 原子ガスはアウトフロー中にも豊富に存在する一方で, 低温分子ガスは円盤中心面付近に局在することが期待されている. 本研究では, このモデルを観測的に検証するため, ALMA を用いた高解像度 (5–15 pc) な炭素原子輝線 [CI](1–0) と一酸化炭素分子輝線 CO(3–2) の観測を, 最近傍 AGN である Circinus 銀河に対して行なった. これらの輝線光度から推定された, 中心 ~ 100 pc 領域での H_2 ガス質量は $\sim 3 \times 10^6 M_\odot$, AGN 位置での柱密度 (下限値) は $N_{H_2} \sim 5 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ と莫大で, この空間スケールのガス・ダストは中心核遮蔽に大きく寄与していると考えられる. また, 詳細な力学解析の結果, 中心 $\lesssim 10$ pc 領域では, [CI](1–0) は CO(3–2) よりも幾何学的に厚い領域から放射されていることが分かった. すなわち, AGN 周辺に多相星間ガスの多層構造があることが示された. また, [CI](1–0) スペクトルは Gaussian-like な CO(3–2) スペクトルとは異なり, 線幅の広い特殊な形状をとる. 輻射駆動噴水モデルに基づく輝線の輻射輸送計算結果と比較したところ, [CI](1–0) のスペクトル形状は, モデル中で鍵となるアウトフローによるものと判定できた. したがって本観測成果は, アウトフローが物理的起源となって幾何学的に厚い「トーラス」を作るという描像を支持する.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S20a AGN 輻射駆動噴水モデルIV: 電離ガス領域の起源と性質

和田桂一（鹿児島大学）、長尾透（愛媛大学）、米倉健介（日本電気航空宇宙システム（株））

クェーサー等の活動的銀河中心核（AGN）の内部構造は巨大ブラックホール（SMBH）の周りに 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。我々は、近年、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、これらの構造の起源や相互の関係を説明する、Radiation-driven Fountain（輻射駆動噴水モデル）を提案している（Wada 2012）。これは、降着円盤からの非等方輻射を受けた dust を含むガスが輻射圧と X 線加熱により、非定常アウトフローや AGN 近傍に戻るバックフローを形成し、それによって幾何学的・光学的に厚い準定常構造を自然に作る、というものである。このモデルにより、1 型/2 型セイファートの SED の違い（Schartmann et al. 2014）や最近傍の 2 型セイファート銀河 Circinus galaxy の SED（Wada et al. 2016）などの観測結果もよく説明できる。また、泉の本年会講演にあるように、ALMA による原子・分子ガスの観測（Izumi et al. 2018）とも整合的である。

今回われわれは、AGN の構造で唯一空間分解されている、狭輝線領域（Narrow Line Region）と呼ばれる電離ガスの起源を、輻射駆動噴水の Circinus galaxy モデルをもとに考察したので報告する。輻射電離コード Cloudy（Ferland 2017）を多次元格子に適用し、中心輻射場による光電離過程を解いた。それから得られた、[OIII]、[OI]、[NII]、[SII] などの輝線を用い、輝線診断図によって、radiation-driven fountain のアウトフローガスがコーン状の NLR を形成していること明らかにした。講演では NLR の物理状態などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S21a NGC1068 における AGN 周囲の回転高密度分子ガストーラスの発見

今西昌俊, 中西康一郎, 泉拓磨 (国立天文台), 和田桂一 (鹿児島大学)

銀河の中心部が非常に明るく輝く活動銀河中心核 (AGN) では、質量降着する超巨大ブラックホールの周囲にドーナツ状に軸対称に分布し、回転する塵やガス、いわゆるトーラスが存在すると考えられている。このようなトーラスがあれば、AGN の様々な観測事実を自然に説明できるため (AGN の統一モデル)、多くの研究者がトーラスの存在を仮定して議論しているが、トーラスはサイズの小さく (約 10pc 以下; 15Mpc の距離で 0.15 秒角以下)、観測的理解は進んで来なかった。NGC 1068 ($z=0.0037$ 、距離約 14 Mpc) は、上記の統一モデルが提唱される基になった、近傍のよく研究されている AGN である。可視光線の電離ガス放射や電波ジェットが南北方向に伸びていることから、トーラスはほぼ東西方向に分布/回転しているはずだと考えられてきた。ALMA を用いた別グループによる CO J=6-5 の高空間分解能観測からは、分子ガスの分布は東西に広がっているものの、運動は南北に回転しているという報告がなされ、予想されるトーラスの性質からは大きく異なる結果が得られていた。

我々は、ALMA を用いて、0.04 秒角 \times 0.07 秒角という非常に高い空間分解能で、高密度ガスの指標である HCN J=3-2 (265.89 GHz)、HCO⁺ J=3-2 (267.56 GHz) 輝線で NGC 1068 を観測した。期待通り、ほぼ東西方向に分布したガス放射、及び、回転運動を検出した。ただし、回転速度は、超巨大ブラックホールの重力に支配された場合のケプラー運動の予想よりも小さく、放射、及び、速度分散も非対称であった。トーラスの西側では、ランダム運動が大きくて速度幅が広がり、ライン吸収の効果が小さくなって放射が強くなっていると解釈される。また、トーラスの分子ガスと、トーラスの外側の母銀河中心部の分子ガスは逆回転しており、外部からの擾乱が加わったと考えられる。かつて小さな銀河が衝突/合体した名残かもしれない (Imanishi et al. 2018 ApJL 853 L25)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S22a 銀河中心核トーラスの磁気流体力学的構造

工藤祐己, 和田桂一 (鹿児島大学)

活動銀河中心核 (AGN) の 1-100 pc スケールに存在すると考えられている遮蔽トーラスのガスダイナミクスによって、巨大ブラックホール (SMBH) へのガス供給や狭輝線領域 (NLR) の形成に寄与する可能性がある。Wada (2012) は輻射駆動噴水モデルの提唱によって、SMBH 周りの降着円盤からの非等方輻射と超新星爆発から幾何学的・光学的に厚い準定常構造が作られることを示した。しかし、トーラスで期待されるガス降着率が SMBH への供給量より少ないことが問題だった。我々はトーラス内部に存在する磁場に注目することで磁気回転不安定性 (MRI) によって駆動された磁気乱流によるガス降着率を調べるため、冷却と加熱効果を考慮した大局的 3次元磁気流体シミュレーションを用いた計算を行なっている。冷却効果によって形成されたトーラスはガス圧に比べ磁気圧が優勢で、幾何学的に薄い 1000 K 以下の冷たい円盤とそれを取り巻く 1 万 K の暖かい円盤から構成される。

本講演ではガス降着とそれに伴う 1 万 K の暖かい円盤に存在する磁気乱流構造の結果について報告する。磁気乱流は、円盤から伸びる磁力線の一部がガスと共に浮上するだけでなくヘリカル構造を成すことができること、速度場は円盤垂直方向の上昇流と下降流が混在しており下降流足下ではガスが集まっていることがわかった。暖かい円盤表面周りの上昇下降流によって、円盤外縁の高温ガス (10 万 K) と磁場によって持ち上げられ冷却されたガス (1000K) が混在できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a クランピートーラスからのX線スペクトルモデルとNuSTAR dataへの適用

谷本敦、上田佳宏、山田智史(京都大学)、小高裕和(東京大学)、川口俊宏(尾道市立大学)、深沢泰司(広島大学)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) におけるトーラスは、超巨大質量ブラックホール (SMBH: Super-Massive Black Hole) への質量供給の役割を担っており、SMBH と母銀河の共進化の鍵となる構造である。しかしながら、その構造は未だに解明されていない。近年、多波長観測結果から、多数のガスの塊からなる非一様なトーラス (クランピートーラス) が示唆されている。実際、赤外線スペクトルに適用可能なモデルが作成された (Honig et al. 2006; Nenkova et al. 2008)。赤外線はダストのみの分布を反映する一方、X線はガス・ダストを含む全物質の分布を反映し、トーラス全体の構造を調べることが可能である。私達は、MONACO (Odaka et al. 2016) を用いて、赤外線放射モデルと同様のトーラス形状について、クランピートーラスからのX線スペクトルモデルの作成に成功した (2018年春季天文学会 S10b 講演; Tanimoto in prep.)。

今回私達は、X線天文衛星すざく・NuSTAR によって観測された、12天体の広帯域X線スペクトルにモデルを適用し、そのトーラス構造を調べた。何故なら、これらの天体には、詳細な赤外線観測結果があり、赤外線スペクトルからそのトーラス構造が調べられている為である (Ichikawa et al. 2015)。私達は、X線スペクトルから得られたトーラス構造と赤外線スペクトルから得られたトーラス構造を比較した。その結果、X線モデルから得られる水素柱密度 ($\log N_{\text{H}}^{\text{XR}}$) の方が、赤外線モデルから得られる水素柱密度 ($\log N_{\text{H}}^{\text{IR}}$) よりも系統的に大きくなることがわかった。また、これらの比 ($\log N_{\text{H}}^{\text{IR}}/N_{\text{H}}^{\text{XR}}$) は、Eddington ratio に反比例することがわかった。この関係は、AGN からの強い放射によって、ダストが昇華され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](#)

S24a 超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における CO 吸収線視線速度の時間変動

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄, 馬場俊介 (ISAS/JAXA), 道井亮介 (東大理, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 白田知史 (国立天文台)

Active Galactic Nucleus (AGN) 統一モデルにおいて、分子トラスを見込む角度の違いが AGN のタイプを分けると言われ、トラスの幾何学的に厚い構造を維持する機構が極めて重要な要素となっている。しかし、その機構について直接的観測がなされてこなかった。そこで、今回我々は、超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 の AGN について、近赤外領域における CO 分子の振動回転遷移 ($v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, 静止波長 $4.67 \mu\text{m}$) 吸収線の視線速度変動を調べるという新しい手法によって、分子トラスの内部構造の典型的サイズを見積もるとともに、内部速度場が系統的か乱流的か調べることを試みた。

2004年と2010年に、すばる望遠鏡で観測した分光データ (速度分解能 $\sim 60 \text{ km s}^{-1}$) を比較した結果、CO 吸収線のうち、複数の吸収線 ($v = 1 \leftarrow 0$, $J_{\text{lower}} = 6, 7, 8$, $\Delta J = -1$) について、最も顕著な視線速度成分が $\Delta T = 6$ 年で $V_{\text{comp}} = V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}} \approx -180 \text{ km s}^{-1}$ から $\approx -160 \text{ km s}^{-1}$ へと、 $\Delta V_{\text{obs}} \approx 20 \text{ km s}^{-1}$ の変動をしていることを見出した。これは内部構造の典型的なサイズが $d \sim V_{\text{comp}} \Delta T \sim 10^{-3} \text{ pc}$ 程度であることを示す。また、IRAS 08572+3915 のブラックホール質量は、銀河の H バンド光度から $10^8 M_{\odot}$ 程度とされている (Veilleux et al. 2009) ため、その周りを分子トラス半径 $r \sim 1 \text{ pc}$ でケプラー回転する系統的な速度場から予想される6年での回転速度の変動は $\Delta V_{\text{rot}} \sim 0.02 \text{ km s}^{-1} \ll \Delta V_{\text{obs}}$ である。この結果は、分子トラス内の速度場がケプラー回転的ではなく極めて乱流的で、その厚い構造が乱流によって支えられることを観測的に示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S25a 電波銀河 3C84 の中心 1 パーセクの遮蔽構造の非一様性

川勝望 (呉高専), 紀基樹 (工学院大/NAOJ), 輪島清昭 (KASI), 新沼浩太郎 (山口大), 和田桂一 (鹿児島大), 澤田-佐藤聡子 (日本宇宙フォーラム)

銀河中心領域 (< 1 パーセク) のガスの性質を調べることは、大質量ブラックホールへのガス降着過程、中心核の遮蔽構造の起源や活動銀河 (AGN) フィードバックを明かにする上で重要である。これまでの多波長観測から、近傍銀河の中心 10 - 100 パーセクについての情報はかなり得られてきているが、非常に高い空間分解能が要求されるパーセクスケールの物理状態を直接調べることは困難であった。近傍にあるペルセウス銀河団中心の電波銀河 3C84 は、2005 年頃から新たにパーセクスケールの電波ローブが形成されていることが分かっており (Nagai+2010)、銀河中心 1 パーセクでの物理状態を探るためには最適な天体である。これまで、我々は、このパーセクスケールの電波ローブを、日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) の 43GHz 帯において深いイメージング観測および、モニタリング観測 (2015-2016 年) を行ってきた。

その結果、2005 年以降検出されていなかったカウンターローブ (N1) のフラックスが時間変動すること明らかになった (輪島他、準備中)。また、変動の時間スケールからフラックス変動の起源は、非一様なガスの背後にある光源 (N1) が高速 ($0.1c$) で移動することで生じると解釈できる。さらに、非一様なガスの物理状態を探るために、観測結果から得られた視線方向の柱密度の変動と、AGN トーラスのシミュレーション (Wada 2012) と比較することにより、1 パーセクスケールの電波ローブの非対称構造が、非一様な AGN トーラス中に存在する電離ガスによる吸収により説明できることが分かった。加えて、同じスケールで、ジェットとガス雲との相互作用の証拠も見つかっており (紀他、投稿中)、このガス雲と 1 パーセクでの非一様な遮蔽構造との関係についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S26a **Forming circumnuclear disks and rings in galactic nuclei: a competition between supermassive black hole and nuclear star cluster**

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Mapelli, Michela (University of Innsbruck); Balone, Alessandro (INAF-Padova)

An increasing number of observations are revealing the presence of molecular gas in the center of galaxies, where gravity may be dominated by a supermassive black hole (SMBH). Circumnuclear gas exhibits a complex morphology and kinematics, with clumpy streamers, warped rings and disks. How the complex spatial and velocity structure of circumnuclear gas forms and evolves remains poorly understood. We investigate the formation of circumnuclear gas structures from the tidal disruption of molecular clouds in galactic nuclei, by means of smoothed particle hydrodynamics simulations. We explore the impact of the tidal field on the morphology of circumnuclear gas. We model the galactic nucleus as composed of a SMBH and a nuclear star cluster, and consider different mass ratios between the two components. We find that the relative masses of the SMBH and the nuclear star cluster have a deep impact on the morphology of the circumnuclear gas. Extended disks form only inside the sphere of influence of the SMBH. In contrast, compact rings naturally form outside the SMBH's sphere of influence, where the gravity is dominated by the nuclear star cluster. This result is in agreement with the properties of the Milky Ways circumnuclear ring, which orbits outside the SMBH sphere of influence. Our results imply that the morphology of circumnuclear gas can be used as a probe for SMBH presence: the inner radius of circumnuclear rings represents an upper limit to the SMBH sphere of influence.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S27a 可視光多バンド測光モニタ観測による PG 2308+098 の降着円盤サイズ測定

小久保充 (東北大学)

Sub-Eddington 降着率の活動銀河核 (AGN) の降着円盤の大きさ (半径) は、Shakura-Sunyaev 標準円盤モデルを仮定することで、観測波長 λ 、ブラックホール質量 M_{BH} 、および Eddington 比 $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}$ の関数として記述することができる; $R_{\text{disk},\lambda} \propto \lambda^{4/3} M_{\text{BH}}^{2/3} (L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}})^{1/3}$ 。そのため、AGN 円盤連続光光度変動のバンド間時間遅延や、重力レンズクェーサーにおけるマイクロレンズ現象のモデリングなどを通じて測定される降着円盤サイズは、円盤理論予言と直接比較可能な可観測量であり、標準円盤理論の検証に用いることができる。

上記の手法を用いた近年の観測の進展により、AGN の降着円盤サイズは標準円盤理論の予言に比べて典型的に 3 – 4 倍ほど大きいというコンセンサスが得られつつある (“円盤サイズ問題”)。この結果は、AGN 降着円盤を記述するモデルとして標準円盤理論が妥当ではないことを示唆しており、より広いブラックホール質量/Eddington 比範囲の AGN について円盤サイズ問題を追究していくことで、AGN 降着円盤の実像に迫ることができると考えられる。そこで我々は、可視光バンド間時間遅延法を用いて、大質量クェーサー PG2308+098 ($M_{\text{BH}} = 10^{9.6} M_{\odot}$) の円盤サイズ測定を試みた。木曾シュミット望遠鏡/KWFC を用いて、2015 年から 2017 年まで *ugriz* の可視 5 バンドモニタ観測を実施した。得られた 5 バンド光度曲線の相互相関解析により、長波長側ほど大きくなるバンド間遅延を検出した。遅延の観測結果から静止系 2500Å 放射領域の円盤半径は $R_{\text{disk},2500} = 9.46^{+0.29}_{-3.12}$ 光日と推測されたが、これは PG2308+098 に対する標準円盤理論予測値 ($R_{\text{disk},2500} \simeq 5.46$ 光日) に比べてわずかに大きい。より低質量の AGN の円盤半径の文献値と組み合わせて、AGN 降着円盤の $R_{\text{disk},2500} - M_{\text{BH}}$ 関係を調べた結果、AGN 降着円盤サイズは標準円盤理論予測よりも弱い M_{BH} 依存性 ($R_{\text{disk},2500} \propto M_{\text{BH}}^{1/3}$) を示す可能性が示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S28a 活動銀河核の広帯域スペクトルモデルの構築と観測への応用

久保田あや(芝浦工業大学)、Chris Done(University of Durham)

活動銀河核 (AGN) の広帯域スペクトル (SED) は、標準降着円盤由来と考えられる可視光放射、ブラックホール近傍からの硬 X 線放射 ($\tau \sim 1$, $kT_e \sim 100$ keV の高温逆コンプトンコロナ)、さらに軟 X 線放射 ($\tau \sim 10\text{--}20$, $kT_e \sim 0.1\text{--}1$ keV の低温逆コンプトンコロナ) の 3 成分を特徴とする。Done et al. (2012) が構築した OPTXAGNF モデルは、数 $10R_g$ より外側で標準降着円盤が存在し、内側では高温 / 低温のコロナ領域が存在するとした放射モデルであり、円盤とコロナは共通の質量降着率 \dot{M} で関連づけられる。このモデルは多くの AGN に応用され、 \dot{M} に制限をつけることに成功してきた。しかし、OPTXAGNF では低温 / 高温コロナの領域は区別されず、また逆コンプトン散乱の種光子が外側の円盤に制限されるため、UV-軟 X 線領域のスペクトルの再現が不正確という課題があった。今回我々は、2 種類のコロナ領域を幾何学的に初めて分離し (内側から高温コロナ、低温コロナ、標準降着円盤が存在)、高温コロナによる reprocess を考慮して AGN 降着流の幾何学的配置と放射によるエネルギー解放を無矛盾に記述する放射モデル "AGNSED" を構築した (Kubota & Done 投稿中)。なお、低温コロナには Petrucci らによる passive disc の描像を採用した。AGNSED を質の良い SED が得られている NGC 5548, Mrk 509 及び PG 1115 + 407 に応用し、モデルがデータをよく再現し、 \dot{M}/\dot{M}_E が大きくなるにつれて高温コロナの領域が小さくなることを示した。さらに $\dot{M}-\dot{M}$ の変化による SED の変化を予想したところ、観測された AGN の UV-X 関係 (Lusso & Risaliti 2017) とよく一致した。また、可視光の時間変動における X 線 reprocess の効果を評価するため、高温コロナのみ統計的に変動させ可視光強度の変化を見積もった。低降着率ほど可視光の変動が大きいという観測結果 (MacLeod et al. 2010) は再現したが、特に高降着率では reprocess 以外の要素が必要とわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

9月19日（水）午前（11:00-12:12）[E会場]

T01a	11:00	Swift/UVOT による NGC1275 の周りに広がった紫外線放射の解析 今里郁弥（広島大学）
T02a	11:12	近傍銀河団の $\sim r_{500}$ までの重元素分布 平井真一（東京理科大学）
T03a	11:24	銀河団の質量-温度関係の Fundamental Plane を用いた新解釈 藤田裕（大阪大学）
T04a	11:36	平均位相空間分布を用いた銀河団の動力学質量の測定 濱端亮成（東京大学）
T05a	11:48	銀河団における中心銀河とホストダークマターハローの角度相関の時間進化 岡部泰三（東京大学）
T06a	12:00	HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (3) 吉田篤史（名古屋大学）
T07c		ALMA Detected Overdensity of Sub-millimeter Sources Around WISE/NVSS-selected $z \sim 2$ Dusty Quasars Andrea Silva（NAOJ）

T01a Swift/UVOT による NGC1275 の周りに広がった紫外線放射の解析

今里郁弥, 深澤泰司 (広島大学理), Norbert Werner (Lendület Hot Universe)

ペルセウス銀河団の中心に位置し電波銀河として有名な NGC1275 の北側には、全体に広がっている $H\alpha$ nebula とは別に NGC1275 に対して約 3000km/s の速度で動いている別の銀河 (HVS) が前面に見えている。HVS がペルセウス銀河団と重なって見えているのではなく、銀河団の中に位置している直接的な証拠はまだあまりないが、HVS と NGC1275 の radial velocity の差が銀河団の中心での銀河の速度分散 (約 1300km/s) より大きい値であるため、もし HVS が銀河団に位置しているとする現在銀河団の中心を移動しているかもしれない。この場合 HVS は ICM による激しい ram-pressure を受けるはずである。HVS は X 線と可視光で吸収体として見えており、銀河団 X 線の HVS の吸収の観測により NGC1275 と HVS の距離の lower limit が 110kpc だと分かっている。NGC1275 の Holmberg radius が 125kpc であるから、HVS はすでに NGC1275 の裾に到達している可能性があり、もしそうでなくてもすでに潮汐力を受けているかもしれないが、はっきりとした事はまだ分かっていない。また HVS の metallicity は一般的な star forming disk galaxy に比べ非常に低い星生成率が $3.6M_{\odot}/\text{yr}$ であり、色が青い星は NGC1275 の $H\alpha$ nebula 全体に広がっているのではなく HVS の中心付近に集中している。

今回我々は Swift/UVOT で可視光紫外線帯域において、NGC1275 の AGN 放射と母銀河放射の分離を行った際に、NGC1275 の母銀河の放射が紫外線帯域で他の楕円銀河に比べ超過している事が分かった。そこで NGC1275 を Swift/UVOT の紫外線 (U, UVW1, UVM2, UVW2) イメージで確認すると NGC1275 の周りに広がった放射を確認し、X 線と可視光の吸収体 (HVS) と同じような形をしている事が分かった。本公演ではこの NGC1275 の紫外線超過と広がった紫外線放射について新たに分かった事を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a 近傍銀河団の $\sim r_{500}$ までの重元素分布

平井真一, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団の主な構成銀河は楕円銀河や S0 銀河などの早期型銀河で、天の川銀河とは形態が異なる。このような銀河形態の違いと初期質量関数の関係はまだわかっていない。ケイ素は主に大質量星から生成されるのに対し、早期型銀河の光度は小質量星の数に依存するため、銀河団中のケイ素質量と銀河光度の比 (SMLR) は初期質量関数を反映する (e.g., Renzini 2005)。また、ケイ素は銀河団ガス中に大量に含まれる重元素の中でも鉄の次に観測しやすく、銀河団の比較的外側まで観測が可能である。例えば、ペルセウス座銀河団では、 r_{500} までのケイ素質量から銀河団中の銀河の初期質量関数について議論された (e.g., Matushita+2013)。さらに、複数の銀河群、銀河団において、 r_{500} より内側では、ケイ素/鉄、硫黄/鉄の比が誤差の範囲で太陽組成比で一致していた (e.g., Sasaki+2013)。

今回我々は、近傍 ($z < 0.05$) に位置する銀河団の中から、すざく衛星で $0.5 r_{500}$ 程度まで (7 個) と r_{500} より外側まで (18 個) 観測された、合計 25 個の銀河群・銀河団を対象天体とした。まず、銀河団ガス中の鉄・ケイ素・硫黄のアバundanceを求めたところ、ケイ素/鉄、硫黄/鉄の比は銀河団の規模や銀河団中心からの距離によらず、おおそ太陽組成比となった。次に、星の質量をよく反映する近赤外線観測 (2MASS) を使用して銀河光度を算出し、ケイ素質量との比をとると、 r_{500} で $0.001 - 0.002 M_{\odot}/L_{K,\odot}$ となった。これは、星内部のケイ素の組成比が太陽と同じとした場合の SMLR と同程度となった。また、銀河団ガスと星内部を合わせた銀河団全体の SMLR は、太陽系近傍における星の初期質量関数 (Salpeter IMF) の予想 ($0.0016 M_{\odot}/L_{K,\odot}$) と大きな矛盾はないことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T03a 銀河団の質量-温度関係の Fundamental Plane を用いた新解釈

藤田裕 (大阪大学), 梅津敬一 (ASIAA), Stefano Ettori (INAF Bologna), Elena Rasia (INAF Trieste), 岡部信弘 (広島大学), Massimo Meneghetti (INAF Bologna)

観測やシミュレーションによると, 銀河団の質量 M_{200} (あるいは M_{500}) は, 銀河団ガスの温度 T_X と $M_{200} \propto T_X^{3/2}$ の関係にあることが知られている。従来この関係は「1. 銀河団は全域 ($r < r_{200}$) にわたって常によく緩和している (ビリアル平衡にある), 2. 銀河団はほぼ等温分布をしている」と仮定することで説明されてきた。しかし我々が最近発見した銀河団の Fundamental Plane (FP) の存在 (Fujita et al. 2018, ApJ, 857, 118) は, 銀河団は中心から外側に向かって徐々に成長してきたこと (inside-out シナリオ), また銀河団は現在も周囲からの降着で成長しているので緩和しきれていないことを示している。さらに, そもそも銀河団の密度分布を表す NFW profile は等温分布ではない。

そこで我々は 1., 2. の仮定を使わずに, inside-out シナリオで $M_{200} \propto T_X^{3/2}$ の関係が説明できないか検討した。具体的には FP の関係 $r_s^2 M_s^{-3/2} T_X = \text{const}$ (r_s, M_s は NFW profile に特徴的な半径と質量) と, inside-out シナリオに基づいて解析的に求められた銀河団の concentration parameter の質量依存性 (c - M 関係) を組み合わせた。その結果, 得られた M_{200} と T_X の関係は, $M_{200} \propto T_X^{3/2}$ に非常に近いことが分かった。このことは銀河団がビリアル平衡にないということを示す新たな証拠といえる。

さらに本講演では, 重力レンズデータに加えて, X 線データのみで FP が再現できること, FP を使って銀河団質量のキャリブレーションができることも示す。

Ref: Fujita et al., arXiv:1804.05070

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T04a 平均位相空間分布を用いた銀河団の動力学質量の測定

濱端亮成, 大栗真宗, 西道啓博 (東京大学)

銀河団は宇宙最大の自己重力系であり、その質量や数密度は初期摂動や宇宙の構造形成史、重力理論の情報を持っている。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運動を用いる手法がある (Smith 1936)。この手法は銀河団中心から射影距離が $1 \text{ Mpc}/h$ 以内の銀河の視線方向の運動を測定することで銀河団質量を推定するものであり、メンバー銀河の運動が銀河団の質量が作る重力ポテンシャルの性質を反映していることを期待した手法である。しかし、銀河の運動と銀河団質量の関係は未だに十分には理解されていないためこの手法での銀河団質量の精密な測定は困難であった。

この手法で精密に銀河団質量を決定するためにはまず、銀河団周辺の銀河の運動をより正確に理解する必要がある。我々はダークマターのみ N 体シミュレーションを用い銀河団周辺のダークマターハローの運動を解析し、銀河団周辺のハローの位相空間上での平均的な分布関数を多数の銀河団についてスタックすることで、射影距離が $\sim 10 \text{ Mpc}/h$ 程度までの広い範囲に渡って求めた。次に我々は様々なシミュレーション中の銀河団質量に対して、その周辺のダークマターハローの運動の持つ銀河団質量の依存性を調べ、銀河の運動と銀河団質量の関係を明らかにした。この結果、我々は銀河が銀河団に落下していく運動を捉えることで、銀河団中心から射影距離が $2 \text{ Mpc}/h$ 以上離れた外側の銀河のみの観測から銀河団質量を十分な精度で推定することができることを明らかにした。銀河団中心から離れた銀河のみを使用する本手法は $1 \text{ Mpc}/h$ 以内の銀河を使う既存の手法と比して相補的であり、独立した銀河団質量の情報を引き出すことができる。本講演ではこれらの結果を紹介するとともに、これらの結果の観測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](#)

T05a 銀河団における中心銀河とホストダークマターハローの角度相関の時間進化

岡部泰三、大栗真宗、須藤靖、西道啓博（東京大学）、北山哲（東邦大学）、佐々木伸（首都大東京）、
Sébastien Peirani (CNRS and UPMC Université Paris)

現在の標準的宇宙論パラダイムである Λ CDM モデルは、いくつかの問題を残しているものの非常に成功を収めたモデルである。例えば、シミュレーションが予測するダークマターハローの質量関数など様々な統計量は、観測事実をよく説明することが知られている。当初この比較は球対称近似を用いて行われていた。しかし Jing & Suto (2002) はダークマターハローが本質的に球対称ではなく、楕円体であることを示して以来、球対称近似を超えた楕円率等に着目した研究が、シミュレーション・観測共に精力的に行われてきた。実際、例えば銀河団の X 線表面輝度 (XSB)、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果 (SZE)、重力レンズ、メンバー銀河の分布等の観測からそれぞれ楕円率が測定され、さらにはそれぞれの分布の向きが中心の銀河に対してどの程度揃っているのかと言った結果まで出てきている (e.g. Donahue et al. 2016)。しかし、今の所シミュレーション中でこの向きの相関を調べた結果は十分とは言えず、今後も増えて行くであろう観測事実に対し比較するための理論予言が必要不可欠である。

前回の年会で我々は、Horizon-AGN シミュレーション中の現在における銀河団 40 個に対して射影した形状を調べ、中心銀河とホストのダークマターハローがよく揃っていることを発表した。そこで今回我々は、その向きの相関が 3 次元においてどのように時間進化するのかを調べた。Horizon-AGN は、 $100h^{-1}$ Mpc の広いボックスサイズと、星団程度 $10^6 M_{\odot}$ の星質量分解能を併せ持ち、我々の目的にとって現状最適なシミュレーションである。中心銀河とダークマターハローそれ自身の向きは時間変動するものの、それらは各時刻で見るとよく揃っているという結果を得た。さらにそれらの最終的な向きは銀河団周辺的环境によって決まるのかも議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T06a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (3)

吉田篤史, 三石郁之 (名古屋大), 太田直美 (奈良女子大), 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 浜名崇 (国立天文台), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 一戸悠人 (立教大学), 上田周太郎 (ASIAA), 大谷花絵 (奈良女子大), 他 HSC 銀河団コラボレーション

Weak lensing は銀河団の暗黒物質の質量やその分布を力学平衡等の物理的仮定を介さず直接抽出できる唯一の手法であり、近年の銀河団研究において大きな成果を挙げている。現在進行中のすばる望遠鏡搭載 Hyper Suprime Cam を用いた戦略的観測プログラム (HSC-SSP) による ~ 160 平方度領域をカバーした weak lensing 観測により $10^{14}h^{-1}M_{\odot} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\odot}$ の幅広い質量レンジで 65 もの weak lensing 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al. 2017)。そこで我々はこのサンプルを用いて銀河団スケール則などを調べることを目的に X 線天文衛星 XMM-Newton のアーカイブデータの系統的な解析を行なった。イメージ解析の結果、観測のあった 13 個のうち光子統計の悪かった領域を除いた全ての領域で weak lensing 質量ピークに対応する広がった X 線源を確認した。これらのサンプルの X 線光度と weak lensing 質量の関係をまとめたところ、X 線同定銀河団と比較して系統的に X 線光度が低いという示唆を得た (三石, 吉田他 日本天文学会 2017 年秋季, 2018 年春季年会)。

今回、我々は X 線天文衛星 Chandra の全アーカイブデータも調査し、4 個のサンプルを追加した。そして、我々が観測提案を行なった XMM-Newton の新たな観測から 1 個のサンプルを追加した。これらのイメージ解析の結果、5 個全ての領域で質量ピークに対応する広がった X 線源を確認した。さらに、分光解析では検出器由来のバックグラウンドや AGN 活動による混入 X 線を評価し、X 線光度および温度推定の系統誤差を見積もった。本講演では、これら計 18 個のサンプルについて銀河団スケール則やその力学状態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](#)

T07c ALMA Detected Overdensity of Sub-millimeter Sources Around WISE/NVSS-selected $z \sim 2$ Dusty Quasars

Andrea Silva (NAOJ), Anna Sajina (Tufts University), Carol Lonsdale (NRAO), Mark Lacy (NRAO)

We study the environments of 49 WISE/NVSS-selected dusty, hyper-luminous, $z \sim 2$ quasars using the Atacama Large Millimeter/Sub-millimeter Array (ALMA) 345 GHz images. We find that 17 of the 49 WISE/NVSS sources show additional sub-millimeter galaxies within the ALMA primary beam, probing scales within ~ 150 kpc. We find a total of 23 additional sub-millimeter sources, four of which are in the field of a single WISE/NVSS source. The measured $870 \mu\text{m}$ source counts are $\sim 10\times$ what is expected for unbiased regions, suggesting such hyper-luminous dusty quasars are excellent at probing high-density peaks.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

9月19日(水) 午前(11:00-13:24) [J会場]

U01a	11:00	POLARBEARによる原始重力波起源 Bモード解析の現状と Simons Array パイプライン開発の進捗 茅根裕司 (カリフォルニア大学)
U02a	11:12	巨大低密度領域におけるハローの質量関数とピーク統計 樋口祐一 (ASIAA)
U03a	11:24	原初磁場の制限における問題点 山崎大 (茨城大学/国立天文台)
U04a	11:36	Big Bang Nucleosynthesis with an Inhomogeneous Primordial Magnetic Field Strength Yudong Luo (The University of Tokyo/NAOJ)
U05a	11:48	Super-survey tidal effects in redshift space 秋津一之 (Kavli IPMU)
U06a	12:00	赤方偏移バイスペクトルの新しい定量化方と測定 杉山尚徳 (Kavli IPMU)
U07a	12:12	Bispectrum covariance estimated from numerical simulations 高橋龍一 (弘前大学)
U08a	12:24	宇宙大規模構造におけるボイドの赤方偏移進化 簗口睦美 (名古屋大学)
U09a	12:36	ニュートリノによる宇宙大規模構造への力学的影響 吉川耕司 (筑波大学)
U10a	12:48	Pulsar Timing Arrayによる宇宙ひも起源の重力波バーストの探索 米丸直之 (熊本大学)
U11a	13:00	ダークマターの必要条件に 小堀しづ ()
U12b	13:12	電磁気の軌道エネルギーはどのようにして光速で走るエネルギーに成るか。その原理。電磁気が秒速 3×10^8 m で進むときのエネルギーはいくらか。 小堀しづ ()
U13b	13:12	An Iterative Data Reconstruction Method for Incomplete Measurements in All-Sky Surveys Nawalage Suchetha Manakal Cooray (Nagoya University)
U14c		宇宙の速度と引力は中心のブラックホールが作る。その式は、ブラックホール質量を 10^n 太陽質量とすると、ブラックホールが作る軌道エネルギー = $5.438 \times 10^{18} + 2n/3 \text{JKm} \div \text{距離}$ 、です。 小堀しづ ()

9月20日(木) 午前(9:30-10:06) [J会場]

U15a	09:30	超高増光率重力レンズ観測から何がわかるか? 大栗真宗 (東京大学)
U16a	09:42	アンドロメダ銀河の広視野観測による原始ブラックホール探査 II 新倉広子 (東京大学)
U17a	09:54	大規模銀河サーベイ・弱重力レンズサーベイに向けた高速シミュレーションコードの開発 真喜屋龍 (Kavli IPMU)

U01a POLARBEARによる原始重力波起源 B モード解析の現状と Simons Array パイプライン開発の進捗

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大学), 高倉理 (Kavli IPMU), 田島治 (京都大学), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR は宇宙の開闢直後に起こったとされる指数関数的膨張「インフレーション」検証と、ニュートリノ総質量の測定を目指した実験である。これらを実現するために、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の偏光観測を、チリのアタカマ砂漠の標高 5,200m で 2012 年から行っている。

POLARBEAR は今迄に、2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モードに焦点を当てた small patch 観測、それ以降は原始重力波起源 B モードに特化した wide patch 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 モードの自己相関スペクトル観測、2017 年秋学会では全ての small patch 観測データを使った感度の向上を、更にはこれらのデータを使った関連する科学成果と実験の進捗状況を報告してきた。

本発表では 2014 年から実施してる wide patch 観測データによる原始重力波起源 B モード測定 of 最新状況を報告する。また今年度から観測を始める予定の、POLARBEAR のアップグレード計画である Simons Array に向けた解析パイプライン開発の進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U02a 巨大低密度領域におけるハローの質量関数とピーク統計

樋口祐一 (ASIAA), 井上開輝 (近畿大学)

宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎには10度程度に渡り、温度が $\sim 100\mu\text{K}$ 低くなっている領域が存在している (Vielva et al. 2004, Planck collaboration et al., 2014)。その起源として低赤方偏移における半径 $R \sim 200h^{-1}\text{Mpc}$ の巨大ポイドの存在が理論的に提唱されており (Inoue & Silk 2006)、実際の観測でもその存在が示唆されている (Szapudi et al. 2015)。このような巨大な低密度領域が、ハローの性質や弱重力レンズ効果の統計的性質にどのような影響を与えるのかはよく分かっていない。我々は N 体シミュレーションとレイトレーシングシミュレーションを用いて巨大低密度領域がハローの質量関数と弱重力レンズ効果の収束場のピーク統計に及ぼす影響を調べた。解析の結果、質量関数は大質量側で減少することがわかった。またピーク統計の数はネガティブピーク側で増加し、ポジティブピーク側で減少することがわかった。これらの平均的な値からのずれは共に $\gtrsim 4\sigma$ 程度となることが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U03a 原初磁場の制限における問題点

山崎大 (茨城大学、国立天文台)

原初磁場の制限への挑戦が続いているが、上限しか得られていない。原初磁場の影響が強く表れる宇宙背景放射偏光揺らぎの観測において、原初磁場を含めた物理量を解析するのに十分な精度が得られていないのが主な要因である。一方、方法論としても問題がある。原初磁場の空間分布の指標であるパワーロウ指数 n_B が -1.5 以上の範囲で原初磁場の強度 B_λ と n_B が強く縮退し、同じパワースペクトルを与える n_B と B_λ の組が無数に存在し物理学上は同じ結果になるにもかかわらず、旧来の研究では統計上は別のもものとして積算していた。当研究では上記の方法論の問題の影響を明確にし解決策を探るために、以下の旧来のように範囲限定をしない場合とする場合を比較した。

I. 旧来の研究と同様に広範囲でパラメータ制限 [(1) $-3 < n_B < 0$ と (2) $-3 < n_B < 1$ の二種類]。

II. 強く縮退する範囲 ($n_B > -1.5$) を別モデルと扱い除外してパラメータを制限。

結果として、[1]I の (1) と (2) の結果を比較したところ、 n_B の限定範囲の広さに比例して、 B_λ の上限が減少した。[2]II では、現状の観測結果からでも $2-3\sigma$ 以上の下限が得られた。結果 [1] から縮退する範囲を考慮する場合は、無数に存在する同様のパラメータの組の扱いを限定しないと正しい制限が得られないことが分かった。また結果 [2] から、 $-3 < n_B < -1.5$ に限定するための理論的根拠を示す必要があるが、同範囲において現状の観測の発展によっては、原初磁場の検出も可能であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a Big Bang Nucleosynthesis with an Inhomogeneous Primordial Magnetic Field Strength

Yudong Luo, Toshitaka Kajino (NAOJ), Motohiko Kusakabe (BeihangU) and Grant J. Mathews (Notre DameU)

Big Bang Nucleosynthesis (BBN) agrees well with the observational abundances of light elements ^2H , ^3He and ^4He except for ^7Li . We find that the abundances of these elements can be affected strongly by a stochastic primordial magnetic field (PMF) whose strength is spatially inhomogeneous. We assume a uniform total energy density with a large-scale stochastic PMF and a gaussian distribution of field strength. We show that in such case, the effective distribution function of particle velocities averaged over domains of different temperature deviates from the Maxwell-Boltzmann (MB) distribution. This deviation is related to the PMF energy density ρ_{Bc} and fluctuation parameter σ . We perform BBN network calculations taking account the PMF strength distribution, and deduce the elemental abundances as functions of baryon-to-photon ratio η , ρ_{Bc} , and σ . We find that the fluctuation of the PMF reduces the ^7Be production and enhances ^2H production. We analyze the averaged thermonuclear reaction rates compared with those of a single temperature, the charged particles reaction rates are very different. Finally, we constrain the parameters ρ_{Bc} and σ for our fluctuating PMF model from observed abundances of ^4He and ^2H . In this model, the ^7Li abundance is significantly reduced. We also discuss the possibility that the baryon-to-photon ratio decreased after the BBN epoch. In this case, we find that for η larger than the present-day value, all light elements can be consistent with observational data.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a Super-survey tidal effects in redshift space

秋津一之, 高田昌広, 杉山尚徳 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構), 白石希典 (香川高専)

宇宙における構造形成を理解するためには、非線形成長によって波数の異なるゆらぎ同士が相関しあいながら発展するモード・カップリングの効果が重要になる。特に、次世代の銀河サーベイを見据えた場合、これまでは無視されてきた効果が重要になることが考えられる。そのような例の一つとして、このような非線形モードカップリングの中でも、サーベイで直接観測される短波長のゆらぎと、銀河サーベイの観測領域を超えるような波長のゆらぎ (Super-survey mode) のモードカップリングの効果の重要性が近年指摘されている (Takada & Hu 2013)。この Super-survey mode は大スケールの重力ポテンシャルの二階微分に対応し、トレース部分 (等方成分) とトレースレス部分 (非等方成分) が存在するものの、先行研究ではそのうち等方成分による効果のみについてしか調べられてこなかった。

本研究では、摂動計算を改良することで、Super-survey mode の非等方成分が短波長ゆらぎの成長に与える影響を導出した。特に、非等方性が重要になる赤方偏移空間におけるパワースペクトルに対する効果について着目し、その結果、よく知られたカイザー効果以外の非等方性が大スケールでも存在することを見出した。これは、観測量における非等方性を利用して宇宙論パラメタを決める手法 (赤方偏移空間歪みおよび Alcock-Paczynski test) に影響すると考えられるため、これらを用いた宇宙論パラメタの推定に対する影響を議論した。また逆に、短波長ゆらぎの観測からこのモードカップリングの効果を通じて Super-survey mode を間接的に観測できる可能性についても議論した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U06a 赤方偏移バイスペクトルの新しい定量化方と測定

杉山尚徳

近年、大規模銀河分光サーベイにより、銀河の相関関数を測定することで宇宙論パラメータを決定する試みが盛んに行われている。宇宙初期の揺らぎはガウシアン分布に従うことが知られており、その宇宙論的情報は二点相関関数によって記述される。しかし、銀河の分布はその進化の過程で重力相互作用によって強い非線形性を持つため、情報が多点相関関数に流れてしまう。そのため、銀河分布から完全に宇宙論情報を引き出すには、多点相関関数の解析が不可欠である。実際、この数年の間に、銀河の3点相関(バイスペクトル)の解析が盛んに行われ始めている。しかし、これまでの研究では、バイスペクトルを角度平均したモノポール成分のみが主に取り扱われており、赤方偏移歪みによる非等方成分についての解析はほとんどなされてこなかった。本研究では、バイスペクトルの赤方偏移歪みを定量化する手法を新たに提案し、実際に測定することで、将来観測における非等方バイスペクトル解析への道筋をつけた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a Bispectrum covariance estimated from numerical simulations

高橋龍一（弘前大理工）、樽家篤史（京大基研）

銀河分布の統計量はパワースペクトル（又はフーリエ成分の相関関数）がよく用いられる。これは宇宙初期の密度揺らぎはガウス分布に従うため、揺らぎの全ての情報がパワースペクトルに含まれているためである。しかし、密度揺らぎが重力的に非線形成長すると、異なるモード（波数）間に相関が生まれバイスペクトル（又は3点相関関数）が生じる。そのためバイスペクトルにはパワースペクトルには含まれていない非ガウス成分が含まれており、密度揺らぎに関するより多くの情報を得ることができる。すでに大規模銀河分光サーベイにより銀河分布のバイスペクトルは高精度で測られており、パワースペクトルと相補的な情報が得られている（Gil-Marín et al. 2017）。

観測されたバイスペクトルを理論模型と比較し宇宙パラメータに制限を与える際に、測定誤差（コバリエンス）が必要になる。本講演ではN体数値計算を用いて、宇宙大規模構造の疑似カタログを多数（5千個程度）作成し、バイスペクトルのコバリエンスを測定した（先行研究：Chan & Blot 2017）。物質とハロー成分それぞれに対し、実空間（real space）と赤方偏移空間（redshift space）で測定した。観測領域全体を含む大スケールの密度揺らぎの効果（super-sample covariance）の影響も考慮した。数値シミュレーションの結果を摂動論の予言と比較し、大スケールで良い一致を見た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a 宇宙大規模構造におけるボイドの赤方偏移進化

簗口睦美, 西澤淳 (名古屋大学)

ボイドは、宇宙大規模構造の低密度領域で、典型的には 10Mpc と超銀河団スケールの構造である。このため、観測されるボイドの数は銀河団よりも少ないが、近年の大規模銀河サーベイにより、統計的に十分な数が観測されてきた。ボイドの形状やサイズは、個々の銀河団と相補的な情報を持っており、宇宙論モデルや重力理論の検証に応用されている。このような状況で、ボイドの形状やサイズの理論モデルを構築することは重要な課題である。

Icke 1984 は、top-hat モデルを用いた解析的計算により、ボイドが必ず球形に成長することを指摘している。一方で、Nadathur2016 が明らかにしているように、現実の観測データ中のボイドは必ずしも球でなく、このような現実的な環境下における個々のボイドの進化傾向や、その決定要因に関しては未だ統一的理解が得られていない。そこで、本研究ではボイド自身の重力成長及び環境効果について議論する。本研究では簡単のため Λ CDM 宇宙論モデルを仮定した N 体シミュレーションを行い、各々のボイドを、粒子 ID を用いて追跡した。その結果、発展の前後で粒子共有率の高いボイドは比較的 top-hat モデルで成長傾向を説明できるものの、特に半径や楕円率に関しては、定性的にさえ top-hat モデルでは説明できないものが過半数を占めることを確認した。本講演では得られた一連の結果について報告し、ボイドの成長傾向と周囲の重力場との相関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](#)

U09a ニュートリノによる宇宙大規模構造への力学的影響

吉川耕司 (筑波大学), 田中賢 (筑波大学), 斎藤俊 (MPA), 吉田直紀 (東京大学)

宇宙には初期宇宙において他の成分から脱結合した多数の原始ニュートリノが存在するが、ニュートリノ振動の発見によってニュートリノは質量を持つことがわかり、原始ニュートリノの運動が宇宙大規模構造形成に与える影響とそれを利用したニュートリノ質量と質量階層の観測的な測定が注目を集めている。

我々はニュートリノを考慮した宇宙大規模構造形成シミュレーションにおいて、従来のショットノイズの影響が大きい N 体シミュレーションに代わる精度の良い新たなシミュレーション手法として分布関数の時間発展を無衝突ボルツマン方程式 (Vlasov 方程式) を直接積分することで計算する Vlasov シミュレーションを用いた研究を行なっている。本講演では、Vlasov シミュレーションを用いたニュートリノ質量を考慮した宇宙大規模構造形成シミュレーションの改良とそれによって明らかとなった宇宙大規模構造におけるニュートリノの運動論的性質について報告する。

前者については、宇宙論的共動座標系での Vlasov シミュレーションの速度空間を特異速度から正準速度に変更することで同じメッシュ数で速度空間の解像度を飛躍的に向上させることができた。また、この改良した Vlasov シミュレーションを用いた大規模構造形成シミュレーションによって、ニュートリノ質量の違いによってダークマターハローの質量関数やダークマターハロー・フィラメント構造内外でのニュートリノの運動論的な性質に有意な差が出ることが明らかとなった。更に、ニュートリノ中をダークマターハローが通過することで発生する neutrino wake 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](#)

U10a Pulsar Timing Array による宇宙ひも起源の重力波バーストの探索

米丸直之、George Hobbs (CSIRO)、黒柳幸子 (名古屋大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、他 Parkes Pulsar Timing Array project メンバー

宇宙ひもとは、場の理論により予言される1次元位相欠陥である。初期宇宙で時空が相転移する際に形成されると考えられているが、これまでに直接観測されたことはない。宇宙ひもは、非常に大きな質量を持ち、かつ高速で動くことから重力波波源の一つと考えられており、現在では、実質的に重力波観測が宇宙ひもを直接検出する唯一の手段となっている。

宇宙ひもは、ひも同士が交差するとひもが繋ぎ替わりループを形成する。重力波バーストは、主にそのループ上を逆方向に伝搬する波が衝突する際に生じるカusp (尖点) から放出され、そのバーストの継続時間はループの大きさに依存する。本研究では Pulsar Timing Array (PTA) が感度を持つ継続時間が10年程度のバーストに着目する。PTA では主に背景重力波が観測されると考えられているため、これまで宇宙ひもに関しては背景重力波に対する制限しか議論されてこなかった。しかし、波源が十分に近い場合、単一波源を観測することも可能であり、本研究では Parkes PTA の Data Release 2 (DR2) を用いて単一波源となる宇宙ひもからの重力波バーストの探索を行った。本講演では、DR2 から得られた重力波、宇宙ひものパラメーターの制限について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U11a ダークマターの必要条件に

小堀しづ

1. どんな波長の光をも出さない。ダークマターは自転している電子のラブと陽子のラブです。自転し磁気的光子を出している。磁気的光子は、電気的光子でないので、光は出さない。2. どんな物質ともぶつからずすり抜ける。陽子のラブのダークマターの大きさは $1.356 \times 10^{-30}\text{m}$ で、電子のラブのダークマターの大きさは $2.488 \times 10^{-27}\text{m}$ です。それで、どんな物質ともぶつからずすり抜ける。3. 宇宙初期にほぼ速度0の冷たい物質。宇宙初期、10-20m時代、電子のラブのダークマターの自転軌道は、公転軌道 $\times 3.14 \div 1$ 公転の自転数 $\times 2731/2 = 10^{-20}\text{m} \times 3.14 \div (7.96 \times 10^7 \text{回}) \times 16.523 = 6.518 \times 10^{-27}\text{m}$ です。自転速度(秒速)は、 $6.518 \times 10^{-27}\text{m} \times 3.14 \times (7.96 \times 10^7) \div 1 \text{秒} = 1.032 \times 10^{-2}\text{m/s}$ 、です。ダークマターは-273 の物質です。4. 現在では、天の川銀河でのダークマターの速度は、秒速約200Kmになっている。天の川銀河のダークマターの速度は、宇宙の中心のブラックホールが作る速度です。軌道エネルギーは、 $4.827 \times 10^{27}\text{JKm} \div \text{軌道半径} = 4.827 \times 10^{27}\text{JKm} \div (1.305 \times 10^{23}\text{Km}) = 3.699 \times 10^4\text{J}$ 、です。この軌道の速度は、 $(3.699 \times 10^4\text{J})^{1/2} = 1.923 \times 10^2\text{Km}$ 、です。5. 冷たいダークマターの集合体が銀河の種となった。ダークマターを活性化する(公転させる)メカニズムは、ダークマターの温度を上げる事です。銀河の傍に存在するダークマターは暖められ、水素に成り、星の材料に成る事ができる。6. 質量は見える物質の約5倍。講演する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U12b 電磁気の軌道エネルギーはどうして光速で走るエネルギーに成るか。その原理。電磁気が秒速 $3 \times 10^8 \text{m}$ で進むときのエネルギーはいくらか。

小堀しづ

軌道エネルギーは回転するときの軌道 \times エネルギーです。これが直進する時、エネルギー \times 進む距離に成ります。電磁気の1回転の軌道エネルギーは、進む距離 \times エネルギー = $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm}$ です。電磁気は1秒間に、電子のラブの場合、1秒間に (7.96×10^7) 2回公転する。電磁気の1秒間の軌道エネルギーは、 $1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \times (7.96 \times 10^7)^2 = 7.812 \times 10^{-26} \text{Jm}$ です。電磁気の1秒間の軌道エネルギーは $7.812 \times 10^{-26} \text{Jm}$ ですから、電磁気の1秒間の軌道エネルギー = 進む距離 \times エネルギー = $7.812 \times 10^{-26} \text{Jm}$ です。これが電磁気は光速で走る原理です。電磁気が秒速 $3 \times 10^8 \text{m}$ で進むときのエネルギーはいくらか。電磁気が秒速 $3 \times 10^8 \text{m}$ で進むときのエネルギーを $\times \text{J}$ とする。電磁気の1秒間の軌道エネルギー = 進む距離 \times エネルギー = $7.812 \times 10^{-26} \text{Jm} = 3 \times 10^8 \text{m} \times \times \times = 7.812 \times 10^{-26} \text{Jm} \div (3 \times 10^8 \text{m}) = 2.604 \times 10^{-34} \text{J}$ 電磁気が秒速 $3 \times 10^8 \text{m}$ で進むときのエネルギーは $2.604 \times 10^{-34} \text{J}$ です。この質量は、 $m = E \div c^2 = 2.604 \times 10^{-34} \text{J} \div (9 \times 10^{16}) = 2.893 \times 10^{-51} \text{Kg}$ 、です。秒速 $3 \times 10^8 \text{m}$ で走る1個の電磁気のエネルギーは $2.604 \times 10^{-34} \text{J}$ で、質量は $2.893 \times 10^{-51} \text{Kg}$ 、です。(特願2018-041361)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U13b An Iterative Data Reconstruction Method for Incomplete Measurements in All-Sky Surveys

Suchetha Cooray, Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

Implementation of an iterative algorithm is proposed to reconstruct data from incomplete measurements in the sky. Spherical harmonic analysis is employed in cosmology with all-sky measurements since information can be regarded as fluctuations on an isotropic sphere, for example, analysis of the cosmic microwave background and density maps of large-scale structures. A physical limitation for such a study is the foreground noise of the Galaxy (Zone of Avoidance) resulting in obscuring the lower S/N ratio region. Previously proposed work to deal with spatially incomplete data are either limited by length scales or are machine-based. This proposed method is able to successfully reconstruct the masked region under the assumption that the Fourier decomposition of the underlying fluctuations have a finite degree N of spherical harmonic coefficients (mode-limited). By iterations, the algorithm reduces the error of the reconstructed spherical harmonic coefficients and converges to the coefficients of the original fluctuations. We explore the speed of convergence and its dependence of the degree N of spherical harmonic coefficients and of the initial unmasked fractional sky area. We test the suitability of the iterative algorithm for our purpose of reconstructing missing regions in masked cosmological all-sky maps.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14c 宇宙の速度と引力は中心のブラックホールが作る。その式は、ブラックホール質量を 10^n 太陽質量とすると、ブラックホールが作る軌道エネルギー = $5.438 \times 10^{18} + 2n/3JKm \div \text{距離}$ 、です。

小堀しづ

宇宙の速度と引力は中心のブラックホールが作る。その式は、ブラックホール質量を 10^n 太陽質量とすると、ブラックホールが作る軌道エネルギー = $5.438 \times 10^{18} + 2n/3JKm \div \text{距離}$ 、です。宇宙の中心のブラックホールの質量は 2.631×10^{13} 太陽質量ですから、宇宙の軌道エネルギー = $5.438 \times 10^{18} + 2n/3JKm \div \text{距離} = 5.438 \times 10^{18} + 2 \times 13.4202/3JKm \div \text{距離} = 5.438 \times 10^{18} + 8.9468J Km \div \text{距離} = 5.438 \times 8.846 \times 10^{26}JKm \div \text{距離} = 4.810 \times 10^{27} JKm \div \text{距離}$ 、です。また次のようにも考えられます。宇宙の中心のブラックホールから出発する電磁気 1 個のエネルギー \times ブラックホールの表面の原子数 \times 見かけ上に換算する定数 \div 軌道半径 = $10^{-25} J \times 4.827 \times 10^{47} \text{個} \times 10^5 JKm \div \text{軌道半径} = 4.827 \times 10^{27} JKm \div \text{軌道半径}$ この式により、中央のブラックホールの質量や軌道の距離や軌道の速度を計算できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U15a 超高増光率重力レンズ観測から何がわかるか？

大栗真宗 (東京大学), Jose M. Diego (IFCA), Nick Kaiser (ハワイ大学), Patrick L. Kelly (ミネソタ大学), Tom Broadhurst (バスク大学)

我々の研究チームは2016年に銀河団 MACSJ1149+2223 中心部で速く変動する天体「イカロス」を発見した。さまざまな可能性を検討した結果、この現象は銀河団背後の $z = 1.5$ の単独の星が重力レンズにより増光されたものであるという結論が得られた (Kelly et al. 2018)。銀河団のダークマターポテンシャルに加えて、銀河団内のコンパクト天体による重力マイクロレンズも加味されてイカロスはピーク時には元の明るさの数千倍に増光されたと見積もられている。この観測によって単独の星の観測の最遠方記録を大幅に更新し、遠方銀河を調べる新しい手法を開拓したことになる。

我々は、特にこのイカロスを念頭におき、このような超高増光率重力レンズを観測することで増光される星および重力レンズを引き起こす銀河団の質量分布に対してどのような情報が得られるかを、簡単な理論モデルを元に考察した。増光される星については、主にピーク時の光度曲線の時間スケールと最大の明るさからその半径が制限され、例えばイカロスの場合は半径が太陽の200倍程度の青色超巨星と推測される。重力マイクロレンズを引き起こす星の性質については、このような現象の発生頻度と複数ピークの時間間隔から主に制限が付く。得られた質量と存在量の制限から、重力マイクロレンズを引き起こした星は銀河団内の intra cluster light を担う普通の星と無矛盾であることがわかった。またダークマターがブラックホールのようなコンパクト天体から構成されている可能性を検討し、ダークマターの大半がコンパクト天体でできている場合イカロスで観測されたような大きな増光は達成できないことからそのようなコンパクトダークマターモデルを棄却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](#)

U16a アンドロメダ銀河の広視野観測による原始ブラックホール探査II

新倉広子 (東京大学), 高田昌広, 安田直樹, 栗田智貴, 杉山素直 (カブリIPMU), Robert Lupton (プリンストン大学), 住貴宏 (大阪大学), Surhud More, Anupreeta More, 大栗真宗 (東京大学), 千葉証司 (東北大学)

原始ブラックホール (PBH) は初期宇宙での生成が提唱されており、ダークマターの有力候補の1つである。本研究では、近傍銀河であるアンドロメダ銀河 (M31) のすばる HSC 観測により、天の川銀河と M31 のダークハローを構成する PBH による重力マイクロレンズ現象によって時間変動する M31 内の星を探査した。

本研究では約2分間隔で約7時間に渡り取得した約190枚の画像データを解析し、時間変光天体の探査を行った。マイクロレンズ現象の選択手法をデータに適用したところ、候補天体は1つのみ検出されている。本観測でのイベント検出感度をシミュレーションにより評価した結果、月質量程度の PBH の存在量に対して、ケプラー衛星の2年間データよりも強い、今までで最も厳しい上限を課すことができた。

2016年の秋季年会の講演 (U14a) では、点源近似の元でのマイクロレンズ効果のイベントレートの評価について報告した。実際の観測では $10^{-7} M_{\odot}$ よりも軽い PBH によるマイクロレンズ効果は有限ソース効果、波動効果を受けるため、点源近似が成り立たない場合がある。本講演では、これらの効果を加味した場合の PBH の存在量に対する制限について議論する。また、2017年に行なった追観測の解析結果についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U17a 大規模銀河サーベイ・弱重力レンズサーベイに向けた高速シミュレーションコードの開発

真喜屋龍 (Kavli IPMU), 加用一者 (東京工科大学), 小松英一郎 (Max Planck Institute for Astrophysics)

宇宙の物質分布の詳細を知ることは我々の宇宙の組成や形成過程について重要な手がかりを与える。物質分布を測定するための手段として、大規模な分光銀河サーベイや、弱重力レンズ効果による銀河像の歪みを用いて物質の密度分布を直接測ることを目的とした撮像サーベイが現在精力的に行われている。我々はそのような宇宙論的銀河サーベイに向けて新たにシミュレーションコードを開発した。

まず我々は、物質の密度分布が対数正規分布に従うことを仮定したうえで、任意のパワースペクトラムに従うような擬似的な赤方偏移銀河カタログを高速に生成するコードを開発した (Agrawal et al. 2017). さらに、そこで生成された物質密度場に対してレイトレーシングすることにより、弱重力レンズ効果の強さを表す量である convergence κ の二次元マップを生成するコードを今回新たに開発した。これを用いることで、赤方偏移空間での銀河の自己相関や、 κ の自己相関、さらには銀河と κ との相互相関までを統一的に計算することができる。我々のコードは適用範囲が線形領域に限られるものの、理論的不定性が少なく、また非常に高速なため例えば通常莫大な計算コストがかかるパワースペクトラムの分散共分散行列も容易に計算することができるという特徴がある。

本講演では、現在すばる Hyper Suprime-Cam を用いて行われている撮像サーベイや、今後すばる Prime Focus Spectrograph を用いて行われる予定である大規模分光サーベイをはじめとする新世代の観測計画に対して我々のシミュレーションを用いて理論予測を行い、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](#)

【V1. 観測機器】

9月19日(水) 午前(11:00-13:00) [I会場]

V101a	11:00	ALMA の運用 (13) と拡張計画 (7) 井口聖 (国立天文台)
V102a	11:12	ALMA band 2 (67-116 GHz) and 7+8 (275-500 GHz) receiver optics Gonzalez Alvaro (NAOJ)
V103a	11:24	高臨界電流密度接合による ALMA band 10 ミキサの広帯域低雑音化 小嶋崇文 (国立天文台)
V104a	11:36	Direct-Photonic Local system の検討 木内等 (国立天文台)
V105a	11:48	次世代 FITS ビューワ Vissage の開発: 偏波表示機能 川崎渉 (国立天文台)
V106b	12:00	超伝導デバイス性能向上への取り組み 2(SIS 接合のエッチング最適化について) 宮地晃平 (国立天文台)
V107b	12:00	ALMA Band 7+8 (275 - 500 GHz) 導波管型 2SB ユニットの 2 次試作と評価 山屋陽香 (電気通信大学)
V108b	12:00	テラヘルツ時間領域分光法を用いた光学定数測定の高精度化 吉岡佳輔 (国立天文台/電気通信大学)
V109a	12:12	多輝線同時観測のための 200 GHz 帯導波管型マルチプレクサの開発 中島拓 (名古屋大学)
V110b	12:24	220-350 GHz 帯 超広帯域導波管型周波数フィルタの開発 増井翔 (大阪府立大学)
V111b	12:24	高精度水晶傾斜計を用いた NANTEN2 望遠鏡指向誤差の調査 逆井啓佑 (名古屋大学)
V112b	12:24	NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 7. 最適なスキャンパターンの検討 奥田想 (名古屋大学)
V113a	12:36	野辺山 45 m 電波望遠鏡における主鏡の変形測定 橋本育実 (大阪府立大学)
V114b	12:48	野辺山 45 m 電波望遠鏡における 22/43 GHz 帯同時観測評価 岡田望 (大阪府立大学)
V115b	12:48	22/43GHz 帯分離および 43/86GHz 帯分離 Perforated Plate 型周波数フィルタの開発評価 木村公洋 (大阪府立大学)
V116b	12:48	山口 32 m 電波望遠鏡を用いたパルサー観測の定常化 青木貴弘 (山口大学)
V117c		野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの光学評価 村山洋佑 (筑波大学)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [I会場]

V118a	09:30	JAXA 深宇宙探査用新 54m アンテナ搭載 X, Ka 帯受信機の開発 長谷川豊 (宇宙航空研究開発機構)
V119a	09:42	広帯域フィードの開発 (XIV) 氏原秀樹 (情報通信研究機構)
V120a	09:54	那須電波干渉計の現状 大師堂経明 ((一社) 電波天文学研究会)
V121a	10:06	気球 VLBI 搭載用 Star Tracker(STT) の開発 下向怜歩 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
V122a	10:18	1.85m 電波望遠鏡新広帯域受信システムの開発進捗 上田翔汰 (大阪府立大学)
V123a	10:30	超伝導検出器 MKIDs 用磁気シールドの設計と評価 沓間弘樹 (東北大学/理化学研究所)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V124a	10:42	DESHIMA: 搭載試験の全観測データを対象とした詳細性能評価 谷口暁星 (名古屋大学)
V125a	10:54	宇宙背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD の進展 菅井肇 (東京大学)
V126a	11:06	物理光学による LiteBIRD の低周波数帯の迷光評価 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay)
V127b	11:18	LiteBIRD 搭載光学系の開発検討 1 鹿島伸悟 (国立天文台)
V128b	11:18	水沢 10m 電波望遠鏡の気球 VLBI に向けた性能向上と今後の改良について 亀谷収 (国立天文台)
V129c		VERA-upgrade 計画の進捗 III 小山友明 (国立天文台)
V130c		VERA43GHz 帯用両偏波受信システムの開発と活動銀河核ジェットの生成・収束機構の研究 萩原喜昭 (東洋大学)
V131c		JVN 大規模電波源探査に向けた感度測定試験観測 2 コヒーレンス時間の実測 元木業人 (山口大学)
V132c		電波点回折干渉計 (III) 奥村大志 (筑波大学)
9月20日 (木) 午後 (13:30-14:30) [I会場]		
V133a	13:30	宇宙マイクロ波背景放射観測実験 Simons Observatory 望遠鏡群の研究計画と開発状況 松田フレドリック (Kavli IPMU)
V134a	13:42	CMB 偏光観測実験 POLARBEAR-2 の開発状況 金子大輔 (Kavli IPMU)
V135a	13:54	宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレーザーシステムの光学性能評価 3 濱田崇穂 (東北大学)
V136a	14:06	宇宙マイクロ波背景放射観測実験 POLARBEAR-2 の検出器読み出しチャンネルの割り当て検証手法の開発 廣瀬開陽 (横浜国立大学)
V137a	14:18	POLARBEAR 実験の監視カメラを用いた雲の偏光の調査 高倉理 (Kavli IPMU)

V101a ALMA の運用 (13) と拡張計画 (7)

井口聖, 阪本成一, 伊王野大介, 浅山信一郎, 小杉城治, 永井洋, Alvaro Gonzalez, 菊池健一, 平松正顕, 奥村裕二 (国立天文台), 深川美里 (国立天文台/名古屋大学), 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 4 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。昨年度に Cycle 5 の観測を開始し、提案者への観測データの配信が順次おこなわれている。そして、予定通りに Cycle 6 の観測提案の公募が実施され、公募数は 1,838 件 (暫定値) となった。

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、そして相関器拡張の開発を行ってきた。欧州が担当する Band 5 開発はすべての現地受入審査会 (Preliminary Acceptance on Site, PAS) を完了した。東アジアが担当する Band 1 開発では量産製造に向けた準備が着実に進んでいる。欧州が主導する Band 2 (67-116 GHz) 開発では計画の素案作成が進んでいる。また、東アジアが主導する単一鏡用分光器の開発では、現地での環境試験も実施し、最終設計審査会 (Critical Design Review, CDR) に向けた準備が開始した。さらに、北米が主導する相関器拡張では、基本設計審査会 (PDR) を経て、2018 年 4 月の ALMA 評議会にてプロジェクト化が承認され、今後の最終設計審査会 (CDR) に向けた拡張開発が開始された。

次の 10 年目標: これまで日米欧三者で議論を積み重ねきた「ALMA 開発ロードマップ」が、各地域でウェブ発表されることから、これについて紹介する。そして、これをもとに次の日本学術会議マスタープランに提案する「2020 年代のアルマ望遠鏡の運用および拡張」に関するワーキンググループの進捗についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102a ALMA band 2 (67-116 GHz) and 7+8 (275-500 GHz) receiver optics

A. Gonzalez, K. Kaneko, K. Ohtawara, R. Sakai, S. Asayama (National Astronomical Observatory of Japan)

At NAOJ, we are working on the development of wideband receivers for radio astronomy, with a focus on high-current-density SIS mixers and on receiver optics. In particular, we are collaborating on the development of two receivers to cover two ALMA bands simultaneously: the ALMA band 2 receiver (to cover ALMA band 2 and 3, 67-116 GHz) led by ESO; and the ASTE band 7+8 receiver (275-500 GHz) in collaboration with KASI. The fractional bandwidth of these target bands is around 55-60%. From the point of view of receiver optics, the band 2 design uses a dielectric lens to focus the radiation coming from the Cassegrain antenna onto the corrugated horn in the receiver; whereas in the case of band 7+8, it uses a pair of cold ellipsoidal mirrors (at 4K). However, in both cases, behind the lens or mirrors, the design uses a corrugated horn followed by a waveguide OMT to separate orthogonal linear polarizations. Since the bandwidth is approximately the same, band 2+3 components have been fabricated firstly, to demonstrate the validity of electromagnetic designs, and then, upon successful measurements, band 7+8 prototypes have been fabricated and tested. This approach allows to divide the validation of sub-mm wave components (whose fabrication is very challenging) in two steps: validation of the design, and validation of the fabrication methods. In this paper, we will present the design and measurement results of corrugated horns and waveguide OMTs for the 67-116 GHz and 275-500 GHz bands, to be used for prototype receivers for ALMA and ASTE, respectively.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a 高臨界電流密度接合による ALMA band 10 ミキサの広帯域低雑音化

小嶋崇文、M. Kroug, 藤井泰範, 大田原一成, 宮地晃平, A. Gonzalez, 金子慶子, 鶴澤佳徳, 浅山信一郎 (国立天文台)

国立天文台では ALMA の受信機カートリッジ保守や ALMA の将来開発を目的として、Band 10(787-950 GHz) SIS ミキサの性能向上に取り組んでいる。現在の Band 10 受信機は量子雑音限界の 5 倍以下という優れた雑音性能を達成し、2013 年末に 73 台の受信機製造を完了している。一方で、現在の Band 10 受信機の雑音性能は仕様に対する許容値が非常に狭く、いくつもの苦勞を乗り越えて製造を完遂している。

Band 10 SIS ミキサは Al/SiO₂/NbTiN による同調回路と Nb/AlO_x/Nb 接合を組み合わせたハイブリッド材料を採用しており、さらなる性能向上には次の 2 点を克服する必要がある。1. 伝送線路材料に常伝導金属を用いており、RF 回路損失が雑音温度上昇の一つの要因となっている。2. 接合の臨界電流密度 (J_C) は 10-14 kA/cm² であったことから ωRC 積を十分低くできず、動作周波数帯域幅が制限されている。

そこで今回、さらなる広帯域化と低雑音化を狙って約 30 kA/cm² という高い J_C の Nb/AlN_x/Nb 接合を用いた Band 10 ミキサの設計・製作・評価を実施した。接合の高 J_C 化によって同調回路の Q 値が下がることから、広帯域化と同時に常伝導金属で生じる回路損失の低減が期待される。設計では、高 J_C 化に伴う同調回路の変更以外は、ミキサチップやミキサブロック等に変更は加えていない。作製したミキサを評価したところ、DSB 受信機雑音温度は 790-900 GHz で典型的に 150 K 以下、また、900-940 GHz ではやや雑音温度が上昇するが 175 K 以下という値が得られた。これは出荷された 73 台の Band 10 受信機の平均値と比較すると、非常に平坦な周波数特性であり、最小雑音温度も 30K 以上低い。詳細な性能は講演の際述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V104a Direct-Photonic Local system の検討

木内等, 小嶋崇文, A.Gonzalez (国立天文台)

ALMA では、高周波受信信号の周波数変換用ローカル信号は以下のように作られている。ローカル用高周波基準信号の発生及びファイバ伝送位相補償をフォトニック技術を用いて行い、アンテナ側で光・電気変換を行う。この時点でローカル用高周波基準信号の位相は安定なものとなっているが、振幅はファイバ伝送による影響で不安定なままである。そこで Warm Cartridge Assembly (WCA) を用いて電氣的な位相同期系を組み、WCA の源振 (YIG 発振器) 出力を用いることで振幅の安定化を図っている。その後 Cold Cartridge Assembly (CCA) で必要なローカル信号周波数まで電氣的な逡倍を行っている。例えば Band-10 受信器では、WCA の源振周波数は 16GHz 程度であり、WCA の逡倍率 6 倍、CCA の逡倍率 9 倍、トータル 54 倍の高逡倍率となっている。WCA, CCA 共に逡倍不要波を除去する必要から広帯域にすることは難しい。この WCA, CCA に関する技術を持っているのは NRAO だけであり、我々の高周波受信器製作にとっては芳しい状態とは言えない。広帯域性能の期待できるフォトニック技術で全てを構成した Direct-Photonic Local system を検討しているので紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105a 次世代 FITS ビューワ Vissage の開発：偏波表示機能

○川崎渉, 白崎裕治, Christopher Zapart, 吉野彰, 森田英輔, 小林剛志, 小杉城治, 大石雅寿, 水本好彦
(国立天文台)

Vissage (VISualisation Software for Astronomical Gigantic data cubEs) は、ALMA 望遠鏡で観測・公開された大サイズ且つ多次元の FITS データを、誰もが簡単に閲覧できることを主目的として開発中のスタンドアロン形式のソフトウェアである。本講演では、Vissage の紹介ならびに最近の開発状況について報告を行う。

Vissage のこれまでの主な機能としては、(1) 空間 2+周波数 1 の 3 次元データキューブの様々な表示 (モーメント図、チャンネルマップ、P-V 図、スペクトル表示など)、(2) メモリ容量を超える大サイズデータの表示、(3) 複数画像表示、(4) JVO の ALMA データ公開機能・クイックルック機能 (WebQL) との連携、(5) EPS 形式での画像出力、などが挙げられる。さらに ALMA だけでなく、野辺山 45m 鏡、すばる、HST、Chandra などのデータにも対応し、ALMA ユーザーが他波長のデータを、また逆にデータキューブになじみのない他波長の観測家が ALMA データを抵抗なく閲覧できるような環境を実現・提供することを目指してきた。

ところで、近年公開されるようになった ALMA の偏波観測データは、Stokes パラメータ毎に別のファイルに分れており、それらを組み合わせて偏波度や偏波角などの情報を可視化することは必ずしも簡単な作業ではない。我々はこの度、Vissage において偏波情報への対応を行った。具体的には、単純なマウス操作のみによって、誰でも簡単に偏波に関する情報を閲覧できるようにした。現在、ユーザーがより簡単に、より自由に操作できるよう、偏波表示に関するインタフェースの改良や、さらなる機能について設計および実装作業を進行中である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106b 超伝導デバイス性能向上への取組み 2(SIS 接合のエッチング最適化について)

宮地晃平, 江崎翔平, Matthias Kroug(国立天文台), 高木一成, 酒井剛 (電気通信大学), Wenlei Shan, Alvaro Gonzalez(国立天文台)

我々は、これまでミリ波・サブミリ波での高感度な検出デバイスである超伝導体-絶縁体-超伝導体 (SIS) からなる SIS 素子の研究開発を継続して行ってきた。SIS 素子の基本形は Nb/ AlO_x -Al/Nb 構造であり、このシンプルな構造を基本に製作される。この SIS 素子を安定して再現性よく作製することが、SIS 素子の研究開発で基本的かつ最も重要な取り組みである。

SIS 素子は、製造する周波数帯域により素子サイズや SIS 接合サイズが異なり、また、素子サイズの違いから製造する際に使用するマスクレイアウトの密度も大きく異なってくる。SIS 素子の基本製造プロセスは、基板上に Nb/ AlO_x -Al/Nb 構造を成膜・形成し、その後、接合サイズを定義づけるため、接合形状をパターニング後、ICP-RIE 等を用いてドライエッチング法により作製する。我々は、エッチング条件の最適化のため、Nb/ AlO_x -Al/Nb 構造のエッチング時スペクトルを観測しながら最適化を試みている。しかしながら、エッチング条件の最適な条件は、マスクパターンやマスク密度により異なることが実験の中で見いだされた。これは、マスクレイアウトの素子密度やサイズによるエッチング速度に違いが発生する、いわゆるローディング効果と呼ばれる現象が主な原因ではないかと考えている。

本研究発表では、これまで取り組んできた SIS 接合のエッチング最適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](#)

V107b ALMA Band 7+8 (275 - 500 GHz) 導波管型 2SB ユニットの 2 次試作と評価

山屋陽香 (電気通信大学), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 金子慶子 (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発の 1 つとして、ALMA Band 7(275 - 370 GHz) と Band 8(385 - 500 GHz) を統合した RF:275-500GHz(比帯域約 60%) の超広帯域受信機の開発を進めている。本講演では、2SB ミキサに用いられる導波管 2SB ユニットの設計・製作したので報告する。2SB ユニットは RF 信号に 90° の位相差を付けて等分配する RF ハイブリッドカップラ、LO 電力を同位相で等分配する LO パワーディバイダ、RF 信号と LO 電力を結合して出力する LO カップラで構成される。前回の設計では最も重要な 90° ハイブリッド部で反射損失を -25 dB 以下に抑え、信号をできるだけ等分配するため $30 \mu\text{m}$ のスロットを 12 個並べたブランチライン型を採用した (山屋他、2017 年秋季年会)。ANSYS 社の ANSYS Electronics Desktop を用いて解析し、2 つの出力ポート部の振幅比と位相差から決定されるサイドバンド分離比が 20 dB 以上となるように設計した。情報通信研究機構の協力のもとネットワークアナライザを用いて S パラメータを測定したところ振幅比が 3.8dB 以内 (設計値 2.2dB 以内) となった。考察の結果、設計値とのずれはハイブリッド部の溝幅が加工誤差により $3 \mu\text{m}$ 程度広がったためと示唆された。 $3 \mu\text{m}$ は機械加工の誤差としては非常に小さく、加工誤差を見込んだ設計が必要であると考えられる。そこで設計を見直し、スロット溝幅を $30 \mu\text{m}$ から $50 \mu\text{m}$ と $60 \mu\text{m}$ に、個数を 12 から 8 へ変更し製作と評価を行った。その結果、前回より振幅比の改善が見られ、480GHz 以下の帯域で 2dB 以下となった。溝幅に $+3.5 \mu\text{m}$ 程度の加工誤差を仮定すると測定値とシミュレーションは 415GHz 以上でほぼ一致、それ以下の周波数帯では 0.3dB 程度のずれを以って一致した。前回と同様に加工誤差の影響を受けている可能性があるがその影響は小さく、加工誤差に強い設計であることを確認した。本講演では 2SB ユニット設計の詳細と評価結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108b テラヘルツ時間領域分光法を用いた光学定数測定の高精度化

吉岡佳輔, 大島泰, 川邊良平 (国立天文台), 竹腰達哉 (東京大学), 酒井剛 (電気通信大学)

サブミリ波カメラを用いた広視野・高感度の連続波観測は、宇宙初期の爆発的星形成銀河を効率的に検出するとともに、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果を銀河団の超高温ガスの検出に重要であり、真の宇宙星形成史の解明および宇宙のダイナミックな構造形成に迫る上で欠かすことができない。我々はこれらの天体の物理量を求めるために、5 オクターブを超える周波数帯域幅 (130–720 GHz) を同時観測する次世代の超広帯域・多色連続波カメラの開発を推進している。本装置の実現のためには、真空窓や熱・バンドパスフィルターなどにおいて、超広帯域の反射防止技術や、低誘電損失損の材料開拓が重要な課題であり、また製作した光学素子の性能評価を効率的に行う必要がある。そこで我々は、光学素子の設計段階や製作品の評価のため、広帯域かつ高感度に透過率や複素屈折率などの光学特性の測定が可能なテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) を用いることで、光学材料の選定や反射防止加工の評価などを行い、効率的に光学素子の開発することを目指している。我々は、光学特性の高精度な計測方法の確立に向け、従来の THz-TDS の計測方法の評価やノイズ評価を行った。その結果、計測の精度を制限する要因が THz-TDS のシステムの一部である THz 波発生装置のゲインや検出器のレスポンスの変動などを起因とする約 100 秒以上の周期での長周期ノイズであることを突き止めた。この長周期ノイズの影響を小さくするため、その周期以下である 20 秒でバックグラウンド測定とサンプル測定を切り替えることで、誤差率をこれまでの 1/4 に落とすことに成功した。また、積分時間を増やすことで S/N を改善するため、測定を自動化するための装置やデータ解析パイプラインの開発を行った。本講演では、光学素子の測定結果と合わせて、システム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](#)

V109a 多輝線同時観測のための 200 GHz 帯導波管型マルチプレクサの開発

中島 拓, 原谷 浩平, 入山 奨基, 佐谷 昂樹, 水野 亮 (名古屋大学), 鈴木 和司 (宇宙航空研究開発機構), 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 浅山 信一郎 (国立天文台), 渡邊 一世 (情報通信研究機構)

異なる周波数に存在する複数の分子種や励起状態のスペクトルを同時に観測することは、分子ガスの物理状態や化学反応を調べる為に有用であるため、受信機においては一度に観測可能な周波数の広帯域化が重要な研究課題となっている。我々は、170–260 GHz の信号を導波管回路によって 4 つの帯域に分割し、後段の超伝導 SIS ミキサへと出力可能な「200 GHz 帯導波管型マルチプレクサ」を開発した。

導波管型マルチプレクサは、90 度ハイブリッドカップラとバンドパスフィルタを組み合わせた回路 (Asayama et al. 2015) をベースとし、これをカスケードに繋げた構造となっている (Kojima et al. 2017)。この構造は、フィルタを通過できる周波数帯以外の成分を次の段へと低損失で伝送できるほか、回路内での反射波や LO 信号の漏れ込みを入射波とは分離して終端するため、観測の支障となる定在波の発生を抑制できることが期待される。

本研究では、まず地球大気に存在する複数の微量分子を同時に観測する大気ラジオメータへの応用を目指し、179–187 GHz、199–207 GHz、226–234 GHz、246–254 GHz の各 8 GHz 幅の信号を分離して出力する 4 段の回路のマルチプレクサを電磁界解析ソフトウェア HFSS を用いて設計した。そして、回路全体を一つのコンポーネントとして、アルミニウム合金 (A6061) のブロックに切削加工し、VNA を用いてその性能測定を行った。その結果、設計値と実測値の周波数特性は非常に良く一致し、設計・製作・評価の妥当性が確認できた。

講演では、マルチプレクサの詳細な構造やその伝送特性について、シミュレーションと実測の比較結果を報告し、実機への応用に向けた今後の課題などについて述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110b 220–350 GHz 帯 超広帯域導波管型周波数フィルタの開発

増井翔, 上田翔汰, 原田遼平, 岡田望, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 徳田一起 (大阪府大/NAOJ), 長谷川豊 (ISAS/JAXA)

電波望遠鏡に搭載する受信機の性能向上を目指した開発は主に低雑音化や広帯域化等が挙げられる。この低雑音化に関しては既に量子限界に近い性能が達成されているため、我々は広帯域化に主眼をおいて、以下のような研究を進めている。

我々のグループでは星形成の母体となる分子雲をトレースする最も基本的な輝線である CO 分子の回転遷移 $J=2-1$ と $J=3-2$ の同時観測を視野に入れた 220–350 GHz 帯超広帯域受信機の開発を進めている。我々はこの広帯域観測を従来 ALMA 等で用いられている標準的なサイドバンド分離方式ではなく、近年実用化された導波管型周波数フィルタを用いて行うことを検討している (Hasegawa et al. 2017)。これは、従来型に比べて受信機チューニング等が容易であることや、高いサイドバンド分離比が実現可能であることなどの利点を有している。今まで開発されてきたフィルタの種類は、CO ($J=2-1$) 輝線などの独自の観測周波数に特化したものが多く、上記の超広帯域観測を達成するためには、フィルタを構成する Branch line coupler や High pass filter 等を新しく設計する必要がある。

本研究では、高周波 3 次元電磁界解析ソフトを用いて、Branch の数、大きさ、そして導波管の長さや位置、それぞれでの最適化を行い、最終的には従来のものよりも 10 倍近くの比帯域を持つ解析結果が得られた。本講演では、現在開発中の広帯域周波数フィルタ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](#)

V111b 高精度水晶傾斜計を用いた NANTEN2 望遠鏡指向誤差の調査

逆井啓佑, 西村淳, 大河一貴, 藤田真司, 立原研悟, 小林和宏, 堤大陸, 大浜晶生, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大学), 神幹基 (セイコーエプソン株式会社)

NANTEN2 は南米チリのアタカマ高地にある口径 4 m のサブミリ波望遠鏡である。ビームサイズは 800 GHz 帯で 26.5'' であり、指向精度は Az, El 共に $\pm 10''$ 以下を目標に運用してきた。近年の調査により、建設当初なかった、北西の方角でのみ El 方向に $-30''$ 程度の指向誤差が生じることがわかった。望遠鏡は総重量 5 トンで、高さ 2 m の円柱状の鉄筋コンクリート基礎に 12 点で支持されている。カウンターウェイトを含むアンテナ架台は、なんてん望遠鏡を転用した経緯から、質量の増した NANTEN2 主鏡と荷重バランスが取れていない。その為、基礎が経年変化などにより、荷重に対して不均一に沈み込み、Az 軸が傾いている可能性がある。

望遠鏡の様々な場所で傾斜を詳細に測定するため、EPSON の小型高精度水晶傾斜計 M-A550AC2 を導入した。まず、傾斜計の性能と測定環境を確認する為、静止しているアンテナの一箇所に傾斜計を設置した。その結果、この系でのアラン分散時間は 400 ms であり、この時間で平均した時、測定精度は 0.''5 (rms) となった。次に、Az 軸の傾きを調査する為、アンテナ架台の周りに傾斜計を設置し、アンテナを El 45° に固定して、Az 方向に 360° 回した時の傾斜角の変位を測定した。それにより、指向方向に Az 軸が 30'' 倒れることが分かった。また、各点での傾斜角の測定値を解析したところ、Az 軸は北北西の方角に傾いていた。更に、アンテナを 360° 動かした時、Az 軸を中心に約 $\pm 20''$ 程度 El 方向に歳差運動をしていることが分かった。この El 方向の振幅は、問題の指向誤差と概ね一致し、歳差運動により指向誤差が生じる可能性が示唆された。今後は、アンテナの傾斜をリアルタイムでポインティングモデルに組み込むことで、指向精度を改善し、観測効率向上を目指す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112b NASCOに向けたNANTEN2制御系の開発:7. 最適なスキャンパターンの検討

奥田想, 西村淳, 近藤高志, 塩谷一樹, 大河一貴, 山根悠望子, 河野樹人, 大浜晶生, 立原研悟, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大学)

我々は、NANTEN2望遠鏡を用いたCO輝線の超広域サーベイを行うNASCO(NANTEN2 Super CO Survey as Legacy)を推進している。NASCO計画での要求感度は0.8 K (周波数分解能:91.44 kHz, 速度分解能:0.238 km/s)である。アタカマの典型的な大気を仮定すると、4ビーム受信機を使用することで、60 arcsecのグリッドを0.1秒で積分するOTF観測で要求感度を達成できる。このとき駆動速度は600 arcsec/sとなり、2度四方のマップを約85分で観測できる。また、全天の37%を約7000時間で観測可能である。

我々は高速駆動を実現するために、エンコーダの高精度化 (1 arcsec → 0.14 arcsec) などの制御系の更新を行った。新しい制御系では、600 arcsec/sの高速スキャンを安定して駆動できることが確認できている。

更に、全天を効率よくマッピング観測するため、HEALPixをベースにしたスキャン手法を開発した。この手法ではHEALPixの各ピクセルを1つのOTFマップとして観測を行う。分割数 $k=5$ の時、ピクセルの大きさは1.83度で、全天が12288個に分割される。この各ピクセルに対して、60 arcsecグリッドで 120×120 点のOTFスキャンをする。また、NASCO受信機にはビームローテータがないため、各ビームは天球に対して仰角に依存しながら回転する。そのためマップの隅の部分は歪な形になる。隣り合うマップを結合する上でこの部分の評価、最適化が必要である。そのためのシミュレーターを作り、検討を行った。

本講演ではNANTEN2における最適なスキャンパターンの検討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](#)

V113a 野辺山 45 m 電波望遠鏡における主鏡の変形測定

橋本育実, 岡田 望, 木村公洋, 千葉正克, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 田村陽一 (名古屋大), 神澤富雄, 半田一幸, 和田拓也, 南谷哲宏, 川邊良平 (国立天文台), 他、ミリ波補償光学開発チーム

将来の大型望遠鏡に向けたミリ波補償光学の開拓の一貫として、加速度計を用いた風負荷等による早いタイムスケールの鏡面変形の高精度な測定を目指している。加速度計を用いることで動的な挙動を細かい時間分解能で測定することが可能で、測定した加速度を二階積分することにより、測定点における変位量を算出することができる。今回、我々は本研究を行うにあたり、野辺山 45 m 電波望遠鏡に着目した。45 m 鏡は大口径かつホモロガス変形法を採用した柔らかい構造の主鏡を有するため、主鏡変形が生じやすいことが予想され、本測定を行うにあたり最適な望遠鏡である。また、本研究で得られた変形の評価をもとに、45 m 鏡での観測へのフィードバックを行い、観測精度の向上を目指す。

まず我々は、本測定に必要な仕様を満たす加速度計の選定を行った。先行研究より、風負荷により発生する主鏡の振動は駆動に伴う振動の振動数よりも低く、0.1 Hz、 $5 \mu\text{G}$ 程度であることがわかっているため、これらを測定可能な加速度計とデータ取得装置を選定した (加速度計のノイズレベル (1 Hz) : $1.3 \mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$)。

次に、主鏡バックアップ・ストラクチャー内の左右方向、中心から約 21 m の位置に加速度計を設置した。現在は望遠鏡駆動に伴い発生する振動に着目し加速度の測定・評価を行っている。その結果、方位角回転方向の駆動に伴う振動は、1.5 Hz や 2.0 Hz といった低振動数であり、基本的に左右で逆位相となる、首振り運動であることを確認した。また、駆動により発生する振動は、停止後 10 秒程度残ることも確認した。

本講演では、これら 45 m 鏡での測定結果の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114b 野辺山 45 m 電波望遠鏡における 22/43 GHz 帯同時観測評価

岡田 望, 橋本 育実, 保田 大介, 木村 公洋, 千葉 正克, 真鍋 武嗣, 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府大), 南谷 哲宏, 宮本 祐介, 宮澤 和彦, 宮澤 千栄子, 小山 友明 (国立天文台), 澤田-佐藤 聡子 (日本宇宙フォーラム), 岸本 直子 (摂南大), 前山 大地, 今井 裕 (鹿児島大)

現在、野辺山 45 m 電波望遠鏡の多周波同時観測に向けたプロジェクト Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented (HINOTORI) が進行している。本プロジェクトは、野辺山 45 m 鏡内ビーム伝送系のミラー部分を準光学式の周波数分離フィルタへと変更することにより H22、H40、TZ 受信機による 22/43/86 GHz 帯同時 VLBI 観測を目指す。これを実現する為、我々は 22/43 GHz 帯および 43/86 GHz 帯周波数分離フィルタの開発 (木村他、本年会) や 45 m 鏡での試験観測行ってきた (岡田他、2018 年春季年会)。

今回我々は 45 m 鏡共同利用観測への提供を目標に、22/43 GHz 帯フィルタを用いた単一鏡モードでの H22/H40 受信機同時観測および評価を行った。その結果、フィルタを使用することにより、

- 1) H40 受信機のシステム雑音温度 T_{sys} における 10-20 K 程度の上昇 (フィルタによる透過ロス分に対応)
- 2) 両周波においてビームサイズが、フィルターなしの場合と比べて 1 秒角以内で一致
- 3) 開口能率、主ビーム能率における 2-3 ポイント程度の低下

を確認した。また、H22/H40 受信機間の指向オフセットが A_z 方向で 0-2 秒角程度、 E_l 方向で 2-4 秒角程度存在していることを、二周波同時ポインティング観測により確認した。このオフセットは、22 GHz 帯でのビームサイズ 72 秒角に対して十分小さい。

本講演では、これらの評価・試験観測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](#)

V115b 22/43GHz 帯分離および43/86GHz 帯分離 Perforated Plate 型周波数フィルターの開発評価

木村公洋, 岡田望, 橋本育実, 小川英夫, 真鍋武嗣 (大阪府立大学), 今井裕 (鹿児島大学)

我々は、HINOTORI 計画に参加し、この計画で 45m 鏡に搭載を進めている 3 周波数同時観測システムの開発を行っている (岡田他、本年会他)。このシステムの特徴のひとつは、45m 鏡周波数切換回路において、本開発である周波数分離フィルターを設置することで、22GHz 帯、43GHz 帯および 86GHz 帯の天体からの電波を、各受信機へと偏波成分を保持したまま導くことである。そうすることで、3 周波数同時での VLBI 観測も可能となる。本開発で用いる準光学型周波数分離フィルターには、Perforated Plate 型を採用した。この方式は、アルミの鏡面に多数の穴を等間隔で開けることで、導波管のカットオフを利用したハイパスフィルターの役割を示す。この方式のメリット、構造が単純で低コストで製作できることに加え、膜型と違い金属板に加工することが可能であり、構造的に強固である点である。これは大きなビーム伝送系に設置するためには必須の条件であった。このフィルターの解析には有限要素解析を用いたシミュレーターを用いて行い、5%以下の損失で設計することができた。しかし、シミュレーターの欠点としては、一つの穴に平面波が照射すると設定して、それを格子状に多数展開してフィルター全体の計算をしている点である。実際の光学系においては、ビームは完全な平面波でなく、曲率を持っているため、計算と乖離する。また、一般的にあるフリースペース法を用いた透過率測定システムでは、試料付近においてビーム絞っているため、中心のフィルター面に電界が集中して実際の光学系とことになってしまう。そこで、試料付近で十分に大きなビームサイズを持つフリースペース型評価系の開発を行い、本フィルターの測定を行う。本講演では、フィルターの開発手法や評価系について言及する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V116b 山口 32 m 電波望遠鏡を用いたパルサー観測の定常化

青木貴弘, 新沼浩太郎, 藤沢健太, 元木業人 (山口大学), 寺澤敏夫 (国立天文台), 岳藤一宏 (NICT)

山口 32 m 電波望遠鏡を用いたパルサー観測の定常化を実現したため、そのシステムについて報告する。山口 32 m 電波望遠鏡は 6 GHz 帯と 8 GHz 帯それぞれについて右回り・左回り円偏波の受信が可能であり、データとして記録できるのはそのうちの 2 系統である。したがって二周波同時観測、または単一周波数帯における両円偏波観測が可能であり、現在のところ二周波同時観測体制を定常化し、主にパルサーのジャイアントパルスをターゲットとした観測を行っている。

観測システムは Japanese VLBI Network (JVN) として構築した広帯域記録系をベースとして、AD 変換器にコスモリサーチ社の ADS3000+、データ記録装置にエレックス社の OCTAVIA および OCTADISK を用いており、基本的には標本化周波数 1024 MHz、量子化ビット数 2 bit による帯域幅 512 MHz の観測を行っている。これによって 6 GHz 帯では 6600–7112 MHz (幅 512 MHz)、8 GHz 帯では 8192–8704 MHz (幅 512 MHz) の周波数帯を同時に記録することができる。データ解析には独自のソフトウェアを使用しており、解析に graphic processing unit (GPU) を使用することである程度的高速化を実現し、1 時間の観測データをおよそ半日かけて処理しジャイアントパルスを検出している。このシステムによって実際に Crab パルサーを観測した結果、6 GHz 帯においては 1 時間に 8 つという頻度でジャイアントパルスを検出できることを確認している。

ジャイアントパルスを放つパルサーのうち 10 個が山口 32 m 電波望遠鏡の観測可能範囲にあり、いくつかのパルサーに対して数時間の観測を実施している。この定常的な二周波観測体制によって、ジャイアントパルスの強度と幅のスペクトル指数モニターなど行い、パルスの放射メカニズム解明に迫る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117c 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの光学評価

村山洋佑, 新田冬夢, 服部将吾, 久野成夫, Guangyuan Zhai, Pranshu Mandal, 奥村大志 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 永井誠, 松尾宏, 都築俊宏, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平 (国立天文台), 関本裕太郎 (宇宙研), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100-GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。電波カメラの焦点面アレイは 100-GHz 帯、直線片偏波の 109 素子の力学インダクタンス検出器 (MKID) である。MKID は、シリコンウェハー上に電子線蒸着によって成膜された超伝導アルミニウムで描かれており、ダブルスロットアンテナ及びシリコンレンズアレイによって、冷却光学系と結合している。冷却光学系は、40 K, 4 K に冷却された 2 枚の大口径シリコンレンズによって構成されている。検出器は希釈冷凍機により 0.1 K まで冷却される。電波カメラと合わせて開発を進めるデータ取得システムにより、MKID109 素子の同時読み出しが可能である (M. Nagai et al. 2018 JLTP)。

光学特性評価は、ビームパターンの近傍解測定、偏波特性、線形応答性、感度特性評価から成る。常温の 100-GHz 帯発振源を用いて、電波カメラのビームパターンの近傍解測定を実験室にて行った。100-GHz 帯発振源は、矩形プローブホーン、周波数通倍器およびマイクロ波信号発生器により構成されている。

クライオスタット真空窓前に作られる電波カメラの焦点付近で、ビームウエストサイズを測定し、物理光学によるシミュレーションでのビームサイズ 20.6 mm と概ね一致していることを確認した。次に電波カメラの周波数特性を測定し、中心周波数 100 GHz に対し約 10% の帯域で応答を確認した。本講演ではこれらの光学評価の結果に加え、偏波特性や線形応答性の測定、電波カメラの感度評価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](#)

V118a JAXA 深宇宙探査用新 54m アンテナ搭載 X, Ka 帯受信機の開発

長谷川 豊, 沼田 健二, 内村 孝志, 大西 徹, 関川 純人, 田淵 豪, 坪井 昌人, 戸田 知朗, 富木 淳史, 中原 聡美, 野中 房一, 村田 泰宏, 湯地 恒次 (JAXA 深宇宙探査新地上局開発チーム), 石野 雅之 (川島製作所)

JAXA では、深宇宙探査衛星との通信地上局として口径 64m のアンテナを長野県佐久市臼田宇宙空間観測所にて運用しているが、本局の老朽化に伴い、後継機としての新型アンテナを同市に建設中である。この建設進捗は村田ほか 2016a-2018a などにて報告しており、その後も 2019 年度末のはやぶさ 2 との通信実施を目指して、現在までスケジュールの遅延無く建設が進んでいる。新局のアンテナ口径は 54m と臼田局よりもすこし小さいが、修正カセグレイン光学系の採用により X 帯 (8.2-8.6 GHz), Ka 帯 (32 GHz) にて口径 64m 相当の通信能力を有する設計である。本講演では、これに搭載される X 帯及び Ka 帯受信機の開発進捗について報告する。

特に X 帯については、日本通信機への開発委託により冷却 HEMT Amp. 受信機の整備がほぼ完了となっていたが、2017 年末から 2018 年 5 月頃までに建設地にて行われた気象レーダーを代表とする外来波についての詳細調査の結果、HEMT Amp. の性能劣化や、場合によっては素子破壊に達する強度の外来波が混入する可能性が非常に高い事が判明した。これの追加対策として、超伝導基板パターンによる帯域通過フィルタのほか、導波管周波数分配器 FSF を応用して複数の周波数フィルタを合成した非常に低損失・急高減衰の統合導波管周波数フィルタのインハウス開発・搭載を検討している。これらのフィルタは既存の天文観測受信機システムへも容易に搭載可能であると考えており、特に外来波の影響が強く懸念される S-X 帯を含む広帯域 HEMT 受信機システムに対して大きく貢献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](#)

V119a 広帯域フィードの開発 (XIV)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛 (情報通信研究機構)

NICT 鹿島では広帯域測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) や SKA への応用を意識しつつ、VLBI による原子時計の精密周波数比較プロジェクトに特化した広帯域受信システム「Gala-V」を開発している。Gala-V の受信周波数は周辺の RFI 状況と周波数の冗長配列条件を考慮し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch で最適化したが、開口能率の変動はあっても 3.2-14.4GHz で受信可能としたので、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用したホログラフィなど幅広い応用が可能である。

鹿島 34m アンテナとともに 2.4m の可搬型小型局 MARBLE の OMT も 3GHz 以下の RFI の遮断特性が向上し、リターンロスを改善した新 OMT へ交換した。新 OMT の片側のポートは 17GHz 程度まで使用可能である。また小型局の支持構造を改良し、光学系の調整を容易にするとともに剛性を向上させた。今年度は小型局のうちの 1 台をイタリアに移設して周波数比較実験を行うため、オーバーホールと試運転後の 6 月に発送し、7 月から現地で組み立て・調整を行い、8 月には初の大陸間実験を始める予定である。これらの開発・実験状況と、広帯域アンテナシステムの大気観測への応用の検討状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120a 那須電波干渉計の現状

大師堂経明, 坪野公夫 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 中島啓幾, 貴田寿美子 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICT), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

那須電波干渉計では、東西方向に並んだ直径 20m の 8 基のアンテナが一体として機能する。8 基のアンテナからの出力を空間フーリエ変換 (便宜的に空間 FFT とよぶ) することにより、角度分解能 0.1 度が実現されるが、この分解能は直径 160m のアンテナの性能に匹敵する。一方、視野は 20m アンテナのもつ 0.8 度を維持している。このような特徴をもつ空間 FFT 型電波干渉計はトランジェントな電波源の探査に適している。

那須電波干渉計は栃木県にある自由学園那須農場の一角に設置されており、通常は無人で稼働している。外部とはネットワークでつながり、24 時間体制で行われるデータの取得や制御信号の受け渡しが遠隔から行われる。特に 1ヶ月に一回程度の頻度で行なう 8ch 間の位相調整は、空間 FFT 型電波干渉計の感度を維持するためには重要である。

取得したデータは原則 1 日ごとにデータ解析に付される。主なデータ解析法としては、アンテナパターンと信号波形の一致をみる相関解析法が使われる。これにより $1 \text{ mJy} = 20 \text{ mJy}$ 程度の高感度なデータ解析が可能となる。2015 年 6 月の V404 Cyg や 2017 年 4 月の CygX-3 のアウトバースト検出は、この手法により得られた成果である。

現在はさらなる高感度化をめざしたデータ解析法の開発を続けており、それらの結果について報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V121a 気球 VLBI 搭載用 Star Tracker(STT) の開発

下向怜歩 (東京大学、宇宙航空研究開発機構)、河野裕介 (国立天文台)、土居明広、中原聡美、馬場満久、海老沢研 (宇宙航空研究開発機構)

まだ実現されていない将来ミッションとして、波長 1mm 以下のサブミリ波帯スペース VLBI (Very Long Baseline Interferometry) が挙げられる。サブミリ波帯における長基線観測により、ブラックホールの黒い穴を直接撮像することができるかと期待されている。我々は、成層圏において電波干渉計が可能であるかを調査するため、気球 VLBI 実験を行っている。

技術的課題の一つとして姿勢決定・姿勢制御精度がある。本研究では成層圏における気球搭載望遠鏡の姿勢決定のための Star Tracker (STT) の開発を行っている。STT とは恒星を用いて慣性空間における姿勢決定を行う装置であり、撮像素子を持つカメラで視準方向を決定する。成層圏で昼間に運用することもあるため、地球大気による青い反射光がカメラに入ってきてしまう。また、太陽の強い光による迷光が影響し、カメラが saturation を起こしてしまう。昼間に天体を捉えることのできる気球用の STT は過去において問題の発生がたびたび報告されており、NASA においても開発途上にある。

本講演では、波長 620nm 以下を減衰するフィルターと、太陽光の迷光を削減するバツフルを備えた STT についての開発・試験について報告する。天体と Background からのフラックスの計算を行い、昼間に 6 等級以上の天体を捉えることができるセンサーとレンズを選別した。その際、レンズの開口面積、センサーの視野、気球の高度、露光時間を考慮し、期待される Signal Noise Ratio を計算した。また成層圏において期待される条件を模擬した実験にて、撮像の再現性や迷光の度合いを検証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V122a 1.85m 電波望遠鏡新広帯域受信システムの開発進捗

上田翔汰, 増井翔, 高宇辰, 小西諒太郎, 後藤健太, 杉内拓, 黒田麻友, 保田大介, 原田遼平, 岡田望, 阿部安宏, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 長谷川豊 (ISAS), 逆井啓佑, 佐谷昂樹, 佐伯駿, 西村淳, 大浜晶生 (名古屋大学)

我々は、口径 1.85 m の電波望遠鏡を開発し、野辺山宇宙電波観測所内にて運用している。本望遠鏡はこれまで 230 GHz 帯に存在する ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2 - 1$) の 3 輝線同時観測を行い、CO 広域マップを作成してきた。また、近年の銀河系外の分子雲観測により、CO 分子以外の分子が比較的広く分布している可能性が指摘されつつある。そこで、CO 以外の分子の同時広域観測を目指して、1.85 m 電波望遠鏡の受信機システムの広帯域化を行った。本望遠鏡の新受信機システムは、従来の 2SB 方式と異なり、受信信号を RF の段階で 4 系統に分離することが可能となっている。RF 信号はホーンで給電された後、円偏波分離器により右旋・左旋偏波の 2 つの RF に分離される。その後、分離された偏波を新受信機システムの要である導波管型帯域分離フィルタ (Hasegawa et al. 2017) に入力し、さらに USB, LSB に分離する。円偏波分離器により分離された右旋・左旋両偏波をそれぞれ帯域の異なる導波管型帯域分離フィルタに入力することで 4 系統の IF それぞれで異なる帯域を取得し、広帯域観測を実現している (上田他・2018 年春季年会)。

前年度の秋頃、受信機評価などの準備を実施し、2 月前半から試験運用を開始した。その結果、新受信機の T_{RX} は 4IF それぞれで 1: 80K, 2: 90K, 3: 80K, 4: 130K 程度であった。このシステムで複数の星形成領域の OTF 観測 (速度分解能 1km/s で 0.1K 程度の rms) を実施し、Orion-KL 領域や Orion B 領域で CH_3OH や SO のマップが得られた。本講演では、これらのシステムの評価や観測の結果、今後の改善点等を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123a 超伝導検出器 MKIDs 用磁気シールドの設計と評価

沓間 弘樹 (東北大・理研), 大谷知行 (理研), 小栗秀悟 (理研), 小峯順太 (京大理), 鈴木惇也 (KEK), 田島治 (京大理), 長崎岳人 (KEK), 服部誠 (東北大), 本多俊介 (京大理), 美馬覚 (理研)

MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors; MKIDs) はミリ波観測、X線観測などの分野で注目されている最先端の超伝導検出器である。この検出器は、1つの読み出し線で100個以上の素子を同時に読み出すことができる。これにより限られた配線数でも検出器を増やすことができるため、配線からの入熱を抑えられ、高感度化が実現できる。また、時定数が短いという特徴もあり、数 kHz 程度で瞬時に変化する観測対象にも有用である。

観測において MKIDs の性能を十分に発揮するためには地磁気の遮蔽が重要となる。望遠鏡を動かす際に磁場の方向が変化してしまうと、その効果が検出器の表面状態の変化を引き起こし、ノイズとして現れてしまう。この対策のために望遠鏡本体を磁気シールドで覆うことにより、磁場の侵入を抑える対策をする必要がある。

まず、MKIDs が搭載されたテストクライオスタットに磁場を印加することにより磁場応答の効果の検証を行い観測において必要な磁気シールド効果の目標値を求めた。この実験を踏まえて、MKIDs を焦点面検出器として使用する CMB 偏光観測望遠鏡である GroundBIRD の磁気シールドの設計をシミュレーションソフトを用いて行った。また、シミュレーション結果をもとにした磁気シールドを望遠鏡に設置し、望遠鏡を回転させ性能の評価を行った。今回の発表ではその進捗について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124a DESHIMA: 搭載試験の全観測データを対象とした詳細性能評価

谷口暁星, 鈴木向陽, 田村陽一, 上田哲太郎 (名古屋大学), 遠藤光, David Thoen, Sjoerd Bosma, Nuria Llombart (TU Delft), 石田剛, 竹腰達哉, 河野孝太郎 (東京大学), 塚越崇, 陳家偉, 石井峻, 大島泰, 前川淳, 川邊良平 (国立天文台), 鈴木惇也 (KEK), 成瀬雅人 (埼玉大学), Tom Bakx (Cardiff University), 唐津謙一, Vignesh Murugesan, Stephen Yates, Jochem Baselmans (SRON), Paul van der Werf (Leiden University), 他 DESHIMA チーム

我々は、新技術“超伝導オンチップ・フィルターバンク”によって、数百 GHz の同時分光を可能とするミリ波サブミリ波分光器 DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper) を開発している。本手法では、複数 ($N \sim 500$) の周波数フィルターをチップ上に配置し、これらに入射した天体信号を同じくチップ上の力学インダクタンス検出器 (KID) によって読み出すことで超広帯域を実現する。これにより、遠方天体の赤方偏移探査など従来のミリ波サブミリ波分光観測が苦手とする周波数空間のサーベイを、効率的に推進できることが期待される。

本講演では、ASTE 望遠鏡での DESHIMA の初期性能評価 (鈴木他; 2018 年春季年会) で使用したデータを含む、同コミッショニング中に取得した約 1ヶ月間に及ぶデータを再解析した詳細な性能評価結果を報告する。この際、解析パッケージ De:code (石田他; 2018 年春季年会) で複数の観測データを解析・積分することで、初期性能評価に対して S/N が改善したスペクトル・マップが得られた。解析の結果として、(1) 10 dB 以下のサイドローブを検出可能なビームパターンの評価、(2) 惑星モデルとの比較による DESHIMA による主ビーム能率の評価、(3) ヘテロダイン受信機の IRC+10216 スペクトルとの比較による DESHIMA のスペクトル形状の無矛盾性の確認、および (4) DESHIMA の観測量 (KID の読み出し位相) から強度への高精度の変換手法について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125a 宇宙背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD の進展

菅井 肇 (東京大学), 他 LiteBIRD Phase-A1 チーム

2020年代中盤 H3 ロケットによる打ち上げを目指した LiteBIRD の科学目的は、熱いビッグバン以前の宇宙の姿、つまり宇宙の始まり直後の指数関数的膨張時代 (インフレーション期) の存在を検証することである。インフレーションにより発生する原始重力波の痕跡として宇宙背景放射 (CMB) に現れる偏光の空間的パターンを測定する。このためミリ波直線偏光の全天観測を3年間行い、原始重力波の強さの指標であるテンソル/スカラー比 r を $\delta r < 0.001$ の誤差で精密測定する。太陽-地球のラグランジュ点 L2 にて大気・地球の影響を避けた観測を行う。

銀河系内からの前景放射 (シンクロトロンやダスト) をスペクトル形状をもとに CMB と分離するため広い周波数帯域 (34-448GHz) を観測するが、1つの望遠鏡で全帯域をカバーできないので、低周波用 (LFT) と高周波用 (HFT) の望遠鏡を持つ。熱雑音を抑えるために望遠鏡周辺を 5K まで冷却するが、冷凍機の負担を減らすために V-groove による熱放射冷却の設計も進めている。天体と装置の偏光成分を分離し種々の系統誤差を取り除くため、連続回転させる偏光変調器 (PMU) の開発も広周波数帯域化と回転機構の低排熱化を中心に進めている。

LiteBIRD 計画は日本が中心となって進めており LFT・PMU・機械式冷凍機系・衛星・打上げ・運用を担当する。検出器・冷却読出部は NASA 支援による Mission Opportunity や Technical Development を通して合衆国が協力、常温読出部は CSA 支援による Mission Contribution Study 等を通してカナダが協力している。HFT・サブケルビン冷却系について Joint Study Group 活動や ESA による Payload module Concurrent Design Facility などを通してヨーロッパとの協力関係が形成されつつある。2016年9月より JAXA 宇宙科学研究所 Phase-A1 フェーズにおいて概念検討の段階にあり、この終了後最終ダウンセクションが 2018 年度に予定されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V126a 物理光学による LiteBIRD の低周波数帯の迷光評価

今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay), 永田竜 (KEK), 鹿島伸悟 (NAOJ), 関本裕太郎, 長谷部孝 (ISAS/JAXA), 松村知岳, 菅井肇 (Kavli IPMU), ほか LiteBIRD Phase A1 チーム

LiteBIRD は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光を精密に観測し、インフレーション仮説の検証を目的とする科学衛星計画である。LiteBIRD は観測バンドによって分けられた 2 つの望遠鏡、低周波望遠鏡 (LFT) と高周波望遠鏡 (HFT) を搭載する予定である。LFT は 34–161 GHz を観測し、開口と鏡 2 枚からなる Crossed Dragone 望遠鏡であり、 $20^\circ \times 10^\circ$ を有する光学設計を幾何光学的に得ている。一方で、CMB B モードを観測するためにアンテナの持つビームパターンを事前に調べておくことが重要であり、光学系内の回折を扱うことのできる物理光学的な光学系の解析は必須である。

物理光学的な解析をする上で重要なパラメーターの一つにエッジテーパーがある。各バンドにおける開口でのエッジテーパーは感度計算により与えられ、34 GHz では 4 dB 前後と小さい。ゆえに、光学系内を伝播するビームが太く、鏡の大きさに依ってフィードから開口までの間の 2 枚の鏡の縁での回折の影響が見える可能性がある。鏡の縁に鋸歯を配し、ピーク強度に対して -7 dB 程度の大きさまで鏡が広がったモデルを仮定した。

本発表では、最新の光学設計を基にした物理光学シミュレーションの結果と、永田ほか (2018 年春季天文学会 V160a) で示された迷光の許容量とシミュレーション結果の比較を報告する。鏡の縁での回折や迷光による構造を定量化し、迷光の影響を許容量と比較した結果、許容範囲に収まらない迷光が確認された。迷光を防ぐバツフル等の構造が必要であり、どのような構造が適しているか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127b LireBIRD 搭載光学系の開発検討 1

鹿島伸悟 (NAOJ), 長谷部孝, 関本裕太郎 (JAXA/ISAS), 今田大皓 (LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3), 松村知岳, 菅井肇, 宇都宮真 (Kavli IPMU), 他 LiteBIRD Phase-A1 チーム

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。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「視野 (FOV)」である。

候補光学系のひとつとしてクロスドラゴン光学系と呼ばれるものがある。これは文字通り主鏡・副鏡によって光軸を交差させ、全体を比較的コンパクトにしつつ、広視野で性能を出しやすいという特徴がある。また、それ以外にも、過去の天文学会で報告したように、両方のミラーにアナモルフィック非球面を採用することで、エッジテーパーを確保しつつ、像側をテレセントリックにしたり PSF を真円に近づけたりすることも比較的容易に実現できる。

他方、クロスドラゴン光学系はその構成上、迷光が出やすいという欠点があり、更にその迷光を定量的に評価する手法も確立されていなかった。今回光線追跡ベースではあるが詳細な迷光解析を行うことにより、十分実用になるレベルまで迷光を少なくした光学系を設計することができた。最も問題となるミラーで3回スペキュラー反射して空へ抜ける迷光は、適切なフードの設置により完全に無くすことができ、吸収材で散乱された微少な光量しか迷光にならないことが確認できた。

本発表では、光線ベースの照明解析ソフトである LightTools を駆使して、如何にして迷光を評価し、それを少なくする設計を行ったか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](#)

V128b 水沢 10m 電波望遠鏡の気球 VLBI に向けた性能向上と今後の改良について

亀谷 収, 小山友明, 河野裕介, 浅利一善, 山下一芳, 宇賀裕哉, 吉田利宏, 佐藤 元, 山内 彩, 郷田直輝, 矢野太平, 上田暁俊, VERA 開発グループ, VERA 運用グループ, VERA 保守グループ (国立天文台), 土居明広, 尾崎直哉 (JAXA), 山田良透 (京都大), 稲守孝哉 (名古屋大), 大塚俊一 (東京大), JASMINE グループ

国立天文台水沢 VLBI 観測所直径 10m 電波望遠鏡は、建設後 25 年を昨年迎えた。近い将来打上げ予定の Nano-JASMINE 衛星のダウンリンク局として使用する予定である。それに向けて、人工衛星の観測運用が十分な指向精度でできるように、駆動系等の改良を行った (2016 年および 2017 年の秋季年会で報告)。その後、ダウンリンクに必要な S 帯の性能改良が必要になり、一次放射器の改良を行った。

一方ここ数年は、K 帯で行われる国内の気球 VLBI 観測計画に参加し、試験観測や気球搭載望遠鏡のフリッジ検出についての重要な局として対応してきている。昨年度に引き続き、今年度も観測に参加することになったが、リモートで第一局部発信器の周波数を設定できるようにすることが急務であった。また、受信機室内の情報をリアルタイムに有線 LAN で取得する事も必要になった。そのために、既設の光ファイバーの減衰量の調査および光 LAN 変換部の調査を行い改修する事で、遠隔制御とデータ取得ができるようになった。また、記録装置の更新を行う事で、気球 VLBI 観測が良好にできる様になった。

更に今後は、長時間のモニターが必要な低周波数の観測が可能なようにシステムの整備を検討している。本講演では、これらの整備状況について詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129c VERA-upgrade 計画の進捗 III

小山友明、河野祐介、鈴木駿策、宇賀裕哉、山内彩、永山匠、寺家孝明（国立天文台）、他 VERA プロジェクトチーム

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）の VLBI 運用開始から 15 年が経過し、現在 EAVN（East Asia VLBI Network）、SKA を含めた将来の GVLBI（Global VLBI）への対応として以下のアップグレード計画が進行中である。1）RF-Direct-A/D 方式を用いた広帯域化（32 Gbps 以上）、2）K、Q 両バンドでの両偏波同時受信、3）K、Q バンドの多周波同時受信、4）S-band 受信機の広帯域（L-band 含む）多ビーム同時受信化、5）GP-GPU を用いたソフト関連器の高速化。

上記の中で、この間両偏波受信システムの整備、性能評価としては、入来局への右偏波用ダウンコンバーターの搭載、VLBI 試験を行った。その結果フリンジを検出し、SNR 等の比較を実施し既存の左偏波受信システムと同等な性能を確認した。GP-GPU を用いたソフト関連器の高速化においては、既存のシステムと比較し 5-8 倍の高速化を達成し、性能比較として位相 0.15deg、遅延 1.16psec の精度での一致を達成した。現在実用化に向けた長期安定度試験、付随するソフトウェア群の整備を進めている。また低周波受信器の強化として、L-S-band の広帯域、多ビーム受信の新型受信システムの検討を行い、4 ビーム出力かつデジタルビームフォーミングが可能なシステムの検討を行った。本発表では、上記結果と合わせ他の upgrade 計画、サイエンス試験観測の進捗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](#)

V130c VERA43GHz 帯用両偏波受信システムの開発と活動銀河核ジェットの生成・収束機構の研究

萩原喜昭 (東洋大)、河野祐介、鈴木駿策、秦和弘、小山友明、宇賀裕哉、松枝知佳 (国立天文台)、藤澤健太、新沼浩太郎 (山口大)、嶺重慎 (京都大)、米倉覚則 (茨城大)、笹田真人 (広島大)

我々研究チームは、国立天文台 VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) 望遠鏡に現在搭載されている周波数 43GHz(ギガヘルツ) 帯の受信機を左右両円偏波同時受信化することを推進してきた。この 43GHz 帯の両偏波受信機を完成させた水沢局と入来局の 20m 望遠鏡 2 台と、韓国 KVN (Korean VLBI Network) を構成する 3 台の 21m 望遠鏡を合せた計 5 台の望遠鏡で、機動性があるミリ波帯の偏波 VLBI ネットワークを東アジアに構築することを目指している。この新たな偏波 VLBI 網を利用し、1) 活動銀河核の中心から数百シュバルツシルト半径以内の領域から噴出する電波ジェットの磁場形状をミリ波帯で直接撮像することにより、ジェット生成過程とその根元の磁場構造の関わりを解明すること、2) 観測で得たデータを磁気流体シミュレーションと比較して、ジェットの収束が磁場構造によるものなのか、あるいは多層構造によるものなのか等を研究することを計画している。本講演では、2018 年 3 月以降に実施した VERA 2 局間の両偏波同時受信による干渉計試験の結果と国際協力による VERA-KVN の偏波試験観測の途中経過、および今後の計画を報告する。(本研究は JSPS 科研費 JP15H03644 の助成を受けたものです。)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131c JVN 大規模電波源探査に向けた感度測定試験観測 2 コヒーレンス時間の実測

元木業人、小倉達也、青木貴弘、新沼浩太郎、藤沢健太 (山口大学)、米倉覚則 (茨城大学)、関戸衛、岳藤一宏 (情報通信研究機構)

大学連携 VLBI 観測網 (JVN) では将来計画の一環として、山口第一/山口第二/日立/高萩/鹿島の大口径望遠鏡 5 局を利用した高感度少数基線観測によるコンパクト電波源の大規模探査を予定している。同探査では AGN、系内コンパクト天体、大質量 YSO の 3 分野をまたいで探査を行い、VLA など従来の結合型干渉計を用いた電波源カタログに比べて 10 - 100 倍程度高い空間分解能で合計数千天体規模の電波源を収録した JVN 電波源カタログの作成を目指す。観測は 6/8 GHz 帯において片偏波 (6 GHz:左回り円偏波/8GHz:右回り円偏波)/2 ビットサンプリング/512 MHz 帯域を予定している。2018 年春季年会において我々は現行感度の実測を目的とした VLBI 観測試験の結果について報告した (V113c)。微弱 AGN(1 - 100 mJy)24 天体に対するスナップショット観測を 8 GHz 帯で行った結果、10 分積分で 0.3 mJy (1σ) とほぼ予想通りの感度が達成できていることが明らかになった。

本講演では同観測データを元に行ったコヒーレンス時間の調査について報告する。上記 10 分間のスキャンデータを分割し、積分時間 t を 1 - 10 分の間で変化させて検出天体の信号雑音比 (SNR) の変化を基線ごとに調べた。その結果、検出天体のおよそ 8 割で SNR が $t^{0.5}$ に比例して増加していることが確認された。これらの天体では最低でも 10 分程度の間コヒーレンスが保たれていると考えられる。一方残りの 2 割の天体では積分時間を延ばしても SNR が向上しないケースが見られた。同ケースには 7σ 検出限界に近い微弱天体のみならず、十分に SNR の高い天体 ($\sim 20\sigma$) も含まれており、アンテナ追尾の遅れなどいくつか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](#)

V132c 電波点回折干渉計 (III)

奥村大志 (筑波大学)、今田大皓 (ISAS/JAXA)、永井誠 (国立天文台)、新田冬夢、久野成夫 (筑波大学)、中井直正 (関西学院大学)、周斌 (筑波大学)

点回折干渉計 (PDI) を用いた新しい電波望遠鏡の波面測定法として、電波点回折干渉計 (RPDI) を提案する。PDI は一般に光路中に入射波面を乱さない程度に十分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は入射波面の情報を持たないきれいな波 (参照波) となり、入射波面の情報を保持した波 (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) により参照波と試験波を同一光学系内に伝搬させ、同時に複数の干渉像を作り出す PDI が提案されている (今田ほか 2015 年春季年会 V243a、山本ほか 2015 年春季年会 V209a)。

我々は PPBS を用い、受信機内部で位相変調や干渉を行わせる新しい電波領域の PDI として RPDI を考案している。電波領域の強みとして位相変調や干渉を回路上の信号処理で行えるため、それらを受信機の機能として持たせることで、非常に簡素な光学系で波面測定を実現できる利点がある。さらに我々は既存では提案されていなかった、焦点面における波面測定に注目した。奥村ほか 2016 年春季年会 V127b では解析的に焦点面で得られる干渉像から波面推定が出来ることを、同 2017 年春季年会 V121a では物理光学シミュレーションにより $\lambda/100$ の精度で波面を推定できることを示した。

今回は設定した系に使用している各素子の持つ製作誤差による、波面の推定精度の影響を検討した結果を報告する。結果として、各素子に置いて現実的な製作誤差範囲で、波面測定に必要な推定精度を確保できることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133a 宇宙マイクロ波背景放射観測実験 Simons Observatory 望遠鏡群の研究計画と開発状況

松田フレドリック (Kavli IPMU), Simons Observatory Collaboration

ビッグバンは時空の加速度的膨張「インフレーション」により生み出されたと推測されている。インフレーションの決定的証拠となりうるのが宇宙創生時の重力場の量子ゆらぎから生まれる「原始重力波」であり、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光成分の大角度 (2°) スケール「Bモード」シグナルの元となっている。小角度 (0.1°) スケール「Bモード」の銀河団による重力レンズ効果計測からニュートリノ質量和を求められる。2016年に発足した Simons Observatory (SO) 国際共同プロジェクトは原始重力波とニュートリノ質量和の計測を CMB の偏光観測で行う史上最大の CMB 望遠鏡群次世代実験である。チリのアタカマ高知 (海拔 5200 m) に 27-270 GHz 観測を可能とした 6 m 級と 0.42 m 級望遠鏡の両方を開発し、地上から過去にない精度でこれらの物理を追求する。高分解能 6 m 級 Crossed-Dragone 型望遠鏡により小角度観測、そして複数の広範囲視野 0.42 m 級 3 レンズ屈折型望遠鏡により大角度観測を行う。本公演では SO プロジェクト計画の概要、そして大口径と小口径望遠鏡それぞれの設計と開発状況を報告する。特に小口径望遠鏡の最新光学設計と望遠鏡最深部の光学筒開発状況を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V134a CMB 偏光観測実験 POLARBEAR-2 の開発状況

金子大輔 (Kavli IPMU), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (LBL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (Kavli IPMU), 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), 濱田崇穂 (東北大), 松田 Frederick (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研), 他 POLARBEAR コラボレーション

宇宙マイクロ波背景放射は宇宙初期の情報を現在に残す貴重なメッセンジャーである。近年はその B モード偏光パターンが注目されていて、B モードが測定されれば宇宙初期のインフレーションの決定的証拠となる。さらにその精密な測定からはインフレーションとその背後に潜む真空のエネルギーの物理の解明につながる。

表題の POLARBEAR-2 は標高 5000m を超えるチリのアタカマ高地で実施されている POLARBEAR の更新プロジェクトであり、受信器には高感度な TES ボロメータを 1 台当たり 7588 個搭載し、従来の 150GHz に加え 90GHz を加えた 2 つの周波数帯で観測する実験である。最終的には同型の望遠鏡 3 台での観測 (Simons Array) を計画している。

POLARBEAR-2 受信器は日本・米国をはじめとした国際協力体制で開発が進められている。現在最初の 1 台は実験室で本番仕様の TES ボロメータなどすべての構成要素が組み立てられた状態で、最終的な性能の評価を行っている段階にある。2・3 台目の受信器も追って組み立てが進められている。また、現地への発送および現地での受け入れ準備も同時に行われている。講演では POLARBEAR-2 の概要、各システムの開発状況、実験室試験の状況、現地での準備状況について報告をおこなう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のレーザーシステムの光学性能評価 3

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 (LBL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (KEK 素核研), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), 南雄人 (KEK 素核研), Frederick Matsuda (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2(PB-2) 実験は、インフレーション理論が予測する原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) に刻んだ B モード偏光を精密観測することにより同理論の検証を目指す、地上観測実験である。また、同実験は、宇宙の大規模構造による重力レンズ効果が生む B モード偏光の観測より、ニュートリノ質量和に制限を与えることも目指す。

PB-2 は検出器として、現行の POLARBEAR-1 実験の 6 倍に及ぶ 7588 個もの超伝導転移端素子 (Transition Edge Sensor, TES) ポロメータを用い、高い統計感度を得る。また、95GHz と 150GHz の 2 帯域同時観測により、前景放射の除去を行う。将来的に、PB-2 を 3 台並べて観測を行う Simons Array 計画へのアップグレードが行われる。PB-2 のレーザーシステムは、2018 年中のチリでの観測開始に向けて、高エネルギー加速器研究機構で冷却試験、読出試験、光学試験を合わせた統合試験により性能評価を行った。発表者は光学性能評価試験の部分を担当し、バンド、ビーム、偏光、光学効率の測定を行った。本講演では、PB-2 レーザーシステムの光学試験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](#)

V136a 宇宙マイクロ波背景放射観測実験 POLARBEAR-2 の検出器読み出しチャンネルの割り当て検証手法の開発

廣瀬開陽 (横浜国大), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 実験は、チリのアタカマ高地へ設置したミリ波望遠鏡によって宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光パターンの精密な観測を目指すプロジェクトである。インフレーション理論の実証、およびニュートリノ質量和へ制限を与えることを目標としており、現在本観測に向けてレシーバシステムの開発を進めている。

レシーバでは、計 1897 個の広帯域かつ直交する直線偏波に感度のあるシニアスアンテナで CMB を受信する。これらにはストークスパラメータ U、Q に対応して偏光面が 45 度ずれた 2 種類がある。受信した信号はバンドパスフィルタによって 90 GHz 帯と 150 GHz 帯に分離され、それぞれが超伝導検出器である TES ボロメータで検出される。したがって、2 つのシニアスアンテナから 8 つの TES ボロメータを通して、2 帯域において 45 度ごとの 4 方向の偏光成分を同時に観測することが可能となっている。全体で計 7588 個搭載された TES ボロメータは、周波数分割多重化読み出しシステムを利用して読み出すことで外部からの熱の漏れ込みを低減している。

多重化読み出しシステムでは、各々の TES ボロメータに異なる周波数を割り当てて変調および復調を行うため、断線などが原因で TES ボロメータと読み出しチャンネルの対応関係が設計と異なってしまう現象が生じる。このような現象は正確な解析に支障してしまうため、どの読み出しチャンネルからどちらの周波数帯域・どの偏光角度の成分を得ることができるのかを確認しておく必要がある。そこで我々は、このような読み出しチャンネルの割り当てを、逡倍機を用いたミリ波源により短時間で調べる手法を考案した。本講演では、その開発状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V137a POLARBEAR 実験の監視カメラを用いた雲の偏光の調査

高倉理, ほか POLARBEAR Collaboration

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の大角度スケール (1 度以上) の偏光ゆらぎは、宇宙誕生直後のインフレーションや再電離の理解の手がかりとなる重要な観測対象である。衛星や気球でも観測が行われているが、現在最も高い統計精度を達成しているのは数千個程度の超伝導検出器を搭載可能な地上実験である。

しかし、地上からの観測では避けられない“雲”が偏光しており、大角度スケール偏光観測のノイズとなる可能性が指摘されている。雲に含まれる氷晶が、主に下側から入射する地面の熱放射を散乱するため、水平偏光を生む。雲の偏光を理解し、対策することは、地上 CMB 実験の成功にとって急務である。

POLARBEAR 実験は、口径 2.5 m の望遠鏡に、150 GHz 帯に感度を持つ 1,274 個の超伝導検出器を搭載し、チリ・アタカマ砂漠 (標高 5,200 m) で観測を行っている。前回の学会発表では、実際に雲が観測領域を横切ってしまったデータで偏光信号が見えている例を示した。今回は、2014 年から 2016 年までの 3 年分のデータを用いて、監視カメラに映った雲と偏光信号の相関関係を調べた。本公演では、雲の有無を判定する画像解析の手法、および、相関解析の結果について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

9月19日(水) 午前(12:12-13:00) [E会場]

V201a	12:12	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的な状況 郷田直輝 (国立天文台)
V202a	12:24	小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発 山田良透 (京都大学)
V203b	12:36	小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 II 上田暁俊 (国立天文台)
V204b	12:36	実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析 2 鹿島伸悟 (国立天文台)
V205b	12:36	WFIRST コロナグラフに向けた偏光補正デバイスの設計と評価系の開発 細内大暉 (北海道大学)
V206a	12:48	WFIRST Coronagraph Polarimeter 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [E会場]

V207a	09:30	宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: プロジェクト進捗状況 松浦周二 (関西学院大学)
V208a	09:42	SPICA (次世代赤外線天文衛星) 計画の進展 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)
V209a	09:54	SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI: 概念検討結果 和田武彦 (宇宙航空研究開発機構)
V210a	10:06	SPICA ペイロードモジュールの概念設計 東谷千比呂 (宇宙航空研究開発機構)
V211b	10:18	宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 望遠鏡光学性能評価 瀧本幸司 (関西学院大学)
V212b	10:18	宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 光学系振動試験 佐野圭 (関西学院大学)
V213b	10:18	SPICA のための赤外線アレイ検出器のピクセルベースでの波長感度評価法の確立 土川拓朗 (名古屋大学)
V214a	10:30	気球搭載遠赤外線干渉計 FITE 実験経過 芝井広 (大阪大学)
V215a	10:42	気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE のフライトに向けた干渉計調整結果 佐々木彩奈 (宇宙航空研究開発機構)
V216a	10:54	高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST): 全体進捗状況 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)
V217a	11:06	高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST): サイエンスターゲット及び観測要求性能 今田晋亮 (名古屋大学)
V218a	11:18	高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST): 提案された装置と光学設計・キー技術 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構)

9月20日(木) 午後(13:30-15:30) [E会場]

V219a	13:30	観測ロケット実験 CLASP2: 紫外線高精度偏光分光観測装置の開発 石川遼子 (国立天文台)
V220a	13:42	高背景輝度での点源抽出や宇宙線の除去を行う超小型衛星用スタートラッカーの開発・軌道上実験について 間宮英生 (東京工業大学)
V221a	13:54	赤外線天文衛星「あかり」近・中間赤外線カメラ IRC の絶対強度較正の再解析 出山拓門 (神戸大学)
V222a	14:06	The study of Mid-Infrared Imager and Spectrometer (MISC) for Origins Space Telescope (OST) Mission Concept 2 左近樹 (東京大学)
V223b	14:18	木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen FM 筐体の開発 II 高橋英則 (東京大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

V224b	14:18	「なゆた望遠鏡」の可視分光器 MALLS に取り付ける新 CCD カメラの開発	杉江祐介（兵庫県立大学）
V225b	14:18	天体観測用 X 線干渉計開発に向けた真空紫外線干渉計の開発	稲垣徳晃（立教大学）
V226c		小型可視分光器 Alpy の性能評価	田邊健茲（岡山理科大学）
V227a	14:30	回折限界モノリシック反射光学系：冷却環境下での光学性能評価	猿楽祐樹（京都産業大学）
V228b	14:42	液晶チューナブルフィルター $1/8\text{\AA}$ ブロックの製作	木村剛一（京都大学）
V229b	14:42	光子計数による可視パルサー観測のための半導体光センサの性能評価	荻原理沙（山形大学）
V230b	14:42	高速偏光変調との同期を実現した H2RG 赤外線カメラ	花岡庸一郎（国立天文台）
V231a	14:54	京大岡山 3.8 m 望遠鏡に搭載する装置ローテータの設計	仲谷善一（京都大学）
V232a	15:06	せいめい望遠鏡に搭載する分割鏡制御システム	木野勝（京都大学）
V233b	15:18	せいめい望遠鏡の鏡面形状	木野勝（京都大学）
V234b	15:18	3 点法による平面鏡の精密計測	栗田光樹夫（京都大学）
V235b	15:18	ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU のせいめい望遠鏡との接続に向けたアップグレード	松林和也（京都大学）
V236c		拡張フーコーテスト	和田一馬（京都大学）
9 月 2 1 日（金）午前（9:30-11:42）[E 会場]			
V237a	09:30	FOCAS 用イメージスライサー型面分光ユニット ファーストライト報告	尾崎忍夫（国立天文台）
V238c		An add-on polarimeter for Subaru/COMICS	Takuya Fujiyoshi（Subaru Telescope）
V239b	09:42	Subaru/IRCS 熱赤外偏光観測機能の立ち上げ 2 — 偏光分光試験観測結果	本田充彦（久留米大学）
V240b	09:42	すばる望遠鏡主鏡の反射率変化モデル	沖田博文（国立天文台）
V241b	09:42	光赤外線大学間連携事業における初心者向けデータ解析講習会の実施報告	山中雅之（広島大学）
V242c		天文データ・アーカイブをクラウド・コンピューティングにより安価に構築する方法の検討	江口智士（福岡大学）
V243b	09:54	JVO ポータル開発の進捗	白崎裕治（国立天文台）
V244b	09:54	8 分割位相マスクとバイナリ瞳を併用したコロナグラフ：すばる用の設計	西川淳（国立天文台）
V245b	09:54	8 分割位相マスクコロナグラフのための液晶可変アポダイザの開発	渋谷恭平（北海道大学）
V246a	10:06	液晶空間光変調器を用いたサブパル板横シヤリングナル干渉計のためのスペckル除去技術の開発 2	河合研弥（北海道大学）

（次頁に続く）

【V2. 観測機器】

V247a	10:18	小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の開発 3 : ESO La Silla 観測所 1 m 望遠鏡での試験観測	峰崎岳夫 (東京大学)
V248a	10:30	極限補償光学装置の開発: 実験とシミュレーションによる制御装置開発	藤田勝 (大阪電気通信大学)
V249a	10:42	極限補償光学装置の開発: FPGA を使用した制御装置の開発	入部正継 (大阪電気通信大学)
V250a	10:54	シャックハルトマン波面センサーを用いた大気シンチレーション測定	大金原 (東北大学)
V251b	11:06	極限補償光学装置の開発: 直接位相計測型波面センサーの開発	西岡秀樹 (京都大学)
V252b	11:06	惑星観測用補償光学系における波面測定用惑星表面模様を選択方法	寺地慶祐 (岡山理科大学)
V253b	11:06	すばる望遠鏡レーザートモグラフィ補償光学の開発 (II)	満田和真 (東北大学)
V254a	11:18	太陽 SLODAR によるゆらぎ層分布推定へのスパースモデリングの導入	三浦則明 (北見工業大学)
V255b	11:30	GLAO と画像処理による広視野太陽像回復の実験	三浦則明 (北見工業大学)
V256b	11:30	太陽シンチレーションモニタによる高度依存調査	浜屋ひかり (明星大学)
V257b	11:30	太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発	宮良碧 (明星大学)
V258c		西はりま VTOS によるスペックルデータを用いた連星の測定と評価	桑村進 (北見工業大学)
V259c		スペックル干渉法における物体パワースペクトル推定誤差の補正と評価	桑村進 (北見工業大学)
9月21日 (金) 午後 (13:30-15:30) [E 会場]			
V260a	13:30	重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた連星合体の早期方向特定性能の見積もり (II)	藤井善範 (東京大学)
V261a	13:42	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の防振系	谷岡諭 (総合研究大学院大学)
V262a	13:54	TMT 計画 - 進捗報告	白田知史 (国立天文台)
V263a	14:06	SuMIRe-PFS[11]-プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2018 年秋季	田村直之 (Kavli IPMU)
V264a	14:18	SuMIRe-PFS[12]-サーベイ計画の現状とサーベシミュレーターの開発	矢部清人 (Kavli IPMU)
V265a	14:30	TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発進捗: すばる望遠鏡でのファーストライト	本原顕太郎 (東京大学)
V266a	14:42	近赤外撮像分光装置 SWIMS 用多天体分光マスク設計	楠引洸佑 (東京大学)
V267a	14:54	ボールエンドミルを用いた SWIMS-IFU 用鏡面の超精密加工	河野志洋 (東京大学)
V268a	15:06	TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗: Aquarius 検出器の運用最適化とすばる望遠鏡でのファーストライト	上塚貴史 (東京大学)
V269a	15:18	TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗: 二視野合成機構 Field Stacker の試験と水蒸気量の短期変動による影響	内山允史 (東京大学)

V201a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的な状況

郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 宇都宮 真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎, 亀谷 収, 浅利一善 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 吉岡 諭 (東京海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大), 梅村雅之 (筑波大), 西 亮一 (新潟大), 浅田秀樹 (弘前大), 長島雅裕 (長崎大), 山田 亨 (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

超小型位置天文観測衛星の 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が、打ち上げに関しては、海外の小型ロケット会社による打ち上げの調整等を進めている。一方、小型 JASMINE は、母銀河と銀河系中心との物理的関係をつなぐ重要な領域である銀河系中心核バルジの運動学的、力学的構造の探求とそれを基にした中心核バルジの起源と進化の解明、さらに、領域内の天体等の物理的特徴の解明を科学目的としている。具体的な科学目標の例としては、中心核ディスク (または内部バー) の存在の是非とその形成時期や形状の回転速度の評価、固有運動情報による隠された星団の探査と secular evolution の実証、巨大ブラックホールによる恒星への力学的影響等がある。そのため、銀河系バルジの星に関して、我々が用いる H_w バンドで 12.5 等級以下の 8500 個程度に対して年周視差を 20μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 20μ 秒角/年以内) で測定する。さらに、12.5 等級から 15 等級までの 6 万個以上のバルジ星に対して、 125μ 秒角/年 以内の固有運動精度で測定する。小型 JASMINE は、宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションに応募中で多段階の審査を受けている。昨年 5 月には宇宙研の宇宙理学委員会の審査を通過し、次に昨年 12 月に国際審査を受け、その評価コメントに従って科学目標の拡張や再編成等を行い、宇宙研による次の審査を受ける準備を進めてきた。また、開発計画、リスク対策等の詳細な検討も進めてきた。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](#)

V202a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 郷田 直輝, 矢野 太平, 吉岡諭 (海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大)

小型 JASMINE は、本講演申込時には計画審査の準備中であり、間もなくミッション定義フェーズに上る予定である。ミッション提案時に提出した LOI に基づき、現在 Heidelberg 大学とデータ解析に関する協力を進めており、DLR での予算も獲得された。Heidelberg 大学のメンバーには、昨年度より定期的に来日していただいて、キャリアレーション手法を含めて議論を進めている。

位置天文観測は、データ解析のウエイトが非常に大きい。ミッション定義フェーズに上るにあたり、ソフトウェア開発の WBS を作成したところまでは、前回の学会で報告した。その後、アジャイル開発の手法を取り入れて WBS を見直し、他のハードウェアコンポーネント同様、開発仕様書の作成を行い、その上で、WBS を詳細化した。Heidelberg 大学のチームはすでに Gaia のソフトウェア開発において経験があるため、ソフトウェアコンポーネントの選択、開発期間の見積もり等について誤りがないか、必要な人員等について議論を進めている。

また、ソフトウェア開発に関して協力をしていただけそうな国内メンバーの組織化を進めている。スペースプロジェクトは長期間にわたるため、作ったものがすぐに役に立たなくなるリスクを避けるため、ソフトウェアの観点で、組織も開発手法も十分にシステム化されたものにしなければならない。ソフトウェア開発やシステム開発の経験、加えてキャリアレーションモデルの作成のための航空宇宙工学の知識を重視している。

本講演では、その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V203b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 II

上田暁俊、宇都宮真、井上登志夫、間瀬一郎、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE プロジェクトでは、小型 JASMINE の実現に向け、要素技術の検討や開発を推進している。システムの個別要素技術の開発について、課題を解消できた部分も増えつつあるため、各要素技術の組み合わせ試験を行うフェーズへ移行している。今年度は、STM が完成し、宇宙上げ条件に則した振動条件でのテストを行った。振動検査による構造変形は、フォトグラメトリとレーザートラッカーで行った。熱制御の検証では、スペースチャンパー内で、望遠鏡の精密モデルをヒーターパネルで囲み、熱流入の分布に対する望遠鏡の熱応答を見る。望遠鏡は 0.1 度の熱安定度を求められているため、熱流入を 10 倍程に拡大し、その振る舞いを確認する。熱真空試験の事前準備は進んでおり、再度事前解析を行い、実際の試験を、熱真空チャンパーで行う。この試験では外部パネルへ熱入力を与え、望遠鏡構造体の熱応答を見る。講演では、要素技術開発について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](#)

V204b 実測データを用いた小型 JASMINE 高精度迷光解析 2

鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 井上登志夫, 宇都宮真, 間瀬一郎, 郷田直輝 (国立天文台) 山田良透 (京都大学)

小型 JASMINE では、非常に厳しい星像中心決定精度である $20\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためにはノイズとなる迷光を十分に低減させなければならぬが、そのためのシステムからの要求は $5[\text{photon}/\text{sec}/\text{pix}]$ という非常に小さなものとなる。これを実現するためには十分な長さのフードや多数のバップルも必要であるが、何より重要なのが、できるだけ半球反射率が小さくランバート散乱特性を持つ内面処理である。現在ノミナルとしているのは炭素を含んだ導電性繊維からなる「植毛」であり、半球反射率は実測し、垂直入射時は 0.3% 程度、70 度以上の斜め入射時でも 1% 以下という良好な値を得ている。散乱特性に関しては、インハウスで開発した簡易測定器の結果より大凡ランバート散乱であることは分かったため、これまでの迷光計算では「完全ランバート」として計算を行って来た。

開発ステップが進み、より精度の良い迷光計算が必要なフェイズに入ったため、外部メーカーに正確な散乱特性実測を依頼し、その結果を BRDF データとして解析ソフトに取り込んで再度迷光計算を行った。BRDF を用いた計算は時間がかかるため、まずはバップルフード単体でランバート散乱との比較検討を行い、やはり必要と判明したため、1ヶ月以上かけて全系での迷光計算を行った。

本発表では、散乱特性の高精度実測に関する具体的な手法や装置、その結果である BRDF データ、及びそれを用いた迷光解析に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b WFIRST コロナグラフに向けた偏光補正デバイスの設計と評価系の開発

細内大暉, 村上尚史 (北海道大), 田村元秀 (東京大/Astrobiology Center/国立天文台), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center), 住貴宏 (大阪大), 山田亨 (宇宙科学研究所), 岡和彦 (弘前大), Feng Zhao, John Krist, Hong Tang, John Trauger (JPL), WFIRST ワーキンググループ

米国 NASA が推進する WFIRST 計画は、可変形鏡による補償光学とコロナグラフにより、 10^9 レベルの極めて高いコントラストでの系外惑星観測を目指している。しかしながら、このような極限コントラストを目指す将来のスペースコロナグラフにおいて、望遠鏡主鏡や副鏡の反射などによる装置偏光の問題が指摘されている。装置偏光の影響により、直交する2偏光（たとえばXおよびY偏光）で異なる収差が生じてしまう。この偏光に依存した収差は、可変形鏡で同時に補正することができないため、観測効率の劣化を招いてしまうことが考えられる。

我々はこの問題を解決するため、装置偏光を補正するデバイスの開発を行っている。その基本アイデアは、適切な厚みプロファイルをもつ複屈折プレートにより、XY 偏光波面をそろえるというものである。我々はこれまでに、透過型の偏光補正デバイスの設計とその試作を行ってきたが（村上他、2016年秋季年会 V238a）、今回新たに、WFIRST への搭載を目指した反射型の偏光補正デバイスの設計に着手した。我々はさらに、試作デバイス評価のための干渉測定系の開発を行っている。検討している干渉測定系は、XY 偏光平面波を参照光として、被測定サンプルの透過光（あるいは反射光）のインターフェログラムを発生させる。このインターフェログラムをフーリエ解析することにより、XY 偏光波面を同時に測定することができる。このような測定系により、高い精度でのデバイス評価を目指している。本講演では、反射型偏光補正デバイスの設計と、デバイス評価のための干渉測定系開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206a WFIRST Coronagraph Polarimeter

M. Tamura (Tokyo/ABC), N. Murakami, N. Baba (Hokkaido), J. Kwon, T. Yamada, K. Enya (ISAS), J. Nishikawa (NAOJ), N. Kusakabe, T. Kotani (ABC), O. Guyon (Arizona/ABC), N. Narita, H. Kawahara (Tokyo), T. Mastuo, T. Sumi (Osaka), T. Yamamuro (Optcraft), JPL/CGI team, WFIRST-J team

系外惑星観測の次の大きなステップとして、すばる望遠鏡等で既に成功している巨大惑星の熱放射光の直接検出だけでなく、巨大惑星やそれよりも小さな惑星を「反射光」で直接検出し、その大気を調べ、水やバイオマーカーの有無を直接に示すことを目指すスペースミッションの実現がある。我々は、米国チームらが主導する、口径 2.4m の NASA の WFIRST 望遠鏡にスペースコロナグラフ (CGI) を搭載する計画に参加している。本コロナグラフは、スペースミッションとしては初めて補償光学コロナグラフ技術を実現し、約 10^9 という高コントラスト性能を追求する。その結果、10 個以上の 4-15 地球半径の系外惑星の直接検出・分光や多数の残骸円盤の内側の地球型惑星形成領域の観測等が可能となることが期待される。日本側の寄与としては、このコロナグラフに偏光器を搭載し、偏光によるコントラスト向上と円盤・惑星両面での多様な偏光サイエンスを狙う。本講演では、WFIRST/CGI 全体計画の現状と偏光器デザインについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207a 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2：プロジェクト進捗状況

松浦周二，佐野圭，橋本遼，太田諒，瀧本幸司，檀林健太，山田康博，鈴木紘子，古谷正希（関西学院大学），津村耕司（東北大学），高橋葵（総合研究大学院大学），松本敏雄，和田武彦（ISAS/JAXA），James Bock（Caltech），Daehee Lee（KASI），Shiang-Yu Wang（ASIAA），CIBER-2 チーム

近赤外線の宇宙背景放射は、個別に分解できない高赤方偏移天体や銀河間物質を研究するうえで重要な観測量である。我々はこれまでに、NASA の観測ロケットを用いた国際共同実験 CIBER(Cosmic Infrared Background Experiment) により近赤外線の宇宙背景放射を観測し、系外銀河光の総計では説明できない強度と非等方性をもつ超過成分を検出したが、その起源は明らかになっていない（松浦ら 2015 年春季年会）。そこで我々は、より詳細な観測を行なうため観測波長を可視域に広げるとともに感度を約 10 倍向上させる新実験 CIBER-2 を計画し、観測装置の開発を進めてきた（例えば、佐野ら 2018 年春季年会）。

CIBER-2 では、液体窒素冷却した口径 28.5cm の反射望遠鏡、および 2k×2k の HgCdTe アレイ検出器（HAWAII-2RG）を用いた 6 波長バンドのカメラと焦点面分光フィルタを備え、波長 0.5–2.5 μm での撮像（視野 $2.3\times 2.3 \text{ deg}^2$ ）と分光（ $\lambda/\delta\lambda \sim 15$ ）を行なう。これまでに CIBER-2 の国際研究チームは観測装置の要素を分担して開発してきたが、日本が開発を担当する光学系はフライトモデル製作を 2017 年度までに終え、検出器の開発および観測装置の取りまとめを行なう米国への輸送を完了した。今後、国際研究チームは米国に集結し、組立て調整した光学系の低温での光学性能の評価、および検出器やデータ処理回路を含む観測装置全体を通しての感度評価や校正を行なう。国内でも試験モデルを用いた光学性能や耐環境性を追加検証する。最終的には観測装置をホワイトサンズ実験場へ輸送し 2018 年末ごろに打上げる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V208a SPICA（次世代赤外線天文衛星）計画の進展

山村 一誠, 小川 博之, 中川 貴雄, 松原 英雄, 山田 亨 (ISAS/JAXA), 芝井 広 (大阪大), 金田 英宏 (名古屋大), 尾中 敬, 河野 孝太郎 (東京大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) が、欧州宇宙機関 ESA による宇宙科学プログラム中型ミッション 5 号機 (Cosmic Vision M5) の一次選抜において、25 件の提案からミッション候補 3 件の一つに選ばれた。2021 年の最終選抜に向けてより具体的で詳細な検討を進めることになる。

SPICA は、「あかり」、Spitzer、Herschel の成功を受けて、日欧を軸として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 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、高感度赤外線分光 (+撮像) 観測を行う。波長 12–350 μm を、日本が主導する中間赤外線観測装置 (SMI、和田他の講演参照)、欧州が主導する遠赤外線観測装置 (SAFARI) に加え、新たにフランスを中心としたチームが開発する遠赤外線撮像偏光装置 (POL) でカバーする。今後 10 年程度かけて開発を進め、打上後はノミナル 3 年、目標 5 年間の運用を行う。ALMA、TMT、Athena などの他波長の大型望遠鏡との強力なシナジーが期待される。

すでに ESA 主導で次の段階の検討 (Phase 0) が始まっており、我々は望遠鏡部を含む極低温冷却システム全体 (PLM、東谷他の講演参照)、SMI、H3 ロケットなどの日本担当予定部分を始め、これまでの日本における検討結果を提供している。また、ミッション仕様に対する設計の最適化、要開発項目の洗い出しなどを有識者によるアドバイザリーボードの助言を受けて進めている。一方、この段階においては、研究者による性能要求、観測運用要求などがミッション全体の設計の基礎になるため、赤外線以外の分野や理論分野の関連研究者で構成される研究推進委員会を設置するなどの体制構築を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI : 概念検討結果

和田武彦 (ISAS/JAXA)、金田英宏、石原大助、大薮進喜、鈴木仁研、深川美里、國生拓摩 (名古屋大学)、川田光伸、磯部直樹、大坪貴文、中川貴雄、松原英雄、權靜美、長勢晃一、山岸光義 (ISAS/JAXA)、左近樹 (東京大学)、津村耕司 (東北大学)、芝井広 (大阪大学)、SMI コンソーシアム

ESA Cosmic Vision Mクラスの5番目として提案された次世代赤外線天文衛星計画 SPICA は、一次選抜の結果、ミッション候補3件の一つに選ばれた。日本が主導する中間赤外線観測装置 SMI は、3つの特徴的な分光チャンネルと一つの広視野撮像チャンネルを有する観測装置として、サイエンス要求仕様を満たす下記設計解が提案された: (1) 広視野低分散 (LR: 比波長分解能 $R=50-120$; 波長 $17-36\ \mu\text{m}$; 感度 (5σ 1 hr) $20-200\ \mu\text{Jy}$; 視野 $600'' \times 3.7'' \times 4$ slits) (2) 高感度中分散 (MR: $R=1300-2300$; 波長 $18-36\ \mu\text{m}$; 感度 $3-20 \times 10^{-20}\ \text{W/m}^2$; 視野 $60'' \times 3.7''$) (3) 高感度高分散 (HR: $R=28000$; 波長 $12-18\ \mu\text{m}$; 感度 $1.5-2.0 \times 10^{-20}\ \text{W/m}^2$; 視野 $4'' \times 1.7''$) (4) 広視野撮像 (CAM: 波長 $34\ \mu\text{m}$; 感度 $13\ \mu\text{Jy}$; 視野 $600'' \times 720''$ 、LR の slit viewer 機能付き)。その後、Thermal annealing のための detector module 熱設計、および、annealing を模擬した冷凍機システムへの熱入力試験を実施し、成立解を見出した。また、SAFARI との構造・光学インターフェース調整を行い、成立解を見出した。さらに、SMI 固有の期待されるサイエンス成果を定量的にまとめて、複数の white paper として発表した (Gruppioni et al. 2017, Kaneda et al. 2017)。現在、国内有識者で構成された SPICA 観測系アドバイザリーボードの助言の下、JAXA システム要求審査および ESA CDF study に向けて、光学系効率や検出器雑音性能の向上を含め、仕様・設計の見直しを進めている。本講演では、概念検討結果と最新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](#)

V210a SPICA ペイロードモジュールの概念設計

東谷 千比呂, 小川 博之, 中川 貴雄, 松原 英雄, 川田 光伸, 後藤 健, 竹内 伸介, 西城 大, 澤田 健一郎, 篠崎 慶亮, 佐藤 洋一, 水谷 忠均, 巳谷 真司, 山村 一誠 (JAXA), 芝井 広 (大阪大学), SPICA PLM チーム

SPICA ペイロードモジュール (PLM) は、望遠鏡 (SPICA Telescope Assembly: STA) および焦点面観測装置 (Focal Plane Instrument Assembly: FPIA) とそれらを極低温に冷やすための冷凍機システムやシールドを含めた冷却構造 (Cryogenic Assembly: CRYO)、CRYO に関連する常温機器 (Cooler Module: CM) などを含む、SPICA の主要部分である。PLM の設計・製造にあたり、現在日本は、主に CRYO と CM を担当している。

CRYO では、液体ヘリウムなどの寒剤を使用することなく、輻射によるパッシブ冷却と冷凍機によるアクティブ冷却の併用により、観測装置の冷却を実現する。このうち、パッシブ冷却の要となるのは、3 層のサーマルシールド (V-groove) による輻射である。さらに熱伝導を低減するために、主たる機械支持構造を、打ち上げ後に切り離す設計としている。冷凍機システムでは、4K 級と 1K 級のジュール・トムソン冷凍機 (4K-JT、1K-JT) および 2 段式スターリング冷凍機 (2ST) を組み合わせ、3 系統の冷却システムを用意する。1 つ目は 4K-JT と 2ST の組み合わせで、中間赤外線観測装置 SMI と SIA に 4.8K のインターフェイス (I/F) を提供する。4.8K の I/F は、SIA を経由して望遠鏡 (STA)、さらにバッフルまでを 8K 以下に冷やす。2 つ目は 1K-JT と 2ST の組み合わせで遠赤外線観測装置 SAFARI の sub-K 級冷凍機に対する予冷段としての 1.8K での I/F を提供する。3 つ目は 2ST 冷凍機を用いて望遠鏡シールドを直接的に 25K 程度まで冷やす。

これにより、極低温に冷却するスペース望遠鏡として最大口径 (2.5m) の搭載を可能とする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2：望遠鏡光学性能評価

瀧本幸司, 松浦周二, 佐野圭, 太田諒, 橋本遼, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希 (関西学院大学), 津村耕司 (東北大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

我々は、日米韓台の共同プロジェクトである宇宙赤外線背景放射 (CIB) 観測ロケット実験 Cosmic Infrared Background Experiment 2(CIBER-2) を進めている。本プロジェクトの前身である CIBER やこれまでの衛星観測により、CIB には既知銀河からの放射以外に、宇宙再電離期の初代星や銀河ダークハロー浮遊星といった未知天体からの放射が含まれている可能性が示唆された。それら未知天体による CIB への寄与を解明するため、CIBER-2 では感度が CIBER の 10 倍である冷却望遠鏡をロケットに搭載し、観測波長を可視域まで拡張した空間ゆらぎ・放射スペクトルの高精度測定を行う。

日本チームは主に望遠鏡と後置光学系の開発・性能評価を行ってきた。国内では、ロケット打上げ時の振動を受けても望遠鏡性能が変化しないことを確認するため、試験用望遠鏡を実際の振動レベルで加振した前後での PSF 評価試験を行う予定である。振動前に得られた PSF サイズは要求値 ($<20 \mu\text{m}$) と同等であり、観測装置として十分な性能をもつことを確認した。更に共同研究機関であるカリフォルニア工科大学では、装置自体から熱放射を低減させるよう液体窒素で 77 K まで冷却した際、光学アライメントの劣化や望遠鏡歪みが起こらないか確認するため、フライトモデル望遠鏡及び後置光学系の低温光学試験を実施予定である。また、分光観測のため検出器の焦点面に置いたリニアバリアブルフィルターの性能評価試験を行う。本講演では各試験の内容及び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](#)

V212b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2：光学系振動試験

佐野圭, 松浦周二, 太田諒, 瀧本幸司, 橋本遼, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希 (関西学院大学), 津村耕司 (東北大学), 高橋葵 (総合研究大学院大学), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER-2) では、液体窒素温度に冷却した望遠鏡および後置光学系をロケットに搭載し、宇宙赤外線背景放射の観測を行う。観測時に要求される光学性能を発揮するためには、ロケット打上げ時の振動によって光学系のアライメントが崩れないことを事前に確認する必要がある。これまでの試験用望遠鏡を用いた振動試験の結果によると、主鏡の 270 Hz 付近の共振倍率は数百倍に達し、本加振時には主鏡または主鏡を支持するフレクシャ構造が降伏して光学性能が劣化する可能性が高い。そこで主鏡の共振を低減するために、ダイナミックダンパー、制振合金 M2052、フレクシャ材料の改良について検討した。ダイナミックダンパーは主鏡の共振周波数に近い固有振動数を持つ板ばねであり、主鏡脚部に装着することで振動エネルギーの一部を肩代わりする効果がある。M2052 は厚さ約 1 mm の板に加工し、主鏡フレクシャ間に挿入することで振動の減衰が期待される。CIBER-2 光学系全体は 6061 アルミ合金で統一していたが、7075 アルミ合金は低温物性値が 6061 アルミ合金とほぼ変わらずに降伏応力が約 50% 高いため、その材料でフレクシャを新たに製作した。これらを採用した望遠鏡の振動試験を 2018 年 6 月に実施する予定であり、本講演ではその結果を報告する。

CIBER-2 では、望遠鏡に入射した可視光赤外線が検出器に至るまでに 2 つのビームスプリッターと 6 つのベンドミラーを通る。打上げ時の振動でこれらがずれないようにするため、ステンレスとチタン合金の板ばねによって適当な力で鏡を支持する必要がある。板ばねの低温物性値に基づいてたわみ量を調整する方法について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213b SPICAのための赤外線アレイ検出器のピクセルベースでの波長感度評価法の確立

土川拓朗, 金田英宏, 石原大助, 國生拓摩, 山口勇太, 石鉢卓也 (名古屋大学)

近・中間赤外線分光観測におけるマルチスリット分光やスリットレス分光では、アレイ検出器の一方向を空間方向、もう一方を波長分散方向として、分光した光を検出器全面に投影する。そのため、検出器のピクセル一つ一つに対して、波長感度特性を精度よく求めることにより、天体スペクトルの高精度化が期待される。しかし、これまで、これを効率的に評価する方法は確立されてこなかった。本研究では、異なる感度波長とアレイフォーマットを持つ近赤外線 InSb 検出器 (512×412 ピクセル) と中間赤外線 Si:As 検出器 (256×256 ピクセル) を利用し、赤外線アレイ検出器におけるピクセルベースでの波長感度特性の汎用的な評価方法を確立する。

波長感度特性の測定には、複数ピクセルを同時に分光可能で、かつ検出光の S/N が高いフーリエ赤外分光器を用いる。これらの赤外線検出器は極低温でのみ動作可能であり、クライオスタット内で冷却する必要があるため、常温のフーリエ分光器の干渉光をクライオスタット内に入射する必要がある。そのため、常温部から S/N よく光を取り入れるための低温光学系と構造体を設計した。結果、それぞれの検出器に対して約 1% の精度で、同時に数千ピクセルの波長感度特性を測定することが可能となった。本研究の結果は、次世代赤外線天文衛星 SPICA のみならず、南アフリカ IRSF 望遠鏡に搭載予定の分光器にも適用可能である。本講演では、赤外線アレイ検出器の波長感度評価法の開発とその応用の可能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](#)

V214a 気球搭載遠赤外線干渉計 FITE 実験経過

芝井 広, 住 貴宏, 松尾太郎, 須藤 淳, 伊藤哲司, 大山照平, 大塚愛里梨, 谷 貴人, 佐伯守人, 坪井隆浩 (大阪大), 吉田哲也, 齊藤芳隆, 成田正直, 佐々木彩奈, 土居明広 (JAXA 宇宙研), 河野裕介 (国立天文台)

気球搭載遠赤外線干渉計 (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment: FITE) は、基線長 6m (ゴール 20m) の Fizeau 型 2 ビーム干渉計であり、焦点面におかれた遠赤外線アレイセンサーによって取得された干渉パターンから、新像再生法を用いて波長 150 ミクロンで 4 秒角 (ゴール:1 秒角) の空間分解能の達成が可能である。各ビームの集光鏡は口径 40cm である。科学観測用大気球によって宇宙遠赤外線がほぼ透過してくる 30km 以上の高度に打ち上げられ、地上局からのリモート制御で高精度の指向を行う。打ち上げ準備段階において、各ビームの結像精度と干渉計としての光路差調整 (佐々木他の講演参照)、新三軸姿勢制御システムの精度、モニター用カメラ (3 台) の画像処理・伝送動作、遠赤外線センサーの感度・高ダイナミックレンジと低ノイズ性能、リチウムイオン電池を用いた電源装置、地上へのデータ送信と多くのモニター表示装置、その他科学観測用大気球搭載装置としての機能と性能が備わっていることを確認した。

2018 年 4、5 月にオーストラリア・アリススプリングス気球基地において、システム性能の立証も兼ねて、明るい惑星と晩期型星 (IRC+10216 など) を観測対象とし、この波長帯で初の干渉計観測 (フリッジ検出) を成功させべく、初フライトをめざした。しかしながら器材を発送する直前及び器材運送中の二度にわたってセンサー冷却用クライオスタットが損傷を受けてそれらの修理に日数を要したことなどのために、当初計画より打ち上げ準備完了が遅れた。このために JAXA 宇宙研の気球観測キャンペーン期間内に打ち上げ可能な気象条件に遭遇することができず、宇宙遠赤外線干渉計をフライト実証するに至らなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215a 気球搭載型遠赤外線干渉計 FITE のフライトに向けた干渉計調整結果

佐々木彩奈 (宇宙研/JAXA), 芝井 広, 住 貴宏, 松尾太郎, 伊藤哲司, 大山照平, 谷 貴人, 佐伯守人, 坪井隆浩 (大阪大), 成田正直 (宇宙研/JAXA)

我々は気球搭載型遠赤外線干渉計 (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment: FITE) を開発した。FITE は Fizeau 型の 2 ビーム干渉計であり、2 枚の軸外し放物面鏡で集光し、2 ビームを焦点で干渉させる。このため、フライト前に行う光学調整が重要な技術課題である。従来は調整時の光学系の評価をハルトマンテストで行ってきたが、フライトレディーまでに光学調整で 2 週間を要していた。科学観測用大気球の打ち上げは、地上及び上空の風速により期間が限定される。そのため、数週間という調整期間はフライトの時期を逃すことになる。そこで、ハルトマンテストに代わる新たな光学系評価手段として、シャックハルトマン波面センサーを用いて、2 ビーム同時測定・評価をする方法を開発した (2013 年秋季年会)。

シャックハルトマン波面センサーは、光学系から集光してきた波面の形状状態をハルトマンテストと比較して短時間で測定・解析可能であり、光学調整の効率化が期待される。また、2 ビームの波面同時測定だけでなく、1 ビームごとの波面測定も可能な方法を考案し、新しい放物面鏡調整方式の概念の実証実験を行った。これに基づいて、新干渉計調整機構の光学系詳細設計を完了し、FITE 干渉計構体に組み込んだ。

オーストラリア、アリススプリングス気球基地での波面センサーによる解析の結果、FITE の Starboard 側放物面鏡の RMS 波面誤差 0.76 μm , Port 側放物面鏡の RMS 波面誤差 0.51 μm となった。この調整結果は、中間赤外線波長でも、光路差が合えば干渉フリッジが検出できる精度である。また、この試験に要した調整期間は 3 日間であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST) : 全体進捗状況

清水敏文 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (名古屋大), 川手朋子, C. Quintero Noda (ISAS/JAXA), 一本潔 (京都大・国立天文台), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄, 久保雅仁, 鳥海森, K-S. Lee (国立天文台), 渡邊恭子 (防衛大), 永田伸一 (京都大), 阿南徹 (NSO), 草野完也 (名古屋大), 横山央明 (東京大), C. Korendyke, H. Warren (NRL), T. Tarbell (LMSAL), S. Solanki, L. Teriaca (MPS), F. Auchère (IAS), L. Harra (MSSL/UCL), A. Vincenzo (INAF), A. Zhukov (ROB), ほか Solar-C WG

高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST) は、現在日本が中心となり欧米の太陽研究コミュニティも参加する形で、2020 年代中頃に最優先で実現を目指しているミッションである。2015 年に提案した戦略的中型 SOLAR-C 計画が目指す科学課題を尖鋭化させ、太陽上層大気形成の謎や大規模なフレア噴出発生謎の解明に迫るミッション案であり、2018 年 1 月に宇宙科学研究所の公募型小型衛星公募機会に提案した。この公募審査結果は 7 月に出る予定であり、本講演ではミッション概要及び全体進捗の最新状況について報告する。

高感度 EUV/UV 分光望遠鏡 (EUVST) は、磁気構造を識別できる高い解像度 (0.4 秒角) で、従来の観測に比べ 10-20 倍の有効面積により実現される高い時間分解能で、彩層から遷移層・コロナ、そしてフレアで生成される超高温プラズマまで広い温度帯 ($10^4 \sim 10^7$ K) で隙間なく分光観測し、物質やエネルギーの移動や散逸をとらえる。2016-2017 年に開催されたシンポジウムの討議を経て、日本の太陽研究コミュニティが最優先で実現すべきミッションとして、現在支持を得ている。また、3 宇宙機関 (NASA, JAXA, ESA) のもとで、2020 年代中頃に飛翔する太陽観測衛星の科学目的と、それを実現するミッションの優先度・実現方法を検討した国際チーム (NGSPM-SOT) も、EUVST のような望遠鏡を第一優先で実現するべき観測望遠鏡として勧告している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST) : サイエンスターゲット及び観測要求性能

今田晋亮 (名古屋大), 清水敏文, 川手朋子, Quitero Noda, Carlos (宇宙科学研究所), 一本潔 (京都大・国立天文台), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄, 久保雅仁, 鳥海森, Lee Kyoung-Sun (国立天文台), 渡邊恭子 (防衛大), 永田伸一 (京都大), 阿南徹 (National Solar Observatory), 草野完也 (名古屋大), 横山央明 (東京大), David Long (MSSL/UCL), Harry P. Warren (米国海軍研究所), ほか Solar-C WG

Solar-C_EUVST は高空間分解能 (0.4 秒角)、高時間分解能 (1 秒程度)、広い温度範囲 ($10^4 - 10^7$ K) で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測装置である。Solar-C_EUVST の科学目的として、I) 彩層・コロナと太陽風の形成に必要なエネルギー・質量輸送機構および散逸機構の究明、II) II. 太陽面爆発現象の物理過程の解明、の2つがあげられる。太陽外層大気は、温度の異なる光球と彩層、彩層とコロナの間は磁力線につながり、物質であるプラズマとエネルギーがこれらの中でやり取りされる一つのシステムである。このシステムの中で発生する太陽の磁気活動を本質的に理解するには、それを構成する基本構造を理解することはもちろん、基本構造間でやりとりされるプラズマのエネルギー・質量の流れを定量的に観測してその物理過程を把握することが重要である。その理解に必要とされる物理量は、構造を把握する輝度分布のほかに、速度場、温度、密度などとその変動量であり、太陽大気を網羅して行うシステムティックな観測を通して、宇宙プラズマの理解につながる太陽物理の重要課題に Solar-C_EUVST は挑む。また本講演では、科学課題の解明に必要な装置要求が、これまでの太陽観測・理論研究からどのように導き出された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](#)

V218a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C_EUVST) : 提案された装置と光学設計・キー技術

川手朋子, 清水敏文 (宇宙科学研究所), 今田晋亮 (名古屋大), Quitero Noda, Carlos (宇宙科学研究所), 一本潔 (京都大・国立天文台), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄, 久保雅仁, 鳥海森, Lee, Kyoung-Sun (国立天文台), 渡邊恭子 (防衛大), 永田伸一 (京都大), 阿南徹 (NSO), 草野完也 (名古屋大), 横山央明 (東京大), Korendyke, Clarence (NRL), Tarbell, Theodore D. (LMSAL), Teriaca, Luca (MPS), Auchère, Frédéric (IAS), ほか Solar-C WG

彩層・コロナ形成のためのエネルギー輸送・散逸機構を理解するためには、彩層コロナの幅広い温度帯の分光情報の同時取得、アルフベントイムの時間分解、コロナにおける最も小さいスケールの磁気ループの空間分解が必要である。これには極端紫外線・真空紫外線領域の幅広い波長帯を、これまでより1桁程度大きい有効面積により、0.4秒角の角度分解を行うことが条件となる。公募型小型衛星として提案された高感度 EUV/UV 分光望遠鏡 (Solar-C_EUVST) は $170 - 1275 \text{ \AA}$ の波長領域においてスリット分光を行い、 $0.4''$ の空間構造を10秒以下程度の時間分解能で観測するものである。我々はこの観測が成立する光学系を調査し(川手ほか、2017年秋季年会講演)、公差解析を行うことにより、予想される空間分解能と満たすべき機械誤差を導出した。また光学素子に用いるコーティングの反射率から、波長ごとの有効面積、輝線ごとの光子数およびプラズマ診断の際の物理量誤差を見積もった。これらの検討の結果、時間・空間分解能やデータ量などの観測条件について、科学要求・装置要求を満たす装置案が得られた。本講演では提案された EUVST の装置案と光学系設計結果、期待される光学性能について報告する。また性能を得る際にキーとなる技術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](#)

V219a 観測ロケット実験 CLASP2：紫外線高精度偏光分光観測装置の開発

石川遼子, 鹿野良平, D. Song, 吉田正樹, 都築俊宏, 浦口史寛, 久保雅仁, 成影典之, 原弘久, 篠田一也, 納富良文, 末松芳法, 岡本文典 (国立天文台), 石川真之介 (名古屋大学), 坂尾太郎 (ISAS/JAXA), D. McKenzie, 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 α 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掴んだ。

次に着目したのが、波長 280 nm 近傍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解釈の容易なゼーマン効果も生じ、より確実なベクトル磁場の導出が可能となると期待される。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するのが、CLASP 再飛翔計画 (CLASP2) である。

CLASP2 は、口径 270 mm の望遠鏡と、回転波長板、UV ワイヤグリット偏光板に球面等間隔回折格子をビームスプリッターとしても用いた Dual Channel 偏光分光解析装置によって、高波長分解能 (0.01 nm)、高偏光精度 ($3\sigma \sim 0.1\%$) を達成する。その観測装置は、無事帰還した CLASP1 観測装置に最小限の改造を施すことで実現する。我々は 2015 年度にその検討、開発を開始し、2017 年度からこれまで、フライトモデルの製作、光学調整試験、新規開発部分の振動試験と進めてきた。2018 年秋には、最大の難関である偏光較正試験を経て、2019 年の打ち上げに向けて米国 NASA/MSFC へ出荷する。本講演では、これら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](#)

V220a 高背景輝度での点源抽出や宇宙線の除去を行う超小型衛星用スタートラッカーの開発・軌道上実験について

間宮英生、飯田康太、小澤俊貴、谷津陽一、河合誠之（東工大理学院）、菊谷侑平、佐々木謙一、新谷勇介、小泉翔、増田雄斗、岩崎陽平、渡邊圭、古谷航志、松永三郎（東工大工学院）、下川辺隆史（東大情報基盤センター）、工藤裕（Stray Cat's Lab 株）

我々は紫外線広域観測ミッションの実現のために、民生品を用いた低コストで高性能な超小型衛星用スタートラッカーを開発している。現在では低コストで高性能な Cubesat 用の姿勢センサが市販されている。しかしながら、これらの多くは軌道上実証評価が不十分なものが多く、宇宙科学ミッションでの使用において懸念事項となっている。そのため、我々は宇宙科学ミッションを想定したスタートラッカーの開発を行っている。今回、軌道上での実験によって開発したスタートラッカーの性能評価を行う機会を得た。

本講演では特に画像から点源を抽出するアルゴリズムの開発について述べる。計算資源の限られている衛星上で高速かつ正確な抽出を実現すべく、背景光に対するノイズ除去を行う。さらに宇宙特有の問題となる宇宙線の除去を行い、ピーク探索によって星を検出する。現時点で、SourceExtractor より高精度かつ2倍速い結果となっている。また、軌道上で予定されている実験方法についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V221a 赤外線天文衛星「あかり」近・中間赤外線カメラ IRC の絶対強度較正の再解析

出山拓門, 白井文彦, 大槻圭史 (神戸大学), 山下拓時 (愛媛大学), 江草英実 (国立天文台)

赤外線天文衛星「あかり」に搭載された観測機器の1つである近・中間赤外線カメラ IRC は3つのチャンネル (NIR, MIR-S, MIR-L) を持ち、これらチャンネルそれぞれが3つの広帯域フィルターを持っていた。観測期間は Phase1, Phase2, Phase3 に区分される。また1回の指向観測は short exposure と long exposure で構成される。積分時間はそれぞれ NIR が4秒と44秒、MIR が0.5秒と16秒となっている。本研究では液体ヘリウム冷却期間である Phase1, 2 の long exposure データを利用した。

IRC の絶対強度較正は既に Tanabe et al. (2008, 以降は T08) にて実行されているが、画像処理ソフトの IRC imaging toolkit が2015年に更新されているため再解析を実施する必要があった。主な更新事項としてダーク処理の変更がある。更新前までは Phase1 初期のデータを使う super dark が利用されていたが、更新により neighbor dark がデフォルトで使われるようになった。neighbor dark はそれぞれの観測に対してその前後5回の観測で得られたダークを用いるというもので、この更新により IRC の中期的なダークの変化に対応できるようになっている。他にもフラット補正やスタッキング処理の更新などがあり、これらは天体の明るさに影響する可能性がある。そのため、本研究は更新に伴う再解析を実施した。

較正のため、本研究では conversion factor と呼ばれる観測画像での天体の明るさを実際の天体の明るさに変換する係数を求める。これは Cohen et al. (2003) などでは明るさのモデルが確立されている標準星の観測データから算出できる。標準星および測光パラメータは T08 に一致させた。その結果、T08 の値との比は最大で +10%程度となった。本講演ではこれらを基に「あかり」撮像データにおける測光値の精度について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a The study of Mid-Infrared Imager and Spectrometer (MISC) for Origins Space Telescope (OST) Mission Concept 2

左近 樹 (東京大学), Thomas L. Roellig, Kimberly Ennico-Smith (NASA Ames), 松尾太郎 (大阪大学), 池田優二 (photocoding), 山室智康 (OptoCraft), Origins Space Telescope (OST) MISC Team, OST STDT

Origins Space Telescope (OST) は、米国の 2020 年の decadal survey に向けて、STDT の枠組みで検討が進められ、2030 年代にフライトを目指す冷却望遠鏡を用いた遠赤外線ミッションである。OST は、2 つのミッションコンセプトを持つ。OST Mission Concept 1 は、主鏡直径 9.1m の off-axis 光学系で構成される冷却望遠鏡として定義され、遠赤外中分散サーベイ分光装置 (MRSS)、遠赤外高分散分光装置 (HRS)、ヘテロダイン分光装置 (HERO)、遠赤外偏光撮像装置 (FIP)、中間赤外線撮像分光コロナグラフ装置 (MISC) の 5 つの装置の検討が進められ、その結果は中間報告書として完成した。一方、OST Mission Concept 2 は、Spitzer に類似する構成を持ち、JWST とおおよそ同等の集光面積を有する主鏡直径 5.9m の on-axis 光学系を持つ冷却望遠鏡として定義され、現在、OST サーベイ分光装置 (OSS)、ヘテロダイン分光装置 (HERO)、遠赤外撮像偏光装置 (FIP)、中間赤外線撮像分光装置 (MISC) の 4 つの装置の検討が検討されている。Concept 1 に引き続き、我々は MISC の検討を担当し、MISC は (1) 波長 $5\text{-}28\mu\text{m}$ をカバーし、撮像および低分散分光機能を有し、OST のガイドーとしての役割を有する MISC Imager Module と、(2) 波長 $6\text{-}25\mu\text{m}$ をカバーし数時間から数日のスケールで 5ppm の安定性を実現する MISC Transit Spectrometer Module、の 2 つのモジュールから構成される装置として検討を進めている。本発表では、OST Mission Concept 2 検討、特に MISC の Mission Concept 2 の検討結果を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223b 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen FM 筐体の開発 II

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

東京大学木曾観測所では、短時間変動する天体現象の観測を主目的とし、超広視野カメラ Tomo-e Gozen の開発を行なっている。このカメラは最終的に 84 枚の CMOS センサを木曾シュミット 105cm 望遠鏡の焦点面に並べることで、視野 20 平方度をカバーする装置である。Tomo-e はセンサの温度制御機構を持たない、また焦点面を 4 分割し回転対称な構造を組み合わせるなど、独自の設計で軽量化や開発の効率化を計っている。これまでに 4 センサ搭載の評価モデルを皮切りに、21 センサ搭載のフルモデル 1 (FM-1 (Q1)) を製作し、実際に観測を進めてきた。シュミット望遠鏡の特徴である広視野を多数のセンサで同時に焦点を合わせる必要があるが、機構の複雑化を避けるためセンサ個々にアクティブな焦点調整機構を持たせていない。本カメラでは形状・加工方法を考慮した本体ベースを基準とし、各センサが望遠鏡の焦点面に合うようにセンサ毎に独立した形状の「高さ調整機構」の採用でこれを実現している。実際の星像を基にした解析の結果、焦点の 1/4 象限をカバーする FM-1 において、21 センサ全てでフォーカスが合うことを確認した。この結果を受け、さらに加工方法・手順を最適化した FM-3 (Q3) を製作した。加工後の 3D 測定の結果、さらに精度が上がったベースが完成した。本講演では、望遠鏡・エレキも含めた Tomo-e Gozen の全体構造や、他に開発を進めているフィルター交換機構についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224b 「なゆた望遠鏡」の可視光分光器 MALLS に取り付ける新 CCD カメラの開発

杉江祐介、伊藤洋一、本田敏志、大島誠人 (兵庫県立大学)、中屋秀彦、鎌田有紀子 (国立天文台)、新井彰 (京都産業大学)

なゆた望遠鏡に搭載された MALLS は、可視光の中・低分散ロングスリット分光器である。MALLS には FLI 社の CCD カメラ (PL23042-1-B) が搭載されており、e2V 社製の 2000 × 2000 ピクセルの CCD 素子でデータを取得する。

我々は MALLS にエシェル回折格子を組み込み、波長分解能が 50000 程度の高分散分光観測ができるように改良を進めている。このためには広い波長範囲で高い量子効率を持った大フォーマットの CCD 素子が必要である。そこで我々は e2V 社から 261-84 という CCD 素子を購入した。この素子は 2000 × 4000 ピクセルで、波長 400 nm から 900 nm に渡って 80 % 以上の量子効率を実現している。

今までにこの CCD 素子を収納するデュワー容器を製作し、真空・冷却試験を行った。デュワー容器への冷凍機の取り付け方法は、東京大学の観測装置 LISS を参考にした。試験では、 1.0×10^{-4} Torr の真空度及び -100 の冷却温度を達成目標とした。当初は十分な真空度と冷却温度が得られなかったが、熱伝達の経路を見直し、冷却時に 9.79×10^{-7} Torr の真空度を達成した。また、冷却時に CCD チップの搭載場所で約 -107 を達成した。CCD の駆動回路と読み出し回路は MESSIA6+Mfront2 を使用する予定である。

本講演では、これまでに製作したデュワー容器の詳細、および読み出し回路の開発について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V225b 天体観測用 X 線干渉計開発に向けた真空紫外線干渉計の開発

稲垣徳晃、北本俊二、吉田裕貴（立教大学）

今日 X 線で天体撮像を行う場合は高精度の非球面鏡を使った光学系を用いるのが主流である。しかし、その角度分解能は、非球面鏡製作の技術的限界のために理論限界よりもおよそ二桁悪い。この問題を解決する手段のひとつとして、非球面鏡を用いない X 線干渉計である MAXIM(e.g. W.Cash et al.2003, Experimental Astronomy, 16, 91) というプロジェクトが検討された。しかし、目標とする分解能と測定可能な干渉縞間隔を実現するために、鏡から検出器までの距離が 20000km という大規模な構造であった。

そこで我々は、干渉縞の鮮明度から天体のサイズを推定することに用途を限定し、またビームスプリッターを用いることで単独衛星での天体サイズ測定を可能にする新型 X 線干渉計を考案した。しかし、この新型干渉計であっても、大学内での地上実験に使用できる干渉計の開口に対応した X 線ビームを実現することは難しい。そこで新型 X 線干渉計を、ビームスプリッターを使うことでビームの問題を解決できるマッハ・ツェンダー型の干渉計へと変形し、試作に向けた準備を行なっている。現在は、X 線での実験の前に、まずは真空紫外線を使った真空紫外線干渉計の実現を目指して地上実験を行なっている。

これまでに、可視光によるマッハ・ツェンダー型紫外線干渉計の光路調節が概ね終了している。さらに、仮想天体のサイズ測定という干渉計自体の性能評価に向けて、また紫外線で干渉縞を得るための適切な光路を求めるため、可視光で得られた干渉縞の鮮明度の解析も行った。これらの結果に加え、光源からの紫外線の拡散を補うためのレンズを干渉計に加えることで、160nm の真空紫外線による実験の準備が整った。講演ではこれまでの可視光の実験で得られた鮮明度及び適切な光路の評価などの結果と、真空紫外線による実験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](#)

V226c 小型可視分光器 Alpy の性能評価

田邊健茲、松井瀬奈、安藤和子、福田尚也（岡山理科大学）

フランス Shelyak 社製小型可視分光器 Alpy は、ユニークかつコンパクトな構造の Low-resolution Spectrograph である。この分光器は数年前に発売され、海外では優れた結果が得られているが、わが国ではまだ本格的に観測しているところはなさそうである。分光器はいくつかのモジュールから成り、最小の構成でも分光できる。この分光器の最大の特徴は分光素子にグリズムを用いていることで、それにより極めてコンパクトな形状になっている。重量も最大の構成（本体 + CCD2 台）でさえ 2kg より軽い。

Resolution は約 600 で、新星爆発などの視線速度を求める上でも従来用いていた SBIG 社の DSS7 よりも 50 パーセントほど良くなる（ ~ 500 km/s）。この分光器は内部の光学系の F 値が 4 以上で設計されているため、Cassegrain 系では Focal Reducer が必要である。なお Newton 焦点では無理なく使える。

この分光器のスリット幅は $25\mu\text{m}$ と十分小さく、星の分光には最適である（ちなみに京大 3.8m 望遠鏡用分光器 Kools は $100\mu\text{m}$ である）。このような特性を考慮すると、分光器 Alpy は F 値が小さい小口径望遠鏡で最もよく成果を発揮できるのみならず、うまく Focal Reducer を設計することにより、大口径の望遠鏡による突発天体の High Speed Spectroscopy においても活躍できそうである。今回の発表では、室内における分光器の微調整の仕方、および性質の知られている恒星、輝線星ならびに惑星状星雲などのスペクトルを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227a 回折限界モノリシック反射光学系：冷却環境下での光学性能評価

猿楽祐樹 (京都産業大学), 池田優二 (Photocoding/京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 馬目威男, 柳橋健太郎, 飯田直人, 堀内雅彦, 向井伸二 (京セラ株式会社), 近藤荘平, 河北秀世 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台), 松永典之 (東京大学)

広帯域が求められる天文観測装置において色収差を持たない反射光学系は本質的に重要である。ところが、透過光学系に比べて、光学面に要求される精度が高いこと、かつ軸外し系が基本となるためアライメントが困難なこと、が実際の装置応用に大きな障害となっている。例えば冷却が必要な赤外線装置においては、アライメントに多くの時間と費用を要するため、昨今 AO の出現によってより高い波面が得られるようになってきたにもかかわらず、それに見合う性能の反射光学系開発の選択は二の足を踏まざるを得ない状況に陥っている。そのようなジレンマを解決する、実用的な反射光学系として「モノリシック光学系」がある。それは (1) 光学レベルの研磨、(2) 保持具に求められる複雑形状への加工、の両方が可能な単一材質を用いることで初めて実現するが、前者の性質はガラスや光学結晶、後者は金属に限られていたため、これまで実現してこなかった。ところが近年、半導体用途として開発されたセラミック材のコージライト (京セラ CO-720) がこの両方の性質を併せ持つことが分かってきており、我々はそれを用いたモノリシック光学系を提案している。CO-720 はゼロデュアや ULE と同等に小さい線膨張率ながらそれらに比べて高い熱伝導率をもつため、使用温度環境のダイナミックレンジが広い天文観測装置に最適な材料といえる。そこで、この系の実証のため、鏡、保持具、定盤すべてがコージライトからなる 3 枚球面系を製作し、実験を進めてきた。これまでに機械精度の組上げのみで回折限界の結像性能を達成できていることを示したが、今回、さらに冷却環境においても可視波長の回折限界性能を維持していることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228b 液晶チューナブルフィルター 1/8Å ブロックの製作

木村剛一, 徳田怜実, 大辻賢一, 一本潔, 上野悟, 廣瀬公美 (京都大学), 萩野正興 (国立天文台)

京都大学理学研究科附属天文台では、飛騨天文台における主力観測装置のドームレス太陽望遠鏡 (DST) および、太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) で用いられている狭帯域液晶チューナブルフィルター (UTF: Universal Tunable Filter) を開発し、定常観測を行っている。このフィルターは、複屈折光学結晶である方解石と偏光板を複数組み合わせ、透過幅 $1/4\text{\AA}$ を達成した。この UTF では液晶遅延素子 (LCVR) を用いて、0.1 秒という高速での波長チューニングを可能としている。さらに広帯域の $510\text{nm}-1100\text{nm}$ の任意の波長で観測が可能である。これまで口径 32mm の UTF-32 と、口径 40mm の TF-40 を開発してきた。この UTF-32 は通常、DST の水平分光器室での観測に用いられることが多いが、その可搬性を生かし中国科学院雲南天文台撫仙湖太陽観測所での共同観測で成果をあげてきた。一方、TF-40 は 2016 年 4 月から SMART 望遠鏡の Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) での太陽彩層全面 $H\alpha$ 線像の定常観測に用いられている。本講演では、透過幅 $1/4\text{\AA}$ の UTF-32 を $1/8\text{\AA}$ のフィルターへの拡張を行っている。このために、従来の最小透過幅ブロックの 2 倍の厚みがある素子を用いて $1/8\text{\AA}$ ブロックの装着機構を製作した。この機構と液晶遅延素子をコントロールすることにより $1/8\text{\AA}$ ブロックを取り外すことなく透過幅を切り替えることも可能である。このフィルターにより、赤外域の彩層ラインの分光観測や短波長域の幅の狭い光球ラインの観測に対応することが可能となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229b 光子計数による可視パルサー観測のための半導体光センサの性能評価

荻原理沙, 中森健之, 小松未侑, 郡司修一, 柴田晋平 (山形大学), 谷津陽一 (東京工業大学)

電波や X 線・ガンマ線で周期的な光度変化が観測されているパルサーは、高速で回転する中性子星がその正体であると考えられている。天体の可視光観測は主に Charge Coupled Dievice (CCD) が用いられるが、CCD の時間分解能はパルサーの自転周期に対して十分ではないため、詳細な光度変化を測定できない。東京大学木曾観測所を中心に開発が行われている Tomo-e Gozen では CMOS センサを採用することでパルサーの撮像が可能であるとわかった (一木他 天文学会 2018 秋季年会)。しかし自転周期の速いパルサーに対してはまだ十分でない。

我々は、ガイガーモードで動作する浜松ホトニクス社製の半導体光センサ Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) を用いて、パルサーからの可視光を 1 光子ずつ検出する到来時刻測定システムを開発した。MPPC の高いゲインと高速応答性能により、マイクロ秒以下の時間分解能が実現できる。これにより、暗いパルサーを観測できるだけでなく、巨大電波パルスと同期した可視光放射の探索が高い時刻精度で可能になり、その起源に迫る新たなプローブとなり得る。本システムの動作と性能評価は昨年秋の天文学会で報告済みである。

従来採用していた MPPC は 1 mm 角の受光面で検出した光子がまとめて出力されるため、星雲成分や夜光ノイズの混入が懸念点であった。そこで我々は 0.1 mm 角の素子を 4×4 に並べた MPPC アレイを新たに開発した。全 16 ピクセルの信号は独立に読み出され、ピクセルあたりの開口面積が $1/100$ になった。したがって夜光ノイズとセンサ由来の熱雑音の低下によって S/N が 100 倍向上することが期待されるだけでなく、パルサー周囲のバックグラウンドが同時に観測できるようになる。本講演ではこの新しいセンサの性能評価について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230b 高速偏光変調との同期を実現した H2RG 赤外線カメラ

花岡庸一郎, 勝川行雄, 森田諭, 鎌田有紀子, 石塚典義 (国立天文台)

太陽の偏光観測は、太陽の活動現象を支配する磁場の情報を得る手段として重要である。特に近赤外域での偏光測定は、光球のみならず彩層の磁場の情報を得られる吸収線を利用できることなどから、先端的な磁場観測の手段として有望である。そこで我々は新学術研究「太陽地球圏環境予測」の中で、太陽偏光観測用赤外線カメラの開発を行っている。使用する赤外線検出器は、既に night astronomy では多くの使用実績があるテレダイン社の H2RG (2048×2048 画素) で、多画素と低ノイズを実現しているため広い視野で高精度の偏光観測を行うのに適している。

ただし太陽の偏光観測では、豊富な光量を生かすとともにシーイングによるノイズを低減するために高速読み出しを行う必要があり、かつ偏光測光のために露出のタイミングを偏光変調装置と同期させる機能が必要となる。このような機能は H2RG 用の既存の駆動・制御ボードには存在しないため、我々は Markury Scientific 社とともに、JADE/SAM に代わる新開発の MACIE 制御ボードにおける同期信号入出力機能の実装、信号読み出しボード SIDECAR でのデッドタイムの無いデータ読み出しと外部同期機能を実現するためのファームウェア改良、を行ってきた。この結果、露出のタイミングを偏光変調装置からの信号で制御すると共に、全画素読み出し時で毎秒約 30 フレーム、部分読み出しでさらに高いフレームレートを可能とするカメラ制御を実現することができた。これにより、H2RG を高精度を目指す太陽の偏光観測に使用することが初めて可能となった。

年会では、偏光観測時における同期動作を具体的に紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231a 京大岡山 3.8 m望遠鏡に搭載する装置ローテータの設計

仲谷善一, 松林和也 (京都大学), 筒井寛典, 泉浦秀行, 神戸栄治 (国立天文台), 京大岡山 3.8 m望遠鏡グループ

科学観測に向けて建設が進んでいる京都大学岡山天文台 3.8m 望遠鏡 (せいめい望遠鏡) は、経緯台式のため装置ローテータが必要となる。装置ローテータに搭載される観測装置は、大型観測装置 1 台、小型観測装置数台、ファイバーステージ、オートガイダー、各小型観測装置へ光路を導くピックアップミラーなどとなる。

装置ローテータに要求される精度などは、点源導入精度 3 arcsec、点源追尾精度 0.25 arcsec、視野角設定精度 0.1 deg、視野回転補償精度 60 arcsec となっており、大型観測装置の重量は約 1 t、小型観測装置の総重量は約 150 kg となっている。要求精度を満たして観測装置の荷重にも十分に耐えられる装置ローテータが必要となる。

そこで、ケーブル類の巻き取り方法の検討、要求精度を満たして装置荷重などに耐える形状の検討および構造解析 (静解析、動解析) を行うということを繰り返し、またナスミス台に搭載することからナスミス台に大きなストレスがかからないように極力軽くなるような構造を検討して現在の形状とした。これまでの設計の経緯などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232a せいめい望遠鏡に搭載する分割鏡制御システム

木野勝 (京都大学), 軸屋一郎, 上野幸紀, 新村拓海 (金沢大学), 山田克彦 (大阪大学)

岡山県に設置した「せいめい望遠鏡」には口径 3.8 m の分割主鏡が搭載されている。分割鏡は鏡の加工・輸送が容易になる反面、各鏡面の位置・姿勢を \leq 数 10mm の高い精度で保持することが要求される。望遠鏡の架台は指向方向による重力変形、観測環境の温度変化・風圧などの外乱により $\sim 100 \mu\text{m}$ の変形が見込まれており、これを補正するフィードバック制御システムが不可欠である。

せいめい望遠鏡では内周 6 枚 + 外周 12 枚の花弁型分割鏡を採用しており、各分割鏡は大きさ $\sim 1 \text{ m}$ 、質量 $\sim 70 \text{ kg}$ である。さらに光軸上に置いた直径 880 mm の機械的基準 (副鏡で遮蔽される領域なので光学的には使用しない) を加えた計 19 個が制御対象となる。開発した制御システムでは以下の手順でフィードバックを毎秒 200 回繰り返すことにより 10 Hz 程度までの外乱を抑制する。(1) 72 個の変位センサで分割鏡間の段差を計測、(2) 行列演算により分割鏡あたり 3 つの剛体運動モード (傾き 2 軸・高さ 1 軸) の偏差に変換、(3) それぞれの運動モードに最適化した制御パラメータを用いて各偏差に対する速度指令値を算出、(4) 行列演算によりアクチュエータへの速度指令値に変換。

これまで実験室内において分割鏡 2 枚に相当するダミーウェイトを用いた駆動試験を行ってきたが、望遠鏡架台上に制御システムを移設し規模を拡大した制御試験を進めている。本講演では望遠鏡上に組み上げた分割鏡制御システムの詳細とその性能評価に加え、鏡面の初期位置を決定するための光学センサ類との統合についても併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V233b せいめい望遠鏡の鏡面形状

木野勝, 栗田樹光夫 (京都大学), 高橋啓介 (アストロエアロスペース), 所仁志 (アストロエアロスペース/京都光学)

岡山県に設置した「せいめい望遠鏡」の主鏡には光・赤外線望遠鏡としては世界初の試みである花弁型の分割主鏡を採用している。Keck 望遠鏡などで実績がある六角形と比べ、花弁型の分割主鏡は隙間での回折が特定方向に集中しないという光学的な利点がある半面、面積に対して周長が長く、また角部分が鋭いため研磨が難しい。主鏡全体は直径 3,780 mm の双曲面であり、これが内周 6 枚 + 外周 12 枚に分割される。1 枚あたりの大きさは約 1m、材質はゼロ膨張ガラスセラミックスであるクリアセラム-Z である。この硝材を (有) アストロエアロスペースにおいて超精密研削によって形状誤差 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の非球面形状まで加工した後、小工具研磨と CGH 干渉計を組み合わせた修正加工を繰り返して高精度な鏡面に仕上げた。最終的には研削に要する時間は約 1 週間、その後の研磨工程は約 2 週間と非常に短時間で加工が実現できた。

加工後の鏡が持つ形状誤差に加え、望遠鏡架台への搭載時やその後の経年変化により生じる形状誤差を補正するため、鏡の支持構造にはウォーピングハーネス機能が組み込んである。CGH 干渉計での測定結果から有限要素法で推定したウォーピングハーネスでの補正分を差し引き、18 枚の鏡全体での形状誤差を求めたところ rms ~ 26 nm であった。また得られた鏡面形状から波長 632.8 nm での点拡がり関数を計算し、そのストレール比を求めたところ 85.7% となり、大気揺らぎや他の誤差用因を無視すれば可視光で回折限界像が得られる鏡面であることが確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234b 3点法による平面鏡の精密計測

栗田光樹夫（京都大学）、所仁志（アストロエアロスペース/京都光学）

機械式計測である3点法を用いて平面鏡を計測した。この平面鏡の材料はクリアセラムで、大きさは長軸1041mm、短軸743mmの楕円形である。3点法は相対位置が結束された等間隔の3つのセンサで被検物の局所的な曲率を計測する。被検面を走査し、得られた曲率を2回積分及び逐次することで断面形状を取得する。この作業を被検面全体にわたって行い、データ処理によって面形状を得る。本計測ではセンサの間隔は10mmで、108本の放射状の走査パスを選択した。センサはキーエンス製のSI-Fを用いた。またデータ処理として弾性体の特性を応用したデータステッチ処理（線データから面データを生成）を施した。

6回の独立計測を行い、RMSで10nmの再現性を確認した。また定性的な評価として、 $\lambda/10$ の平面原器による干渉縞を目視し、本計測による結果と比較したところ、双方に矛盾はなかった。この計測と修正研磨を5回繰り返した結果、P-V=1800nmだった形状誤差がP-V=200nm（RMS=30nm）となった。

なお、この平面鏡はせいめい望遠鏡の第三鏡として用いられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235b ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU のせいめい望遠鏡との接続に向けたアップグレード

松林和也, 太田耕司 (京都大学), 泉浦秀行, 神戸栄治, 筒井寛典, 中屋秀彦, 鎌田由紀子 (国立天文台)

我々はファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU の開発を行い、国立天文台 岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡に接続して、銀河や突発天体の観測を行ってきた。より暗い天体を、より早く観測を開始するために、KOOLS-IFU を京都大学 3.8 m 望遠鏡 (せいめい望遠鏡) に接続し、観測するための準備を進めている。本講演では、KOOLS-IFU でより効率的に観測するために実施したアップグレード項目と、せいめい望遠鏡に接続した時の予想性能について紹介する。

国立天文台 先端技術センターの協力の下、検出器を浜松ホトニクス完全空乏型 CCD に、また読み出し回路を MESSIA6 + MFront2 に交換した。読み出しノイズが ~ 5 electron / pixel に低減し、CCD 読み出し前後のオーバーヘッド時間が約 5 + 17 秒に短縮した。また 8000 Å より長波長側で有意なスループット改善が見られた。

波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) がおよそ 600-800 の低分散グリズム 2 個を、プリズムに透過型グレーティングを貼り付けたものから、スループットが高い VPH グリズムに交換した。新旧のグリズムを比較すると、波長分解能は同程度、波長範囲は 2 つのグリズムを合わせて約 4000-8800 Å だったものが約 4000-10000 Å に広がり、スループットは以前のものに比べて約 2 倍以上となった。

せいめい望遠鏡に KOOLS-IFU を接続した際の光学性能は、1 ファイバーあたりの視野が直径 0.91 秒角、全ファイバーを使った視野が対角線で 14.8 秒角となる見込みである。予想限界等級は、積分時間 30 分、波長 6500 Å、足し上げる波長範囲を波長分解能の 8 Å とした場合、約 19 AB mag (S/N = 10) である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236c 拡張フォーコーテスト

和田一馬, 岩室史英 (京大理)

京大岡山 3.8m 望遠鏡用に開発中の近赤外分光器は、バイコニックミラー (曲率が縦方向と横方向で異なる非球面鏡) を用いた光学系で設計されている。現在では、京大岡山 3.8m 望遠鏡の開発過程において、非球面鏡を加工する技術が開発されたため、従来の方法では困難であったバイコニック鏡の製作が容易となった。製作時は機械的な計測でフィードバックをかけており、その精度を確認する意味で光学的にバイコニックミラーの表面形状を確認する方法が必要である。従来の計測方法としては、フォーコーテスト (Foucault, 1859) がある。その原理は、測定したい鏡に光を当て、反射した光をナイフエッジで遮ることで、鏡の局所的な曲率半径を測定できるというものである。しかし、この手法は測定したい鏡がほぼ軸対象であることを前提としており、バイコニックミラーの測定に用いるのは難しい。

そこで我々のグループは、バイコニックミラーのような非球面鏡の表面形状も計測できる新手法 (拡張フォーコーテスト) を考案した。拡張フォーコーテストでは、ナイフエッジの代わりにピンホールを用いて鏡表面の傾きを計測し、形状に沿って積分することによって鏡の形状を求める。我々はバイコニックミラー計測の前段階として、球面鏡 (Meade 40cm) の形状計測を行った。本ポスター発表では、拡張フォーコーテストの計測原理と球面鏡形状計測結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a FOCAS 用イメージスライサー型面分光ユニット ファーストライト報告

尾崎忍夫, 服部堯, Chien-Hsiu Lee, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 岩下光, 田中陽子, 都築俊宏, 岡田則夫, 宮崎聡, 山下卓也, 大淵喜之 (国立天文台)

すばる望遠鏡で稼働中の可視光撮像分光装置 FOCAS 用の面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) が今年 3 月にファーストライトを迎えた。この IFU は遠方銀河などの淡く広がった天体の観測を目指して以下のような特徴を有している。1) 反射面に高反射率誘電体多層膜ミラーを採用することで高いスループットを達成している。2) ベストシーイング程度の適度に粗いサンプリングを採用することで、淡く広がった天体への感度向上を狙っている。3) 対象天体と 5.7 分角離れたスカイのスペクトルを天体データと同時に取得することで、スカイ引きの精度が上がると期待される。この IFU の視野は $13.5 \times 9.89 \text{ arcsec}^2$ 、スライス幅は 0.43 arcsec 、スライス数は 23 である。スライサー型 IFU では光学素子の数が多く (FOCAS IFU では 69 面のミラー)、その製作手法が技術課題となっている。金属を超精密切削で複数ミラーを一体加工すれば、アライメント調整の手間を省け、かつ高いアライメント精度を達成できる。しかし上述の高反射率誘電体多層膜を切削金属表面に施すと、剥離しやすいという欠点がある。そこで FOCAS IFU ではガラスを研磨加工してスライスミラー等の光学素子を製作することにした。しかしこの場合、個々のミラーを個別に加工し、高い精度で組み合わせる必要がある。2017 年秋季年会までに、設計・製作・組立について報告してきた。その後、実験室での性能評価試験、2 月に FOCAS に組み込んで望遠鏡校正用光源を利用した光学性能評価試験、3 月に試験観測を行った。得られたデータは現在解析中であるが、精密位置データのある星団のデータの解析結果から、スライス幅とスライス長はほぼ設計どおりであることを確認できた。本年会ではその他にも確認された FOCAS IFU の光学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](#)

V238c An add-on polarimeter for Subaru/COMICS

Takuya Fujiyoshi (Subaru Telescope), Yoshiyuki Doi (Subaru Telescope), Takashi Hattori (Subaru Telescope)

As an upgrade to the Subaru Telescope facility mid-infrared imaging-spectrometer COMICS, we have been developing a polarimeter optimised for the N -band (8–13 μm). It is an add-on mechanism based on the tried-and-tested (i.e., simple and reliable) design of a warm, rotating half-wave plate (HWP) in front of the entrance window, plus a cold wire-grid analyser inside the dewar. Since the analyser is located in the fore-optics section of the COMICS optical assembly, it can be utilised for both imaging and spectroscopy. At the heart of this instrumentation is a CdS/CdSe achromatic HWP, employed, as far as we are aware, for the first time for astronomical applications. We have recently constructed an apparatus to confirm its retardance and hence to estimate accurately the polarisation efficiency. In this poster presentation, we will describe some of the main components of the polarimeter and summarise our on-going efforts to examine the properties of HWP.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239b Subaru/IRCS 熱赤外偏光観測機能の立ち上げ2 — 偏光分光試験観測結果

本田充彦 (久留米大学), 寺田宏, 工藤智幸, 服部堯 (国立天文台), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 田村元秀 (東大, アストロバイオロジーセンター), 渡辺誠 (岡山理科大学)

我々は Subaru/IRCS に新たな観測機能として $3\sim 5\mu\text{m}$ 熱赤外帯 (L band, M band) における偏光観測機能 (撮像・低分散分光) を追加すべく開発を進めている。8m クラス望遠鏡において、このような機能を実現している装置は非常に少ないため、比較的新しいパラメータスペースと言える。特に、 $3\mu\text{m}$ 帯には H₂O ice 等の固体物質の吸収バンドが存在し、散乱 (偏光) スペクトルの空間分布を探ることができるなどのサイエンスが期待できる。

本計画では、2016 年度から徐々に基本機能を確認する夜間試験観測が遂行されている。昨年度は L' および H₂O ice 狭帯域フィルタを用いた撮像偏光試験観測の結果を紹介し、点源の直線偏光撮像観測の基本機能の立ち上げ状況について報告した。今年度は L-band 偏光分光試験観測結果、および現在の立ち上げ状況について報告する。

まず、偏光標準天体 2 天体 (Cyg No.12, GL2136)、無偏光標準星 2 天体 (HD210027, HD162208) の L バンド低分散偏光分光観測を行い、先行研究との比較を行った。その結果、標準的な波長板 4 position ($0^\circ, 45^\circ, 22.5^\circ, 67.5^\circ$) データを取得する方法では、偏光度スペクトルにリップルが出現することがわかった。このリップルの振幅は天体の偏光度によっても変わるが、偏光度で数%になる場合もあり、問題となることがわかった。

先行研究 (Aitken & Hough 2001, PASP, 113, 1300) によると、このようなリップルは、波長板内での反射による干渉によって生じることが指摘されており、波長板を 8 position ($0^\circ, 45^\circ, 22.5^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 112.5^\circ, 157.5^\circ$) で観測することで除去できる手法が提案されている。そこで、共同利用観測の協力も得て、無偏光と思われる天体 (HR2757) をこの手法で観測し、確かにリップル成分が押さえられることを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V240b すばる望遠鏡主鏡の反射率変化モデル

沖田博文（国立天文台ハワイ観測所）

大型望遠鏡の主鏡は一般にアルミニウムでコーティングされており、その反射率は化学反応と物理的効果によって徐々に低下することが知られている。しかしこれまで適切な測定装置がなかったため経年劣化した主鏡の反射率、特に絶対値の測定や分光データの取得はほぼ不可能で、反射率がどのように変化しているかといった詳細な議論はされてこなかった。

そこで我々はすばる望遠鏡の主鏡の反射率の絶対値の可視分光データを直接、主鏡を望遠鏡に組み込んだままの状態でも測定できるSPS (Subaru Portable Spectrophotometer) と名付けた測定装置を開発し (Okita et al., in preparation)、2017年10月よりデータ取得を行っている。SPSの測定によって、例えば2017年度の蒸着の前後で主鏡の反射率が10%以上異なることが判明し、また短い波長ほど反射率の低下が大きいことが示された。本研究ではSPSの測定で得られたデータから、すばる望遠鏡主鏡の反射率変化について考察した。

検討の結果、すばる望遠鏡主鏡の反射率は「遮蔽」と「散乱」を重ね合わせたモデルで測定結果をうまく説明できることが分かった。現時点では測定データが限られていることから、今後も継続してデータ取得を行う必要があるが、遮蔽率・散乱率の時間変化からこれまでよりも高い精度で反射率を推定することが可能となった。

本研究で得られた反射率変化モデルを用いる事で、個別のクラシカル観測や長期のサーベイ観測の両方において、これまでよりも高い精度で観測計画を立案することが可能となる。また長期間のダウンタイムを伴う主鏡再蒸着の頻度を最適化し、最も効率良く望遠鏡を運用する事も可能となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241b 光赤外線大学間連携事業における初心者向けデータ解析講習会の実施報告

山中雅之, 川端弘治 (広島大学), 他光赤外線大学間連携メンバー

光赤外線大学間連携事業においては、国内外に中小口径望遠鏡を持つ9つの大学及び国立天文台が有機的な連携によって共同して教育・研究活動を進めている。本事業に参画する大学機関においては、突発天体・変動天体を主たる研究対象としている大学院生が多く参画している。従来までの大学院生を対象としたデータ解析指導は各大学機関ごとに委ねられていた。一方で、中小口径望遠鏡で取得されるデータは異なる望遠鏡・装置であっても、解析には共通する基本的項目がいくつか含まれており、ネットワークを使った一斉指導によって、システムティックな指導が可能になると期待されていた。

そこで我々は、TV会議システム zoom を通じて、大学院に入学して間もない大学院生を対象とした初心者向けデータ解析講習会を開催した。講習会は「基本知識と準備」、「バイアス合成・処理」、「フラット合成・処理」、「開口測光」の計4回を実施した。4月に入学したばかりの大学院生を主たる対象としており、IRAF だけでなく Linux/UNIX コマンドにも不慣れな学生を想定した。また、遠隔指導を想定して、独自のチュートリアルも作成した。解析には、広島大学かなた望遠鏡および HOWPol で取得された超新星の撮像データを用いた。異なる5大学から計16名の大学院生が参加した。実施直後にも参加者向けアンケートを実施しており、これらを集計した結果を報告する。また、今後の光赤外線大学間連携を通じたデータ解析講習会についての計画についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V242c 天文データ・アーカイブをクラウド・コンピューティングにより安価に構築する方法の検討

江口智士（福岡大学）

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam、Large Synoptic Survey Telescope、Square Kilometre Array など、天文学分野においてもビッグ・データの波が押し寄せている。国際連携の大型プロジェクトでは、自前で超高性能なハードウェアを調達し、その性能を限界まで引き出すソフトウェアを一から開発することができる。けれど通常は観測装置の開発で手一杯であり、ハードウェア/ソフトウェアの両面でデータの公開は後回しになりがちである。また、想定外の運用期間の延長により、計算機資源の後付が必要になることもある。いっぽう現在では、その時々に必要な計算機資源をクラウド・コンピューティングという形で動的かつ安価に手に入れることが可能になった。本研究ではクラウド・コンピューティングの雄である Amazon Web Services に注目し、この上で動く分散処理フレームワーク “Hadoop” および SQL ライクなデータベース・システム “Hive” を用いて非常に原始的な巨大天文データ検索システムを構築し、クラウド・コンピューティングを天文学分野に適用する際に必要となる技術の基礎的調査を行った。通常のリレーショナル・データベースと異なり、Hive には「パーティション」と呼ばれる、通常ファイル・システムにおけるディレクトリに相当する概念が存在し、この設計がシステムの性能を大幅に左右する。将来的に様々な波長のデータを格納することを前提に、天球を等立体角に分割するアルゴリズム “HEALPix” をパーティション分割に用いたところ、分割パラメータ $N_{\text{side}} = 2^6$ が最適と判明した。また、Hive のファイル形式に Optimized Row Columnar 形式を用いることで、データベースの大幅なサイズ削減と大幅な検索性能の向上を両立させた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243b JVO ポータル開発の進捗

白崎裕治, ザバート 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、野辺山電波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。本講演では、平成 29 年度から平成 30 年度前半にかけての開発の進捗状況について報告する。

(1) これまで ALMA データ専用の QL サービスとして提供していた ALMA WebQL を、汎用 FITS データ閲覧サービスとして 野辺山電波望遠鏡のデータの閲覧もできるよう改修し、FITS WebQL へと改名してサービスを提供している。FITS WebQL は Desktop バージョンも公開されており、利用者自身が保有している FITS データも閲覧することが可能である。(2) VO サービス検索インターフェイスとして、JVOIndex, JVOExplorer の開発を行った。JVOIndex はメタデータから抽出されたインデックスを利用した VO サービス検索インターフェイスである。JVOExplorer は VO サービスの識別子の木構造をたどって VO サービスを検索するインターフェイスである。(3) 野辺山 45m 電波望遠鏡により観測されたレガシーサーベイデータの JVO からの公開を開始した。公開しているデータは銀河面サーベイ (FUGIN)、近傍銀河サーベイ (COMING)、星形成領域のデータである。(4) Gaia DR2 の検索サービスの公開を開始した。Gaia 本家のデータ検索システムよりも、使いやすさと検索速度、大量データ検索機能において優れたサービスを提供している。17 億件からなる Gaia 天体カタログの検索機能の他、Gaia プロジェクトが提供する様々な派生カタログをダウンロードする機能を提供している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244b 8分割位相マスクとバイナリ瞳を併用したコロナグラフ：すばる用の設計

西川 淳 (国立天文台/総研大/AstroBiologyCenter)、村上尚史、渋谷恭平、土生圭一郎 (北大・工)

系外惑星直接観測のための高コントラストコロナグラフは、地上と宇宙の任意の望遠鏡に対して、副鏡、スパイダー、セグメント境界に影響されず、かつ、中心星近くから遠方までの広い観測領域で高コントラストを実現できるものへの開発が続いている。瞳と焦点の両方にやや複雑なマスクを置く方法はまだまだ未開拓である。焦点面に置く8分割位相マスクは、 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ のコントラストが得られる4次の渦位相マスクの系列で最も分割数が少なく、各セグメントが0と π の位相差を持つ製作しやすいものであり、 $1.5\lambda/D$ を観測できるポテンシャルがある。数あるコロナグラフ方式のうち総合的にトップ2の性能と言って良い。しかし、開口が円形でない場合にコントラストが劣化する。その対策として、副鏡の影を埋める光学系や(押山2013年秋季年会)、円形副開口の使用(赤岩2016年秋季年会)があるが、それぞれ、波面精度を得るのが難しい、回折限界分解能が下がる、等の問題があった。第3の方法として、8分割位相マスクとバイナリ瞳の併用法の開発を進めている(渋谷2017年秋季年会)。バイナリ瞳は透過率を0か1にするアポダイザで(単体ではIWAが大きい弱点がある)、Princetonのコードを使わず解いているのは現時点では我々だけである。地上観測では超補償光学を用いても目標の生コントラストが $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であることを考慮し、すばる望遠鏡の瞳形状での設計を行った結果、焦点面の高コントラスト領域の範囲($< 18\lambda/D$)と目標コントラストを設定して、ほぼ問題の無いバイナリ瞳解が得られるようになった。可視光用の8分割位相マスクと試作したバイナリ瞳(設計値 10^{-7})による光学実験では、既に $1 \sim 10\lambda/D$ で 10^{-5} のコントラストを得ている(波面誤差リミット)。バイナリ瞳は広帯域対応であり、別途進めている8分割位相マスクのJHバンドへの広帯域化と合わせれば実用性が高く、SCExAOへの早期投入を計画している。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V245b 8分割位相マスクコロナグラフのための液晶可変アポダイザの開発

渋谷恭平, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

系外惑星観測のための高コントラスト装置として、8分割位相マスクコロナグラフが提案されており、室内試験において高い性能を実証している (村上他、2010年春季年会、W20a)。しかしながら、既存の地上大型望遠鏡に搭載するためには、副鏡やスパイダの遮蔽によりコントラスト性能が悪化してしまうという問題を解決しなければならない。そこで我々は、遮蔽をもつ一般的な望遠鏡での高コントラスト観測を目指し、瞳面アポダイザを用いた8分割位相マスクコロナグラフの開発を進めている (渋谷他、2017年秋季年会、V266a)。本開発において我々は、液晶空間光変調器を直交する偏光子で挟んだ振幅変調モードにより、任意の瞳面アポダイザを発生させる手法 (液晶可変アポダイザ) を提案した。液晶可変アポダイザによる実観測が実現されれば、様々なターゲット天体や観測パラメータに応じたアポダイザを自在に発生させることができる。さらには、個々のアポダイザを製作する時間やコストを抑えられるなどの利点も期待できる。

我々は、すばる望遠鏡での観測を想定し、液晶可変アポダイザと8分割位相マスクコロナグラフを組み合わせた実証試験を進めている。本手法による実観測を目指すうえで解決すべき課題としては、偏光子により光スループットが低下してしまう点や、液晶に波長依存性があり広帯域観測が難しい点などが挙げられる。本講演では、これらの課題を解決するための、光損失のない2チャンネル光学系の提案とその原理実証、さらには広帯域観測に向けた基礎検討などについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246a 液晶空間光変調器を用いたサバール板横シヤリングナル干渉計のためのスペックル除去技術の開発2

河合研弥, 村上尚史 (北海道大), 米田謙太 (北海道大/フジクラ), 小谷隆行 (Astrobiology Center/国立天文台), 河原創 (東京大), 馬場直志 (北海道大), 田村元秀 (東京大/Astrobiology Center/国立天文台)

太陽系外惑星の直接撮像を目指したコロナグラフ装置として、サバール板横シヤリングナル干渉計 (SPLINE) の開発が進められている。SPLINE とは、直交する二枚の偏光子とサバール板で構成されるナル干渉型のコロナグラフで、理論上は恒星光を完全に除去することが可能である。しかしながら実際には、光学素子の不完全性により光波面が乱されることで、恒星光がスペックル状に残ってしまう。これが惑星検出の妨げになるため、恒星スペックル光を強力に除去する技術が必要となる。

我々は、液晶空間光変調器 (LCSLM) を用いてスペックルと逆位相の電場を発生させることで、恒星スペックル光を除去する方法を提案した (河合他、2017 年秋季年会 V264a)。スペックル除去技術としてはこれまで、主に可変形鏡 (最大で 64×64 素子) による開発が行われている。これに対して LCSLM は、その圧倒的に多い有効素子数により、恒星遠方のスペックルも除去できるという利点がある。この利点を活かすことで、惑星探査領域が拡大するだけでなく、連星系の惑星探査などへのサイエンス応用も期待できる。我々は、 512×512 素子の LCSLM を用いた室内実証試験を行い、恒星位置から近い領域でダークホール (スペックルが除去された領域) の形成に成功した。さらに、恒星位置から約 $100\lambda/D$ (λ : 波長、 D : 望遠鏡口径) という極めて遠方にダークホールを形成する実証試験も行っている。本講演では、それらの実証試験について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V247a 小口径望遠鏡用可視補償光学試験装置の開発 3 : ESO La Silla 観測所 1 m 望遠鏡での試験観測

峰崎 岳夫, 河野 志洋 (東京大学), Leonardo Vanzi, Abner Zapata, Mauricio Flores, Sebastian Ramirez (カトリカ大学), Keiichi Ohnaka (北カトリカ大学)

大気揺らぎを補正して望遠鏡の回折限界を引き出す補償光学技術の発展は著しく、大型望遠鏡における近赤外線観測装置を中心に補償光学技術が実用化されてきた。一方で小口径望遠鏡においても波長の短い可視光で補償光学が実現できれば、回折限界の性質により同等レベルの高い角度分解能が達成可能である。近年の技術発展により可変形鏡をはじめとする補償光学の主要部品が比較的安価に入手可能になり、これを使って小口径望遠鏡用の補償光学装置を安価に製作できれば、豊富な観測時間を活かした新しい天文学的応用が期待できる。

そこで我々は小口径望遠鏡における可視補償光学の可能性を実証するため補償光学試験装置の開発と試験観測を行ってきた。開発においては機能実証と性能試験に目標を絞り、小望遠鏡にも搭載可能な軽量コンパクトな装置を比較的安価に製作した。これまで広島大学かなた 1.5 m 望遠鏡、兵庫県立大学なゆた 2.0 m 望遠鏡に搭載して試験観測を行い、補償光学装置による星像改善を確認した (2017 年日本天文学会秋季年会河野講演)。

2018 年 3 月にはカトリカ大学 Vanzi 准教授の研究グループの協力のもとチリ国 ESO La Silla 観測所内の口径 1m 望遠鏡に本装置を搭載し、良好なシーイング下における試験観測を行った。この結果、FWHM= 0.7 – 2.0 arcsec のシーイング条件のもと、本補償光学装置により星像は FWHM で ~ 4 倍、ストレール比で ~ 5.3 倍の改善を示した。最良の条件下では回折限界に近い角度分解能 FWHM ~ 0.18 arcsec を実現し、そのときストレール比 ~ 0.18 に達した。講演では試験観測データにもとづき、本装置の動作状況と星像改善の詳細について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a 極限補償光学装置の開発: 実験とシミュレーションによる制御装置開発

藤田勝, 入部正継 (大阪電気通信大学), 山本広大, 木野勝, 栗田光樹夫 (京都大学)

我々は木星型系外惑星の直接撮像による観測を目的とした、高コントラスト観測装置 Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics(SEICA) の開発を行っており、その実現のためのキーテクノロジーの一つである、時間と空間の分解能を極限まで高めた極限補償光学装置の開発に取り組んでいる。そして現在、我々が開発した制御装置を用いて実験室環境での補償光学実験を行っており、サンプリング周期 990Hz を達成し (2016 年秋季年会 V242a 中村、2017 年秋季年会 V245b 藤田)、最大 SR10 %、平均では約 4 % を達成している。本講演ではこれまでの成果に加え、補償光学系の性能向上のために必要な DM 制御素子選定アルゴリズム改善、フィードバックゲインの最適化を施した実験結果と、それを基に開発したシミュレーション環境の開発について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V249a 極限補償光学装置の開発: FPGA を使用した制御装置の開発

入部正継, 藤田勝 (大阪電気通信大学), 山本広大, 木野勝, 栗田光樹夫 (京都大学)

我々は木星型系外惑星の直接撮像による観測を目的とした、高コントラスト観測装置 Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics(SEICA) の開発を行っており、この観測装置は Thirty Meter Telescope (TMT) の第二期観測装置のテストベッドとしても開発されている。この実現のためのキーテクノロジーの一つが、時間と空間の分解能を極限まで高めた極限補償光学装置である。極限補償光学装置の実現には、超多入力・多出力な制御系を超高速で処理する演算装置が必要となるが、従来研究で使用される制御装置のように汎用コンピュータ(PC)を使用する場合、デバイス間通信によるレイテンシが無視できない。また、限られた時間内で処理が必要な演算量の増大に耐える計算リソースが貧弱であるため、極限補償光学装置にPCを利用するのは困難である。この困難を解決すべく、我々は制御装置にFPGA(Field-Programmable Gate Array)を採用する。これにより、デバイス間通信のレイテンシを最小にし、かつ演算リソースを確保することに成功した。具体的には200usのレイテンシを2.5usに削減し、10kHzの速度で492入力・492出力の制御系を動作させることを可能にした。本講演ではこのFPGAを使った制御装置開発について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V250a シャックハルトマン波面センサーを用いた大気シンチレーション測定

大金原, 秋山正幸, 満田和真 (東北大学), 大屋真 (国立天文台)

我々は、すばる望遠鏡での可視・近赤外線観測のための新しい補償光学装置を開発している。レーザートモグラフィ補償光学と呼ばれるこの新しいシステムは、観測天体の付近にレーザーガイド星を複数打ち上げ、それらからやってくる光の波面を観測し、大気乱流の3次元的な分布を推定することでより精度の良い補償を実現する。しかし、大気の状態は非常に小さな角度スケールで変化するため複数のレーザーガイド星は観測天体のすぐ近くに打ち上げる必要があり、この角度は10秒角程度である。天体から10秒角離れたレーザーガイド星を複数観測し、そこから大気乱流の3次元的な分布を得るためには悪条件の逆問題を解く必要があり、そのためには事前情報としてある程度の3次元分布を与える必要がある。

大気乱流の高さ分布を求める方法としてはMASS(Multi Aperture Scintillation Sensor)と呼ばれる方法がある。この方法は天体からの光の瞬き(シンチレーション)から大気乱流の強度を推定するものであり、マウナケアでの上空大気の大気乱流強度の測定や新しい望遠鏡の設置サイトの調査などに実際に使われている。我々は、MASSの手法を補償光学の波面測定に用いられるシャックハルトマン波面センサーのスポットの強度揺らぎに適用することで、大気乱流の高さ分布を求める方法を新たに開発している。これまでに、各高さの大気乱流の強度に基づいた様々な開口でのシンチレーション指数を求める手法を確立した。現在は、実際にシャックハルトマン波面センサーを含む光学系を東北大学51cm望遠鏡に取り付けて観測したデータから、大気乱流強度の高さ分布を得るための解析を進めているところである。本講演では、これまでの解析結果と今後の研究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](#)

V251b 極限補償光学装置の開発：直接位相計測型波面センサの開発

西岡秀樹、木野勝、山本広大（京都大学）

私達は京大 3.8m 望遠鏡計画の一つとして、太陽系外惑星の直接撮像を目的とした高コントラスト惑星撮像装置 SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics) の開発に取り組んでいる。地上の観測では、大気ゆらぎによる主星光の散乱で惑星の光が埋もれてしまう。そのため、大気ゆらぎにより歪んだ波面形状を測定・補正する補償光学は系外惑星の直接撮像には必須の技術である。私達は $0''.2$ 秒角以遠の木星質量の系外惑星の直接撮像を目指しており、波面精度 60nm (観測波長 $1.2 \mu\text{m}$)・測定頻度 6.5kHz・測定点数 500 の波面測定をもった極限補償光学系が必要になる。この極限補償光学装置は今までの補償光学装置の一桁高い仕様をもつので、より高精度な測定が可能な波面センサを要する。そこで SEICA では上記の仕様を達成するため、直接位相計測による点回折干渉 (PDI) 波面センサを採用している。従来の幾何学的測定 (ex. シャックハルトマン波面センサ) では形状計測による誤差伝搬や計算の問題があったのに対して、直接位相計測は位相シフト法による誤差伝搬のない高精度でかつ簡単な計算処理による高頻度な位相計測を可能にする。本講演では、PDI 波面センサの概要とその開発状況として実証実験の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V252b 惑星観測用補償光学系における波面測定用惑星表面模様の選択方法

寺地慶祐、渡邊誠、石社裕章(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大学 1.6 m ピリカ望遠鏡に搭載予定の太陽系惑星モニター観測用補償光学系を開発している。この補償光学系は地表 0 km と高度 2.6 km にそれぞれ共役した 2 台の 140 素子 MEMS 型可変形鏡および視野 18×18 秒角の 11×11 素子 Shack-Hartmann 波面センサ 4 台を持つ多層共役補償光学系 (MCAO) であり、 $0.5 \mu\text{m}$ より長波長で木星サイズ程度の 50 秒角の視野に渡り 0.4 秒角程度の分解能の達成を目標としている。この MCAO では、惑星表面模様を波面測定用参照光源とし、惑星模様の像の動きの相関追跡により波面測定する。

惑星表面模様を波面測定に使用する場合、その波面測定誤差は複数のパラメータ (模様の明るさ、コントラスト、模様の形状の自己相関関数の広がり) に依存する。また、観測位置と波面測定位置の距離が離れると大気ゆらぎが異なるため、補正精度は参照光源の配置に依存する。そこで、我々は、波面補正誤差が視野全域に渡って最も小さくなる、複数点の波面測定用惑星表面模様の最適な組み合わせの選択方法として、次の方法を検討している。まずあらかじめ、波面測定誤差を無視した場合について、視野全域を一様に最も良く補正できる参照光源の理想的な配置をシミュレーションから求めておく。観測開始時あるいは観測中に惑星画像を取得し、画像上の様々な位置にある表面模様について、それぞれ、その模様を使って波面測定した場合の波面測定誤差を見積もる。それらの模様のうち、理想的な配置に近く波面測定誤差の小さい模様の組み合わせを列挙し、各組み合わせについて、その組み合わせを MCAO に用いた場合の視野内の各点における波面補正誤差を見積もる。そして、その波面補正誤差の視野全域に渡る平均値が最小となる組み合わせを最適な表面模様の組み合わせとみなす。本講演では、この方法の実装とこの方法で選択された模様が最適であるかを評価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](#)

V253b すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学の開発 (II)

満田和真, 秋山正幸, 櫻井大樹, 大金原, 大本薫 (東北大), 美濃和陽典, 大屋真, 大野良人 (国立天文台), 山室智康 (オプトクラフト)

レーザーガイド星を用いた補償光学システムでは、有限の高度に存在するレーザーガイド星からの円錐状の光路が無遠に存在する天体の円柱状の光路をカバーできないこと(円錐効果)で天体光の波面補正が不完全になり、自然ガイド星を用いた場合に比べると補償性能が低くなる。特に、円錐効果が大きくなる大口径の望遠鏡や波面誤差の影響の大きな可視光域では、レーザーガイド星補償光学の性能を制約する大きな要因となる。トモグラフィー補償光学では、複数のレーザーガイド星を用いて、円柱状の領域をカバーする波面測定を行い、トモグラフィーの手法で大気揺らぎを高さ方向に分解して推定し、天体の方向に最適化した補償を行うことで、円錐効果による性能の制約がなくなり自然ガイド星を用いた場合と同程度の補償性能が実現できる。我々はすばる望遠鏡のレーザートモグラフィー補償光学として、レーザーガイド星4個を20秒角程度の間隔で用意し、4台の波面センサーによる測定を行うシステムの開発を進めている。補償光学装置全体としての光学設計の大枠は決まっており、装置の各部分についても設計・制作が行われつつある。レーザーガイド星4個を打ち上げるための高出力レーザーは国立天文台ハワイ観測所ヒロの実験室で必要な出力が得られることが確認された。また、波面センサー部分についてはシャック・ハルトマン波面センサーのプロトタイプ1台を設計・制作し、実験室での立ち上げを行っている。本講演では、補償光学装置全体およびレーザーや波面センサーなどの各部分についての開発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](#)

V254a 太陽 SLODAR によるゆらぎ層分布推定へのスパースモデリングの導入

三浦則明, 菊池駿, 鈴木貴博 (北見工大), 山本大二郎, 野澤恵 (茨城大), 萩野正興 (国立天文台), 上野悟, 一本潔 (京大理)

太陽 SLODAR (Slope detection and ranging) 法では、比較的広い視野をもつ Shack-Hermann (SH) センサーを用いて太陽黒点群を観測する。離れたサブアパーチャ上で異なる黒点が同調した動きを示すとき、その同調の度を時間相関によって評価することで揺らぎの高さ方向の計測値を得る。このとき、使用する黒点のペアを変えると、計測する高さ方向の刻み幅と計測可能な最大高さが増えるため、多くの黒点ペアを用いるほど情報量を増やすことができる。

我々は、2017 年 6 月に飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡に SH センサーを設置し観測を実施した。早朝から夕方までわたって太陽を追尾しながら、およそ 15 分おきに 2 万枚のフレームを取得した。この解析結果については、すでに 2017 年秋季年会で報告した。昨年の時点では、計測データから Cn_2 の高さ分布を導出する際、高さ方向を幾つかの区間に区切り、それぞれの区間内では揺らぎの強さが一定であると仮定して処理した。しかしながら、この仮定は比較的強い揺らぎ層が不連続的に分布するという従来の大気モデルとは異なっている。

そこで、我々はデータ解析にスパースモデリングを導入することを試みた。強い揺らぎを持つ層は不連続的にとびとびで分布しており、その数は有限であり多くないと仮定する。つまりスパース性が成り立っていると考えられる。我々のアルゴリズムは、SLODAR 計測のモデルに合致する解の中で、 L_0 ノルム (揺らぎ層の数) が最小になるものを求めるものである。

当日は、スパースモデリングによる解析結果を示すと共に、同時観測した SHABAR との比較も報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V255b GLAO と画像処理による広視野太陽像回復の実験

鈴木貴博, 三浦則明, 澁谷隆俊, 桑村進 (北見工大), 大屋真 (国立天文台), 馬場直志 (北大), 上野悟, 仲谷善一, 一本潔 (京大理)

我々は、地表層補償光学 (GLAO) と Phase Diversity (PD) 法による画像処理とを組み合わせることで、大気揺らぎを克服し、広視野での太陽像回復を実現することを目指している。

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 1F に GLAO 用の波面センサーを設置し、2F の常設 AO 系中の可変形鏡を動作させることで、GLAO 実験系を構築した。センサー画像上で波面計測のターゲットとなる黒点を複数指定し、それぞれで波面計測を行い、得られた結果を平均したものを地表層波面位相として使用した。4 点を使用した場合で装置は 600Hz 以上で動作した。実験の結果、太陽像が広い視野で回復されていることを確認できた。しかしながら、従来 AO との比較において、ターゲットから遠い領域での画像改善が顕著に見られないことも判明した。主な原因は、参照点を 1 点のみ使う従来 AO に比べて動作周波数が低下したためと考えている。

GLAO では地表層のゆらぎのみを補正するので、観測像には上空揺らぎ層の影響が残ったままになっている。これをさらに PD 法によって画像処理することで、さらなる画像改善を実現する。飛騨天文台 1F に PD 用光学系を設置し、AO を動作させながらデータ取得を行った。これを開発した PD 法で処理した結果、画像のコントラストを大きく改善することに成功した。なお、データ処理には独自に開発した計算機クラスタを用いている。

GLAO を用いた観測を学会直前の 9 月にも予定しており、可能であればその結果も報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V256b 太陽シンチレーションモニタによる高度依存調査

浜屋ひかり, 宮良碧, 小野寺幸子 (明星大), 山本大二郎, 野澤恵 (茨城大), 木村剛一, 仲谷善一, 大辻賢一, 一本潔 (京都大), 萩野正興, 篠田一也, 日々野由美 (国立天文台), 三浦則明 (北見工大)

天体を地上から観測する際、空間分解能は望遠鏡の回折限界よりもシーイングと呼ばれる地球大気擾乱による影響に依存する。口径の大きい望遠鏡を建設する場合、この擾乱の影響を最小限にする工夫が必要がある。

本研究ではシンチレーションをモニターする SHABAR(SHAdow BAnd Ranger) と呼ばれる装置で、複数の光センサーを用いて太陽光の変動から高度に依存したシーイング大気擾乱の導出を行っている。

我々は茨城大学が開発した SHABAR を用いて、明星大学上空の大気擾乱を表すフリードパラメータ (r_0) の測定を行っている。その結果、地上から高度 10m 付近のフリードパラメータの値が不連続に変動していることを発見した。この不連続変動の原因を調査するため、2つの同じ仕様の SHABAR を作成し、2018年5月14-16日に京都大学飛騨天文台で実験的観測を行った。一方は、地上から高さ 16m にある京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡に環境ノイズを避けるように設置し、他方は SMART 望遠鏡の傍らの地上において同時観測を行った。

本稿では、これらの同時観測の結果を比較し、観測に対して最も大気擾乱の影響が大きいと考えられる地表から高度 20m までの不連続変動の原因調査の報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V257b 太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発

宮良碧, 浜屋ひかり, 小野寺幸子 (明星大), 萩野正興, 日比野由美 (国立天文台), 山本大二郎, 野澤恵 (茨城大), 大辻賢一, 一本潔 (京都大), 三浦則明 (北見工大)

光学望遠鏡を用いた天体観測において地球大気擾乱による屈折率の変化は精度の高い観測の妨げになる。特に、望遠鏡が大型化する昨今においては補償光学などの技術が必要不可欠となっている。しかし、これらの装置は高額で大型のものが多く、大学の研究室レベルで扱えるほど一般的とは言えない。そこで、我々は太陽像からシーイングサイズを測定する手法を開発してきた。

2018年3月6日に国立天文台太陽フレア望遠鏡 H α 全面像の+3.5Å のデータを用いてシーイングサイズと関連するパラメータを二つの方法で定量的にモニターする手法を開発した。一方は、観測された太陽リムの位置の真円からのズレ量がシーイングを表しているものと仮定するものである。他方は、観測された太陽リムの光度分布と周縁減光のモデルを比較し、地球大気擾乱による屈折率の変化を点像関数として導くものである。

本稿では、この二つの手法から導かれるパラメータを比較しシーイングサイズを求める過程を議論する。これらの手法により太陽像によるシーイングを定量化することができたが物理パラメータとしての汎用性に欠けるため、同時観測されたシンチレーションの観測とも比較し、この測定方法の精度を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V258c 西はりま VTOS によるスペックルデータを用いた連星の測定と評価

桑村進, 小野翔太郎, 三浦則明 (北見工大), 圓谷文明 (西はりま天文台), 坂元誠 (子ノ星教育社), 馬場直志 (北大)

スペックル干渉法は、大気揺らぎで劣化した多数枚の短時間露光像 (スペックル像) から、物体の回折限界像のパワースペクトルを回復する方法で、補償光学の適用が難しい可視域における、より高空間分解能な像回復法として威力を発揮する。連星に適用した場合、位置天文学的測定から軌道が求められる。軌道測定は、恒星質量の情報が直接得られる殆ど唯一の方法である。二星の質量に加え、測光学的測定から両星の光度に関する情報も同時に得られる。分離角がシーイング限界以下の連星に対するこれらの測定値を含めることで、恒星の質量光度関係の精度が向上し、恒星進化理論の発展に寄与する。また、最新の電子増倍型 CCD (EMCCD) カメラによるスペックル観測から、上記と同様の手法を用い、系外惑星の偽陽性テストを行うという研究も行われている。このように、スペックル干渉法は、補償光学と相補的に現在も利用されている。

これまで我々は、西はりま天文台なゆた望遠鏡 (口径 2m、F/12) に設置した、EMCCD 搭載の観測装置 VTOS (visible target observation system) を使って、様々な天体クラスに対してスペックル観測を行ってきた。連星については、分離角 $1''0.1''$ の十数個を観測し、データ処理および測定を行ってきた。測定では、まず、軌道が正確に分かっている連星を用いて分離角と位置角の較正を、補助データ (ダークと低照度フラット) を用いて検出器雑音による等級差の系統誤差補正 (バイアス補正) を行う。その上で、物体パワースペクトルを求め、フリンジモデル当てはめを行い、連星のパラメータ値を推定する。今回我々は、スペックル雑音と検出器雑音による伝搬誤差の評価式を雑音モデルに基づいて導出し、上記の推定値に含まれる偶然誤差に対する評価を行ったので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V259c スペックル干渉法における物体パワースペクトル推定誤差の補正と評価

小野翔太郎、桑村進、三浦則明（北見工大）、馬場直志（北大）

地上望遠鏡で天体観測を行なった場合、大気揺らぎによって像は劣化してしまう。劣化した観測像をソフトウェアで後処理し、望遠鏡の回折限界像の回復を行う代表的な方法として、天体スペックル干渉法がある。天体スペックル干渉法とは、大気揺らぎで劣化した多数枚の短時間露光像（スペックル像）から、元の天体像のパワースペクトル（物体パワースペクトル）を推定する方法である。スペックルデータに含まれる雑音は、物体パワースペクトル推定に伝播し、系統誤差および偶然誤差として現れる。これらの誤差に対する補正と評価は、物体パワースペクトルから導かれる様々な天文学的パラメータ値の信頼性確保とその定量的判定において重要となる。物体パワースペクトル推定の誤差要因となる雑音源として、スペックル雑音と検出器雑音がある。推定誤差の補正と評価は、これらの雑音特性を考慮して行われるべきである。

本研究では、これらの雑音に対するモデルを仮定し、それらに基づいて、同雑音による物体パワースペクトル推定の誤差を補正または評価する公式を導出した。我々はこれまで、低光下用の電子増倍型 CCD (EMCCD) カメラをスペックル観測で使用してきたが、検出器雑音に関しては、実際に使用しているカメラの撮像データに対して構築した雑音モデル（桑村他, 2016 年度秋季年会）を用いた。また、スペックル雑音に関しては、Korff らによるモデル (Korff et.al., Opt.Comm., Vol.5, p.187, 1972) を仮定した。更に、シミュレーション実験によって、今回導出した公式の有効性を検証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V260a 重力波検出器による階層的な観測ネットワークを用いた連星合体の早期方向特定性能の見積もり (II)

藤井善範 (東京大学), Frederique Marion(LAPP), Raffaele Flaminio(CNRS/LAPP, NAOJ)

重力波は光速で伝播する時空の歪みであり、コンパクト連星の衝突合体といった激しい天体現象が起こった際に放出される。重力波による時空を歪みは非常に小さいため、その直接検出は困難であったが、2015年に米国の重力波望遠鏡 Advanced LIGO により、ブラックホール連星の衝突合体からの重力波が初観測された後、2017年までに複数の重力波の直接検出がなされ、現在、重力波による新たな天文学が拓かれようとしている。このうち、有力な重力波源と考えられている中性子星連星合体や超新星爆発では、重力波とともに電磁波も放出されると考えられており、重力波の信号を用いて波源位置を早期に特定し、光学望遠鏡でのフォローアップ観測を早期に行うことができれば、天文学の更なる発展が期待される。重力波検出器による波源の方向特定には、複数台の重力波検出器間でのコインシデンス解析を用いるが、建設完了時期より重力波検出器の感度は異なることが想定され、感度の低い検出器をより有効に利用するためには、解析に用いる信号の閾値を調整する必要がある。その閾値を全ての検出器で等しく設定すると、すべての検出器でのコインシデンスを取ることは困難となるが、これに対して、感度の高い検出器間でコインシデンスが取れた信号に関してのみ、感度の低い検出器の信号をより低い閾値で用いる、階層的な観測ネットワーク解析を行うことで、感度の低い検出器をより有効に活用することができると思われる。

本講演では、連星合体からの重力波に対する、日本の検出器 KAGRA を含めた重力波検出器による早期方向特定のための階層的な観測ネットワークの概要と、予測される方向特定性能のシミュレーション結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V261a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の防振系

谷岡諭, KAGRA collaboration

KAGRA は岐阜県神岡の地下に設置された基線長 3km の重力波望遠鏡であり、既に重力波の直接検出に成功したアメリカの LIGO や、ヨーロッパでの VIRGO と同じレーザー干渉計型の観測装置である。この種の装置では、マイケルソン干渉計の腕の長さの差を精密に測定し、重力波による光路長の変化をとらえる。このため、重力波以外の要因で干渉計を構成する鏡が揺れてしまうと雑音となって現れる。重力波をとらえるためには、重力波信号以外のすべての雑音を、信号よりも小さく抑えることが必要である。

重力波望遠鏡の主な雑音のひとつに地面振動がある。地震や海の波、人の活動などさまざまな要因によって地面は常に揺れており、これは常微動と呼ばれる。観測装置を地下に建設することにより地面振動は静かになるが、微小な重力波を検出するには依然として地面振動による鏡の揺れの低減が必要となる。

地面振動による鏡の揺れを低減するために、重力波望遠鏡の主要な鏡は振り子や反バネ、倒立振り子などを組み合わせた防振系によって吊るされる。KAGRA で用いられる防振系は、Type-A(4 台)、B(4 台)、Bp(3 台)、C(8 台) の 4 種類がある。2018 年 6 月の時点では、Type-A は Y フロントと呼ばれる干渉計の腕の中央部分 1 台を除く 3 台がインストールされ、Type-B ではビームスプリッターとシグナルリサイクリング用の防振系の計 2 台のインストールが終わっている。Type-B を簡略化した Type-Bp、および Type-C は既にすべてのインストールが完了されている。9 月には Type-A のもう 1 台が Y フロントに、Type-B の残り 2 台もインストールされている予定である。本講演では、これらの防振系の概要と現況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V262a 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, 齋藤正雄, 遠藤立樹 他 (国立天文台), Henry Yang, Ed Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Greg Fahlman 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力を実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。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 (CDUP) の承認を差し戻す判決を出したことにより、現地工事は中断した。TIO とハワイ大学は、2017 年 9 月 28 日に CDUP の再承認を得ることができたが、10 月には TMT 建設反対派から、CDUP 承認は不適切との訴訟が起こされた。保護地区を管理しているハワイ大学から TIO への土地の転貸借 (サブリース) に関して起こされていた訴訟とあわせて、現在ハワイ州最高裁において 2 件の審理が続いている。サブリースについては 2018 年 3 月に最終口頭弁論が終了し、7 月頃に最高裁の判決が出る見込みである。また、CDUP については、6 月 21 日に最終口頭弁論が予定されており、この秋に判決が出る見込みである。TIO は、2018 年 4 月の現地建設再開を予定していたが、慎重を期して裁判の動向を見るために 4 月の評議員会では再開決定を見送り、8 月の評議員会で再開時期等を審議する。

TMT の進捗状況としては、国内では主鏡材の製造と非球面研磨の加工が順調に量産され、海外への主鏡材の出荷も進んでいる。望遠鏡本体は詳細設計を終え、2018 年度から製造のための図面作成を進めている。第一期観測装置 (IRIS, WFOS) は、設計・検討・開発を先端技術センターで進めている。海外でも、ドームの製造準備および補償光学装置の詳細設計、主鏡研磨および主鏡分割鏡支持機構の量産に向けた準備、第三鏡の設計などが進んでいる。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](#)

V263a SuMIRe-PFS[11]-プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2018 年秋季

田村直之 (東京大学カブリ IPMU), ほか PFS プロジェクトオフィス、PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野多天体分光器である。すばる主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーに天体や空からの光を導入し、「青」「赤」「近赤外」3つのカメラからなる分光器システムで 380nm から 1260nm の波長範囲に及ぶスペクトルを一度に取得する。PFS と、すでに稼働中の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は SuMIRe 計画 (“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts) の両輪であり、遠方銀河と星の広天域巨大統計から、ダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成、進化の物理過程に迫るのが目的である。PFS の開発は、東京大学カブリ IPMU を中心とした国際チームにより、2019 年半ばの試験観測開始、2021 年中の科学運用開始を目指し進められている。最近では、主焦点におけるファイバー配置の際、ファイバーの位置を正確に測定するためカセグレンに搭載されるメトロロジカメラが台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) から今年 4 月にハワイ観測所に輸送された。その後山頂でコミッショニング作業が続けられ、5 月に再組み上げ並びに光学調整を完了し、6 月には望遠鏡に取り付けての動作確認が行われた。並行して山頂での計算機インフラや制御ソフトウェアシステムの立ち上げも急ピッチで進んでいる。その他、コブラ 57 本ずつを搭載したモジュールの組み上げがカリフォルニア工科大学において進んでおり、うち 1 台は ASIAA へ輸送され主焦点装置 (PFI) への取り付け、試験の準備が進められている。分光器は、赤カメラのみを使った試験がほぼ完了し、青カメラを同時搭載しての調整、試験へ移行するとともに、近赤外カメラの開発も急ピッチで進められている。本発表では、こうした装置開発の最近の進捗を中心に、サーベイ観測計画立案も含めた今後の予定について紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V264a SuMIRe-PFS[12]-サーベイ計画の現状とサーベイシミュレーターの開発

矢部清人, 田村直之, 高田昌広, 安田直樹 (東京大学 Kavli IPMU), ほか PFS プロジェクトオフィス, PFS コラボレーション

すばる望遠鏡次期観測装置のひとつである超広視野多天体分光器 Prime Focus Spectrograph (PFS) は 2021 年中の科学運用開始を目指し現在開発が進んでいる。その直径約 1.3 度という広視野、ファイバー数約 2400 本という multiplicity から、PFS は大規模なサーベイ観測にその威力を発揮すると考えられ、実際に我々はすばる戦略枠観測 (SSP) の枠組みにおいて、大規模分光サーベイ観測計画の立案を現在進めている。このサーベイ観測では、1. 観測領域が広い領域に分布し、観測可能な時期が異なる 2. 様々な科学目標を持ち、様々な優先度を持つ天体が同一視野に混在する 3. それぞれの天体の必要とする観測時間が異なる 4. 観測時期や期間に制約を持つ可能性がある、などという複雑な状況が考えられるが、これらの点を踏まえ、最終的な科学的成果を最大限引き出すべく、ひとつのサーベイプランに落とし込むことが現在の課題である。

現在、我々は PFS サーベイシミュレーターの開発を行いながら、SSP サーベイ観測のシミュレーションを行っている。これは、与えられた観測ターゲットおよび必要な観測時間などをもとに最適な観測計画を提示し、データベースシステムやファイバー配置ソフトなど、運用時に実際に用いる予定のソフトウェア類を可能な限り利用しながら、観測ターゲットの選定から、得られたデータの品質保証を経て、その後のターゲットの選定に至るまでの end-to-end のプロセスを再現しようとするものである。また、seeing や大気透明度などの気象条件を観測時期に応じた統計を用いることなどで、より現実的なシミュレーションを目指している。本講演では SSP サーベイ計画の現状について報告し、現在開発中のサーベイシミュレーターの詳細について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V265a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発進捗：すばる望遠鏡でのファーストライト

本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 河野志洋, 櫛引洸佑 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 上塚貴史, 大澤亮, 内山允史, 森智宏, 吉田泰 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

東京大学天文学教育研究センターでは、南米チリ・アタカマ高地のチャナンツール山山頂の標高 5640m に 6.5m 赤外線望遠鏡を設置する東京大学アタカマ天文台 (TAO) プロジェクトを推進している (PI: 吉井讓)。その高い標高と乾燥した気候のため、近赤外線から遠赤外線波長にかけて非常に高い大気透過率が実現される。

その第一期観測装置の一つとして開発が進められているのが Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph (SWIMS) である。SWIMS は波長 0.9–2.5 μm の近赤外波長域をダイクロイックミラーにより 2 つに分けることにより、1.4 μm を境とした 2 色同時撮像と、波長分解能 $R \sim 1000$ での多天体分光により近赤外波長全域のスペクトルを一度の露出で取得するという特徴を持っている。

SWIMS は TAO 6.5m 望遠鏡の完成に先立ち、2017 年度より国立天文台ハワイ観測所に持ち込まれ、機能・性能試験観測の準備が進められてきた。その結果、2018 年 5 月 29 日から 6 月 1 日かけてすばる望遠鏡に搭載し、撮像及びロングスリット分光のファーストライト観測を行うことに成功した。

本講演では最新の SWIMS の開発状況を概観するとともに、試験観測によって得られた性能評価の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](#)

V266a 近赤外撮像分光装置 SWIMS 用多天体分光マスク設計

櫛引洸佑, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 河野志洋 (東京大学), 田中巻, Matthew Wung (国立天文台ハワイ観測所)

SWIMS(Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) は東京大学がチリのアタカマ高地チャナトール山山頂に建設中の TAO6.5m 赤外望遠鏡の第一期装置である。5640m という高い標高と乾燥した気候によって得られる大気の窓を生かし、 $0.9\mu\text{m}$ から $2.5\mu\text{m}$ までの近赤外領域において連続的な二つの波長帯で同時に撮像または分光することができるという特徴を持つ。SWIMS は近赤外観測装置であるため、検出器はおよそ 80K まで、再結像光学系のコリメーターユニットではおよそ 130K にまで冷却される。そのため各部で冷却した際の収縮を考慮した設計が必要となる。冷却の影響を受けるものの一つに多天体分光用のスリットマスクがある。多天体分光マスクは厚さが約 $100\mu\text{m}$ 、半径 111mm の円の両端を切り落としたアルミニウム合金プレートがマスクホルダーに収納された構造になっている。SWIMS の焦点面に導入され、およそ 140K 程度にまで冷却されると考えられる。正確に複数の天体をスリットに導入するためには収縮を考慮した設計が必要となる。

今回、我々はすばる望遠鏡で 2018 年 1 月に予定されている SWIMS の分光モード試験観測に向けて多天体分光マスクを設計するため、マスク素材の冷却収縮試験を行った。SWIMS の焦点面を模した環境を実験用デューワー内に構築し、そこにピンホールマスクを乗せ背面から電球で照らすことでピンホールの位置測定を行い、その位置から収縮を計測した。試験したプレートの材質は $100\mu\text{m}$ 厚の純アルミニウム板と Acktar 社の spectral black をコートした $125\mu\text{m}$ 厚のアルミニウムの 2 種類である。本講演では実験によって得られた二つの素材の冷却収縮特性とその結果として SWIMS 試験観測用に設計したスリットマスクについての報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V267a ボールエンドミルを用いた SWIMS-IFU 用鏡面の超精密加工

河野志洋 (東京大学), 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 尾崎忍夫, 都築俊宏 (国立天文台), 本原顕太郎, 高橋英則, 北川祐太郎, 小西真広, 加藤夏子, 寺尾恭範, 櫛引洸佑 (東京大学)

現在、東京大学天文学教育研究センターでは、東京大学アタカマ天文台 (TAO) プロジェクトとしてチリのチャナントール山に建設中の 6.5m 赤外線望遠鏡に搭載する近赤外撮像分光装置 SWIMS を開発している。SWIMS では撮像・多天体分光観測モードに加えて、面分光観測モードの実装を計画しており、面分光ユニット (SWIMS-IFU) はスリットマスクと同様に取り扱える小型かつ軽量の設計となっている。スリット幅は $\sim 0.5''$ 、波長分解能は $R \sim 1000$ であり、既存の近赤外面分光装置の中で最大の視野 $17.2'' \times 12.8''$ を有している。

SWIMS-IFU は複雑な形状をした 3 つのミラーアレイを有しており、これらの相対的な位置ずれを減らすために各ミラーアレイを一体加工することを予定している。さらに、表面精度として $PV < 100 \text{ nm}$, $RMS < 10 \text{ nm}$ といった高い精度が要求されている。我々はこれらのミラーアレイの加工を超精密加工によって実現することを目指しており、これまでに角度の異なる 26 面の平面鏡で構成されたスライスミラーに関しては、フラットエンドミルを用いることで製作可能であることが確認できている。

本講演では、フラットエンドミルでは加工が困難な球面鏡や軸外し楕円面鏡で構成された他のミラーアレイの製作可能性検証を目的として、自由度の高い加工が可能なボールエンドミルを用いた超精密加工による試験加工の結果について報告する。本加工では NiP メッキを施したアルミの加工に加え、RSA6061 と呼ばれる特殊なアルミ合金を用いて行った。両者ともに要求精度を満たす鏡面が得られることを確認した。RSA6061 を鏡面に、A6061 を支持構造に用いることで熱膨張係数の差をなくし、冷却下での形状変化を小さくことが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V268a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗: Aquarius 検出器の運用最適化とすばる望遠鏡でのファーストライト

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 内山允史, 森智宏, 吉田泰, 尾中敬, 左近樹 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 田中培生, 本原顕太郎, 田辺俊彦, 峰崎岳夫, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 高橋英則, 小西真広, 寺尾恭範, 河野志洋, 櫛引洸佑 (東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)

Mid-Infrared Multi-Field Imager for gaZing at the UnKnown Universe (MIMIZUKU) は、東大天文センターが南米チリ・アタカマ高地に建設中の東京大学アタカマ天文台 (TAO; PI: 吉井讓) の 6.5-m 望遠鏡に搭載する第一期中間赤外線観測装置である。MIMIZUKU は 2–38 μm の波長帯における撮像・低分散分光を可能とし、高精度の大気透過率較正を実現するフィールドスタッカー機構を利用し、中間赤外線長期モニタリングを実現する。

TAO 6.5-m 望遠鏡の完成に先立ち、フィールドスタッカー機構による高精度観測の実証を目的とした試験観測を国立天文台のすばる望遠鏡にて予定しており、その最終調整を現在ハワイ観測所にて実施している。観測で使用する Aquarius 検出器には、(1) ある照射輝度にて出力カウントがオフセットする、(2) ある出力カウントで飽和限界とは関係なく線形性が崩れる、という問題が確認されていた。これらを回避するために検出器の駆動温度とバイアス電圧を最適化した結果、検出器温度を 8 K 以上とし、高めの検出器バイアスを設定することで、これらの問題を回避しかつダイナミックレンジを確保して運用できることを確認した。本講演では検出器運用の最適化について報告するとともに、2018 年 7 月 2–4 日予定のすばる望遠鏡でのファーストライト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](#)

V269a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発進捗: 二視野合成機構 Field Stacker の試験と水蒸気量の短期変動による影響

内山允史, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮, 吉田泰, 酒向重行, 森智宏 (東京大学)

地上からの中間赤外線観測で大きな問題となるのは、大気中に含まれる水蒸気である。天体からやってきた光は大気中の水蒸気によって吸収されたのちに地上に届く。ゆえに水蒸気量の変動によって観測中に大気透過率が変わることとなり、これは測光誤差につながる。これまでには水蒸気量が比較的長期間（数分または数時間）で変動することが知られており、観測対象と参照星の頻繁な切り替えを行うなどして対策がとられていたが、水蒸気量の短期間（数秒）の変動については議論されていない。本研究では、miniTAO/MAX38 によって得られた実際の観測データを用いて、TAO サイトにおける水蒸気量の短期変動とそれによって発生する測光誤差について評価を行った。結果、中間赤外線観測を行う際に発生する測光誤差は多くの場合で 0.3% 未満であったが、場合によっては 2-3% と無視できないレベルで発生していることが分かった。

水蒸気量の短期変動の影響を取り除く唯一の方法は、観測対象と参照星を同時に観測することである。我々の研究室では TAO 6.5 m 望遠鏡用の第一期中間赤外線装置 MIMIZUKU を開発しており、これには世界初の二視野合成機構 Field Stacker が搭載されている。Field Stacker は TAO 望遠鏡の視野 $\phi 25$ 分角の中から $1' \times 2'$ の二領域を切り取り、二天体同時観測を可能とする。これにより水蒸気量の短期変動による影響を低減し、高精度な測光観測の実現が期待される。MIMIZUKU は現在ハワイに運ばれ、すばる望遠鏡に搭載しての試験観測が 7/2-4 に予定されている。装置の各種試験は完了しており、天体の導入も問題なくできる見込みが立っている。今回の発表では Field Stacker 試験の結果と、水蒸気量の短期変動の影響、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](#)

【V3. 観測機器】

9月20日(木) 午前(10:54-11:30) [F会場]

V301a 10:54 X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の開発の現状 II 石崎欣尚(首都大学東京)

V302a 11:06 X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve 冷却系開発の現状 江副祐一郎(首都大学東京)

V303a 11:18 X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の軌道上デブリ防護 野田博文(東北大学)

9月20日(木) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V304a 13:30 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用試作 CCD の性能評価(1) 林田清(大阪大学)

V305a 13:42 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の放射線耐性 中嶋大(関東学院大学)

V306a 13:54 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の遮光性能 内田裕之(京都大学)

V307a 14:06 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(7) 中澤知洋(名古屋大学)

V308a 14:18 Pt/C 多層膜ブラッグ反射による低エネルギー X線用分光器の開発と X線測定環境での実用化 武尾 舞(首都大学東京)

V309b 14:30 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用試作 CCD の性能評価(2) 岩垣純一(大阪大学)

V310b 14:30 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用試作 CCD の性能評価(3) 米山友景(大阪大学)

V311b 14:30 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の放射線耐性(2) 佐藤仁(宮崎大学)

V312b 14:42 X線天文衛星代替機(XARM) 搭載軟 X線撮像装置の CCD 駆動回路(FE)の開発 山岡和貴(名古屋大学)

V313b 14:42 X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve のゲートバルブ用電磁弁及び機械式冷凍機冷却ファンの性能評価 佐藤浩介(埼玉大学)

V314b 14:42 地球磁気圏 X線撮像計画 GEO-X の現状 江副祐一郎(首都大学東京)

V315b 14:54 太陽 X線観測ロケット実験 FOXSI-3 搭載薄膜フィルター開発 三石郁之(名古屋大学)

V316b 14:54 Super DIOS 衛星搭載 X線望遠鏡の検討 大塚康司(名古屋大学)

V317b 14:54 高角度分解能 X線望遠鏡の開発 津久井豊(立教大学)

V318b 15:06 断熱消磁冷凍機を用いた X線マイクロカロリメータ動作環境の構築(6) 田中桂悟(金沢大学)

V319b 15:06 X線多重像干渉計 MIXIM の開発現状(2) モデルプランの策定と概念検討 林田清(大阪大学)

V320b 15:06 可視光用微小ピクセル CMOS 検出器による X線偏光検出 朝倉一統(大阪大学)

V321b 15:18 南極周回気球による硬 X線偏光観測ミッション X-Calibur の現状と今後 内田和海(広島大学)

V322b 15:18 GRAINE2018 豪州気球実験における時刻付与機構多段シフター報告～搭載エマルジョンフィルムの研究開発～ 松田菖汰(神戸大学)

V323c SMILE-2+ : 広視野 MeV ガンマ線望遠鏡の性能評価と 2018 年豪州気球実験 高田淳史(京都大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [F会場]

V324a	09:30	ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 II 佐藤浩介(埼玉大学)
V325a	09:42	積層配線 TES 型 X 線マイクロカロリメータの超伝導薄膜の膜厚比とメンブレン加工の開発 布村光児(首都大学東京)
V326a	09:54	超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子の X 線精密分光プロジェクト(5) 早川亮大(首都大学東京)
V327a	10:06	X 線多重像干渉計 MIXIM の開発現状(1) サブ秒角の撮像達成 花坂剛史(大阪大学)
V328a	10:18	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)への X 線反射面形成法の開発 粟木久光(愛媛大学)
V329a	10:30	太陽 X 線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況 坂尾太郎(宇宙航空研究開発機構)
V330a	10:42	炭素繊維強化プラスチックを用いた湾曲結晶偏光計の鏡面精度の改良 塚田晃大(中央大学)
V331a	10:54	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 29: PDD 構造を持つイベント駆動型 X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価 原田颯大(京都大学)
V332a	11:06	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 30: X 線 SOI ピクセル検出器の電荷雲サイズの測定 萩野浩一(東京理科大学)
V333a	11:18	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 31: マルチコレクタ実験を用いた X 線 SOI 検出器の電荷収集時間のピクセル内での位置依存性の評価 佳山一帆(京都大学)

9月21日(金) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V334a	13:30	Cherenkov Telescope Array 計画: 全体報告(15) 手嶋政廣(東京大学)
V335a	13:42	CTA 大口径望遠鏡初号機のカメラ最終試験報告 櫻井駿介(東京大学)
V336a	13:54	SMILE 実験計画と 2018 年豪州気球実験 SMILE-2+ 水村好貴(京都大学)
V337a	14:06	SMILE-2+ 軟ガンマ線望遠鏡による 2018 年豪州気球実験の初期解析 吉川慶(京都大学)
V338a	14:18	ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 米徳大輔(金沢大学)
V339a	14:30	重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT ³ フライトモデル製作状況(2) 澤野達哉(金沢大学)
V340a	14:42	超小型衛星搭載広視野 X 線撮像検出器の撮像性能評価 鈴木大智(金沢大学)
V341a	14:54	超小型衛星搭載ガンマ線検出器試作モデルの評価 渡辺彰汰(金沢大学)
V342a	15:06	X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状(2) 三石郁之(名古屋大学)
V343a	15:18	X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発(3) 二村泰介(名古屋大学)

V301a X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の開発の現状 II

Y. Ishisaki, R.L. Kelley^A, H. Akamatsu^B, H. Awaki^C, T.G. Bialas^A, G.V. Brown^D, M.P. Chiao^A, E. Costantini^B, J.-W. den Herder^B, M.J. Dipirro^A, M.E. Eckart^A, Y. Ezoe, C. Ferrigno^E, R. Fujimoto^F, A. Furuzawa^G, S.M. Graham^A, M. Grim^B, T. Hayashi^A, A. Hoshino^A, Y. Ichinohe^J, R. Iizuka^H, K. Ishibashi^I, M. Ishida^H, K. Ishikawa^H, C.A. Kilbourne^A, S. Kitamoto^J, S. Koyama^J, M.A. Leutenegger^A, Y. Maeda^H, D. McCammon^K, I. Mitsuishi^I, H. Mori^A, S. Nakashima^L, H. Noda^M, T. Ohashi, T. Okajima^A, S. Paltani^E, F.S. Porter^A, K. Sato^N, M. Sawada^A, H. Seta, P.J. Shirron^A, G.A. Sneiderman^A, Y. Soong^A, A.E. Szymkowiak^O, Y. Takei^H, T. Tamagawa^L, M. Tsujimoto^H, C.P. deVries^B, S. Yamada, N.Y. Yamasaki^H (首都大, NASA^A, SRON^B, 愛媛大^C, LLNL^D, U-Geneva^E, 金沢大^F, 藤田保健衛生大^G, JAXA^H, 名古屋大^I, 立教大^J, U-Wisconsin^K, RIKEN^L, 東北大^M, 埼玉大^N, Yale-U^O)

X線天文衛星代替機 XARM に搭載される *Resolve* は、50 mK の極低温で動作する 6×6 のマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 m の多重薄板 X 線望遠鏡で構成され、日米欧で開発を進めている。日本では、液体 He デュウ周辺の設計変更箇所の確定を進めつつ、He 排気系の Knife Edge Device など一部の FM 品の製作を開始した。特に、冷凍機とドライバ間接続の見直しによる単一故障点の回避や、衛星内清浄度・分子コンタミネーション・軌道上デブリを総合的に考慮したゲートバルブへの要求の見直し、等を行った。NASA 担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキについては昨年より FM 製作を開始しており、FM センサの評価においては、単体で「ひとみ」と同等の性能 ($\Delta E = 3.6\text{--}4.8$ eV) が得られている。この講演では *Resolve* の開発の現状を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302a X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve 冷却系開発の現状

江副祐一郎, 石崎欣尚 (首都大), 藤本龍一 (金沢大), 竹井洋, 石川久美, 安田進, 柳瀬慶一, 山崎典子 (JAXA), 佐藤浩介 (埼玉大), 北本俊二, 小山志勇 (立教大), 野田博文 (東北大), 吉田誠至, 金尾憲一, 恒松正二 (住友重機械工業), R.L. Kelley, C.A. Kilbourne, M.J. DiPirro, P. Shirron (NASA), 他 XARM Resolve チーム

X線天文衛星代替機 (X-ray Astronomy Recovery Mission, XARM) に搭載される Resolve は、50 mK の極低温で動作する 6×6 ピクセルのシリコン温度計マイクロカロリメータと、5.6 m の焦点距離の多重薄板 X 線望遠鏡で構成される。XARM は「ひとみ」(ASTRO-H) 衛星の代替機であり、日米欧の国際協力で開発が進められている。Resolve は「ひとみ」Soft X-ray Spectrometer (SXS) と Soft X-ray Telescope (SXT) の再製作を基本としつつ、「ひとみ」の Lessons Learned や製造中止となった部品を考慮し、日本で担当する冷却系部分について、いくつか設計変更を予定している。具体的には、冷凍機の微小擾乱を抑えるアイソレーターの打ち上げ時の振動防護機構の検討、冷凍機とドライバの接続の見直しによる単一故障点の回避、軌道上デブリ・可視光や赤外線の流れ込み等を考慮した防護バツフルの追加、ゲートバルブを閉めた後、ゲートバルブの直下にある薄いフィルタに差圧が生じないようにするラッチ式電磁弁の追加、製造中止となった冷凍機を冷却するためのファンの代替品の選定等を行っている。また He 排気系に用いる超流動 He 流出阻止を行う Knife edge device のインハウス製造も開始し、無重力下で液相と気相の He を分離する Porous Plug を用いた相分離試験も予定している。本講演ではこれらの Resolve 冷却系の開発の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V303a X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve の軌道上デブリ防護

野田博文 (東北大)、藤本龍一、木下佑哉、辻歩美 (金沢大)、石崎欣尚 (首都大)、竹井洋、東出真澄 (JAXA)、吉田誠至 (住友重機械工業)、C. A. Kilbourne、P. Shirron、M. DiPirro (NASA/GSFC)、XARM Resolve team

2020 年代初頭に打ち上げが予定される X 線天文衛星代替機「XARM」は、2016 年に打ち上げられ、約 1ヶ月で運用を終了した「ひとみ」衛星の代替ミッションであり、6 keV において 7 eV 未満のエネルギー分解能を実現する X 線マイクロカロリメータ「Resolve」を搭載する。Resolve は XARM の衛星構体内に格納されているが、デュアー表面からの放射冷却を行うために一部が深宇宙に曝されており、微小流星体やスペースデブリ (Micro Meteoroid and Orbital Debris; MMOD) がデュアーのシェルや X 線入射口に設置されたフィルターを貫通する恐れがある。これらに大きな貫通穴が生じると、残留大気中のヘリウムがデュアー内に侵入してデュアーの冷却性能を劣化させたり、可視・赤外光がセンサーに入射して分光性能の劣化に繋がる恐れがある。

我々は、軌道上の MMOD のフラックスモデル (NASA ORDEM3.0、ESA MASTER-2009) と Resolve のデュアーの形状から、デュアーシェルおよび X 線入射口のフィルターに対する MMOD の貫通確率を計算した。その結果、デュアーシェルの貫通確率は ~ 0.4 hits/year、貫通穴のサイズの期待値は $\sim 420 \mu\text{m}$ と見積もられ、デュアーの冷却性能を劣化させない許容範囲内に収まることが分かった。一方、X 線入射口のフィルターに対しては、直径 $0.1 \mu\text{m}$ のものまで考慮すると貫通確率が数千 hits/year に達する可能性があり、その場合、可視光や赤外線がフィルターの穴を透過することで、センサーの性能に影響が出ることが判明した。そこで現在、MMOD からフィルターを防護するバッフルを新たに設置し、貫通確率を軽減する対策を行っている。本講演では、これらの MMOD の貫通確率の計算およびバッフルのデザインについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304a X線天文衛星代替機(XARM)搭載Xtend用試作CCDの性能評価(1)

林田清, 岩垣純一, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 松本浩典(大阪大), 中嶋大(関東学院大), 金丸善朗, 佐藤仁, 西岡祐介, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇(宮崎大), 内田裕之, 尾近洗行, 田中孝明, 鶴剛(京都大), 信川久実子(奈良女子大), 平賀純子(関西学院大), 村上弘志(東北学院大学), 冨田洋(ISAS/JAXA), 山岡和貴(名古屋大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟(東京理科大学), 内山秀樹(静岡大学), 信川正順(奈良教育大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸(ISAS/JAXA), 常深博(大阪大), 他 XARM Xtend チーム

我々は2020年度打ち上げ目標のX線天文衛星代替機搭載の軟X線撮像装置Xtendの開発をすすめている。XtendはX線反射鏡とX線CCDカメラで構成され、38分角の視野、0.4–13 keVのエネルギー範囲で、X線撮像分光を行う。X線CCDカメラはひとみ衛星搭載のSXIのデザインを基本的には踏襲するものの、ひとみ衛星で問題、懸念となった点に関しては改良を検討してきた。CCD素子では、可視光に対する遮光性能、軌道上での放射線損傷も考慮したエネルギー分解能の向上があげられる。後者の方策は、電荷転送路にノッチを設けること、CCDの出力ゲインを高めることである。これらを検証するためのCCD素子として、FM用素子に対してピクセル1/5の小型CCDと、ピクセル数1/20でパッケージも異なるミニCCDを複数製作した。これには、ノッチあり/なし、CCDの出力ゲインHigh/Nominalの組み合わせの4種類の素子が含まれる。

本発表では、主に大阪大学で実施したミニ素子のX線検出性能の結果に関して報告する。この評価試験により、ノッチが電荷転送非効率(CTI)の削減に効果があることを確認した。一方、ゲインHighの素子はドライブ回路の電圧振幅最大値が要求されるなど、結果的に読み出しノイズの削減に有効とはいえないことがわかった。これにより、ゲインNominal、ノッチありをFM仕様として決定した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305a X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の放射線耐性

中嶋大 (関東学院大), 金丸善朗, 佐藤仁, 西岡祐介, 武田彩希, 森浩二 (宮崎大), 岩垣純一, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 米山友景, 林田清, 松本浩典 (大阪大), 下井建生, 富田洋 (ISAS/JAXA), 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大), 尾近洸行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (奈良女子大), 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 the XARM Xtend team

XARM 搭載 Xtend は、望遠鏡と CCD カメラからなる軟 X 線撮像装置である。広視野かつ低バックグラウンドの撮像分光観測を行うとともに、もう一つの観測機器である Resolve の精密分光スペクトルから正しい観測量を抽出するためのサポートとしての役割も持つ。そのために Xtend に課される要求の一つが、6 keV におけるエネルギー分解能 (運用開始時で 200 eV、運用 3 年経過後で 250 eV (いずれも半値全幅)) であり、これを満たすための鍵が CCD の放射線耐性である。軌道上では、センサ部に入射した陽子が Si 結晶格子を損傷させ、信号電荷の転送効率を下げることで結果的にエネルギー分解能が悪化する。我々は Xtend 用 CCD の開発にあたり、電荷転送路内のポテンシャルにノッチ構造を設けることで、電荷が転送中にトラップされる確率の低下を図っている。今回我々は、試作小型 CCD に対して、放射線医学総合研究所 HIMAC において陽子線 (100 MeV) を照射した。ビーム径 ($1\sigma \sim 1.3$ mm) がセンササイズ (7.7 mm \times 6.1 mm) に対して小さいため、ドーズ量が撮像領域内の場所に依存する。場所ごとの電荷転送効率を解析した結果、ドーズ量に対する転送効率劣化の度合は、ノッチのない CCD に比べて、1/2~1/3 程度に抑えられていることが分かった。実験結果と要求の充足について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306a X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の遮光性能

内田裕之, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 林田清, 松本浩典 (大阪大学), 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 内山秀樹 (静岡大学), 平賀純子 (関西学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学), 他 XRAM Xtend チーム

X線天文衛星「ひとみ」の軟X線撮像検出器 (SXI) の機上データでは、一部の時間帯で特定の領域の波高値が著しく高くなる現象が見られた。我々はこれを「光漏れイベント」と呼び、衛星後部が昼地球を向く時間帯にカメラ内部に侵入した可視光が主な原因と考えている。光漏れは可視光の素子への侵入経路によって「入射面の遮光Al膜の一部劣化で生じたピンホールからの光漏れ」と「素子の接着剤を通して電極面側から侵入する端面光漏れ」の2つに大別できる。代替機 (XARM) ではそもそもの原因である衛星後部の穴を塞ぐ予定のため、軟X線撮像装置 Xtend に入射する光量は大幅に削減できる見込みである。さらに我々は遮光をより完全なものにするために、CCD 自体にピンホール対策として遮光 Al 成膜の仕様変更、端面光漏れ対策として電極面への Al 層追加を検討している。我々はこれらの遮光対策を施した試作 Small-size CCD を作成し遮光性能を含めた評価試験を行った。その結果、可視光 LED の照射試験から、ピンホール数の減少と端面の光漏れ量の抑制を確認した。また⁵⁵Fe の照射試験から、転送不良などの影響もなくエネルギー分解能などの基本性能にも問題がないことを確認した。本講演では「ひとみ」で起きた光漏れ事象の原因について説明し、XARM に向けた対策と Small-size CCD の性能評価試験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](#)

V307a 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 (7)

中澤知洋 (名古屋), 森浩二 (宮崎), 鶴剛, 上田佳宏 (京都), 松本浩典 (大阪), 粟木久光 (愛媛), 石田学 (ISAS/JAXA), 寺島雄一 (愛媛), 常深博 (大阪), 中嶋大 (関東学院), 田中孝明, 内田裕之 (京都), 伊藤真之 (神戸), 寺田幸功 (埼玉), 久保田あや (芝浦工業), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 高橋忠幸 (東大/IPMU), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科), 北山哲 (東邦), 村上弘志 (東北学院), 信川正順 (奈良教育), 太田直美 (奈良女子), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 武田彩希 (宮崎), 中島真也 (理研), 内山泰伸 (立教), 渡辺伸, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 岡島崇, 山口弘悦, 森英之 (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域 X 線を 10 秒角にせまる空間分解能で撮像分光する小型科学衛星 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。10 keV 以上の硬 X 線帯域で過去最高の空間分解能をもち、NuSTAR 衛星の 10 倍の感度を実現する。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。ATHENA などの 2030 年代の大型 X 線衛星に対応する硬 X 線プローブとしても重要で、例えば鉄の K 輝線が見える 6 keV における ATHENA の有効面積と、AGN からの反射成分を見る 30 keV における FORCE の有効面積の比は、両者の同時観測で大きな成果を残した「すざく」XIS (@6 keV) と HXD-PIN (@30 keV) の面積比にほぼ等しい。現在 FORCE WG では、2019 年度末の提案を目標とし、ミッションデザインの最適化による重量・コスト削減と、FORCE で実現するサイエンスのさらなる探求を進めている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308a Pt/C多層膜ブラッグ反射による低エネルギーX線用分光器の開発とX線測定環境での実用化

武尾 舞, 中庭 望, 浅井龍太, 大橋隆哉 (首都大), 石田 學, 前田良知 (宇宙研) 佐藤寿紀 (理研)

我々は、宇宙科学研究所の先端宇宙科学実験棟(D棟)1階のX線ビームラインにおいて、X線ビームから低エネルギーの特性X線(Al-K(1.49keV)やCu-L(0.93keV))のみを取り出すための二結晶分光器(DCM)の開発を行っている。DCMとは、平行に設置した2つの結晶のBragg反射を利用してX線を単色化する装置である。しかし光学素子として結晶を使う場合、格子間隔が数Å以下に制限されるため、エネルギーの低いX線の単色化が困難である。実際、宇宙科学研究所D棟1階のX線ビームラインでは、Ge結晶を用いたDCMの分光下限エネルギーがTi-Kの4.51keVとなっている。そこで我々は、新たに、周期長を自由に変わることができるPt/C多層膜を光学素子として採用し、ビームライン利用者からの要望が強い低エネルギーのAl-K(1.49 keV)、Cu-L(0.93 keV)特性X線用DCMの製作を行い、実用化を目指した。これらの特性X線の波長は10Å程度であるため、Pt/C多層膜の周期長は40Å程度のものを用いてDCMを開発してきた。DCM製作後の動作検証では、Al-K、Cu-L、いずれの特性X線でもロッキングカーブを取得した。その後CCDカメラの光子計数モードで分光測定をしたところ、Al-Kでは $K\alpha$ 線(1.487keV)と $K\beta$ 線(1.548keV)が、Cu-Lでは $L\alpha$ 線(0.928keV)と $L\beta_1$ 線(0.948keV)が、それぞれ混ざった程度の単色度ではあるものの、連続成分を殆どカットできていることが分かった。最後に、従来からあるGe結晶の分光器と、今回開発した分光器をスイッチングする機構を開発し、0.9keVから17.5keVまでの特性X線を単色化できる分光システムを作り上げた。本発表では、Al-K、Cu-L特性X線用DCMの動作検証結果、および、従来からあるDCMを含めた分光器全体のビームラインでの実用化について具体的に述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309b X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Xtend 用試用 CCD の性能評価 (2)

岩垣純一, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 米山友景, 林田清, 松本浩典 (大阪大), 中嶋大 (関東学院大), 金丸善朗, 佐藤仁, 西岡祐介, 森浩二 (宮崎大), 下井建生, 富田洋 (ISAS/JAXA), 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大), 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (奈良女子大), 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 XARM Xtend team

我々は2020年度打ち上げ目標のX線天文衛星代替機搭載の軟X線撮像装置 Xtend の開発をすすめている。Xtend のX線 CCD カメラ用 CCD 素子の仕様は基本的にひとみ衛星 SXI のそれを踏襲するが、ひとみ衛星で問題・懸念となった、可視光に対する遮光性能、軌道上での放射線損傷も考慮したエネルギー分解能の向上に関しては対応策を検討してきた。1) 可視光遮断層におけるピンホール数の削減、2) 電荷転送路へのノッチ導入による電荷転送非効率 (CTI) の削減、3) CCD 出力ゲインの向上による読み出しノイズの削減である。

本発表では、これらの方策の有効性を検証するために試作したミニ CCD (フライト用大型素子に比べてピクセル数は1/20で、パッケージも異なる) の、大阪大学における評価試験に関して報告する。当初納入の素子では仕様に関わらず CTI が 3×10^{-5} 以上と悪いという問題もあったが、別ロットの素子では $1 \sim 2 \times 10^{-5}$ というひとみ衛星 FM 候補素子と同等の性能であることが確認され、エネルギー分解能として 160 eV (半値全幅) 程度という値を得た。実験装置の紹介や動作条件最適化も含め、分光性能 (エネルギー分解能、読み出しノイズ、CTI など)、ピンホール数に関する結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310b X線天文衛星代替機(XARM)搭載Xtend用試作CCDの性能評価(3)

米山友景, 林田清, 岩垣純一, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 松本浩典(大阪大), 中嶋大(関東学院大), 金丸善朗, 佐藤仁, 西岡祐介, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇(宮崎大), 内田裕之, 田中孝明, 尾近洗行, 鶴剛(京都大), 信川久実子(奈良女子大), 平賀純子(関西学院大), 村上弘志(東北学院大学), 冨田洋(ISAS/JAXA), 山岡和貴(名古屋大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟(東京理科大学), 内山秀樹(静岡大学), 信川正順(奈良教育大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸(ISAS/JAXA), 常深博(大阪大), 他 XARM Xtend チーム

X線天文衛星代替機搭載の軟X線撮像装置 Xtend はX線反射鏡とX線 CCD カメラで構成され、38分角の視野、0.4-13keV のエネルギー範囲でX線撮像分光を行う。搭載するX線 CCD 素子は、基本的にはひとみ衛星搭載のSXIに使用したPchNeXT4と同じ仕様で計画されているが、ひとみ衛星で問題、懸念となった点に関しては改良を検討してきた。CCD 素子では、可視光に対する遮光性能、軌道上での放射線損傷も考慮したエネルギー分解能の向上がそれに対応する。これらを検証するための CCD 素子として、FM用素子に対してピクセル1/5の小型 CCD と、ピクセル数1/20でパッケージも異なるミニ CCD を試作した。ミニ素子には、電荷転送効率を高めるためのノッチを設けたものと無しのもの、読み出しノイズ低減のために CCD の出力ゲインを高めたものと従来のままのもの、それぞれの組み合わせの4種類の素子が含まれる。

本発表では、主に大阪大学で実施した様々なミニ素子の実験結果をもとに、1)読み出しノイズの値が CCD のゲインと読み出し回路 ASIC のゲインの組み合わせでどのようにかわっていくか、2)CCD 冷却状態にしてドライブ回路電源オフの状態から電源オンにして駆動を始めた際に観測される超過ダークの振舞と、Erasing 動作とよばれる対応策の最適化に関して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311b X線天文衛星代替機 (XARM) 搭載 Xtend 用 CCD の放射線耐性 (2)

佐藤仁, 金丸善朗, 西岡祐介, 武田彩希, 森浩二 (宮崎大), 中嶋大 (関東学院大), 岩垣純一, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 米山友景, 林田清, 松本浩典 (大阪大), 下井建生, 富田洋 (ISAS/JAXA), 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大), 尾近洗行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (奈良女子大), 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 the XARM Xtend team

X線天文衛星代替機 (XARM) に搭載される Xtend は、X線反射鏡と広視野 CCD カメラからなる軟X線撮像装置である。CCD 素子は基本的に「ひとみ」衛星に搭載されたものと同じ $200\ \mu\text{m}$ の空乏層厚を持つ裏面照射型 P チャネル CCD を用いるが、今回は放射線耐性を向上させるため新たにノッチ構造を設ける。我々は、この新型素子の放射線耐性を確認するために、小型素子を試作し、放射線医学総合研究所 HIMAC において 100 MeV の陽子線を照射する実験をおこなった。陽子線ビームの径は素子サイズより小さく、ドーズ量は撮像領域内で非一様になる。CCD における放射線耐性の指標としては電荷転送効率の劣化度合を測定するが、その劣化度合も非一様であり、解析にはその非一様性を考慮する必要がある。本講演では、その解析手法の詳細、および、暗電流・エネルギー分解能・グレード分岐比などの解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312b X線天文衛星代替機(XARM)搭載軟X線撮像装置のCCD駆動回路(FE)の開発

山岡和貴(名古屋大), 林田清(大阪大), 吉田将之, 平賀純子(関西学院大), 中嶋大(関東学院大), 尾崎正伸(ISAS/JAXA), John P. Doty(Noqsi Aerospace), 松本浩典, 常深博(大阪大), 内田裕之, 田中孝明, 鶴剛(京都大), 森浩二, 山内誠, 廿日出勇(宮崎大), 信川久実子(奈良女子大), 村上弘志(東北学院大), 富田洋(ISAS/JAXA), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟(東京理科大), 内山秀樹(静岡大), 信川正順(奈良教育大), 堂谷忠靖(ISAS/JAXA), 他 XARM Xtend チーム

2020年度打ち上げ予定のX線天文衛星代替機(XARM)にはX線CCDを用いた軟X線撮像装置(Xtend)が搭載される。X線CCD(SXI)の読み出しは、CCDドライバーボード(Front-end Electronics: FE)とCCDの信号処理を行うビデオボードで主に行われる。中でもFEは、CCDへのバイアスやCCD駆動クロックを提供するとともに、バイアス・温度をモニタしたり、ヒーター電流を制御したりといったハウスキーピング機能をもつ。本衛星の前身である「ひとみ」衛星の時に、FEにおいて電源供給ユニット(PSU)からの電源供給時に時おり異常電流が流れる現象が発生した。調査した結果、供給される電圧の立ち上がり特性による、1)バイアス設定やヒーター電流設定に用いられている回路素子であるDAC(Digital-to-Analog Converter)の初期化不良、2)同じく回路素子のアナログスイッチの初期動作に問題があることが判明した。「ひとみ」衛星の時には運用によって回避することとしていたが、XARMでは最小限の改修により、ハードウェアを改善することを目指した。その結果、FEに使用されているレベルコンバーターの空き入出力ピンを用いることにより、正常に動作することが分かった。この設計に基づき、民生部品を用いたFEのエンジニアリングモデル(EM2)の開発を行い、現在、機能の確認・評価試験を行っている。本発表では、FEに関する今回の改善点と試験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313b X線天文衛星代替機 XARM 搭載 Resolve のゲートバルブ用電磁弁及び機械式冷凍機冷却ファンの性能評価

佐藤浩介、高橋海斗(埼玉大)、北本俊二、小山志勇、稲垣徳晃、津久井豊(立教大)、竹井洋、柳瀬恵一(JAXA)、石崎欣尚、江副祐一郎(首都大)、藤本龍一(金沢大)、吉田誠至、金尾憲一、恒松正二(住友重機械工業)、他 XARM Resolve チーム

2020 年代初頭打ち上げ予定の X 線天文衛星代替機 (XARM) に搭載される Resolve は、50 mK の極低温環境下で動作する 6x6 ヒクセルのマイクロカロリメータを搭載する。実際は液体ヘリウムを積む冷凍機デュワーと機械式冷凍機で ~1.5 K 程度まで予冷し、断熱消磁で 50 mK の安定した極低温環境を実現する。冷凍機デュワー上部の X 線入射窓には、地上試験と打ち上げ環境耐性のため Be 窓とゲートバルブが設置されている。Resolve は SXS から基本構成の変更はないものの、ゲートバルブにラッチ式の電磁弁を追加する。これは地上でゲートバルブを閉めた後、ゲートバルブ直下にある薄いフィルタの両側に差圧が生じないようにすること、また軌道上でデュワー外のヘリウムがデュワー内に侵入するのを防ぐことを目的とする。地上試験で機械式冷凍機を空冷するためのファンについては、SXS で使用したものがすでに製造中止であることから新規代替品の選定を行なっている。

現在、ラッチ式電磁弁と代替の空冷ファンの候補品に対して性能実証試験を行なっている。我々は、すでに機械環境試験を行い、どちらも要求を満たす振動、衝撃レベルを印加した後に動作に問題がないことを確認した。ファンについてはベークン、温度サイクル試験も実施し、試験後の風量及び電気特性試験でも性能に劣化がないことを確認している。本講演では、電磁弁及び冷却ファンの機械環境試験等の詳細を報告するとともに、今後実施予定の電磁弁の温度試験や冷却ファンの寿命試験、放射線耐性試験やアウトガス試験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](#)

V314b 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X の現状

江副祐一郎 (首都大), 三好由純 (名古屋大), 笠原慧, 船瀬龍 (東大), 永田晴紀 (北海道大), 上野宗孝 (神戸大), 中嶋大 (関東学院大), 木村智樹 (東北大), 石川久美, 三田信, 満田和久, 藤本正樹 (JAXA 宇宙研), 大橋隆哉 (首都大)、GEO-X チーム

GEO-X は世界初の X 線を用いた地球磁気圏の昼側境界面の撮像を目指す超小型衛星計画である。X 線天文衛星「すざく」らによって、地球磁気圏に捕捉された太陽風イオンが地球の超高層大気である外圏から電子を奪って電荷交換 X 線を発生することが分かってきた。しかし、これらは地球近傍を周回する X 線天文衛星による天体観測中にたまたま受かった放射を見ており、本放射の空間分布と太陽風への応答といった全体像はいまだ明らかになっていない。一方、観測およびシミュレーションからは太陽風密度が高い昼側磁気圏構造であるカスプやシースで強く発光することが示唆されている。もし地球から十分離れた月付近から広視野の撮像を行うことができれば、本放射の全体像を捉えることができる。これは電荷交換という宇宙で普遍的な基礎物理の理解に繋がるだけでなく、太陽風の磁気圏侵入と磁気圏形状の応答という、太陽地球系科学の長年の課題にも直結する。

我々はそこで太陽活動が上昇すると考えられる 2020 年代前半を目標として超小型衛星計画 GEO-X を検討している。50 kg 以下の超小型衛星にマイクロマシン技術を用いた独自の超軽量 X 線望遠鏡と高速読み出し可能な半導体撮像素子からなる超小型 X 線撮像分光装置 (10 kg、10 W、10×10×30 cm 程度) を搭載する。そして衛星を月付近軌道に投入して、電荷交換が卓越する軟 X 線 (0.3–2 keV) での俯瞰的な広視野観測 (4×4 deg) を実施する。実現すればこれまでにない地球周辺電荷交換 X 線の俯瞰的撮像と磁気圏可視化の実証となる。本講演では科学目標、衛星検討の現状および装置開発の状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V315b 太陽 X 線観測ロケット実験 FOXSI-3 搭載薄膜フィルター開発

三石郁之, 加藤渉, 大西崇文, 二村泰介, 清水貞行, 石川真之介 (名古屋大学), 成影典之 (国立天文台),
ほか FOXSI チーム

我々は日米が共同で進める観測ロケットによる太陽 X 線集光撮像観測 Focusing Optics Solar X-ray Imager (FOXSI) 用薄膜遮光フィルターの開発を進めている。2018 年夏に打ち上げが予定されている FOXSI-3 では、その主目的の一つとして世界で初めての太陽コロナからの軟 X 線光子計測 (2 次元分光観測) を掲げており (成影ほか, 日本天文学会 2018 年春季年会)、軟 X 線に対しても透過性の高い薄膜遮光フィルターが必要となる。

そのため我々は望遠鏡に取り付けられる迷光防止用コリメータまわり、および CMOS センサーハウジングに取り付けられる 2 種類の薄膜遮光フィルターの設計・製作を行った。薄膜遮光フィルターの実体は遮光用のアルミ薄膜 (150 nm 厚) が片面に成膜された耐熱性の高いポリイミドフィルム (2 μm 厚)、その薄膜フィルム支持材としてのステンレス、さらに機械強度部材であるアルミフレームである。コリメータまわりのプレフィルターのステンレスは 8 mm 角のメッシュ構造 (開口効率 97 %) となっているのに対し、センサー用フィルターの中心部直径 20 mm は開口部となっている。またプレフィルターのアルミフレームの縁部には迷光防止用の庇構造が設けられ、フィルター用アルミフレームは上下にフィルムが取り付けられるようベント用の隙間も設けてある。本講演では両フィルターの振動特性やピンホールの割合等、評価試験結果を含め報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316b Super DIOS 衛星搭載 X 線望遠鏡の検討

大塚康司、三石郁之 (名古屋大学)

ダークバリオン探査ミッション DIOS を引き継いだ Super DIOS 計画 (大橋ほか、日本天文学会 2018 年春季年会) では、小型衛星の枠組みを取り外し、従来の焦点距離 700 mm を数 m 程度にまで伸ばし、角度分解能を 300 秒角から 10 秒角程度まで向上させた望遠鏡開発の検討を進めている。

その一例として口径 1000 mm、焦点距離 3500 mm を仮定した望遠鏡に対し、反射鏡に関する各種パラメータの計算や光線追跡法を用いたシミュレーションによる性能の見積もり等を行った。計算の結果、反射鏡高さを 1 段あたり 200 mm、厚みを 300 μm とした場合、反射鏡の枚数は半径方向に ~ 140 枚、反射鏡の重量は、ニッケルで ~ 140 kg、アルミで ~ 40 kg となった。また、ニッケルを鏡面物質として仮定した場合 (衛星搭載実績もある)、集光能力を示す有効面積が望遠鏡単体で 0.6 keV にて ~ 5000 cm^2 、1 keV 及び 2 keV で ~ 2000 cm^2 であることが分かった。更に視野 15 分角となる検出器 (およそ 1.5 $\text{cm} \times 1.5$ cm に相当) を組み合わせれば従来の DIOS 衛星が持っていた広がった天体に対する感度の指標である $S\Omega$ において、同程度 (200 cm^2deg^2 @0.6keV) の性能を有することも分かった。なお、本設計パラメータでは円錐近似が許容できず、2 次曲面の反射鏡が必要である。本講演では様々な鏡面物質を仮定した場合の望遠鏡の性能の比較、及びその表面粗さの依存性のほか、電鍍法を用いた 2 次曲面反射鏡製作への取組について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V317b 高角度分解能 X 線望遠鏡の開発

津久井豊, 北本俊二, 細田翔 (立教大学)

1999年に打ち上げられたアメリカの X 線天文衛星 Chandra は角度分解能 0.5 秒角を実現し、活動銀河核や X 線連星のジェットの構造等が観測できるようになった。しかし、昨今の他波長観測との比較にはもう一桁程度高い分解能が望まれる。Chandra の望遠鏡サイズと観測波長から回折限界を計算するとおよそ 2.4×10^{-5} 秒角であるが、実際の角度分解能は回折限界には程遠い。これは Chandra が Wolter-I 型の望遠鏡、すなわち回折放物面鏡と回折双曲面鏡を使用しており、これら非球面鏡では形状精度を上げることが大変難しいからである。さらに X 線は波長が短いために、回折限界を達成するために要求される面精度は非常に高くなる。

そこで我々は Xmas (X-ray milli arc sec) 望遠鏡計画と称し、波長帯を EUV (13.5nm 帯) に限定して比較的高い加工精度が期待できる直入射型 X 線望遠鏡の開発を行っている。さらに、補償光学を適用して主鏡等の形状誤差や、温度変化による望遠鏡の歪み等を補償することで、比較的容易に角度分解能を向上できると期待して試作望遠鏡の開発を行なっている。これまでに直径 100mm の主鏡を用い、630nm の可視光実験で補償光学を機能させて、回折限界の 1.66 秒角 に対し水平方向に 2.20 秒角、垂直方向に 1.73 秒角の分解能を得られることを確認した。さらに、角度分解能を制限している原因を調査するため、測定波面の短時間、および長期間でのバラツキ、および変動を測定し、それらが分解能劣化に比較的大きく寄与していることを突き止めることができた。また、真空中での測定実験も進んでおり、EUV での測定の準備も整いつつある。本報告では、現状での分解能を制限している原因の調査結果ならびに、EUV 実験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](#)

V318b 断熱消磁冷凍機を用いた X 線マイクロカロリメータ動作環境の構築 (6)

田中桂悟, 藤本龍一, 中山健太, 木下佑哉, 甲斐優, 中野友寛, 辻歩美, 田口昂宙 (金沢大学)

X 線マイクロカロリメータは入射 X 線光子 1 つ 1 つのエネルギーを素子の温度上昇として検出する検出器であり, 100 mK 以下で動作させることにより優れたエネルギー分解能を達成できる. 2016 年に打ち上げられたひとみ衛星では, 世界で初めて, X 線マイクロカロリメータを用いた銀河団中心のガスの精密分光観測が実現されている. 超伝導遷移端を温度計として利用する TES 型 X 線マイクロカロリメータは, より高いエネルギー分解能, 大規模アレイ化が可能な検出器である. 我々は次世代 X 線天文衛星への搭載を目指し, 衛星軌道上で安定して極低温を得られる断熱消磁冷凍機上での TES 型 X 線マイクロカロリメータの動作環境を開発しており, これまでに TES を保護する磁気シールドを最適化するなどし, 3.8 ± 0.4 eV @ 5.9 keV (半値全幅) のエネルギー分解能を報告している (高倉他, 2014 年天文学会秋季年会).

その後の改良として, 我々は読み出しノイズの改善, 動作パラメータの最適化を行った. これにより, 1 素子のレベルではあるものの, 2.8 ± 0.3 eV @ 5.9 keV のエネルギー分解能を達成した. これは同素子を希釈冷凍機上で評価した結果 (Akamatsu et.al., 2009, API Conf. Proc. 1185, 195) と同等の性能である. 一方で, エネルギー分解能は統計誤差の範囲を超えて変動しており, 安定的に高いエネルギー分解能を得るには至っていない. このエネルギー分解能の変動は, ゲインや素子の温度安定度の時間変動など, 複数の要因によるものと考えられ, 支配的な要因を探り, 改善することが, 素子の安定動作には必須である. 本講演ではエネルギー分解能の変動の検討状況について報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319b X線多重像干渉計 MIXIM の開発現状 (2) モデルプランの策定と概念検討

林田清, 花坂剛史, 朝倉一統, 米山友景, 井出峻太郎, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 栗木久光 (愛媛大学), 中嶋大 (関東学院大)

我々は、光学系を用いない新しいタイプの X 線干渉計、多重像 X 線干渉計 (MIXIM, Multi Image X-ray Interferometer Module (Mission)) を提案し、原理実証から性能最適化を図る段階に移行しようとしている。

高い角度分解能とともに重要な MIXIM の特徴は、格子と検出器間の距離を短くとれることである。これをいかして、50cm サイズの超小型衛星におさめるのが第一案で。これを MIXIM-S (small) と称する。しかし、これでサブ秒角の角度分解能を達成するためには、格子ピッチも $5\text{ }\mu\text{m}$ 程度と小さくとらねばならず、検出器に高い位置分解能 (小さなピクセルサイズ) が要求される。我々は、可視光用 CMOS を流用することで、これに対処したが、X 線天体観測用途には空乏層の増加が必要である。

一方、格子と検出器の距離を、例えば 100 m と大きくとることができれば、格子ピッチは $100\text{ }\mu\text{m}$ と大きくてよく、既存の X 線用ピクセル検出器がそのまま利用できる。しかも、達成される角度分解能 (正確には像幅) は 0.01 秒角のレベルも可能である。具体的には、国際宇宙ステーションの側に検出器を設置し、回折格子と姿勢制御、検出装置を搭載した衛星をフリーフライヤーとして実現し観測することが考えられる。この場合、格子-検出器距離は可変となる。これを MIXIM-Z (zoom の意) と呼ぶ。

両者の中間サイズとして、斜入射反射望遠鏡を搭載した X 線天文衛星に寄生し 10m 程度のはサイズを実現することも考えられる。これを MIXIM-P (parasite の意) と呼ぶ。MIXIM-S, MIXIM-Z, MIXIM-P のそれぞれの特質と、格子・検出器以外に必要な性能要求に関して検討した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V320b 可視光用微小ピクセルCMOS検出器によるX線偏光検出

朝倉一統, 林田清, 井出峻太郎, 花坂剛史, 川端智樹, 米山友景, 松本浩典, 常深博 (大阪大), 栗木久光 (愛媛大), 中嶋大 (関東学院大)

X線天文学において、X線の偏光方向は天体の磁場構造や降着円盤の構造を明らかにする上で重要な情報である。我々はX線CCDにおいて光電子が隣り合う2ピクセルに跨り信号を発生するダブルピクセルイベントに着目、K殻光電吸収の際の光電子放出方向の異方性を利用して、その縦横比からX線偏光検出ができることを実証した (Tsunemi et al. 1992, Hayashida et al. 1999)。1999年以降のX線天文衛星に搭載されたX線CCDはピクセルサイズが24-150 μm と光電子の飛跡に比べ大きく、軌道上での偏光検出には未だ成功していない。

我々は、微小ピクセルの検出器を必要とするX線多重像干渉計MIXIMの基礎実験のために、ピクセルサイズ4.25 μm の可視光用CMOSセンサーGSENSE5130 (Gpixel社製)を導入、常温で約240 eV @5.9 keVのエネルギー分解能でX線を検出できることを実証した (2017年秋季年会)。本発表では、このGSENSE5130のX線偏光検出能力の評価実験とGeant4シミュレーションの結果を報告する。

実験は2017年11-12月にSPring8 BL20B2で行なった。12.4 keVと24.8 keVの単色X線に対して、モジュレーション $M=6.5\pm 0.6$ 、 14.7 ± 0.8 という結果を得て、確かに偏光検出能力があることを見出した。シミュレーションでも、これをおよそ裏付ける結果を得ている。今回の結果はGSENSE5130が最小位置分解能のX線偏光検出器として機能することを示している。M値は偏光検出専用の検出器に比べ高いといえず、現時点では検出効率も低い、干渉計の高い角度分解能と組み合わせると近傍活動銀河核のトーラスを同心円状の偏光パターンとして検出できるなど、成果が期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V321b 南極周回気球による硬X線偏光観測ミッション X-Calibur の現状と今後

内田和海、高橋弘充、深澤泰司、水野恒史 (広大理)、北口貴雄、玉川徹 (理研)、周圓輝、堤まりな、内山慶祐 (東理大/理研)、林田清、松本浩典、常深博 (阪大理)、榎戸輝揚 (京大理)、田村啓輔 (名大理)、前田良知、石田学、斎藤芳隆 (ISAS/JAXA)、宮澤拓也 (OIST)、粟木久光 (愛媛大理工)、郡司修一 (山形大理)、Krawczynski, H., Dowkontt, P., Kislak, F. (WUSTL), 岡島崇、Lanzi, J., Stuchlik, D. (NASA)、Li, S. (BNL), de Geronimo, G. (Stony Brook Univ.), 他 X-Calibur チーム

X線偏光観測は、コンパクト天体などの磁場・幾何構造を探る強力な手段となる。しかし、X線帯域で高感度な偏光計を作成することは難しく、これまで精度の良い偏光観測はほとんどなされていない。そこで現在、Washington 大学主導のもと、X線望遠鏡で集光することにより感度を向上させた、気球搭載硬X線 (15-40 keV) 偏光計 X-Calibur の開発が行われている。X-Calibur は、偏光したX線に対するコンプトン散乱の異方性を利用した偏光計である。望遠鏡で集光したX線をベリリウムによって散乱させ、その周りに配置した CZT 検出器で捉えることで、天体からのX線の偏光方向を同定できる。既に2016年のテストフライト (1日) において、偏光計の動作に問題がないことが確認されている。日本は2018年12月の南極フライト (2週間) に向けて、今年1月から参加している。このフライトでは、大質量X線連星 Vela X-1 を観測予定であり、長年の謎であった磁力線に対するX線の放射方向の特定が期待される。さらに、2021年に再フライトを計画しており、日本が開発を行ってきた FFAST 衛星の望遠鏡を搭載することで、日本からも大きく貢献する。この望遠鏡によってエネルギーバンドが80 keV まで広がり、有効面積が5倍以上大きくなるため、さらに暗い天体の観測も可能になる。同じ年に、8 keV 以下の軟X線帯域で偏光観測をする IXPE 衛星の打ち上げが計画されており、X-Calibur と同時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](#)

V322b GRAINE2018 豪州気球実験における時刻付与機構多段シフター報告～搭載エマルジョンフィルムの研究開発～

松田 菖汰, 青木 茂樹, 高橋 覚, 尾崎 圭太, 呉坪 健司, 柴山 恵美, 鈴木 州, 立石 友里恵, 中村 崇文, 中村 元哉, 原 俊雄, 松本 明佳, 丸嶋 利嗣, 水谷 深志, 藪 美智, 山田 恭平 (神戸大学), 児玉 康一 (愛知教育大学), 池田 忠作, 濱田 要 (ISAS/JAXA), 伊代野 淳, 松川 秋音, 山本 紗矢 (岡山理科大学), 大塚 直登, 岡田 晟那, 河原 宏晃, 駒谷 良輔, 小松 雅宏, 小宮山 将広, 佐藤 修, 鳥井 茉有, 長縄 直崇, 中野 敏行, 中村 光廣, 中村 悠哉, 西尾 晃, 丹羽 公雄, 宮西 基明, 森下 美沙希, 森島 邦博, 吉本 雅浩, 六條 宏紀 (名古屋大学)

我々は気球搭載型エマルジョン望遠鏡による宇宙ガンマ線精密観測計画 GRAINE を推進している。エマルジョンフィルムは荷電粒子が通過した跡を銀粒子の連なり（飛跡）として記録する性質を持ち、世界一優れた空間分解能を有する。GRAINE 計画では、時間情報を持たないエマルジョンフィルムに時間情報を付与する独自の機構である多段シフターを用いている。2018年4月には、GeV領域で最も明るい既知の点源天体（Vela パルサー）撮像によるエマルジョン望遠鏡の性能実証を目的とする、三度目の気球実験を行った。

私は2018年気球実験に向け、多段シフターの開発、特に搭載するエマルジョンフィルムの研究開発を行った。エマルジョンフィルムの性能指標として感度、ノイズ、フェーディング特性がある。私は様々な試験を行い、それらの要求を満たす最適条件を見出し、気球実験に導入した。本講演では2018年豪州気球実験のための多段シフターの研究開発、特に搭載エマルジョンフィルムの研究開発、そして実装結果及びその解析状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323c SMILE-2+ : 広視野 MeV ガンマ線望遠鏡の性能評価と 2018 年豪州気球実験

高田淳史, 谷森達, 水村好貴, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 小野坂健, 斎藤要, 阿部光, 水本哲矢, 窪秀利, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 中増勇真, 谷口幹幸 (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)

数百 keV から数十 MeV にかけての MeV ガンマ線領域では、電子陽電子対消滅線や放射性同位体からのラインガンマ線による核分光という、この波長領域でのみ可能な観測がある。この核分光は、元素合成・超新星起源解明・物質拡散など、天文学の多種かつ重要な問題に対し決定的な回答を得られる特異な手法である一方、MeV ガンマ線の観測手段が確立していないために低感度な観測しか行われておらず、未開拓な領域として残されている。この MeV ガンマ線領域を開拓すべく、我々はコンプトン散乱で反跳される電子の飛跡を詳細に検出することで、光子 1 個毎に到来方向とエネルギーを特定できる電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡 (ETCC) を開発している。

これまでの地上実験の結果から、ETCC が強力な雑音除去能力を持ち、 3 sr もの広い視野でガンマ線を測定できる事が示されてきた。また 2006 年の気球実験 SMILE-I の宇宙拡散・大気ガンマ線の観測結果から、宇宙線が降り注ぐ気球高度環境の下でもガンマ線が観測できることが証明されている。次のステップとして、銀河中心領域からの電子陽電子対消滅線及びかに星雲の観測から、ETCC の天体観測能力を 2018 年豪州気球実験 SMILE-2+ で実証すべく、有効面積が 300 keV で数 cm^2 、角度分解能 (point spread function) が 600 keV で 10 度程度の検出器を目指し、ETCC を設計・開発を行った。本講演では、この SMILE-2+ ETCC の地上較正実験による性能評価と気球高度での ETCC の動作について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 II

佐藤浩介(埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也(首都大)、山崎典子、満田和久、石田学、前田良知(ISAS/JAXA)、田原譲、三石郁之(名古屋大)、藤本龍一(金沢大)、鶴剛(京大)、太田直美(奈良女子大)、大里健(東大)、中島真也(理研)、旧 DIOS ワーキンググループ

旧 DIOS ワーキンググループは、数 100 万度の中高温銀河間物質からの酸素輝線のマッピングを通して、宇宙の大規模構造に沿って分布すると考えられているダークバリオンを観測するための小型衛星 DIOS の検討を進めてきた。2020 年代初頭打ち上げ予定の X 線天文衛星代替機 (XARM) の実施により、2020 年代の DIOS 計画の実施が不可能となり、ワーキンググループも 2016 年に解散した。一方、XARM 衛星や Athena 衛星 (2028 年) で高エネルギー天体の微細構造とエネルギー空間での高分解が可能となるものの、ダークバリオンの分布を決定し、宇宙の構造形成の歴史を優れたエネルギー分解能と広視野を用いて探索する、DIOS によるサイエンスの重要性と独自性には代わりがなく、我々は検出器の能力を増強した Super DIOS 衛星計画の検討を開始した。

我々は、Super DIOS のサイエンス要求を数値シミュレーションをもとに検討を進めている。並行して、Super DIOS 観測器系の技術検討も行っており、広視野かつ高空間分解能 (~ 10 秒角) の X 線望遠鏡、約 3 万画素かつ高いエネルギー分光能力 (~ 2 eV) の TES マイクロカロリメータの検討や開発を行なっている。NASA/GSFC からは技術協力に関して前向きな回答をもらっている。約 3 万画素の TES カロリメータ信号の読み出し技術には多重マイクロ波読み出し方式を検討しており、米国が技術では先行しているものの、日本でも ISAS/AIST や首都大を中心として技術開発を行なっている。また、ガンマ線バーストモニタの衛星搭載と高速衛星姿勢制御に関する検討も行なっている。本講演では、Super DIOS のサイエンス検討状況や技術立証の見通しについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a 積層配線 TES 型 X 線マイクロカロリメータの超伝導薄膜の膜厚比とメンブレン加工の開発

布村光児, 早川亮大, 大井かなえ, 野村香菜枝, 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)

我々はダークバリオン探査を目的とする SuperDIOS 計画を目指し、TES 型 X 線マイクロカロリメータを開発している。ダークバリオンは中高温銀河間物質 (WHIM) として分布していると考えられており、高いエネルギー分解能を持った X 線検出器が必要である。TES は超伝導金属の急激な抵抗変化を温度計とすることで優れたエネルギー分解能を実現できる。我々はこれまでに 5.9 keV の X 線で 2.8 eV のエネルギー分解能を達成した (Akamatsu et al. 2009 AICP)。現在は 20×20 アレイを産総研と共同でインハウス製作している。マイクロストリップ配線とすることで配線間のクロストークを低減する (Ezoe et al. 2015 IEEE TAS、Kuromaru et al. 2016 J.LTP など)。配線は Nb、TES は Ti/Au の二層薄膜を用いており、昨年新たに Chemical Mechanical Polishing を用いる手法で積層配線 TES における正常な超伝導転移 (360 mK) を確認した (小坂 天文学会 春季年会 2017)。そこで我々は SuperDIOS 向けの素子を完成するため 2 つの開発を行っている。1 つ目は 100 mK 付近での転移を目指した TES の最適な膜厚比である。転移温度は Ti と Au の膜厚比で決まるため、膜厚比を調整することで、より転移温度が下がる。エネルギー分解能は原理的に動作温度に比例するため下げる必要がある。2 つ目が TES を熱浴である基板から切り離すためのメンブレン構造である。TES と基板との弱いサーマルリンクとなる。我々はドライエッチングを用いて良好なメンブレン膜の形成に成功した。本講演では素子の完成と X 線測定に向けたこれらのプロセス開発の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326a 超伝導 TES カロリメータを用いた K 中間子原子の X 線精密分光プロジェクト (5)

早川亮大, 山田真也, 大橋隆哉, 石崎欣尚 (首都大理), 一戸悠人 (立教大), D.A. Bennett, W.B. Doriese, J.W. Fowler, D.R. Schmidt, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST), 岡田信二 (理研), 橋本直 (原研), 野田博文 (東北大), 竜野秀行 (首都大理), HEATES & E62 コラボレーション

2012 年より, K 中間子原子からの X 線を超伝導遷移端型 X 線検出器 (TES) を用いて精密分光することでストレンジネスを含む強い相互作用を測定し, 中性子星の状態方程式を制限すべく宇宙と原子核の共同実験 (HEATES) を進めている。ATHENA 衛星や super DIOS 計画など, X 線代替機を桁で上回るピクセル数で精密 X 線分光を目指す計画はあるが, TES は未だ宇宙での動作実証はなく, 過酷な地上実験に応用し技術成熟度を高める。

これまでに, チューリッヒにあるポールシェラー研究所 (PSI) の π 中間子ビームラインにて, π 中間子炭素原子の X 線 (4-3 遷移, 6 keV) 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, 2016 年 6 月, TES を J-PARC の K1.8BR ビームラインに設置して行った K^- ビーム環境下での TES の性能評価試験では, 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) を達成してきた。2017 年 12 月から, 本試験へむけた最終セットアップの最適化を行った。これらの状況は過去 4 回の年会で報告してきた。2018 年 4 月からは, さらなるエネルギー分解能の向上を目指してリアルタイム波形処理ソフトウェアの改修などを進めた。2018 年 6 月より, J-PARC の K1.8BR ビームラインにて K 中間子ヘリウム原子の X 線 (3-2 遷移, 6 keV) の測定を開始し, ビームのない環境下で熱浴の温度ゆらぎを $\sim 5 \mu\text{K rms}$, 200 ピクセル以上でエネルギー分解能 $\Delta E \sim 5$ eV (@6 keV) を達成した。本講演では, プロジェクトの現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327a X線多重像干渉計 MIXIM の開発現状 (1) サブ秒角の撮像達成

花坂剛史, 川端智樹, 林田清, 朝倉一統, 米山友景, 井出峻太郎, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 粟木久光 (愛媛大学), 中嶋大 (関東学院大)

我々は、光学系を用いない新しいタイプの X 線干渉計、多重像 X 線干渉計 MIXIM (Multi Image X-ray Interferometer Module) を提案している。X 線回折格子と X 線ピクセル検出器を組み合わせた単純な構造で、タルボ効果により生じる多数の自己像を撮影し重ね合わせることで、光源のプロファイルを測定する。例えば、波長 0.1nm の入射 X 線に対して、 $5\mu\text{m}$ ピッチ、開口率 0.2 の格子を検出器から 50 cm の距離に置くことで、0.4 秒角の像が得られる見込みである。

この装置に必要な高い位置分解の検出器として、我々はピクセルサイズ $4.25\mu\text{m}$ の可視光用 CMOS イメージセンサ Gpixel 社製 GSENSE 5130 を導入した。常温動作で、5.9 keV の X 線に対して約 240 eV エネルギー分解能を得た (2017 年秋季年会)。GSENSE 5130 と $4.8\mu\text{m}$ ピッチ、開口率 0.5 の格子を組み合わせた系に対して、SPring-8 BL20B2 においてエネルギー 12.4 keV, 24.8 keV の準平行光 (光源サイズ 0.04×0.28 秒角) の照射実験を行った。その結果、1 秒角に相当する干渉縞の検出に成功した (2018 年春季年会)。

MIXIM の角度分解能 (回折格子の自己像の幅) は格子の開口率に比例し、格子-検出器間距離に反比例する。そこで、新たに $4.8\mu\text{m}$, $9.6\mu\text{m}$ ピッチ、開口率 0.2 の格子を開発し、2018 年 5 月と 6 月の 2 回にわたり SPring-8 BL20B2 での照射実験を行なった。5 月実験では、 $9.6\mu\text{m}$ ピッチ、開口率 0.2、距離 92 cm の設定で、平均値で規格化した上で、Peak-to-Valley 1.2、像幅 (角度分解能ではない) 約 0.8 秒角の干渉縞を得ることに成功した。今回の発表では、6 月実験の結果を含めて実証実験の最新の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328a 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発

栗木久光, 大上千智, 吉田鉄生, 岩切駿, 相田望 (愛媛大学), 松本浩典 (大阪大学), 三石郁之, 大塚康司, 清水貞行, 田村啓輔, 中澤知洋 (名古屋大学), 石田 学 (ISAS/JAXA), 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ものであり、CFRP の成型性の良さもあり、我々は宇宙観測用望遠鏡の候補として Wolter 1 型形状をもつ基板の開発を進めてきた。CFRP 基板を反射鏡として使用するには、表面に X 線反射面を形成する必要がある。我々はこれまでレプリカ法を中心に開発を行ってきたが、Wolter 1 型形状を持つ基板へのレプリカには高度な技術が必要であることから、X 線反射面を形成する新しい方法を検討している。

今回報告する手法は、これまで開発を行ってきたハイブリッド法と CFRP 表面へのバリア面形成法を発展させた方法であり、直接、CFRP 表面上に平滑面を形成する。試作品ができあがり、試作品への X 線反射面の成膜が名古屋大学で行われた。レプリカとは異なった条件ではあったが、ほぼ一様に基板表面全体に成膜可能なところまでできている。本講演では、宇宙科学研究所所有のビームラインを用いて、新しく成膜した CFRP 反射鏡を評価した結果を述べるとともに、基板調整位置の数を増やした効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](#)

V329a 太陽 X 線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況

坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至, 山田純平, 井上陽登, 波多健太郎, 山口浩之, 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), 石川真之介 (名大 ISEE)

太陽フレアにともないコロナ中で発生する粒子加速過程の解明を念頭に、軟 X 線コロナを秒角程度の空間分解能と低散乱特性をもって撮像できる、高精度斜入射 X 線ミラー (Wolter I 型) の開発研究を進めている。Chandra 衛星や、「ようこう」・「ひので」X 線望遠鏡の高精度ミラーを製作・提供してきた米国メーカーはすでにミラー製作から撤退しており、同様の性能を持つ天体観測用斜入射ミラーは世界的に提供できない状況にある。我々のミラーは、加工時の研磨・計測機器のアクセスが容易となるよう、ミラーの円環表面の一部を切り出した形状のセグメント型とした。波動光学計算を通じたミラー表面の空間スケールごとの形状誤差振幅の設定と、それを達成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) の策定と加工、SPring-8/BL29XUL の平行 X 線を用いた結像性能の評価、のサイクルにより、研磨・計測技術の蓄積を着実に進めている。これまでに、研磨・計測機器に正対し加工がまだ比較的容易な円環最下部のほぼ水平な加工領域について、8 keV の平行 X 線に対して集光コアサイズが HPD で 0.2 秒角 (FWHM は 0.1 秒角)、off-axis 角 10 秒角の位置での散乱光レベルは集光ピークの 3×10^{-4} という、極めて高精度の Wolter 表面を創成した。

一方、ここで試作研磨した領域は、我々が粒子加速の鍵を握ると考えるコロナ中の比較的暗い領域を十分観測するにはまだ有効面積が不足している。そのため、今後の有効面積拡大にあたり特に技術的困難が予想される、傾斜を持った円環側面 (傾斜角 12°) に対する加工試作を目下進めている。講演ではこの傾斜領域に対する加工試作結果を中心に、高精度斜入射 X 線ミラー開発研究の状況と将来の見通しを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330a 炭素繊維強化プラスチックを用いた湾曲結晶偏光計の鏡面精度の改良

塚田晃大, 坪井陽子 (中央大学), 前田良知 (宇宙科学研究所), 岩切渉, 佐々木亮, 黒川裕平 (中央大学)

X線天文観測において、撮像、測光、分光観測の性能は飛躍的に向上されてきたが、偏光の観測機器の開発は、その波長の短さ故に技術的に難しく、今も試行錯誤が続いている。X線偏光観測が行えるようになると、ブラックホール近傍の幾何などの解明に繋がると期待されている。我々は、鉄輝線が含まれる帯域のX線偏光を高いエネルギー分解能で測定すべく、ブラッグ反射の原理を利用した、湾曲したSi(100)結晶と炭素繊維強化プラスチック(CFRP)から成る回転放物面形状の反射鏡と、中央に配置したX線CCDカメラによる、5.5 - 8.0 keVに偏光感度と高いエネルギー分解能 ~ 10 eVを持つ新たなX線偏光計の開発を行っている。先行研究では、回転放物面形状の金型にSi結晶とCFRPを積層する一体成型によって反射鏡を作成し、宇宙科学研究所の標準X線ビームラインで、単色X線の集光実験を行なった結果、8 keVにおいて11 eVのエネルギー分解能を達成することに成功した(鈴木他 2016 年秋季年会 V343a)。しかし、像は1点に集光せず、4 mmほど離れた2つに分かれてしまった。そこで今回、我々は反射鏡の形状測定を行ない、鏡のSiには放物線方向に波長2 mm 振幅2.5 μ mの凹凸があることがわかり、この影響で像が分かれたと考えた。反射鏡作成時に用いた金型も同様に形状測定を行った結果、同様の構造が見られた。よって、鏡面精度が優れた反射鏡を作成するために、金型の表面精度を向上させることが重要であると判断した。従来金型より高い表面精度を実現するために1/20のピッチで切削した新たな金型を作成した。それを用いて新たに反射鏡を作成したところ、先行研究よりも約8倍の鏡面精度を持つ反射鏡の作成に成功した。本講演では新たに作成した反射鏡の集光実験の解析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](#)

V331a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 29：PDD構造を持つイベント駆動型X線SOIピクセル検出器の性能評価

原田颯大, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 奥野智行, 佳山一帆, 天野雄輝 (京都大学), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 福田昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 松村英晃 (IPMU), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, Sumeet Shrestha, 中西駿太 (静岡大学電子工学研究所), 亀濱博紀 (沖縄高専), 幸村孝由, 萩野浩一, 根岸康介, 大野顕司, 鏑田敬吾 (東京理科大学)

我々は、次世代のX線天文衛星計画「FORCE」に搭載予定であるX線観測用ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIXは、SOI技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。XRPIXは各ピクセルにイベントトリガー機能を実装している。そのため、イベントを検出したタイミングでヒットしたピクセルを読み出す「イベント駆動読み出し」が可能で $< 10 \mu\text{s}$ の高時間分解能を実現できる。

XRPIXはトリガー信号を使用せず、X線の入射に関係なく一定周期で信号読み出しを行うフレーム読み出しも可能である。今まで、イベント駆動読み出しがフレーム読み出しに比べて著しく分解能が悪いという問題があった。これはトリガー回路層と読み出しノード間で容量結合が存在し、干渉が起こる事が原因である (Takeda et al. 2014)。この問題を解決する方法に、センサー層と回路層の間にシールド層を導入することが考えられる。XRPIX6Eは、センサー層と絶縁層の界面を覆うように固定電位層を導入することで、シールドの役割を持たせながら界面から生じる暗電流を抑制できるなどの利点を持つPDD (Pinned Depleted Diode) 構造 (Kamehama et al. 2018) を採用した素子である。この素子を評価した結果、イベント駆動読み出しで過去最高のFWHM 215 eV (6 keVのX線) を達成した。本講演ではXRPIX6Eの評価結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 30 : X線SOIピクセル検出器の電荷雲サイズの測定

萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾, 幸村孝由 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 原田颯大, 奥野智行, 佳山一帆, 天野雄輝 (京都大学), 松村英晃 (IPMU), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 福田昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK 素核研), 岸本俊二 (KEK 物構研)

我々は、次世代の広帯域X線天文衛星「FORCE」への搭載を目指して、X線用SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIXは、SOI技術によって高比抵抗のSiを用いたセンサー部と低比抵抗のSiによるCMOSピクセル回路部を結合した一体型のX線検出器である。XRPIXはイベント駆動読み出しが可能であるため、 $\sim 10 \mu\text{s}$ を超える優れた時間分解能を実現でき、この優れた時間分解能により反同時計数法によるバックグラウンド低減が可能になる。

FORCEによって天体からのX線のエネルギー・位置・フラックスなどを精度よく求めるためには、検出器の性能向上に加えて、正確な検出器応答の理解が極めて重要である。特に、入射X線により検出器内に生成された電荷雲のサイズは、検出器応答を理解する上で重要かつ基本的な物理パラメータとなる。そこで我々は、KEK-PFの放射光を利用して、 $4 \mu\text{m}\phi$ のピンホールを使って絞った単色X線をXRPIXに照射し、ピクセルサイズ以下のスケールでの電荷分割イベントの分布を測定した。この実験データを解析することで、我々は電荷雲サイズを精度よく推定することに成功した。さらに、X線と検出器との相互作用と検出器内での電荷輸送を考慮したシミュレーションを行い、これを実験結果と比較することで、電荷雲の広がり物理的起源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](#)

V333a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 31:マルチコリメータ実験を用いたX線SOI検出器の電荷収集時間のピクセル内での位置依存性の評価

佳山一帆, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 原田颯大, 奥野智行, 天野雄輝(京都大学), 常深博(大阪大学), 平賀純子, 吉田将之(関西学院大学), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, Sumeet Shrestha, 中西駿太(静岡大学), 亀濱博紀(沖縄高専), 新井康夫, 倉知郁生(KEK), 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴, 福田昂平(宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾(東京理科大)

我々が開発を進めているX線ピクセル検出器「XRPIX」は、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。XRPIXは各ピクセルにトリガ回路を実装することで、 $10\ \mu\text{s}$ 以下の時間分解能を実現した。

最新の素子である「XRPIX6E」は、センサ層と絶縁層の界面に固定電位層を持つPDD (Pinned Depleted Diode) 構造を採用した厚さ $200\ \mu\text{m}$ のセンサー層をもつ素子で、 $6.4\ \text{keV}$ のX線に対して $215\ \text{eV}$ (FWHM)のエネルギー分解能をもつ。しかし、分光性能がトリガが出てからの露光時間に依存し、その時間が短いほど分光性能が悪くなる。我々は同じピクセル内でも照射位置によって電荷収集にかかる時間が異なることが原因であると考えている。電荷収集にかかる時間と照射位置の関係を明らかにするため、我々は $4\ \mu\text{m}$ 径の穴が $108\ \mu\text{m}$ ピッチで空いたマルチコリメータを素子の前に設置してX線を照射する実験を行った。この実験で、1ピクセル $36\ \mu\text{m}$ 角の素子に対してさらに細かいピクセルスケールで分光性能を測定することによって、この位置依存性を評価することができる。本講演では、マルチコリメータ実験の結果も含め、XRPIX6Eの分光性能を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](#)

V334a Cherenkov Telescope Array 計画：全体報告（15）

手嶋政廣、齋藤隆之、野田浩司、吉越貴紀（東大宇宙線研）、窪秀利（京都大学）、戸谷（東大理）、井岡邦仁（京大基研）、田島宏康（名大 ISEE 研）、山本常夏（甲南大理工）、吉田龍生（茨城大）、他 CTA-Japan Consortium メンバー

CTA (Cherenkov Telescope Array) は次世代の国際宇宙ガンマ線天文台であり、従来に無い感度と精度で 20GeV から 200TeV を超える全天からの超高エネルギーガンマ線を観測する。1000 を超える多種多様な高エネルギー天体を銀河系内、銀河系外に観測し、高エネルギー宇宙物理・非熱的宇宙の研究を飛躍的に発展させる。銀河系内の全ての超新星 残骸をサーベイし銀河宇宙線の起源を明らかにする。銀河系外の観測においては、活動銀河核、ガンマ線バーストを宇宙論的な距離まで観測し、超高エネルギーガンマ線の地平線を大きく広げる。また、銀河中心領域、また矮小楕円銀河に暗黒物質対消滅からのガンマ線を探索する。CTA のサイエンスは、宇宙物理から基礎物理まで大きな広がりをもつ。CTA は南北 2 つのサイトからなり、南はチリ・パラナル ESO サイト、北はスペイン・ラパルマ ORM が正式サイトとして決定される。また、2016 年より CTA 北サイト、ラパルマに 23m 口径の大口径望遠鏡 4 基の建設を日本主導で開始した。2018 年秋には、1 号基のファーストライトが予定されている。本講演では、国内外での CTA 計画の準備状況について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a CTA 大口径望遠鏡初号機のカメラ最終試験報告

櫻井駿介, 稲田知大, 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 齋藤隆之, 澤田真理, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 深見哲志, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 奥村暁 (名大 ISEE), 折戸玲子 (徳島大学), 片岡淳 (早稲田大学), 片桐秀明, 鈴木萌, 吉田龍生 (茨城大学), 窪秀利, 今野裕介, 野崎誠也, 平子丈, 増田周 (京都大学) 木村颯一郎, 櫛田淳子, 辻本晋平, 西島恭司 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 砂田裕志, 寺田幸功, 永吉勤, 西山楽 (埼玉大学), 馬場彩 (東京大学), 高原大, 林田将明, 山本常夏 (甲南大学), 池野正弘, 内田智久, 田中真伸 (KEK, Open-It), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は口径の異なる三つの大気チェレンコフ望遠鏡を並べ、20 GeV から 300 TeV のエネルギーを観測対象とする国際計画である。北半球のラ・パルマ島および南半球のパラナルにそれぞれ望遠鏡を設置し、既存の望遠鏡の 10 倍の感度でガンマ線を観測する。CTA 計画は 32 カ国が参加する巨大な計画であるが、この中で日本は主に大口径望遠鏡 (LST) の開発を主導してきた。LST は 20 GeV から 1 TeV までの低エネルギー観測を担当しており、このため焦点面カメラには量子効率 40% を超える PMT や 1 GHz 波形サンプリングの信号読み出し回路が搭載される。LST では PMT 7 本と信号読み出し回路基盤を合わせて、PMT モジュールと呼び、これまで品質管理を行ってきた。間もなく LST 初号機はファーストライトを予定しており、現在建設の最終段階を迎えている。本講演では、LST 初号機に焦点面カメラをインストールするにあたり行われた焦点面カメラ全体での最終試験の結果と初号機の建設状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V336a SMILE 実験計画と 2018 年豪州気球実験 SMILE-2+

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 小野坂健, 齋藤要, 阿部光, 窪秀利, 水本哲矢, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 中増勇真, 谷口幹幸 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

MeV エネルギーガンマ線帯域での宇宙観測は、元素合成の現場を直接観測できる唯一の窓として貴重であり、超新星爆発および銀河進化の系統的研究や、銀河系内宇宙線起源など重要問題の解決が期待できる。世界中でコンプトン散乱事象を計測しガンマ線の到来方向を得るコンプトンカメラが開発されてきたが、測定物理量不足により望遠鏡性能の要である Point Spread Function (PSF) の評価が困難であった。

我々は、ガスを媒質に用いてコンプトン反跳電子の飛跡を測定可能な電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) を開発し、世界で初めて PSF を明確に評価可能な MeV ガンマ線カメラを実現した。この ETCC を用いた Sub-MeV gamma-ray imaging loaded-on-balloon experiment (SMILE) 計画として、SMILE-I で気球高度での動作と雑音除去性能を実証し、SMILE-II 装置や小型試験機にて実験室環境や福島地域での撮像性能を証明した。今回我々は SMILE-2+ 装置を開発し、銀河中心領域からの電子・陽電子対消滅線の観測および Crab の観測により、PSF に基づくガンマ線イメージング分光性能を気球高度で実証する実験を、2018 年 4 月に豪州で実施した。SMILE-2+ 装置は、上空約 39 km で約 26 時間の水平浮遊観測を健全に行い、無事に回収に成功した。

本講演では、SMILE 実験計画全体と 2018 年 4 月の豪州気球実験 SMILE-2+ の位置付けおよび実施状況を報告する。SMILE-2+ が成功する事は、将来の衛星規模装置で 1 mCrab の観測感度を実現する道すじが立ち、MeV ガンマ線天文学の開拓へとつながる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337a SMILE-2+ 軟ガンマ線望遠鏡による 2018 年豪州気球実験の初期解析

吉川慶, 谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 竹村泰斗, 中村優太, 小野坂健, 斎藤要, 阿部光, 水本哲矢, 窪秀利, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 中増勇真, 谷口幹幸 (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)

数百 keV から数十 MeV までの軟ガンマ線帯域は、核ガンマ線を観測できる、唯一のエネルギー帯域である。短寿命元素からの核ガンマ線を利用して、超新星爆発などの元素の合成現場を直接観測でき、長寿命元素では、例えば銀河の拡散と同等のスケール (10^5 - 10^7 年) の寿命の元素を用いて、銀河系の物質拡散が観測できる。このように、MeV ガンマ線特有の物理があるが、撮像技術による不明確な統計誤差と、観測器筐体と宇宙線との相互作用による多量の雑音が、高感度観測を難しくし、また、世界中の望遠鏡で、地上較正実験により予測した検出感度と、上空での実際の検出感度が一致しないという問題が生じていた。そこで、我々は入射光子の到来方向を 2 角で測定できる望遠鏡の電子飛跡検出型コンプトンカメラを開発している。それにより MeV ガンマ線帯域で初めて、Point Spread Function を定義し、検出感度の厳密な算出およびイメージング分光による高感度化が可能になった。我々は地上での較正実験を行い、上空での観測実験として、2018 年 4 月にオーストラリアにて気球実験を行った。観測天体は、このエネルギー帯域で明るい、かに星雲と銀河中心領域からの電子・陽電子対消滅線である。上空約 39 km、26 時間の水平飛行で、望遠鏡システムは健全に動作し、フライトは成功した。本公演では気球実験の初期解析結果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V338a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗

米徳大輔（金沢大学）、HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線撮像検出器による突発天体の発見と、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行なう計画である。これにより、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態の観測、また重力波と同期した突発天体の観測などブラックホール形成の瞬間の物理を主要課題として掲げている。高エネルギー突発天体を利用して、初期宇宙探査、マルチメッセンジャー天文学、時間領域天文学を強力に推進する計画である。

突発天体を監視する広視野 X 線撮像検出器は、micro pore optics と呼ばれる X 線結像光学系と CMOS 検出器を用いたシステムを検討している。0.4–4.0 keV のエネルギー帯域において、約 1.2 ステラジアン of 広視野を、 10^{-10} erg/cm²/s @ 100 sec の感度で監視する。突発天体を見つけた後、300 秒以内に衛星姿勢を変更し、近赤外線望遠鏡で追観測を行なう。望遠鏡の口径は 30 cm で、0.5–2.5 μ m の帯域において 4 バンドの同時測光観測を行い、高赤方偏移 GRB の同定や、重力波源の電磁波対応天体としての macronova の観測を行なう。

本講演では HiZ-GUNDAM が目標とする科学・ミッションの概要を紹介した上で、進捗状況について紹介する。特に、X 線検出器で用いる CMOS 撮像検出器の候補に対して、様々な温度に対して、エネルギー分解能、エネルギー閾値、電荷収集効率等の基礎特性を評価した。2018 年 7 月以降に実施予定の放射線耐性試験の結果を含め、CMOS 検出器の開発状況について講演する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339a 重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT³ フライトモデル製作状況 (2)

澤野達哉, 八木谷聡, 米徳大輔, 有元誠, 笠原禎也, 井町智彦, 後藤由貴, 吉田和輝, 加川保昭, 太田海一, 小川勇太, 河越幸平, 瀬川浩史, 鈴木大智, 竹下黎, 中嶋拓也, 宮尾耕河, 源輝也, 渡辺彰汰, 稲航洋, 安田有希 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 高尾祐介 (立教大学), 池田博一 (ISAS/JAXA)

我々は超小型衛星を用いた重力波天体の X 線対応天体の検出と、位置情報と時刻情報の地上即報を目指した計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。この衛星には2つのミッション機器が搭載される。ひとつは1次元コーデッドマスクを用いた X 線撮像検出器 T-LEX、もうひとつは無機シンチレーターによるガンマ線検出器である。民間の衛星電話サービスを用いた衛星地上間データ通信により、T-LEX の観測による位置決定精度 15 分角の X 線突発天体の位置と絶対時刻情報を数時間以内に即報し、他の望遠鏡ネットワークによる重力波天体の電磁波追観測を強力に推進する。また、2つのミッション機器で独自に取得した重力波発生時の X 線・ガンマ線の明るさの情報やタイミングの情報を用いて、短時間ガンマ線バーストの発生メカニズム・環境の解明を目指す。

衛星の開発状況について、これまで衛星の熱構造モデルを昨年に作製し、熱真空試験と QT レベルのランダム振動試験を実施したが、正弦波振動とサインバースト試験が未実施であった。そこで2018年5月末、QTレベルの正弦波振動試験とサインバースト試験を九州工業大学にて実施した。その結果、各軸において1次モードの周波数が目標の範囲にあることを確認した。また、各試験の前後で共振モードの周波数の変位は最大で10%であり、構造に異状が見られないことを確認した。また、これまでバス系についてはコンポーネントレベルの調達・試験を行ってきたが、これらを統合しフライトモデルとして機能するためのシステム設計を詳細化している。本講演では、科学的背景と Kanazawa-SAT³ 計画の概要、および衛星バス系の準備状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V340a 超小型衛星搭載広視野 X 線撮像検出器の撮像性能評価

鈴木大智, 米徳大輔, 有元誠, 澤野達哉, 吉田和輝, 加川保昭, 太田海一, 宮尾耕河, 渡辺彰汰, 荻野直樹, 金善勇, 佐藤大地 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

重力波観測装置 LIGO や Virgo の稼働により、重力波イベント GW150914 を初めとし、これまで 6 例もの重力波イベントが直接観測された。しかし、重力波干渉計での方向決定精度は 10-100 平方度と粗く、電磁波での追観測が困難である。一方、ブラックホール・中性子星連星や連星中性子星は、衝突・合体時に重力波だけでなく短時間ガンマ線バースト (SGRB) も発生させるとされているため、電磁波による方向特定が可能な天体である。

金沢大学では、重力波と同時に発生する SGRB やその他の X 線・ガンマ線突発天体を観測する超小型衛星 Kanazawa-SAT³ を独自に開発している。広視野 X 線撮像検出器 (T-LEX) を搭載し、これにより検出・方向決定を行う。SGRB の初期放射やそれに付随する軟 X 線帯域の放射を主なターゲットとするため 2-20 keV の観測帯域を持ち、方向決定は 1 次元符号化マスクとシリコンストリップセンサー (SSD) により行う。マスクの開口パターンと SSD の X 線強度分布との相互相関により位置決定を行うため、相互相関のピークが大きいかつ雑音事象からの疑似ピークが小さいマスクが好ましい。そこで乱数を使い 50000 パターンのマスクをつくり、最適なものを選択した。マスクと SSD を一体とした検出器の角度応答や検出効率の把握を目的に Geant4 を用いたシミュレーションを行っている。金沢大学実験室のビームラインを使った先行研究によりマスクと検出器の組み合わせでの撮像性能が分かっているが、その環境を模擬し放射線を入射させた場合に実際に期待される撮像性能が得られるかシミュレーションを行い確認した。また、宇宙を模擬した環境における性能についてもシミュレーションを行い評価をした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341a 超小型衛星搭載ガンマ線検出器試作モデルの評価

渡辺彰汰, 澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 三原建弘 (理研), 高尾祐介 (立教大学)

ガンマ線バーストは、数秒間に 10^{52} erg ものガンマ線が観測される宇宙最大の爆発現象である。2017年8月17日、連星中性子星の合体による重力波が LIGO 及び、VIRGO によって観測された。その観測時間から 1.7 秒遅れて、フェルミガンマ線望遠鏡のガンマ線バーストモニターが、連星合体による短時間ガンマ線バースト (SGRB) らしき天体現象を観測した。これは、初めての重力波と電磁波の同時観測であり、SGRB の発生過程を解明するための貴重な情報である。

金沢大学では、更なる重力波と電磁波の同時観測を目的とした超小型衛星を用いた X 線 線観測を計画している。我々の研究室では、20 ~ 200 keV のガンマ線を観測し、SGRB の到来時刻の決定するためにガンマ線検出器の開発をしている。

ガンマ線検出器は、無機シンチレーターと光子計測半導体素子 (MPPC) を組み合わせた検出器である。MPPC はアバランシェフォトダイオードの小さなセルを並べた素子であり、 $10^5 \sim 10^6$ の増倍率を持つ。しかし、その増倍率が温度により変化してしまう。そこでガンマ線検出器では温度センサーを用いて、MPPC にかかる逆バイアス電圧にフィードバックをかけることで一定の増倍率を保つように設計を行っている。本講演は、科学目標や設計コンセプトを紹介したうえで、作成したガンマ線検出器の試作モデルのエネルギー分解能、温度センサーのフィードバックの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](#)

V342a X線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (2)

三石郁之 (名古屋大学), 玉川徹, 早藤麻美, 北口貴雄, 岩切渉, 中野俊男 (理研), 郡司修一 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 林田清 (大阪大) ほか IXPE-J チーム

X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されているが、可視光や電波に比べ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。2014年に公募されたNASA小型衛星計画(SMEX)の枠組みで、NASAマーシャル宇宙飛行センター(NASA/MSFC)がイタリアグループと共同で提案した高感度X線偏光観測衛星IXPE(Imaging X-ray Polarimeter Explorer)が採択され、2021年の打ち上げが決まった。これにより、2-10 keV帯域の軟X線偏光観測が実現することとなり、世界的に機運が高まりつつある。

IXPE衛星には日本から、国際協力の枠組みで、ハードウェア提供を含む貢献をすることが決まっている(玉川ほか, 三石ほか, 2017年秋季年会, 2018年春季年会)。提供するハードウェアは、理化学研究所が開発した、X線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイルと、名古屋大学が開発した受動型熱光学素子であるX線望遠鏡用サーマルシールドである。すでに両ハードウェアのエンジニアリングモデルは各々イタリアとNASA/MSFCに納品されており、偏光計や望遠鏡の単体試験へと進む。また、サイエンスワーキンググループへの参加も並行して進め、技術協力との両側面から日本コミュニティのビジビリティを最大化するよう精力的に動いている。本講演では、IXPE衛星計画の現状、および日本グループの参加状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V343a X線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (3)

二村泰介, 清水貞行, 田原譲, 三石郁之, 大西崇文, 立花一志 (名古屋大学), 玉川徹 (理研)

NASA が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げ予定されている。我々はその X 線望遠鏡の温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体はシールド本体の金属薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属枠からなる。IXPE ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、初の国内産ポリイミドフィルムの使用を予定している。

2017 年 1 月から IXPE 搭載用サーマルシールドのエンジニアリングモデル (EM) ユニットの開発を行い、2018 年 5 月にその納品を終えた。X 線透過率を最大化するため、ポリイミドフィルムの厚さは $1.4 \mu\text{m}$ 厚程度、金属メッシュにはステンレス製とした上、これまでで最も大きな 8 mm 角の高開口効率 ($\sim 98 \%$) デザインを、金属枠は $\phi 300 \text{ mm}$ のアルミ製全周構造とした。それぞれをネジ及びエポキシ接着で固定している。EM ユニットとスペア品には、 $110 \sim 12$ 時間のベーキングを施しており、軌道上で予想される熱負荷への耐性も熱サイクル試験 ($-60 \sim 110$, 8 サイクル) を通し確認している。本講演では EM 開発の詳細と合わせ、今後のフライトモデルユニット開発スケジュールについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W. コンパクト天体】

9月19日(水) 午前(11:00-13:00) [B会場]

W01a	11:00	超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による可視パルサー探査のための試験観測	一木真 (東京大学)
W02b	11:12	Tomo-e Gozen による MAXI J1820+070 の高速撮像観測	大澤亮 (東京大学)
W03b	11:12	北海道大学 1.5m ビリカ望遠鏡/MSI による MAXI J1820+070 の可視光 ~100Hz 高速撮像および偏光撮像観測	小久保充 (東北大学)
W04b	11:12	X 線衛星「すざく」によるブラックホール連星 LMC X-3 の降着円盤放射の研究	岩尾祐希 (広島大学)
W05b	11:24	スパーモデルを用いた Eclipse Mapping の開発と HT Cas への適用	若松恭行 (京都大学)
W06c		クォーク物質のペアリングと中性子星の熱的進化	野田常雄 (久留米工業大学)
W07b	11:24	パルサーポーラーキャップにおける電子陽電子カスケードからの放射モデルの完成に向けて	柴田晋平 (山形大学)
W08b	11:24	Swift 衛星を用いた強磁場電波パルサーの系統的観測	渡邊瑛里 (山形大学)
W09a	11:36	マグネター CXOU J171405.7-381031 の XMM Newton による X 線スペクトルの決定 (仮題目)	渡邊 春花 (株式会社ユードム)
W10a	11:48	NuSTAR を用いたマグネター SGR 1900+14 の硬 X 線観測	丹波翼 (東京大学)
W11a	12:00	FRB151230 の可視光追観測	富永望 (甲南大学)
W12a	12:12	高速電波バーストの連星中性子星合体モデル: 複数種族の統一的解釈	山崎翔太郎 (東京大学)
W13a	12:24	連星中性子星合体の衝撃波加熱による自由中性子放出と初期の電磁波放射	石井彩子 (東京大学)
W14a	12:36	Nonthermal afterglow of GW170817: a more natural electron energy distribution leads to a new solution with radio flux in the low frequency synchrotron tail	Haoxiang Lin (The University of Tokyo)
W15b	12:48	Three-body encounters close to supermassive black holes: on the origin of the S-stars and the merger rate of black hole binaries	Alessandro Alberto Trani (The University of Tokyo)
W16b	12:48	GW150914 に対する Swift/BAT による電磁波上限値の見積もり	富樫拓也 (青山学院大学)
W17b	12:48	MOA 望遠鏡を用いた大質量ブラックホールの探索	宗像恒 (名古屋大学)
W18c		降着円盤の蒸発・凝縮に関する熱伝導を考慮した 2 次元磁気流体数値実験	金子岳史 (名古屋大学)
W19c		X 線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した 2 次元数値実験 II	中村賢仁 (九州産業大学)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [B会場]

W20a	09:30	ブラックホール降着円盤から放出される大強度アルフヴェンパルスとジェット	水田晃 (理化学研究所)
W21a	09:42	背景磁場を取り入れたジェット伝搬数値実験	大村匠 (九州大学)
W22a	09:54	ブラックホールまわりの磁気リコネクション時間発展の数値解析	小出真路 (熊本大学)
W23a	10:06	円盤降着流における輻射性衝撃波の構造	福江純 (大阪教育大学)

(次頁に続く)

【W. コンパクト天体】

W24a	10:18	X線連星における降着円盤風の放射流体シミュレーション 都丸亮太 (Kavli IPMU)
W25a	10:30	一般相対論的輻射輸送計算で探る超臨界降着ブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの差異とその起源 川島朋尚 (国立天文台)
W26a	10:42	ブラックホール降着流におけるハード・ソフト遷移の大局的輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一 (千葉大学)
W27a	10:54	ボルツマン方程式を解いた一般相対論的輻射磁気流体コードの開発 朝比奈雄太 (京都大学)
W28a	11:06	スリム円盤モデルは正しかったのか? 北木孝明 (京都大学)
W29b	11:18	円盤スペクトルが超臨界降着に与える影響 竹尾英俊 (京都大学)
W30b	11:18	降着円盤における MRI の方位角方向解像度依存性 2: 質量降着率への影響 町田真美 (九州大学)
W31b	11:18	活動銀河核におけるシンクロトロン偏光輻射輸送計算 恒任優 (京都大学)

9月20日(木) 午後(13:30-15:18) [B会場]

W32a	13:30	銀河系中心大質量ブラックホール SgrA * の 340 GHz 帯短期強度変動 (II) 三好真 (国立天文台)
W33a	13:42	すばる望遠鏡による大質量銀河中心ブラックホールの相対論効果の調査 大神隆幸 (大同大学)
W34a	13:54	ブラックホールへの落下ガス雲の VLBI 直接撮像を想定したスピン測定法 森山小太郎 (国立天文台)
W35a	14:06	X線新星 MAXI J1727-203 の発見と MAXI/GSC が検出した 2018 年度前半の突発現象 根来均 (日本大学)
W36a	14:18	ブラックホール X線連星 MAXI J1828-249 の X線および可視光観測 小田苑会 (東京理科大学/理化学研究所)
W37a	14:30	X線新星 MAXI J1820+070 の X線・可視光モニタ観測 志達めぐみ (愛媛大学)
W38a	14:42	X線放射輸送コード MONACO の開発の現状とその降着天体への応用 小高裕和 (東京大学)
W39a	14:54	ジオメトリを考慮したブラックホール連星 Cyg X-1 の硬 X線スペクトル解析 會澤優輝 (東京大学)
W40a	15:06	硬 X線偏光検出器 PoGO+ 気球実験による Cygnus X-1 の偏光観測 高橋弘充 (広島大学)

9月21日(金) 午前(9:30-11:42) [B会場]

W41a	09:30	古典新星 V612 Scuti の極大期の高分散分光観測 前原裕之 (京都大学)
W42a	09:42	強磁場激変星うみへび座 EX における再結合優勢プラズマの発見 迫聖 (奈良教育大学)
W43a	09:54	SU UMa 型矮新星 VW Hydri の降着円盤ガス量の時間変動解析 中庭望 (首都大学東京)
W44a	10:06	初のアウトバーストを起こしたヘリウム激変星 SDSS J141118.31+481257.6 磯貝桂介 (京都大学)
W45a	10:18	超軟 X線源の前身としての、重い伴星と白色矮星を持つ矮新星 木邑真理子 (京都大学)
W46a	10:30	星風降着する X線連星系における角運動量輸送 鷹野重之 (九州産業大学)

(次頁に続く)

【W. コンパクト天体】

W47a	10:42	重力崩壊型超新星爆発時に中心天体に戻ってくる物質を押し戻す活動性 茂山俊和 (東京大学)
W48a	10:54	MAXI, Swift, RXTE による X 線連星パルサー GS 1843-02 の軌道位相に依存した X 線スペクトル変動 中島基樹 (日本大学)
W49a	11:06	大質量 X 線連星 SMC X-1 から的高電離鉄吸収線の発見とその起源 窪田恵 (理化学研究所/東京理科大学)
W50a	11:18	降着駆動型 X 線パルサーにおける鉄 K 吸収端の光学的深さの自転位相変動 吉田裕貴 (立教大学)
W51a	11:30	Be/X 線連星パルサー Swift J0243.6+6124 の Eddington 光度近傍における X 線スペクトル、パルス波形の変化 大枝幹 (東京工業大学)

9月21日(金) 午後(13:30-15:18) [B会場]

W52a	13:30	銀河中心ブラックホールの合体形成モデルと重力波観測 真貝寿明 (大阪工業大学)
W53a	13:42	低質量星団内におけるブラックホール連星形成とその合体可能性 熊本淳 (東京大学)
W54a	13:54	Ultra-Long Gamma-Ray Bursts and Tidal Disruption Events from Intermediate-Mass Black Holes in Collapsing Star Clusters 檜山和己 (東京大学)
W55a	14:06	Why Are Some Gamma-Ray Bursts Hosted by Oxygen-rich Galaxies? 橋本哲也 (国立清華大学)
W56a	14:18	低光度ガンマ線バースト GRB171205A の多波長放射モデル 鈴木昭宏 (国立天文台)
W57a	14:30	Amati 相関から外れるハードで暗い GRB の X 線残光 勝倉大輔 (埼玉大学)
W58a	14:42	非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の下流磁場の非線形発展 富田沙羅 (青山学院大学)
W59a	14:54	ニュートリノ優勢降着円盤における磁気回転不安定性乱流の磁気プラントル数依存性とそれに伴う円盤不安定性の解析 川中宣太 (京都大学)
W60a	15:06	星とジェットとの相互作用で説明するプリカーサー放射 伊藤裕貴 (理化学研究所)

W01a 超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による可視パルサー探査のための試験観測

一木真, 酒向重行, 土居守, 大澤亮, 諸隈智貴, 有馬宣明, 小島悠人, 森田雅大, 茂山俊和 (東京大学), 満田和真 (東北大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), Tomo-e Gozen チーム

周期的にパルスを発する天体「パルサー」は、高速回転する磁化中性子星がその正体と思われており、電波でおよそ 2000 個が発見されてきた。パルサーは電波から γ 線までの広い波長でパルスを発しており、X 線や γ 線の全天サーベイによっても、それぞれ数 100 個のパルサーが発見されている。一方で、可視光でパルスが検出されたパルサーは 5 個に留まっている。しかしこれまで可視光では他波長で発見されたパルサーの追観測のみが行われ、無バイアスなサーベイが為されたことがないため、「他波長で暗く、可視光で明るい」パルサーが見逃されている可能性がある。東京大学で開発中の超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen は、84 台の CMOS センサで木曾 Schmidt 望遠鏡の広視野を覆うことによって、これまで可視光で両立することが困難であった高い時間分解能と広い視野を同時に実現させており、可視光での初のパルサーサーベイが実行可能と思われる。そこで Tomo-e Gozen 試験機を用いて、既知の代表的な可視パルサーである Crab パルサー (距離 ~ 2 kpc) を試験観測した。6.5 ミリ秒/フレームの速度で 5 万フレームを連続して取得した画像データ (およそ 5 分間分) から、例えば 6 秒間の露光時間に対してはパルス信号の信号雑音比 22 を達成していることがわかった。これは Crab パルサーと同程度の明るさ、周期、減光の天体であれば 4 kpc の距離にあっても発見できることに対応する、またこの積分時間で観測を行う場合、40 晩 (320 時間) で 3800 平方度 (10 度幅で天球を全周する広さ) の探査が可能である。これらから、Tomo-e Gozen は現実的な時間内に十分な深さ、広さでの可視パルサーサーベイが実行可能であるとわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W02b Tomo-e Gozen による MAXI J1820+070 の高速撮像観測

大澤亮, 酒向重行, 諸隈智貴, 一木真 (東京大学), 森井幹雄 (統計数理研究所), 前原裕之 (京都大学), 富永望 (甲南大学), 小久保充, 野田博文, 田中雅臣 (東北大学), 植村誠 (広島大学), Tomo-e Gozen プロジェクトメンバー

MAXI J1820+070 は 2018 年 3 月 11 日 12:50 UT に MAXI/GSC が発見したへびつかい座にある X 線トランジェント天体である (ATel#11399). X 線から電波までさまざまな波長によってフォローアップ観測が実施されている. 総光度の大きさや光度に高速変動が見られることからハード状態にあるブラックホール連星であると考えられている (ATel#11418, 11421, 11423, ほか). パースト以降, 総光度はゆるやかに減少しつつあるが, 2018 年 6 月までスペクトル指数は変わらずハード状態からソフト状態への遷移は確認されていない.

東京大学木曾観測所では 2018 年 2 月より超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の運用を開始した. Tomo-e Gozen は 84 枚 (現在は 21 枚) の CMOS センサによって 20 (5) 平方度の領域を可視光 (350–730 nm) で, 最大 2Hz で連続的にモニタリングできる. また, 部分読み出しで視野を限定することによって最大で 500 Hz の読み出しも可能である (Sako et al. 2018, SPIE). 我々は 2018 年 3 月 11 日より 2018 年 6 月 9 日にかけて MAXI J1820+070 のモニタリング観測を実施し, MAXI J1820+070 の光度変化を追跡した. 最終的に合計で 24 夜分のライトカーブを取得した. 2018 年 3 月 11 日 18:37 UT のデータからは同じフィールドにいる星と比較して有意な変動 (~ 0.2 mag at 2Hz) を検出した. 2018 年 3 月 14 日 19:24 UT には 162Hz のモニタリング観測を実施し, 可視光で 10 ms スケールのフレアが発生していることを確認した (ATel#11426). 講演では観測期間を通じた時間変動現象の推移と可視フレアの特徴について議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W03b 北海道大学 1.5m ピリカ望遠鏡/MSI による MAXI J1820+070 の可視光～100Hz 高速撮像および偏光撮像観測

小久保充、野田博文 (東北大学)、酒向重行、大澤亮 (東京大学)

MAXI J1820+070 は、MAXI/GSC によって 2018 年 3 月 11 日に発見されたブラックホール X 線連星起源のアウトバースト現象である (ATel#11399)。MAXI J1820+070 は 4 月初めに X 線/可視光で最大光度に達した後、緩やかな線形の光度減少を示しているが、X 線スペクトル指数は $\Gamma \sim 1.6$ の一定値を保ち続けている (=“hard-state only” アウトバースト)。ブラックホール X 線連星の観測的特徴として X 線/可視光の短時間変動があるが、MAXI J1820+070 においても 1 秒以下のタイムスケールの光度変動の検出が報告されている (ATel#11426)。このような光度変動を伴う可視光の放射源としては、相対論的ジェットからのシンクロトロン放射や降着円盤からの熱輻射などが考えられるが、いまだその起源ははっきりとは分かっていない。

MAXI J1820+070 の可視光放射の起源を観測的に制限するため、我々は北海道大学 1.5m ピリカ望遠鏡/MSI をもちいて、アウトバースト増光期 (2018 年 3 月 19 日-31 日) の可視光高速撮像 ($\sim 100\text{Hz}$; 最速 6 ミリ秒/フレーム)、および *BVRI* バンド偏光撮像観測を実施した。偏光観測の結果、MAXI J1820+070 の偏光度は 1% 以下で有意な時間変動を示さないことがわかった。これは観測された偏光が銀河系星間偏光起源であり、MAXI J1820+070 そのものの偏光度は小さいことを示唆する。高速撮像観測では 10 ミリ秒タイムスケールのフレア現象が多数捉えられた一方、本観測で時間分解されない超短時間フレアは存在しなかった。観測された光度変動の最小タイムスケールから、光度変動が極めてコンパクト ($< 200R_g$; $M_{\text{BH}} = 10M_{\odot}$ を想定) な領域を起源とすることが分かる。講演では *Swift*/XRT で得られた X 線光度曲線と可視光光度曲線との相互相関解析の結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W04b X線衛星「すざく」によるブラックホール連星 LMC X-3 の降着円盤放射の研究

岩尾祐希, 高橋弘充, 水野恒史, 深澤泰司 (広島大学)

ブラックホール連星は恒星質量ブラックホールと伴星からなる天体である。伴星からの物質の供給によりブラックホールの周りに降着円盤を形成し、重力エネルギーの解放により X 線で明るく輝いている。よって、降着円盤の X 線放射スペクトルを解析することにより、降着円盤やブラックホールの物理を研究することができる。

ブラックホール連星である LMC X-3 は X 線衛星「すざく」により、3 回観測されている。この天体は視線方向の吸収柱密度がとても小さいので XIS 検出器 (0.5-10 keV) により低エネルギー側の円盤放射のスペクトルをよく観測できる。また HXD 検出器により 10 keV 以上も観測することができるので、高エネルギー側のコロナからのベキ型放射を精度よく決定できる。そこで LMC X-3 の公開データ 3 観測を先行研究 (1 観測目のみを解析: 久保田 et. al.) の手法を参考に解析した。モデルを標準降着円盤 (多温度黒体放射) + ベキ型放射で解析したところ、2 観測目では円盤の最内縁温度は 0.9 keV から 1.1 keV に変化するものの、最内縁半径は 40 km とほぼ同じ値を示していた。一方で 3 観測目では、ベキ型放射の割合が増えるとともに、最内縁半径が 52 km へ後退していることが示された。ただし今回 LMC X-3 までの星間吸収が小さいことによって観測可能だった sub keV 帯域では、ベキ型放射が円盤放射を卓越してしまうという非物理的なモデリングになってしまっている。ベキ型放射を逆コンプトン散乱放射に置き換え、この種光子も含めて円盤放射の最内縁半径を求めると、2 回目 (45 km) と 1 回目 (60 km) で異なる位置にあると推定された (3 回目は 100 km)。

本講演では、こうしたベキ型放射モデルによる低エネルギー帯域への影響について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W05b スペースモデリングを用いた Eclipse Mapping の開発と HT Cas への適用

若松恭行, 磯貝桂介, 森田貴士, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 植村誠 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 他 VSNET Collaboration

矮新星は白色矮星 (主星) と後期型主系列星 (伴星) からなる近接連星系であり、伴星から輸送された物質が主星の周囲に降着円盤を形成している。矮新星で観測される突発的な増光現象 (アウトバースト) は、降着円盤内の不安定性によって円盤が増光することで発生する。また、質量輸送によって質量比 (=伴星質量/主星質量) が小さくなると、円盤内で別の不安定性が成長することによってスーパーアウトバーストと呼ばれる大規模な増光が発生する。また、スーパーアウトバースト中にはスーパーハンプと呼ばれる微小な光度変動が存在し、スーパーアウトバーストを通じてその変動周期が変化することが知られている。しかし、スーパーアウトバーストの発生機構やスーパーハンプをもたらず光源が円盤内のどこにあるかなどはよくわかっていない。

これらを探る方法として、我々は Eclipse Mapping に着目した。Eclipse Mapping は伴星による円盤の食の時系列観測から円盤の輝度分布を探る手法である。我々は、円盤の半径と輝度分布の軸対称成分を推定するマルコフ連鎖モンテカルロ法と、残りの非軸対称成分を推定する、スペースモデリングを用いた Eclipse Mapping を組み合わせた手法の開発を行い、その経過を 2018 年春季年会で報告した (W201a)。

我々は、2018 年春季年会で報告したコードを、2017 年にスーパーアウトバーストを起こした食現象を示す SU UMa 型矮新星 HT Cas に適用し、スーパーアウトバーストを通じた円盤の輝度分布の変化を探った。その結果、円盤半径の変化から、スーパーアウトバーストの発生機構においては熱的潮汐不安定性モデルを支持する結果が得られた。また、非軸対称成分の推定から、スーパーハンプの光源位置の変化をとらえた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W06c クォーク物質のペアリングと中性子星の熱的進化

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

中性子星は非常に高密度な天体であり、巨大な一つの原子核と考えることができる。しかし、その内部では原子核密度を超え、通常の原子核では出現しない様々な状態が考えられている。ハイペロンやメソン凝縮、クォークの閉じ込め解放、核子の様々な超流動状態の出現等が示唆されており、宇宙物理・核物理において非常に興味深い天体である。このような状況は、地上実験での検証は困難であるため、観測値と理論計算とを比較することが探求手法となる。

中性子星は最初の発見から 50 年が経過し、以降様々な方法で観測が行われ、内部状態への観測的制限を与えてきた。近年の重力波・電磁波によるマルチメッセンジャー観測や、 $2M_{\odot}$ の質量観測等、重要な観測が行われてきたが、依然として様々な物質の状態の可能性は残り、内部状態は確定していない。中性子星の内部状態の違いは、中心部における最大の熱エネルギー放射機構であるニュートリノ放射に直結する。そのため、星全体の熱的進化の数値計算の結果と、観測値とを比較することで、高密度物質の状態に制限を与えることが可能となる。

本研究では、中性子星内部にクォーク物質の核があると仮定し、そのクォーク物質の状態によって星全体の熱的進化にどのような影響が生じるか調査した。クォーク物質は中性子星内部の温度・密度領域ではカラー超伝導状態となると考えられるが、クォークの自由度によって複数のペアリングが考えられる。本研究では、CFL 状態と 2SC 状態のどちらかが出現すると仮定し、これらのニュートリノ放射機構に及ぼす影響から、星の熱的進化計算を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W07b パルサーポーラーキャップにおける電子陽電子カスケードからの放射モデルの完成に向けて

柴田晋平 (山形大)、木坂将大 (青山学院大)、大野寛 (東北文教大)、高田順平 (華中科技大)

回転駆動型パルサーやマグネター (強磁場を持って高速に回転する中性子星) からの X 線放射の観測例は非常に増えてきたが、一方でその起源はよくわかっていない。原因の一つは複数の放射源 (中性子星からの熱放射、磁気圏加速粒子からの放射、強磁場の散逸・粒子加速による放射など) が混在しているにもかかわらず、成分 (スペクトルおよびパルス位相) を分離した観測が十分にできないことがあるが、磁気圏からの放射モデルが不完全であることも大きな障害である。

もっとも有力な非熱的 X 線放射源の候補はポーラーキャップである。ポーラーキャップではローレンツ因子が $\gamma_1 = 10^7$ 程度の一次粒子が加速され、それを種にして電子・陽電子対生成雪崩が起こり、ガンマ線から可視・赤外に至る放射が出ると考えられる。強磁場 ($B = 10^{10} - 10^{14}$ G) 中のこれらの現象は非常に複雑で取り扱いが難しい。シンクロトロン放射に加え強磁場中の共鳴コンプトン散乱 (RIC) を加えた計算は最近 Timokhin & Harding (2018) によってなされたが、粒子の増幅度を求めるのに止まり、放射の計算はまだされていない。

我々は必要な複数の放射プロセスはもちろん、強磁場パルサーやマグネターで予想される多重極磁場、小さな曲率半径の効果を含めた総合的なカスケードモデルの構築を行っている。今回は、まず解析的に、一次加速のエネルギー γ_1 および、電子・陽電子対からの RIC による放射効率 η_{RIC} を求めた。解析的な γ_1 は Timokhin らの PIC による非定常シミュレーションとほとんど同じ結果を与えた。また、 η_{RIC} は、弱磁場 $< 10^{11}$ G で減少し、強磁場で増加するが、量子臨界磁場 $B \rightarrow B_q = 4.4 \times 10^{13}$ G で急激に減少するという結果を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W08b Swift 衛星を用いた強磁場電波パルサーの系統的観測

渡邊瑛里, 柴田晋平 (山形大学), 坂本貴紀 (青山学院大学), 馬場彩 (東京大学)

中性子星の誕生時の磁場形成とその進化シナリオに迫るために、強磁場電波パルサー (双極磁場 10^{13} G 以上で定義) の中に存在するであろう、マグネターのよう磁場散逸によって X 線光度の超過を示す天体を Swift 衛星の XRT データを用いて探査した結果を報告する。

強磁場電波パルサーの磁場の素性を理解する為には、強磁場電波パルサーの中に磁場散逸によって X 線超過を起こしている天体がどれだけ存在し、パルサーの進化においてどのような位置にあるものかを明らかにする事が重要である。2016 年当時は、強磁場電波パルサー 56 天体のうち 9 天体が X 線で検出されており、その中で回転光度 - X 線光度 ($L_{\text{rot}} - L_{\text{x}}$) 相関上で X 線超過が確認されている天体が 3 つ、マグネター様のバーストを起こした天体が 1 つ存在した。これらの異常を示す天体は観測事実と中性子星内部磁場の理論的進化曲線から、双極磁場のみならずトロイダル磁場の卓越した天体である可能性があることが示唆されている。しかし 27 個の強磁場電波パルサーは X 線で未観測または有効な上限値がなく、系統的な観測・解析が必要な状態にあった。

今回我々は、前回 4σ レベルで検出した J1851+0118 を新たに Swift 衛星を用いて 5σ で追観測した。その結果、有意な検出はなく X 線光度の 3σ 上限値を得た。黒体放射および冪乗モデルを仮定すると X 線光度はそれぞれ $L_{\text{x}} < 6.3 \times 10^{33} \text{ erg/s}$, $8.5 \times 10^{33} \text{ erg/s}$ であった。前回と今回の Swift 衛星で得た新たな 21 天体の上限値を先行研究の観測結果に加えると、強磁場電波パルサーは 56 個のうち検出天体が 9 個、上限値は 41 個、未観測天体は 6 個となった。強磁場電波パルサー内で X 線超過を示す天体の出現確率は、10kpc 内に在る 49 個の強磁場電波パルサーから得る数密度 0.15 個/kpc^2 より、X 線超過天体が約 3 - 4kpc 内に存在することから 38 - 68% となる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W09a マグネター CXOU J171405.7 – 381031 の XMM Newton による X 線スペクトルの決定 (仮題目)

渡邊 春花 (株式会社ユードム)、馬場 彩 (東京大学)、柴田 晋平、渡邊 瑛里 (山形大学)

超新星残骸を伴っているマグネターは 30 天体中、10 天体知られており、そのうち、8 天体が TeV ガンマ線源を伴っている。このような天体は TeV ガンマ線の起源の理解やマグネターの性質と超新星爆発との関係を理解するために重要な天体である。その様な天体の一つ、超新星残骸 CTB37B の中心にあるマグネター CXOU J171405.7-381031 の X 線スペクトルを XMM-Newton を用いて得たので報告する。

この天体のスペクトルは従来の Chandra による解析では十分満足のいくフィットができていなかったという問題があった (Halpern & Gotthelf 2010a,b)。マグネターのスペクトルは強磁場による加熱を受けた中性子星からの熱的放射と磁気圏からの放射である hard 成分とで表現されることが知られている。その後の XMM-Newton の観測でも上記のマグネター標準のモデルによるフィティング結果は報告されていなかった。

そこで我々は、XMM-Newton の EPIC pn おおび MOS の両データを用いてスペクトル解析を行った。観測は 2010.3.17-18 に行われ有効観測時間は約 100ksec であった。スペクトルは Blackbody + Power Law モデルでよく表現され、温度 $kT = 0.59_{-0.03}^{+0.03}$ keV、Photon index $\Gamma = 1.92_{-0.73}^{+0.71}$ 、intrinsic flux $F_x(2 - 10\text{keV}) = 2.3_{-0.04}^{+0.04} \times 10^{-12} \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ を得た。これまで知られているマグネターと比較すると、CXOU J171405.7-381031 はマグネターの中でも磁場が強い部類に属するため kT および L_X はやや高く、また、従来の Γ - τ_{age} 相関に乗ることから、マグネター種族全体の示す傾向に沿っていることがわかった。時間変動については、2007 から 2015 までに 7 回行われた観測を比較したところ大きな変動は見られなかった (振幅 18%以内)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W10a *NuSTAR* を用いたマグネター SGR 1900+14 の硬 X 線観測

丹波翼, 馬場彩, 小高裕和 (東大理), 榎戸輝揚 (京大理)

マグネターは、双極子磁場の強さが臨界磁場 4.4×10^{13} G を超える中性子星パルサーであり、主に X 線帯域で輝く。マグネターの典型的な X 線光度は 10^{34-35} erg s⁻¹ で、スピンドウンで供給されるエネルギー 10^{32-34} erg s⁻¹ よりもはるかに大きいことがわかっている (Thompson & Duncan 1995, MNRAS, 275, 255; Enoto et al. 2017, ApJS, 231, 8)。この観測事実は、マグネターのエネルギー供給源が自転ではなく、磁気活動であることを示している。マグネターからの放射の特徴の 1 つに、100 keV 以上にまで伸びる硬 X 成分がある。その光子指数は $\Gamma \sim 1$ と硬く、強磁場の磁気圏に特有の物理現象が関わると考えられている。その解明には、硬 X 線成分を精度よく測定することが不可欠である。

SGR 1900+14 は、 7.0×10^{14} G とマグネターの中でも極めて強い双極子磁場をもち、1998 年に巨大フレアを起こした天体である。2006 年 4 月、2009 年 4 月に行われた *Suzaku* の観測により、この天体は ~ 0.5 keV の黒体放射の成分とべき成分をもつことが示されている (Enoto et al. 2010, ApJL, 722, L162)。しかし、*Suzaku* は硬 X 線領域での感度が十分でないため、その精度のよい測定が必要であった。

我々は SGR 1900+14 を、硬 X 線の感度に優れた *NuSTAR* で 2016 年 10 月に 123 ks にわたって観測し (PI: Enoto)、70 keV まで伸びる有意な信号を捉えた。15 – 60 keV のフラックスは $7.55_{-0.41}^{+0.33} \times 10^{-12}$ erg cm⁻² s⁻¹ であり、*Suzaku* が観測した 10 年前の 2006 年よりフラックスが 50% 程度減少したことがわかった。また、*Suzaku* では 20% 程度の精度であった光子指数を *NuSTAR* では 1.08 ± 0.08 ($\chi^2/\text{dof} = 1.18$) と 7% の精度で求めることができた。さらに、1998 年の巨大フレア以来のスペクトル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](#)

W11a FRB151230 の可視光追観測

富永望 (甲南大), 新納悠, 古澤久徳, 田中賢幸 (国立天文台), 戸谷友則, 安田直樹, 諸隈智貴 (東京大学), ほか SUPERB collaboration

高速電波バースト (FRB) はミリ秒という非常に短い間電波で明るく光る天体であり、同銀緯にある銀河系内のパルサーに比べて dispersion measure (DM) が高いという特徴を持つ。高い DM は FRB が宇宙論的距離に存在することを示唆し、もし DM が銀河間空間の自由電子に起因するとすると、FRB はミッシングバリオンを観測可能にする天体として重要である。しかし、FRB の起源は未だ明らかとなっておらず、様々な理論モデルが提案されている。一方で、FRB は比較的粗い位置決定精度を持つ広視野電波望遠鏡によって発見されており、その発生位置の決定すらままならず、理論モデルを制限する観測は未だ不十分である。

2015 年 12 月 30 日、Parkes 望遠鏡によって FRB151230 が発見された。電波観測から到来方向は直径 15 分角の方向に制限され、赤方偏移には上限値 ($z_{\text{DM}} \sim 0.8$) が与えられた。我々は、2016 年 1 月 7, 10, 13 日にすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いて *gri* 追観測を行い、到来方向内に 13 個の変動天体を発見した。それらの中には、 $z < z_{\text{DM}}$ の既知の重力崩壊型超新星が 2 天体、既知の超新星光度曲線には一致しないが銀河中心から離れた位置に存在する天体が 1 天体 (Cand-3) 存在した。Cand-3 は近年報告された Rapid Transient と呼ばれる天体のうち、減光の速い天体として説明可能であった。これら 3 天体について FRB の起源である可能性を議論する。

その他の変動天体には、 $z > z_{\text{DM}}$ の超新星が 1 天体、超新星光度曲線と一致せず銀河中心に存在するため AGN の可能性が高い天体が 9 天体存在した。この中には Ia 型超新星と一致した天体はなく、標準的な Ia 型超新星の光度曲線を仮定すると、FRB151230 が $z < 0.6$ の Ia 型超新星と同起源である可能性を排除できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W12a 高速電波バーストの連星中性子星合体モデル: 複数種族の統一的解釈

山崎翔太郎, 戸谷友則 (東京大学), 木内建太 (京都大学)

高速電波バースト (Fast Radio Burst; FRB) は、数ミリ秒の間 GHz 帯域で明るく輝く、謎の突発天体現象である。距離の指標である分散指標が、銀河系内からの予想寄与を大きく超過することから、銀河系外の天体現象であるとみられている。重要なことに、発見されたほぼ全ての FRB に対して、同じ到来方向のイベントが複数回検出される、いわゆる“反復性”は確認されていない。連星中性子星合体の発生頻度が十分に大きければ、“一回性”の non-repeating FRB は、連星合体時に増幅される回転エネルギーを源とした、パルサー型の電波放射として説明が可能である (Totani 2013)。しかしながら、合体環境は、星由来の噴出物 (イジェクタ) によって著しく汚染される可能性があり、これが電波放射の伝播を妨げることが予想される。そこで、我々は数値相対論シミュレーションを用いて、合体前後でのイジェクタ空間分布を定量的に調べた。結果として、星の回転速度が最大となる合体瞬間の前後、約 1 ミリ秒間は、星周環境が全方向について透明であり、したがって、電波放射の伝播が可能であることを示した。一方で、連星中性子星合体の一部は、高速回転する安定な超大質量中性子星を残す可能性がある。このような残留中性子星は、FRB 121102 のような repeating FRB の起源となり得る。我々は、合体後 1–10 年にわたって残留中性子星から repeating FRB が出現すること、予測される環境進化が FRB 121102 の観測と無矛盾であることを示した。さらに、連星中性子星合体を起源とするこれら二種族を考慮し、FRB 発生頻度の進化モデルを構築した。この結果、検出器の感度が向上するにつれて、non-repeating FRB に対する repeating FRB の検出数比率が劇的に上昇することを明らかにした。これは、唯一の repeating FRB が、高感度のアレシボ電波望遠鏡によって発見された事実と良く合致する。本講演では、モデルが预言する重力波と FRB の観測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](#)

W13a 連星中性子星合体の衝撃波加熱による自由中性子放出と初期の電磁波放射

石井彩子 (東京大学), 茂山俊和 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学)

2017年8月17日、初めて連星中性子星合体からの重力波が検出され、同時に電磁波放射も観測された。このイベントではガンマ線から電波に渡る広い波長域の電磁波が観測されたが、合体から数時間後の初期の放射を観測することはできなかった。また、合体から約1日後の放射は後期よりも青い成分を示し、その起源は完全には解明されていない。このように初期の放射は観測的にも理論的にも明らかにされていないが、重力波源天体の物理を解き明かす上で重要である。初期の電磁波放射のモデルとして、中性子星最外層において自由中性子が存在し、それらの崩壊によって加熱された領域からの放射を考えるというシナリオが提唱されている (B. D. Metzger et al. 2015)。中性子星合体時に形成される衝撃波の加熱によって高温になった領域では、原子核はばらばらになり自由中性子が生成される。その後の断熱冷却が速い最先端部では核融合反応が進まず、自由中性子が放出されるのである。このシナリオはSPHシミュレーションの計算結果をもとに提唱されたが、十分な数の粒子が用いられていないことから計算の信頼性に問題があり、他の計算手法による検証が必要である (Just et al. 2015)。

本研究では、初期の電磁波放射を予測することを目的とし、mesh法を用いた数値シミュレーションにより中性子星最外層から自由中性子が放出される可能性を示す。相対論的ラグランジュ流体計算コードを用いて中性子星合体におけるshock breakoutを計算するとともに、陽電子捕獲、電子捕獲、および元素合成反応を計算し、最終的に放出される自由中性子の量を見積もった。計算の結果、衝撃波通過後の流体場が高温すぎず、陽電子捕獲反応のタイムスケールが長くなるときにもっとも多く自由中性子が放出されることがわかった。この自由中性子放出が起こるパラメータ範囲を示すとともに、その後自由中性子がどのように放射に結びつく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](#)

W14a Nonthermal afterglow of GW170817: a more natural electron energy distribution leads to a new solution with radio flux in the low frequency synchrotron tail

Haixiang Lin (Univ. of Tokyo), Tomonori Totani (Univ. of Tokyo), Kenta Kiuchi (Kyoto Univ.)

Background A long lasting nonthermal afterglow has been observed to follow the binary neutron star merger event GW170817. The observed properties of the spectrum are consistent with synchrotron radiation from a population of shock-accelerated electrons, and is commonly explained in the context of either an off-axis structured jet, or a stratified, quasi-spherical “cocoon” produced by the jet. Independent of these scenarios, the previous modelings frequently assumed that the entire fraction f of electrons in the shock are accelerated into a nonthermal population (i.e. $f = 1$). This is clearly an oversimplification, and in reality, it is conceivable that a substantial fraction of electrons remains thermal, as normally observed in supernova remnants. With this assumption, the minimum electron Lorentz factor γ_m is related to the total electron energy in the shock, but γ_m should be independently determined by the degree of equipartition between protons and electrons.

Methods & Results We propose a more natural model of electron energy distribution in the sense that both γ_m and f are allowed to vary freely. In the context of stratified, quasi-spherical ejecta model, we find a new solution to the nonthermal afterglow of GW170817 with early radio flux in the regime of low frequency synchrotron tail ($\nu < \nu_m$, where ν_m is the synchrotron frequency corresponding to γ_m), in contrast to previous fits that found the entire spectrum above ν_m . We present a Markov-Chain Monte-Carlo analysis to discuss the change of best-fit parameters of GW170817 and implications for the outflow from binary neutron star mergers.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W15b Three-body encounters close to supermassive black holes: on the origin of the S-stars and the merger rate of black hole binaries

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Spera, Mario (University of Innsbruck); Fujii, Michiko (The University of Tokyo)

The environment close to supermassive black holes (SMBHs) has stellar densities that can reach $\sim 10^7 M_{\odot}/\text{pc}^3$. An example is the SMBH in our galaxy, which features a density cusp composed of old and young stars and even compact remnants. Moreover, a high number of binaries is expected to be present close to SMBHs in galactic nuclei, due to either dynamical friction or star formation. These binaries can efficiently interact dynamically with other stars, undergoing close encounters that can trigger tidal disruptions and mergers. We investigate the outcome of 3-body encounters between binary and single stars in orbit about a SMBH, by means of high-accuracy, regularized N-body simulations. The encounters are modeled as 4-body systems of a SMBH, a binary and a single star. We find that 3-body encounters can ionize the binaries so that their member are scattered into highly eccentric orbits about the SMBH. This mechanism can explain the origin of S-stars, the ~ 30 stars on eccentric orbits around the SMBH in our galaxy. In addition, stellar mass black holes can be kicked onto orbits that end in a gravitational-wave driven inspiral with the SMBH in less than a Hubble time. These events are expected to be observable in the LISA band. Finally, we show how the surviving binaries undergo a systematic increase in the eccentricity, which leads to increased merger rate by gravitational waves. These mergers can contribute significantly to the rate of binary black hole mergers detected by aLIGO.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W16b GW150914 に対する Swift/BAT による電磁波上限値の見積もり

富樫拓也, 坂本貴紀 (青山学院大学)

2015年9月14日、初の重力波イベント GW150914 が初検出された。これは、連星ブラックホールとその合体が存在する直接的な証拠であると同時に、重力波天文学の始まりであった。そして重力波検出から 0.4 秒後、重力波の到来方向から 50 keV 以上のエネルギー域で 1 秒程度の弱いガンマ線放射が Fermi 衛星の GBM 検出器で検出されたとの報告がある。この検出がブラックホール連星の合体に伴うものであるならば、イベント以前の大方の予想を裏切る、驚くべき検出である。一方で、INTEGRAL 衛星の SPI-ACS 検出器では、有意な信号は検出されておらず、そのため GW150914 の電磁波対応天体については依然として混沌とした状態である。

本講演では、この混沌とした状態を打開すべく、Swift 衛星の BAT 検出器による重力波対応天体からの電磁波の上限値の見積もりについて報告する。GW150914 の発生前後では、BAT 検出器の機上トリガーは発生していない。そこで、GW150914 の発生後の BAT 検出器のライトカーブを、15-25, 25-50, 50-100, 100-350 keV という 4 つのエネルギー帯域、64, 128, 256, 512, 1024 ms をいう 5 つの時間ピンで調査し、有意な信号がないことを確認した。GW150914 の発生位置は BAT 検出器の視野外であったため、通常の解析では上限値を見積もることができない。そこで、Swift 衛星打ち上げ前に開発され、ここ十数年間使われることのなかったモンテカルロシミュレータ SwiMM (Simulation program with Swift Mass Model) を使用する。そして、BAT 検出器の視野外からの放射に対して、スペクトルを仮定することで、上限値を見積もった。また、SwiMM を用いることで今後可能となる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](#)

W17b MOA 望遠鏡を用いた大質量ブラックホールの探索

宗像恒 (名古屋大学), MOA コラボレーション

2015年9月にアメリカの重力波検出器 LIGO によって初めて重力波が検出され重力波源がブラックホール連星の合体によるものであり、合体前の質量は太陽質量の 36 倍と 29 倍という重さであることがわかった。宇宙には今までは考えられていなかった数十太陽質量を持つブラックホールが多く存在していると考えられる。

我々 MOA グループではニュージーランドのマウントジョン天文台で重力マイクロレンズ現象を利用した観測を行っている。重力マイクロレンズ現象とは観測天体 (ソース天体) と観測者の間を質量を持つ天体 (レンズ天体) が通過したとき、その重力によってソース天体の光が曲げられ増光して観測される現象である。これまで MAssive Compact Halo Objects (MACHOs) 探索として、低質量の MACHOs を見つけるための解析が行われてきた。重力マイクロレンズイベントのタイムスケールはレンズ天体の質量の平方根に比例するので MACHOs 探索ではタイムスケールの短いイベントを対象としていた。一方でタイムスケールの長いイベント、つまり質量の大きいレンズ天体に着目して解析を行った例はない。しかし数十太陽質量のブラックホールが存在することがわかり、そのような重いブラックホールの発見や存在量を見積るために長いタイムスケールのイベントに注目した解析を行うことが必要である。現在バルジ方向の 22 領域、約 48 平方度の 2006 年から 2014 年までの観測データに対しタイムスケールの長いイベントを探すような解析方法として、DIA 測光で光度曲線を求め一時的な増光 (バンプ) を探す解析を行っている。本講演では解析手法の概要と解析の進行状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W18c 降着円盤の蒸発・凝縮に関する熱伝導を考慮した2次元磁気流体数値実験

金子岳史(名古屋大), 中村賢仁(九州産業大), 横山央明(東京大)

ブラックホール連星において観測されているハード状態からソフト状態へのX線スペクトルの状態遷移は、理論的には2つの降着流のモデルである高温な移流優勢降着流(ADAF, RIAF)から低温な標準降着円盤(SSD)への構造の変化により説明できると考えられている。数値実験による状態遷移の解明の試みは、Machida et al. (2006)による3次元磁気流体数値実験などが先行研究としてあり、制動放射を考慮した町田らは磁気圧で支えられた中間的な降着流を発見し、磁気流体力学的な研究の重要性を指摘している。

我々を含む研究グループは、非等方熱伝導を考慮した磁気流体数値実験を行っている。状態遷移に関する数値実験により、ハード状態からの遷移中、低温・高密度の降着円盤と高温・低密度なハローとの間に、温度及び密度が中間的な降着流が形成されることを確かめている。しかしながら、非等方熱伝導計算において従来使用していたBiCGstab法は、反復法による行列反転であるため並列化効率を上げることが難しく、計算コストが高い。そこで、CANS(Coordinated Astronomical Numerical Softwares)に2次精度のSTS法(Super Time-Stepping法, Meyer et al., 2012, 2014)を新たに組み込み、コードを利用できるように整備した。この手法ではRunge-Kutta-Legendre型のサブステップを挟むことにより、数値的安定性を保つための時間刻みを通常の陽解法より大きくすることができ、並列化効率も上げやすい。1PEにおける計算時間を比べるとSTS法はBiCG法より約2倍速く、状態遷移の進化をより長く追えるようになった。

今回、熱伝導計算のために用いたBiCGstab法とSTS法との計算の比較を紹介する。また、境界からの質量供給を考慮し、ハローと降着円盤間の蒸発・凝縮に関して行った長時間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](#)

W19c X線連星のスペクトル状態遷移に関する熱伝導を考慮した2次元数値実験 II

中村賢仁(九州産業大), 金子岳史(名大), 町田真美(九大), 横山央明(東大), 松元亮治(千葉大)

ブラックホール X 線連星のアウトバースト時に生じるハード状態からソフト状態への遷移の解明を目指した数値的な研究は、複数行われている。角運動量輸送機構を自己生成する磁気流体数値計算による研究も行われているが (Machida et al. 2006)、短くとも数日かかる状態遷移の全体を追うために α 粘性項を考慮した 2 次元流体数値計算による長時間計算も盛んである。後者の手法では、熱制動放射と等方熱伝導を考慮した計算 (Das & Sharma 2013)、熱制動放射、シンクロトロン放射、逆コンプトン散乱などの放射機構を考慮した計算 (Wu et al. 2016) がある。しかし、降着円盤の角運動量輸送は磁気乱流が起源であり、磁場の存在によって誘起される非等方性が重要になると考えられる。そこで、我々は、先行研究では考慮されていない磁場による非等方熱伝導の効果を検討した 2 次元磁気流体数値計算を行った (2018 年春季年会)。その結果、非等方熱伝導による低温な降着円盤 (10^6 K) と高温ハロー (10^{12} K) との間の熱の輸送によって、降着円盤の上空に中間的な密度・温度の領域が形成される事を示した。この中間領域の 10 倍のシュバルツシルト半径近辺において、典型的には数密度は 10^{14}cm^{-3} から 10^{17}cm^{-3} であり、また温度は 10^{10}K から 10^{12}K である。この中間領域を考慮することは、X 線観測によるスペクトルを数値的に再現するのに重要であると考えている。

そこで我々は、初期に置くガストラスの密度を 3 桁に渡って変えた数値実験を行い、形成される中間領域の構造を調べた。初期数密度が 10^{18}cm^{-3} 付近に、低温降着円盤が形成されるか否かの臨界があり、この密度を上回る初期密度では、低温降着円盤、中間領域が形成され、数 10 回転以上の間維持される事がわかった。この構造をもとに、X 線連星の観測結果との比較を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W20a ブラックホール降着円盤から放出される大強度アルフヴェンパルスとジェット

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)

活動銀河核や系内 X 線連星系などのブラックホールを中心天体とし、それを囲む降着円盤の系では磁場が重要な役割を果たす。降着円盤内部では初期に弱い磁場であっても、磁気回転不安定性によって回転周期ほどの短時間で指数関数的に磁場が増幅する (Balbus & Hawley 1991)。それに伴い角運動量輸送がおき質量降着が実現する。増幅された磁場はプラズマベータ値 (磁気圧と熱圧の比) が 1 のオーダー程度になると、磁気再結合によって散逸し、残った磁場を種磁場として再び磁気回転不安定性による磁場増幅がおきる。我々は、このような降着円盤の磁気活動性を調べるため、回転するブラックホール周りの降着円盤のグローバル計算を 3 次元一般相対論的磁気流体シミュレーションの手法を用いて行っており、磁気回転不安定性の最大成長率のモードを捕獲できる高解像度計算で降着円盤内部では磁場増幅と散逸が準周期的に繰り返しおきていることをみた。このサイクルと同期して降着円盤赤道面付近より上下方向にダイナモ効果によってアルフヴェン波が生じる。この波は円盤中を抜け外側にも伝播することが、横軸を時間、縦軸を鉛直方向の距離として方位角成分の磁場の強さを示す降着円盤におけるバタフライ図によって確認できる (Suzuki & Inutsuka(2009), Shi et al. (2010), Machida et al. (2013))。特に円盤内縁付近から生じるアルフヴェン波は円盤上空で低密度、ポインティング光度が優勢のジェットにも伝播することが見られ、大強度アルフヴェン波としてジェット中を伝播する。降着円盤から生じたアルフヴェンパルスがジェット中に伝播することによりジェットのポインティング光度のフレアを含む時間変動の源となっていることを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W21a 背景磁場を取り入れたジェット伝搬数値実験

大村匠, 町田真美 (九州大学), 中村賢仁 (九州産業大学), 工藤祐己 (鹿児島大学), 朝比奈雄太 (京都大学), 酒見はる香 (九州大学), 松元亮治 (千葉大学)

マイクロクエーサージェットは、解放されたコンパクト天体の重力エネルギーを駆動源として、星間空間を数十光年に渡って伝搬する超音速のプラズマ流である。ジェットは、星間ガスとの相互作用によって宇宙環境に大きな影響を与えることがわかっている。また、ジェット伝搬時に形成される強い衝撃波は、宇宙粒子加速の現場の一つとして着目されている。ジェットが生成される時のブラックホール降着流は、高温低密度な無衝突プラズマであることが知られている。このようなプラズマでは、クーロン衝突による電子とイオンのエネルギー交換率が低下する。したがって、電子とイオンの緩和時間がプラズマの運動時間よりも長くなることで、電子とイオンの温度が異なる2温度降着流が形成される。そのため、ジェットも2温度状態となっていることが十分に考えられる。電子は輻射が担っているため、ジェットのスペクトルや表面輝度計算には、電子温度を考慮した数値実験が必要不可欠である。

我々はイオンと電子とクーロン衝突によるエネルギー交換を取り入れた2温度磁気流体計算を用いたジェット伝搬計算を行い、電波観測との比較を行っている。2018年春季年会において、ジェットのホットスポットとコクーンでは、電子温度がイオン温度よりも1桁低い構造を持つことを明らかにした。本年会では、背景磁場を取り入れたジェット伝搬計算を行い、表面輝度の計算を行った。その結果、ジェットのバウショックでは圧縮されることで背景磁場が強まり、シンクロトロン放射が優勢となることを明らかにした。また、数値計算の結果と高解像度電波観測によって明らかとなった系内ジェットの磁場構造とを比較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](#)

W22a ブラックホールまわりの磁気リコネクション時間発展の数値解析

小出眞路（熊本大学）， 小出美香（崇城大学）， 森野了悟（RKK コンピューターサービス）

一様磁場中に回転するブラックホール（BH）があると、BHのエルゴ領域付近で赤道面の上下に反平行な磁場が形成されることが、電気抵抗をゼロとした一般相対論的磁気流体力学（理想 GRMHD）数値計算により示唆された (Komissarov 2005)。さらに、BHのまわりの降着円盤とエルゴ領域をつなぐ磁力線があると反平行磁場が自発的に形成されることが理想 GRMHD 数値計算により示されている (e.g. Koide 2006; McKinney 2006)。このような反平行磁場のあるところでは磁気リコネクションが起きる可能性があり、それは活動銀河核からの高エネルギーフレアに伴うノット放出の観測 (Acciari et al. 2009) などを説明する理論モデルの重要な素過程を与える。

我々は電気抵抗を取り入れた一般相対論的磁気流体力学（抵抗性 GRMHD）コードを使って数値計算を行い、BHまわりの磁気リコネクションの発生を調べてきた。今回はその基本的な機構を明らかにするために、Schwartzschild BHのまわりに分割単磁極型の初期磁場を設定して抵抗性 GRMHD 数値シミュレーションを行なった。特に磁気リコネクション率の時間発展を詳しく調べた。その結果、磁気リコネクション率は磁気レイノルズ数が大きいほど小さく、またどの磁気レイノルズ数でも 10 （ τ は電流シートの厚みをアルフベン速度で割った時間：Alfven transit time）程度の時間までは磁気リコネクション率が指数関数的に増加し、その後一定の値に落ち着くことが分かった。この数値計算結果から示唆される磁気リコネクションは、従来よく引用される SweetParker モデルや Petschek モデルよりもテアリング不安定性の線形成長段階からラザフォード段階に至る過程に似ている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W23a 円盤降着流における輻射性衝撃波の構造

福江 純 (大阪教育大)

輻射性衝撃波の性質については、ゼルドヴィッチ以来、数多くの研究があり、(1) 輻射拡散によって前駆領域が生じること、(2) 場合によって衝撃波が連続的になること、(3) 非平衡でいわゆるゼルドヴィッチスパイクが現れることなど、流体衝撃波との違いが詳細に調べられている。ただし、多くは単純な一次元流を仮定していて、円盤降着流や重力場中での流れに適用したものはあまりない(ただし、Okuda et al. 2004)。たとえば、円盤降着流では衝撃波通過後に円盤が上下に膨れるだろうし、衝撃波に幅があれば重力場の影響も無視できない。そこで今回は円盤降着流を念頭において、衝撃波前後で円盤の厚みが変化する場合の輻射性衝撃波を調べたので、その結果を報告する。

状況としては、定常円盤降着流の、とある半径に生じた定在輻射性衝撃波を考え、光学的には厚く、平衡拡散近似を仮定し、連続的衝撃波となる輻射圧優勢とした。衝撃波条件の式は、厚みの効果を入れた(1) 質量保存の式、(2) 運動量保存の式、(3) 輻射流束のあるエネルギー保存の式、(4) 輻射拡散の式、そして(5) 鉛直方向の静水圧平衡の式となる。

通常は衝撃波後に密度が増加するが、円盤衝撃波では、円盤が膨らむため、密度は減少し希薄になる。ただし、厚みの増加で面密度自体は(最大で7倍まで)増加するため、光学的厚みは衝撃波後にむしろ増加することがわかった。さらに前駆領域も影響を受け、密度は減少する一方で厚みは増加する。また前駆領域の幅は、通常の輻射性衝撃波では衝撃波前面のマッハ数にあまり大きく依存しないが、円盤衝撃波ではマッハ数が大きいほど幅も広がることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W24a X線連星における降着円盤風の放射流体シミュレーション

都丸亮太 (東大理, IPMU), 大須賀健 (筑波大), Chris Done (Durham 大学), 高橋忠幸 (IPMU, 東大理)

近年の X 線観測により, 低質量 X 線連星のブラックホールや中性子星の周りに形成される降着円盤から, ガスが高速で噴出する降着円盤風の存在が示唆され, その駆動機構が問題となっている。円盤風の存在は X 線スペクトル中に存在する青方偏移した高電離イオンによる吸収線により示されているが, どのようにその円盤風が発生するのかはわかっていない。我々はこの円盤風駆動機構が, 中心天体近傍からの X 線が円盤表層を暖めることで, 円盤の外側において, ガスの熱エネルギーが重力ポテンシャルを振り切ることで発生する熱駆動機構で説明できるのではないかと考え研究を開始した。熱駆動型円盤風で予想される質量損失率 (Woods et al 1996) を基に, 密度分布や, 速度分布を計算し, さらに, 放射輸送計算により, そこからのイオンによる輝線吸収線構造を求め, 観測データと比較した。この結果, 熱駆動型円盤風は速度が遅いという以外は観測のおおよその特徴を再現するとともに, X 線による放射圧の効果があれば観測される早い速度を説明できる可能性を示唆した (2017 年春季年会)。

今回, これまでされてこなかった熱駆動型円盤風に放射圧の効果を含めた, 熱-放射駆動型円盤風の放射流体シミュレーションを行った。典型的なソフト状態の広帯域 X 線スペクトルを入力として, ガスの加熱冷却率と, 放射圧の大きさを, 電離パラメータと温度の関数として, 前もって計算し, 流体計算に組み込むという方法をとった。シミュレーションの結果, 熱-放射圧駆動型円盤風で, 観測で得られているのと同様な速度が, 得られることを明らかにし, 観測データを説明するには, 放射圧の効果を考えれば良いという結論を得た。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W25a 一般相対論的輻射輸送計算で探る超臨界降着ブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの差異とその起源

川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (国立天文台)

超高光度 X 線源は系外銀河で観測される非常に明るい天体であり、その光度は恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超えている。この高光度を説明するモデルとしては、中性子星あるいは恒星質量ブラックホールへの超臨界降着 (エディントン限界降着率を超える降着流) と、中間質量ブラックホールへの亜臨界降着、すなわち 3 種類のモデルがあり混迷を極めている。X 線パルスが検出されているものについては中性子星と結論できるが、パルスが発見された超高光度 X 線源はこれまでにわずか 5 例である。これはパルス検出自体の難しさに加え、中性子星が必ずしもパルスを示すとは限らないためである。よってパルス以外の観測的特徴に着目して中心天体に制限を与える方法が必要である。そこで本研究では輻射スペクトルに着目し、超臨界降着するブラックホールと中性子星の判別を試みる。方法としては、両天体の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションのポストプロセスにより、モンテカルロ法に基づく一般相対論的輻射輸送計算を実施することで、輻射スペクトルを求めて比較を行う。輻射過程は、制動放射・吸収、およびコンプトン・逆コンプトン散乱を扱う。

計算の結果、中性子星は凸型の熱的スペクトルになるのに対し、ブラックホールの方がフラットな形状でかつ硬 X 線帯域へと延びる tail を伴う硬いスペクトルになることがわかった。これは、ブラックホールの方が中性子星よりもファンネルジェット領域が高速かつ光学的に薄くなり、高エネルギー光子が観測者へと抜けやすいためである。この計算では高速ジェットの噴出時期もそうでない時期もすべて含めて時間平均した流体場データを用いているが、これらを分離して高速ジェット噴出の有無が結果に与える影響を調べ、詳細な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](#)

W26a ブラックホール降着流におけるハード・ソフト遷移の大局的輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一(千葉大学)、加藤成晃(理化学研究所)、高橋博之(国立天文台)、大須賀健(筑波大学)、松元亮治(千葉大学)

ブラックホール候補天体では、硬 X 線が卓越するハードステートから軟 X 線が卓越するソフトステートへ遷移するハード・ソフト遷移が観測される。ハードステートは光学的に薄い高温円盤で、いわゆる Radiatively Inefficient Accretion Flow(RIAF) で説明できる。またソフトステートは幾何学的に薄く光学的に厚い円盤で、いわゆる標準円盤でよく説明できる。さらにハード・ソフト遷移中には、RIAF の限界光度 ($L \sim 0.01L_{Edd}$) を超えてもハードステートにとどまる明るいハードステートと呼ばれる状態が観測されている。Machida et al.(2006) では光学的に薄い輻射冷却を含めた磁気流体 (MHD) シミュレーションが実施され、円盤が輻射冷却により鉛直方向に収縮することにより磁気圧優勢な $low-\beta$ 円盤が形成されることが示された。この円盤にさらに輻射冷却が効くことにより、光学的に厚い円盤にいたると考えている。そこでわれわれは、光学的に厚い領域を扱うべく輻射と流体を無矛盾に扱うことができる輻射磁気流体コードを実装してシミュレーションを実施した。計算には Takahashi & Ohsuga(2013) によって開発された、輻射場を M1-closure に基づくモーメント式によって記述する輻射磁気流体モジュールを磁気流体コード CANS+(Matsumoto et al. 2016, and reference therein) に組み込んだ CANS+R を用いた。本研究ではこのコードをハード・ソフト遷移中の明るいハードステートに適用し、hear-beat 振動を示すブラックホール候補天体 IGR J17091-3624 で観測される増光時におけるコロナの電子温度の低下、X 線反射成分の出現、準周期振動等 (QPO) の振動数の変化等との比較を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W27a ボルツマン方程式を解いた一般相対論的輻射磁気流体コードの開発

朝比奈雄太 (京都大学), 高橋博之 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール近傍でのジェット形成や円盤の構造を正しく計算するために輻射の効果が重要であることが、大須賀らによって初めて行われた多次元輻射磁気流体シミュレーションによって示された (Ohsuga et al. 2009; Ohsuga & Mineshige 2011)。また、ブラックホール近傍の現象を扱うためには一般相対論を考慮する必要があり、一般相対論を含めたシミュレーションも行われてきた (Sadowski et al. 2014, Takahashi et al. 2016)。しかし、これらの研究では、輻射輸送を Flux limited diffusion (FLD) 近似や 1 次モーメント (M1) 法と呼ばれる近似的な手法を用いて解いており、輻射場を厳密に解くことはできていない。特に、光学的に薄い領域での輻射場の扱いに問題があることが知られている。

そこで我々は、より厳密に輻射輸送を計算するために、ボルツマン方程式を解く一般相対論的多次元輻射磁気流体計算コードを開発した。このコードを用いてブラックホール時空中の光の伝搬に関するテスト計算を実施し、光の曲がりや重力赤方偏移を正しく再現することに成功した。また、FLD 近似や M1 法では正しく解くことのできない光ビームの交差、光と吸収体・散乱体との衝突などのテスト計算を実施し、正確な輻射場を得ることができた。本コードではボルツマン方程式を解いているので、非物理的な光の衝突が起きないためである。本発表では、上記のテスト計算の結果について詳しく報告し、さらにガスと光の相互作用に纏わるその他のテスト計算の結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W28a スリム円盤モデルは正しかったのか？

北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (国立天文台)

超臨界降着流 (エディントン降着率 $\dot{M}_{\text{Edd}} \equiv L_{\text{Edd}}/c^2$ を超えた降着、 L_{Edd} はエディントン光度) は輻射圧優勢の光学的に厚い円盤で、多量のアウトフローが吹き出しており、多次元輻射流体シミュレーションが近年漸く実行されるようになった (Ohsuga+2005)。スリム円盤モデルはシミュレーション研究に先立つ 30 年前に、超臨界降着流の一次元簡易モデルとして提案された (Abramowicz+1988)。光子補足効果は考慮したもののアウトフローを全く無視していたこのモデル、果たして正しかったのか？

本研究の目的は、スリム円盤モデルの妥当性と限界を解明することである。特に超臨界降着円盤のハラメータ依存性を明らかにし、スリム円盤では考慮されていないアウトフローや多次元効果の影響を調べた。先行研究では初期トラスや注入するガスの初期角運動量が小さく、降着流の準定常状態が狭い空間範囲 ($\leq 30r_{\text{S}}$, r_{S} はシュバルツシルト半径、Sądowski et al. 2015) までしか到達していなかった。そこで、先行研究より広い空間範囲で準定常降着を実現するために、大きな初期角運動量で 2.5 次元輻射流体計算を行い、ガス密度などを比較解析した。

結果として、広範囲の定常流 ($\leq 200r_{\text{S}}$) が得られた。そして、光子補足半径 ($r_{\text{trap}} \sim 270r_{\text{S}}$) より中では、アウトフローの質量噴出率 (e.g. $\dot{M}_{\text{out}} \sim 3.6L_{\text{Edd}}/c^2$) が円盤の質量降着率 (e.g. $\dot{M}_{\text{BH}} \sim 270L_{\text{Edd}}/c^2$) に比べて無視できることがわかった。そしてその原因が、円盤表面密度の減少であることを突き止めた。また、超臨界降着流をスリム円盤と比較した結果、表面温度などの観測に関わる物理量のハラメータ (質量降着率など) 依存性は良く一致するものの、円盤密度と動径速度の半径 r 依存性などガスダイナミクスに関わる量は、対流効果によってスリム円盤とは大きく異なることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W29b 円盤スペクトルが超臨界降着に与える影響

竹尾英俊 (京都大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大学)

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 7$) における超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_{\odot}$) の存在は、ブラックホールが短時間で急成長したことを示唆するが、その具体的な過程は不明である。こうした急成長には、超臨界降着 (エディントン限界を上回る降着) が不可欠とされる一方、ガス降着に伴う輻射電離加熱により超臨界降着は困難とされてきた。

近年、超臨界降着の発生機構として、電離領域の消滅による全系の中性化が盛んに研究されている (e.g., Inayoshi *et al.* 2016; Sakurai *et al.* 2016)。電離半径 R_{HII} がボンディ半径 R_{B} (この内部ではブラックホール重力が卓越) より小さい時、電離領域が潰れ (全系の中性化)、輻射フィードバックが無効化されることで超臨界降着が発生する。

ところで、従来の研究では簡単のため、13.6eV の電離光子を最も多く放出する、ソフトな輻射スペクトルが仮定されてきた。しかし、輻射源とされる降着円盤の温度は $\sim 10^7$ K に達し、keV 領域にピークをもつハードな輻射を放出することが知られている。ハードな光子は電離の吸収係数が小さく、輻射フィードバックの効果は減ずる可能性がある一方、遠方領域での加熱効率が上昇することも考えうる。こうした効果による、超臨界降着や中性化の条件への影響は明らかにされていない。さらに、ハードな輻射フィードバックに付随する 2 次電離の効果も、未だ取り入れられていない。我々は、降着円盤モデル (Watarai 2006) に基づくスペクトルと 2 次電離とを考慮した 2 次元輻射流体計算を行った。結果、新たな超臨界条件を発見し、小質量ブラックホールで超臨界降着が発生しやすいことを明らかにした。加えて、2 次電離の効果は無視できることを示した。本講演では上記結果に基づき、円盤スペクトルの超臨界降着への影響について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W30b 降着円盤における MRI の方位角方向解像度依存性 2 : 質量降着率への影響

町田真美 (九大)、川島朋尚 (NAOJ)、工藤祐己 (鹿大)、大村匠 (九大)、松本洋介、松元亮治 (千葉大)

降着円盤は、ブラックホールなどのコンパクト天体の回りをガスが回転しながら中心に向けて落ち込む際に形成される回転円盤であり、コンパクト天体の活動性の起源となっている。ガスが中心に落下するためには、角運動量輸送が必要となるが、この起源として最も有力なものが磁気回転不安定性 (MRI) である (Balbus & Hawley 1991)。これまでの降着円盤の 3 次元磁気流体数値実験によって、MRI によって角運動量輸送が起き、標準円盤モデルの α 値に換算して 0.01 程度の角運動量輸送率が得られる事がわかっている。しかし、角運動量輸送率や磁気エネルギーの飽和値などが空間解像度に依存性を持つことも明らかになってきた (Hawley et al. 2013)。2018 年春季年会で我々は、一般に降着円盤の磁気流体シミュレーションにおいて空間解像のボトルネックとなる方位角方向の解像度依存性を磁気流体数値計算の公開コード CANS+ を用いて調べ、結果を報告した。先の講演では、方位角方向解像度が高い場合には線形成長への立ち上がりは早い、非線形段階での磁気エネルギーの飽和値は低下すると報告している。しかし、前回の発表では、時間進化を十分に追えてはいなかったため、磁気エネルギーが準定常状態に至る時間までの計算しかされておらず、質量降着率が準定常状態になるまでは計算を追えていなかった。そこで、本講演では、さらに長時間の数値計算を継続する。数値計算は円筒座標系とし、動径方向、鉛直方向のメッシュ数はそれぞれ 256、512 を基本とする。方位角方向解像度として、32, 64, 128, 256, 512 の 5 種類を調査し、質量降着率や、角運動量輸送率などの時間進化の解像度依存性について報告する。更に、角運動量を獲得して外向きに流れる領域との境界が解像度に依存するか否かを検証する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W31b 活動銀河核におけるシンクロトロン偏光輻射輸送計算

恒任優, 嶺重慎 (京都大), 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (国立天文台)

活動銀河核ジェットの噴出・収束機構は未だ明らかでないが、重要な役割を持つと考えられる根元の磁場構造を描くことが解明の鍵である。シンクロトロン放射の電波は星間物質の干渉を受けにくく、強い偏光度を示すので、この未解明構造を知るツールとなる。近年稼働を始めた地球規模超長基線電波干渉計 Event Horizon Telescope を用いた観測プロジェクトを念頭に、予想される偏波イメージを理論計算しておくことは喫緊の課題といえる。

偏光の輻射輸送方程式は連立方程式であり、一般相対論効果が顕著となるブラックホール付近の輻射輸送計算はさらに煩雑なものとなる。観測データが乏しいことも相まって輻射と偏光を同時に扱った先行研究は少なく、既存モデルは不確定な仮説と多数のパラメータを含み、得られている観測データを一意に説明することができない。

本研究では輸送方程式の係数を先行研究に従ってコードに実装し、3次元相対論的偏光輻射輸送計算を行った。これにより輻射と偏光を同一の枠組で考え、観測結果と比較することができる。その第一歩として、簡単なジェットモデルについて特殊相対論の範疇でファラデー回転も考慮して輻射輸送を計算し、撮像イメージの理論予測と、偏光角回転 (Rotation Measure, RM) 分布を得た。

ジェット構造に回転磁場とらせん状プラズマ運動を仮定することで、多波長観測で現れる RM の非対称性と反転現象を再現できた。非対称性はプラズマ運動の傾斜と視線方向が近い場合に相対論的ビーミングで起こり、反転はプラズマ運動が視線方向を跨ぐときの相対論的な視差効果で起こる。将来的にはより現実に近い解析モデルや流体計算データに基づいて一般相対論効果を考慮した計算を行い、この先得られる詳細な観測データとの比較を行う。これにより地平面近くのプラズマ構造や大質量ブラックホール自体の構造・起源の解明が期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W32a 銀河系中心大質量ブラックホール SgrA* の 340 GHz 帯短期強度変動 (II)

三好真、朝木義晴 (国立天文台)、坪井昌人 (宇宙研)、上原顕太 (東京大学)、加藤成晃 (理研)、松元亮治 (千葉大学)、岡朋治、岩田悠平 (慶應大)、高橋真聡 (愛教大)

ALMA (cy03) による観測データ (Dust Cores around SgrA*, 2015.1.01080.S, PI: M. Tsuboi, Co-I: M. Miyoshi, A. Miyazaki, K. Uehara, Y. Kitamura, S. Ishikawa) を用いて、銀河系中心大質量ブラックホール SgrA* のサブミリ波帯、340 GHz における短期強度変化の解析結果を 2017 年秋季年会において報告した。ALMA の高感度に加え、VLBI で用いるフリンジ・サーチ法、セルフ・キャリブレーション法を用いて較正、大気位相変動を除去、わずか 10 秒積分で Sgr A* と周辺のミニスパイラル、IRS 13 など銀河中心のイメージを検出することに成功した。視野内の周辺天体の強度と比較することで信頼性の高い Sgr A* の電波強度変動の測定に成功した。観測は 138 日間のうちに散らばる 4 エポックで実施したが、Sgr A* はそれらの全エポックにおいて、短時間 (1~3 時間) のうちに有意な強度変動 (20~80%) を示した。観測継続時間が短いため、準周期的変動 (QPO) についての有意な検出は無く、変動は非周期的成分が卓越している。その後、強度分布の統計的性質をタイムスケール (T) との関連で解析した。基本的には T 大では非ガウスの (ただし最長 3 時間のデータ)、T 0 に向かってガウスの分布をしめす。ガウスの/非ガウスのと性質が遷移するタイムスケールは 4 つのエポックで共通しない。またエポックによっては、状態間遷移を起こすタイムスケールが複数ある場合もある。つまり、Sgr A* のサブミリ波電波は常に強度変動をしているのだが、その変動の統計的性質は時期によって異なるのである。もし天体構造の変化も強度変動に連動するならば、現在・近未来の VLBI の「時間」分解能では Sgr A* のブラックホール近傍の撮像は困難なので、高速運動するスペース サブミリ VLBI 衛星など短時間でスナップショット撮像できる装置に期待したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W33a すばる望遠鏡による大質量銀河中心ブラックホールの相対論効果の調査

大神隆幸, 齋田浩見 (大同大学), 西山正吾 (宮城教育大学), 孝森洋介 (和歌山工業高等専門学校), 高橋真聡 (愛知教育大学), ほか

天の川銀河の中心には大質量ブラックホール (Sgr A*) があるとされる。しかし、周囲の星間プラズマが複雑な物理過程を示すため、ブラックホールの直接的な観測は困難である。そこで我々は Sgr A* を周回する星 (S2) に注目し、S2 の運動を詳しく観測することで Sgr A* の作る重力場を調査している。S2 は約 16 年の周期で Sgr A* を周回しているが、今年 (西暦 2018 年) の 3 月から 6 月にかけて最接近し、視線速度の変化が最大となる。この時 S2 の受ける重力ポテンシャルの大きさは Hulse と Taylor のパルサー観測などの先行研究と比べても 2 桁大きい。さらに Sgr A* は $\sim 10^6 M_{\odot}$ と大質量であることから、現在の重力波干渉計でも観測できないパラメータ領域での検証が可能である。

本研究では S2 の運動がニュートン重力と一般相対性理論のどちらに従うのかを調査するために、まずそれぞれの理論で S2 の運動を数値的にシミュレーションし、視線速度の情報から赤方偏移の時間変化を理論予測した。また、我々はすばる望遠鏡を用いて分光観測を行い、S2 のスペクトルデータから赤方偏移の値を得ている。赤方偏移に関する理論予測の結果と観測データとを χ^2 検定を用いて比較することで、統計的な議論が可能となる。本発表では、その調査結果および進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W34a ブラックホールへの落下ガス雲のVLBI直接撮像を想定したスピン測定法

森山小太郎 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大学), 本間希樹 (国立天文台)

Event horizon telescope (EHT) の超長基線干渉計 (VLBI) は 1.3 mm と 0.87 mm 波長の電波干渉望遠鏡の集合からなり、ブラックホール近傍の高空間分解能を実現する。現在、EHT 計画によって超大質量ブラックホール候補天体 (Sgr A* と M87) のごく近傍の直接撮像映像が得られる可能性が高まっている。ブラックホール近傍の観測的解明は、事象の地平面の存在の有無、一般相対論の検証のために不可欠なブラックホール時空の直接的な測定と強く関連する。特にブラックホール時空の幾何学に寄与するスピン測定はブラックホール近傍の観測によってのみ測定可能な量であり、EHT 計画を用いた高精度測定が期待されている。

2015 年春の年会 [J145a] では、降着円盤内縁からある一定の角運動量を持って落下するガス雲からの放射を状況を想定し、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。本研究では、超大質量ブラックホールの降着を想定し、より任意の運動と放射スペクトルを持った落下ガス雲の光度変動を相対論的レイトレーシング法を用いて解明し、より実用的なスピン測定法を構築する。落下ガス雲のライトカーブは2つの特徴的なピークからなる: 一つは観測者に直接到達する放射成分、もう一つは観測者に到達するまでにブラックホールの周りを1回転する成分である。2つのピークの時間間隔は光円軌道半径近傍での光線の回転周期に等しく、ブラックホールスピンに一意に依存し、落下ガス雲の運動、放射スペクトルの変動に依存しないことを発見した。さらに、VLBI 観測による落下ガス雲の直接撮像映像を用いることによって、任意の降着円盤内縁半径からの落下ガス雲を用いてスピンを精度よく測定できうることを示す。最後に、現在発展しているブラックホール近傍の VLBI 動画撮像テクニックと本スピン測定法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](#)

W35a X線新星 MAXI J1727–203 の発見と MAXI/GSC が検出した 2018 年度前半の突発現象

根来 均, 中島基樹 (日大), 岩切 涉 (中大), 米山友景 (阪大), 河合誠之 (東工大), 三原建弘, 松岡 勝 (理研) 他 MAXI チーム

2018 年春季年会以降に全天 X 線監視装置 MAXI が発見検出した突発現象について報告する。6 月 5 日、MAXI/GSC 突発天体発見システムにより数時間に渡り増光する天体 MAXI J1727–203 が発見された (Yoneyama+ ATel #11683)。Swift は再起動中のため即座に追観測できなかったが、我々の報告の約 70 分後に同じく国際宇宙ステーションに搭載された NICER により、新天体の存在が確認され、2 成分から成るスペクトルが得られた (Ludlam+ #11689)。その後、GROND により 16 等級 ($g'r'i'z'$ JHK) の明るい可視光天体の詳細な位置も得られた (Rau+ #11690)。また、発見後まもなく MAXI により状態遷移が確認され、ブラックホール候補天体に特徴的な低温で内縁半径が中性子星の半径を上回る降着円盤成分が確認された (Negoro+ #11696)。

3 月 20 日には、低質量連星系 IGR J17379–3747 のアウトバーストを検出し (Negoro+ #11447)、その後、NICER により 468.05 Hz の自転周期が初めて検出された (Strohmayer+ #11507)。3 月 24 日には、Be 連星パルサー 2S 1417–624 の 2009 年来の巨大なアウトバーストを (Nakajima+ #11479)、5 月 1 日には低質量連星系 SAX J1810.8-2609 の 2012 年来のアウトバーストを (Negoro + #11593) それぞれ検出した。また、5 月 9 日には、SAX J1712.6-3739 からの 500 秒以上続く稀な長い X 線バーストを検出した (Iwakiri+ #11636)。講演では、これら突発的増光現象以外にも、昨年発見されたブラックホール候補天体 MAXI J1535–571 の予想外のソフト状態での減光とハード状態への遷移 (Negoro+ #11568, #11682) 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](#)

W36a ブラックホール X 線連星 MAXI J1828-249 の X 線および可視光観測

小田苑会（理化学研究所/東京理科大学）、志達めぐみ（愛媛大学）、中平聡志、玉川徹（理化学研究所）、森谷友由希（東京大学/広島大学）、上田佳宏（京都大学）、根来均（日本大学）、河合誠之（東京工業大学）、三原建弘（理化学研究所）

ブラックホール X 線連星は、質量降着率の増加とともに、硬 X 線が支配的な「ハード状態」から、軟 X 線が卓越する「ソフト状態」へ遷移することが知られている。しかし、状態遷移中の観測例が少ないことから、X 線スペクトルの変化を引き起こす、降着流の構造変化の仕組みは未だ解明されていない。

MAXI J1828-249 は、2013 年 10 月に全天 X 線監視装置 MAXI で発見された X 線トランジェント天体で、X 線スペクトルの形状とその変化から、ブラックホール X 線連星とされる。我々は、同天体の X 線強度がピークに達した 2013 年の 10 月 21 日に、X 線衛星「すざく」と広島大学「かなた」望遠鏡を用いて、X 線・可視光同時観測を行った。その時間平均スペクトルは、標準円盤からの多温度黒体放射による強い軟 X 線成分と、べき型の硬 X 線成分だけでは再現できず、510 keV 付近に別の成分が必要であることがわかった。この成分は、比較的低温 (~ 1.8 keV) で光学的に厚い熱的電子による、円盤放射を種光子とするコンプトン散乱モデルで再現できることがわかった。この散乱成分は、最内縁安定軌道より外側で途切れた標準円盤と、その内側の高温降着流が接する境界領域で生じたものと解釈できる。さらに、「すざく」の X 線データと「かなた」、Swift 衛星で得られた可視光・紫外線データを解析することで、可視光および紫外線フラックスは、円盤内縁部からの X 線照射により加熱された円盤外縁部の熱放射として説明できることがわかった。

本講演では、上記の結果の詳細を報告し、観測時の MAXI J1828-249 の降着流の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](#)

W37a X線新星 MAXI J1820+070 の X 線・可視光モニタ観測

志達めぐみ(愛媛大学), 中平聡志(理化学研究所), 山田智史, 上田佳宏(京都大学), 川室太希(国立天文台), 根来均(日本大学), 村田勝寛, 伊藤亮介, 橘優太郎, 安達稜, 谷津陽一, 河合誠之(東京工業大学), 花山秀和, 堀内貴史(国立天文台), 光赤外線大学間連携チーム

MAXI J1820+070 は、2018 年 3 月 11 日に全天 X 線監視装置 MAXI で発見された X 線新星であり、その後の追観測から、銀河系内のブラックホール X 線連星であることが示唆されている。発見後 1 週間で、X 線強度が 1 桁程度増加し、3 月下旬には 2–20 keV の X 線強度が ~ 2 Crab に達した。その間、X 線スペクトルの形状はほとんど変化せず、MAXI/GSC と Swift/BAT で得られた広帯域 X 線スペクトルは、 ~ 50 keV 付近にカットオフを持つ、べき型モデルで大まかに記述できた。この結果から、MAXI J1820+070 は、増光中に状態遷移を引き起こさず、常に low/hard 状態にあったと考えられる。標準円盤からの多温度黒体放射を種光子とする熱的コンプトン散乱モデルを用いて、同スペクトルの詳細解析を行ったところ、X 線光度の増加にともない、電子温度がわずかに減少する一方、光子指数がわずかに増加していることが判明した。さらに、Swift/XRT と Swift/BAT の観測データから、数秒～数百秒程度の時間スケールで X 線強度が 2–5 倍程度変化していることがわかった。この短時間変動にともなって、X 線スペクトルも変化しており、X 線強度が高くなると、10 keV 以上の硬 X 線成分の占める割合も高くなった。また、光赤外線大学間連携による可視光モニタ観測の結果、X 線強度の増加とともに可視光フラックスも増加していることがわかった。

本講演では、上の結果の詳細を説明し、X 線スペクトルの変化と降着流の構造の関係・可視光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](#)

W38a X線放射輸送コード MONACO の開発の現状とその降着天体への応用

小高裕和, 會澤優輝, 馬場彩 (東大), 川島朋尚 (国立天文台), 萩野浩一 (東京理科大), 渡辺伸 (宇宙研), 高橋忠幸 (IPMU), ほか MONACO プロジェクトチーム

最近の X 線観測装置の高性能化は、データ解析に用いる天体物理モデル自体の高精度化を同時に要求している。現状の観測的研究はデータが持つ情報量を十分に活かすことが難しく、我々は理論と観測を結ぶ精密な放射モデルを構築する手法の開発に取り組んできた。そのためには、特にブラックホールや中性子星などの降着天体において、輻射輸送の正確な扱いが不可欠であり、光子追跡モンテカルロシミュレーションによる天体 X 線放射計算コード MONACO を開発した (Odaka et al. 2011)。これは数多くの応用を見据え、構成を一般化し、様々な天体の形状と物理過程に対応できるよう設計されている。

MONACO は、現状、降着系で特に重要となる物理プロセスを扱うことができる。それらは、(1) 冷たい物質からの X 線反射、(2) 光電離プラズマ、(3) 逆コンプトン散乱 (強磁場の効果も含む) である。例えば、光電離プラズマのコードは超巨大ブラックホールから光速の 30% もの速度で吹き出すアウトフローの吸収線スペクトルに適用され、アウトフローの非一様性を明らかにし、降着円盤からの紫外線加速シナリオを支持する結果を得た (Hagino et al. 2015, 2017)。また、超高光度の白色矮星コロナの高分解スペクトルを初めて物理的モデルで再現することもできた。逆コンプトン散乱のプロセスは強磁場中性子星の放射モデルを構築するために導入され (Odaka et al. 2014)、現在はブラックホール降着流へ展開している (會澤講演)。ほかにも、活動銀河核のクランピートラスモデル (Furui et al. 2016)、コンプトンショルダーの精密モデル (Odaka et al. 2016) などの応用がある。本講演では、コードの設計と実装をあらためて概観し、新規開発の現状と降着天体へ適用した成果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W39a ジオメトリを考慮したブラックホール連星 Cyg X-1 の硬X線スペクトル解析

會澤 優輝, 小高 裕和, 馬場 彩 (東京大学)

ブラックホール連星 (Black Hole Binary; BHB) は、恒星質量ブラックホールと恒星の連星系であり、ブラックホールに降着する物質が重力エネルギーの解放によって数千万度まで加熱されてX線を放出する。このX線のライトカーブやスペクトルから、ブラックホール周辺の構造を推定することができる。降着円盤からの熱放射よりコロナでの逆コンプトン散乱 (Comptonization) による放射が優勢な状態 (ハード状態) における降着の機構は未だよく分かっておらず、様々なモデルによってX線放射の再現が試みられている。Cyg X-1 はBHBの中でも最も明るいX線源であり、ハード状態の降着機構の解析に適している。

これまでの研究により、コロナが非一様であるという示唆 (Makishima et al. 2008) や、非熱的成分が存在するという示唆 (Parker et al. 2015) が得られた。しかし、多くのモデルでは球対称な分布を仮定しており、ブラックホール周辺の降着円盤やコロナのジオメトリを考慮したモデルは無い。非熱的成分の根拠にもなった、2014年5月のNuSTARの観測による良質な3–79 keVのデータを用いて解析を行ったところ、前述の二つの異なるモデルのどちらでもデータが説明できるという結果を得た。降着円盤などを無視した球対称モデルでは限界があり、より現実的なジオメトリを持つモデルでデータを評価していくことが重要である。そこで我々は、Comptonizationを扱うことのできるモンテカルロシミュレーション (Odaka et al. 2014) を解析に組み込むことによって、非球対称な降着流のジオメトリを考慮したスペクトル解析を行なった。本講演では観測データの解析結果を報告し、ジオメトリがX線放射に対して及ぼす効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](#)

W40a 硬 X 線偏光検出器 PoGO+ 気球実験による Cygnus X-1 の偏光観測

高橋 弘充、河野 貴文、大橋 礼恵、内田 和海、水野 恒史 (広島大学)、釜江 常好 (東京大学)、片岡 淳 (早稲田大学)、田島 宏康 (名古屋大学)、Maxime Chauvin, Mette Friis, Miranda Jackson, Mozsi Kiss, Victor Mikhalev, Mark Pearce, Theodor Stana (スウェーデン王立工科大学)、H-G. Floren (ストックホルム大学)、PoGOLite/PoGO+チーム

ブラックホール連星系では、伴星から恒星質量ブラックホールへ降着した物質が、降着円盤、コロナ、ジェットを形成する。降着物質から解放される莫大な重力エネルギーは、ブラックホール近傍で X 線として放射される。これまでのスペクトルや時間変動解析からは、ブラックホール連星系のハード状態について、降着円盤とコロナのジオメトリには 2 つの対立モデルが提案されており、30 年にわたって議論が続いている。両モデルは、円盤の最内縁がブラックホール近傍の最終安定軌道 (付近) まで届いているかどうか、その結果として相対論的な効果の強弱に差があり、コロナからの放射が円盤で散乱される成分 (反射成分) の寄与が異なる。

我々は、偏光度の高低から反射成分の強弱を決定できると考え、日本とスウェーデンで共同開発した硬 X 線偏光計 PoGO+ 気球実験により、ブラックホール連星系 Cygnus X-1 を観測した。観測は 2016 年 7 月に Cygnus X-1 がハード状態にあった 6 日間実施した。PoGO+ の観測エネルギー帯域は 20-180 keV であり、反射成分の寄与が大きいコンプトンハンプの帯域にちょうど対応している。観測結果は、偏光度が 8.6% 以下 (90% 上限) と小さく、放射は相対論的な効果をそれほど受けていないことを明らかにすることができた。これは、スペクトルや時間変動解析とは独立な偏光観測でも、ハード状態の降着円盤の最内縁はブラックホール近傍まで到達していないことを示す。本講演では、将来計画である硬 X 線望遠鏡を搭載する X-Calibur 気球実験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](#)

W41a 古典新星 V612 Scuti の極大期の高分散分光観測

前原裕之(京都大学), 神戸栄治, 浮田信治, 泉浦秀行, 原川紘季, 大宮正士(国立天文台), 佐藤文衛(東京工業大学)

古典新星は白色矮星と低温度星からなる連星系で、低温度星から白色矮星への質量降着があり、白色矮星表面に降り積もった水素が暴走的な熱核反応を起こすことで6-19等ほどの大きな増光を示す天体である。古典新星のうち比較的減光の遅い新星の中には、極大付近で複数回の2等級程度の振幅の増光を示す天体があるが、このような増光の原因についてはよく分かっていない。

我々は、2017年6月23日にASAS-SNによって発見された古典新星 V612 Sct の分光観測を、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視高分散分光器 HIDES-F の全自動観測システムの試験観測の一環として、2017年7月21日から11月1日まで行った。V612 Sct は新星爆発後11等ほどまで増光した後、2017年7月から12月までの間に振幅1-2.5等級の増光を5回起こし、我々の観測ではこのうち7月から10月に起きた4回の増光期間中のスペクトルを得ることができた。そのうち1回目の増光前後では、連続光成分のみが増加し $H\alpha$ 線の輝線成分や P Cyg profile の吸収成分の速度には大きな変化は見られなかった。しかし、2-4回目の増光時には $H\alpha$ 輝線の FWHM が増加するとともに、増光毎に異なる速度を持つ吸収成分が出現したことが分かった。また、Na I D, He I, Fe II 等においても同様の吸収成分がみられたが、その出現時期は $H\alpha$ とは異なっていた。講演では極大付近で見られた複数回の増光と $H\alpha$ 線等にみられた吸収成分の関連について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W42a 強磁場激変星うみへび座 EX における再結合優勢プラズマの発見

迫聖, 信川正順 (奈良教育大学)

激変星とは白色矮星 (主星) と恒星 (伴星) が互いに近接して連星系を組んでいる近接連星系天体である。白色矮星が強い磁場を持つ強磁場激変星 (magnetic Cataclysmic Variable; mCV) の場合、伴星からの降着物質は主星の強い磁場に沿って主星の表面に柱状の降着柱を形成しながら、高速で落下する。その際生じた衝撃波により降着物質は1億度以上に加熱され、放射冷却により冷えながら表面に降着する。プラズマ生成では、先に粒子が加熱され、その後に電離が起こる「電離進行状態」あるいは、衝撃波加熱以外に電離が起こる場合はその逆の「再結合優勢状態」も考えられる。しかしながら、これまでのほとんどの研究では、それらが釣り合った電離平衡状態として考えられてきた。

そこで、本研究では mCV のプラズマが電離平衡であるかどうかを検証するために、うみへび座 EX (以後、EX Hya) について「すざく」の公開データの解析を行った。解析では従来のように電離平衡プラズマモデルと白色矮星表面での反射成分モデルでの再現を試みた。すると $9 - 10$ keV で残差が生じた。そのエネルギー帯域と形状から、その残差は完全電離した Fe の再結合連続 X 線 (以後、RRC, エッジエネルギー=9.18 keV) による可能性が考えられる。実際に、RRC モデルを追加すると残差は解消し、再結合する電子の温度は $kT_e = 3 \pm 2$ keV であることがわかった。この RRC モデル成分の追加の有意度は 4 だった。

さらに RRC の追加が必要であったことから、プラズマは「再結合優勢状態」にあると考えられる。また、その電子温度 $kT_e = 3 \pm 2$ keV から、このプラズマは降着柱の主星表面付近にあると考えられる。本講演では解析結果の詳細を報告し、EX Hya の再結合優勢プラズマの生成機構について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W43a SU UMa 型矮新星 VW Hydri の降着円盤ガス量の時間変動解析

中庭望 (首都大学東京), 石田學 (ISAS), 林多佳由 (GSFC)

矮新星は白色矮星の周りに降着円盤を形成しており、円盤から白色矮星への降着率が急激に増える際に数日の間 4-6 等級増光するアウトバーストを起こす。その中でも SU UMa 型矮新星はアウトバーストよりも光度が約一等級明るく継続期間が 5 倍程度長いスーパーアウトバーストも起こす。可視光による観測から、アウトバーストは円盤内部のガス密度増加による熱不安定性によって起こり、スーパーアウトバーストはガスを溜め続けた円盤外縁が 3:1 共鳴半径に達するときの熱-潮汐不安定によって起こるという解釈が与えられている (Osaki 1996 PASP)。この説に従えば、スーパーアウトバースト後の矮新星が次のスーパーアウトバーストを起こすまでの間に、円盤はアウトバーストの時期を除いて質量を溜め続けるため、円盤の面密度が上昇するにしたがって質量降着率も増え続けると予想できる。我々は、SU UMa 型矮新星 VW Hydri の、連続する 2 つのスーパーアウトバースト間の静穏時を 2ヶ月おきに 3 度観測した「すざく」のデータを持っており、質量降着率の変化を見積もることで円盤の状態変化を観測的に解明する研究に取り組んでいる。

X 線を放射している円盤内縁と白色矮星表面間の境界層が圧力平衡の冷却流になっていると仮定すれば、質量降着率はその光度と境界層に存在するプラズマの最高温度から求めることができる。私は、全 3 回の観測スペクトルそれぞれを、円盤や白色矮星表面によるプラズマの反射成分を加えた熱的放射モデルでフィッティングを行い、これらの値を見積もった。その結果、3 回の観測の間で、連続スペクトルの硬さや、ヘリウム様と水素様に電離した鉄の $K\alpha$ 線の強度比に違いが見られており、観測時期に依って円盤から白色矮星への質量降着率が変化している様子が明らかになってきた。本講演では、これらの結果について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W44a 初のアウトバーストを起こしたヘリウム激変星 SDSS J141118.31+481257.6

磯貝桂介, 加藤太一, 小路口直冬, 若松恭行, 大西隆平, 野上大作 (京都大学), 河合誠之, 谷津陽一, 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大), 大島誠人 (兵庫県立大), 佐野康男, 伊藤弘, 清田誠一郎, 笠井潔 (VSOLJ), Geoff Stone, Tonny Vanmunster, Pavol A. Dubovsky, Elena Pavlenko, 他 VSNET Collaborations

ヘリウム激変星 (りょうけん座 AM 型星, AM CVn 型星) とは、主星が白色矮星、伴星が水素の欠乏したヘリウム星、もしくはヘリウム白色矮星であるような近接連星系である。軌道周期は 5–65 分と短く、降着円盤を持つために矮新星アウトバーストを起こす天体も存在する。Ia 型超新星の親星候補として注目を浴びている天体だが、発見数が少ないために観測的な研究は進んでいない。そのため、ヘリウムで構成された降着円盤で起きるアウトバーストの詳細観測や、観測を通じた連星進化の研究はこれからの課題である。

SDSS J141118.31+481257.6 は 2005 年に分光観測で発見されて以来注目を浴び、2018 年 5 月 19 日、初めてのアウトバーストが報告された。我々はアウトバーストの詳細な挙動を解明するため、国際協力による可視連続測光、同時多色測光、低分散分光観測を行った。その結果、ヘリウム激変星では 2 例目となる早期スーパーハンプや double superoutburst と呼ばれる現象が観測された。これらは通常の (水素が豊富な) 激変星では知られた現象だが、ヘリウムで出来た円盤でも同様に起きることが改めて実証され、これらの現象の発生条件について、我々の解釈の正しさが示された。また、stage A スーパーハンプという円盤の光度変動周期から、力学的な手法で得られた連星質量比は 0.053 ± 0.002 となった。ヘリウム激変星は 3 つの進化経路を持っているが、質量比は経路を推測する上で非常に重要である。今回得られた質量比と、比較的大きな transverse velocity = 81 ± 11 km/s から、この天体が Population II の連星が長い時間をかけて進化した evolved CV channel であると示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W45a 超軟 X 線源の前身としての、重い伴星と白色矮星を持つ矮新星

木邑真理子, 加藤太一, 前原裕之, 野上大作 (京都大学), 石岡涼子 (ASIAA), ほか VSNET team

V364 Lib は、数年おきに振幅の小さいアウトバーストを起こす矮新星であり、0.7 日程の長い軌道周期を持つ。アウトバースト中、He II や C III/NIII などの高階電離の輝線を示す、振幅が小さいにも関わらずアウトバースト間の間隔が長い、アウトバーストの立ち上がりが遅く、光度曲線が対称的であるなどの特徴がある。このように、矮新星としては稀な振る舞いを示すことから、2009 年の観測以降、中心星がブラックホールである可能性が度々浮上し注目を集めていた。しかし、その性質は長年不明であった。

私達は、この天体のアウトバースト中とその前後の可視光の連続測光観測データと分光観測データを解析した。静穏時の伴星が支配的な可視光スペクトルから、この天体の伴星が F 型星であることを示し、また、radial velocity を見積もることで連星質量比に制限をつけ、この天体が $1M_{\odot}$ を超える重い白色矮星を持つ可能性があることを示唆した。また、軌道傾斜角は 35 deg 程と小さいことも分かった。これらのパラメーターは、静穏時の光度変動に支配的な ellipsoidal variations とアウトバーストの振幅を再現するモデル計算の結果ともよく一致する。モデル計算からは、アウトバースト時に円盤が大きく広がっていることも分かった。私達の解析で明らかになったこの天体の性質を考慮すると、上にあげたこの天体のアウトバーストの特徴を、通常の矮新星で広く受け入れられている円盤不安定性モデルを用いて統一的に解釈できる。さらに、伴星が白色矮星よりも重い場合のロッシュローブオーバーフローのあり方を考えた結果、私達は、この天体の伴星はまだロッシュローブを完全に満たしておらず、超軟 X 線源の前段階にあたるのではないかと示唆した (Kimura et al., 2018, PASJ)。本講演では、この種の天体の未発見の population や Ia 型超新星との関連も含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W46a 星風降着する X 線連星系における角運動量輸送

鷹野重之, 中村賢仁 (九州産業大学)

SG 型ドナーからの星風降着を受ける X 線連星系では, コンパクト天体への降着はほぼ球対称と仮定して考えることが多い. しかし, 軌道運動が星風速度に対して無視できない場合には, コンパクト天体へ降着する星風物質には著しい速度および密度勾配が生じる. とくにライン加速などにより星風が急激に加速される場合には, この密度・速度勾配は非常に大きくなり, 降着流の非対称性が顕著となる. このような非対称な星風からの降着流はコンパクト天体周囲へ角運動量を輸送することとなる. 本研究では, 非対称性の大きな星風降着流を考え, コンパクト天体周囲での降着円盤形成の可能性を検討する.

特に降着天体が中性子星である場合には, 磁場による捕獲半径やプロペラ効果との兼ね合いで円盤形成の可否が決まることを議論する. 中性子星への星風からの角運動輸送は, X 線連星系を観測結果の解釈に影響するのみならず, 中性子星のスピンの進化にも重要な役割を果たす. 得られた結果を, LMC X-4 などの降着円盤を持つような大質量 X 線連星系と比較し検討する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W47a 重力崩壊型超新星爆発時に中心天体に戻ってくる物質を押し戻す活動性

茂山俊和, 櫻山和巳 (東京大学)

太陽質量の10倍以上重い星は進化の最後に鉄の中心核を形成し、その中心核が重力不安定により収縮し、重力エネルギーを解放する。そのエネルギーの一部が受け渡された外層が放出されて超新星爆発を起こすと考えられている。その際、外層の深部は十分なエネルギーを得られず、中心核の重力に引かれて戻ってくるのが理論的な数値シミュレーションから示されている。ここでは、エネルギーが中心天体から周囲の物質に時間のべき乗に従った量、供給されることで、戻ってきた物質を再度押し戻す様子を記述する球対称自己相似解を提示する。エネルギー供給の仕方としては、例えば収縮した中心核が高速で自転する中性子星になり、磁気双極子放射によってその自転エネルギーを解放する場合を想定する。

さらに、この解を様々な星の爆発で起きるこのような出戻り降着流に適用し、超新星爆発後に中心天体がパルサーとして見えるのか、パルサー活動性による非熱的放射が見られない中心コンパクト天体(CCO)として見えるのか、より強い磁場を持ったマグネターとなるのか、がどのように決まるのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W48a MAXI, Swift, RXTE による X線連星パルサー GS 1843-02 の軌道位相に依存した X線スペクトル変動

中島基樹 (日本大学), 中平聡志, 三原建弘, 牧島一夫 (理化学研究所), 杉崎睦, 河合誠之 (東京工業大学), 坂本貴紀 (青山学院大学)

日本の3番目の X線観測衛星「ぎんが」により 1988 年に銀河面にて発見された GS 1843-02 は、約 95 秒周期の X線パルスと約 242 日間隔の X線増光を示したことから、Be 星と中性子星の連星、Be/X線連星パルサーと同定された (Koyama et al. 1990, Soffitta et al. 1998)。その後の CGRO 衛星の観測により、軌道パラメータ、 $a_x \sin i = 689 \text{ lt-s}$ 、eccentricity = 0.8792、Periastron epoch = 49616.48 (MJD) などが求められた (Finger et al. 1999)。発見後から 2000 年まで、この天体からは毎近星点通過ごとの normal outburst が観測されていたが、その後の 10 年間は静穏な状態が続いていた。X線スペクトルについては、強い吸収 ($N_{\text{H}} = (1.5 - 3) \times 10^{23}$) を示すことが「ぎんが」による観測結果から報告されているが、それ以外の X線スペクトルについての情報は報告されていない。2012 年 8 月以降、GS 1843-02 は再び周期的な X線増光を示し (Krimm et al. 2012) その X線増光のプロファイルは MAXI と Swift により 2 - 50 keV の幅広いエネルギー帯域にて監視されている。これらの観測から、近星点通過直前にハードになり、その後ソフトに変化することが判明した。未報告の 1990 年代後半の RXTE 衛星の観測データも調査したところ、MAXI や Swift の観測結果と同様に、近星点通過直前にハードになっていたことが明らかになった。軌道位相毎の X線スペクトル変化を詳細に調査したところ、鉄輝線と部分吸収を考慮した exponential cutoff power-law モデルの組み合わせで再現できることを確認した。また、吸収量は近星点通過前後で 2 桁 ($5 \sim 130 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) も変化していることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W49a 大質量 X 線連星 SMC X-1 からの高電離鉄吸収線の発見とその起源

窪田めぐ (理研・東理大)、小高裕和 (東大)、中野俊男 (理研)、玉川徹 (理研・東理大)

中性子星の大質量 X 線連星系 (HMXB) は、中性子星と OB 型大質量星との連星系である。この系の中性子星では、伴星からの降着物質は、円盤の内側から強力な磁場 (10^{12-13} G) に沿って磁極に落下し、X 線で輝く磁極が自転とともに見え隠れするため降着駆動型パルサーとなる。X 線パルサーの降着流のダイナミクスと放射モデルは、他のブラックホールや中性子星の連星系と比べて、物理的理解が大きく遅れている。また近年、NuSTAR の観測によって、超高光度 X 線天体 (ULX) からパルスが検出され (e.g. M. Bachetti et al. 2014)、ULX の少なくとも一部は中性子星であることが確定的となり、強磁場中性子星の降着機構の研究の重要性が高まっている。

SMC X-1 の光度は ULX パルサーの次に高く、ほぼエディントン光度で輝いており、「古典的」な HMXB の中で最大である。この天体は「すざく」衛星で 2011–2012 年にかけて 10 回の観測が行われた。どの観測においても、3–10 keV のエネルギースペクトルは周辺物質による吸収と、磁極からの放射を想定したべき関数モデルで大局的には説明できた。さらに、このうち一つの観測において、そのスペクトルの 6 keV 付近に輝線と吸収線が同時に見える構造が発見された。本研究では、6 keV 付近に着目して解析を行うため、軟 X 線帯域のみを使用した。解析からこの構造は、中心を 6.4 keV に持つ幅が ~ 0.4 keV の Gaussian と中心エネルギーが ~ 6.64 keV の鋭い吸収構造の 2 つで説明できることがわかった。6.4 keV の広がった Gaussian に関しては、降着円盤の内側からの電離度の低い鉄の輝線放射がドップラー効果を受けて広がったものであると考えている。一方、6.64 keV の吸収線は、He-like に電離した鉄による吸収線が赤方偏移して観測されていると考えている。本講演では、解析結果の詳細を述べるとともに、解析結果から想定される SMC X-1 周辺のジオメトリ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](#)

W50a 降着駆動型 X 線パルサーにおける鉄 K 吸収端の光学的深さの自転位相変動

吉田裕貴, 北本俊二 (立教大)

降着駆動型 X 線パルサーの X 線エネルギースペクトルには中性鉄原子もしくは低階電離鉄イオンの K 輝線及び K 吸収端がしばしば観測される。これまでの観測結果に基づくと、それぞれは中性子星近傍の物質の蛍光 X 線と光電吸収に起因すると考えられる。したがって鉄 K 輝線, 鉄 K 吸収端を観測することで、中性子星近傍の物質、特に中性子星磁気圏での降着物質の物理パラメータを測定できることが期待される。特に鉄 K 吸収端を観測することで、X 線源と観測者間にある物質に限定した情報を得ることができる。

すざく衛星が観測した降着駆動型 X 線パルサー 7 天体, 8 観測データを用いて、中性子星の自転位相別スペクトル解析を実施し、鉄 K 輝線, 鉄 K 吸収端のパラメータの自転位相変動を調査した。その結果、GX 301-2, GX 1+4, OAO 1657-415, Vela X-1 において、鉄 K 吸収端の光学的深さが、自転位相に従って 3σ 以上の信頼度で有意に変動をしていることがわかった。また鉄 K 吸収端の光学的深さが最大となる位相は連続 X 線の強度が減少する位相に同期していた。このとき鉄 K 輝線, 鉄 K 吸収端のエネルギーから見積もられる鉄の電離度は $\text{Fe}_{\text{II-III}}$ であった。鉄 K 吸収端の光学的深さの中性子星の自転位相による変動が現れる具体的な描像を考えると、中性子星の磁場に捕獲され、中性子星の自転とともに共回転する物質が、光電吸収に寄与しているという解釈になる。この状態を仮定して、観測から得られた鉄の電離状態により、吸収物質に対して、密度と中性子星からの距離の制限をつけた。Alfvén 半径 ($r = 3 \times 10^8 \text{ cm}$) では、物質の数密度が $n = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度となり、観測から得られた吸収物質の柱密度 ($\sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) から吸収物質の視線方向の厚みは、 10^4 cm 程度と見積もられた。本公演では吸収物質の分布と電離状態に関するより詳細な議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W51a Be/X線連星パルサー Swift J0243.6+6124 の Eddington 光度近傍における X線スペクトル、パルス波形の変化

大枝幹、河合誠之、杉崎睦 (東工大)、三原建弘、牧島一夫 (理研)、中島基樹 (日大)、他 MAXI チーム

Swift J0243.6+6124 は、2017 年 10 月に新たに見つかった Be/X 線連星パルサーである。MAXI と Swift がほぼ同時に既知天体 LS I +61 303 の近傍に X 線源が現れたことを確認していたが、Swift の追観測で全く新しい天体で 9.86 秒のパルス周期を持つことがわかり、可視光の対応天体として Be 星が見つかったことから、Be 星連星パルサーに同定された。新天体はその後 1ヶ月程度増光し続けて、最大光度はカニ星雲の光度の 7 倍 (7 Crab) にまで達し、継続期間が 100 日を超える巨大アウトバーストに発展した。可視光天体の光度から距離は 2.5 kpc と見積もられ、連星軌道周期は、パルス周期の軌道ドップラー変調から、28.3 日と求められている。

我々は、MAXI の連続監視観測で得られたデータを用いて、アウトバースト中の X 線放射の変化を解析した。X 線スペクトルは、全期間で X 線パルサーに典型的な光子指数 $\Gamma \sim 1$ の冪関数と高エネルギー側の指数関数的カットオフモデル ($\propto E^{-\Gamma} e^{-\frac{E-E_{\text{cut}}}{E_{\text{fold}}}}$) で表されるが、 E_{fold} の値は増光とともに ~ 20 keV から ~ 10 keV に低下することがわかった。得られた X 線スペクトルと距離 2.5 kpc を用いて Luminosity を計算すると、ピーク時に 2×10^{38} erg s $^{-1}$ となり、典型的な $1.4M_{\odot}$ の中性子星の Eddington 光度と一致した。また、パルス波形は、エネルギーバンド毎に違いはあるものの、パルス成分の割合と光度に良い正の相関があることがわかった。これらの結果は、同じ Be 連星パルサー X0331+53 が Eddington 光度に達するアウトバーストを起こした時に見られた傾向と非常に良く似ている。降着物質が集まって X 線の放射源となってる磁極近傍の物理状態の変化を表していると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W52a 銀河中心ブラックホールの合体形成モデルと重力波観測

真貝寿明 (大阪工業大学)

銀河中心の超巨大ブラックホール形成過程として、宇宙の初期にできた説と、中間質量ブラックホール合体を経由して合体成長を行う説がある。後者の説がN体計算のシミュレーションから示唆されているが、これらを判別するのは、ブラックホールの合体現象をどれだけ捉えることができるのか、という観測数が決定的になる。そこで、地上における重力波観測装置 (LIGO/Virgo/KAGRA) と、宇宙空間における重力波観測計画 (LISA/DECIGO ほか) でブラックホール合体の観測数・イベントレートを予想し、モデル判別に必要な観測数を議論する。

これまでの発表では、ブラックホール連星合体で生じるリングダウン重力波をもとに観測数を予想した [1] が、今回はインスパイラル重力波を用い、ブラックホール回転の大きさの効果も含めた議論を展開する。

[1] H. Shinkai, N. Kanda, & T. Ebisuzaki, *Astrophysical Journal* 835 (2017) 276

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W53a 低質量星団内におけるブラックホール連星形成とその合体可能性

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝 (東京大学)

2016年2月、LIGOによる初の重力波直接検出が発表された。この検出結果は、30太陽質量のブラックホール連星が多数存在することを示唆するものであり、なぜこのような大質量のブラックホール連星が多く存在するのかという疑問を引き起こした。

我々は、重力波源天体であるブラックホール連星の起源として高密度星団内でのブラックホール連星の形成に着目し、重力多体シミュレーションを用いて、ブラックホール連星の特徴を解明するための研究を行っている。本講演では、これらの研究の一環として行っている、1万太陽質量程度の星団内でのブラックホール連星形成の研究の結果を紹介する。現在の天の川銀河内で観測される古い星団では十万から百万太陽質量の星団が支配的であるが、その一方で、Antennae 銀河などで観測される若い星団では1万太陽質量程度の星団が最も多く、星団形成時にはこのような比較的 low 質量の星団が数多く存在したと考えられている。そのため、ブラックホール連星起源の候補としてこれらの比較的 low 質量な星団内での形成を考えることは重要である。

重力 N 体シミュレーションコード NBODY6 を用いて、Kroupa の初期質量関数に従う 0.08 から 150 太陽質量の主系列星からなる星団の進化を計算した。NBODY6 には星の進化モデル (Cambridge stellar evolution package) が含まれており、各星の質量放出やブラックホール形成等も計算可能である。このようなシミュレーションを複数モデル計算することで、大質量星が伴星を捕獲して連星を形成し、その後それぞれの星がブラックホールに進化することで 10-30 太陽質量程度のブラックホール連星に進化する課程を確認できた。本講演では、これらのブラックホール連星形成の結果を紹介し、それらのブラックホール連星の合体可能性について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W54a Ultra-Long Gamma-Ray Bursts and Tidal Disruption Events from Intermediate-Mass Black Holes in Collapsing Star Clusters

櫻山和己 (東京大学)、櫻井祐也 (Georgia Tech)、川名好史朗 (東京大学)、吉田直紀 (東京大学)

Successive mergers and collisions of massive stars at the center of a collapsing cluster lead to form $\sim 1000 M_{\odot}$ supermassive star (SMS) within a few Myr, which collapses into an intermediate mass black hole (IMBH). With the help of N-body simulations, we study the formation and early growth of IMBH, in particular those formed in a high-redshift metal-poor cluster. We show that the angular momentum of the SMS can be large so that the Kerr parameter of the IMBH becomes $a \sim 1$. Such a high-spin IMBH formation may accompany an ultra-long gamma-ray burst (GRB). We also show that several massive stars with $M_{*} = \text{a few } 10 - 100 M_{\odot}$ can be sent to the IMBH and tidally disrupted before they explode as supernovae. Those tidal disruption event (TDE) results in forming a hyper accreting disk with a peak accretion rate of $\sim 10^{-3} M_{\odot} s^{-1}$ lasting for $\sim 10^4$ s. If relativistic jets emerge successfully in such ultra-long GRBs and TDEs, the prompt and afterglow emission can be detectable even up to $z = 20$ by e.g., Swift BAT and VLA, respectively, which can be used as a unique probe of massive-star clusters and super-massive-black-hole seeds at high redshifts.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W55a Why Are Some Gamma-Ray Bursts Hosted by Oxygen-rich Galaxies?

Tetsuya Hashimoto (NTHU), Ravi Chaudhary (IIT), Kouji Ohta (Kyoto Univ.), Tomotsugu Goto (NTHU), Francois Hammer (Observatoire de Paris), Albert Kong (NTHU), Ken'ichi Nomoto (Kavli IPMU)

Theoretically long Gamma-Ray Bursts (GRB) are expected to happen in the low-metallicity environments, because in a single-massive star scenario, low iron abundance prevents loss of angular momentum through stellar wind, resulting in ultra-relativistic jets and the burst. In this sense, not just a simple metallicity measurement, but low iron abundance ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -1.0$) is essentially important.

Observationally, however, oxygen abundance has been measured more often due to stronger emission. In terms of the oxygen abundance, some GRBs have been reported to be hosted by high-metallicity star-forming galaxies, in tension with theoretical predictions.

We here compare iron and oxygen abundances, for the first time for GRB host galaxies (GRB 980425 and 080517) based on the emission-line diagnostics. The estimated total iron abundances, including iron both in gas and dust, are well below the solar value. The total iron abundances can be explained by the typical value of theoretical predictions ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -1.0$), despite high oxygen abundance in one of them. According to our iron abundance measurements, the single-massive star scenario still survives even if the oxygen abundance of the host is very high such as the solar value. Relying only oxygen abundance could misguide us on the origin of the GRBs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W56a 低光度ガンマ線バースト GRB171205A の多波長放射モデル

鈴木昭宏（国立天文台）、前田啓一（京都大学）、茂山俊和（東京大学）

ロング・ガンマ線バースト (GRB) の中でも特に即時放射の光度が小さいイベントは低光度 GRB と分類され、宇宙論的な距離で起こる通常の GRB とは異なる種族である可能性が指摘されている。低光度 GRB は、近傍のイベントしか検出できないためサンプル数自体は小さく、観測例は GRB980425, 060218, 100316D などの数天体に限られる。しかしながら、単位体積あたりのイベント数は通常の GRB に比べて多いと見積もられており、現在のガンマ線・X 線観測衛星の検出限界以下に多くのイベントが埋もれていることが予想される。どのような星においてどのようなメカニズムで低光度 GRB が起きるのかについては活発な議論が行われているが、通常の GRB においてガンマ線放射を担う相対論的ジェットが星内部や濃い星周物質中でせき止められた場合に作られる、準相対論的かつ球対称に近いエジェクタがガンマ線を放射しているというのが、一つの有力なシナリオである。本研究では、準相対論的なエジェクタが濃い星周物質中を伝搬する流体モデルを基にして、即時放射とそれに続く熱的 UV 放射及び非熱的 X 線・電波放射のモデルを構築し、最近発見された低光度 GRB171205A へ適用した。その結果、 5×10^{50} erg 程度のエネルギーで自由膨張する準相対論的なエジェクタ成分が、質量損失率 $10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、速度 1000 km s^{-1} 程度の定常恒星風と衝突する場合に、観測された即時放射の光度曲線をよく説明することが分かった。講演では、即時放射のフィットの結果とともに他の波長での光度曲線モデルについても紹介し、エジェクタの性質と星周物質の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](#)

W57a Amati 相関から外れるハードで暗い GRB の X 線残光

勝倉 大輔, 田代 信, 寺田 幸功 (埼玉大学), 山岡 和貴 (名古屋大学)

宇宙で最も明るい爆発現象として知られるガンマ線バースト (GRB) は即時放射の継続時間によって大きく二つに分けられており、2 秒以上続くものは Long GRB、それより短いものは Short GRB と呼ばれる。加えて、Long GRB の総放射エネルギー E_{iso} は、即時放射の νF_ν スペクトルのピークに対応する光子のエネルギーである E_{peak} と強い相関を持つということが Amati et al. 2002 にて報告され、その発見者の名前から、この $E_{peak} - E_{iso}$ 相関は Amati 相関と呼ばれている。一方で、GRB980425, GRB031203 等、この相関から外れる E_{iso} が非常に小さい Long GRB も数例報告されている。しかしながら、これらがどのような物理機構で Amati 相関から外れるのかについては未だに明らかになっていない。本研究では、その物理機構に迫るため、Amati 相関から「 E_{iso} が小さい側」に外れる GRB (以下、この GRB を Hard-dim GRB と呼ぶ) の残光の振る舞いを調べた。まず、2018 年 5 月までに Swift/BAT で観測されたイベントにおいて、赤方偏移が $z < 1$ である GRB についてスペクトル解析を行い Hard-dim GRB のサンプルを探した。続いて、先ほどの解析で見つかったサンプルに加え、投稿論文や Gamma-ray burst Coordinate Network (GCN) で報告されている Hard-dim GRB をサンプルとし、それらについて Swift/XRT 等で観測された X 線残光 luminosity のライトカーブを作成した。その結果、Hard-dim GRB の X 線残光 luminosity は、Amati 相関に従う GRB (2016, 2017 勝倉秋季年会にて発表) に比べて 1 桁以上暗いことが分かった。最後に、Hard-dim GRB の X 線残光 luminosity の解析を行い、luminosity や減光のべき指数の時間発展を調べた。本公演では、Hard-dim GRB の即時放射から X 線残光のデータを系統的に解析した結果について、Amati 相関に従う GRB の結果 (2016, 2017 勝倉秋季年会) と対比を行いながら報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W58a 非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の下流磁場の非線形発展

富田 沙羅 (青山学院大学), 大平 豊 (東京大学)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的衝撃波下流での、被加速粒子のシンクロトロン放射によるものと考えられている。残光の観測は、下流の広い放射領域で、磁場が星間磁場を衝撃波圧縮した値より約 100 倍大きいと示唆している。つまり衝撃波圧縮の他に磁場の増幅機構が必要だと考えられるが、未解明である。一様媒質中での相対論的衝撃波の Particle-in-Cell (PIC) シミュレーションにより、衝撃波面近傍のワイベル不安定性で生成された磁場は、観測を説明するほどの広い放射領域を占めることができないことが分かっている。しかし現実の衝撃波が伝搬する星間空間は、非一様である。そこで我々は、非一様媒質中を伝播する相対論的衝撃波の PIC シミュレーションを行った。その結果、下流を伝搬する音波が形成され、またワイベル不安定性を励起させるのに必要な温度非等方性は、一様な場合よりも高い値で維持されることがわかった。しかし、下流でワイベル不安定性による有意な磁場生成は確認できなかった。これは下流を伝搬する音波で温度非等方性が振動し、その周期がワイベル不安定性の成長時間よりも短いため、磁場が成長できなかったと考えられる。そこで上流の密度ゆらぎ波長をより長くすることで、下流でのワイベル不安定性による磁場生成が起きるかどうかを調べた。本公演では、温度非等方性の起源と下流磁場の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](#)

W59a ニュートリノ優勢降着円盤における磁気回転不安定性乱流の磁気プラントル数依存性とそれに伴う円盤不安定性の解析

川中宣太 (京都大学), 政田洋平 (愛知教育大学)

ガンマ線バーストを引き起こす中心エンジンのモデルとして、大質量星の重力崩壊やコンパクト連星の合体の後に形成される星質量程度のブラックホールとそれを取り巻く大質量の降着円盤が有力視されている。特にガンマ線バーストの即時放射における短時間変動は、この降着円盤が力学的に不安定となりブラックホールへの質量降着が散発的になることが原因とするシナリオがしばしば議論される。ところで降着円盤における角運動量輸送は磁気回転不安定性に由来する乱流粘性が担っているという説が広く受け入れられているが、近年の磁気流体シミュレーションでは磁気回転不安定性乱流の飽和値が磁気プラントル数（動粘性係数と磁気拡散率の比）に依存するという兆候が報告されており、この結果乱流粘性によるシアストレスと圧力の比 α は磁気プラントル数のべきに比例し、一般に α の値は従来の仮定とは違って円盤内で一様ではなくなるという可能性が指摘されている。そこで我々はガンマ線バーストの大質量降着円盤の構造計算にこの結果を適用し、ニュートリノ放射や相対論的電子縮退などの影響も考慮した上で、円盤の構造と安定性にどのような影響が現れるかを解析した。その結果、あるパラメータ範囲では降着円盤は力学的に不安定となることが示された。さらに円盤の時間発展を調べるために円盤面密度の動径方向の依存性を追う1次元シミュレーションを実行し、上で導出したパラメータ範囲ではブラックホールへの質量降着が非常に激しく変動することを確かめた。この機構はガンマ線バーストの即時放射における短時間変動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](#)

W60a 星とジェットとの相互作用で説明するプリカーサー放射

松本仁 (Leeds 大学), 長瀧重博, Donald Warren(理化学研究所), Maxim Barkov(Perdue 大学), 米徳大輔 (金沢大学)

一部のガンマ線バーストでは、プロント放射の前にプリカーサーと呼ばれるガンマ線・X線の増光が観測されている。プリカーサーの性質は多様であるが、平均的にはプロンプトの数10秒程度前に観測され、その明るさはプロンプトと比べて暗い場合が多い。様々な理論モデルが提唱されているがその起源は、未だ解明されていない。

本研究では、Lazzati & Begeman (2005) 中において提唱された、相対論的ジェットが親星からのブレイクアウトした後の開き角の増大によって、ジェットの正面からずれた位置の観測者が初期にジェットの縁(もしくはコクーン)に伴う放射をプリカーサーとして観測し、後のジェット本体からの放射をプロンプトとして観測するモデルに着目した。彼らの見積もりはあくまでジェットの開き角の時間進化を解析的にモデル化した簡単な議論に基づいており、放射過程を含めた定量的な評価はなされていない。そこで我々は、ジェットが親星を突き破る過程を計算した流体シミュレーションと輻射輸送計算を組み合わせることによって、ジェットの正面からずれた位置の観測者が受け取る光球面放射の定量的な評価を行った。その結果、実際にジェットの開き角の進化によって、初期にはプロンプト比べて暗くソフトな放射が数十秒程度が観測され、その後明るくハードな放射が観測されることが明らかになった。本結果は、少なくとも一部のプリカーサーの起源がこういったジェットと親星の相互作用に起因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](#)

【X. 銀河形成】

9月19日(水) 午前(11:00-13:00) [C会場]

X01a	11:00	Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs) III	松岡良樹 (愛媛大学)
X02a	11:12	A new quasar discovered at redshift 6.6 from Pan-STARRS1	Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
X03a	11:24	Constraining the radio-loud fraction of high-z low-luminosity HSC/Subaru quasars	Kianhong Lee (The University of Tokyo)
X04a	11:36	Properties of Blue Radio Galaxies found by Subaru HSC-SSP	山下拓時 (愛媛大学)
X05a	11:48	活動銀河核の Eddington 比分布の赤方偏移進化に関する準解析的銀河形成モデルを用いた研究	白方光 (北海道大学)
X06a	12:00	非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の超臨界降着	豊内大輔 (京都大学)
X07b	12:12	活動銀河核周囲でのガスクランプ形成と降着率への影響	荒田翔平 (大阪大学)
X08b	12:12	ダストガス間の速度差を考慮した巨大ブラックホールへの質量降着とダスト熱放射	一色翔平 (北海道大学)
X09b	12:12	Subaru Hyper Suprime-Cam 狭帯域フィルターを用いた活動銀河核探査	岩下昂平 (愛媛大学)
X10a	12:24	Do galaxy morphologies really affect the efficiency of star formation during the phase of galaxy transition?	小山舜平 (愛媛大学)
X11b	12:36	表面測光で探る早期型銀河の運動学的性質の進化	満田和真 (東北大学)
X12b	12:36	$z \leq 1.0$ における銀河の軸比分布とその進化 (II)	佐藤佑樹 (愛媛大学)
X13b	12:36	$z \sim 2.5$ の原始銀河団領域におけるクランピー銀河の割合とその環境依存性	鈴木智子 (東北大学/国立天文台)
X14c		HSC-HSC(Hybrid Search for Cluster with HSC)	山本直明 (東北大学)
X15c		ディープラーニングとすばる HSC によるビックデータを用いた渦巻き銀河サンプルの構築	但木謙一 (国立天文台)
X16b	12:48	Effects of mass models on dynamical mass estimate: the case for ultra diffuse galaxy NGC1052-DF2	林航平 (東京大学)
X17b	12:48	銀河のダスト進化と星形成タイムスケールの関係	長崎早也香 (名古屋大学)
X18b	12:48	ダークマターモデルの違いによる宇宙大規模構造の変化について	市橋洋基 (北海道大学)
X19c		Lagrange 的手法を用いたシミュレーションにおける resolution 制限	山本泰義 (北海道大学)

9月20日(木) 午前(9:30-11:30) [C会場]

X20a	09:30	第一世代星形成における再結合放射の影響	田中賢 (筑波大学)
X21a	09:42	高密度領域で形成される初代銀河からのライマンアルファ輝線放射	矢島秀伸 (筑波大学)
X22a	09:54	The Onset of Star Formation 250 Million Years After the Big Bang	橋本拓也 (大阪産業大学/ 国立天文台)
X23b	10:06	“Big Three Dragons”: a $z = 7.15$ Lyman Break Galaxy Detected in [OIII] $88 \mu\text{m}$, [CII] $158 \mu\text{m}$, and Dust Continuum with ALMA	橋本拓也 (大阪産業大学/ 国立天文台)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X24b	10:06	前主系列星を含む初代銀河スペクトルの理論計算 三谷啓人 (東京大学)
X25b	10:06	ALMA による $z=6.11$ ライマンブレイク銀河における [OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線の検出 須永夏帆 (名古屋大学)
X26b	10:18	遠赤外線輝線を狙ったブラインド探査で探る遠方星形成史 早津夏己 (東京大学/ヨーロッパ南天文台)
X27b	10:18	Star Forming Galaxies at the Cosmic Peak Epoch Viewed with Subaru, HST and ALMA 木村大希 (東北大学)
X28b	10:18	静止系紫外輝線を用いた遠方銀河の性質診断 中島王彦 (国立天文台)
X29b	10:30	強輝線銀河の測光赤方偏移における巨大な等価幅を持つ輝線の影響 平野洸 (東北大学)
X30b	10:30	赤方偏移 4 における非常に活発な星形成銀河の紫外線スペクトルスロープ 山中郷史 (大阪産業大学)
X31b	10:30	Derivation of $H\alpha$ luminosity from multi band photometry for galaxies at $z \sim 2.3$ 寺尾恭範 (東京大学)
X32a	10:42	High-resolution ALMA observations of the brightest unlensed SMGs I: Discovery of a spiral structure in an extreme star forming galaxy at $z=4.2$ 伊王野大介 (国立天文台/総合研究大学院大学)
X33a	10:54	High-resolution ALMA observations of the brightest unlensed SMGs II: Finding a gravitationally unstable gas disk in an extreme star-forming galaxy at $z = 4.3$ 但木謙一 (国立天文台)
X34a	11:06	軸対称磁場による銀河渦状腕の不安定化とクランプ形成 井上茂樹 (Kavli IPMU / 東京大学)
X35a	11:18	大規模シミュレーションを用いた銀河サブストラクチャの統計的研究 森永優 (千葉大学)
9月20日(木) 午後(13:30-15:30) [C会場]		
X36a	13:30	ダークマターハローのユニバーサルスケーリング関係 森正夫 (筑波大学)
X37a	13:42	SCF 法によるダークマターハローの cusp-core 遷移過程の解析 加藤一輝 (筑波大学)
X38a	13:54	コールドダークマターハロー中の銀河風の線形安定性解析 永野裕太 (筑波大学)
X39a	14:06	Construction of Multidimensional Luminosity/Mass Function of Galaxies with Vine Copula TAKEUCHI, Tsutomu (Nagoya University)
X40a	14:18	すばる望遠鏡 HSC データで探る $z < 1$ クェーサー母銀河の性質 石野亨 (愛媛大学)
X41a	14:30	すばる望遠鏡 HSC データを用いた、 $z > 1$ のクェーサー母銀河のスタッキング解析 佐衛田祐弥 (愛媛大学)
X42a	14:42	LAE fraction at $z = 2.9-6.6$ probed by MUSE in the Hubble Ultra Deep Field 日下部晴香 (東京大学)
X43a	14:54	$\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の高い電離光子生成効率 中島王彦 (国立天文台)
X44a	15:06	Intensity Mapping による $z \sim 6$ 宇宙において LAE 周囲 1pMpc まで広がる $\text{Ly}\alpha$ 巨大構造の初検出 鹿熊亮太 (東京大学)
X45a	15:18	クェーサー紫外放射による銀河周辺物質への影響 内山久和 (総合研究大学院大学)
9月21日(金) 午前(9:30-11:30) [C会場]		
X46a	09:30	Dust Attenuation of Star-Forming Galaxies in the first 2 Gyr of the Universe from the COSMOS ALMA Archive ($A^3\text{COSMOS}$) Yoshinobu Fudamoto (Universit'e de Gen'eve, Observatoire de Gen'eve)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

X47a	09:42	星間塵のサイズ分布進化を取り入れた銀河スペクトルエネルギー分布モデルの構築 西田 和樹 (名古屋大学)
X48a	09:54	Discovery of an Extremely Luminous Dust-obscured Galaxy Observed with SDSS, WISE, JCMT, and SMA 鳥羽儀樹 (京都大学/ASIAA)
X49a	10:06	Chandra and ALMA Study of X-ray Irradiated Inter Stellar Media in the Central 100 pc of Circinus Galaxy Taiki Kawamuro (NAOJ)
X50a	10:18	Near-IR Spectroscopic Observations of Massive Quiescent Galaxies at $z \sim 4$ 田中賢幸 (国立天文台)
X51a	10:30	Spectroscopic confirmation of the most distant overdensity at $z = 6.6$ 播金優一 (東京大学)
X52a	10:42	A protocluster at $z = 2.5$ III. Cold gas kinematics Minju Lee (Nagoya University/NAOJ)
X53a	10:54	赤方偏移 1.46 の遠方銀河団銀河の分子ガス量と星形成効率 林将央 (国立天文台)
X54a	11:06	Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション 宮川銀次郎 (筑波大学)
X55a	11:18	銀河系矮小銀河の観測的不定性を考慮した暗黒物質分布推定 林航平 (東京大学)
9月21日 (金) 午後 (13:30-14:42) [C会場]		
X56a	13:30	HSC-SSP データと深層学習による極金属欠乏銀河探査 小島崇史 (東京大学)
X57a	13:42	銀河形成シミュレーションにおける超新星フィードバックの新たな実装方法 岡本崇 (北海道大学)
X58a	13:54	経験的銀河モデルで探る銀河団銀河の星形成停止過程 大木平 (Kavli IPMU)
X59a	14:06	星形成銀河からのアウトフローの遷音速解析 五十嵐朱夏 (筑波大学)
X60a	14:18	10万個のSDSSスペクトルで決定する星形成銀河のアウトフロー・銀河関係 菅原悠馬 (東京大学)
X61a	14:30	化学進化からみる銀河形成最盛期における星形成銀河のガスの降着と流出 深川奈桜 (総合研究大学院大学/東北大学)

X01a Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs) III

松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

高赤方偏移 ($z > 6$) クエーサーは、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成、宇宙再電離、母銀河の進化などを探る上で極めて有用なツールの1つである。また宇宙暗黒時代からまもない時期における高光度の活動銀河核現象として、それ自身非常に興味深い天体種族でもある。これまでに SDSS, CFHT Legacy Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1 などの広域探査によって 100 天体近くが発見されてきたが、それらは観測感度の限界によって、おおむね光度 $M_{1450} < -24$ 等、赤方偏移 $z \leq 7$ の種族のみに限られていた。光度関数のより暗い側 (すなわち平均的にブラックホール質量の低い側)、あるいは赤方偏移のより高い宇宙にどれだけのクエーサーが存在するのかは、巨大ブラックホールの形成・初期成長メカニズム、また宇宙再電離への放射寄与との関連からも重要な問題である。

我々はこの問題に取り組むため、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略的サーベイデータを用いて、従来よりも約 2 等深く、赤方偏移 $z \sim 7.5$ にまで感度のある画期的なクエーサー探査プロジェクトを推進している。これまで主にすばる、GTC 両望遠鏡による分光フォローアップ観測を経て、70 天体ほどの新たな高赤方偏移クエーサーが発見された。その結果、 $-22 < M_{1450} < -30$ 等というかつてない広い等級幅において、 $z \sim 6$ のクエーサー光度関数が決定されている。これらの成果を基礎として、2018 年秋からは最高赤方偏移帯 $z > 6.5$ を徹底的に探査する新たなすばるインテンシブ・プログラムを、3 年間に渡って実施する予定である。本講演では、プロジェクトの最新状況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](#)

X02a A new quasar discovered at redshift 6.6 from Pan-STARRS1

Ji-jia Tang (NTU), and Tomotsugu Goto (NTHU), Ohyama, Chen, Walter, Venemans, Chambers, Banados, Decarli, Fan, Farina, Mazzucchelli, Kaiser, Eugene.

Luminous high-redshift quasars can be used to probe of the intergalactic medium (IGM) in the early universe because their UV light is absorbed by the neutral hydrogen along the line of sight. They help us to measure the neutral hydrogen fraction of the high- z universe, shedding light on the end of reionization epoch. We present a discovery of a new quasar (PSO J006.1240+39.2219) at redshift $z = 6.61 \pm 0.02$ from Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System 1. Including this quasar, there are nine quasars above $z > 6.5$ up to date. The estimated continuum brightness is $M_{1450} = -25.96 \pm 0.08$. PSO J006.1240+39.2219 has a strong Ly α emission compared with typical low-redshift quasars, but the measured near-zone region size is $R_{NZ} = 3.2 \pm 1.1$ proper megaparsecs, which is consistent with other quasars at $z \sim 6$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a Constraining the radio-loud fraction of high- z low-luminosity HSC/Subaru quasars

Kianhong Lee, Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade (University of Tokyo), Yoshiki Matsuoka, Tohru Nagao, Takuji Yamashita (Ehime University), Takuma Izumi, Chien-Hsiu Lee, Masafusa Onoue, Malte Schramm, Masatoshi Imanishi (NAOJ), Hideki Umehata (RIKEN), Yoshiki Toba (Kyoto University), Kazushi Iwasawa (Universitat de Barcelona), Michael Strauss (Princeton University)

In the local universe, $\sim 10\text{-}20\%$ of AGNs are classified as radio-loud ones because of their elevated radio emission. The physical origin of the distinction between the radio-loud and the remaining AGNs is one of the unsolved questions in AGN physics. Studying dependences of the radio-loud fraction (RLF) on the redshift and the optical luminosity allow us to understand the evolution of these two populations. Previous studies showed a dichotomy of dependences of the RLF of quasars due to apparent magnitudes, and high- z ($z > 5.5$) studies are biased to the exceptionally luminous sample, which likely hosts heavy SMBHs. While recently, more than 80 high- z ($z \gtrsim 6$) lower luminosity quasars have been discovered by an on-going deep and wide-area optical imaging survey with the Hyper Suprime-Cam on Subaru 8-m telescope (SHELLQs; Matsuoka et al. 2016, 2018ab). Most of these newly uncovered $z \gtrsim 6$ quasars have the lower rest-UV luminosity ($M_{1450} > -25$ mag) and thus fall near the break of the quasar luminosity function at $z \gtrsim 6$, which means that they are the more representative population of high- z quasars. Toward this valuable new sample, we have conducted radio follow-up observations with JVLA at 1.4 GHz. At this moment, 22 targets have been observed with a typical sensitivity of $\sim 10\text{-}30 \mu\text{Jy}$ (1σ). In this presentation, constraints on the RLF of such low-luminosity $z \gtrsim 6$ quasars will be presented.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X04a Properties of Blue Radio Galaxies found by Subaru HSC-SSP

T. Yamashita¹, T. Nagao¹, M. Akiyama², W. He², H. Ikeda³, M. Kajisawa¹, T. Kawaguchi⁴, C-H. Lee³, Y. Matsuoka¹, T. Morokuma⁵, M. Niida¹, A. Noboriguchi¹, M. Tanaka³, Y. Toba⁵, and the HSC project #41 members. (¹Ehime U., ²Tohoku U., ³NAOJ, ⁴Onomichi, ⁵Kyoto U.)

Radio galaxies (RGs) are one of the most important AGN population for understanding galaxy evolution and its co-evolution with central massive black holes. RGs could regulate star formation in galaxies through energy injection to interstellar and intergalactic medium via inherent powerful radio jets. Large statistical samples has been limited at $z < 0.5$ due to the shallow SDSS sensitivity. WERGS (Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC) is an on-going project to investigate high- z RGs using Subaru HSC-SSP and radio archive catalogs. Yamashita et al. (2018) has reported HSC counterparts of 3579 VLA FIRST radio sources in 154 deg². Among them, optically-faint ($i > 21$) RGs that have not been detected in SDSS are located at $z \sim 1$ and have high radio-loudness ($R \gtrsim 3$).

In this presentation, we will report on optically-blue color RGs whose colors can not be explained by classical elliptical galaxies but consistent with relatively young (~ 4 Gyr) passive galaxies. Thus these blue colors might come from recent star formation, although we can not rule out contributions from AGN light. The number fractions of the blue RGs increase with increasing redshifts from 0.3 to 1.1 and decreasing optical luminosities from $M_i = -25$ to -17 . The large fraction of the blue RGs with low luminosities is consistent with star-forming less-massive host galaxies.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X05a 活動銀河核の Eddington 比分布の赤方偏移進化に関する準解析的銀河形成モデルを用いた研究

白方 光 (北海道大学), 川口 俊宏 (尾道市立大学), 岡本 崇 (北海道大学), 大木 平 (カブリ IPMU)

活動銀河核 (AGN) の Eddington 比は、超大質量ブラックホール (SMBH) の成長速度の指標で、SMBH 形成機構を明らかにする鍵となる。同じ光度の AGN でも異なる Eddington 比を持つため、AGN 光度のみでは SMBH の質量に関する情報は得られない。つまり Eddington 比と AGN 光度双方の個数密度分布の赤方偏移進化を明らかにして初めて、SMBH の質量獲得史を詳細に理解することができる。今回我々は、準解析的銀河形成モデル “New Numerical Galaxy Catalog” (ν^2GC) を用いて Eddington 比分布の $z \sim 0$ から 7 までの進化を理論的に予測した。このモデルで得られた AGN 光度関数は観測で得られたものと矛盾しない (2018 年春季年会 X09a)。

計算の結果、次の 2 つの理論予測を得た: (1) Eddington 比分布関数の傾きは高赤方偏移ほど平坦になり Eddington 比の大きな天体の割合が増える。 (2) SMBH 質量ごとに Eddington 比分布関数を求めると、軽い SMBH ほど分布関数の傾きは平坦になる。つまり、Eddington 比の大きく急速な SMBH 成長が SMBH 形成に大きな割合を占めることを示す。 (1) に関してはこれまでの観測結果 (e.g. McLure & Dunrop 2004) と矛盾しない。観測では $z \sim 2$ までの AGN の Eddington 比が調べられ、Eddington 比の高い AGN が高赤方偏移ほど多いことがわかっている。我々の計算結果は、この観測的示唆が $z \sim 7$ まで続くことを示しており、将来観測的に検証されるであろう。 (2) に関しては観測感度の限界から、軽い SMBH ($< 10^8 M_\odot$) の Eddington 比分布が統計的に十分な精度でまだ求められていない。本発表では観測感度が Eddington 比分布関数に与える影響も示し、より深い観測によって軽い SMBH の Eddington 比を求めることの重要性を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X06a 非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の超臨界降着

豊内大輔 (京都大学), 杉村和幸 (東北大学), 仲谷 峻平 (東京大学), 細川隆史 (京都大学), Rolf Kuiper (Tübingen Univ.)

近年の観測により赤方偏移 $z \sim 7$ の初期宇宙において太陽の数億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールがすでに存在していることが明らかになっている。そのような初期宇宙における超巨大ブラックホール形成の有力な説のひとつとして銀河中心ブラックホールへの超臨界降着がある。ブラックホールへのガス降着および質量成長率に関してはボンディ半径から降着円盤へと向かうスケールに着目した輻射流体シミュレーションによって近年活発に調べられている。これまでの研究から一般的に降着円盤からの輻射フィードバックの影響でブラックホールへの超臨界降着は難しいと考えられるが、Sugimura et al. (2016) では輻射が非等方である場合には超臨界降着が実現されることを示している。しかしながら、このシミュレーションは基本的に始原ガスの場合でしか行われていない。ガスが重元素からなるダストを含む場合には、仮に降着円盤からの直接光が非等方だとしても、ダスト再放射起源の拡散光は等方的になり、やはりその輻射圧が降着を阻害する可能性がある。本研究では Sugimura et al. (2016) で行った 2次元軸対称の輻射流体シミュレーションをガス中の重元素・ダストの影響を考慮できるように拡張し、非等方輻射フィードバック下における超巨大ブラックホールへの dusty gas の降着過程について調べた。その結果、ダストを含む場合にも輻射の非等方性が強ければ超臨界降着が実現されることがわかった。本発表では一連のシミュレーション結果から示唆されるブラックホールへの超臨界降着発生条件について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07b 活動銀河核周囲でのガスクランプ形成と降着率への影響

荒田翔平 (大阪大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 矢島秀伸 (筑波大学)

観測では銀河の星質量と中心ブラックホール (BH) 質量の間に相関があり、銀河と BH の共進化が示唆されている。これを理解するには、中心へのガス降着と feedback 効果を統合的に考慮しなければならない。Barai et al. (2012) は、中心から ~ 10 pc 離れた領域で熱的不安定性によるガス雲形成が起きることを数値計算で示した。形成されたガス雲は中心へ質量を輸送するメカニズムにおいて重要である。しかし、彼らの計算では輻射圧や影の効果などが考慮されておらず、ガス雲形成後の時間進化や降着率への影響が不明瞭であった。我々は 3 次元輻射流体計算コードを用い、中心から数 100 pc 以内のガス雲形成とそれに伴う降着率の変化を調べる。ガス雲の進化には、輻射による光蒸発や、ガス雲内部での星形成が影響する可能性がある。BH 質量、金属量、ダスト量、星形成効率について広いパラメータ範囲で調べ、AGN feedback がどのように時間進化するかを議論する。また、輻射圧で駆動されるアウトフローと外部からのガス流入の衝突に着目し、これに伴う衝撃波で誘起される熱的不安定性がどれくらいガス雲形成に影響するかについても調べる。さらに、ガス雲形成による降着率の変化が AGN の X 線光度やダスト再放射による赤外線光度に短い時間変動を及ぼし、観測量に影響する可能性を議論する。本講演では研究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](#)

X08b ダストガス間の速度差を考慮した巨大ブラックホールへの質量降着とダスト熱放射

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 矢島秀伸 (筑波大学)

初期宇宙の超巨大ブラックホールは、既に大量のダストに覆われていることが観測により示唆されている (e.g., Maiolino et al. 2004). ダストは紫外線を効率良く吸収する事でガスダイナミクスに影響を与えるため、巨大ブラックホールの成長過程を理解する上で必要不可欠である。前回の学会 (2018 年春季年会 X12b) では、ダストとガス間の速度差を考慮した次元輻射流体計算を行うことにより、速度差を考慮すると、輻射圧によってブラックホール周辺からダストを吹き飛ばすことで、周辺のダスト・ガス質量比は初期条件と比較して小さくなることを報告した。加えて、速度差を考慮した場合、ブラックホール周囲のダスト量が少なくなることから輻射圧の影響が小さくなり、質量降着率が大きくなることも報告した。

本研究では、大小2サイズのダストとガスの三流体を考慮した次元輻射流体計算により得られた、巨大ブラックホール周辺のダストやガスの空間分布を用いて輻射輸送計算をすることで、ダストの赤外線再放射による Spectral energy distribution (SED) を求めた。

計算の結果、強い輻射圧によって、速度差を考慮しない場合にはブラックホール付近に多く存在した、 10^3 K の高い温度のダストが少なくなった。こうしたことで、ダストの赤外線再放射による SED の $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$ での値が、速度差を考慮した場合は、しなかった場合と比較して、最大一桁程度小さくなることが判明した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09b Subaru Hyper Suprime-Cam 狭帯域フィルターを用いた活動銀河核探査

岩下昂平, 長尾透, 山下拓時 (愛媛大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 小野宜昭 (東京大学), 林将央 (国立天文台), CHORUS チーム

活動銀河核 (AGN) とは、銀河中心にある巨大ブラックホールに物質が降着し重力エネルギーを解放して明るく光る天体であり、観測された方向によって1型と2型に分類される。巨大ブラックホール進化の全貌を解明するには、塵に隠された2型 AGN も含めた完全性の高い探査が必要だが、X線を用いても2型 AGN の広域探査は現状では困難である。そこで我々はすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) に搭載された狭帯域フィルターに注目した。狭帯域フィルターを用いれば2型 AGN であっても AGN 由来の輝線放射を検出できる。しかし、単一の狭帯域フィルターだけを用いた探査では AGN だけでなく星形成銀河も選出してしまい、その切り分けは困難である。そこで複数の狭帯域フィルターを用いて AGN 特有の組み合わせの輝線を捉えることで、AGN を選出できると考えた。特に、赤方偏移 $z \sim 4.9$ の AGN は $\text{Ly}\alpha$ と C IV の輝線が狭帯域フィルター NB718、NB921 の帯域へそれぞれ赤方偏移し、この2種類の狭帯域フィルターで共にフラックス超過を示すと考えられる。C IV 輝線は星形成銀河からは強く放射されないため、上記の特徴を示す天体は $z \sim 4.9$ の AGN であると判断できる。

本研究では、HSC を用いて進行中のすばる戦略枠 (SSP) サーベイおよび CHORUS サーベイで得られた広域撮像データを用いて、NB718 と NB921 の両フィルターでフラックス超過を示す天体の探査を行った。その結果、両フィルターでフラックス超過を示しつつ、広帯域フィルターのカラーが高赤方偏移の兆候であるライマンブレイクの特徴を示すような、 $z \sim 4.9$ の2型 AGN の候補天体を複数発見することに成功した。講演ではこのようにして選択された AGN の特徴や性質について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10a Do galaxy morphologies really affect the efficiency of star formation during the phase of galaxy transition?

小山舜平¹, 小山佑世², 山下拓時¹, 林将央³, 鈴木智子⁴, 並木茂朗⁵, 松原英雄⁶, 中川貴雄⁶, 児玉忠恭⁴, 嶋川里澄³, 田中崚², 深川奈桜⁵, 諸隈佳菜⁶ (1. 愛媛大学, 2. ハワイ観測所, 3.NAOJ, 4. 東北大学, 5. 総合研究大学院大学, 6.ISAS/JAXA)

星形成銀河がどのようなメカニズムによってその星形成活動を停止させられるのかを明らかにすることは、銀河進化の解明に不可欠である。近年のシミュレーションや観測的検証により、銀河バルジが卓越した早期型銀河は晩期型銀河と比べて星形成効率 (=星形成率/分子ガス質量) が低い可能性が報告されており、銀河の形態は星形成活動の停止と何らかの関係にあることが示唆されている。

本研究では、銀河形態の違いが星形成活動の停止に寄与しているのかを明らかにするため、星形成活動の遷移期にあると思われる中間的星形成活動をもつ晩期型銀河 13 天体、早期型銀河 15 天体に対して NRO 45m 電波望遠鏡による CO($J = 1 - 0$) 観測を行うことで、バルジの卓越度と星形成効率の関係を調べた。ここで、銀河サンプルは SDSS DR7 の分光カタログから選択し、星形成率は WISE から求めた赤外線光度を元に推定した。結果として、晩期・早期型銀河の星形成効率に有意な違いは確認できなかった。これは、星形成効率が形態に依存しておらず、星形成活動の停止には寄与していないことを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X11b 表面測光で探る早期型銀河の運動学的性質の進化

満田和真 (東北大学), 土居守, 諸隈智貴 (東京大学)

楕円銀河や S0 銀河といった早期型銀河の運動学的性質の進化を解明することは、衝突合体などの銀河の質量獲得史を理解する上で重要である。しかし、遠方の早期型銀河の運動学的性質を速度場の観測から直接調べることは難しい。そこで本研究では表面測光によって撮像観測から間接的に早期型銀河の回転度合いの進化を調べた。まず、ATLAS^{3D} サーベイによって面分光観測で速度場が測定された 166 個の近傍早期型銀河について、スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) の撮像データから面輝度プロファイルを測定し、回転度合いとの関係を調べた。面輝度分布の広がり度合いを示す新たな測光パラメータ (ΔSlope) を導入した結果、これが銀河の回転度合いを示すスピンパラメータ (λ や V/σ) とよく相関し、面輝度分布が広がった (ΔSlope が小さい) 銀河ほど回転が遅いことがわかった。また、 ΔSlope とスピンパラメータについてベストフィットの線形関係を得た。次に、赤方偏移 $z \sim 1$ と 0 の銀河団に属する早期型銀河約 600 個のサンプルを各赤方偏移で用意し、ハッブル宇宙望遠鏡 ($z \sim 1$) と SDSS ($z \sim 0$) の撮像データから ΔSlope を測定した。結果、同じ星質量で比べて $z \sim 1$ の早期型銀河の方が ΔSlope が大きく、面輝度分布の広がり方が少ないことがわかった。先に得られた ΔSlope とスピンパラメータの関係が異なる赤方偏移や銀河環境でも成り立つことを仮定すると、 $z \sim 1$ から 0 までの ΔSlope の変化は λ で 0.05 から 0.15 程度のスピンドウンに相当する。本講演では銀河の有効半径の進化と合わせてスピンドウンの要因について議論する。また、すばる望遠鏡の次世代補償光学を用いた将来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](#)

X12b $z \leq 1.0$ における銀河の軸比分布とその進化 (II)

佐藤佑樹, 鍛冶澤賢, 坂東卓弥, 樋本一晴 (愛媛大学)

銀河の見かけ軸比 ($a \geq b$) を統計的に調べることで銀河の三次元での形を推定することが出来る。しかしこれまでの研究では $z \leq 1.0$ における銀河の軸比分布の進化について詳しく調べられていなかった。そこで我々は COSMOS 領域の、 $0.2 \leq z \leq 1.0$, $M_V \leq -20$, $M_{star} > 10^9 M_\odot$ の銀河をサンプルとし、その軸比を HST/ACS の i' バンドを用いて測定した。また $sSFR > 10^{-10} [yr^{-1}]$ を星形成銀河、 $sSFR < 10^{-10} [yr^{-1}]$ をパッシブ銀河と定義しそれぞれについて $0.2 \leq z < 0.6$ と $0.6 \leq z \leq 1.0$ で軸比分布を調べた。その結果、比星形成率別に進化を見てみると、星形成銀河の軸比分布はフラットでほとんど変化を示さないのに対して、パッシブ銀河では $b/a \sim 0.8$ をピークとする山型からフラットな分布へ進化するような変化がみられた (日本天文学会 2017 年秋季年会 X16b)。

今回我々は今まで得られた結果を使用し Ryden (2004, ApJ, 601, 214) の方法を用いて真の軸比 ($A \geq B \geq C$) を推定した。その結果、星形成銀河の真の軸比はどちらの赤方偏移範囲でも $\langle B/A \rangle \sim 0.78$, $\langle C/A \rangle \sim 0.30$ とほとんど進化を示さなかった。一方、パッシブ銀河では $z \sim 0.8$ から $z \sim 0.4$ の間に、 $\langle B/A \rangle$ は ~ 0.85 から ~ 0.82 とあまり進化しないが、 $\langle C/A \rangle$ は ~ 0.41 から ~ 0.31 へと有意な進化を示した。このパッシブ銀河における軸比の進化がどの星質量範囲で起こっているか調べたところ、 $10^{10} M_\odot \leq M_{star} < 10^{11} M_\odot$ において $\langle C/A \rangle$ が大きく進化しており、 $M_{star} \geq 10^{11} M_\odot$ ではほとんど進化を示さないことが分かった。この結果は、 $z \leq 1.0$ の時代では $10^{10} M_\odot \leq M_{star} < 10^{11} M_\odot$ の星質量において扁平な形状を持つパッシブ銀河の割合が時間とともに増加したことを示唆している。また、講演では宇宙膨張による表面輝度減少や形態 K 補正の結果への影響、環境の違いによる効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](#)

X13b $z \sim 2.5$ の原始銀河団領域におけるクランピー銀河の割合とその環境依存性

鈴木智子 (東北大学/国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 林将央, 但木謙一 (国立天文台), 嶋川里澄, 小山佑世, 田中壱 (Subaru Telescope)

遠方の星形成銀河によく見られる特徴的な構造として、クランピーな構造が挙げられる。星形成銀河のディスク内に見られる大きな星形成クランプの主な形成過程に関してはまだ議論の中にあるものの、ガスリッチなディスクやそれを維持するための外からの連続的なガスの流入はクランプ形成に関係する重要なプロセスであると考えられている。さらに、銀河へのガスの流入の過程は赤方偏移と銀河の属するハロー質量、つまりは銀河の環境に依存するということがシミュレーションの結果などから示唆されている。ガス流入の過程が環境に依存しているとすれば、その違いはクランピー銀河の割合に反映されるのではないかと期待される。そこで本研究では、 $z \sim 2-2.5$ の原始銀河団領域と一般領域にそれぞれ属する星形成銀河サンプルについて、ハッブル宇宙望遠鏡の画像を用いてふたつ以上のクランプを持つ銀河の割合を調べた。その結果、星質量や比星形成率などを揃えた場合でも、 $z \sim 2-2.5$ においてクランピー銀河の割合は銀河の属する環境に強く依存しないということが分かった。本講演では、これらの一連の結果を報告するとともに、我々のグループでその他の観測によって得られている原始銀河団領域に関する結果をふまえて、本研究の結果をどう解釈することができるかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X14c HSC-HSC(Hybrid Search for Cluster with HSC)

山本直明 (東北大学)

銀河の色や明るさ、形態といった性質は銀河の周辺環境に大きく依存していることが知られている。この関係がいつどのように起こり、その後どのように発展していったのかを観測することは、銀河進化の研究において極めて重要なテーマである。星形成史を辿ると、特に赤方偏移が 1-2 の間の時代は、近傍銀河の示すハッブル系列や、銀河団をはじめとする周辺構造が大きく変化した時代であるため、その時代の銀河の性質とその環境依存性を調べることは重要である。しかし赤方偏移が 1 以上の遠方銀河団サンプルは希少であり、銀河も暗く詳しく調べることも難しいので、これらの遠方銀河団の性質を統計的に調べた研究は少ない。そこで広視野かつ深い観測データがある HSC-SSP に着目し、0.5-1.7 の時代の銀河団サンプルを大量に構築するプロジェクトを行った。ここでは二つのサーベイを行っている。一つ目は Blue cloud サーベイである。星形成銀河の出す輝線を狭帯域フィルターを用いて星形成銀河を探索するサーベイである。二つ目は Red sequence サーベイである。広帯域フィルターを用いて得られた天体を色選択し、星形成を終えた銀河を中心に探索するサーベイである。これら二つの探索法を、HSC-SSP のデータを利用して行うため HSC-HSC(Hybrid Search for Cluster with HSC) と呼ぶ。これまで S15B のデータを使って Blue Cloud survey では 86 個、Red sequence survey では 199 個の銀河団候補を発見した。特に前者で発見した銀河団候補の中には、輝線銀河が非常に支配的に群れているものが見つかった。本研究では輝線銀河が支配的な銀河団や、輝線銀河と赤い銀河どちらも多く存在している銀河団などの性質を調べ、銀河団や銀河の星形成がどのように変化していったのかについて調べた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X15c ディープラーニングとすばる HSC によるビックデータを用いた渦巻き銀河サンプルの構築

但木謙一 (国立天文台), HSC-SSP プロジェクト 253 チーム

ディープラーニング (深層学習) によって『猫の画像』を『猫』として認識できるようになった 2012 年以降、ディープラーニングを用いた画像認識研究分野は飛躍的に発展し、2015 年には人間の認識精度 (95%) をついに上回った。この非常に高い精度の画像認識技術を支えているのは畳み込みニューラルネットワーク (CNN) であり、入力した画像に対して畳み込み演算を繰り返し行うことで、局所的な特徴を抽出しつつ、情報量を効率よく落としている。CNN で『ペルシャ猫』と『マンチカン』の画像を区別することができるのであれば、『渦巻き銀河』と『楕円銀河』の画像も区別できるのではないだろうか？

現在、我々はすばる望遠鏡に搭載された超広視野カメラ HSC を用いた大規模探査 (SSP) を進めている。この SSP-wide 探査によって得られた画像データは、これまでの SDSS 探査に比べて空間分解能が約 2 倍、感度が約 16 倍向上しており、より遠方の銀河の形態を調べることが可能である。本探査が完了した際には約 300 万個の $i < 20$ の銀河の画像データが手に入る予定であるが、もはや人間の目でこれらを調べることは不可能であり、新しい形態分類手法の確立は急務である。本研究では、HSC 画像とニューラルネットワークライブラリ Keras/Tensorflow を用いて、『渦巻きのある銀河』と『渦巻きのない銀河』を識別する CNN モデルを構築した。それぞれ数千個程度の訓練画像データを使うことで、95% を超える精度で正しく分類することに成功した。HSC によるビックデータと CNN を組み合わせることで、かつてない大量の銀河サンプルに対して、既存の関数のフィッティングでは捉えることの難しかった形態的特徴を抽出できることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16b Effects of mass models on dynamical mass estimate: the case for ultra diffuse galaxy NGC1052-DF2

林航平 (東京大学宇宙線研究所), 井上茂樹 (東京大学カブリ IPMU)

楕円銀河 NGC1052 の衛星銀河として発見された超淡銀河 NGC1052-DF2 は、その銀河にある 10 個の球状星団の視線速度を用いた動力学解析から暗黒物質が存在しない銀河であるとして、銀河形成論だけでなく修正重力理論からも注目されている銀河である (van Dokkum et al. 2018, 以下 vD18)。しかし用いたサンプル数の少なさやその視線速度分布の統計解析の手法によって、この銀河の力学質量の推定値は異なり、本当に暗黒物質が存在しない銀河なのかは未だ決着はついていない。

本研究では、用いる動力学モデルの違いが力学質量推定にどのような影響を及ぼすのかを調べた。vD18 で用いたモデルでは球状星団の空間分布を冪乗型と仮定し、球対称ジーンズ方程式に基づく力学質量推定を行っている。一方我々は、球状星団分布を冪乗型だけでなくセルシック分布の場合に変えた場合も採用し、ジーンズ方程式を用いて力学質量推定を行った。その結果、冪乗型を採用した場合は vD18 の力学質量と一致する結果を得られたが、セルシック分布を採用した場合は、vD18 の力学質量よりも 10 倍以上大きい質量を持つ結果が得られた。したがってセルシック分布の場合暗黒物質は星よりも 10 倍ほど多く存在しており、一般的な明るい矮小銀河と同程度の力学質量と星質量の比を持つことがわかった。以上から、サンプル数の少ない銀河での力学質量推定では採用する動力学モデルによってその結果が大きく異なるため、これを考慮した力学質量推定を行う必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X17b 銀河のダスト進化と星形成タイムスケールの関係

長崎早也香, 竹内努, 浅野良輔

銀河に存在する固体微粒子(ダスト)はその種類、量、サイズによって星形成率(SFR)やスペクトエネルギー分布(SED)など、銀河進化を反映する物理量に強く影響を及ぼす。従って、どのダスト形成源によって、どれくらいのダスト量が形成されたかを考えることは、銀河進化を考える上で重要である。しかし、銀河に存在するダストは形成と成長、破壊を同時に経験しつつ進化するため、その進化は複雑である。

銀河のダスト質量進化を説明するプロセスのうちダスト形成源として AGB 星や II 型超新星からの供給、星間分子雲中でのダスト成長があり、破壊機構として超新星爆発時の衝撃波によるダスト破壊がある。これに加え、サイズ分布を変形する過程である破砕(shattering)および合体(coagulation)も作用する。Asano et al. (2013) はこれらのダストの形成源や形成過程を考慮したダストの質量進化モデルを構築した(Asano モデル)。この Asano モデルでは、ダスト質量進化がこれらのプロセスを通じて星形成タイムスケールに依存する。星形成タイムスケールは銀河のダスト質量進化を考える上で重要であるにも関わらず、この依存性の検証はまだ十分にされていない。

本研究では、ダスト質量が星間分子雲中で成長できるタイムスケールを定量的に検証した。これにより、タイムスケールが 0.01Gyr まで小さくなると星間分子雲中での成長はほとんど効かなくなり、星からの供給によって成長することが分かった。本講演では Asano モデルについて得られた最新の成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](#)

X18b ダークマターモデルの違いによる宇宙大規模構造の変化について

市橋洋基（北海道大学宇宙物理研究室）

宇宙において銀河やクエーサー、星間物質は無秩序に分布しているわけではなく、フィラメント状の構造を作っている。そして、フィラメント構造の交差する点に銀河団が形成され、さらに大規模な構造が形成されていく。銀河団とは銀河や銀河群が数百から数千個集まり形成された銀河の集団であり、重力的に拘束された系としては最も大規模な構造である。銀河団の重力ポテンシャルは深いため、銀河団ガスは高温のプラズマ状態となっている。その一方で、この銀河団ガスはX線を放射しており、エネルギーを外部に放射することで密度が高い中心部付近では冷却が優位に効き、銀河団の中心銀河へと冷たいガスが供給され、中心銀河は星形成活動を継続すると考えられる。しかし、銀河団中心部付近においてガスが冷却されている観測的証拠は見つかっておらず、中心銀河では何らかの要因により星形成が止まっている。この問題はクーリングフロー問題として古くから知られており、まだ解決には至っていない。本研究ではダークマター（以下DM）とバリオンが弱く電磁氣的に相互作用する性質を付加することで銀河団の加熱機構の問題の解決を試みた。DMのモデルとして微小な電荷を持ったDM粒子を仮定し、DMとバリオンの衝突によってそれぞれの運動量とバリオン流体の内部エネルギーが上昇する効果を考慮した。具体的にはラグランジュ的流体シミュレーションコードの一つであるGIZMO (Hopkins et al 2016)を用いてDMとバリオンを含めたシミュレーションを行い、形成された最も大質量ハロー中心部の星形成率と星質量について解析を行った。標的としたハローの質量は $M \sim 10^{14} M_{\odot}$ 程度であり、DMとバリオンの相互作用付加によってクーリングフロー問題の解決につながるか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X19c Lagrange的手法を用いたシミュレーションにおける resolution 制限

山本泰義, 岡本崇 (北海道大学), 斎藤貴之 (東京工業大学)

銀河進化の理論研究において、観測では得られない銀河の長時間進化を調べることが可能な点で宇宙流体計算は重要な役割を果たす。Lagrange的手法を用いた計算では、流体は流体要素分布によって表現される。各流体要素は質量、速度、内部エネルギーの他に決まった近傍粒子数 N_{NEIB} を含む最小距離である kernel size を持っている。また、物理量は kernel 関数と呼ばれる kernel size に依存する関数によって重み付けされ表現される。この手法を用いる際、対象とする現象を描写するために十分な要素数を用いていないと物理的に正しい計算結果が得られない可能性がある。これを検証する方法の一つとして、重力収縮による構造形成の計算を行う上で必要な resolution を評価する Jeans test (Hubber et al. 2006) が挙げられる。この検証法には解析解が存在し、各 resolution における計算結果の振る舞いを解析解と比較することにより、計算に必要な resolution を評価できる。

本研究では、GIZMO (Hopkins et al. 2015) を用いて Jeans test を行った。GIZMO には複数の Lagrange 的流体手法が実装されており、それらの流体手法に起因する Jeans test の解析解への収束性を比較した。また、kernel 関数を変えた場合に Jeans test の結果にどのような違いが生じるのかを検証した。その結果、次に示す3つが判明した。(i) resolution(=流体要素の平均直径/密度摂動の波長)は0.25以下であることが好ましい。(ii) kernel 関数は高次であるほど resolution が高く、有効半径の範囲の大きさが影響していると考えられる。(iii) Traditional SPH(TSPH), Pressure SPH(PSPH), Meshless Finite Mass(MFM), Meshless Finite Volume(MFV)を用いた結果を比較すると TSPH, PSPH の結果に差は無く、MFM や MFV と比較して解析解によく収束しているが、高密度・低密度の箇所における精度の高さは MFV, MFM, SPH の順に良い。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X20a 第一世代星形成における再結合放射の影響

田中賢, 吉川耕司 (筑波大学), 岡本崇 (北海道大学), 長谷川賢二 (名古屋大学)

第一世代星は大質量で非常に強い紫外線を放射すると考えられ、その近傍の星間物質に対して輻射性フィードバックを及ぼす。Susa & Umemura (2006) 及び Hasegawa et al. (2009) では第一世代星近傍でのさらなる星形成の可能性について輻射流体シミュレーションを用いて星形成の条件を系統的に調べられている。しかしながら、これらの先行研究では、電離領域からの再結合放射を無視した ‘on-the-spot’ 近似が採用されていた。

本講演では水素の再結合光子の輸送の影響を考慮した輻射流体シミュレーションを行い、第一世代星近傍での星形成可能性を紹介する。本研究で用いる輻射流体シミュレーションコード ARGOT では、‘on-the-spot’ 近似を仮定せず、水素の再結合放射の影響を整合的に取り入れることでより現実的な数値シミュレーションが可能である。

一般に第一世代星形成領域に対して近傍の星などの他の放射源からの電離光子は、光加熱によって星形成を抑制する一方で光電離による自由電子の供給を通して水素分子を形成することで星形成を促進するという両面があるが、再結合放射は光加熱には寄与せず光電離とそれに伴う水素分子形成のみに寄与するため、第一世代星形成に重要な働きをされると考えられる。そこで、本研究では Hasegawa et al. (2009) を基に、近傍の星が第一世代星形成を促進・阻害する条件を ARGOT コードを用いて調べた。その結果、再結合放射を考慮した場合は電離波面付近の中性ガスが緩やかに電離されることにより水素分子形成とそれによる水素分子解離光子の自己遮蔽が促進され、再結合放射を考慮しない場合に比べ第一世代星の形成が促進される傾向があることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X21a 高密度領域で形成される初代銀河からのライマンアルファ輝線放射

矢島秀伸 (筑波大学), 荒田翔平 (大阪大学), 安部牧人 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学)

近年の観測により、赤方偏移 6 を超える初期宇宙においてさまざまな輻射特性の銀河が観測されている。特に、水素のライマンアルファ輝線放射は星間ガス、銀河間ガスの中性度、金属量、速度場を反映するため非常に重要である。しかしながら、複雑な輻射輸送過程のために、初代銀河がどのような物理状態の時にライマンアルファで明るく輝くのかはこれまで分かっていなかった。我々は高精度な宇宙論的流体計算と多波長輻射輸送計算を組み合わせる事で、初代銀河の進化とともにライマンアルファ輻射特性がどのように変化するか調べた。結果として、初代銀河は超新星爆発の影響により星形成率が激しく変動すること、それにもなってライマンアルファ輻射特性も大きく変化する事が分かった。大量のガスが星形成領域に流入している状態では、ライマンアルファ光子はガス雲内でダストに効率良く吸収される。その後超新星爆発が起きると、そのフィードバックによって駆動されたガスのアウトフローとともに、ライマンアルファ光子も効率良く銀河から脱出する事が分かった。また、高密度領域で形成される大質量銀河は、多重超新星爆発によって駆動される銀河風との散乱過程によりライマンアルファブロップとなることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X22a The Onset of Star Formation 250 Million Years After the Big Bang

T. Hashimoto (OSU/NAOJ), N. Laporte (UCL/Toulouse Univ.), K. Mawatari (OSU/UTokyo), R. S. Ellis (UCL), A. K. Inoue (OSU), E. Zackrisson (Uppsala Univ.), G. Roberts-Borsani (UCL), W. Zheng (JHU), Y. Tamura (Nagoya Univ.), F. E. Bauer (Pontificia Univ.), T. Fletcher (UCL), Y. Harikane (UTokyo), B. Hatsukade (UTokyo), N. H. Hayatsu (UTokyo/ESO), Y. Matsuda (NAOJ/SOKENDAI), H. Matsuo (NAOJ/SOKENDAI), T. Okamoto (Hokkaido Univ.), M. Ouchi (UTokyo), R. Pelló (Toulouse Univ.), C. E. Rydberg (Heidelberg Univ.), I. Shimizu (Osaka Univ.), Y. Taniguchi (Open Univ.), H. Umehata (Open Univ./UTokyo/RIKEN), N. Yoshida (UTokyo)

We present spectroscopic observations of MACS1149-JD1, a gravitationally lensed galaxy observed when the Universe was less than four per cent of its present age. Using the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), we detect an emission line of doubly ionized oxygen, [OIII] $88 \mu\text{m}$, at a redshift of 9.1096 ± 0.0006 . This precisely determined redshift indicates that the red rest-frame optical colour observed with the Spitzer Space Telescope arises from a dominant stellar component that formed about 250 million years after the Big Bang, corresponding to a redshift of about 15. Our results indicate that it may be possible to detect such early episodes of star formation in similar galaxies with future telescopes.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X23b “Big Three Dragons”: a $z = 7.15$ Lyman Break Galaxy Detected in [OIII] $88 \mu\text{m}$, [CII] $158 \mu\text{m}$, and Dust Continuum with ALMA

T. Hashimoto^{1,2}, A. K. Inoue¹, K. Mawatari^{1,3}, Y. Tamura⁴, H. Matsuo^{2,5}, H. Furusawa², Y. Harikane³, T. Shibuya⁶, K. K. Knudsen⁷, K. Kohno³, Y. Ono³, E. Zackrisson⁸, T. Okamoto⁹, N. Kashikawa^{2,5}, P. A. Oesch¹⁰, M. Ouchi³, K. Ota¹¹, I. Shimizu¹², Y. Taniguchi¹³, H. Umehata^{3,14}, and D. Watson¹⁵. (¹ OSU, ² NAOJ, ³ UTokyo, ⁴ Nagoya Univ., ⁵ SOKENDAI, ⁶ Kitami ⁷ Chalmers, ⁸ Uppsala, ⁹ Hokkaido Univ., ¹⁰ Geneva, ¹¹ Cambridge, ¹² Osaka Univ., ¹³ Open Univ., ¹⁴ RIKEN, ¹⁵ Dark).

Using ALMA, we have detected [OIII] $88 \mu\text{m}$, [CII] $158 \mu\text{m}$, and dust continuum in a $z = 7.15$ LBG, B14-65666 (X05a: 2018a, Hashimoto et al.). In this presentation, based on a combined sample of B14-65666 and other 9 spectroscopically confirmed galaxies at $z \approx 6.5 - 9.1$, we discuss dust properties of star forming galaxies in the reionization epoch. Our sample includes four LBGs with dust continuum detections. With this sample, we examine the relation between the IR-to-UV luminosity ratio, IRX, and the UV continuum slope, β , which is useful to constrain the dust attenuation curve of galaxies. Previous studies have derived IRX and β values with different methods and/or assumptions. To overcome this issue, we have uniformly estimated IRX values of the sample assuming dust temperatures of 40 K and 50 K with the dust emissivity index of 1.5. We have derived β values from two photometry values that probe rest-frame wavelengths of $\approx 1500 - 2000 \text{ \AA}$. Our results show that there is no strong evidence for a steep (i.e., SMC-like) attenuation curve at $z > 6.5$ at least for the four LBGs detected in dust.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24b 前主系列星を含む初代銀河スペクトルの理論計算

三谷啓人, 吉田直紀 (東京大学), 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学)

宇宙で最初に生まれた初代星 (種族 III 星) は、初期宇宙での銀河形成や宇宙再電離などに密接に関わっており、その特徴や形成過程を明らかにすることは現在の天文学における重要な課題の一つである。2020 年 5 月に打ち上げ予定の James Webb Space Telescope (JWST) は最遠方にある天体を観測することを主目的としており、初代銀河を検出することも期待されている。初代銀河のスペクトルは赤方偏移により近赤外領域で明るくなると予想される。従来の研究では、全ての星が主系列にあるような十分に時間の経った銀河を想定して初代銀河のスペクトル (SED) を計算していたため、全般に青い銀河として現れると結論している。しかし、種族 III 星が生まれるような重元素のない環境では、前主系列星 (PMS) の光を遮る塵は存在しないため、PMS から放出される光が直接観測されることが考えられる。PMS は表面温度は低い光度は大きいいため、PMS からの寄与を考慮すると、銀河の SED はより”赤く”なると考えられる。

本研究では、星進化コード MESA, 大気モデル BT-Settl モデル, 銀河スペクトル進化コード PEGASE を組み合わせて、若い銀河に PMS が存在する場合の SED を計算した。典型的な初代銀河として、星質量が 100 万太陽質量で生まれたての銀河を仮定した場合、おおよそ 15 ミクロンの波長帯で、AB 等級でおおよそ 1 ほども赤くなることがわかった。講演では、初代銀河の年齢を様々に変えた場合に得られたスペクトルの特徴と JWST での観測可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25b ALMA による $z=6.11$ ライマンブレイク銀河における [OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線の検出

須永夏帆, 田村陽一, 李民主 (名古屋大), 馬渡健 (東京大), 井上昭雄, 橋本拓也 (大阪産業大), 松尾宏 (国立天文台)

宇宙再電離期 ($z > 6$) における若い星形成銀河の星形成活動や、星間物質の物理状態について観測的に明らかにすることは、再電離に寄与した銀河の性質を理解し、現在の宇宙に至るまでの化学進化を理解するうえで重要である。近年、遠方の星形成銀河が強い [OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線をもつことが明らかになった。この [OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線は、星形成銀河の重元素量の指標として有用である。さらに、[OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線と静止系紫外・可視の SED を組み合わせることによって、宇宙再電離期の銀河がもつ星間物質や星形成活動に制限が与えられるようになってきた (橋本、本年会講演)。

本講演では、赤方偏移 $z_{\text{Ly}\alpha} = 6.110$ のライマンブレイク銀河 RXC J2248.7–4431 ID3 における、ALMA バンド 8 による [OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線の 4.7σ の検出を報告する。この銀河は、CLASH プロジェクトにおける $z = 0.348$ の銀河団 RXC J2248.7–4431 の観測により、この銀河団による重力レンズ効果を受けて発見された天体である。静止系紫外のみの SED モデリングによれば、年齢は 1.5 Myr と若く、星形成率 $\text{SFR}(\text{UV}) \sim 3M_{\odot}/\text{yr}$ 、 $Z/Z_{\odot} = 0.005$ という結果が報告されている (Monna et al. 2013)。我々の ALMA 観測の結果、[OIII] $88 \mu\text{m}$ 輝線は赤方偏移 $z = 6.105$ 、積分強度 $0.496 \pm 0.082 \text{ Jy km/s}$ 、輝線幅 $\Delta V = 238 \text{ km/s}$ を持つことがわかった。重力レンズによる増光を補正した [OIII] の光度は $L_{[\text{OIII}]} = (1.7 \pm 0.26) \times 10^8 L_{\odot}$ である。また、近傍銀河に見られる単位 SFR あたりの [OIII] 光度と金属量の相関関係から推定される金属量は、 $Z \sim 0.1\text{--}0.3Z_{\odot}$ であった。本講演では、静止系紫外線から遠赤外線 SED フィットにもとづく、本銀河の物理的性質を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26b 遠赤外線輝線を狙ったブラインド探査で探る遠方星形成史

早津 夏己 (東京大学/ヨーロッパ南天文台), Rob Ivison, Paola Andreani, Andrew Biggs, Fabrizia Gugliemetti, Zhi-Yu Zhang (ヨーロッパ南天文台)

Using blind line searches to understand the cosmic star-formation history is one of the strategies that will be pursued by next-generation millimetre/sub-millimetre single-dish telescopes which will have high sensitivity and mapping speed. Before moving into such a new era, it is essential to develop a method to efficiently detect faint line-emitting sources whilst considering the completeness of source detection and contamination by false detections. Furthermore, in order to propose robust strategies for blind line searching, it is necessary to know to what extent we can constrain the luminosity function using existing ALMA archival data.

In this presentation, we report the current status of tests using a blind line-searching method and show preliminary results using ALMA archival data. We discuss the detectability of line-emitting sources with various properties, e.g. peak flux, line width and spatial size, by injecting artificial sources into the ALMA data. To be as realistic as possible, this is done in the visibility plane, and we also investigate the effect of non-Gaussian noise. We compare the performance of methods developed by the members of this project.

We plan to apply our final results to various science cases for future observations, e.g. cross-checking the luminosity density using an intensity-mapping technique or estimating the redshift evolution of ionisation state or metallicity by combining with JWST or SPICA data. We plan to release our code as a CASA task.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27b Star Forming Galaxies at the Cosmic Peak Epoch Viewed with Subaru, HST and ALMA

木村大希 (東北大学大学院理学研究科天文学専攻)

宇宙誕生から 30 億年から 40 億年という時代は宇宙の星形成率 (一年間でどのくらい星を作ることができるか) の密度が最大となる銀河形成の最盛期であり、銀河の星形成史を知るうえで非常に重要な時期である。そこで私は特に $z=2-3$ における星形成銀河 (星形成を活発に行っている銀河) に着目し、それらの形成および進化が周囲の環境 (銀河の数密度) や銀河質量にどのように依存しており、その原因が何であるかを突き止める研究を行なっている。我々研究グループが進めている Mahalo-Subaru (Mapping Halpha and Lines of Oxygen with Subaru) では狭帯域フィルターを用いて星形成銀河が放射する H α や [OII], [OIII] などの輝線を trace し、近傍から遠方 ($z=0.4-3.7$) にある様々な環境下に属している星形成銀河を赤方偏移の不定性を小さくして探し出すことが出来る。

現在はサーベイをより低質量側に拡張しているところである (Mahalo Deep)。このフィールド領域のサーベイの一環として、私は GOODS-S の CANDELS 領域における輝線銀河について調べている。その調査の初期成果を今回発表する。すばる望遠鏡の MOIRCS で観測を行い、狭帯域フィルター NB2315 (中心波長=2.317 μm) を用いて $z=2.53$ の H α 輝線銀河および $z=3.63$ の [OIII] 輝線銀河を選出した。その結果、平均より高い星形成率を示す銀河の多くは合体などの相互作用の兆候を持っていることが HST のデータから分かった。また、そのうちの少なくとも一つが ALMA の dust continuum の観測で明るく検出されていた。これらの結果から、銀河形成の最盛期において、銀河の合体が星形成活動の活発化の原因となりうることが分かった。現在、時系列比較を行うとともに、銀河団領域の深いデータとも組み合わせて、初期環境効果について調べようとしているところである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X28b 静止系紫外輝線を用いた遠方銀河の性質診断

中島王彦 (国立天文台), D. Schaerer (Geneva), O. Le Fevre (LAM) and VUDS collaboration

近年, 宇宙再電離期の銀河の深い近赤外分光観測によって静止系遠紫外域 ($\sim 1200 - 2000 \text{ \AA}$) に存在する $\text{Ly}\alpha$ 以外の輝線 (e.g. $\text{C III}] \lambda 1909$, $\text{C IV} \lambda 1549$, $\text{He II} \lambda 1640$, $\text{N V} \lambda 1240$) が同定され始めている. これらの輝線は銀河の星間物質の物理状態や電離スペクトルの硬さの情報を含んでいると考えられ, 遠方天体の赤方偏移決定のみならず, 詳しい性質を理解する指標として利用できるはずである.

私たちは光電離モデル `CLOUDY` を用いて幅広い星間物質の物理状態 (気相の重元素量, 電離パラメーター, 密度, 等), 様々な電離スペクトル (星形成銀河, AGNs, 両者の複合, 等) に対して遠紫外輝線の輝線比や等価幅 (EWs) の理論予想を行った. EWs を含めて遠紫外輝線予想を示すのは初めてのことである. 既に静止系可視の輝線によって重元素量や電離状態, 電離スペクトルの知られている銀河や AGNs を用いることで, 私たちの理論予想は観測結果 – とりわけ観測例が報告されている $\text{C III}]$, C IV , He II 輝線に対して – をよく再現・説明できることを確認している.

本公演では (i) 遠紫外輝線の輝線比や EWs を組み合わせることで星形成銀河 vs. AGNs の診断が可能となる点, (ii) 強い EWs を星形成銀河で説明するためには Binary stellar population が重要となる点, (iii) 電離光子生成効率 == 星種族から生成される電離光子数の紫外光度 (静止系 1500 \AA) に対する比 == が遠紫外輝線の EWs を経由することで従来とは異なる, 相補的な手法で推定することができる点についてそれぞれ議論する. 最後に, 本研究で得られた手法を用いて, VIMOS Ultra Deep Survey (VUDS) プロジェクトで得られた強い $\text{EW}(\text{C III}]_{\text{rest}} > 20 \text{ \AA}$ を持つ天体を特徴づける.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29b 強輝線銀河の測光赤方偏移における巨大な等価幅を持つ輝線の影響

平野洸, 村山卓 (東北大学), 谷口義明 (放送大学), 小林正和 (呉工業高等専門学校), 長尾透, 鍛冶澤賢 (愛媛大学)

近年のディープサーベイによって低質量かつ非常に大きな輝線の等価幅を示す強輝線銀河が多数発見されてきている。これらの強輝線銀河は [OIII] λ 5007 輝線等の等価幅が非常に大きいため、測光赤方偏移を誤って算出してしまふことが考えられる。そこで我々はより正確に測光赤方偏移を算出するため、すばる望遠鏡 Suprime-Cam の複数の中帯域フィルターで強輝線の選出並びに同定を行う方法を用いて COSMOS 領域において 3097 個の強輝線銀河の選出を行った。この強輝線銀河サンプルのうち $i' \leq 23$ の強輝線銀河において The COSMOS2015 カタログで得られている既存の測光赤方偏移 z_{ph} と zCOSMOS 10k bright カタログで得られた分光赤方偏移 z_{sp} の比較を行うと、81 天体中 6 天体で赤方偏移が一致しなかった。そこで我々は中帯域フィルターで強輝線を選出し、その強輝線の影響を受けているフィルターを除いて測光赤方偏移 $z_{\text{ph}}^{\text{new}}$ を求めた。この $z_{\text{ph}}^{\text{new}}$ について z_{sp} との比較を行うと 81 天体中すべての赤方偏移が一致し、これより強輝線を考慮することによってより正確に測光赤方偏移が求まることが確認された。また $i' \leq 26$ の強輝線銀河 (2806 個) において強輝線を考慮して求めた測光赤方偏移 $z_{\text{ph}}^{\text{new}}$ と既存の測光赤方偏移 z_{ph} を比較した結果、 $z_{\text{ph}}^{\text{new}}$ が正しいと仮定すると約 30% の強輝線銀河において z_{ph} が誤っていた。The COSMOS2015 カタログでの赤方偏移不一致率約 10% と比べても強輝線銀河の測光赤方偏移が誤りやすいことがわかった。また $z_{\text{ph}}^{\text{new}}$ と z_{ph} が不一致であった強輝線銀河サンプルのうち、約 70% は z_{ph} において輝線の取り違いにより測光赤方偏移を誤っていたことも確認された。この強輝線の取り違いが確認されたことより、強輝線銀河の測光赤方偏移を求める際には強輝線の影響を考慮する必要があることが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X30b 赤方偏移4における非常に活発な星形成銀河の紫外線スペクトルスロープ

山中郷史 (大阪産業大学), 山田亨 (宇宙航空研究開発機構)

星形成銀河の性質を調べる指標として、静止系紫外線スペクトルスロープ β と呼ばれるパラメーターが多く用いられる。紫外線スペクトルスロープ β は星形成銀河の紫外線光の波長依存性を表し、特に銀河のダスト減光量に制限を与えることができると考えられている。先行研究では、可視からサブミリ波の観測データを用いて β とダスト減光の関係が赤方偏移3程度まで調べられており、赤方偏移4以上の星形成銀河の星形成率密度の研究などに適用されている。また近年では、ALMA 望遠鏡を用いて赤方偏移5以上の星形成銀河のダスト減光についても知見が得られつつある。

一方、ALMA 望遠鏡の観測からは赤方偏移3以下で見られるような β とダスト減光の関係が、赤方偏移5以上で成り立たない可能性も示唆されている。したがって、星形成銀河の性質と β の関係を詳細に調べ上げることは非常に重要である。そこで我々は赤方偏移4の星形成銀河に着目して、視野が非常に広く、非常に深い可視近赤外の多色の撮像データを用いた詳細な SED 解析を行った。本発表では、前回からのアップデートであるサンプル選択の不完全性の議論や SED 解析の手法の改良について触れつつ、主に SED 解析の結果に焦点を当てた報告を行う。

解析の結果、ダスト減光を強く受けた星形成銀河は、 β -紫外線光度空間では偏って分布していることを発見した。また、ダスト減光を強く受けた星形成銀河は、赤方偏移3以下で見られる β -ダスト減光の関係から系統的にずれる傾向にあった。このような銀河は、ダスト減光を補正した星形成率が数百 $M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 以上に及び、赤方偏移4の宇宙で『ダスト減光を強く受けた非常に活発な星形成銀河』が多数存在することを示唆した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31b Derivation of $H\alpha$ luminosity from multi band photometry for galaxies at $z \sim 2.3$

寺尾恭範 (東京大学), Lee Spitler (Macquarie University), 本原顕太郎 (東京大学)

A correlation between star formation rate (SFR) and stellar mass of galaxies, which is known as star formation main sequence, is an important measurement to understand how galaxies evolve depending on their stellar mass. Scatter in the main sequence is related to star formation history of galaxies and expected to be large if short timescale processes are dominant. Therefore using a SFR indicator which is sensitive to short period star formation activity is essential to accurately measure the main sequence and its scatter. $H\alpha$ emission line is the most sensitive tracer for instantaneous star formation because it originates from gaseous nebula ionized by most massive stars which have short lifetime (~ 10 Myr). At high redshift, however, UV continuum derived from SED fitting has been widely used as a SFR tracer except at a few specific redshift windows. Since the sensitive timescale of UV continuum is ~ 1 Gyr, the main sequence measured by UV SFR lacks the information on shorter timescale fluctuation of star formation activity. In this presentation, we explain a method to derive $H\alpha$ luminosity from multi band photometry. With deep near-infrared data of ZFOURGE catalog, $H\alpha$ fluxes of galaxies at $2.1 < z < 2.5$ are derived by subtracting continuum flux from observed flux in Ks band, where the continuum flux is derived from SED fitting taking the contamination of emission lines into account. $H\alpha$ SFR obtained by our method agrees well with UV+IR SFR. While the slope and normalization of our main sequence are consistent with typical values of previous studies, its scatter is ~ 0.1 dex larger than what reported so far. We also show $H\alpha$ luminosity function with our method and compare it with the result of HiZELS.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X32a High-resolution ALMA observations of the brightest unlensed SMGs I: Discovery of a spiral structure in an extreme star forming galaxy at $z=4.2$

伊王野大介, 但木謙一, 泉拓磨, 川邊良平, 松田有一, 中西康一郎, 植田準子, 道山知成, 安藤未彩希 (国立天文台), Yun M.S., Wilson G.W. (University of Massachusetts), Aretxaga I., Hughes D. (INAOE), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 五十嵐創 (University of Groningen), 李 民主, 田村陽一 (名古屋大学), 斉藤俊貴 (MPIA), 梅畑豪紀 (理研)

With SFR in excess of $1000 M_{\odot}/\text{yr}$, the brightest SMG population represent the most massive of the young galaxies rapidly building up their mass in the early universe. However, its exact formation mechanism is not clearly understood primarily due to limits in angular resolution and the intrinsically dusty nature of these galaxies. We have obtained $< 0.1''$ resolution Band 7 (850 micron) data using the Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array in three unlensed SMGs in order to understand the true structure and characteristics of the brightest star forming galaxies in the distant universe. In this contribution, we present the highlights from the most recent results obtained from our deep $0.05''$ resolution continuum observations. In particular, we present our recent discovery of forming spiral-arms that are dominating the galactic structure in a $z = 4.2$ galaxy. The new evidence will in turn offer significant new insights to the formation process of the submillimeter galaxy population.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33a High-resolution ALMA observations of the brightest unlensed SMGs II: Finding a gravitationally unstable gas disk in an extreme star-forming galaxy at $z = 4.3$

但木謙一, 伊王野大介, 泉拓磨, 川邊良平, 松田有一, 中西康一郎, 植田準子, 道山知成, 安藤未彩希 (国立天文台), Yun M.S., Wilson G.W., Kamieneski P. (University of Massachusetts), Aretxaga I., Hughes D. (INAOE), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 五十嵐創 (University of Groningen), 李民主, 田村陽一 (名古屋大学), 齊藤俊貴 (MPIA), 梅畑豪紀 (理研)

We have made $0''.08$ -resolution (550 pc) observations of CO (4-3) emission line in an extreme starburst galaxy at $z = 4.3$, COSMOS-AzTEC-1, using ALMA. The high-quality ALMA maps of CO, 3.2 mm, 860 μm continuum emission independently reveal clumpy structures in the central 2 kpc region. The CO velocity field indicates that the underlying component is a rotation-dominated disk with a rotation velocity-to-velocity dispersion ratio of 3.1 ± 0.1 . We have also successfully detected the galaxy-integrated emission of [C I] (1-0) and (2-1) lines to determine the total molecular gas mass in AzTEC-1. Exploiting the kinematic properties and the spatial distribution of molecular gas mass surface density, we find a strong evidence that the starburst disk is gravitationally unstable, implying that the self-gravity of gas overcomes the differential rotation and the internal pressure by stellar radiation feedback. The observed molecular gas would be consumed by star formation in a timescale of 100 million years, that is comparable to those in merging starburst galaxies. Our results suggest that the most extreme starburst in the early Universe originates from efficient star formation due to a gravitational instability in the central 2 kpc region.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34a 軸対称磁場による銀河渦状腕の不安定化とクランプ形成

井上 茂樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構 / 東京大学), 吉田 直紀 (東京大学)

高赤方偏移では「ジャイアントクランプ」と呼ばれる巨大な星団をもった円盤銀河が観測される。我々は先行研究 (Inoue & Yoshida 2018) において、線形摂動理論に基づいた渦状腕に対する重力不安定解析を考案し、渦状腕の分裂によってクランプ構造が形成されるとするシナリオを提唱した。我々のモデルにおいては、従来のトゥームレ不安定を仮定するモデルよりも、クランプと親銀河の質量比の観測をよりうまく説明できることを示した。また、我々の線形解析から、渦状腕の力学状態を不安定性パラメータによって定量的に表すことができ、シミュレーションの結果に適用することで力学的に不安定な場合は渦状腕の分裂を予測できることを示した。

本研究ではその重力不安定解析を発展させ、軸対称磁場による効果を取り込んだ。軸対称磁場は角径方向に伝搬する摂動に対してコリオリ力を打ち消す効果がある。コリオリ力は渦状腕を安定化する効果があるため、軸対称磁場は不安定化の効果があると言える。これまでの他の研究では、こうした効果を円盤部分におけるトゥームレ不安定の文脈で議論してきたが、我々の研究では渦状腕の不安定に対して議論することができる。本研究では孤立系円盤のMHDシミュレーションにおいて渦状腕の分裂を調べ、その振る舞いが線形摂動理論で正確に予測できるかを調べた。結果、シミュレーション中で見られる渦状腕の分裂は、軸対称磁場が強いほど起こりやすく、また我々の線形解析で予測することが可能であることが分かった。つまり、軸対称磁場を考慮しても、渦状腕の分裂は線形過程であると言える。

さらに、線形解析モデルから、渦状腕の分裂から形成するクランプの予想される質量は、磁場の有無に関わらず実際の観測と一致する値であり、クランプの質量は磁場の強度に対してほとんど影響を受け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](#)

X35a 大規模シミュレーションを用いた銀河サブストラクチャの統計的研究

森永優, 石山智明, 桐原崇亘, 金城和樹 (千葉大学)

銀河周辺では矮小銀河や星団の潮汐崩壊により形成されたストリーム構造などが複数観測されている。これらサブストラクチャの形状は、過去に矮小銀河がどのような軌道を描いて銀河に取り込まれたかのトレーサーであり、銀河形成史を探る上で重要である。

本研究では標準的な Λ CDM モデルに基づいた高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションと準解析的手法を用いて、銀河周辺の多数のサブストラクチャの統計的性質を解析した。恒星の分布をモデル化するために、サブストラクチャの起源である矮小銀河ハロー内で力学的に強く束縛されているダークマター粒子を恒星粒子と仮定する Particle Tagging 法を用いた。加えて再電離を考慮した準解析的星形成モデルを用いて恒星質量を見積り、観測と矛盾のない銀河モデルを構築した。そして宿主銀河との潮汐相互作用の結果として形成された、サブストラクチャの様々な構造を“長さ”や“細さ”などの形状の特徴を表すパラメータを用いて定量化し、近点距離や遠点距離などの軌道の特徴を表すパラメータとの関連性について調べた。

近点距離や遠点距離の違いによって現在のサブストラクチャの長さや細さがスムーズに変化することが分かった。銀河中心付近を軌道運動する近点距離が小さなものは、銀河からの強い潮汐力の影響で大きく壊され、細い形状を維持できなくなる傾向が見られた。また、矮小銀河ハローが宿主ハローの半径内に入った時期によって現在の形状はスムーズに変化し、特にストリーム構造を示すサブストラクチャは赤方偏移 $0.5 \lesssim z \lesssim 2$ で宿主ハローの半径内に入った矮小銀河ハローを起源とすることが明らかになった。また、高赤方偏移で宿主ハローに取り込まれた矮小銀河ハローは十分に潮汐崩壊し、細い形状を示さなくなる傾向が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X36a ダークマターハローのユニバーサルスケーリング関係

森正夫（筑波大学）

現在、CDM 模型は、宇宙の構造形成に関する標準的パラダイムになっているが、銀河団スケールより小さなスケールにおいては、理論予言と観測結果との間で不一致が指摘されている。例えば、Cusp-core 問題、Too-big-to-fail 問題、Missing satellite 問題等が観測と理論の深刻な矛盾として挙げられる。我々は、銀河スケールのダークマター (DM) ハローの universal density profile と観測との矛盾やその検証作業、DM ハローがもつスケーリング則について研究を行っている。近年の高精度観測により、近傍矮小銀河に付随する DM ハローにはある種のユニバーサルなスケーリング則が成り立っていることが報告されてきている。Strigari et al. (2008) では、銀河中心から 300 pc 以内の DM ハローの総質量が一定になることが報告され、Kormendy & Freeman (2016) では、DM ハロー中心の面密度が一定になることが主張されている。また、最近の Hayashi et al. (2017) の近傍矮小銀河の研究では、DM ハローの Circular Velocity が最大 V_{max} となる半径 R_{max} の内側に存在する DM ハローの質量面密度 $\Sigma_{R_{max}}$ にもユニバーサルなスケーリング則が成り立っていることが報告されている。本研究では、Hayashi et al. (2017) の研究を発展させ、矮小銀河から楕円銀河や渦巻銀河、そして銀河団スケールにわたる幅広い質量範囲にわたる DM ハローで成り立つ V_{max} と R_{max} の間のスケーリング則を見出した。そして、そのスケーリング則が宇宙論的シミュレーションによって得られた CDM ハローに成り立つ関係と矛盾のないものであることを確認した。本発表では、スケーリング則の詳細とシミュレーションとの比較、Core-cusp 問題及び Too-big-to-fail 問題との関連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](#)

X37a SCF 法によるダークマターハローの cusp-core 遷移過程の解析

加藤一輝, 森正夫 (筑波大学), 扇谷豪 (ニース天文台), 穂積俊輔 (滋賀大学)

Cold dark matter モデルにおける cusp-core 問題は、矮小銀河スケールの dark matter halo (DMH) の中心質量密度分布の理論予言が、観測と大きく矛盾する問題として広く知られている (Burkert 1995; Navarro et al. 1996; Fukushige & Makino 1997; Oh et al. 2015)。そしてこの問題を解決するため、星形成期に発生する超新星 (SN) フィードバックによる質量放出が、DMH の中心部分の密度構造を変化させ、cusp から core への構造変化を引き起こす可能性について、宇宙論的シミュレーションを含む多くの研究が行われてきた。しかしながら、そのほとんどは、cusp-core 遷移の現象論的な側面の理解に踏みとどまり、遷移の物理過程の詳細を明らかにした研究は数少ない。

そのような状況下で、Ogiya & Mori (2014) では、周期的な SN フィードバックのタイムスケールと同程度の力学時間を持つ DMH 粒子がランダウ共鳴により効率よくエネルギーを獲得し、DMH の中心部分から外側に運動することで中心部分の密度を減少させ、cusp-core 遷移が起こるという素過程を明らかにした。我々は、周期的な SN フィードバックと DMH の共鳴によって引き起こされた cusp-core 遷移の位相空間での進化に着目して研究をおこなっている。この様な問題を取り扱う上で、数値計算によって発生する人工的な二体緩和が解の信頼性を著しく低下させることは周知の事実である。本研究では、そのような影響を本質的に抑えることができ、かつ、大量の粒子を導入する事ができる SCF 法 (Clutton-Brock 1972,1973; Hernquist & Ostriker 1992) を採用して解析を行っている。本講演では、DMH 粒子のエキセントリシティの進化や DMH の速度分散といった物理量に着目し、cusp-core 遷移過程の物理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](#)

X38a コールドダークマターハロー中の銀河風の線形安定性解析

永野裕太, 森正夫 (筑波大学), 新田伸也 (筑波技術大学)

銀河風はエネルギーやガスの輸送、銀河内での重元素循環や銀河間空間の重元素汚染といった、銀河の形成進化や銀河間空間の進化に対して重要な役割を担っている。我々は、現実的なダークマターハロー (DMH)/ 超大質量ブラックホール (SMBH) 重力場の下での銀河風の遷音速加速過程の研究を行ってきた (Tsuchiya et al. 2013, Igarashi et al. 2014, 2017)。その加速過程は超新星や恒星風などによって供給される熱エネルギーと銀河中心の SMBH や DMH による重力ポテンシャルの大小関係を表す無次元パラメーターによって決定され、遷音速流が最大エントロピーもしくは最小エネルギーの解であることを示した。

我々は、Velli (1994) によって行われた等温球対称定常太陽風の長波長近似における線形解析を銀河風に適用できるように拡張し、銀河風の解析解の線形安定性について調べている。その結果、このような流れの場のマッハ数が Lambert の W 関数を用いて定式化できることを示した。このマッハ数の解析解は任意の重力場の関数において成り立っているため、今後同様のモデルでの解析を行う場合に見通しが立てやすくなるだろう。本研究ではこの手法を利用して、コールドダークマターモデルで予想される NFW プロファイルを持つ DMH 重力場中での銀河風加速解の線形安定性を調べた。その結果、音速に達することのできない常亜音速流は線形摂動に対して常に不安定であり、DMH 中の等温球対称定常銀河風が常亜音速状態では存在できないことを解析的に示した。本講演では、解析の詳細と銀河風解の重力源である DMH の密度分布依存性、および存在可能なアウトフローと銀河の進化等について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X39a Construction of Multidimensional Luminosity/Mass Function of Galaxies with Vine Copula

Tsutomu T. TAKEUCHI (Nagoya University)

The need for a method to construct multidimensional distribution function is increasing recently, in the era of huge multiwavelength surveys. We have proposed a systematic method to build a bivariate luminosity or mass function of galaxies by using a copula, and shown its performance (Takeuchi 2010). It allows us to construct a distribution function when only its marginal distributions are available. A typical example is the situation that we have univariate luminosity functions at some wavelengths for a survey, but the joint distribution is unknown. Main limitation of the copula method is that it is not easy to extend a joint function to higher dimensions ($D > 2$), except some special cases like Gaussian.

In this presentation, we show a systematic method to extend the copula to unlimitedly higher dimensions by a Vine copula. This has been mainly applied to economical problems. We show its flexible extendability by using some multiwavelength galaxy survey data.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40a すばる望遠鏡 HSC データで探る $z < 1$ クエーサー母銀河の性質

石野亨, 佐衛田祐弥, 松岡良樹 (愛媛大学)

銀河中心にある超巨大ブラックホールの質量と母銀河のバルジの質量には相関があることから、ブラックホールと母銀河は共進化していると考えられている。この共進化を引き起こすメカニズムとして AGN feedback が提案されている。AGN feedback によりガスがエネルギーと運動量を得ることで母銀河の星形成は抑制されると考えられており、AGN は銀河の進化過程で重要な役割を担っていると考えられる。しかし、実際に AGN が母銀河へどのような影響を及ぼしているかはわかっていない。そのため、AGN 母銀河の性質を調べることは、AGN と銀河の関係を理解する上で重要である。

本研究では、 $z < 1$ の SDSS クエーサー 1040 天体に対し、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) SSP survey S17A wide の撮像データを用いて、個々のクエーサーの母銀河の性質を調べた。HSC は優れた感度と角分解能を持っているので、先行研究に比べてより詳細に母銀河の性質を調べることができると期待される。クエーサー母銀河の性質を調べるためには、クエーサーの光から中心核の成分と母銀河の成分を分離する必要がある。今回我々は、撮像データから天体の輝度プロファイルを求め、PSF とセルシックモデルを組み合わせたモデルでフィッティングすることで母銀河成分を抽出した。さらに、分離した母銀河のフラックスを銀河のプレートスペクトルとフィッティングすることで、母銀河のスペクトル型や色などの性質を調べた。そして、クエーサー母銀河の性質を AGN を宿していない通常の銀河の性質と比較することで AGN と母銀河の関係について検討した。本講演では、これまでに得られた結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X41a すばる望遠鏡 HSC データを用いた、 $z > 1$ のクエーサー母銀河のスタッキング解析

佐衛田祐弥, 石野亨, 松岡良樹 (愛媛大学)

マゴリアン関係として知られる超巨大ブラックホール (supermassive black hole: SMBH) の質量とその母銀河の質量の比例関係からも推測されるように、両者は共進化していると考えられている。この共進化のメカニズムを紐解くためにどのような母銀河で星形成活動が進んでいるか、あるいは AGN フィードバックによって抑制されているかを明らかにすることは重要である。特に宇宙史前半における共進化の様子についての理解を深めるためには $z > 1$ に位置するクエーサー母銀河の観測が必要であるが、高赤方偏移におけるクエーサー母銀河の観測は感度や空間分解の点で難しい。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の撮像データを用いて SDSS クエーサーカタログより選出した $z > 1$ クエーサー 3530 天体の母銀河の性質についての研究を行った。HSC は高感度、高空間分解能を誇るために、クエーサーやその周辺環境を精度良く観測することができる。選出されたクエーサーに対して HSC 撮像データを取得し、PSF プロファイルを基にして AGN 成分を差し引いた。残った母銀河成分を 4 つの赤方偏移に分けてスタッキング処理し、開口測光を行うことで、平均的な母銀河成分の光度プロファイルを計測した。5 バンド (g, r, i, z, y) で同様のスタッキング解析を行い、各バンドの絶対等級を銀河モデルと比較し、それぞれの赤方偏移での平均的なクエーサー母銀河の色やスペクトル型についての調査を行った。本講演ではその結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X42a LAE fraction at $z = 2.9\text{--}6.6$ probed by MUSE in the Hubble Ultra Deep Field

Haruka Kusakabe (The Univ. of Tokyo), J r my Blaizot, Thibault Garel, Johan Richard, Roland Bacon, Hanae Inami (CRAL), Takuya Hashimoto (Osaka Sangyo Univ.), and Alyssa Drake (MPIA)

The redshift (z) evolution of Ly α emitter (LAE) fraction among galaxies, $X(\text{LAE})$, has been used to probe the evolution of the HI gas fraction of the intergalactic medium (IGM) at the end of reionization. $X(\text{LAE})$ has been found to increase from $z = 3$ to 6, and to decrease at $z > 6$. However, uncertainties in the measurement and interpretation of $X(\text{LAE})$ are still matters of debate (e.g., Stark et al. 2011; Tilvi et al. 2014; Garel et al. 2015; Caruana et al. 2017; De Barros et al. 2017). In this work, we use optical IFU spectroscopic data of VLT/MUSE in the HUDF survey (Bacon et al, 2017). The broad wavelength coverage and the wide FoV IFU of MUSE as well as the unprecedented depth of MUSE-HUDF data allow us to obtain the most homogeneous and complete sample of LAEs at $z = 2.9\text{--}6.6$ compared with any other earlier studies (~ 700 LAEs, Inami et al. 2017), which reaches as faint as UV magnitude, M_{1500} , of -16.3 magnitude. We construct a UV-selected galaxy sample from a HST catalog (Rafelski et al. 2015), and evaluate the redshift evolution of $X(\text{LAE})$ as a function of Ly α equivalent, $EW(\text{Ly}\alpha)$, and M_{1500} . At $-21.75 \leq M_{1500} \leq -17.50$, $X(\text{LAE})$ for $EW > 25\text{\AA}$ shows moderate increase (or plateau evolution) from $z \sim 3$ to 5. At $z \sim 3$, $X(\text{LAE})$ is found to be higher for the fainter M_{1500} sample at $M_{1500} \leq -17.50$, which is consistent with the previous studies, while the trend is not obvious at higher z . Considering the effect of completeness, we will discuss implications for reionization and assess the validity of using $X(\text{LAE})$ as a probe of the IGM neutral fraction at the end of reionization.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X43a Ly α 輝線銀河の高い電離光子生成効率

中島王彦 (国立天文台), T. Fletcher, R. Ellis (UCL), B. Robertson (UCSC), 岩田生 (国立天文台)

Ly α 輝線銀河 (LAEs) は小質量・低金属量の若い星形成銀河であり, 宇宙初期における銀河種族と似た性質を有していると考えられている. 宇宙再電離期の銀河の性質理解と宇宙再電離への銀河の役割を理解するため, 私たちは赤方偏移 $z \sim 3$ LAEs を対象とした静止系極紫外 – 可視域の大規模な撮像・分光観測サーベイを始めた. 本講演では静止系遠紫外の分光観測から得られた LAEs の電離光子生成効率を中心に結果を紹介する.

電離光子生成効率 == 星種族から生成される電離光子数の紫外光度 (静止系 1500 Å) に対する比 == は遠方銀河から生成・放射される電離光子数を推定する上で必要不可欠な銀河の性質である. 私は他の研究チームとの近年の共同研究で, 静止系遠紫外 ($\sim 1200 - 2000$ Å) に存在する複数の電離雲輝線を用いることで銀河の電離光子生成効率を推定する方法を確立した (中島他, 2018 年秋季年会 b 講演). 私たちはこの手法を $z \sim 3$ LAEs に対して得られた VLT/VIMOS の遠紫外スペクトルに適用した. その結果, LAEs は連続光で選択された銀河 (e.g. LBGs) に比べ平均的に高い電離光子生成効率を持つ傾向を明らかにした. この傾向は紫外光度の暗い LAEs ほど顕著であった. LAEs のような若い低金属量の星形成銀河が遠方宇宙で平均的な種族である場合, 従来考えられているよりも多くの電離光子が銀河内で生成されていると推測される. 並行して進めている LAEs からの電離光子脱出率を求める観測結果と組み合わせることで, 銀河の宇宙再電離への貢献度についても議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X44a Intensity Mapping による $z \sim 6$ 宇宙において LAE 周囲 1pMpc まで広がる $\text{Ly}\alpha$ 巨大構造の初検出

鹿熊亮太, (東京大学宇宙線研究所), HSC project 197 members

銀河形成・進化、宇宙再電離について理解を深めるためには、遠方宇宙の非常に暗い銀河および淡く広がる水素ガスについての観測が必須となる。しかし、これらの個々の検出は次世代の望遠鏡をもってしても困難である。そこで我々は、次世代の望遠鏡を待たずともこれらを検出することができる、Cross-Correlation Intensity Mapping という統計的手法に着目した。明るい銀河周囲には暗い銀河・水素ガスが広がり、それらからは $\text{Ly}\alpha$ 輝線が出ていると考えられる。そこで、多数の明るい銀河の位置と、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線をトレースする狭帯域フィルターの撮像画像の全ピクセルの輝度分布との距離相互相関を取ることで、広がった構造を統計的に検出する。

我々は、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (Hyper-Suprime Cam, HSC) を用いて得られた、 $z = 5.7$ (6.6) の 425 (396) 個の $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河 (LAE) の位置と、同じ赤方偏移の $\text{Ly}\alpha$ 輝線をトレースする狭帯域フィルター撮像画像の全ピクセルの輝度分布との相関を取った。そして、HSC による非常に広視野 (約 4 平方度) の画像と、Cross-Correlation Intensity Mapping という統計的に優れた手法とが組み合わせられたことで、 ~ 1 pMpc まで続く巨大な $\text{Ly}\alpha$ 構造を初めて検出した。過去の研究では、LAE 周囲には ~ 40 pkpc 程度まで広がる $\text{Ly}\alpha$ (Lyman Alpha Halo) がすでに見つかった (e.g., Momose et al. 2014, Leclercq et al. 2017)。今回我々が検出した $\text{Ly}\alpha$ 巨大構造は、この LAH よりもさらに広がり、宇宙大規模構造へと続くものである。また、この $\text{Ly}\alpha$ 巨大構造の起源に関してもそのプロファイルから考察を行った。その結果、暗い銀河と淡く広がる中性水素ガスの両方の寄与が必要となる可能性を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X45a クェーサー紫外放射による銀河周辺物質への影響

内山久和, 柏川伸成 (国立天文台), Roderik Overzier (ブラジル国立天文台), 利川潤 (東京大学), 石川将吾, 久保真理子 (国立天文台), 尾上匡房, 伊藤慧, 竝木茂朗, Yongming Liang (総合研究大学院大学)

宇宙にはライマンアルファハローと呼ばれる、 > 100 kpc まで広がったライマンアルファ輝線が存在する。その物理的起源の一つとして、電離光子あるいはライマンアルファ光子と銀河周辺物質との相互作用が考えられている。これらの光子は中心銀河中の星形成領域由来のものだけでなく、周辺の星形成銀河やクェーサー由来のものも考えられる。実際に明るいライマンアルファハローが星形成銀河の高密度領域に存在する傾向にあることが観測されている。興味深いことに、 $z > 2$ でクェーサーによって銀河の明るさが増幅されているという現象が見つかっている。その一方で、いくつかのクェーサーに対してはその効果が発見されていない。以上のことから、どのような種類のクェーサーがその周囲に存在する銀河に影響を与えるのかはまだ全く分かっていないのが現状である。この効果をより系統的に特徴づけるために、我々は $z = 2 - 3$ の 11 個の、様々な明るさを持つクェーサー領域 (内 1 個はクェーサーが 2 つ存在する”クェーサーペア”領域) においてすばる望遠鏡の Suprime-Cam による広視野撮像観測を行った。我々はまずそれぞれのクェーサーと同じ赤方偏移に存在するライマンアルファ輝線銀河カタログを構築した。クェーサー紫外放射による銀河周辺物質への影響を特徴づけるために、それら輝線天体、ならびにクェーサーのライマンアルファ輝線画像をスタッキングし、その効果の平均的な描像を得た。本講演ではそのサンプルの構築について、およびクェーサーの性質と周辺銀河の輝度プロファイルとの相関、ならびにクェーサー自体の輝度プロファイルについての成果を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X46a Dust Attenuation of Star-Forming Galaxies in the first 2 Gyr of the Universe from the COSMOS ALMA Archive (A³COSMOS)

Yoshinobu Fudamoto, Pascal Oesch (Observatoire de Genève), Eva Schinnerer, Daizhong Liu, Philipp Lang (MPIA), Benjamin Magnelli (AlfA), and A³COSMOS team

The development of sensitive mm/submm telescopes (e.g. ALMA, NOEMA) opened a new window to the far infrared continuum (FIR) emitted by dust, which enables us to investigate the obscured star-formation history of the Universe. Using these new facilities, early studies revealed unexpected results, as high-redshift galaxies show much lower FIR emission than expected. However, these first results were based on small samples selected from small sky fields. Here, we take the next steps based on the ALMA archive in the COSMOS field (1544 pointings, 243 arcmin²) in the collaboration with the A³COSMOS team (Liu et al. in prep.), and present new results on the dust attenuation of a large sample of galaxies at $z \sim 2.5 - 4.0$. In particular, we study the relationship between the stellar mass (M_*), the UV spectral slope (β_{UV}), and the infrared excess ($IRX = L_{IR}/L_{UV}$). In total, our study is based on a sample of ~ 1100 galaxies ($\sim 10\%$ of which are individually detected) at $z = 2.5 - 4.0$. In the $IRX-\beta_{UV}$ relation, our main sequence sample is perfectly consistent with that of local star-forming galaxies, and the high-redshift starbursts generally have ~ 0.5 dex larger IRX . However, the individual detections and the stacks show that the $IRX-M_*$ relation of our sample has a steeper slope than found from previous studies. The steeper slope implies an evolution of the obscured fraction of star-formation at $z > 2.5$, which was observed to be constant from $z \sim 0 - 2.5$ in Whitaker et al 2017.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X47a 星間塵のサイズ分布進化を取り入れた銀河スペクトルエネルギー分布モデルの構築

西田和樹, 竹内努, 永田拓磨, 浅野良輔 (名古屋大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

銀河スペクトルエネルギー分布 (SED) を観測データにフィッティングすると星・星間塵 (ダスト) 質量、星形成率などの多くの重要な物理量を引き出せる。SED モデルは銀河の進化を銀河誕生から順に解いていくことで得られる。銀河の進化にはダストが非常に大きな影響を与える。ダストは星からの放射を吸収して減衰させ、赤外線でも再放射するだけでなく、ダスト表面では気相に比べて非常に効率よく分子を形成することで星形成を促進する。そのため SED モデルの構築には、ダストの質量やサイズ分布と銀河の共進化を考えることが極めて重要である。多くの既存 SED モデルではダスト進化の過程が複雑であることから近傍銀河の観測をもとにした経験的なダストモデルが用いられてきた。近年、化学進化と統合的な第一原理的ダストモデル (Asano et al., 2013a, b, 2014 : Asano モデル) が確立された。

本研究では、Asano モデルを取り入れた新しい銀河 SED モデルを構築した。星からの放射は PÉGASE (Fioc & Rocca-Vomera 1997) を用いて求めた。ダストは星由来の紫外線放射を吸収して、そのエネルギーを赤外線として放射する。サイズの大きなダストは平衡温度を持つが、サイズの小さいダストは熱容量が小さいためストカスティックな温度分布を持つ。そこでモンテカルロシミュレーションによってダスト温度分布を求めてダストによる放射を計算した。また、ダストの高密度領域を 10 pc 程度の一つの巨大なダストとして扱いダストによる散乱を考えるメガグレイン近似と、一次元円盤銀河近似によって輻射輸送方程式を解くことで、3次元空間構造を解く方法に比べて計算コストの大幅な削減に成功した。本公演では、本モデルの現状について詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X48a Discovery of an Extremely Luminous Dust-obscured Galaxy Observed with SDSS, WISE, JCMT, and SMA

Yoshiki Toba (Kyoto Univ./ASIAA), Junko Ueda (NAOJ), Chen-Fatt Lim (NTU/ASIAA) Wei-Hao Wang (ASIAA), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Yu-Yen Chang (ASIAA), Toshiki Saito (MPIA), and Ryohei Kawabe (NAOJ)

We present the discovery of an extremely luminous dust-obscured galaxy (DOG) at $z_{\text{spec}} = 3.703$, WISE J101326.25+611220.1. This DOG is selected as a candidate of extremely luminous infrared (IR) galaxies based on the photometry from the SDSS and WISE. In order to derive its accurate IR luminosity, we perform follow-up observations at 450 and 850 μm using the SCUBA2 on the JCMT, and at 870 and 1300 μm using the SMA, which enable us to pin down its IR Spectral Energy Distribution (SED). We perform SED fitting using 14 photometric data (0.4–1300 μm) and estimate its IR luminosity, L_{IR} (8–1000 μm), to be $2.2_{-1.0}^{+1.5} \times 10^{14} L_{\odot}$, making it one of the most luminous IR galaxies in the universe. The energy contribution from an active galactic nucleus (AGN) to the IR luminosity is $94_{-20}^{+6}\%$, which indicates that it is an AGN-dominated DOG. On the other hand, its stellar mass (M_*) and star formation rate (SFR) are $\log(M_*/M_{\odot}) = 11.2_{-0.2}^{+0.6}$ and $\log(\text{SFR}/M_{\odot} \text{yr}^{-1}) = 3.1_{-0.1}^{+0.2}$, respectively, which means that this DOG can be considered a starburst galaxy in the M_* -SFR plane. This extremely luminous DOG shows significant AGN and star-forming activity that provides us with an important laboratory to probe the maximum phase of the coevolution of galaxies and supermassive black holes (Toba et al. 2018, ApJ, 857, 31).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X49a Chandra and ALMA Study of X-ray Irradiated Inter Stellar Media in the Central 100 pc of Circinus Galaxy

Taiki Kawamuro, Takuma Izumi, Masatoshi Imanishi (NAOJ)

We report a study of X-ray irradiated inter stellar media in the central ~ 100 pc of Circinus galaxy based on *Chandra* and ALMA high spatial resolution (≈ 1 arcsec or 20 pc at 4.2 Mpc) data. The ALMA data in Band 6 and 7 cover five molecular gas emission lines: CO(3–2), HCN(3–2), HCN(4–3), HCO⁺(3–2), and HCO⁺(4–3). The ~ 300 ksec *Chandra*/ACIS data are utilized to produce maps of iron lines around 6 keV, tracing X-ray irradiated dense gas. They are compared with that of HCO⁺(4–3), observed most precisely among all the lines. Its high critical density is indeed beneficial to particularly focus on the gas that likely associates with the nuclear, dense gas region. We find that the molecular gas emission is suppressed in iron line bright regions, and seems to be bright preferably beyond the outer limbs. This fact evokes the molecular gas dissociation by the X-ray emission. We quantitatively discuss this according to an X-ray dominated region (XDR) model by Maloney (1996), where the effective ionization parameter ($\xi_{\text{eff}} = L_X / (R^2 n_{\text{H}_2} N_{\text{H}}^{1.1})$) determines fractional abundances of molecular and atomic species. The hydrogen molecular gas density (n_{H_2}) is estimated by fitting the observed molecular line ratios to those predicted from a non-LTE model. Then, by assuming the X-ray luminosity (L_X) and the attenuating column density (N_{H}) for the incident X-ray, we constrained it at the limbs, or $R \approx 60$ pc. The resultant ionization parameters are consistent with that where the transition from atomic to molecular hydrogen gas is predicted, thus supporting the X-ray dissociation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X50a Near-IR Spectroscopic Observations of Massive Quiescent Galaxies at $z \sim 4$

田中賢幸、久保真理子、小野寺仁人 (国立天文台)、矢部清人 (東京大学)、 Francesco Valentino、Sune Toft (DAWN)

巨大銀河の一部は星形成を行っていない quiescent 銀河である。近傍宇宙ではしばしば楕円銀河として観測されるが、これらの銀河がいつどのようにして星形成をやめたのかは、未だよく理解できていない大きな問題である。この quenching の物理を紐解く一つの方法として、遠方宇宙での quiescent 銀河の探査が挙げられる。つまり、いつ宇宙の中で星形成をやめた銀河が現れたのかを調べ、それらの性質を観測的に明らかにすることである。

我々は SXDS において深くて広い多波長データを構築し、遠方宇宙における quiescent 銀河探査を行った。測光的赤方偏移を用いて銀河の距離と物理的性質を推測したところ、 $z \sim 4$ にはすでにこのような銀河が出現していたことがわかった。この時代における quiescent 銀河の統計的性質をまずは議論する。次に、その銀河の一つを Keck/MOSFIRE を用いて近赤外分光フォローアップ観測を行った結果を議論する。天候不良もあり思ったほど S/N のよくないスペクトルであったが、その銀河は $z = 3.87$ にいる可能性が高いことがわかった。今後の観測で検証されれば最遠方の quiescent 銀河となる。このような天体の分光観測は Keck を用いても容易ではなく、JWST も含めた今後の展望について最後に触れたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X51a Spectroscopic confirmation of the most distant overdensity at $z = 6.6$

Yuichi Harikane, Masami Ouchi, Yoshiaki Ono, Ryo Higuchi, Jun Toshikawa, Akio Inoue, Kenji Hasegawa, HSC Project 96 & 209 members

In the large-area deep Subaru/Hyper Suprime-Cam narrow-band data, we identified 14 and 28 LAE overdensities at $z = 5.7$, and 6.6 , respectively. Our spectroscopic observations have recently detected Ly α emission from 9 LAEs in one of the overdensities at $z = 6.6$, making it the most distant overdensity spectroscopically confirmed. Wideband SEDs ($0.4 - 4.5 \mu\text{m}$) including the Spitzer data indicate that galaxies in over-dense regions are more actively forming stars than those in less-dense regions. We compare our results with simulations, and found that the overdensity will grow to the cluster-scale halo ($M_{\text{h}} \sim 10^{14} M_{\odot}$) at the present day. Based on these results, we will discuss the implication for galaxy formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X52a A protocluster at $z = 2.5$ III. Cold gas kinematics

Minju Lee (Nagoya U./NAOJ), Ichi Tanaka (Subaru), Ryohei Kawabe (NAOJ/UT), Kotaro Kohno (NAOJ/UT), Tadayuki Kodama (Tohoku U.) and members for protocluster 4C23.56

We present cold gas kinematics of star forming galaxies associated to a protocluster at $z=2.49$ using CO (4–3) line observed with ALMA. Our target field, protocluster 4C23.56, was identified as overdensities of H α emitters (HAEs) with Subaru/*MOIRCS*, where a total of 25 HAEs are likely to be associated to it. We detect a total of 11 HAEs in CO (4–3) line including six galaxies that were previously detected in CO (3–2). Our higher angular resolution ($\sim 0''.4$, ~ 3 kpc in physical scale) imaging in CO (4–3) has allowed a detailed kinematical modeling of two disk-like galaxies which are with the measurements of gas mass and its fraction from our previous CO (3–2) observations. The best-fit modeled parameters reveal a high ratio between rotational velocity, V , and intrinsic velocity dispersion, σ , i.e., $V/\sigma > 1$, suggesting rotation-dominated kinematics. We discuss the nature of these disk-like galaxies in a plane of baryonic Tully-Fisher relation and in terms of specific angular momentum. These galaxies follow the correlation and exhibit the value, respectively, found in field disk-like galaxies at similar redshift, indicating the sub-dominant dark matter fraction within an effective radius. We additionally find signatures of mergers for other galaxies, which may also be a mechanism that contributes to the evolution of protocluster galaxies. The diversity found in the kinematical properties of galaxies in the protocluster requests deeper and higher angular resolution imaging observations toward the protocluster.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X53a 赤方偏移 1.46 の遠方銀河団銀河の分子ガス量と星形成効率

林将央, 但木謙一 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 河野孝太郎, 山口裕貴, 廿日出文洋 (東京大学), 小山佑世, 嶋川里澄 (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大学), 鈴木智子 (東北大学)

遠方宇宙の銀河団に存在する星形成銀河は、近い将来星形成を止め、近傍宇宙に見られる大質量の早期型銀河へと成長すると考えられる。そこで、銀河の星形成活動に直結する最も基本的な量の一つである分子ガス量を調べることは、高密度環境で銀河に作用する星形成抑制メカニズムをより良く理解する上で重要である。

我々は、アルマ望遠鏡を用いて、赤方偏移 1.46 の遠方銀河団に属するメンバー銀河の分子ガス量の調査を行った。銀河団中心から半径 R_{200} 以内に存在する 18 個のメンバー銀河から、CO(2-1) 輝線および $870\mu\text{m}$ ダスト連続光を検出した。アルマ望遠鏡で検出したガスリッチ銀河は、銀河団のごく中心部には存在しない。銀河団の中心部に位置するガス量の少ない他の銀河と比べて、より最近になってから銀河団に降着してメンバーになったことが考えられる。これらのガスリッチ銀河団銀河は、同時代の一般フィールドに存在する銀河と比べて、ガスの割合が大きく、星形成効率が低いことが明らかになった。銀河団中心に近づくほどフィールド銀河との違いが大きいたことが示唆されることから、メンバー銀河へのガスの供給や星形成効率の抑制に銀河団環境が影響していることが考えられる。また、銀河団中心部の $10^{11}M_{\odot}$ を超える赤い大質量銀河の CO 輝線スペクトルをスタックすることで、分子ガス量が $10^{10}M_{\odot}$ 以下、および、ガスの割合が 10%以下という上限値が得られた。銀河団中心部の銀河はガス量の多くを消費していることが明らかになった。本講演では、アルマ望遠鏡による観測で見えてきた遠方銀河団銀河の分子ガス量の観点から、銀河団銀河の進化過程を議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X54a Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション

宮川銀次郎, 森正夫 (筑波大学), 三木洋平 (東京大学), 桐原崇亘 (千葉大学)

我々の住む天の川銀河や近傍のアンドロメダ銀河 (M31) の周囲には、数十個程度の衛星銀河が観測されている。しかし、 Λ CDM モデルに基づく N 体シミュレーションによると、M31 サイズの Dark Matter Halo には、観測されているよりも遥かに多くの sub halo が付随していると予想されている (Moore et al. 1999)。この理論と観測との不一致は missing satellite problem と呼ばれ、銀河形成の謎の一つとされている。この missing satellite problem に対して、総質量のほとんどが dark matter で構成された非常に暗い銀河 (Dark Satellite ; DS) が多数存在している可能性が理論的に指摘されている。Carlberg et al.(2011) は M31 に付随する stellar stream と DS の衝突シミュレーションによって、stellar stream 上に間隙が生成されるという理論予言を行った。また、Starkenburger et al.(2016) では、矮小銀河と DS との merger シミュレーションを行い、DS の観測可能性について様々なケーススタディを行った。一方で観測的には、M31 の衛星銀河である IC10 に counter part が観測されていない HI gas stream が観測されており、DS との相互作用の可能性が議論されている (Nidever et al. 2013)。

そこで我々は、この IC10 の gas stream の形成過程に着目し、M31 に付随する DS との衝突によって stream の観測的性質を精密に再現するモデル構築に取り組んでいる。本研究では、IC10 モデルと NFW profile (Navarro et al. 1996) をもつ DS の衝突実験を N 体シミュレーションを用いて行った。IC10 モデルには観測に基づく軌道運動を考え、DS には M31 から受ける重力に釣り合う回転速度を与えた。そして、DS の質量と軌道を変えながら、粒子分布の時間変化を調べた。本講演では、DS の質量や軌道等を変化させた衝突シミュレーションの結果を報告し、DS の存在可能性及び M31 衛星銀河の平面状分布構造 (satellite plane) 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](#)

X55a 銀河系矮小銀河の観測的不定性を考慮した暗黒物質分布推定

林航平 (東京大学宇宙線研究所), 松本重貴 (東京大学カブリ IPMU), 伊部昌宏 (東京大学宇宙線研究所), 堀米俊一 (東京大学カブリ IPMU), 石垣美歩 (東京大学カブリ IPMU), 菅井肇 (東京大学カブリ IPMU)

銀河系矮小銀河は星の運動から推定した力学的質量が星質量より十分大きく、暗黒物質が支配的な系である。したがって暗黒物質の基本的な性質、特に暗黒物質の空間分布を研究する上で理想的な天体である。矮小銀河の暗黒物質分布を調べるには、その星の視線速度分布の動力学解析に基づくのが一般的であるが、星及び暗黒物質空間分布の非球対称性、コンタミネーション星の混入、速度非等方性など無視できない不定性が存在する。

本研究では、特に非球対称性とコンタミネーション星の混入による不定性を同時に考慮した動力学解析モデルを構築し、そのモデルを実際の銀河系矮小銀河の観測データに適用し暗黒物質分布を推定した。具体的には、軸対称ジーンズ方程式に基づく軸対称質量分布モデルに矮小銀河メンバー星とコンタミネーション星の空間・速度分布を考慮した両者の確率分布関数を組み合わせたモデルである。

本講演では、この新たな動力学解析モデルの紹介と、このモデルでの解析結果及びこれまでの先行研究との比較を行う。さらに矮小銀河暗黒物質分布の推定から、冷たい暗黒物質理論の問題点の1つとなっているコア-カスプ問題の再検討を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X56a HSC-SSP データと深層学習による極金属欠乏銀河探査

小島崇史, 大内正己 (東京大学), 他 21 名 (HSC project 251)

形成直後の銀河は、低金属量 ($Z/Z_{\odot} \sim 0.01-0.1$)、小星質量 ($M_{*}/M_{\odot} \lesssim 10^7$)、年齢が若い ($\lesssim 30 \text{ Myr}$) といった性質を持つと考えられる。このような銀河は、銀河形成と初期の銀河進化を理解するためのよい標本となりうる。近傍宇宙では極金属欠乏銀河と呼ばれる銀河が存在し、上述の性質を持つことが知られている。

本研究は、HSC-SSP データを用いて、近傍宇宙 ($z \lesssim 0.02$) に潜む極金属欠乏銀河の探査を行うものである。極金属欠乏銀河は、暗く、個数密度が小さいことから、HSC-SSP データ ($i_{\text{limit}} \sim 26 \text{ mag}$) のような深くて広い撮像データの利用が鍵となる。従来の浅い SDSS データ ($i_{\text{limit}} \sim 21 \text{ mag}$) を用いた探査では発見できなかった、より原始的な性質の銀河 (低金属量、小星質量、若い星種族) の発見が期待される。さらに本研究では、極金属欠乏銀河を効率良く選択するため、深層学習に基づく新しい銀河選択手法を開発した。非常に強い [OIII], $H\alpha$ 輝線などが生む、極金属欠乏銀河の特徴的な色を利用した手法となっている。本手法を約 200 平方度の HSC-SSP データに適用したところ、約 10 個の極金属欠乏銀河候補が選択された。それらの候補は青くコンパクトな形態をしていたが、そのうち半分以上については、広がった淡い可視連続光成分を伴っていた。

本講演では、現在進行中の分光観測の進捗報告を行うとともに、極金属欠乏銀河の形成過程について議論する。また、極金属欠乏銀河の金属量や電離状態から得られる大質量星の存在量への制限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](#)

X57a 銀河形成シミュレーションにおける超新星フィードバックの新たな実装方法

岡本崇 (北海道大学)

超新星爆発等の加熱現象、いわゆるフィードバックは銀河形成において最も重要な物理過程である。しかし、現在の銀河スケールのシミュレーションでは、個々の超新星残骸を数値的に分解できないため、単純に超新星爆発のエネルギーを周囲の星間ガスに与えると、そのエネルギーは即座に放射冷却で失われてしまい、ほとんど何の影響も及ぼさないことが知られている。この困難を克服するために、加熱されたガスの放射冷却を一定期間停止する等の現象論的なモデルが用いられることが多い。このような現象論的なモデルでは、例えば放射冷却を停止する期間のようなパラメータや、どのようにフィードバックエネルギーを周囲のガスに分配するかといった細部に結果が強く依存することになる。

そこで本研究では、「フィードバックが周囲のガスに影響を与えるためには加熱された流体要素の冷却時間が sound crossing time の 10 倍程度以上である必要がある」という数値的要請のみを考慮して、簡単なフィードバックモデルを構築した。具体的には、加熱された流体要素の冷却時間が sound crossing time の 10 倍未満だった場合にはその流体要素を hot phase と cold phase の 2 相に分解し、hot phase の冷却時間が流体要素の effective な温度に対する sound crossing time の 10 倍になるようにエネルギーを分配する。このとき、hot phase と cold phase は圧力平衡にあることを仮定した。

この 2 相モデルを用いると、フィードバックの影響は数値分解能や、超新星爆発のエネルギーを連続的に最近傍粒子に与えるか、それとも確率的に最近傍粒子の温度を $10^{7.5}$ K のような一定の温度に加熱するか等の実装にほとんど依存しなくなった。本講演ではテストシミュレーションを用いて、この実装の特徴を説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X58a 経験的銀河モデルで探る銀河団銀河の星形成停止過程

大木平, 吉田直紀, 西道啓博, 日影千秋 (カブリ IPMU)

近傍銀河は、星形成の活発な銀河, star-forming galaxies と星形成の活発でない銀河, quenched galaxies に大別される。また、この星形成活動は銀河の存在する環境と密接な相関があり、高密度環境ほど quenched galaxies が多く存在することが知られている。銀河全体に占める quenched galaxies の割合である quenched fraction の星質量やハロー質量依存性、銀河団中心からの距離依存性などは銀河形成モデルの制限となる重要な観測量である。

我々は宇宙論的 N 体シミュレーションに基づく subhalo abundance matching と age matching の方法を用いて、star-forming galaxies・quenched galaxies の空間分布をモデル化した。このモデルでは、宇宙論的 N 体シミュレーションから得られるダークマターハローの年齢と、観測される星形成率分布を対応させることにより、ダークマターハローに銀河の星形成率を与えることができる。モデルは、観測される star-forming galaxies・quenched galaxies のクラスタリングをよく説明する。

我々は、銀河団周辺の star-forming galaxies・quenched galaxies の動径分布を調べた。特に、quenched fraction の動径分布を求め、近傍銀河の観測結果と比較した。我々は、ハローの年齢の指標として (i) ハローの質量降着による成長が低成長に遷移する時期、(ii) ハローがより大きなハローのサブハローになる時期、の両方を用いると、観測される quenched fraction の動径分布を再現することがわかった。この結果は、銀河団銀河の星形成停止機構として内部的な過程と環境要因の過程の両方が重要であることを示唆している。本講演では、これらの結果を示すとともに、モデルから予測される、星形成停止機構の異なる2つの quenched galaxies の統計的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](#)

X59a 星形成銀河からのアウトフローの遷音速解析

五十嵐朱夏, 森正夫 (筑波大学), 新田伸也 (筑波技術大学)

銀河から星間ガスが流出する銀河風は、銀河進化や銀河間物質の化学進化に影響する重要な現象である。近年、金属の吸収線を用いた銀河からのアウトフローの観測的研究によって、銀河風の速度が星質量や星形成率と関係を持っていることが示唆されている (Martin 2005; Weiner 2009; Martin 2012; Rubin et al. 2014; Heckman et al. 2016)。銀河形成・進化史を検討する上で銀河風の質量流束量は、その鍵となる重要な物理量であるが、観測によってそれを求めることはガス柱密度の決定の大きな不定性を常に伴っている (Heckman et al. 2015; Sugahara et al. 2017)。

我々の構築した球対称定常遷音速銀河風モデルでは、観測されたアウトフロー速度と恒星質量、星形成率等の情報から質量流束を算出することができる。本研究では、Heckman et al. (2015) の観測データと遷音速銀河風モデルを組み合わせることで、39 個の星形成銀河のアウトフローの観測から、その質量流束を算出した。その結果、質量流束と星形成率との比 (MLF) が、ダークマターハロー質量や星形成率と強い負の相関を持つことが明らかになった。Heckman et al. (2015) が用いた質量流束のモデルは、かなり不定性の大きなモデルであったため、明かな相関を見出すことができなかったが、我々の遷音速銀河風モデルでは、低質量銀河は大質量銀河に比べて、より大きな MLF を持つことが分かった。このことは、低質量銀河では星形成に使われた量よりも多くのガスが流出することに対応し、銀河内の星間ガスがアウトフローと共に大量に放出されていること示唆する。本講演では、高赤方偏移の星形成銀河からのアウトフローに遷音速銀河風モデルを適用した結果についても議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X60a 10万個のSDSSスペクトルで決定する星形成銀河のアウトフロー・銀河関係

菅原悠馬, 大内正己 (東京大学)

活発な星形成銀河に生じる銀河スケールのアウトフローは、星形成を抑制し、銀河の進化を制御すると考えられている。過去の観測的研究から、中性・電離ガスのアウトフロー速度は、母銀河の星形成率 (SFR)、星質量 (M_*)、星形成率面密度 (Σ_{SFR}) と正の相関があることが示されている。しかし、アウトフロー速度が銀河の複数の物理量にどのように依存するかを調べた研究はこれまでない。私たちは Sloan Digital Sky Survey (SDSS) で得られた 10 万個以上の星形成銀河のスペクトルを用いて、アウトフローと銀河の物理量の相関を詳細に調べた。個別のスペクトルは信号雑音比 (S/N) が小さいため、 SFR 、 M_* 、 u -band 有効半径 (r_u)、傾斜角、ダスト減光量の五つのパラメータに基づきスペクトルをビンに分け、 $S/N \simeq 150$ となるように合成スペクトルを作成した。合成スペクトルを連続光で規格化したあと、NaID 吸収線をガウス関数でフィッティングし、NaID の青方偏移量 Δv とアウトフローの最大速度 v_{\max} を測定した。 Δv はアウトフローの存在を質的に評価するパラメータである。 Δv を Σ_{SFR} に対してプロットしたところ、 $\Delta v > 0$ となるしきい値、つまりアウトフローを駆動するためのしきい値は $\log(\Sigma_{SFR} [M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}]) > -1.75$ であった。この値は古典的に使用されるしきい値 $\log(\Sigma_{SFR} [M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}]) > -1$ よりも 5 倍以上小さい値でアウトフローが駆動されることを示しており、星形成率面密度がより小さな銀河でもアウトフローが観測された過去の結果とも矛盾しない。また、 Δv と v_{\max} は Σ_{SFR} に対して大きな分散を持っており、アウトフローに大きく寄与するパラメータが他に存在することを示唆した。本講演では Δv と v_{\max} に対する重回帰分析の結果も示しながら、アウトフロー速度に重要な星形成銀河のパラメータについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X61a 化学進化からみる銀河形成最盛期における星形成銀河のガスの降着と流出

深川奈桜 (総合研究大学院大学/東北大学), 兒玉忠恭 (東北大学)

銀河は、ガスの降着、ガスからの星形成、そしてガスの流出というサイクルを経て成長する。従って、ガスの降着と流出は、銀河の星形成史を左右する物理過程である。特に、銀河の活動が最も活発であった時代における定量的な調査は、銀河進化を理解する上で重要である。そこで、我々は、銀河の金属量を手がかりに、ガスの降着と流出についての情報を得ることを試みている。銀河では、主に星により重元素が生成される。また、ガスの降着や流出が起こると、金属量は変化しうる。これらの過程をモデル化し、その予測と観測データとの比較により、ガスの降着率と流出率の測定ができるはずである。過去の研究 (Seko et al. 2016) では、解析的なモデルと銀河種族の平均的なデータとの比較により、赤方偏移 1.4 の時代の主系列星形成銀河では、ガスの降着によるガスの獲得量と、星形成とガスの流出による消費量が、ほぼつりあっていることが示唆された。

本研究では、化学進化モデルと観測データとの比較により、同じ時代の個々の銀河に対し、ガスの降着と流出について調べた。用いたモデルは、ガスの降着、星形成、ガスの流出を単純化したものであり、銀河の進化過程は、ガスの降着率、流出率、星形成率により決まる。スペクトルフィッティングによる銀河の年齢を考慮し、モデルによるガス質量比、金属量、比星形成率と観測データとの比較により、ガスの降着率と流出率の範囲を調べた。その結果、個々の天体について、年齢が古い場合は、ガスの獲得量と消費量がほぼつりあうのに対し、年齢が若いほど、ガスの消費量が獲得量に比べて大きい傾向が見られた。年齢が若いほど、ガスの降着効率がよく、銀河のガス質量が増えるため、ガスの降着率を上回るほど星形成率が高いためである。年齢が若いのに、赤方偏移 1.4 の時代に観測される物理量をもつには、銀河は非常に速い進化をしなければならないことになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

9月21日（金）午後（13:30-15:30）[A会場]

Y01a	13:30	信濃における天文遊歴家朝野北水の足跡 陶山徹（長野市立博物館）
Y02a	13:42	日本におけるアストロツーリズムの可能性についての基礎調査 縣秀彦（国立天文台）
Y03a	13:54	可視光直視分光器 VEGA の試用報告 竹内彰継（米子工業高等専門学校）
Y04a	14:06	国友レプリカ望遠鏡による太陽黒点スケッチの解析 野澤恵（茨城大学）
Y05a	14:18	Gaia DR2 のデータと全天 H-alpha マップを用いた天の川画像の作成 加藤恒彦（国立天文台）
Y06a	14:30	3D プリンタを用いたすばる望遠鏡模型の製作 白田-佐藤功美子（国立天文台）
Y07a	14:42	大学シラバスの保存状況と宇宙・天文関係講義の変遷調査 玉澤春史（京都大学/京都市立芸術大学）
Y08a	14:54	学校が開催する天体観測会の天候不良時対応について 佐々井祐二（津山工業高等専門学校）
Y09b	15:06	国立天文台天文データセンターによる講習会の報告 亀谷和久（国立天文台）
Y10b	15:06	系外惑星観測実習を含む総合科学教育プログラムの開発および評価 水村好貴（京都大学）
Y11b	15:06	国立天文台野辺山における星空撮影会 衣笠健三（国立天文台）
Y12b	15:18	IB の教科書を用いた初等中等教育における国際的な天文教育の調査 福田尚也（岡山理科大学）
Y13b	15:18	人工衛星電波受信実験の高校物理教材化：科学教室形式での実践 内山秀樹（静岡大学）

Y01a 信濃における天文遊歴家朝野北水の足跡

陶山徹（長野市立博物館）

江戸時代は、西洋の科学技術が流入し、日本の天文学は大きく変わった。この時代に全国各地を歩き、人々に星を教えた男がいた。名を朝野北水という。北水自身、そして、彼が教えた内容については謎が多い。本研究では、朝野北水の信濃における足跡を調べるため、長野県内に残る北水関連の文書類と渾天儀を調査した。その結果、高遠、飯田には10点以上の北水関連の文書類があること、2つの渾天儀は北水の教えを受けて作られたものだとわかった。文書類は惑星に関するものが多く、複雑な惑星の動きをわかりやすく伝えるために工夫されていた。渾天儀は比較的簡単な作りではあるが、環ごとに色分けをしたり、天の北極の探し方を説明するための部品があったりと天体の動きをわかりやすくする工夫がされている。これらの資料には現代の天文普及に通じる北水の姿勢が見られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a 日本におけるアストロツーリズムの可能性についての基礎調査

縣秀彦（国立天文台）、荒井誠（電通）ほか宇宙ツーリズム推進協議会一同

「長野県は宇宙県」や「星取県」など、地域の星空資源を活用した観光事業や地域振興の取り組みが幾つかの自治体で始まっている。海外でもニュージーランドのデカボ湖やナミビ砂漠、ヨーロッパのアルプス山麓などでの星空観光が人気を集めている。さらに、ハワイ島はもちろんチリやカナリー諸島でも天体観測施設への来訪も含めた星空観光が盛んになりつつあるという。このような動きは天文学の発展や普及に寄与するのであるか？

具体的な調査や地域間の関連付け等を行うために、著者らは2017年11月に14の自治体や日本公開天文台協会他と共に「宇宙ツーリズム推進協議会」を立ち上げ、宇宙×旅をテーマに日本における星空観光の推進を進めている（なお、「宙」には、空やSpaceも含むものとする）。2018年度の観光庁「テーマ別観光による地方誘客事業」に応募したところ、新規採択として応募27件中4件の一つとして採択された。本事業計画は3年間であり、初年度は特に星空観光に関する観光客ニーズと地域特性・課題について調査している。天文学にあまり関心の無い層へのアプローチの仕方や、国内外での成功事例の収集のほか、曇天・雨天時の対応や専門家によるガイドの効果や課題などを抽出する。また、本事業では、日本天文協議会等と協力して、公開天文台やプラネタリウム、天文学が学べる大学など多種の天文情報に簡便にアクセス可能なポータルサイト（天文情報データベース（仮称）ACCESS）を構築し2019年に公開する予定で、現在その検討が進められている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a 可視光直視分光器 V E G A の試用報告

竹内彰継, 山脇貴士 (米子高専)

VEGA とは株式会社昭和機械製作所が製造・販売している可視光直視分光器である。これは、グリズムによって1次スペクトルの5700 の光が直進するように設計されており、全長145mm、重量360gと非常にコンパクトな作りとなっている。また VEGA は、直視分光器であるが、スペクトルの結像レンズとスリットビューアを取付ければ本格的分光器として使用することもできる。このとき、スリットビューアではスリット幅が20,40,80 μm が「スリット無し」が選択できる。

本校では、VEGA 本体とスリットビューアのみを購入し、ビクセン製のカメラアダプタリングを改造して古いカメラレンズ2本をスペクトルとスリットビューアの結像レンズとして接続した。そして、ケンコー製Cマウントアダプタを介して、ピットラン製 CCD カメラ BJ41L でスペクトルが、イメージングソース製 CCD カメラ DFK21AU618 でスリット画像が撮像できる小型分光器とした。

テスト観測の結果、本校の組み合わせでは分光器の分散は580 /mm で、分解能は750であることが示された。また、スリットビューアを利用すれば、木星の大赤斑のような天体の特定の部分のスペクトルも容易に撮像できた。さらに、M57のような星雲も容易にスリット上にのせることができ、スペクトルが得られることが分かった。

近年、自作分光器での観測報告が相次いでいるが、スリットビューアまで備えた分光器の自作例はあまり報告されていない。VEGA は、メーカー品ではあるがスリットビューアを加えても比較的安価で、非常に実用性が高く地方大学や公共天文台に導入する分光器として最適であると考えられる。さらに、ハイエンドアマチュア天文家を分光観測へ導く強力な装置にもなると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a 国友レプリカ望遠鏡による太陽黒点スケッチの解析

野澤恵、青山実樹、高畑智優、田中秀憲、芳賀望美、吉田亘汰 (茨城大学)、萩野正興 (国立天文台)、
廣瀬一實 (「国友一貫齋」科学技術研究会)

国友一貫齋 (1778-1840 年) による太陽観測による黒点スケッチ (1835 年 2 月から翌年 4 月までの 158 日に渡り記録した) の画像をサイエンスデータとして整備と解析を行ない、2018 年春季年会で報告を行なった (Y06a)。

その国友一貫齋がスケッチを行なった反射望遠鏡のレプリカを国友鉄砲研究会会長である廣瀬一實氏が製作した。そこで 2000 年 4 月から 2016 年 12 月までの 17 年間に太陽黒点のスケッチを可能な限り行ってきた。そのスケッチから、ウォルフ相対黒点数 $R=k(10g+f)$ [ここで g : 黒点群数、 f : 黒点数、 k =観測機器等による係数] を求め、SIDC (Solar Influences Data Center) で発表されている値と比較した。また各月の平均の値と k を比較すると逆相関となり、小口径の望遠鏡による黒点群の評価を議論することができる。加えて、過去の研究に久保田、鈴木 (2003) があり、その結果とは矛盾しないことがわかった。また、国友一貫齋のオリジナル反射望遠鏡の太陽観測用の減光フィルターの波長透過についても調べ、特に赤外域は減光されていないことがわかった。

そして 11 月には、滋賀県長浜市で Dagik Earth のコンテンツとして黒点スケッチの発表イベントが計画されるなど、これからの展開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](#)

Y05a Gaia DR2 のデータと全天 H-alpha マップを用いた天の川画像の作成

加藤恒彦（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。これは宇宙の様々な観測や理論モデルに基づいて、地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して様々な天体や構造を見る事ができるソフトである。これまで、国立天文台三鷹キャンパスにある立体視ドームシアターで一般向け公開の上映などに使用されてきたほか、フリーソフトとしても公開をしており (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>)、教育用途、上映、展示、講演、個人での利用、など様々な用途で広く使われてきた。最近ではバーチャルリアリティ (VR) にも対応をしている。

Mitaka では、物理法則に基づいた「科学的可視化」も行っている。これまでも Gaia 衛星の DR1 のデータを用いて、個々の星々の位置と等級の情報からモノクロの天の川画像を作成し Mitaka の星空の背景として使用してきた。今年の 4 月には Gaia DR2 のデータがリリースされ、早速これに含まれる約 17 億の星のデータを用いて色の付いた天の川の画像を作成した。個々の星の情報から生成されるので、原理的には任意の解像度の天の川画像を作れるが、Mitaka 上では最大で 16K 相当のものを使用できるようになっている。これに加えて、地上観測 (VTSS/SHASSA/WHAM) による全天の H-alpha マップも取り入れて、Gaia の天の川に重ね合わせて表示できるようにした。Gaia の天の川も H-alpha マップも、SI 単位系での intensity で計算しているため、標準ではこれらの相対的な強度比は正しく再現される。さらに、メニューからそれぞれの成分の明るさを個別に変更することもできるようになっている。本講演では、この天の川画像作成についてお話しする。(この天の川画像を搭載した Mitaka は、予稿執筆時点ではまだ開発中であるが、6 月中にリリース予定である。)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06a 3D プリンタを用いたすばる望遠鏡模型の製作

白田-佐藤功美子, 中山弘敬, 藤原英明, 白田知史 (国立天文台)

市販の3Dプリンタを使って造形でき、かつ、触覚を使って理解できる模型開発をすすめている。視覚の有無を問わず、天文学に多くの人々が興味を持っているにも関わらず、視覚にたよるところが大きく、視覚障害者が理解するのが困難な事例が多い。これまでに国内外で点字や拡大文字、天体画像の触図などによる天文学の教科書が出版され、視覚障害者が天文学にアクセスしやすくなりつつある。その一方で、土星の環や原始惑星系円盤といった立体的な描像は、視覚の経験のない人にとっては触図では理解が難しい、という課題も見えてきた。そこで、3Dプリンタを使った模型作りに着手した。同様の試みは、海外でも進められており、IAU Division C Commission C1 Working Group "Astronomy for Equity and Inclusion" のウェブサイトにて事例が紹介されている。

本プロジェクトでは、すばる望遠鏡模型の作成から着手した。国立天文台を代表する望遠鏡のひとつであり、かつ、天体の模型や触図は多く存在しても、望遠鏡の教材が少ないからである。プロトタイプができた段階で、視覚特別支援学校の理科教員や視覚障害者に意見を求めたところ、(1) 標本や模型の触り方を習っている最中の生徒向けに単純化したバージョンと、(2) 触り方を習得済みの視覚障害者や、晴眼者向けの精密バージョンの2種類を作成するとよいことがわかった。単純化バージョンを量産した後、視覚特別支援学校にて出前授業を行った。凹面鏡での光の集め方を説明した2D模式図を使った上で、立体模型を触ってもらった。また、「3Dプリンタを使った立体模型作り」サイト (<http://prc.nao.ac.jp/3d/index.html>) を開設し、誰でもすばる望遠鏡の3Dプリンタ用ファイル(STLファイル)をダウンロードしたり、望遠鏡の解説を読んだりできるようにした。

本講演では、模型製作時や、出前授業時に行った工夫について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07a 大学シラバスの保存状況と宇宙・天文関係講義の変遷調査

玉澤春史（京都大学/京都市立芸術大学）

大学の教育課程においてシラバスは学生が講義を選択するための道具であるが、一方で各大学・教員がどのような講義内容を行っているかを一般に知らせるための広報資料でもある。公開されているシラバスを調査することによって大学教育の状況把握・比較をすることもできる（鴈野他 2018）。近年は履修登録をウェブシステム上で行うにともなって、かつては内容まで記載され、製本・配布されたシラバスも現在ではウェブ上でのみ存在することも少なくない。このため、教育課程の変遷をみるためには現在のウェブ上シラバスだけでなく紙版のシラバスとの比較が必須である。一方でそれまでの紙版のシラバスは学生への配布物であり、必ずしも保存対象と意識されていない場合もある。過去のシラバスがどのように管理されているかは大学や学部・研究科によってことなる。学部 1-2 回生向けの一般教養科目としての提供授業は共通教育担当部局が管理しており、また近年の組織再編の流れも相まって管理状況は流動的である。本報告ではシラバス管理調査を通じ天文・宇宙関連の講義がどのように再編整理されていったか、特定の大学に絞っての調査経過の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08a 学校が開催する天体観測会の天候不良時対応について

佐々井祐二（津山高専）

津山高専では、世界天文年 2009 を契機として小中学生対象の公開講座「天体観測会 - 君も未来のガリレオだ! - 」を年 4、5 回開催しており、地域住民から好評である。天体観測会では、教員と補助学生、さらに本校学術・社会連携推進室がチームを組み、補助学生の「教えることで教えられる」相互教育の場ともなっている。観望資料も毎回作成している。小中学生の受講生に加え保護者等も参加するので、参加者数は受講生数の 2 倍程度となる。そこで、時間内の観望天体数を考慮し、抽選された受講生定員を 20 名とし、定員に対する達成度も考慮し受講案内は 25 名に送っている。募集は津山市内小中学校に配布する受講チラシによって主に行い、切り取った受講申込書を本校学術・社会連携推進室に持参あるいは電話で申し込みをするようになっている。

本年も 4 月から補助学生のトレーニングを行った上で、5 月 18 日 (金) に第 1 回「口径 35cm 望遠鏡で金星と木星を見よう」を迎えるはずであった。5 月 21 日 (月) に予備日を設定してあったが、天候判断等の関係で 6 月 1 日 (金) に開催した。延期等の連絡について、以前は学術・社会連携推進室の職員が総出で電話連絡していたが、最近は本校公式ページのお知らせ欄で告知している。このような連絡方法に加えて大幅な延期開催であったが、幸いにも、受講案内した受講生 25 名の内 21 名とその保護者等を合わせて 41 名の参加があった。

予定日に開催したい。しかし、天候不良時には、参加者は減少すると思われるが裏番組を予定するのか、延期開催するのか、曇天であれば開催を強行するのか、悩みは尽きない。いずれにせよ受講生保護者の携帯メールアドレスがあると、確実な連絡を取りやすい。メールアドレス登録のためには Web 受付が望ましい。本発表では、今後の改善を見据えた受講者受付方法、天候不良時対応の考察を紹介し、各位のアドバイスを仰ぎたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b 国立天文台天文データセンターによる講習会の報告

亀谷和久, 田中伸広, 磯貝瑞希, 小澤武揚, 巻内慎一郎, 藤川真記子, 市川伸一, 高田唯史 (国立天文台)

国立天文台天文データセンターは、国内外の観測装置で取得された天文観測データの収集と研究者への発信を担うとともに、共同利用のデータ解析環境(多波長データ解析システム; e.g. 田中ほか, 2018年春季年会 Y15b)を提供している。これに加えて、国立天文台が属する大学共同利用機関法人自然科学機構の設置目的のひとつである「特色のある大学院教育を推進し、若手研究者の育成に務める」を達成し、昨今の膨大な情報量を持つ観測データの円滑な解析と効率的な科学成果の生産を支援するため、主に大学院生以上の天文学研究者を対象にした天文データ解析に関わる講習会を開催している。本講演では天文データセンター主催の講習会のうち、2013年度以降の5年間に開催したものについて概要と運営の実際を報告する。

天文データセンター主催の講習会は、この5年間に16回開催し、参加者はのべ141人であった。会場は国立天文台三鷹キャンパス内の共同利用室とし、遠方からの参加者には旅費補助を行なっている。講習会のテーマは、天文データ解析によく使われるプログラミング言語や解析ソフトウェア (IDL, IRAF/PyRAF, C, SQL, Jupyter notebook 等) を取り上げ、講師はこれらに精通した外部の研究者や天文データセンター職員が担当した。多くの講習会は2日間で構成され、テーマに沿った座学と、本物の天文観測データを多波長データ解析システムの計算機群を使用して解析する実習から成る。会場の計算機環境の制約から1回の定員は12名程度と少人数だが、講師と数人のチューターで丁寧に対応しており、参加者から好評を得ている。また、講師が作成した資料はウェブサイト (<https://www.adc.nao.ac.jp/J/cc/public/school.html>) にて公開している。毎回実施しているアンケート等を参考に内容や運営の改善を続け、今後も需要を捉えた講習会を開催していく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y10b 系外惑星観測実習を含む総合科学教育プログラムの開発および評価

水村好貴, 寺田昌弘, 出口雅規, 三木健司, 辻廣智子, 土井隆雄 (京都大学)

宇宙は人類にとって進出可能な新世界となり、国際宇宙ステーションに代表されるように国際協力の時代に発展した。日本では、国際宇宙ステーション計画への参加とともに宇宙実験・ロボットアーム操作・船外活動・宇宙貨物船の運用・宇宙飛行士による長期ミッションなどの有人宇宙技術の獲得が行われてきた。しかしながら、30年以上にわたる有人宇宙活動による技術獲得の間、その全体を系統立て理解し有人宇宙活動を率いていく人材育成が、大学レベルで行われることはなかった。現在の多様化する有人宇宙活動を支え、さらに宇宙産業を活性化・発展させる若い人材の育成が急務となっている。将来的に多様な職能集団を宇宙に送り出す事を鑑みれば、飛翔体工学・通信工学・ロボティクス・建設工学などのみでなく、微小重力・閉鎖空間・真空といった極限状態における生命科学、さらには宇宙法・経済学・倫理学などの人文社会科学まで、地上のあらゆる学問・専門領域の応用が必要で、これらをまとめた総合科学を創出する必要がある。

京都大学では、大学院生のように専門が強固になる前の学部生を主対象とした総合科学教育プログラムを開発し、講義と実習教育プログラムを提供している。この「有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの開発と実践」という試みにおける実習プログラムには、閉鎖環境におけるストレス反応を検討するもの、模擬微小重力における植物育成実験を行うもの、微小重力を体験し認知応答の変化を調査するもの他に、光学望遠鏡を用いた系外惑星観測とその分析を行うものがある。本講演では、講義における教育効果をコンセプトマップを用いて分析・評価した結果と、実習プログラム（特に光学望遠鏡による系外惑星観測）の状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11b 国立天文台野辺山における星空撮影会

衣笠健三, 井出秀美, 宮澤和彦, 御子柴廣, 羽多野聡美 (国立天文台), 大西浩次 (長野高専)

国立天文台野辺山宇宙電波観測所では、2016年度に2回(うち1回は実施できず)、2018年に1回、「野辺山観測所・星空撮影会」を一般向けのイベントとして実施した。観測所では通常、安全確保と観測環境保護のため夜間の見学者の入構はお断りしている。一方で、地元である南牧村は「日本三選星名所」のひとつにも選ばれた星空の美しい場所として認知されており、「構内で夜間に写真撮影をしたい」というご要望も少なくない。そのため、共同利用観測に影響がなく、また比較的天候のよい時期を選んで、「星空とアンテナ」を撮影する機会とした。

観測所の広報などに使用するためイベントで撮影した作品から何点か提供して頂くことを条件として、広く参加者を募集した。応募総数が80名以上と多数のため、参加者が30名程度になるように書類選考を実施した。開催にあたっては、前日の天候判断により決行するかどうかの判断をした。1回目は撮影時間から快晴となり、多くの参加者が満足するものとなった。ただ、2回目は中止、今年度実施した3回目は、見送り順延という措置をとった後決行したが、あいにくの雨となり、施設見学、施設撮影会という形となった。提供いただいた作品は、観測所の広報だけでなく、「長野県は宇宙県」をアピールするためにもたいへん重要なものとなっている。一方で、無線使用禁止などの観測所特有の事情などを理解して頂くなどのオリエンテーションと観測所の概要や役割を紹介する講演会も実施した。悪天候で施設撮影会を行った3回目の参加者からは「別の意味でたいへん貴重な時間だった」といった意見を頂くなど、撮影だけでなく、観測所の広報の意味でもたいへん貴重な機会となった。

このほか、南牧村・南牧村観光協会主催で実施した「野辺山タイムラブプロジェクト」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](#)

Y12b IBの教科書を用いた初等中等教育における国際的な天文教育の調査

福田尚也、時松武瑠（岡山理科大学）

IBとは、International Baccalaureate (国際バカロレア)の略で、国際的な教育プログラムである。国際的に通用する大学入学資格を与え、大学進学へのルートを目的として設置された。大学は多様な入試を実施しており、IBへの対応も行なっている。国内でもIBに対応した認定校が設置されており、これにともなって、IBで採用されている、アメリカで標準と考えられる国際的な教科書が国内にて購入が可能である。

日本の天文教育において、初等中等教育にて様々な問題点がこれまでに指摘されている。例えば、1) 小学6年生で「月と太陽」を取り上げられた後、中学3年生まで天文分野が理科で取り上げられず、天文教育の長い空白期間が存在する。2) 高校理科で天文分野は地学での取り扱いであるが、地学基礎の開設は文系の学生を対象として微増したが、地学の開設はごく少数であり、多くの理系大学生において天文学の学びは中学で終わってしまう。

今回、IBで用いられる中学校の理科の教科書を入手し、初等中等教育における国際的な天文教育と日本の天文教育の比較を目的として、内容の調査を行なったので、その結果について報告する。まず、特筆すべき点としては、中学の教科書は3分野で15冊もあり、天文学の分野も宇宙科学の教科書 Space Scienceとして1冊にまとめられていることがあげられる。その内容も日本の中学の理科と高校の地学基礎・地学で取り扱われる天文分野の内容を網羅し、小質量と大質量の星の進化の違い、銀河の分類など、高校地学の内容を定性的に含む。また、アメリカの教科書らしく Exploring Space (宇宙探検) といった章から始まるのも特徴であり、アメリカの国策としての宇宙探査が大きく取り上げられている。Citizen Science (市民科学) が大きく取り上げられたり、月食の取り扱いにおいても本影と半影も区別されているなど、日本の教育では取り扱わない内容も散見される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13b 人工衛星電波受信実験の高校物理教材化：科学教室形式での実践

内山秀樹, 小林尚輝 (静岡大学), 山本仁 (静岡大学附属浜松中学校), 佐藤航, 神尾誠也, 木下拓史 (日本大学三島高等学校), 島野誠大 (立教新座中学校・高等学校), 武井大 (立教大学), 松山福太郎 (静岡県西遠女子学園高等学校), 内山智幸 (青森県立十和田工業高等学校), 渡辺謙仁 (北海道大学)

近年の調査 (国立青少年教育振興機構 2014) によると、理科への学習意欲と有用感は日本の高校生では低い。一方で、天文・宇宙に関する興味関心は高い。そこで我々は、高校生が意欲の持てる宇宙から出発し、科学技術や社会との関わりを明らかにしつつ学習でき、理科 (物理) への有用感が増す教材を検討した。その結果、人工衛星電波の受信実験に着目し、その高校物理教材化を目指した研究を行っている。

衛星電波受信実験では、低軌道の超小型人工衛星からの電波を、手持ちの八木宇田アンテナで受信する。この中では、高校で扱う力学・波動分野の物理現象が、定量的に理解しやすい形で現れる。同時に、「衛星をはじめとする様々な科学技術が、高校で学ぶ理科と結びついていること」を実感し、理科の有用感を増す教材になり得る。

我々は、2016–2018 年にかけて希望者を対象とした科学教室形式で、衛星電波受信実験の教育利用の実践を行った。5つの中学・高校にて、合計で76名が受講した。科学教室の前後で力学概念指標調査 (Hestenes et al. 1992) とアンケートを行い、関連する物理内容の理解と理科の有用感の向上の効果、本教材の満足度を測定した。講義・実験に対する受講者の満足度は高かった。しかし、物理内容の理解と理科の有用感については、事前事後で顕著な向上は見られなかった。これは、短期の科学教室形式であったことと、理科への有用感が元々高い受講者が主であったことから、効果が表れにくかったためと考えられる。今回の実践の反省を踏まえた教材の改善をした上で、より多様な受講者に対して実際の授業内での実践・調査を今後行なっていく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)