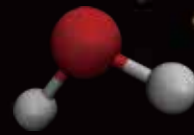
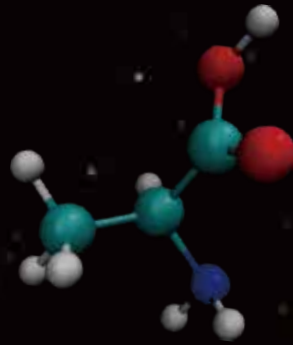
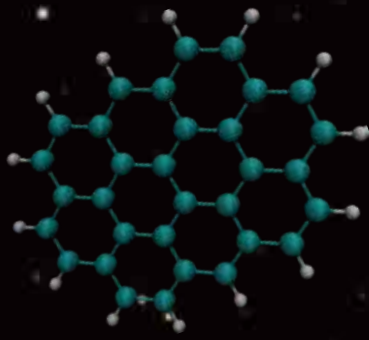


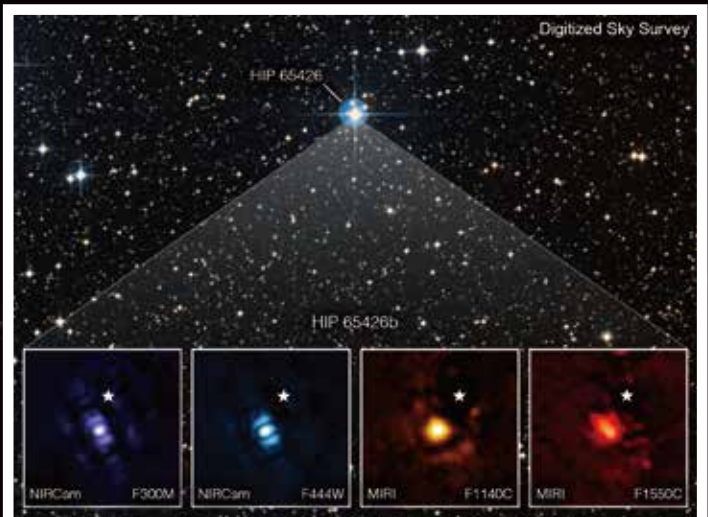
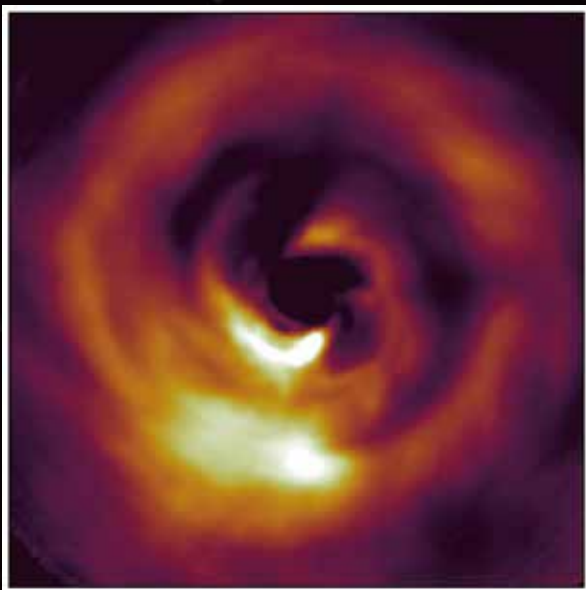
日本語版



Astrobiology Center

ANNUAL REPORT

2022



【表紙説明】

低温度星周りの地球型惑星のイメージ。上部の分子モデルは右から水分子・L- アラニン・多環芳香族炭化水素。

【表紙下部説明】

【左上】すばる望遠鏡によるぎょしゃ座 AB 星 (AB Aur) の赤外線画像。中心にある主星は隠してある。画像の下部にある明るい領域は産まれたばかりの原始惑星だと考えられる（クレジット：T. Currie/Subaru Telescope, 2022 年 4 月 5 日 ABC リリース）

【左下】植物が蛍光を発する惑星のイメージ図（クレジット：アストロバイオロジーセンター、2023 年 1 月 11 日 ABC リリース）

【右下】JWST による系外惑星 HIP 65426 b の直接撮像の図（下部の図）。左が波長 3, 4, 11, 15 μ m。主星はそれぞれ★印で示してある。背景は可視光によるデジタルカタログから抜粋された画像。（クレジット：NASA/ESA/CSA and A. Pagan (STScI)、2022 年 9 月 1 日 ABC リリース）

画像提供：

Subaru Telescope、NASA/ESA/CSA and A. Pagan (STScI)、
Mitaka: (c)2005 加藤恒彦, 4D2U Project, NAOJ (一部改変)
ゆるキャラ： Hayanon Science Manga Studio



アストロバイオロジーセンター年次報告

第6冊 2022年度

目次

はじめに

1	組織	03
2	活動状況	06
3	研究ハイライト	08
4	研究連携	33
5	成果論文・発表リスト	39
6	財務	62
7	外部資金	63
8	大学院教育	65
9	公開事業	66
10	海外渡航	66
11	年間記録	67

巻頭言

アストロバイオロジーセンター (Astrobiology Center、略称 ABC) は、自然科学研究機構直轄の新しいセンターとして 2015 年から運用されています。多分野が融合したアストロバイオロジー研究を推進し、日本のコミュニティに貢献する、現在、我が国で唯一の大学共同利用機関内のアストロバイオロジー機関です。今年度で設立後 7 年目を迎えましたが、事業・研究は順調に推移しています。

アストロバイオロジーセンターは、太陽系を超えた「場所」に存在する惑星（太陽系外惑星）を検出し、究極的には宇宙における生命のバイオシグナチャーを確認します。そのような地球以外の場所における生命を多数宇宙に検出することによって、宇宙（ユニバース）におけるユニバーサル生物学、あるいは多様性惑星生物学の展開が初めて可能になることが期待されます。

そのためには、生命を宿すために最適な惑星候補を発見し、また、現在あるいは次世代の大型望遠鏡のための装置開発を行うことも必要となります。このようなビジョン・ミッションの下に、異分野が連携した国際的研究拠点化を進めると同時に、激しい国際競争に打ち勝つセンターを構築し、国内外の大学・研究機関と協力した先端的な共同利用・共同研究と新分野を担う若手人材育成を推進し、アストロバイオロジーの研究、とりわけ、系外惑星の先端的観測および装置開発と光合成を含むバイオシグナチャーの研究を推進しています。

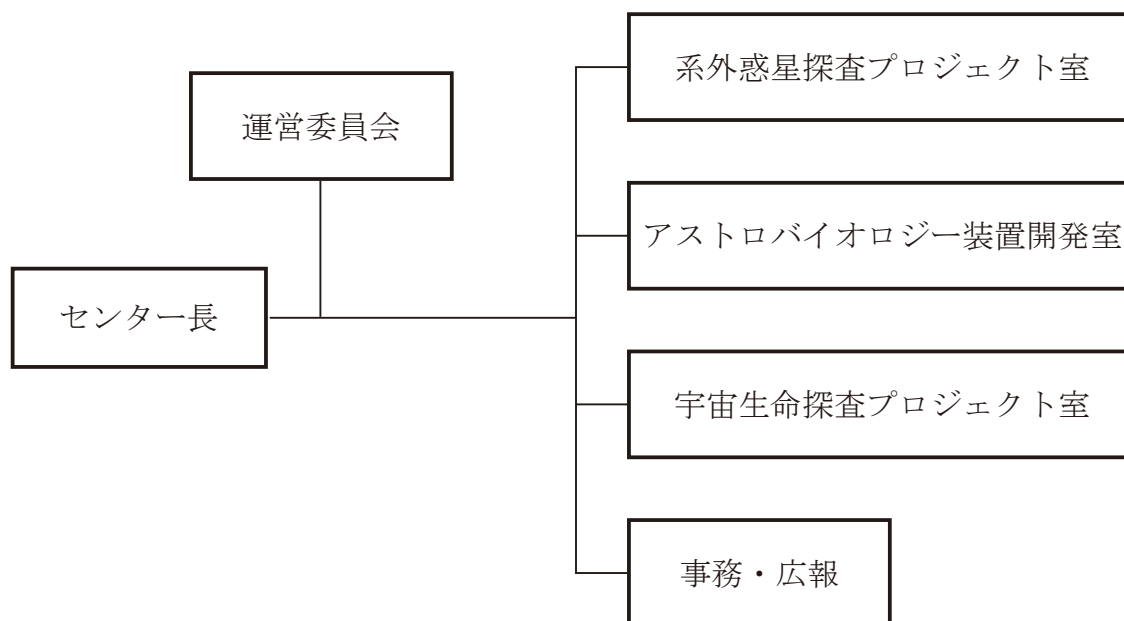
2022 年度から 2027 年度は、文部科学省の第 4 期中期目標期間に対応し、いわば ABC の成長期に対応します。2022 年度はとりわけセンターが主導する第一期の観測装置による科学的成果の輩出が本格化しました。また、光合成を中心とする基礎生物学的知見と天文学が融合した成果も充実してきました。

すばる 8m 望遠鏡における戦略的観測 SEEDS プロジェクトが「第二の木星」や多数の「惑星形成現場」を直接に撮影することに成功しましたが、現在は超補償光学系 SCEXA0 を用いた系外惑星の撮像分光観測が実現され、本格的な科学的成果が得られ始めました。一方、すばるの高精度赤外線分光器 IRD や、TESS 衛星のフォローアップカメラ MuSCAT シリーズによる、多数の軽い恒星（太陽のような星とは違う環境）での大規模な第二の地球の探査も進行中です。そのような異環境における生命の証拠の生物学的な研究も当センターのミッションであり、天文学と生物学が密接に結びついた成果を今後も継続的に発信して行きたいと思います。

アストロバイオロジーセンター センター長
田村 元秀

1. 組織

1.1 アストロバイオロジーセンター組織図



1.2 職員数・研究組織・運営委員

2022年度：

(2023年3月31日現在)

常勤職員	センター長（特任教授）	1
	外国人特命教授	2
	研究教育職員	6
	[内訳] 助教	6
	年俸制職員	14
	[内訳] 特任准教授	1
	特任助教	4
	特任研究員	4
	特任研究員（科研費）	2
	特任専門員	1
非常勤職員	短時間契約職員	8

・幹部職員

センター長 田村 元秀 （CA, 本務：東京大学）

・系外惑星探査プロジェクト室

室長・特任教授 田村 元秀

助教	中島 紀
助教	平野 照幸
特任助教	堀 安範
特任助教	Livingston, John
特任研究員	寶田 拓也
特任研究員	Nugroho, Stevanus K.
特任研究員（科研費）	石川 裕之
RCUH	工藤 智幸
RCUH	原川 紘季
研究支援員	Yang Yi（楊 毅）

・宇宙生命探査プロジェクト室

室長・特任准教授	滝澤 謙二
特命教授	Meadows, Victoria（CA, 本務：ワシントン大学/NASA）
助教	定塚 勝樹
助教	藤田 浩徳
特任助教	葛原 昌幸
特任研究員	小松 勇
特任研究員	上妻 馨梨（2023年1月31日退職、京都大学へ異動）
技術支援員	石根 直美
技術支援員	武川 永子

・アストロバイオロジー装置開発室

室長・助教	周藤 浩士
特命教授	Guyon, Olivier（CA, 本務：アリゾナ大学）
助教	小谷 隆行
助教（併任）	西川 淳（本務：国立天文台）
助教（併任）	上田 暁俊（本務：国立天文台）
特任助教	橋本 淳
特任研究員	大宮 正士
特任研究員（科研費）	高橋 葵
RCUH	Vievard, Sebastien
研究支援員	黒川 隆志

・広報／事務／総務

特任専門員	日下部 展彦
-------	--------

広報普及員	神鳥 亮
事務支援員	片岡 幸枝
事務支援員	市野 更織
事務支援員	山口 千優

※ CA: クロスアポイントメント

※ RCUH: ハワイにおける派遣職員

1.3 運営委員会

2022年度 12名

常田 佐久	アストロバイオロジーセンター担当理事／国立天文台 台長
田村 元秀	センター長／東京大学大学院理学系研究科／国立天文台 教授
観山 正見	元理事 / 岐阜聖徳学園大学 学長
井田 茂	東京工業大学地球生命研究所 教授
小林 憲正	横浜国立大学大学院工学研究院 名誉教授
高井 研	海洋研究開発機構 プログラムディレクター
田近 英一	東京大学大学院理学系研究科 教授
山岸 明彦	東京薬科大学生命科学部 名誉教授
大石 雅寿	国立天文台 特任教授
皆川 純	基礎生物学研究所 教授
藪田 ひかる	広島大学大学院理学研究科 准教授
鈴木 志野	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 准教授

1.4 執行委員会

田村 元秀	センター長／系外惑星探査プロジェクト室 教授
滝澤 謙二	宇宙生命探査プロジェクト室 特任准教授
小谷 隆行	アストロバイオロジー装置開発室 助教
日下部 展彦	特任専門員

2. 活動状況

2015 年（平成 27 年）4 月に組織再編（「宇宙における生命」研究分野の発展的改組）により、機構直轄の国際的共同研究拠点として、アストロバイオロジーセンター（以下、「センター」という）が設置された。センターは、TMT などの次世代超大型望遠鏡の完成・運用開始を見据え、宇宙に生命の存在確認を目指す「アストロバイオロジー」を重点推進することをミッションとする。海外の大学・研究機関から研究者を招致するとともに、基礎生物学研究所をはじめとする機構内の関係機関及び大学等と連携し、国際的且つ先端的な共同利用・共同研究・大型装置開発を推進している。

2018 年 1 月より、国立天文台の太陽系外惑星探査プロジェクト室が発展的解消を遂げ、全てをアストロバイオロジーセンターが引き継いだ。現在は、系外惑星探査プロジェクト室・アストロバイオロジー装置開発室・宇宙生命探査プロジェクト室の 3 室体制で研究・開発を推進している。センターの 2022 年度の活動概要は以下のとおりである。

a) 系外惑星探査プロジェクト室

ハビタブル地球型惑星探査装置 IRD を用いて、軽い恒星まわりの系外惑星探査をすばる望遠鏡戦略枠観測（SSP）として継続して推進した。その最初の成果として、ハビタブルゾーンを横切るスーパーアースを発見した。また、わずか 22pc の距離にある地球サイズの惑星を発見した。すばる望遠鏡用超補償光学装置 SCExAO と面分光器 CHARIS により、原始惑星系円盤に埋もれた原始惑星を発見した。国内外の口径 2m 級の 3 台の望遠鏡に搭載された可視光多色カメラ MuSCAT シリーズや IRD を用いて、NASA/TESS 宇宙望遠鏡による系外惑星候補のフォローアップ観測を推進した。さらに、JWST 宇宙望遠鏡を用いた熱赤外線における系外惑星の直接観測の国際プロジェクトに参加した。

b) アストロバイオロジー装置開発室

すばる望遠鏡のためのハビタブル地球型惑星探査装置 IRD の安定的な保守・運用を行なった。また、超補償光学装置 SCExAO や系外惑星観測装置（MuSCAT シリーズ、CHARIS 分光器）の開発・保守・運用も進めた。

南アフリカに新しく設置された 1.8m 望遠鏡 PRIME に搭載するための赤外線高分散分光器 SAND の開発を推進した。ハワイにある Keck 望遠鏡への搭載を目指して開発中の回折限界近赤外高分散分光器 HiSPEC の開発を進めた。これは、TMT の第一期観測装置である近赤外高分散分光器 MODHIS にアップグレードされる予定である。将来装置としては、すばる望遠鏡用の SCExAO を拡張することによる TMT のための系外惑星直接撮像分光装置の開発案について継続して議論した。

c) 宇宙生命探査プロジェクト室

生命探査室の生物実験体制を強化するため、基礎生物学研究所を通して実験補助のための技術支援員を雇用し、所内の他部門との連携により実験環境を拡張した。自然界における秩序形成過程の観察、プラズマの生命への影響評価のための新たな実験系をそれぞれ確立した。南極の藻類が赤外線を利用するために有する光合成タンパク質の構造を明らかにし、その成果を出版した。また、センター内

の分野横断チームにより、系外惑星における新たなバイオシグナチャーとして光合成色素由来の蛍光の検出可能性を検討しその成果を出版した。基礎生物学研究所を通し、総研大基礎生物学コースの学生を受け入れた。

d) 公募研究

公募研究プログラムとして、アストロバイオロジーの裾野を広げるための「プロジェクト研究（単年度）」と、アストロバイオロジー分野における当センターとは異なるテーマを研究する副拠点として、有機的な研究連携をするための「サテライト研究（3年間）」の公募研究を実施した。16件（13機関）のプロジェクト研究、3件（2機関）のサテライト研究を採択し、その成果発表会を2023年2月に国立天文台およびZoomにて開催し、約100名の参加者があった。

e) クロスアポイントメントによる外国人教員

系外惑星直接観測手法で世界的に有名なOlivier Guyon氏およびアストロバイオロジー分野でも著名なVictoria Meadows氏を、それぞれアリゾナ大学とワシントン大学のクロスアポイントメントにより、特命教授としてアストロバイオロジー装置開発室および宇宙生命探査プロジェクト室において引き続き雇用した。

f) 国際連携

スペインのInstituto de Astrofisica de Canarias (IAC) と締結したMOUに基づき、カナリア諸島にある1.5m望遠鏡においてMuSCAT2の運用を継続して推進した。また、Las Cumbres Observatory (LCO) と締結したMOUに基づき、ハワイ・マウイ島ハレアカラ山頂にある2m望遠鏡へ搭載した多色同時撮像装置MuSCAT3の運用を推進した。

TMTのための系外惑星観測装置（HISPEC/MODHIS および PSI）の検討をカリフォルニア工科大学等と進め、装置開発を開始した。

g) 広報普及

COVID-19の影響が減る中、センターが主催するシンポジウムとワークショップなどはハイブリッドで開催となった。センターにおける研究成果は継続的にウェブサイトからプレスリリースを行い、公募研究の成果も含め10件発信した。一方で、10月にウェブサイトが不正に改ざんされるインシデントに見舞われた。その後、さらにセキュリティの固いサーバ環境において復旧を完了した。

例年実施している国立天文台が主催する特別公開は事前申し込みの人数制限を行い、オンラインと合わせて実施した。その中で当センターでは対面ではポスターや展示を実施し、オンラインではセンターの研究者インタビュー5本（生物系4名、天文系1名）を公開した。対面では、現地参加者は100名以上、動画の閲覧数は各20～40アクセスであった（2022/10/17-11/4）。

3. 研究ハイライト

(2022 年 4 月 ～ 2023 年 3 月)

	タイトル	著者	頁
1	IRD-SSP による M 型矮星 Ross 508 を周回するスーパーアースの検出	原川、他	9
2	ケプラー宇宙望遠鏡による惑星候補の中で最も近い地球型惑星を発見	平野、他	10
3	Exoplanet Atmospheres Seen through High-resolution Spectroscopy	Nugroho	11
4	多数の浮遊惑星の赤外線分光観測	Bouy, 田村	12
5	ウェブ宇宙望遠鏡による系外惑星の直接観測：波長 1-20 μ m の赤外線スペクトル	Miles、田村、他	13
6	原始惑星の撮像：ぎょしゃ座 AB 星 b	Currie、田村、他	14
7	Planetary Harvest: Reaping Insights Through Diverse Methods	Livingston	15
8	プレアデス星団における視線速度法を用いた短周期惑星探索	寶田、他	16
9	新しいターゲット選定方法が可能にしたヒアデス散開星団の F5 型星 HIP 21152 を周回するベンチマーク褐色矮星の発見と直接撮像	葛原、他	17
10	複雑有機分子が極低温の分子雲内でできる過程を量子化学計算で検証	小松、他	18
11	浮遊植物集団の分光反射特性	滝澤	19
12	植物の生理応答をリアルタイムに計測する超小型分光センサの開発	上妻、他	20
13	生命に及ぼすプラズマの影響	定塚	21
14	大腸菌における細胞集団の時空間的自己組織化	藤田	22
15	南アフリカ望遠鏡用高分散分光器 SAND と HISPEC/Keck および MODHIS/TMT 搭載を目指したエシェール回折格子の開発	小谷	23
16	南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 SAND の開発	高橋、他	24
17	系外惑星探索用高分散分光器 GAOES-RV 制御 GUI の開発	大宮、他	25
18	スペックルが変化する状況下における高コントラスト観測のためのスペックル領域消光法に基づくコヒーレント差分撮像法	西川	26
19	大気散逸する短周期スーパーアースの軌道進化	堀	27
20	スパースモデリングとスペクトル脱混合を用いた地球型系外惑星における惑星マッピング	栗田、他	28
21	SR 21 における原始惑星系円盤構造の謎を解明	楊	29
22	超低質量天体 ZZ Tau IRS の非対称円盤における粒子成長	橋本、他	30
23	星なし分子雲コアの密度・磁場構造と磁気平衡解モデルとの比較	神鳥	31
24	微視的量子飛躍：観測問題の一解釈	中島	32

IRD-SSP による M 型矮星 Ross 508 を周回するスーパーアースの検出

原川 紘季¹, ほか IRD-SSP チーム

1: すばる望遠鏡

M 型矮星における系外惑星探索

M 型星における系外惑星探索は、多様な恒星における惑星形成の過程を明らかにする上で重要である。しかし、有効温度の低さから、輻射強度のピークが近赤外波長域にあるので、可視光を前提としたこれまでのサーベイでは限定的な範囲の探索に留まっていた。特に有効温度が低い晩期の M 型星では、惑星の検出例がほとんどなく、惑星個々の特徴や統計的な性質についてまだ明らかになっていない。すばる望遠鏡戦略的観測 IRD-SSP は晩期 M 型星をメインターゲットに設定したドップラー法による系統的かつユニークな系外惑星探索プロジェクトで、すばる望遠鏡と近赤外線高分散分光器 IRD (InfraRed Doppler instrument) を駆使して 2019 年からサーベイを推進してきた。本稿では IRD-SSP で検出した最初の系外惑星となるスーパーアース Ross 508 b について報告する。

Ross 508

Ross 508 (別名: LSPM J1523+1727) は、地球からおよそ 11.2 pc 離れた位置にある M 型星で、スペクトル型 M4.5 [1], 金属量 $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.20 \pm 0.20$ [2] であることが報告されている。これらの量を踏まえて、測光値・金属量と質量の経験則および GAIA, 2MASS, WISE による複数バンドの測光観測を用いてスペクトルエネルギー分布の解析を行なったところ、有効温度 ~ 3071 K, 質量 $\sim 0.18M_{\odot}$, 半径 $\sim 0.21R_{\odot}$ と推定された。

視線速度精密測定による惑星 Ross 508 b の検出

我々は Ross 508 の呈するわずかな視線速度変動を継続的にモニターし、数年に渡って合計 103 のデータを取得した (図 1)。得られた視線速度の周期性を調べたところ、およそ 10.7 日周期の有意な視線速度変動が存在することがわかった。視線速度の周期的な変動は実際に惑星が存在し、恒星を周回することによって引き起こされる中心星のわずかなふらつきを示すだけでなく、恒星自身の表面に黒点や白斑といった活発な彩層活動領域が存在し、それが恒星の自転と共に移動していることで引き起こされる擬似的な変動の可能性も考えられる。活動領域が存在すると、恒星スペクトルの吸収線の形状 (線輪郭) が時間変動する

ので、我々は線輪郭の形状を示す複数の指標を IRD スペクトルから導出し、それらの変動周期が視線速度のものと同期しているかを精査した。その結果、10.7 日の視線速度変動は恒星の活動性を示すどの指標とも同期しておらず、惑星の存在による恒星の運動に由来するものであることが明らかとなった。

推定された惑星 Ross 508 b は (最小) 質量 $4M_{\oplus}$ のスーパーアースで、軌道離心率は精度が十分とは言えないものの、およそ 0.3 程度と高めであることが示唆された。また、平均的な軌道半径はハビタブルゾーンの内側境界よりもわずかに内側であることがわかった。ただ、推定した軌道離心率が正しい場合、遠日点付近の軌道はハビタブルゾーンに含まれるため、将来の 30m クラス望遠鏡やスペースミッションによる惑星の表層環境や生命探索におけるユニークなターゲットとなると期待される。

Ross 508 b は近赤外線スペクトルから得られた視線速度のみを用いた最初のスーパーアース検出例であり、IRD の精度の高さを示した。今後、同様に IRD-SSP から惑星検出の続報を予定しており、サーベイの完遂を目指す。

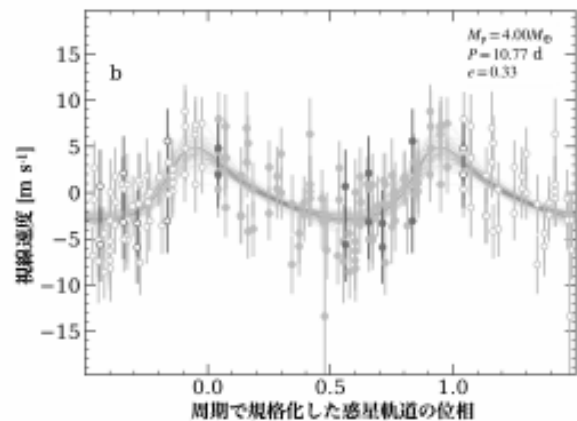


図 1 検出された惑星 Ross 508 b の視線速度変動。 [3]

参考文献

- [1] Koizumi, Y., Kuzuhara, M., Omiya, M., et al. 2021, PASJ, 73, 154.
- [2] Ishikawa, H. T., Aoki, W., Hirano, T., et al. 2022, AJ, 163, 72.
- [3] Harakawa, H., Takarada, T., Kasagi, Y., et al. 2022, PASJ, 74, 904.

ケプラー宇宙望遠鏡による惑星候補の中で 最も近い地球型惑星を発見

平野照幸^{1/2}、LIVINGSTON, John^{1/2}、笠木 結¹、石川裕之^{1/2}、宮川浩平¹、松本侑士¹、小久保英一郎¹、生駒大洋¹、原川紘季¹、堀 安範^{1/2}、小谷隆行^{1/2}、KRISHNAMURTHY, Vigneshwaran^{1/2}、工藤智幸¹、黒川隆志²、葛原昌幸^{1/2}、西川 淳^{1/2}、大宮正士^{1/2}、高橋 葵^{1/2}、寶田拓也^{1/2}、上田暁俊¹、VIEVARD, Sebastien¹、DAI, Fei³、SERABYN, Eugene³、GRZIWA, Sascha⁴、LAM, Kristine⁵、SMITH, Alexis⁵、成田憲保⁶、木村真博⁶、福井暁彦⁶、幾田 佳⁶、川内紀代恵⁶、森 万由子⁶、田村元秀⁶、SERRANO, Luisa⁷、GANDOLFI, Davide⁷、WINN, Joshua⁸、WISNIEWSKI, John⁹、TENG, Huan-Yu¹⁰、佐藤文衛¹⁰、COCHRAN, William¹¹、GUENTHER, Eike¹²、KNUDSTRUP, Emil¹³、KORTH, Judith¹⁴、PERSSON, Carina¹⁴、LUQUE, Rafael¹⁵、ORELL-MIQUEL, Jaume¹⁶、PALLE, Enric¹⁶、REDFIELD, Seth¹⁷、VAN EYLEN, Vincent¹⁸

1: 国立天文台, 2: アストロバイオロジーセンター, 3: カリフォルニア工科大学, 4: ケルン大学, 5: ドイツ航空宇宙センター, 6: 東京大学, 7: トリノ大学, 8: プリンストン大学, 9: ジョージ・メイソン大学, 10: 東京工業大学, 11: テキサス大学, 12: カール・シュヴァルツシルト天文台, 13: オーフス大学, 14: チャルマース工科大学, 15: シカゴ大学, 16: カナリア天体物理研究所, 17: ウェズリアン大学, 18: ロンドン大学

近年、太陽よりもずっと低温度・低質量な「M型矮星」のまわりで多くの系外惑星が発見されている。特に、TRAPPIST-1系の惑星に代表されるM型矮星まわりのトランジット惑星は、地球のような小型惑星であっても相対的に深いトランジットを生み出すため、30m級望遠鏡をはじめとする将来の大型望遠鏡による観測計画において極めて重要なターゲットとなる。ただし、惑星大気等の詳細な特徴づけが可能な太陽系近傍に存在するM型矮星を主星とするトランジット惑星系の数は現時点で非常に限られており、例えば地球から30パーセク以内に限れば30系程度しか見つかっていない（しかもその大半は主星の半径が比較的大きい「早期M型矮星」である）。¹

我々は、将来の系外惑星大気観測に適した小型惑星を発見するため、2015年頃から太陽系近傍に存在するM型矮星まわりのトランジット惑星の探査を実施している。我々はケプラー宇宙望遠鏡が実施した第二次トランジット探査ミッション（K2）[1]で2017年から2018年にかけて取得されたデータを解析することで、EPIC211414619（K2-415）と呼ばれるM5型矮星のまわりに公転周期約4.02日の惑星候補を検出した。一方、通常衛星によるトランジット探査では食連星等の偽検出が多く含まれるため、地上からの追観測によって惑星候補天体が本物の惑星であることを確認する必要がある。我々は、すばる望遠鏡IRCSを用いたAO撮像観測やIRDを用いた近赤外高分散分光観測を実施し、EPIC211414619の光度曲線で見られた周期的な減光（図1）が食連星等によるものではなく真の惑星（「K2-415b」と名付けられた）によるものであることを確認した。なお主星のK2-415は、2021年にケプラー宇宙望遠鏡の後継機であるTESSでも観測され、得られた光度曲線の周期解析によって同様に周期約4日の惑星が検出された。我々はK2とTESSで取得された光度曲線を組み合わせて解析することで、K2-415bは半径が地球の 1.015 ± 0.051 倍のほぼ地球サイズの惑星であることを突き止めた。さらに、IRD観測によるK2-415の視線速度の変化から、K2-415bの質量は7.5地球

質量未満（95%信頼度）であることを明らかにした[2]。

K2-415系は地球からの距離が22パーセクで、発見されているトランジット惑星系の中でも特に近く、とりわけケプラー宇宙望遠鏡がこれまでに発見したものの中で最も太陽系に近い惑星系となった。また、主星のK2-415はトランジット惑星を持つ恒星の中でも最も低温度（低質量）な恒星の一つで、これまでに地球型トランジット惑星が見つかったK2-415よりも低温な（＝より晩期の）恒星はTRAPPIST-1、LP791-18、LHS1140、Kepler-42の4つしか存在しない。そのためK2-415は、太陽系から近く特に近赤外線で見えることも合わさって、大型望遠鏡による将来観測の重要なターゲットとなると期待されている。

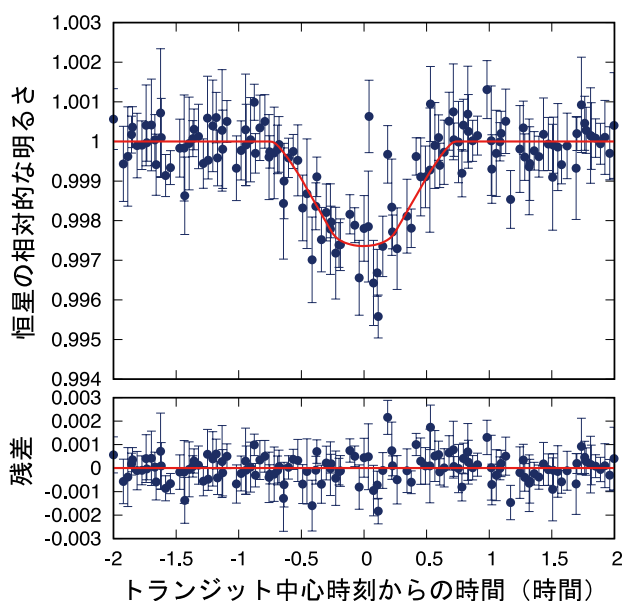


図1. K2ミッションで得られたEPIC211414619（K2-415）のトランジット付近の光度変化。K2-415bの周期で折りたたむことで複数のトランジットを同時にプロットしてある。赤の実線は最適モデルを表す。

参考文献

- [1] Howell, S. B., et al.: 2014, *PASP*, **126**, 398.
- [2] Hirano, T., et al.: 2023, *AJ*, **165**, 131.

1 <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>

Exoplanet Atmospheres Seen through High-resolution Spectroscopy

NUGROHO, Stevanus K.^{1,2}

1: Astrobiology Center, 2: National Astronomical Observatory of Japan

With a day-side temperature of ~ 3300 K, WASP-33b is one of the hottest planets known to date. Due to this extreme temperature, the emission signature of atomic and molecular species such as Fe, TiO and OH have been detected in the day-side atmosphere of the planet [1, 2, 3]. Here, we followed up our previous detection of OH on its day-side post-eclipse using IRD/Subaru [3] by observing the planet pre- and post-eclipse for 4 additional half nights. Using these IRD datasets, we were able to confirm the emission of OH (9.1σ), Fe (10.4σ), Ti (5.8σ) and Si (7.6σ), and find evidence of H₂O ($\sim 4\sigma$). Interestingly, while Fe and Si are seen pre- and post-eclipse, the signal of OH, Ti, and H₂O can only be found post-eclipse indicating a non-uniform distribution across the day-side (see Fig 1). This suggests that atmospheric processes, as well as potential changes in the T-P profile, vary significantly across the planet’s dayside. The weak signal from H₂O suggests that it is dissociated in the upper atmosphere into OH, consistent with theoretical predictions. Additionally, from the cross-correlation maps, the signal of OH is the strongest just after the secondary eclipse and gets weaker further along the orbit. We hypothesise that the OH signals are coming from a local region near the morning terminator where the H₂O that formed on the cooler night side is brought by the strong winds to the day side where it becomes dissociated to OH.

Next, using data taken by ESPRESSO at the VLT during the transit across multiple epochs, we characterised the atmosphere of WASP-121b. WASP-121b is a Jupiter-sized planet orbiting extremely close to its F-type host star leading to a hot atmosphere with an equilibrium temperature of 2300 K. As a result, we detected Fe, Mg, Cr, V, Ti, Na, and Ca at high significance ($> 11\sigma$) [4]. Thanks to the strong signals, we were able to constrain their relative chemical abundance and found them to be consistent with the stellar values. Interestingly, the constrained relative chemical abundances and temperature-pressure profile are consistent across multiple observations using different observation modes and instruments. This result suggests that the atmosphere is stable and that the preprocessing we developed to process the model as we process the data works well [5].

Lastly, we searched for chemical species in the atmosphere of GJ 486b, a terrestrial exoplanet orbiting an M3.5 star, during the transit using IRD/Subaru, IGRINS/Gemini South, and SPIRou/CFHT. We found no robust atmospheric signal and could not rule out a high mean molecular weight secondary atmosphere or cloudy H₂/He-dominated atmosphere due to the limita-

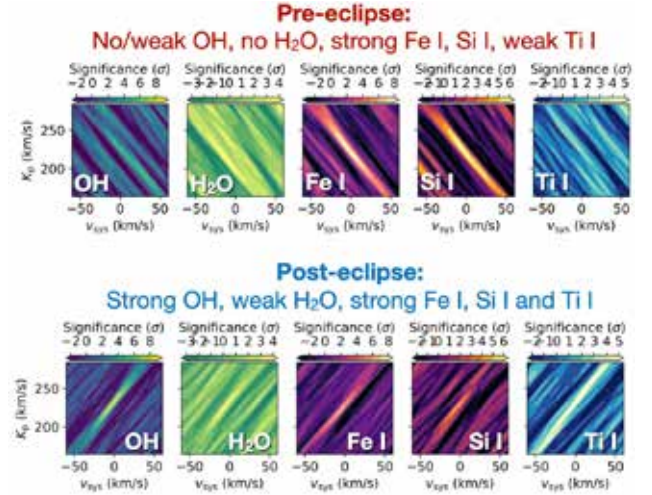


Figure 1: The significance maps of chemical species pre- and post-eclipse phases calculated using likelihood mapping as a function of orbital velocity (K_P) and systemic velocity (v_{sys}). The signal is expected to appear around a $K_P \approx 224$ km/s and $v_{\text{sys}} \approx -3$ km/s.

tion of the data quality. However, we were able to rule out a clear H₂/He-dominated atmosphere or pure water-vapour atmosphere scenario [6].

We show that the existing facilities are sensitive to the non-homogenous properties as well as the chemistry of the close-in gas giant atmospheres. It is an important step toward understanding the diversity of exoplanet atmospheres. For the atmosphere of smaller and colder exoplanets, however, a much bigger telescope such as TMT is required to characterise their atmospheres unambiguously.

References

- [1] Nugroho, S. K., et al. 2017, AJ, 154, 221;
- [2] Nugroho, S. K., et al. 2020, ApJ, 898, L31;
- [3] Nugroho, S. K., et al. 2021, ApJ, 898L, 31N;
- [4] Maguire, C., Gibson, N. P., Nugroho, S. K., et al. 2023, MNRAS, 519, 1030M
- [5] Gibson, N. P., Nugroho, S. K., et al. 2022, MNRAS, 512, 4618
- [6] Ridden-Harper, A., Nugroho, S. K., et al. 2023, AJ, 165, 170R

多数の浮遊惑星の赤外線分光観測

Bouy, H.¹ 田村 元秀^{2,3,4}

1: ボルドー大学, 2: アストロバイオロジーセンター, 3: 東京大学, 4: 国立天文台

はじめに

系外惑星は太陽以外の星を周回する天体である。一方で、惑星と同じく軽量天体でありながら、恒星の周りを周回せずに宇宙空間を漂う天体の存在が、2000 年頃から日本、英国、スペインの各グループの独立な観測により明らかになってきた^[1]。これらは「(自由)浮遊惑星 (free-floating planets)」と呼ばれている。質量が木星質量の約 13 倍より軽い天体で、近くに明るい恒星が存在しないため、宇宙空間に孤立して浮遊しているものと考えられている。

浮遊惑星は、褐色矮星と同様に、質量が小さいために核融合を起こして自ら輝くことができず、低温度の非常に暗い天体である。そのため、浮遊天体を直接に画像として捉え、そのスペクトルを調べた例は限られており、直接観測による発見自体も散発的なものに留まっていた。

そのような状況の下、さそり座からへびつかい座にかけての星形成領域で位置天文衛星のデータを組み合わせ、星の固有運動をさらに精密に求めた結果、こ

の星形成領域にあると推定されるおよそ 100 個もの、惑星質量と考えられる低光度天体を発見した^[2]。

本研究では、これらの天体の性質をさらに詳しく調べるために、赤外線分光観測を行った^[3]。

観測と結果

本観測により多数の浮遊惑星の近赤外線スペクトルを得ることが出来た。浮遊惑星は非常に低温で暗い天体のため、大型望遠鏡による赤外線分光観測が不可欠となる。本研究で用いた観測装置は、口径 8.2m のすばる望遠鏡に搭載された東京大学 TAO 望遠鏡用の赤外線分光器 SWIMS と、口径 10.4m のカナリー大型望遠鏡に搭載された EMIR 分光器である。

取得された赤外線スペクトルから、以下の 4 点に基づいて、これらの浮遊惑星が実際に、低表面重力で年齢が若く、惑星質量天体であることが証明された：

- (1) H_{cont} インデックスによって測定された H バンド連続光の形、
- (2) $J - K_s$ の色、
- (3) 若い L 型星の標準的近赤外線スペクトルとの比較、
- (4) 表面重力の指数。

結果、観測された 17 個の天体のうち、16 個は天体の若さを支持する複数の証拠を持ち、1 個のみ結論が出なかった。これらの天体の有効温度は 1220–2060 K の範囲にあり、光度から求めた質量は 0.004–0.013 太陽質量、つまり惑星質量天体であると結論した(図 1)。これほど多くの浮遊惑星の分光スペクトルが得られたのは初めてである。

参考文献：

- [1] Tamura, M. et al. 1998, *Science*, **282**, 1095
- [2] Miret-Roig, N. et al. 2021, *Nature Astronomy*, **6**, 89
- [3] Bouy, H. et al. 2022, *A&A*, **663**, A111
- [4] Marley, M. S. et al. 2021, *ApJ*, **920**, 85

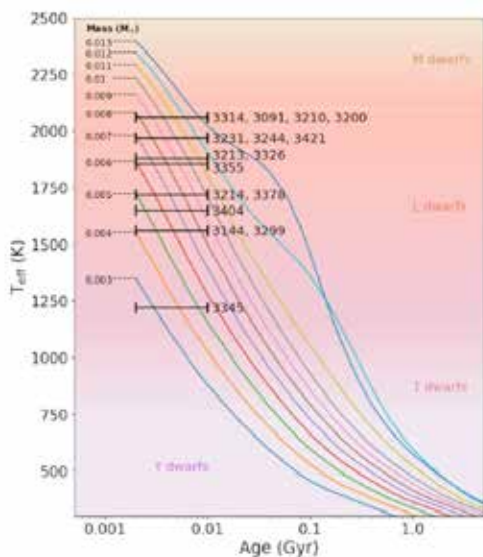


図 1: 浮遊惑星の有効温度 vs 年齢。Marley et al. (2021)^[4]の進化モデル (1 Myr - 15 Gyr) (クレジット: ボルドー大学)

ウェッブ宇宙望遠鏡による系外惑星の直接観測：

波長 1–20 μm の赤外線スペクトル

Miles, B. E.¹ ほか ERS 1386 チーム, 田村 元秀^{2,3,4}

1: カリフォルニア大学サンタクルーズ校, 2: エジンバラ大学, 3: アストロバイオロジーセンター, 3: 東京大学, 4: 国立天文台

はじめに

ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) は 2021 年クリスマスの打ち上げ以降、順調に調整と観測を進めてきた。中でも Early Release Science (ERS) Program は軌道上における各観測装置の特徴づけや今後の観測計画を策定するための重要な役割を担っている。

地上 8m 級望遠鏡で進んできた系外惑星の直接観測は高性能を誇るウェッブ望遠鏡でも挑戦的な課題である。ウェッブ望遠鏡の分割鏡による波面誤差はリアルタイムで補正できないため、そのコントラストと主星のごく近くの観測には限界があるが、地球大気の影響を受けない赤外線の長い波長範囲のスペクトルを直接観測から得られるメリットは地上観測では代替不可能である。

VHS 1256 b は Gauza ら (2015)^[1]によって発見された。12.7pc の距離にある M 型星から約 100au 離れている惑星質量天体である。年齢は約 3 億年程度と見積もられている。

今回、ERS Program のひとつである High Contrast Imaging of Exoplanets and Exoplanetary Systems with JWST (ERS 1386, PI Hinkley)の一環として VHS

1256 b の赤外線装置 (NIRSpec および MIRI) を用いた観測を行った^[2]。

結果

波長 0.97–19.8 μm 全域をカバーする中波長分解能で、惑星質量天体のこれまでで最高のスペクトルが得られた (図 1)。この広範な波長域をカバーするスペクトルにより、水、メタン、一酸化炭素、二酸化炭素、珪酸塩雲などの特徴を同定することができた。

スペクトルのマッチングを試みた結果、2つの比較的厚い雲、低い表面重力、半径 1.27 R_{Jup} 、実効温度 1100 K の組み合わせが良いことが判明した。VHS 1256 b の光度は、1%以内の誤差で測定され、その質量上限は 20 M_{Jup} と示された。

これらの初期結果は画期的であり、今後観測される他の多くの超低質量天体の大気物理学の理解を推し進める先駆的データと言えるだろう。

参考文献：

- [1] Gauza, B. et al. 2015, ApJ, **804**, 96
- [2] Miles, B. A. et al. 2023, ApJ, **946**, L6

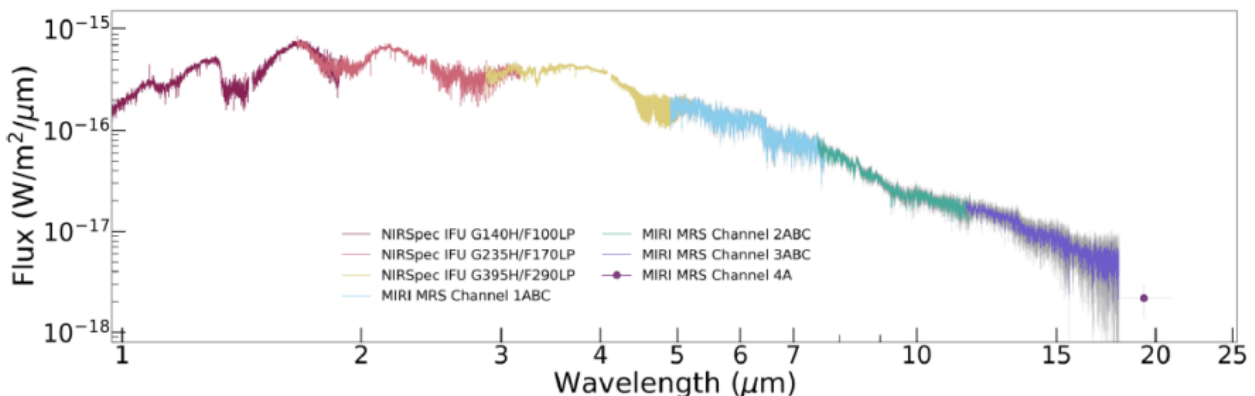


図 1: ウェッブ宇宙望遠鏡の NIRSpec と MIRI による VHS 1256 b のフルスペクトル。バンドパスは異なる色で示され、エラーバーは灰色で表示されている。MIRI MRS チャンネル 4B と 4C にはほとんど信号がないため、MIRI MRS チャンネル 4A の測光点 1 点が右端に示されている。(Miles et al. 2023)

原始惑星の撮像：ぎょしゃ座 AB 星 b

Currie, T.¹ Guyon, O.^{2,1} 田村 元秀^{3,4,5} 小谷 隆行^{3,5} 工藤 智幸^{1,5}
橋本 淳^{3,5} ほか、SCEXAO チーム

1: すばる望遠鏡, 2: アリゾナ大学, 3: アストロバイオロジーセンター, 4: 東京大学, 5: 国立天文台

はじめに

これまでに発見された 5000 個以上の系外惑星のほとんどは、太陽系の惑星軌道のスケール (30 天文単位以下) で恒星の周りを回っている。これとは対照的に、直接観測で発見された系外惑星は、50 天文単位以上の広い軌道を持つ。このような惑星の多くは、原始惑星系円盤における標準的なコア降着による惑星形成ができない可能性がある。有力な別のモデルは、円盤における重力崩壊プロセスである。

生まれたばかりの恒星の周りの原始惑星系円盤に埋もれている、まだ形成途中の原始惑星の直接画像は、木星型惑星がどこでどのように形成されるのかについて、重要な手がかりを与えてくれる。先行研究における最初の確実な原始惑星の検出と考えられる PDS70 b と c は、太陽質量に近い恒星のまわりで木星型惑星が形成されていることを明らかにした。

一方、すばる望遠鏡戦略的観測 SEEDS プロジェクトによる系外惑星・円盤探査観測^[1]などで明らかになったように、多くの原始惑星系円盤には、惑星につながる可能性のある微細構造 (空隙構造、渦巻腕構造、非対称構造) が存在する。しかし、これらの系で原始惑星そのものを直接検出したものはない。どちらかと言うと、PDS70b と c は、木星型惑星形成の最終段階に相当するものである。多量のガスや塵のある円盤にまだ

埋もれている原始惑星の検出は、惑星形成を明らかにする上で不可欠なステップである。

結果

我々は、今回、すばる望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡を用いて、年齢約 300 万年の若い恒星であるぎょしゃ座 AB 星のまわりに、木星サイズの原始惑星を発見した (図 1) ^[2]。惑星の軌道長半径は 94 天文単位、推定質量は 9 木星質量程度である。

この原始惑星は、円盤内の微細な渦巻腕構造から期待される位置にあり、その放射は原始惑星からの放射として再現可能である。さらに、430–580 天文単位に位置する別の 2 つの構造も同定した。

少なくとも一つの原始惑星と複数の渦状腕を持つぎょしゃ座 AB 星系は、長年考えられてきた木星形成の標準モデルに代わる円盤の重力不安定性モデルの重要な証拠となるかもしれない。

参考文献:

- [1] Tamura, M. 2016, Proceedings of the Japan Academy, Ser. B: Physical and Biological Sciences, **92**, 45
- [2] Currie, T. et al. 2022, Nature Astronomy, **6**, 751

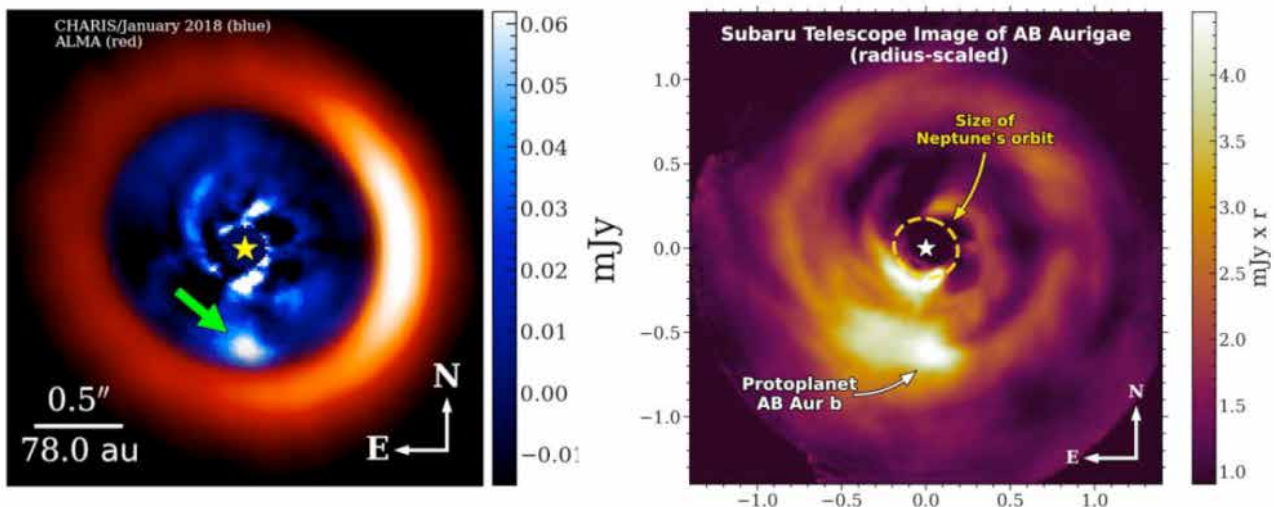


図 1: ぎょしゃ座 AB 星 (AB Aur) を周回する原始惑星 AB Aur b。(左の図) 2018 年 1 月 6 日の SCEXAO/CHARIS の画像と、2014 年に撮影された ALMA サブミリ波画像を合成したもの。AB Aur b はダストリングの内側にあり、より小さな距離で見える渦巻構造を解析して予測された位置にある。(右の図) 2020 年 10 月 2 日の AB Aur の CHARIS 画像を半径でスケールし、遠方の構造を強調したもの。緑色の円は AB Aur b を示す。(Currie et al. 2022)

Planetary Harvest: Reaping Insights Through Diverse Methods

John Livingston^{1,2,3}

1: Astrobiology Center, 2: National Astronomical Observatory of Japan, 3: SOKENDAI

Summary

In FY2022, we presented discoveries and analyses of exoplanet systems using TESS, K2, Spitzer, HARPS, and other data. Several works validated new exoplanets including Jovians, sub-Neptunes, and smaller worlds, while others characterized multiplanet architectures. Methods included radial velocities, transmission spectroscopy, and transit timing variations. Key results comprise spin-orbit misalignment measures for hot Jupiters; water absorption hints in sub-Neptunes; refined system profiles; and formation/evolution assessments. Some works followed up TESS candidates, others reanalyzed Kepler systems, collectively advancing exoplanet knowledge. The diversity of planets studied shows how large samples can enable detailed modeling and theory tests on composition, migration, photoevaporation, and property dependence on stellar hosts.

References

- [1] Serrano, Gandolfi, Mustill et al.: *A low-eccentricity migration pathway for a 13-h-period Earth analogue in a four-planet system*, Nature Astronomy (2022), 6:736
- [2] Christian, Vanderburg, Becker et al.: *A Possible Alignment Between the Orbits of Planetary Systems and their Visual Binary Companions*, The Astronomical Journal (2022), 163:207
- [3] Hatzes, Gandolfi, Korth et al.: *A Radial Velocity Study of the Planetary System of π Mensae: Improved Planet Parameters for π Mensae c and a Third Planet on a 125 Day Orbit*, The Astronomical Journal (2022), 163:223
- [4] Tran, Bowler, Endl et al.: *TOI-1670 b and c: An Inner Sub-Neptune with an Outer Warm Jupiter Unlikely to Have Originated from High-eccentricity Migration*, The Astronomical Journal (2022), 163:225
- [5] Watanabe, Narita, Palles et al.: *Nodal precession of WASP-33b for 11 yr by Doppler tomographic and transit photometric observations*, Monthly Notices of the RAS (2022), 512:4404
- [6] Subjak, Endl, Chaturvedi et al.: *TOI-1268b: The youngest hot Saturn-mass transiting exoplanet*, Astronomy & Astrophysics (2022), 662:107
- [7] Christiansen, Bhure, Zink et al.: *Scaling K2. V. Statistical Validation of 60 New Exoplanets From K2 Campaigns 2-18*, The Astronomical Journal (2022), 163:244
- [8] Johnson, David, Petigura et al.: *An Aligned Orbit for the Young Planet V1298 Tau b*, The Astronomical Journal (2022), 163:247
- [9] Reece, Luque, Gaidos et al.: *A Close-in Puffy Neptune with Hidden Friends: The Enigma of TOI 620*, The Astronomical Journal (2022), 163:269
- [10] Mori, Livingston, de Leon et al.: *TOI-1696: A Nearby M4 Dwarf with a 3 $R_{\oplus}$ Planet in the Neptunian Desert*, The Astronomical Journal (2022), 163:298.
- [11] Kabath, Chaturvedi, MacQueen et al.: *TOI-2046b, TOI-1181b, and TOI-1516b, three new hot Jupiters from TESS: planets orbiting a young star, a subgiant, and a normal star*, Monthly Notices of the RAS (2022), 513:5955
- [12] Jontof-Hutter, Dalba, & Livingston: *TESS Observations of Kepler Systems with Transit Timing Variations*, The Astronomical Journal (2022), 164:42
- [13] Harakawa, Takarada, Kasagi et al.: *A super-Earth orbiting near the inner edge of the habitable zone around the M4.5 dwarf Ross 508*, Publications of the Astronomical Society of Japan (2022), 74:904
- [14] Kawauchi, Murgas, Palles et al.: *Validation and atmospheric exploration of the sub-Neptune TOI-2136b around a nearby M3 dwarf*, Astronomy & Astrophysics (2022), 666:4
- [15] Esparza-Borges, Parviainen, Murgas et al.: *A hot sub-Neptune in the desert and a temperate super-Earth around faint M dwarfs. Color validation of TOI-4479b and TOI-2081b*, Astronomy & Astrophysics (2022), 666:10
- [16] Luque, Nowak, Hirano et al.: *Precise mass determination for the keystone sub-Neptune planet transiting the mid-type M dwarf G 9-40*, Astronomy & Astrophysics (2022), 666:154
- [17] Persson, Georgieva, Gandolfi et al.: *TOI-2196 b: Rare planet in the hot Neptune desert transiting a G-type star*, Astronomy & Astrophysics (2022), 666:184
- [18] Kreidberg, Molliere, Crossfield et al.: *Tentative Evidence for Water Vapor in the Atmosphere of the Neptune-sized Exoplanet HD 106315c*, The Astronomical Journal (2022), 164:124
- [19] Diamond-Lowe, Kreidberg, Harman et al.: *The K2-3 System Revisited: Testing Photoevaporation and Core-powered Mass Loss with Three Small Planets Spanning the Radius Valley*, The Astronomical Journal (2022), 164:172
- [20] Murgas, Nowak, Masseron et al.: *HD 20329b: An ultra-short-period planet around a solar-type star found by TESS*, Astronomy & Astrophysics (2022), 668:158
- [21] Orell-Miquel, Nowak, Murgas et al.: *HD 191939 revisited: New and refined planet mass determinations, and a new planet in the habitable zone*, Astronomy & Astrophysics (2023), 669:40
- [22] Knudstrup, Albrecht, Gandolfi et al.: *A puffy polar planet. The low density, hot Jupiter TOI-640 b is on a polar orbit*, Astronomy & Astrophysics (2023), 671:164
- [23] Hirano, Dai, Livingston et al.: *An Earth-sized Planet around an M5 Dwarf Star at 22 pc*, The Astronomical Journal (2023), 165:131
- [24] Knudstrup, Gandolfi, Nowak et al.: *Radial velocity confirmation of a hot super-Neptune discovered by TESS with a warm Saturn-mass companion*, Monthly Notices of the RAS (2023), 519:563

プレアデス星団における視線速度法を用いた短周期惑星探索

寶田 拓也^{1,2}, 佐藤 文衛³, 大宮 正士^{1,2}, 堀 安範^{1,2}, 藤井 通子⁴

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台, 3: 東京工業大学, 4: 東京大学

1995年に最初の太陽系外惑星 51 Pegasi b が発見されて以来、ホットジュピター (HJ; 短周期巨大惑星) は惑星系の形成と進化の観点から注目されている。HJ は数多く検出されているものの、それらがどのように形成されたかはまだ明らかになっていない。標準的なコア集積シナリオでは、木星型惑星は中心星から遠く離れたスノーライン以遠で形成され则认为られている。HJ の存在は、木星型惑星を形成された場所から中心星の近くまで移動させる普遍的な機構の存在を示唆している。HJ の主な形成機構としては、disk-driven migration (DDM) と High-eccentricity migration (HEM) の2つが提唱されている。この2つの機構を区別する重要な要素の1つは、HJ 形成に要するタイムスケールである。DDM が 10Myr のオーダーで HJ を形成するのに対して、HEM は数百 Myr を要すると考えられている。

HJ の形成メカニズムを明らかにするため、我々は 2017 年からプレアデス星団内の恒星に対して視線速度 (RV) サーベイを行っている。プレアデス星団は HJ の形成タイムスケールに厳しい制約を与える上で十分若く (~100 Myr)、比較的距離が近いため多数のサンプルを確保することが可能となる。我々は 2017 年に岡山 1.88m 望遠鏡と HIDES を用いて 30 個のプレアデス星団内の恒星を観測し [1]、さらに 2019 年から 2022 年にかけてすばる 8.2m 望遠鏡と HDS を用いて別の 47 個の星を観測した。線輪郭解析を用いることで恒星活動性由来の RV 変動を評価し、可能な限りその影響を除去した。結果として、これまでに観測した天体から有力な惑星候補は確認されなかった。それぞれの天体の RV 変動と典型的な RV 測定誤差から、恒星の固有 RV ジッターは 50 m/s 程度と推定された。図 1 は今回のサーベイ、および先行研究である他の若い星団に対して実施された RV サーベイの検出限界を示す。先行研究と比較して、本研究では 1 木星質量以下惑星の有無まで調査できている。今回のサーベイから、HJ の存在頻度の 1σ 上限値として 4.7% という制約が与えられた。この値は M67 における存在頻度 (2.7-11.2% [4]) と比較して低く、M67 で見られた HJs の過剰が起きていないことを示している。一方で、散在星やヒ

アデス星団、プレセペ星団に対するサーベイの結果との比較は、サンプル数が十分ではないため現時点では困難である。サンプル数の拡大と、より厳格な HJ 存在頻度の推定を行うために、2023 年度からはせいめい望遠鏡及び GAOES-RV を用いて新たにプレアデス星団や他の若い星団に対する RV 観測を実施する予定である。

表 1: RV サーベイから見積もられた HJ 存在頻度

観測ターゲット	存在頻度
プレアデス星団	<4.7%
散在星	$1.2 \pm 0.38\%$ [2]
ヒアデス星団とプレセペ星団	0.45-1.95% [3]
M67	2.7-11.2% [4]

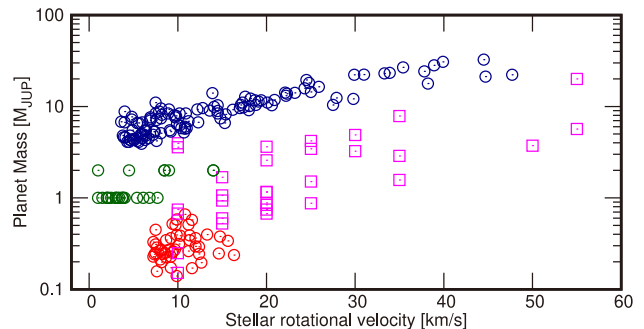


図 1. 本研究および他のサーベイで得られた惑星の質量検出限界と恒星の自転速度との関係。赤丸とマゼンタの四角はそれぞれ HDS および HIDES で観測されたプレアデス星団内の恒星。青丸は NGC 2422 (70 Myr) と NGC 2516 (140 Myr) に属する恒星 [5]。緑丸は IC 2391 (40 Myr), Caster MG. (200 Myr), UMa MG. (300 Myr) に属する恒星 [6]。

参考文献:

- [1] Takarada T. et al.: 2020, PASJ, 72, 104.
- [2] Wright J. T. et al.: 2012, ApJ, 753, 160.
- [3] Quinn S. N. et al.: 2014, ApJ, 787.
- [4] Brucalassi A. et al.: 2016, A&A, 592
- [5] Bailey, J. I. et al. 2018, MNRAS, 475, 1609
- [6] Paulson, D. B., & Yelda, S. 2006, PASP, 118, 706

新しいターゲット選定方法が可能にしたヒアデス散開星団の F5 型星 HIP 21152 を周回するベンチマーク褐色矮星の発見と直接撮像 [1]

葛原昌幸^{1,2}, T. Currie^{3,4,5}, 宝田拓也^{1,2}, T. D. Brandt⁶, 佐藤文衛⁷, 鶴山太智⁸, M. Janson⁹, J. Chilcote¹⁰, T. Tobin¹⁰, K. Lawson¹¹, 堀安範^{1,2,12}, O. Guyon^{13,3,1}, T. D. Groff¹⁴, J. Lozi³, S. Vievard³, A. Sahoo^{3,15}, V. Deo³, N. Jovanovic⁸, K. Ahn³, F. Martinache¹⁶, N. Skaf^{3,17}, 秋山永治¹⁸, B. R. Norris¹⁹, M. Bonnefoy¹⁶, K. G. Helminiak²⁰, 工藤智幸³, M. W. McElwain¹⁴, M. Samland²¹, K. Wagner¹³, J. Wisniewski¹¹, G. R. Knapp²², J. Kwon²³, 西川淳^{2,1,12}, E. Serabyn⁸, 林正彦², 田村元秀^{23,1,2}

1: 自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台, 3: ハワイ観測所, 4: NASA-Ames, 5: Eureka Scientific, 6: UCSB, 7: 東京工業大学, 8: カリフォルニア工科大学, 9: スtockホルム大学, 10: ノートルダム大学, 11: オクラホマ大学, 12: 総合研究大学院大学, 13: アリゾナ大学, 14: NASA-Goddard, 15: STScI, 16: CNRS, 17: LESIA, 18: 新潟工科大学, 19: シドニー大学, 20: NCAC, 21: MPIA, 22: プリンストン大学, 23: 東京大学

恒星が伴天体を保持する場合にその恒星の運動は天球面上で加速する。この加速は、伴天体の質量が木星質量 (M_{Jup}) のわずか数倍であっても、二つの天文衛星 Gaia と Hipparcos のデータを比較することで測定可能である。我々は惑星と褐色矮星の伴天体をこれまでのブラインド探査に比べて効率的に発見するために、[2] のデータベースを利用して加速する恒星を選定した。その加速を引き起こす伴天体を直接撮像するために我々はすばる望遠鏡の SCExAO と CHARIS を利用した観測を行った。その結果、F5 型星である HIP 21152 を公転する褐色矮星の発見に結びついた [1]。我々はその褐色矮星伴天体 HIP 21152 B を Keck 望遠鏡の NIRC2 を用いて追観測し、さらに岡山 188cm 望遠鏡の HIDES を利用して視線速度を測定した。

我々の観測で得られた HIP 21152 B の近赤外スペクトルを分析した結果、そのスペクトル型は $T1.5^{+0.5}_{-1.0}$ 型と推定された。また、*orvara* ソフトウェア [3] を用いて HIP 21152 B の軌道を直接撮像、視線速度、位置天文のデータからモデル化した結果、HIP 21152 B の力学的質量と軌道長半径はそれぞれ $27.8^{+8.4}_{-5.4} M_{\text{Jup}}$ and $17.5^{+7.2}_{-3.8}$ au と推定された。HIP 21152 は年齢が 7.5 ± 1.0 億年のヒアデス散開星団に属している [4, 5]。HIP 21152 B はヒアデス散開星団の太陽型星を公転する褐色矮星としては初めて直接撮像により発見された褐色矮星以下の質量を持つ伴天体である。質量が力学的に推定された全ての褐色矮星の中で、

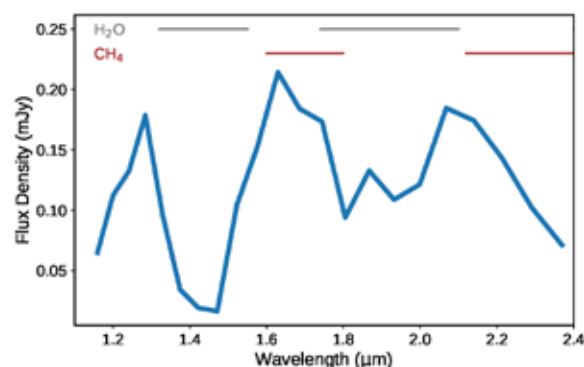


図1 HIP 21152 B の近赤外スペクトル。大気中の水蒸気 (H_2O) とメタン (CH_4) の深い吸収バンドを図の上部に示す。その吸収バンドの波長範囲は Geneva 大学が提供するウェブツール [6] を利用して導出された。
(クレジット：アストロバイオロジーセンター)

HIP 21152 B の質量は最も直接撮像された惑星の質量に近い。したがって、これらの特性を持つ HIP 21152 B は褐色矮星と巨大惑星を特徴付ける際に利用できるベンチマーク天体として重要である。

参考文献

- [1] Kuzuhara, M et al.: 2022, *ApJL*, **934**, L18
- [2] Brandt, T. D.: 2021, *ApJS*, **254**, 42
- [3] Brandt, T. D. et al.: 2021, *AJ*, **162**, 186
- [4] Gagné, J et al.: 2018, *ApJ*, **856**, 23
- [5] Brandt & Huang: 2015, *ApJ*, **807**, 58
- [6] <https://dace.unige.ch/opacity/>.

複雑有機分子が極低温の分子雲内でできる過程を量子化学計算で検証

小松 勇^{1,2}, 古家 健次²

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台

大質量・小質量原始星形成領域の 100 K 以上の高温な領域から、多様な複雑有機分子（原子 6 個以上からなる有機分子）が検出されている。ジメチルエーテル (CH_3OCH_3) やギ酸メチル (HCOOCH_3) は星が誕生しつつある分子雲コアで典型的に観測されている複雑有機分子で、星形成後の高温な ($\gtrsim 100$ K) 気相中の化学反応や、暖められたダスト表面 ($\gtrsim 20$ K) におけるラジカル反応が主な生成法であると考えられてきた。しかし近年、10 K 程度の極低温のまだ星が生まれていない分子雲コアにおいても、これらの分子が観測されるようになり、その生成過程を再検討することが迫られている。 CH_3OCH_3 に関しては気相中における放射結合による生成が考えられていたが [1]、低温環境における観測量を説明するまでには至っていない。また、 HCOOCH_3 の星間空間における生成過程についてはあまり研究されていなかった。

極低温下におけるジメチルエーテルとギ酸メチルの生成過程を明らかにするために、量子化学の遷移状態理論に基づく化学反応経路自動経路探索法を用いて [2, 3, 4]、これらの分子が電子基底状態のままエネルギー的に生成されやすい経路を調べた [5]。計算の結果、どちらの分子についても、反応障壁のない、気相発熱反応による生成経路が発見された (図 1)。 CH_3OCH_3 については得られた反応ネットワークから (図 2)、 CH_3O と CH_3 からの生成経路が発見された。これは部分的には先行研究で推定され、これらと整合的でより包括的な経路が得られた。一方、 HCOOCH_3 についてはより複雑な生成経路が推定された。反応障壁なしで進行する経路も発見されたが、主な生成物は二酸化炭素やメタンなどで、 HCOOCH_3 はあくまで副産物であることがわかった。 HCOOCH_3 に関しては、気相反応のみならずダスト表面反応、光化学反応など他の反応経路の方が重要なのかも知れない。このように、本研究によってこれらの複雑有機分子が極低温においても生成する経路が理論化学的に予言され、複雑有機分子が如何にして生成されているのかの全貌を解明する上で基礎的な指針となるであろう。

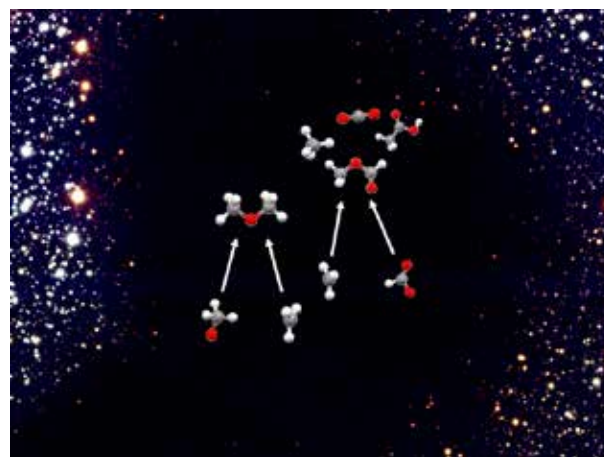


図 1 本研究で得られた、低温の星形成領域内で複雑有機分子（ジメチルエーテル、ギ酸メチル）ができる生成過程のイメージ (クレジット: ABC, 背景画像: ESO)。

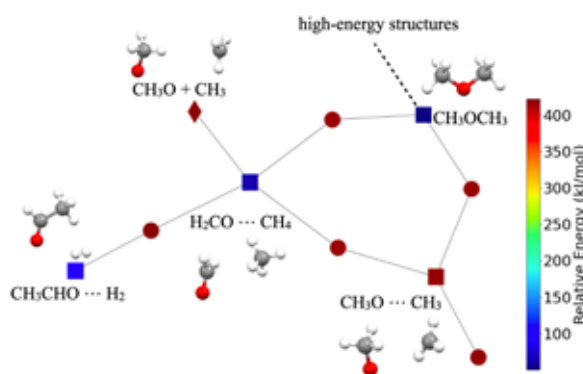


図 2 計算によって発見されたジメチルエーテルを生成する反応ネットワークの一部。エネルギーの高い分子 (赤) からより安定な分子 (青) がつくられる [5]。

参考文献

- [1] Tennis J., Loison J.-C., and Herbst, E.: 2021, *Astrophys. J.*, **922**, 133.
- [2] Maeda, S. *et al.*: 2018, *J. Comput. Chem.*, **39**, 233–251.
- [3] Komatsu, Y.: 2019, *Viva Origino*, **47**, 2, 2.
- [4] Komatsu, Y. and Suzuki, T.: 2022, *ACS Earth Space Chem.*, **6**, 10, 2491–2498.
- [5] Komatsu, Y. and Furuya, K.: 2023, *ACS Earth Space Chem.*, **7**, 9, 1753–1760.

浮遊植物集団の分光反射特性

滝澤 謙二^{1,2,3}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 基礎生物学研究所, 3: 総合研究大学院大学

生命居住可能な太陽系外惑星の生命探査において、地表の植物による特徴的な光の反射が重要なバイオシグネチャーになる[1]。陸上植生が期待できない海洋惑星におけるバイオシグネチャーとしての可能性を評価するために、浮遊植物による光の反射を詳細に調査した。

Lemna auoukikusa (アオウキクサ)、*Azolla imbricate* (アカウキクサ)、*Salvinia molesta* (オオサンショウモ)、*Limnobium laevigatum* (アマゾンチカガミ)、*Eichhornia crassipes* (ホテイアオイ) の5種類の浮草を、異なる密度で水を満たした容器に浮かべた(図1)。マルチバンドイメージセンサ(RedEdge-M, MicaSense)により、太陽光下での5波長(475, 560, 668, 717, 840 nm)の光反射率画像を撮影した。撮影後、植物の新鮮重(FW)とクロロフィル濃度を測定した。



図1: 異なる密度で浮かぶオオサンショウモ

浮草5種類の光反射スペクトルはほぼ同じ形状を示し、反射率の大きさは密度に依存して変化した(図2)。個葉から測定した反射率は葉の形態によって異なるが、植物群の反射率は形態による違いが小さく、密度に強く依存した。

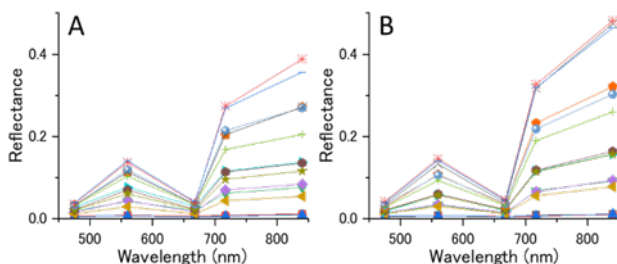


図2: アオウキクサ (A) とアマゾンチカガミ (B) の反射率スペクトル。4段階の異なる植物密度と水面の反射率を3反復で測定。

浮草による水面の被覆率は、840nmの反射率画像のピクセル強度-頻度ヒストグラムから求めた。葉の被

覆率をFWに対してプロットすると、アオウキクサやアカウキクサのような小型の植物は、アマゾンチカガミやホテイアオイのような大型の植物よりも、少ないFWで広い面積を覆う傾向が確認された(図3A)。

リモートセンシングによる浮遊植生の検出可能性を検証するため、陸上植生の評価に一般的に用いられる3つの植生指数を比較した。比率植生指数(RVI)、差分植生指数(DVI)、正規化差分植生指数(NDVI)は、668nm (Red) と 840nm (NIR) の反射率から算出した。

$$RVI = NIR/Red$$

$$DVI = NIR - Red$$

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

RVIとDVIは被覆率にほぼ比例し、種間および種内のばらつきが大きかった。NDVIは被覆率に対して他の指数と異なる挙動を示した。全ての種において、比較的小さい被覆率で高いNDVI(>0.6)が観察された。これらの結果から、NDVIは浮遊植物の存在を遠隔で判断するための優れた指標であることが示唆された。

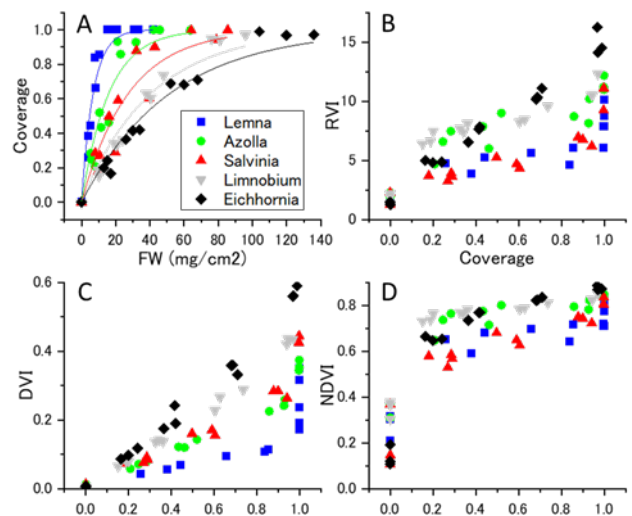


図3: 浮草のFWと被覆率の関係 (A)。被覆率と3つの植生指数の関係: RVI (B)、DVI (C)、NDVI (D)

参考文献:

- [1] Takizawa et al., 2017, Scientific Reports, 7, 7561

植物の生理応答をリアルタイム計測する超小型分光センサの開発

上妻 馨梨^{1,2,3}, 宮本 浩一郎⁴,

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台, 3: 東京大学, 4: 東北大学

ハビタブルプラネットの指標として「植物」は有力なバイオシグネチャーである。私たちは、これまで、分光反射から植物の生理応答をリモートセンシングする研究を進めてきた [1, 2]。従来の植生リモートセンシングでは森林フィールドでの高額なタワーの建設、ドローンや衛星による測定と複雑なモデル補正などが必要であった。そこで、小型で軽量の分光センサ（10 波長検出）を葉の裏側に直接装着することで、葉に負荷をかけず、表側の太陽光を遮ることなく光合成応答をモニタする小型センサを開発した。サンプル（葉）とセンサの距離を一定にすることにより煩雑な補正技術を省略し、安定したシグナルを長期間連続してモニタリングする。計測結果はネットワークを通じてクラウドに保存されることから、遠隔からリアルタイムに観測することが可能である。また、安価で作製できることから、多点同時測定も可能である。

可視～近赤外領域の 10 波長を検出できるカラーセンサとマイクロコントローラにより測定システムを構築した (図 1)。センサと光源 (白色 LED) を有するセンサヘッドは葉の裏側に固定され、マイクロコントローラとバッテリーを水密ケースに封入した。測定データはマイクロコントローラの通信機能によってクラウドストレージに転送・解析される。

センサの基本性能を検証するため、30 種類の植物から収集した葉のサンプルをセンサユニットで測定し、カタログデータを構築した。図 2 は、イチョウ葉の反射スペクトルであり、高精度分光器で得られた反射スペクトルとよく一致することを確認した。これらの分光データから植物のクロロフィル量の推定が可

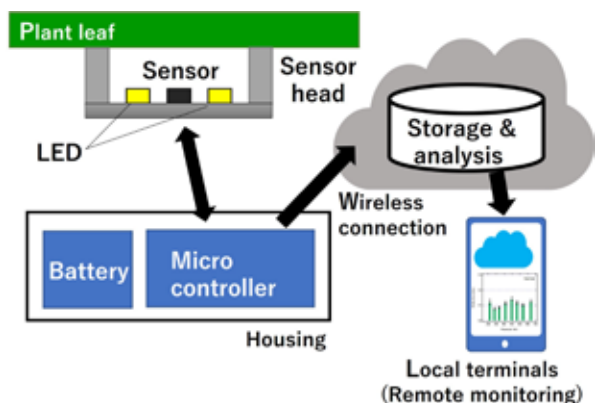


図 1. システム構成図

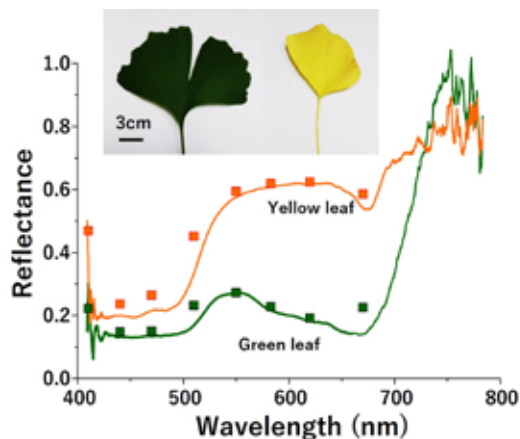


図 2. イチョウ葉の反射スペクトル。高精度分光器データと小型センサ 8 波長とのフィッティング。

能であることも明らかにした (図 3)。また、制御プログラムや回路構成の最適化を行い、バッテリー駆動による屋外での長期連続観察に成功した。

本研究では、葉の裏側に固定した分光センサによる長期連続測定システムを構築した。このシステムは、植物をフィールド内で多点同時的にモニタするグリーンヘルスセンサネットワークへ発展するポテンシャルを有する。さらに、この技術は水中をターゲットとした海洋光合成生物の計測に展開可能である。ハビタブル水惑星の探索技術としての将来性も期待できる。

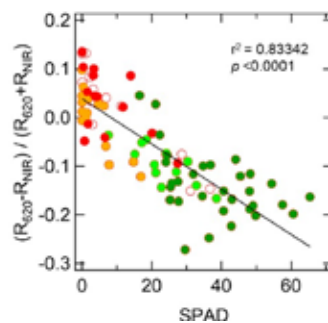


図 3. クロロフィル量の推定

参考文献:

- [1] Kohzuma, K and Hikosaka, K.: 2018, Biochemical and biophysical research communications. **498**, 52-57
- [2] Kohzuma, K. et al.: 2021, Journal of Plant Research. **134**, 683-694

生命に及ぼすプラズマの影響

定塚勝樹^{1,2,3}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 基礎生物学研究所, 3: 総研大

プラズマは気体分子が電離した状態で、固体・液体・気体に次いで物質の第四の状態と呼ばれ、極めて反応性が高い。近年、大気圧でプラズマを発生させる技術が確立し、その応用が医学・農学分野にまで拡大している。その一方でプラズマに応答する生命活動の基礎的理解はほとんど進んでいない。その一因はプラズマ生成に伴う発熱で、従来の装置では 70℃ 以上に上昇する。これにより、熱ショック応答や致死となってしまう、プラズマ刺激が誘導する応答を調べるのが困難であった。この問題を克服するために、プラズマ作用点での温度を制御可能な装置を新たに開発して、細胞に熱ショックを与えることなくプラズマを直接作用させ、細胞応答の解析システム(図1)を確立した。

真核生物のモデル生物である出芽酵母を使い、プラズマを直接暴露すると、暴露時間に応じて生存率が低下した。一方で3分以上の長時間暴露してもほとんど生存率が低下しない2つの変異株を見出し、耐性の原因遺伝子(*PRM1*、*PRM2*)を同定した。変異株の解析

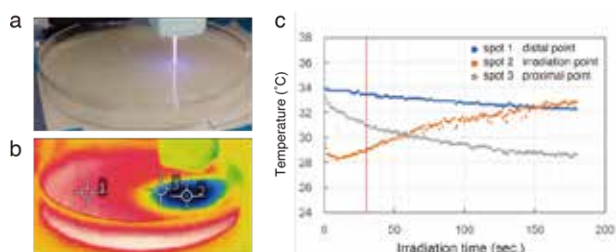


図1. プラズマ照射による温度変化の測定: a. 寒天培地上に細胞をスポットして照射している様子。b. プラズマ照射に伴う温度変化をサーモカメラで測定した。c. プラズマ照射ポイント(spot 2)、周辺領域の温度測定結果。酵母の至適生育温度である 30℃ 付近に温度が維持され、30 秒照射で温度変化は 2℃ 以内であることがわかる。

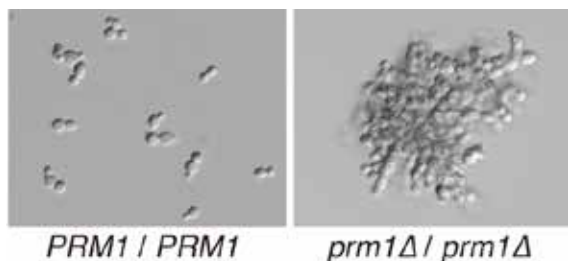


図2. プラズマ感受性株(*PRM1*)と耐性株(*prm1Δ*)の形態の違い。対数増殖期の細胞を使った顕微鏡観察。野生型(*PRM1*)は1から2つの細胞が繋がっているが、耐性株(*prm1Δ*)では多数の細胞が繋がっている。

から2つの遺伝子の欠損株では細胞分裂の最終期の過程に欠損が生じ、そのため2つの細胞が分離できずに繋がった状態になり、結果として複数の細胞が凝集した状態になる性質が共に観察された(図2)。

細胞にプラズマ直接暴露処理した場合の細胞応答を、 H_2O_2 による酸化ストレスを加えた場合と比較して、RNA-seqによる発現解析を行なった。プラズマ処理後、先ず H_2O_2 の場合に類似した抗酸化ストレス応答が生じ、その後プラズマ刺激に対する特異的応答が見られることがわかった(図3)。興味深いことに、*prm1* 欠損株では、プラズマ処理に対して特異的に発現上昇する遺伝子群が、プラズマ未処理の段階で既に野生型と比べて増加している様子が観られ、プラズマ処理に伴ってさらに発現上昇する。これらの結果から、プラズマ刺激に対する細胞応答と、細胞分裂後の分離不全が密接に関連している事が分かってきた。出芽酵母で偽菌糸状に形態が変化する時、同様の細胞分離不全が生じる。この過程で働くと思われる未知のストレス応答システムが、プラズマ刺激に対する耐性能に寄与する可能性が考えられる。

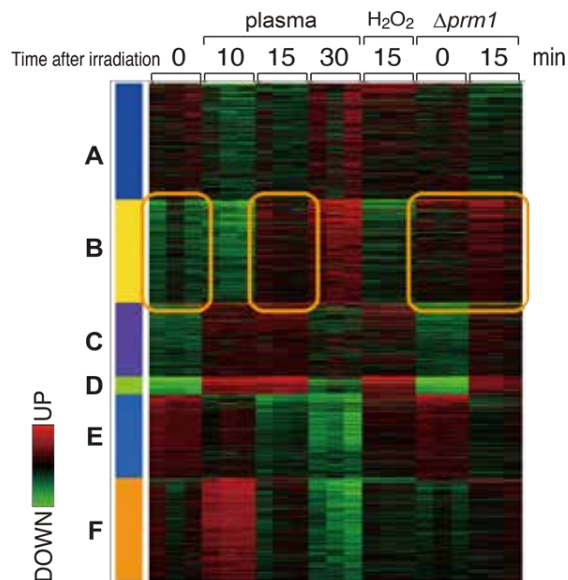


図3. プラズマ照射が誘導する細胞応答の RNA-seq 法による解析: プラズマ照射前(0)と照射 10, 15, 30 分後の細胞を使い発現解析した。プラズマ特異的応答が B 群で観られる。*prm1* 変異株では B 群の活性化が照射前(0)で既に観察でき、プラズマ照射によりさらに活性化される様子がわかる。

大腸菌における細胞集団の時空間的自己組織化

藤田 浩徳^{1,2}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 基礎生物学研究所

細胞集団の自己組織化

自然界には、銀河系などの天文学的スケールから雪の結晶の様な顕微鏡スケールまで、様々な時空間スケールにおいて自己組織化が見られる。特に生物は自己組織化の宝庫であり、生命現象のあらゆる場面において見出される。一例として、細胞性粘菌は飢餓シグナルが引き金となり、単細胞アメーバから多細胞からなるナメクジ状の移動体へと、ダイナミックな時空間的自己組織化を行う。この顕著な自己組織化は、シグナル分子 cAMP に対する走化性(cAMP 濃度の高い方へ移動する性質)により引き起こされることが知られている。一方で、多細胞生物の形成・進化、およびその背景にある細胞集団の自己組織化ダイナミクスの理解はよくわかっていない。そこで本研究では、単細胞モデル生物である大腸菌に対して合成的実験手法を適用することにより、“細胞集団の時空間的自己組織化の合成的研究”を切り拓き、その創発機構の理解を目指す。

合成的実験系の構築

野生型大腸菌 (WT; RP437 株) は Asp(アスパラギン酸)に対する走化性を有し、これにより周期的なコロニーパターンが創発されることが知られている(図 1 A) [1]。本研究はこの自己組織化現象を基盤としている。まず Asp 合成欠損株 ($\Delta aspC \Delta tyrB$) を作出し、それに Asp 合成遺伝子 *aspC* の arabinose 誘導系プラスミド [P_{araBAD}::*aspC*] を導入した(図 1 B)。作出した大腸菌株は野生株と同様に周期的コロニーパターンを自己組織化することを確認した。さらに、この株は arabinose や glycerol 濃度に依存してコロニーパターンを多様に変化させることを確認した(図 1 C)。特に Arabinose 誘導が強い条件では、野生型では観察されない新規パターンである花卉様パターンが観察された。この合成的実験系を用いることにより、多細胞化をはじめとした細胞集団の時空間的自己組織化ダイナミクスの理解を目指す。

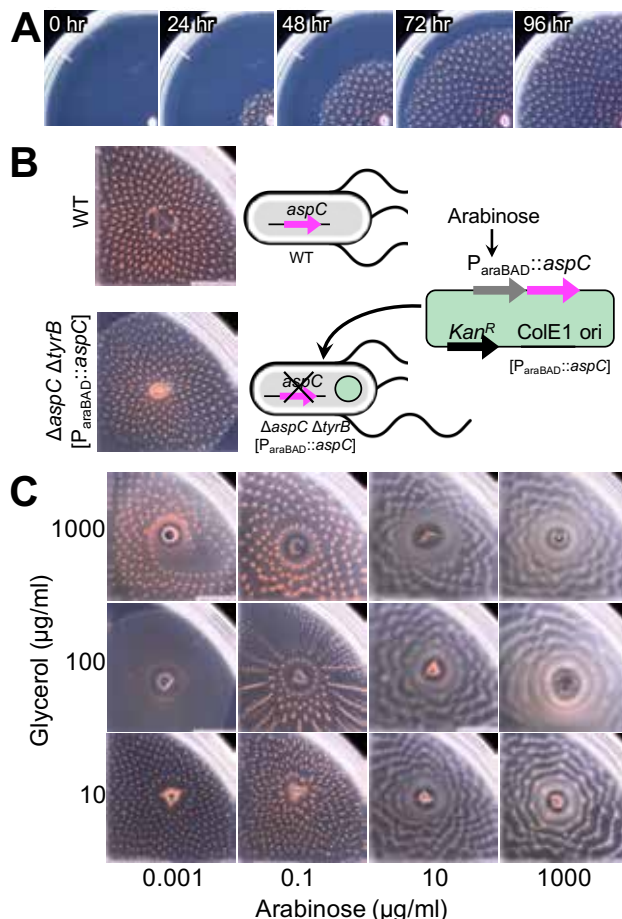


図 1: (A) 野生株 (WT) における自己組織的な周期的コロニーパターン形成。(B) Asp 合成遺伝子 *aspC* の arabinose 誘導系の構築。(C) 誘導系において見られる多様なコロニーパターン。

参考文献:

- [1] Budrene, E., Berg, H.:1991, Nature, **349**, 630–633

南アフリカ望遠鏡用高分散分光器 SAND と HISPEC/Keck および MODHIS/TMT 搭載を目指したエシェル回折格子の開発

小谷隆行^{1,2,3}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台ハワイ観測所, 3: 総合研究大学院大学

SAND 分光器開発

SAND は、南アフリカ天文台の PRIME 望遠鏡に搭載する、近赤外線高分散分光器である。SAND は、高精度・安定な RV 測定により、近傍 M 型星まわりの地球型惑星検出を目指すと共に、若い恒星まわりの巨大惑星の探索を行う。2022 年度は、ファイバー出射光学系、イメージスライサー、カメラレンズといった分光器光学系の製作を行った。今後、冷却システムと組み合わせ、冷却化でのアライメント・性能評価試験を行う予定である。

HISPEC および MODHIS 用回折格子の開発

我々は、TMT 第 1 期装置・近赤外線高分散分光器 MODHIS およびその Precursor である、Keck 望遠鏡用近赤外線高分散分光器 HISPEC への搭載を目指して、高効率かつ高安定なエシェル回折格子を開発中である。これらの装置は、回折限界性能の分光器であるため、光学素子に求められる面精度は非常に高く、また系外惑星の高分散分光観測を行うために、非常に高い効率が求められる。我々は、分光器の心臓部であるエシェル回折格子として、高い面精度・高効率を実現できるゲルマニウムを基板に用いる反射型エシェル回折格子を製作し、今年度はその実証試験を行うと共に、効率向上を目指した回折格子パラメータの数値シミュレーションを行った。

2021 年度に試作した単結晶ゲルマニウム基板エシェル回折格子（頂角 90 度、ブレイズ角 76 度、格子密度 13.3 本/mm、60x19.5mm）を、液体窒素冷却の真空チャンバー内に設置し、実際に使用する温度下での格子面の形状測定を行った。その結果、常温時と 83.9K での回折格子形状の差は 12nm PV と非常に小さいことがわかった（図 1）。単結晶ゲルマニウム製であることから冷却時は基板は均一に収縮し、形状歪みは小さいと期待されていたが、これを実証することができた。

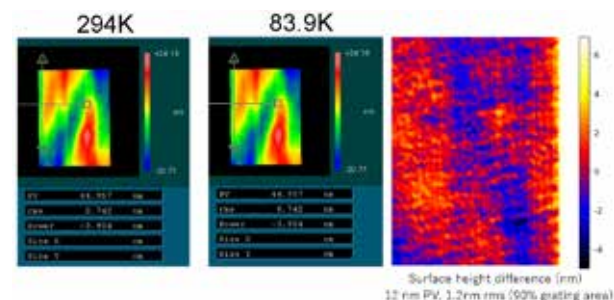


図 1 左：回折格子形状測定結果（294K と 83.9K）。右：常温時と 83.9K での回折格子形状の差

また、エシェル回折格子は、頂角を 90 度以下とすることで、TM 偏光の回折効率が向上することが知られている。我々は RCWA 法を用いて、頂角 75 度～90 度の範囲での両偏光状態の回折効率数値シミュレーションを行った。その結果、頂角 80 度付近までは効率は大きく向上するが、それ以降は効率改善の効果は小さくなることがわかった。また回折効率改善の効果は、長波長側が大きく、効率改善はほぼ TM 偏光だけで生じることも明らかにした（図 2）。この計算結果を元に、頂角 80 度の回折格子を試作した。その結果、電子顕微鏡写真から判断すると、おおむね予想通りの形状で製作できていると考えられる。

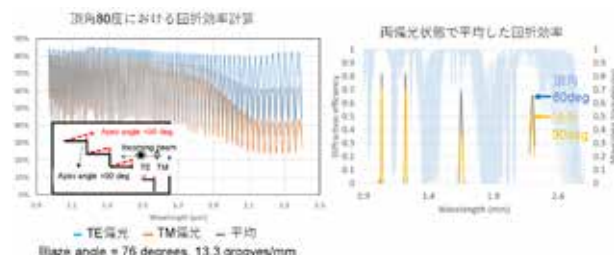


図 2 RCWA 法による回折効率計算結果。左は頂角 80 度での計算結果、右は計算時間を短縮するために、一部波長域で頂角 90 度と 80 度のみを計算したものである。

冷却下でも高い平坦性を持つことの実証と、頂角調整により効率を大幅に改善できることがわかったため、今後のフルサイズの回折格子製作に目途が立ったと考えている。

南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 SAND の開発

高橋 葵^{1,2}, 小谷 隆行^{1,2,3}, 田村 元秀^{1,2,4}, 葛原 昌幸^{1,2}, 浦郷 陸^{1,2}, 寶田 拓也^{1,2},
中島 健⁴, 細川 晃^{3,2}, 多田 将太朗^{3,2}, 西川 淳^{2,3,1}, 上田 暁俊²,
住 貴宏⁵+PRIME チーム, 永山 貴宏⁶, 國生 拓摩⁷, 小崎 瑛子⁷

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台, 3: 総合研究大学院大学,

4: 東京大学, 5: 大阪大学, 6: 鹿児島大学, 7: 名古屋大学

科学的動機

年齢の若い巨大ガス惑星の軌道分布を調査することは、惑星形成段階の軌道進化を知る上で重要である。可視域の視線速度観測による若い星周りの惑星探索では、活発な恒星活動によるスペクトル変動が惑星の偽検出を引き起こすため、恒星活動の影響が弱まる近赤外域での視線速度観測が効率的である。

また生命居住可能な惑星の探索は宇宙生命科学における重要課題である。M 型星は存在頻度が高い上に惑星からの重力的影響を受けやすく、地球型惑星の探索の対象として適した天体であるが、放射強度がピークとなる近赤外域での視線速度観測が不可欠である。

そこで我々は、年齢の若い巨大ガス惑星、および生命居住可能な惑星を視線速度法により探索することを目指し、南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 (the South Africa Near-infrared Doppler; SAND) を開発している。

装置概要

SAND は z, Y バンド ($\lambda = 0.84 - 1.09 \mu\text{m}$) の波長域を分解能 $\lambda/\Delta\lambda = 60,000$ で分光可能なファイバー導入型の高安定エシエル分光器である。大阪大学が南アフリカ共和国サザーランド観測所に今年建設した PRIME 望遠鏡 (口径 1.8m) のドーム横に設置され観測運用される予定である。ただしファイバーの繋ぎ変えにより、付近にある別の望遠鏡とも合わせて用いることができる。将来的には PRIME のみならず IRSF や SALT の望遠鏡時間も有効活用し、高頻度かつ長期的な視線速度モニター観測を実現する。

2022 年度の主な開発進捗項目

分光器内のレンズシステムの製作: 分光器では、ファイバーから出射された光のスペクトル画像を得る。そこに使われる光学系のうち、以下 2 つの透過光学系について光学設計および機械構造設計の詳細を確定し、製作および組み立てを行なった (図 1)。

1. ファイバー出射面の直後に置かれる拡大レンズシステムおよびイメージスライサー
2. 検出器直前に置かれるカメラレンズシステム

分光器内の放物面鏡の製作: 分光器内では、光束のコリメートおよび瞳再結像のため 2 枚の軸外し放物面鏡と 1 枚の平面鏡を用いる。このうち、製作が未完了であった放物面鏡 1 枚の製作を実施した。

ラジエーションシールドの製作: 分光器の光学系全体 (光学定盤含む) を覆うラジエーションシールドの設計・製作を行なった。内部の光学系の温度変動を極限まで抑えるために本シールド自体を高精度に温度制御する必要がある。そこで熱伝導を確保するため分厚いアルミ板 ($t=5\text{mm}$) を溶接により箱状に組み立てる構造とした。

観測性能の評価: SAND を PRIME 望遠鏡に繋いで 30 分露光 1 回の観測をした場合に予想される、恒星の視線速度決定精度をシミュレーションした。その結果、100pc 以内の若い星については 10 m/s、10pc 以内の M 型星 (TESS のターゲットリスト中でも数十個以上は存在) については数 m/s 程度の視線速度精度が出ることがわかった。また 1 天体当たりの視線速度モニター頻度と検出できる惑星の質量との関係を調査し、PRIME 望遠鏡に加えて IRSF も併用することで数倍以上質量の小さな惑星まで検出できる可能性を示した。

参考文献:

- [1] Takahashi, A. et al.: 2020, Proceedings of the SPIE, 11447, 114473E

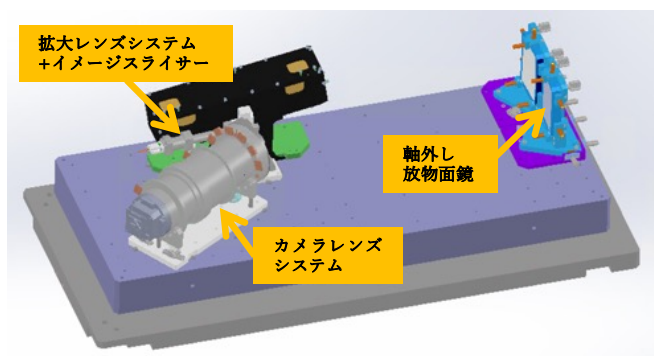


図 1: SAND の分光器光学系。このうち、本年度の開発で進捗があった部分を矢印で示す。次年度以降でこれらの光学定盤上への取り付け調整を実施する。

系外惑星探索用高分散分光器 GAOES-RV 制御 GUI の開発

大宮正士^{1,2}, 田實晃人², 佐藤文衛³, 泉浦秀行², GAOES-RV チーム

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台, 3: 東京工業大学

GAOES-RV[1] (Gunma Astronomical Observatory Echelle Spectrograph for Radial Velocimetry) は、ドップラー法での太陽系外惑星探索に用いる高分散分光器であり、2021 から 2022 年にかけて京大 3.8m せいめい望遠鏡に導入した観測装置である。この分光器は、汎用の高分散分光器とは異なり、観測可能波長域を 516~593nm、波長分解能を $R=\lambda/\Delta\lambda=65,000$ に固定して、ヨードセル（恒星スペクトルに波長較正用のヨウ素分子による多数の吸収線を生成する装置）を使用した視線速度精密測定に適した分光器設定にしている。また、分光器を望遠鏡の下階に設置して精密空調を効かせた分光器室内に置き、ナスミス焦点に集めた恒星光を光ファイバーを通して安定環境下の分光器に導入する。2023 年 2 月に審査を通過し、2023 年後期からせいめい望遠鏡の共同利用装置として運用を開始する。その一連の作業の中で、2022 年度には、装置制御に用いる GUI (Graphical User Interface) の開発とアップデートを行なった。

GAOES-RV では、取得データ設定の変更、露出制御、完成データの生成を制御 GUI が行い、オートガイダー GUI が恒星光の光ファイバーへの導入と恒星の移動に合わせた望遠鏡追尾の機能を担う。また、GAOES-RV の主目的であるドップラー法での系外惑星探索のモニター観測を効率的に実施するために簡易な手順で制御を行うことが目標であった。そのため、制御 GUI では、まず、天体データと較正用データ（バイアス、フラット、コンパリソン）を遠隔操作で取得するために、下記の取得データ設定を自動で変更可能にした：望遠鏡と光ファイバーの間の光路へのキャリブレーションランプユニットとヨードセルの挿入と退避、白色光源（フラットランプ）と波長較正光源（ThAr ホロカソードランプ）のスイッチの切替、オートガイドカメラ用減光フィルターの変更。また、制御 GUI には、分光器によるデータ取得（露出）を実行する PC への露出の命令の送信、露出時間と露出回数の管理を行い、生成された Fits データファイルのヘッダーに望遠鏡や環境情報、ヨードセルや CCD の温度などの分光器の情報を追加して各種データを完成させる機能を持たせた。

最新の制御 GUI のウィンドウを図 1 に示す。最新の制御 GUI は、装置設定を変更する”Instrument Set”、次の露出の設定を指定する”Data Set”、露出に関する情報を表示し露出を管理する”Exposure”、各種情報を表示する”Tel. and Inst. Information”の 4 つに別れている。取得データ設定は、”Instrument Set”で部分毎に変更可能だが、”Data type”のプルダウンメニューでデータタイプを選択すると適する設定へ自動的に変更することにした。天体名などの情報を望遠鏡の制御ソフトウェアから読み込んでいるため、観測開始時に天体観測用のデータタイプにしておけば、恒星光を光ファイバーに導入後露出時間と露出回数を指定して、”Start”をクリックするだけで要求する設定で露出が開始する。そのほか、露出を途中で止めてデータの読み出しを始めるなど露出を制御する機能も実装した。今後も、スクリプト（自動）観測への対応など、ユーザーが使いやすくなる機能の実装を検討する。

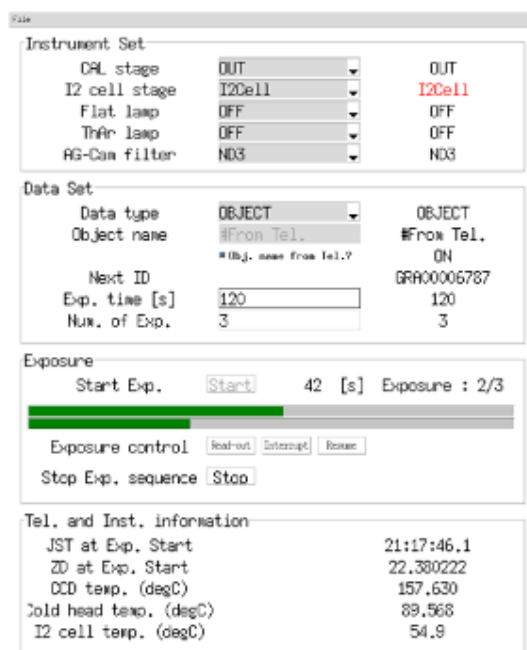


図 1 最新の GAOES-RV 制御 GUI の画面

参考文献

- [1] GAOES-RV web page: http://www.o.kwasan.kyoto-u.ac.jp/inst/gaoes-rv/index_j.html

スペックルが変化する状況下における高コントラスト観測のための スペックル領域消光法に基づくコヒーレント差分撮像法

西川 淳^{1,2,3}

1: 国立天文台, 2: 総合研究大学院大学, 3: アストロバイオロジーセンター

系外惑星の反射光のスペクトル中にバイオシグナチャーを探すことは、今後の大型望遠鏡計画の目標のひとつとなっている。反射光での系外惑星の主星に対するコントラストは、 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ であるが、地上望遠鏡や温度制御が不十分な宇宙望遠鏡では、補償光学を最大限効かせても惑星より明るいレベルのスペックルノイズが残留して動き、後処理後もスペックル限界となって惑星検出を妨げる。CDI-SAN (Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling) 法はそれを解決する観測アルゴリズム+後処理法である [1]。

SAN 法はモデルを用いない実時間 Dark-Hole 制御法の一つで、可変形鏡で 5 種類の変調波面を加えて得た (1) 式で表される 5 種類の焦点像の強度から、対象となる領域の全ピクセルのスペックル電場 (E_s) が減るよう波面修正してスペックルを削減する [2]。

$$\begin{cases} I_0 = |E_s|^2 + I_p \\ I_1^+ = |E_s + \Delta E_1|^2 + I_p \\ I_1^- = |E_s - \Delta E_1|^2 + I_p \\ I_2^+ = |E_s + \Delta E_2|^2 + I_p \\ I_2^- = |E_s - \Delta E_2|^2 + I_p \end{cases} \quad (1)$$

しかし、高コントラストになると露出時間が長くなり、その間にスペックルが変動すると下げ止まり、達成できる実時間コントラストが限界にくる。

そこで CDI-SAN 法では、スペックル変化よりも高速に、SAN 法の 5 種類の変調波面加算と焦点像取得を繰り返しながら長時間のデータを取得し、(2) 式で表されるように焦点像強度の積分値と差分二乗積分値から、ほぼホトンノイズ限界のコントラストで惑星光 (I_p) を分離する。

$$I_{p1} = \langle I_0 \rangle - \frac{\langle (I_1^+ - I_1^-)^2 \rangle}{8 (\langle I_1^+ \rangle + \langle I_1^- \rangle - 2 \langle I_0 \rangle)} - \frac{\langle (I_2^+ - I_2^-)^2 \rangle}{8 (\langle I_2^+ \rangle + \langle I_2^- \rangle - 2 \langle I_0 \rangle)}, \quad (2)$$

図 1 は、スペックル変化のタイムスケール内に 5 つの強

度を 2 セットずつ測定し、それを 100 万回繰り返したデータから、コントラストの改善を示した数値シミュレーションの結果で、隠れていた疑似惑星が現われている。スペックル変化のタイムスケールが 36ms とすると、1 画像の露出時間は 1.8ms で、10 時間の積算データとなり、初期強度が 10^{-4} のとき、スペックルレベルの 1/1000 の惑星が検出する。本法は、現在や将来の地上望遠鏡および宇宙望遠鏡への実装可能性がある。

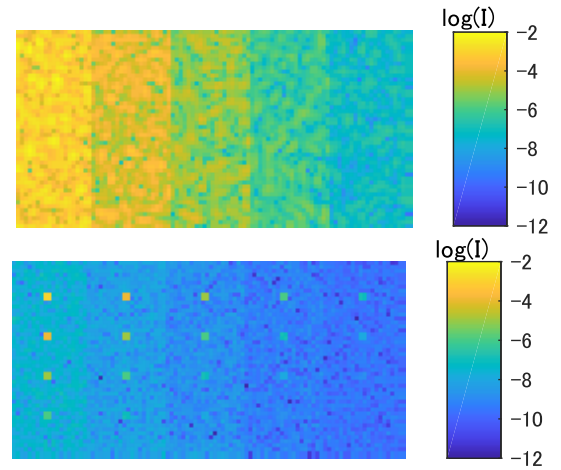


図 1 CDI-SAN の数値シミュレーションによるコントラスト改善効果。(上) 仮定したスペックルレベル。左のゾーンから順に、平均強度は 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} とした。(下) 200 万セットのデータを処理した後の画像。隠れていた疑似惑星の強度は上から順に、それぞれのゾーンにおけるスペックルレベルの 1 倍、1/10、1/100、1/1000。

参考文献

- [1] Nishikawa, J.: 2022, *ApJ*, **930**, 163.
- [2] Oya, M., Nishikawa, J. et al.: 2015, *OptRev*, **22**, 736.

大気散逸する短周期スーパーアースの軌道進化

堀 安範^{1,2}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台

ケプラー宇宙望遠鏡および地上からのトランジット測光観測によって、中心星近傍に存在する惑星の半径-存在頻度分布には、 $1.5\text{--}2.0R_{\oplus}$ (地球半径) の半径を持つ小さな惑星の欠乏領域が存在することが明らかになってきた [1]。この惑星の欠乏領域は「半径ギャップ」と呼ばれており、岩石惑星と大気を持つ惑星の組成境界を表していると考えられている。短周期惑星の半径-頻度分布を再現する先行研究 [2] によると、観測された「半径ギャップ」の起源は中心星からの X 線や極端紫外線 (XUV) 照射で駆動される惑星の大気散逸説が有力視されている。短周期惑星の大気散逸に関する理論研究の多くは、惑星が大気を失いながらも数十億年間に渡って、その場に留まり続けると仮定していた。しかし、惑星の大気散逸で生じる星-惑星系の軌道角運動量の変化によって、惑星は外側に移動する可能性があるためである [3]。惑星が受ける中心星からの XUV フラックスが惑星の質量放出率自体を制御する。惑星が外側へ移動するにつれて、惑星が受ける星からの XUV 照射量も減少するため、惑星からの大気散逸量が軽減される。したがって、光蒸発を経験する短周期惑星の軌道と大気の共進化の理解は、中心星近傍で観測される惑星分布の成因を明らかにする上で極めて重要である。

そこで、我々は太陽型星周りの短周期スーパーアースについて、恒星からの XUV 照射で駆動される惑星の大気散逸で引き起こされる軌道変化を調べた。この研究は流体力学的散逸とともに起きる短周期スーパーアースの軌道移動を定量的に評価する初めての試みとなっている。星-惑星系の軌道角運動量保存の要請から、大気の質量損失分を補填するよう短周期惑星の軌道は変化する。大気散逸で系外へ持ち去られる軌道角運動量が少ないほど、惑星はより遠くへ移動する。大気散逸する惑星の軌道半径の増加率は、中心星の XUV 光度が高い時期 (数億年より若い年齢の時) の大気の質量減少率にほぼ比例する。図 1 は太陽質量の星周りで $1M_{\oplus}$, $3M_{\oplus}$, $10M_{\oplus}$ (地球質量) のコアを持つ短周期スーパーアースの大気質量割合と軌道長半径の増加率の時間変化を示している。初期の軌道長半径は 0.05 au とし、初期の大気質量割合は $10\text{ wt\%}$ とした。コアの質量が小さいほど、上層大気の重力的束縛が弱くなるため、光蒸発による大気流出が起きやすい。10 億年間での短周期惑星の軌道の増加率は 10% 未満とそれほど大きくはないが、トラピスト 1 系のようなコンパクトな複数惑星系の軌道に対しての影響は少なくないだろう。

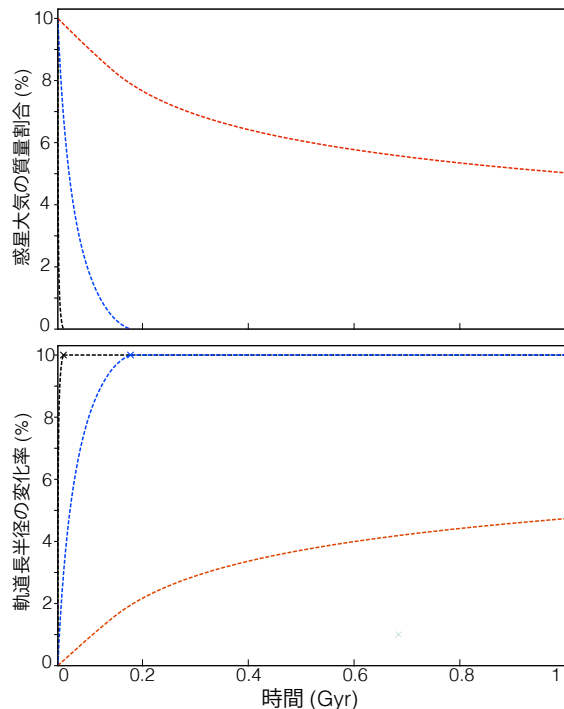


図 1 太陽質量の星周りで $1M_{\oplus}$ (黒破線)、 $3M_{\oplus}$ (青破線)、 $10M_{\oplus}$ (赤破線) のコア質量を持つスーパーアースの大気質量割合と軌道長半径の変化率の時間進化。各惑星の水素/ヘリウムに富んだ原始大気の初期質量割合はコア質量の $10\text{ wt\%}$ として、惑星の初期位置は 0.05 au とした。× 記号は惑星が初期大気を完全に失った時刻を表している。

謝辞

本論文 [4] は藤田菜緒氏 (京都大学)、佐々木貴教氏 (京都大学) との共同研究であり、2022 年 4 月付けの米国科学雑誌アストロフィジカル・ジャーナルにて掲載されている。

参考文献

- [1] Fulton, B. J., & Petigura, E. A.: 2018, ApJ, **156**, 6, 264.
- [2] Owen, J. E., & Wu, Y.: 2017, ApJ, **847**, 29.
- [3] Jackson, B., et al.: 2016, CeMDA, **126**, 227.
- [4] Fujita, M., Hori, Y., & Sasaki, T.: 2022, ApJ, **928**, 2, 105.

スパースモデリングとスペクトル脱混合を用いた

地球型系外惑星における惑星マッピング

栗田 敦基¹, 河原 創¹, 逢澤 正嵩², 小谷 隆行^{3,4,5}, 田村 元秀^{1,3}

1: 東京大学, 2: 李政道研究所, 3: アストロバイオロジーセンター, 4: 国立天文台, 5: 総合研究大学院大学

惑星マッピングとは、系外惑星の反射光の時系列データから惑星表面の空間分布を復元する方法論である。将来的に系外惑星の直接撮像が可能になったとしても、系外惑星の見かけの小ささのために惑星表面を直接空間分解して調査することは不可能である。しかし、惑星が反射した主星からの光の時間変化を得ることができれば、惑星表面の空間分布を推定することが可能であり、その方法論として惑星マッピングが開発された[1]。惑星マッピングの応用として、スパース性を持つ（要素の多くがゼロである）解を誘導するスパースモデリングの導入[2]や、海洋・植生・砂漠のような複数成分の表面分布と反射スペクトルを同時に復元するスペクトル脱混合の導入[3]といった方法論が提案されてきた。本研究ではこれらの手法を結合させることで、惑星マッピングのさらなる発展を試みた[4]。

惑星マッピングは逆問題として定式化され、適切な目的関数がある条件の下で最小化するような数理最適化問題を解くことに帰着する。本研究においては、スパースモデリングおよびスペクトル脱混合を適用できるような正則化項および条件を用いた。将来の宇宙望遠鏡での系外惑星の反射光観測を想定し、雲のない地球のシミュレーションモデルによるテスト、および地球観測衛星 DSCOVR によって得られた地球の観測データによるテストを行った。

実際のテストにおいては、適切な定式化の後にアルゴリズムを用いた計算を行い、正則化項の度合いに対応する正則化パラメタを選択することで適切な解を求める。テストの結果、スパース性および連続性を持つ表面分布を復元することができ（図1）、反射スペクトルにおいても先行研究に比べて誤差の最も小さいものを復元することができた（図2）。複数成分が混在している部分の復元の精度向上や、異なる正則化項を用いることによる復元結果の比較、また、本研究では静的な成分を仮定して復元を行ったのに対し、雲のように時間発展する成分に関する復元が今後の課題として挙げられる。

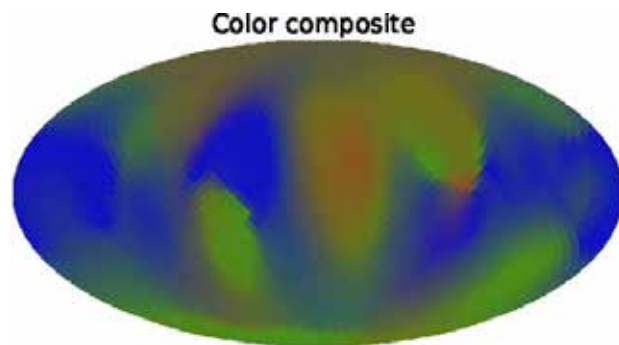


図1 DSCOVR のデータを用いて復元した地球の表面分布。青:海洋、緑:植生、赤:砂漠。雲の表面分布を同時に推定しているが、図上では表示させていない。

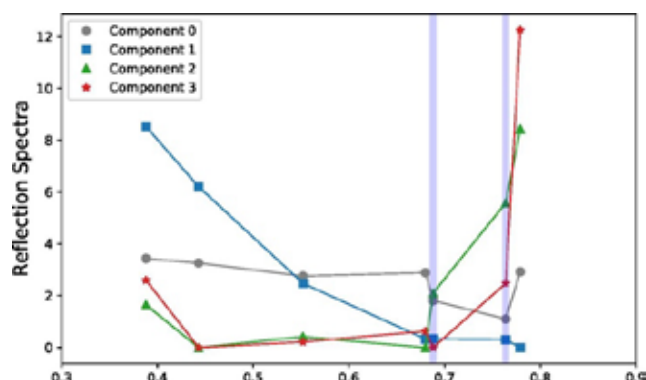


図2 DSCOVR のデータを用いて復元した反射スペクトル。青:海洋、緑:植生、赤:砂漠、灰:雲。

参考文献

- [1] Kawahara, H., & Fujii, Y. 2010, ApJ, 720, 1333
- [2] Aizawa, M., Kawahara, H., & Fan, S. 2020, ApJ, 896, 22
- [3] Kawahara, H. 2020, ApJ, 894, 58
- [4] Kuwata, A., Kawahara, H., Aizawa, M., Kotani, T., & Tamura, M. 2022, ApJ, 930, 2

SR 21 における原始惑星系円盤構造の謎を解明

楊 毅¹

1: アストロバイオロジーセンター

イントロダクション

惑星形成を理解する上で、原始惑星系円盤の研究は重要な役割を果たします。2022 年、私が率いるチームは「Multiple Rings and Asymmetric Structures in the Disk of SR 21」というプロジェクトを完成させ、アタカマ大型ミリ波/サブミリ波アレイ (ALMA) を利用し、T-タウリ星 SR 21 の円盤内の複雑なサブストラクチャーを明らかにしました。

発見

私のチームは、円盤を撮像するために ALMA Band 6 (1.3 mm) および Band 3 (2.7 mm) の高解像度観測を使用し、以前の低解像度研究では見られなかった多くの詳細な特徴を明らかにしました：

- **リングと非対称構造の発見：** この研究は、SR 21 ディスク内に 2 つの明確なリングと 3 つの非対称構造 (Inner Arc、North Arc、South Arc) を発見しました。これらの特徴は、複雑なダイナミックなプロセスの兆候で、円盤内で成長している惑星の影響を示唆しています。Band 3 では、多くの塊 (I-V、A、B、C、D) が発見され、これは非対称構造の中で大きな塵が小さな塊に集まる傾向があることを示

している可能性があります。これらの発見は、惑星-円盤相互作用理論に重要な意味を持ちます。

- **塵のサイズ制約：** SED フィットTINGは、ディスク内の塵が 1mm 以上、または 300 μm 以下の 2 つの別々のサイズ範囲を持つ可能性があることを示唆しています。これはディスクの構成と進化についての手がかりを提供し、さらなる波長や偏光観測からこれを区別することができます。

影響と意義

私が率いたこの研究は、原始惑星系円盤の複雑なダイナミクスと惑星形成におけるその役割に光を当てます。成長する惑星によって引き起こされる複数のリングと非対称構造の発見は、惑星-円盤相互作用を理解するための新たな道を開きます。これらの発見は、原始惑星系円盤を研究する際に高解像度の観測の重要性を強調しています。将来的には、さらに高度な技術を用いた研究が、これらの魅力的な天体構造についてのさらなる詳細を明らかにする可能性があります。

参考文献

- [1] Yang, Y. et al.: 2023, Multiple Rings and Asymmetric Structures in the Disk of SR 21, ApJ, 948, 110, 2023

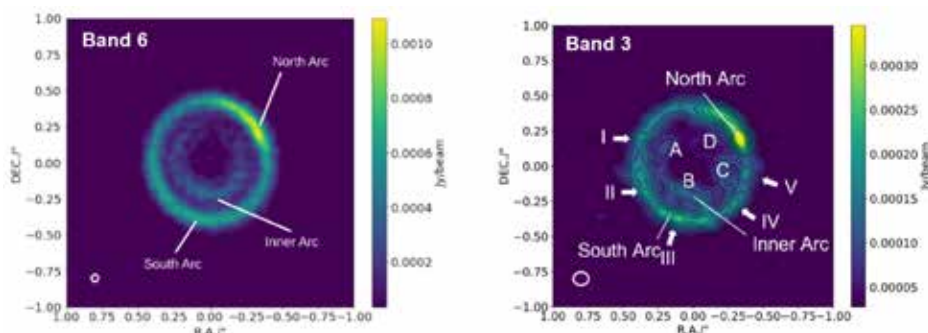


図 1 SR 21 の原始惑星系円盤の画像、アルマ望遠鏡 Band 6 (左, 1.3 mm) と 3 (右, 2.7 mm) による撮像。

超低質量天体 ZZ Tau IRS の非対称円盤における粒子成長

Hashimoto, Jun^{1,2,3}, Liu, Haoyu Baobab⁴, Dong, Ruobing⁵,
Liu, Beibei⁶, and Muto, Takayuki⁷

1: Astrobiology Center, 2: Subaru Telescope, 3: Department of Astronomy, School of Science, Graduate University for Advanced Studies,
4: Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, 5: Department of Physics & Astronomy, University of Victoria,
6: Institute for Astronomy, School of Physics, Zhejiang University, 7: Division of Liberal Arts, Kogakuin University

質量が約 $0.2M_{\odot}$ 以下の超低質量星や褐色矮星を中心とした惑星形成は、現代の惑星形成理論において鍵となる問題とされている。コア降着モデルによれば、このような超低質量星の周りには、最大でも数地球質量の惑星しか形成されないと考えられている [1]。しかし、これまでの系外惑星探査により超低質量星や褐色矮星の周りには巨大なガス惑星が複数発見されている [2]。このような超低質量星の周りの巨大なガス惑星がどのようにして形成されるのかはまだよくわかっていない。

最近の ALMA 望遠鏡による高分解能観測は、原始惑星円盤内のダスト連続波の構造に関する新しい知見を提供している。その中で、ギャップとリングの形成は巨大惑星と円盤の相互作用から生じると考えられている。さらに、複数の系で三日月構造が確認され、これにダストトラップが関与しているとされている。非対称な円盤は、微惑星や惑星形成の可能性があると考えられている。一方で、非常に低質量な星の周りの円盤では、ダストトラップによる固体粒子の成長が効率的に進むかどうかは議論の余地がある。そのため、このような超低質量星の周りでの粒子成長を調査することが重要である。

我々の研究では、これまでの観測で超低質量星の中で最も大きなダスト円盤を持つ ZZ Tau IRS に焦点を当てた。以前の ALMA 観測では、この系のダスト円盤にリング構造と三日月構造が報告されている [4]。JVLA 望遠鏡を使って ZZ Tau IRS のセンチメートル連続波を多波長で観測した結果、ZZ Tau IRS の周りで有意な信号が検出された。これらの結果と以前の ALMA 観測を組み合わせ、スペクトルエネルギー分布 (SED) を計算し、輻射輸送計算から得られた異なる最大ダスト半径の SED と比較した。その結果、観測を説明するには自由-自由放射に加えて2つのダスト成分が必要であることが明らかになった。

これらの3つの成分をフィットさせると、2つのダスト成分の最大粒径はそれぞれ $60 \mu\text{m}$ 未満と 1 mm 以上であることが示された。フィッティングの他のパラメータを考

慮すると、三日月構造領域からの放射が最大のダスト粒子サイズを持っていることが判明した。これは、ZZ Tau IRS の円盤内でサブミクロンサイズの星間物質に比べて粒子成長が起こったことを示唆している。したがって、ミリメートルサイズのペブルを含む三日月構造領域での惑星形成は、サブミリサイズのペブルを含む領域よりも効率的に進む可能性がある。

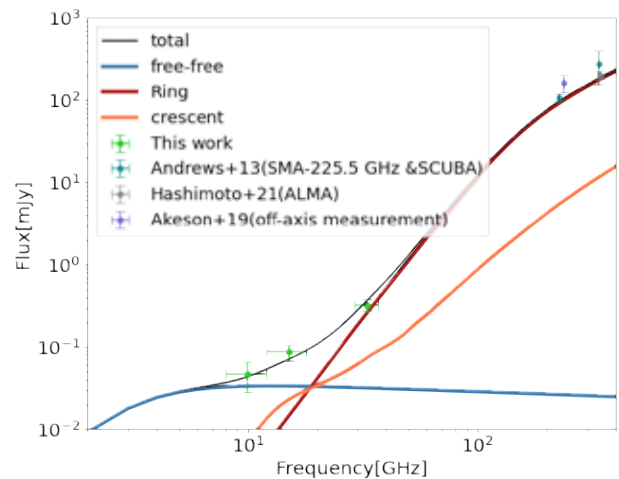


図1 ZZ Tau IRS で観測されたフラックス密度 (点) とそれを解釈する我々のモデル。茶色とオレンジの線は、それぞれ我々のモデルにおける2つのダスト放射成分 (リング部分と三日月部分) を表し、青色の線は自由-自由放射成分を表す。黒線は全てのモデル成分の足し合わせを表す。

参考文献

- [1] Liu, B., Lambrechts, M., Johansen, A., Pascucci, I., & Henning, T. 2020, *A&A*, **638**, A88.
- [2] Astudillo-Defru, N., Díaz, R. F., Bonfils, X., et al. 2017, *A&A*, **605**, L11.
- [3] Ansdell, M., Williams, J. P., Manara, C. F., et al. 2017, *AJ*, **153**, 240.
- [4] Akeson, R. L., Jensen, E. L. N., Carpenter, J., et al. 2019, *ApJ*, **872**, 158.

星なし分子雲コアの密度・磁場構造と磁気平衡解モデルとの比較

神鳥 亮

(アストロバイオロジーセンター)

我々は、南アフリカ共和国で運用中の IRSF 1.4m 望遠鏡と近赤外線 3 色同時偏光器 SIRPOL[1] を用いた背景星の星間偏光測定に基づき、太陽系近傍の分子雲コアを取り巻く磁場構造の探査を進めている。磁場は、自己重力に対抗してコアを力学的に支える要素として働くだけでなく、物質の濃集方向の制御や、磁気ブレーキによるコア内部から外部への角運動量の輸送などに影響を与えるため、星惑星系形成において重要な役割を果たすと考えられている。

我々は、磁場や偏光の解析方法の開発 [2,3,4,5,6] なども行いながら観測を進め、これまでに 6 天体での湾曲磁場の検出を報告した (FeSt 1-457:[7], B68:[8], B335:[9], CB81/L1774:[10], BHR71:[11], CrA-SL42/-E:[12])。

これらの 6 天体のうち、原始星が付随する星ありコア 2 天体 [11,12] において、コアを取り巻く U 字型にカーブした磁場構造を検出した。これを説明するシナリオとしては、超新星爆発などに駆動された星間衝撃波によってコアが圧縮されつつ周囲の低密度物質が磁力線とともに吹き流し構造を作る“井上-福井メカニズム”[13] が考えられる。

残りの 4 天体では、赤道面がくびれて軸対称に歪んだ砂時計に似た形状の磁場構造を検出した (星なしコア:[7,8,10], 星ありコア:[9])。砂時計形状の磁場構造は、それが凍結磁場を引きずりながらの物質集積によるコア形成の履歴であるとする理論的にも自然に理解できる。

砂時計型の磁場構造が付随する星なしコア 3 天体の中でも、CB81[10] では、砂時計磁場の中心とコアの質量分布の重心の位置とが 0.5 コア半径程度ずれている様子が観測された。このオフセットの存在を説明するシナリオとしては、コア形成の際の初期密度分布と初期磁場分布のどちらか一方が不均一であったことなどが考えられる。このような特殊な場合は、シンプルなモデリングが難しい。

砂時計型の磁力線分布の中心と質量分布の重心の位置が整合的な星なしコアは、FeSt 1-457[7] と B68[8] である。この 2 天体について、自己重力に対抗する要素として磁場と熱と乱流を考慮した力学的安定性を調べた。

臨界質量の見積もりには、磁気平衡解 (磁気静水圧平衡) モデル [14] により支持可能な質量を示す $M_{\text{cr}} \approx M_{\text{mag}} + M_{\text{BE}}$ [15] の式を用いた。ここで、 M_{mag} は磁気臨界質量 (磁場によるサポート) を、 M_{BE} は Bonnor-Ebert 質量 (熱と乱流によるサポートを考慮) を表す。観測から求めたコア質量 (M_{core}) と理論的に見積もった臨界質量 (M_{cr}) の比として得られる臨界性 ($M_{\text{core}}/M_{\text{cr}}$) は、1 に近い値 (ほぼ臨界) を示すことがわかった。コアまでの距離の見積もりを幅を持たせて検討した場合でも、コアの臨界性の推定値

は、 $1.0 \pm 1\sigma$ ($1\sigma \sim 0.3$) の範囲内に入ることがわかった。自己重力と磁場とを比べた磁気臨界性 ($M_{\text{core}}/M_{\text{mag}}$) は、 ~ 1.5 から ~ 2.5 (磁気超臨界) の値を示した。FeSt 1-457 と B68 は、磁場だけでは支えきれないが、磁場と熱と乱流の全ての要素を考慮すると臨界に近い状態、安定平衡かゆっくりとした収縮を始めた状態にあると予想される。

星間ガスの二相構造を考慮した最近の分子雲形成シミュレーション [16] では、衝撃波圧縮による熱不安定性の中で生じた冷たく濃密なクラumpが磁力線に沿って集まりながらコア形成が進み、質量磁束比が重臨界から超臨界に向けて徐々に上昇する傾向が見られた。この描像の下では、孤立的な領域などで緩やかな質量降着やその途中停止が起こると、安定平衡かそれに近い内部構造のコアが出現する。そこで、FeSt 1-457 と B68 について、磁気平衡解モデル [14] から予想される密度・磁場構造との比較を行った。

磁気平衡解モデルへの入力は、(1) 無次元半径: $\xi_0 = R_0/C_s/(4\pi G\rho_s)^{1/2}$, (2) 圧力比: $\alpha = B_0^2/8\pi P_0$, (3) コア中心と外縁の密度比: ρ_c/ρ_s であり、ここで、 R_0 , B_0 , P_0 は、コアの初期半径、初期磁場強度、外圧である。観測からの推定値 [7,8] を使って計算した磁気平衡解は、磁力線方向に潰れたオブレート状の密度構造と砂時計型に歪んだ磁場構造を示した。観測から求めた 3 次元磁場軸の向き [7,8] と整合するように密度構造と磁場構造を傾けた上で視線方向に積分する疑似観測を行ったところ、両コアについて得られた柱密度マップの楕円率は観測と誤差の範囲で一致し、磁力線形状も観測と比較的良好一致を示した。これらの結果は、FeSt 1-457 と B68 の内部構造と安定性が、力学的な釣り合い状態に比較的近いことを示唆する。

参考文献

- [1] Kandori, R. et al., 2006, Proc. SPIE, 6269, 159
- [2] Kandori, R. et al., 2017, ApJ, 845, 32
- [3] Kandori, R. et al., 2017, ApJ, 848, 110
- [4] Kandori, R. et al., 2018, ApJ, 857, 100
- [5] Kandori, R. et al., 2018, ApJ, 865, 121
- [6] Kandori, R. et al., 2018, ApJ, 868, 94
- [7] Kandori, R. et al., 2020, ApJ, 888, 120
- [8] Kandori, R. et al., 2020, PASJ, 72, 8
- [9] Kandori, R. et al., 2020, ApJ, 891, 55
- [10] Kandori, R. et al., 2020, ApJ, 890, 14
- [11] Kandori, R. et al., 2020, ApJ, 892, 128
- [12] Kandori, R. et al., 2020, ApJ, 900, 20
- [13] Inoue, T. & Fukui, Y., 2013, ApJL, 774, 31
- [14] Tomisaka, K., et al., 1988, ApJ, 335, 239
- [15] McKee, C. F. 1989, ApJ, 345, 782
- [16] Iwasaki, K. & Tomida, K., 2022, ApJ, 934, 174

微視的量子飛躍：観測問題の一解釈

中島 紀^{1,2}

1: アストロバイオロジーセンター, 2: 国立天文台

イントロダクション

現代物理学の中でも量子力学ほど見事な成功を収めた分野はない。その理論は、素粒子物理学、原子物理学、物性物理学や化学までカバーする。量子力学は、我々が何を観測するかを予言する点においては、優秀である。ところが、その観測過程に何があるかと問うと事情は途端に複雑になる。観測値の古典性の起源はなんだろうか？量子性から古典性への遷移は、どのように起こるのか？どの過程が非可逆なのか？遷移は、なだらかなのか、それとも唐突なものか？量子力学が生まれてほぼ一世紀になる。その間に様々な観測の理論が生まれたが、まだこの問題は解決されていない。

従来の理論

例としてフォン・ノイマンの理論を紹介する。彼は、観測過程において二種類の変化があるとする。第一は、不連続的で、非因果的で、瞬間的なもので、量子飛躍 (Quantum Jump, QJ) と呼ばれるものである。第二は、連続的で、因果的なもので、シュレーディンガー力学に従って遷移する。フォン・ノイマンは、入射粒子と観測装置は、第二の変化に従うが、それのみでは巨視的な観測値は得られないので、第一の変化が、必要であるとする。彼は QJ が観測者の脳の中で起こるとした。この時観測装置は、巨視的な量子力学系として扱われるが、これは従来の理論の全てに共通して言えることである。QJ は、巨視的な状態の重ね合わせから、一つの固有状態を選ぶ過程である。言い換えれば、入射粒子の位置といった固有値を選択する過程でもある。

観測装置の古典性の前提

我々は、観測装置が、巨視的な量子系として扱われることを問題にする。それはボーアやフォン・ノイマンといった巨匠以来、暗黙の内に前提とされてきたものである。この問題点は、観測装置の古典性 (Postulate of Classicality of Apparatus, PCA) と我々が名付けたもので、この前提に従えば、観測装置に入射する粒子は、装置のもつ非常に大きな自由度と相互作用する。従来の理論は、この莫大な自由度をもつ状態から、たった一つの入射粒子の観測値を

(固有値) がどのように古典的な値として与えられるかを議論するのだが、決定打はなかった。

微視的量子飛躍 (Microscopic Quantum Jump, MIJ)

従来の理論家は、観測装置を観念的に捉えて、PCA を暗黙のうちに採用している一方、我々は、実際の入射粒子と検出器において起こっていることを、先入観なしで、観察する。すると次のことがわかる。入射粒子は、観測装置の持つ莫大な自由度と相互作用するのではなく、観測装置の一粒子とのみ相互作用する。この時点で、入射粒子の固有値は決まる。従って QJ は微視的から微視的である。これを、我々は、微視的量子飛躍 (Microscopic Quantum Jump, MIJ) と名付ける。MIJ によって、入射粒子の固有値情報を持った一微粒子が放出されるが、我々はこれを Microscopic Particle (MIP) と呼ぶ。MIP は増幅をトリガーする。

二次元光子計数検出器

MIJ と増幅の例として、Photocathode(PC) と Micro-Channel Plate(MCP) を用いた二次元光子計数検出器を取り上げる。PC は、二次元面的と捉えて良い。入射光子の固有値は、 (x,y,t) であり、光電効果によって、光子は吸収され、一光電子が MIP として PC の裏側に射出される。MCP は、電子増倍管の二次元的アレイであり、一つの管に入った MIP は、その管の中で、電子増幅をトリガーする。MCP のアウトプットは、 (x,y,t) の情報を持った電子の雲であり、最終的には、固有値情報を巨視的に持った電流パルスとなる。この時点で、一つの光子の観測が完了する。論文 [1] では、三次元的な荷電粒子の検出装置が MIJ とそれに続く増幅過程で解釈されることも、述べている。これからわかることは、量子力学の領域は、MIJ すなわち、MIP の射出までであり、微視的から巨視的への遷移(増幅)は、量子力学の領域外であるということである。

参考文献

- [1] : Nakajima, T. 2023, Microscopic Quantum Jump: An Interpretation of Measurement Problem, International Journal of Theoretical Physics 62:67

4. 研究連携

区分	実施数		備考
プロジェクト研究	16 件	13 機関	
サテライト研究	3 件	2 機関	
大学支援	5 件		
研究集会	2 件	シンポジウム、ワークショップ	
クロスアポイントメント	3 件	東京大学、アリゾナ大学、ワシントン大学	
客員教授等	3 件	東京大学、東京農工大学、鹿児島大学	

4-1 アストロバイオロジーセンター 公募研究

2022 年度 プロジェクト研究

課題番号	代表者	所属	研究課題
AB041001	古川善博	東北大学	炭素質隕石の高分解能質量イメージングで探る初期太陽系の生命構成分子の起源
AB041002	癸生川陽子	横浜国立大学	有機物の直接検出を目指した熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析による炭素質コンドライトの分析
AB041003	鈴木志野	宇宙航空研究開発機構	岩石内地下水圏環境に生命は存続可能か？地球最古の地下水圏環境における微生物学的解析
AB041004	伊藤久美子	名古屋大学	大酸化イベントを引き起こしたシアノバクテリアの集光戦略についての研究
AB041005	星野辰彦	海洋研究開発機構	超低エネルギー環境における微生物の存続メカニズムの解明
AB041006	松田有一	国立天文台	系外惑星表面直接撮像に向けた新たな超大型光学宇宙望遠鏡概念の地上原理実証実験
AB041007	篠崎彩子	北海道大学	リンで紐解く生命の起源：学際的アプローチで探る宇宙のリンが生命誕生の場に届けられるまで
AB041008	矢島秀伸	筑波大学	計算アストロバイオロジー：有機分子に対する円偏光と偏極ミュオンの影響

AB041009	玉内朱美	理化学研究所	ミリ波およびサブミリ波周波数帯域での実験的分子分光法によるキラル分子の解明
AB041010	三河内岳	東京大学	火星起源隕石中の溶融土壌成分から推測する火星表層の環境進化過程
AB041011	木賀大介	早稲田大学	生命の初期進化において生体高分子のユニット多様性と合成の正確さがその活性に与える影響の検証
AB041012	鹿野良平	国立天文台	系外惑星探査に向けた近赤外線撮像センサーの高精度感度ムラ較正の確立
AB041013	村上尚史	北海道大学	スペース・地上でのバイオシグネチャー探査を目指した近赤外広帯域6次コロナグラフ位相マスクの開発
AB041014	小林政弘	核融合科学研究所	星間プラズマ微粒子相互作用における有機物分子の形成・輸送過程と円偏光ライマン α 線によるホモキラリティの起源に関する研究
AB041015	木村駿太	宇宙航空研究開発機構	宇宙探査におけるフォワード汚染を低減する基盤技術の獲得：過酸化水素蒸気（VHP）滅菌
AB041016	藤島皓介	東京工業大学	生命の最終共通祖先以前のリボソームの再構成と機能検証

2022 年度 サテライト研究

課題番号	代表者	所属	研究課題	区分
AB042001	河原 創	東京大学	データ科学手法で迫る新世代の太陽系外惑星探査	継続
AB042002	鈴木庸平	東京大学	火星生命検出に向けたアナログ岩石研究—超塩水を伴う太古代の岩石からのアプローチ	新規
AB042003	横堀伸一	東京薬科大学	月軌道プラットフォーム・ゲートウェイ搭載アストロバイオロジー実験の実現に向けた準備研究	新規

4-2 研究集会

	日時	主催	研究課題	参加 人数
1.	2022 年 12 月 12 日	ABC	令和4年度 ABC シンポジウム	---名
2.	2023 年 2 月 17 日-18 日	ABC	令和4年度プロジェクト/サテライト成果発表 会「第11回 宇宙における生命ワークショッ プ」	---名
3.	2023 年 3 月 10 日	神戸大	CPS & ABC ワークショップ『地球型惑星の気 候を地球古気候研究から考える』（共催）	
4.	2023 年 3 月 19 日-21 日	慶應大	慶應アストロバイオロジーキャンプ 2023（共 催）	

* ABC 主催のプログラムは次ページ以降参照

アストロバイオロジーセンターシンポジウム 2022 ～ハビタビリティの理解の現状と生命兆候の将来観測～

Astrobiology Center Symposium 2022

Current Understanding of "Habitability" and Future Prospects for Detecting Biosignatures

日時：2022 年 12 月 12 日 (月)

場所：国立天文台三鷹キャンパスおよび Zoom におけるハイブリッド開催

1 月 28 日 (金)

時間	講演者	所属	タイトル
9:00	田村 元秀	ABC	Opening remark
9:10	Ravi Kumar Kopparapu	NASA	The Search for Habitable and Inhabited Worlds in our Galaxy
10:10	Olivier Guyon	Univ. of Arizona / NAOJ / ABC	The Path to Direct Imaging and Spectroscopy of habitable Planets with upcoming large ground-based Telescopes
11:10	休憩		
11:30	作野 裕司	広島大学	沿岸環境リモートセンシングを含む惑星表層環境の観測 Observation of planetary surface environment including remote sensing for coastal environment
12:30	昼休憩		
13:40	上妻 馨梨	ABC	系外惑星の生命探査に繋がる植物光合成応答のリモートセンシング Remote sensing of photosynthetic responses leading to the search for life on exoplanets
14:40	河野 優	東京大学	光合成を駆動しない遠赤色光が光合成の調節に果たす役割 Roles of far-red light in regulation of photosynthesis
15:40	休憩		
16:00	Nicolas Cowan	McGill University	The Habitability of Terrestrial Planets Orbiting Red Dwarf Stars
17:00	平野 照幸	ABC	Closing remark

第 11 回 宇宙における生命ワークショップ

11th Life in the Universe workshop by AstroBiology Center, NINS

令和 4 年度 ABC プロジェクト/サテライト成果報告会

日時：2023 年 2 月 17 日 (金) ～ 2 月 18 日 (土)

場所：国立天文台三鷹キャンパスおよび Zoom におけるハイブリッド開催

2 月 17 日 (金)

時間	氏名	カテゴリー	タイトル
10:00	田村 元秀		Opening remark
10:20	鈴木 志野	Project	地球最古の地下水圏環境における微生物学的解析 Microbiological Analysis of the Earth's Oldest Subsurface Hydrosphere
10:40	星野 辰彦	Project	海底下深部微生物群の生態と進化 Ecology and evolution of seafloor microbial communities
11:00	伊藤 久美子	Project	大酸化イベントを引き起こしたシアノバクテリアの集光戦略についての研究 Study of the light-harvesting strategies in cyanobacteria, which triggered the great oxidation event.
11:20	木村 駿太	Project	宇宙探査におけるフォワード汚染を低減する基盤技術の獲得：過酸化水素蒸気（VHP）滅菌 Acquisition of fundamental technology to reduce forward contamination in space exploration: Vaporized hydrogen peroxide (VHP) sterilization
11:40			Lunch break
13:00	癸生川 陽子	Project	有機物の直接検出を目指した熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析による炭素質コンドライトの分析 Direct detection of organic matter from carbonaceous chondrites using pyrolysis gas chromatography mass spectrometry
13:20	藤島 皓介	Project	生命の最終共通祖先以前のリボソームの再構成と機能検証 Reconstruction and functional verification of pre-LUCA ribosome
13:40	木賀 大介	Project	生命の初期進化において生体高分子のユニット多様性と合成の正確さがその活性に与える影響の検証 How did fidelity and size of genetic alphabet affect activity of the molecule in primordial life?
14:00			Break
14:10	矢島 秀伸	Project	輻射輸送計算による星間紫外線円偏光場のモデル化とキラル分子への影響 Radiative transfer calculations of UV photons with circular polarization and its influence on chiral molecules
14:30	小林 政弘	Project	紫外円偏光照射による有機物分子のキラリティの発現に関する研究 Chirality of organic molecules by ultraviolet circularly polarized light irradiation
14:50	玉内 朱美	Project	ミリ波およびサブミリ波周波数帯域での実験的分子分光法によるキラル分子の解明 Clarification of chiral molecules via experimental molecular emission spectroscopy in millimeter and submillimeter frequency ranges
15:10			Break
15:30	都築 俊宏	Project	系外惑星表面直接撮像に向けた新たな超大型光学宇宙望遠鏡概念の地上原理実証実験 Proof-of-principle Experiment of an Extremely Large Space Telescope Concept for Direct Imaging of Exoplanet Surface
15:30	村上 尚史	Project	バイオシグネチャー探査を目指した広帯域 6 次コロナグラフ位相マスクの開発 Development of broadband coronagraphic phase masks to search for biosignatures
16:10	河原 創	Satellite	系外惑星にデータ科学を使う Data Science and Exoplanets

2月18日(土)

09:30	篠崎 彩子	Project	リンで紐解く生命の起源Ⅱ：学際的アプローチで探る宇宙のリンが生命誕生の場に届けられるまで Phosphorus as a key to the origin of life Ⅱ: Interdisciplinary and comprehensive study on processing phosphorus from the universe to building blocks of life
09:50	古川 善博	Project	隕石有機分子の高分解能イメージングで探る初期太陽系の生命構成分子の起源 Investigations on the origins of organic compounds in meteorites by high-resolution imaging mass spectrometry
10:10	三河内 岳	Project	火星隕石中に見られる衝撃溶融メルトとその再現実験 から検証する火星土壌組成 Shock melt in Martian meteorites and its reproduction experiment: Implications for the Martian soil compositions
10:50	Break		
10:50	鈴木 庸平	Satellite	火星生命検出に向けたアナログ岩石研究ー超塩水を伴う太古代の岩石からのアプローチ Analog rock studies for the detection of life on Mars: An approach from archaean rocks with hypersaline groundwater
11:20	横堀 伸一	Satellite	月軌道プラットフォーム・ゲートウェイ搭載アストロバイオロジー実験の実現に向けた準備研究 Preparatory research of astrobiology experiment on Lunar Orbital Platform Gateway
11:50	鹿野 良平	Project	近赤外線撮像センサーの高精度感度ムラ較正に関する実験 Experiments for high-accuracy sensitivity calibration of near-infrared imaging sensors
12:10	Closing remark		

5. 成果論文・発表リスト

5-1 欧文報告(査読あり) 71 編

- Barragan, O., et al. including **Hirano, T.**: 2022, The young HD 73583 (TOI-560) planetary system: two 10-M-circle plus mini-Neptunes transiting a 500-Myr-old, bright, and active K dwarf, *MNRAS*, 514.
- Cadieux, C., et al. including **Narita, N., Hirano, T., Kotani, T., Tamura, M.**: 2022, TOI-1452 b: SPIRou and TESS Reveal a Super-Earth in a Temperate Orbit Transiting an M4 Dwarf, *AJ*, 164, 96.
- Carmichael, T. W., et al. including **Narita, N.**: 2022, TOI-2119: a transiting brown dwarf orbiting an active M-dwarf from NASA's TESS mission, *MNRAS*, 514.
- Chaturvedi, P., et al. including **Mori, M., Narita, N., Vievard, S.**: 2022, TOI-1468: A system of two transiting planets, a super-Earth and a mini-Neptune, on opposite sides of the radius valley, *A&A*, 666, A155.
- Ching, T. C., et al. including **Tamura, M.**: 2022, The JCMT BISTRO-2 Survey: Magnetic Fields of the Massive DR21 Filament, *ApJ*, 941, 122.
- Christian, S., et al. including **Livingston, J. H., Mori, M., Tamura, M., Narita, N.**: 2022, A Possible Alignment Between the Orbits of Planetary Systems and their Visual Binary Companions, *AJ*, 163, 207.
- Christiansen, J. L., et al. including **Livingston, J. H., Hirano, T., Tamura, M.**: 2022, Scaling K2. V. Statistical Validation of 60 New Exoplanets From K2 Campaigns 2-18, *AJ*, 163, 244.
- Currie, T., et al. including **Guyon, O., Tamura, M., Kotani, T., Kudo, T., Hashimoto, J., Vievard, S.**: 2022, Images of embedded Jovian planet formation at a wide separation around AB Aurigae, *Nat. Astron.*, 6.
- Delrez, L., et al. including **Narita, N., Hirano, T., Harakawa, H., Hori, Y., Kotani, T., Kudo, T., Kusakabe, N., Mori, M., Tamura, M., Vievard, S.**: 2022, Two temperate super-Earths transiting a nearby late-type M dwarf, *A&A*, 667, A59.
- Diamond-Lowe, H., et al. including **Livingston, J. H.**: 2022, The K2-3 System Revisited: Testing Photoevaporation and Core-powered Mass Loss with Three Small Planets Spanning the Radius Valley, *AJ*, 164, 172.
- Esparza-Borges, E., et al. including **Narita, N., Kusakabe, N., Livingston, J. H., Mori, M., Tamura, M.**: 2022, A hot sub-Neptune in the desert and a temperate super-Earth around faint M dwarfs Color validation of TOI-4479b and TOI-2081b, *A&A*, 666, A10.
- Francis, L., et al. including **Hashimoto, J., Yang, Y.**: 2022, Gap Opening and Inner Disk Structure in the Strongly Accreting Transition Disk of DM Tau, *AJ*, 164, 105.

- Franson, K., et al. including **Guyon, O.**: 2023, Astrometric Accelerations as Dynamical Beacons: Discovery and Characterization of HIP 21152 B, the First T-dwarf Companion in the Hyades, *AJ*, 165, 39.
- Fujita, N., **Hori, Y.**, Sasaki, T.: 2022, Orbital Evolution of Close-in Super-Earths Driven by Atmospheric Escape, *ApJ*, 928, 105.
- Gibson, N. P., **Nugroho, S. K.**, Lothringer, J., Maguire, C., Sing, D. K.: 2022, Relative abundance constraints from high-resolution optical transmission spectroscopy of WASP-121b, and a fast model-filtering technique for accelerating retrievals, *MNRAS*, 512.
- Gupta, A., et al. including **Tamura, M.**: 2022, Effects of Magnetic Field Orientations in Dense Cores on Gas Kinematics in Protostellar Envelopes, *ApJ*, 930, 67.
- Haffert, S. Y., et al. including **Guyon, O.**: 2022, Phasing the Giant Magellan Telescope with the holographic dispersed fringe sensor, *JATIS*, 8, 21513.
- Harakawa, H.**, et al. including **Takarada, T.**, **Kasagi, Y.**, **Hirano, T.**, **Kotani, T.**, **Kuzuhara, M.**, **Omiya, M.**, **Hori, Y.**, **Ishikawa, H. T.**, **Livingston, J. H.**, **Kudo, T.**, **Kurokawa, T.**, **Kusakabe, N.**, **Narita, N.**, **Nishikawa, J.**, **Nugroho, S. K.**, **Takahashi, A.**, **Ueda, A.**, **Vievard, S.**, **Tamura, M.**: 2022, A super-Earth orbiting near the inner edge of the habitable zone around the M4.5 dwarf Ross 508, *PASJ*, 74.
- Hashimoto, J.**, Liu, H. B., Dong, R. B., Liu, B. B., Muto, T.: 2022, Grain Growth in the Dust Ring with a Crescent around the Very Low-mass Star ZZ Tau IRS with JVL A, *ApJ*, 941, 66.
- Hatzes, A. P., et al. including **Livingston, J. H.**, **Narita, N.**: 2022, A Radial Velocity Study of the Planetary System of pi Mensae: Improved Planet Parameters for pi Mensae c and a Third Planet on a 125 Day Orbit, *AJ*, 163, 223.
- Hedglen, A. D., et al. including **Guyon, O.**: 2022, Lab tests of segment/petal phasing with a pyramid wavefront sensor and a holographic dispersed fringe sensor in turbulence with the Giant Magellan Telescope high contrast adaptive optics phasing testbed, *JATIS*, 8, 21515.
- Herman, M. K., de Mooij, E. J. W., **Nugroho, S. K.**, Gibson, N. P., Jayawardhana, R.: 2022, Dayside Fe i Emission, Day-Night Brightness Contrast and Phase Offset of the Exoplanet WASP-33b, *AJ*, 163, 248.
- Hinkley, S., et al. including **Kuzuhara, M.**, **Tamura, M.**: 2022, The JWST Early Release Science Program for the Direct Imaging and Spectroscopy of Exoplanetary Systems, *PASP*, 134, 95003.
- Hirano, T.**, et al. including **Livingston, J. H.**, **Kasagi, Y.**, **Narita, N.**, **Ishikawa, H. T.**, **Harakawa, H.**, **Hori, Y.**, **Kotani, T.**, **Kudo, T.**, **Kurokawa, T.**, **Kuzuhara, M.**, **Mori, M.**, **Nishikawa, J.**, **Omiya, M.**, **Takahashi, A.**, **Takarada, T.**, **Ueda, A.**, **Vievard, S.**, **Tamura, M.**: 2023, An Earth-sized Planet around an M5 Dwarf Star at 22 pc, *AJ*, 165, 131.
- Honda, M., et al. including **Kudo, T.**, **Hashimoto, J.**, **Tamura, M.**: 2022, Subaru/IRCS L-

- band spectro-polarimetry of the HD 142527 disk scattered light, *PASJ*, 74.
- Hwang, J., et al. including **Tamura, M.**: 2022, The JCMT BISTRO Survey: A Spiral Magnetic Field in a Hub-filament Structure, Monoceros R2, *ApJ*, 941, 51.
- Kabath, P., et al. including **Livingston, J. H., Narita, N.**: 2022, TOI-2046b, TOI-1181b, and TOI-1516b, three new hot Jupiters from TESS: planets orbiting a young star, a subgiant, and a normal star, *MNRAS*, 513.
- Kasagi, Y.**, et al. including **Kotani, T.**: 2022, Dippers from TESS Full-frame Images. II. Spectroscopic Characterization of Four Young Dippers, *ApJS*, 259, 40.
- Kawauchi, K., et al. including **Narita, N., Hirano, T., Ishikawa, H. T., Kuzuhara, M., Mori, M., Livingston, J. H., Nishiumi, T., Harakawa, H., Hori, Y., Kotani, T., Kudo, T., Kurokawa, T., Kusakabe, N., Nishikawa, J., Omiya, M., Tamura, M., Ueda, A., Vievard, S.**: 2022, Validation and atmospheric exploration of the sub-Neptune TOI-2136b around a nearby M3 dwarf, *A&A*, 666, A4.
- Knudstrup, E., et al. including **Hirano, T., Livingston, J. H., Narita, N.**: 2023, A puffy polar planet The low density, hot Jupiter TOI-640 b is on a polar orbit, *A&A*, 671, A164.
- Knudstrup, E., et al. including **Livingston, J. H., Narita, N., Hirano, T.**: 2023, Radial velocity confirmation of a hot super-Neptune discovered by TESS with a warm Saturn-mass companion, *MNRAS*, 519.
- Komatsu, Y.**, et al. including **Hori, Y., Kuzuhara, M., Takizawa, K., Narita, N., Omiya, M., Kusakabe, N., Meadows, V., Tamura, M.**: 2023, Photosynthetic Fluorescence from Earthlike Planets around Sunlike and Cool Stars, *ApJ*, 942, 57.
- Komatsu, Y.**, Suzuki, T.: 2022, Quantum Chemical Study on Interstellar Synthesis of Cytosine by the Automated Reaction Path Search, *ACS Earth and Space Chemistry*, 6.
- Kozuka, T., Oka, Y., **Kohzuma, K.**, Kusaba, M.: 2023, Cryptochromes suppress leaf senescence in response to blue light in Arabidopsis, *Plant Physiology*, 191.
- Kruszynska, K., et al. including **Narita, N.**: 2022, Lens parameters for Gaia18cbf-a long gravitational microlensing event in the Galactic plane, *A&A*, 662, A59.
- Kuwata, A.**, Kawahara, H., Aizawa, M., **Kotani, T., Tamura, M.**: 2022, Global Mapping of Surface Composition on an Exo-Earth Using Sparse Modeling, *ApJ*, 930, 162.
- Kuzuhara, M.**, et al. including **Takarada, T., Hori, Y., Guyon, O., Vievard, S., Kudo, T., Nishikawa, J., Tamura, M.**: 2022, Direct-imaging Discovery and Dynamical Mass of a Substellar Companion Orbiting an Accelerating Hyades Sun-like Star with SCExAO/CHARIS, *ApJL*, 934, L19.
- Lillo-Box, J., et al. including **Narita, N.**: a late-K dwarf with a hot mini-Neptune in the desert and an eccentric cold Jupiter, *A&A*, 669, A109.
- Luque, R., et al. including **Hirano, T., Kotani, T., Kudo, T., Kuzuhara, M., Livingston, J.**

- H., Narita, N., Tamura, M.:** 2022, Precise mass determination for the keystone sub-Neptune planet transiting the mid-type M dwarf G 9-40, *A&A*, 666, A154.
- Maas, A. J., et al. including **Mori, M., Narita, N.:** 2022, Lower-than-expected flare temperatures for TRAPPIST-1, *A&A*, 668, A111.
- MacDougall, M. G., et al. including **Mori, M., Narita, N., Nishiumi, T.:** 2022, The TESS-Keck Survey. XIII. An Eccentric Hot Neptune with a Similar-mass Outer Companion around TOI-1272, *AJ*, 164, 97.
- Maguire, C., et al. including **Nugroho, SK:** 2023, High-resolution atmospheric retrievals of WASP-121b transmission spectroscopy with ESPRESSO: Consistent relative abundance constraints across multiple epochs and instruments, *MNRAS*, 519.
- Miyakawa, K., **Hirano, T.**, Sato, B., Okuzumi, S., Gaidos, E.: 2022, Color Dependence of the Transit Detectability of Young Active M Dwarfs, *AJ*, 164, 209.
- Mori, M.**, et al. including **Livingston, J. H., Narita, N., Hirano, T., Hori, Y., Ishikawa, H. T., Kuzuhara, M., Harakawa, H., Kotani, T., Kudo, T., Kurokawa, T., Kusakabe, N., Nishikawa, J., Nishiumi, T., Omiya, M., Ueda, A., Vievard, S., Tamura, M.:** 2022, TOI-1696: A Nearby M4 Dwarf with a 3R(circle plus) Planet in the Neptunian Desert, *AJ*, 163, 298.
- Murgas, F., et al. including **Livingston, J. H., Narita, N.:** 2022, HD 20329b: An ultra-short-period planet around a solar-type star found by TESS, *A&A*, 668, A158.
- Nakajima, T.:** 2023, Microscopic Quantum Jump: An Interpretation of Measurement Problem, *Int. J. Theor. Phys.*, 62, 67.
- Newton, E. R., et al. including **Narita, N.:** 2022, TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets (THYME). VII. Membership, Rotation, and Lithium in the Young Cluster Group-X and a New Young Exoplanet, *AJ*, 164, 115.
- Nishikawa, J.:** 2022, The Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) Method for High-contrast Imaging under Speckle Variation, *ApJ*, 930, 163.
- Nousiainen, J., et al. including **Guyon, O.:** 2022, Toward on-sky adaptive optics control using reinforcement learning Model-based policy optimization for adaptive optics, *A&A*, 664, A71.
- Orell-Miquel, J., et al. including **Livingston, J. H.:** 2023, HD 191939 revisited: New and refined planet mass determinations, and a new planet in the habitable zone, *A&A*, 669, A40.
- Orihara, R., et al. including **Hashimoto, J., Kudo, T., Yang, Y.:** 2023, ALMA Band 6 high-resolution observations of the transitional disk around SY Chamaeleontis, *PASJ*, 75.
- Persson, C. M., et al. including **Livingston, J. H., Narita, N.:** 2022, TOI-2196 b: Rare planet in the hot Neptune desert transiting a G-type star, *A&A*, 666, A184.

- Reefe, M. A., et al. including **Livingston, J. H., Narita, N.**: 2022, A Close-in Puffy Neptune with Hidden Friends: The Enigma of TOI 620, *AJ*, 163, 269.
- Schatz, L., et al. including **Guyon, O.**: 2022, Three-sided pyramid wavefront sensor, part II: preliminary demonstration on the new comprehensive adaptive optics and coronagraph test instrument testbed, *JATIS*, 8, 49001.
- Serrano, L. M., et al. including **Narita, N.**: 2022, The HD 93963 A transiting system: A 1.04 d super-Earth and a 3.65 d sub-Neptune discovered by TESS and CHEOPS, *A&A*, 667, A1.
- Shimizu, T., Uyama, T., **Hori, Y., Tamura, M.**, Wallack, N.: 2023, High-contrast Imaging around a 2 Myr-old CI Tau with a Close-in Gas Giant, *AJ*, 165, 20.
- Stefansson, G., et al. including **Hirano, T.**: 2022, The Warm Neptune GJ 3470b Has a Polar Orbit, *ApJL*, 931, L15.
- Steiger, S., et al. including **Guyon, O., Vievard, S.**: 2022, Probing Photon Statistics in Adaptive Optics Images with SCExAO/MEC*, *AJ*, 164, 186.
- Subjak, J., et al. including **Livingston, J. H.**: 2022, TOI-1268b: The youngest hot Saturn-mass transiting exoplanet, *A&A*, 662, A107.
- Swimmer, N., et al. including **Guyon, O., Kuzuhara, M., Vievard, S., Tamura, M.**: 2022, SCExAO and Keck Direct Imaging Discovery of a Low-mass Companion Around the Accelerating F5 Star HIP 5319, *AJ*, 164, 152.
- Tatematsu, K., et al. including **Kandori, R.**: 2022, Nobeyama Survey of Inward Motions toward Cores in Orion Identified by SCUBA-2, *ApJ*, 931, 33.
- Teng, H. Y., et al. including **Takarada, T., Omiya, M., Harakawa, H.**: 2023, A close-in planet orbiting giant star HD 167768, *PASJ*, 75.
- Teng, H. Y., et al. including **Takarada, T., Omiya, M., Harakawa, H.**: 2022, A trio of giant planets orbiting evolved star HD 184010, *PASJ*, 74, psac070.
- Tran, Q. H., et al. including **Livingston, J. H.**: An Inner Sub-Neptune with an Outer Warm Jupiter Unlikely to Have Originated from High-eccentricity Migration, *AJ*, 163, 225.
- Uyama, T., et al. including **Guyon, O., Hashimoto, J., Tamura, M., Vievard, S.**: 2022, Monitoring Inner Regions in the RY Tau Jet, *AJ*, 163, 268.
- Wang, J. J., et al. including **Vievard, S.**: 2022, Atmospheric Monitoring and Precise Spectroscopy of the HR 8799 Planets with SCExAO/CHARIS*, *AJ*, 164, 143.
- Watanabe, N., et al. including **Narita, N., Kusakabe, N., Livingston, J. H., Mori, M., Nishiumi, T.**: 2022, Nodal precession of WASP-33b for 11 yr by Doppler tomographic and transit photometric observations, *MNRAS*, 512.
- Yoneta, K., Murakami, N., Koike, R., **Nishikawa, J.**: 2022, Binary-star Wave Front Control

Based on a Common-path Visible Nulling Coronagraph, *ApJS*, 262, 48.

Yoshitake, T., et al. including **Ueda, Y., Takarada, T.**: 2022, Multiwavelength observations of the black hole X-ray binary MAXI J1820+070 in the rebrightening phase, *PASJ*, 74.

5-2 欧文論文(研究会集録, 査読なし等) 17 編

Ahn, K., et al. including **Guyon, O., Vievard, S.**: 2022, Laboratory demonstrations of EFC and spatial LDFC on Subaru/SCExAO, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 121852B.

Deo, V., et al. including **Vievard, S., Guyon, O.**: Controlling petals using fringes: discontinuous wavefront sensing through sparse aperture interferometry at Subaru/SCExAO, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 121850Z.

Guyon, O., et al. including **Vievard, S.**: High contrast imaging at the photon noise limit with WFS-based PSF calibration, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 121850E.

Ishikawa, H. T., Kuzuhara, M., Aoki, W., Hirano, T., Kotani, T., Omiya, M.: 2022, Elemental abundances of M dwarfs based on high-resolution near-infrared spectra: Extension of verification by binary systems, The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS21), 10.5281/zenodo.7546565.

Lallement, M., et al. including **Vievard, S., Guyon, O., Kotani, T.**: 2022, Photonic chip for visible interferometry: laboratory characterization and comparison with the theoretical model, Proc. SPIE, 12188, Navarro, R., Geyl, R., 121882F.

Lozi, J., Ahn, K., Clergeon, C., Deo, V., **Guyon, O.**, Hattori, T., Minowa, Y., Nishiyama, S., Ono, Y., **Vievard, S.**: 2022, AO3000 at Subaru: combining for the first time a NIR WFS using First Light's C-RED ONE and ALPAO's 64x64 DM, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 1218533.

Lucas, M., Bottom, M., **Guyon, O.**, Lozi, J., Norris, B., Deo, V., **Vievard, S.**, Ahn, K., Skaf, N., Tuthill, P.: 2022, A visible-light Lyot coronagraph for SCExAO/VAMPIRES, Proc. SPIE, 12184, Evans, C. J., Bryant, J. J., Motohara, K., 121844E.

Martin, G., et al. including **Vievard, S., Guyon, O.**: 2022, Hybrid electro-optic visible multi-telescope beam combiner for next generation FIRST/SUBARU instruments, Proc. SPIE, 12188, Navarro, R., Geyl, R., 1798-1804.

Martin, G., et al. including **Vievard, S., Guyon, O.**: 2022, FIRST 5T 3D: a laser written device for FIRST/SUBARU reducing crosstalk and propagation losses, Proc. SPIE, 12188, Navarro, R., Geyl, R., 993-999.

Norris, B. R. M., et al. including **Guyon, O., Vievard, S.**, Arriola, A., Gretzinger, T., Lawrence, J. S., Withford, M. J.: Optimal self-calibration and fringe tracking in photonic nulling interferometers using machine learning, Proc. SPIE, 12183, Merand, A., Sallum,

S., Sanchez-Bermudez, J., 121831J.

Serizawa, T., **Kurokawa, T., Tanaka, Y., Nishikawa, J., Kotani, T., Tamura, M.**: Laser frequency comb system for the infrared Doppler spectrograph on the Subaru Telescope, Proc. SPIE, 12188, Navarro, R., Geyl, R., 121885J.

Skaf, N., **Guyon, O.**, Boccaletti, A., Gendron, E., Deo, V., **Vievard, S.**, Lozi, J., Ahn, K., Currie, T.: Imaged-based adaptive optics wavefront sensor referencing for high contrast imaging, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 121851U.

Wong, A. P., Norris, B. R. M., Deo, V., **Guyon, O.**, Tuthill, P. G., Lozi, J., **Vievard, S.**, Ahn, K.: Machine learning for wavefront sensing, Proc. SPIE, 12185, Schreiber, L., Schmidt, D., Vernet, E., 121852I.

Yoneta, K., Sudoh, S., Hayashi, H., Asano, M., **Nishikawa, J.**, and Murakami, N.: Recent progress of the facility for coronagraphic elemental technologies (FACET), Space Telescopes and Instrumentation 2022, Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 12180, 1218027.

5-3 和文論文(査読あり)

臼田知史, 大屋 真, 鈴木竜二, 尾崎忍夫, 寺田 宏, **成田憲保**, 田村元秀, 本田充彦, 秋山正幸: 2022, 30 m 光学赤外線望遠鏡 TMT の光学技術, 光学, 51.

5-4 和文論文(査読なし)

平野照幸: 2023, 太陽系外惑星, 天文年鑑 2023 年版, 304-311, ISBN 978-4-416-52294-3.

5-5 学会発表等

Ahn, K., **Guyon, O.**, Lozi, J., **Vievard, S.**, Deo, V., Skaf, N., Bragg, J., Haffert, S. Y., Males, J. R., Currie, T.: 2022, Laboratory demonstrations of EFC and spatial LDFC on Subaru/SCEXAO, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).

Currie, T., **Guyon, O.**, Brandt, G., Brandt, T., Chilcote, J., Tobin, T., Deo, V., Lozi, J., **Vievard, S.**: 2022, The SCEXAO Direct Imaging Search for Planets Around Accelerating Stars, Exoplanets IV, (Las Vegas, NV, USA, May 1–6, 2022).

Deo, V., **Vievard, S.**, Cvetojevic, N., Ahn, K., Huby, E., **Guyon, O.**, Lacour, S., Lozi, J., Martinache, F., Norris, B., Skaf, N., Tuthill, P.: 2022, Controlling petals using fringes: discontinuous wavefront sensing through sparse aperture interferometry at Subaru/SCEXAO, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).

Hirano, T.: 2023, RV Jitters in M Dwarfs: Near-Infrared Measurements and a New Diagnosis, The Extreme Precision Radial Velocity (EPRV) 5 Conference, (Santa Barbara, CA, USA, Mar. 27–30, 2023).

- Hori, Y.**, Fukui, A., **Hirano, T.**, **Narita, N.**, MuSCAT/IRD Team: 2023, Are Eccentric, Close-in Sub-Neptunes not Rocky?, The Extreme Precision Radial Velocity (EPRV) 5 Conference, (Santa Barbara, CA, USA, Mar. 27–30, 2023).
- Ishikawa, H. T.**, Kawahara, H., Kawashima, Y., Masuda, K., **Kotani, T.** **Hirano, T.**, **Kuzuhara, M.**, **Nugroho, S. K.**: 2022, Auto-differentiable high-resolution spectral model for exoplanets and its application to the Barnard's Star, THINKSHOP 2022: High-resolution spectroscopy for Exoplanet Atmospheres and Biomarker (Potsdam, Germany, Sep. 7–9, 2022).
- Ishikawa, H. T.**, **Kuzuhara, M.**, **Aoki, W.**, **Hirano, T.**, **Kotani, T.**, **Omiya, M.**: 2022, Elemental abundances of M dwarfs based on high-resolution near-infrared spectra: Extension of verification by binary systems, The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS21), (Toulouse, France, July 4–9, 2022).
- Kasagi, Y.**, **Kotani, T.**, **Hirano, T.**, **Kuzuhara, M.**, IRD-SSP team: 2023, Assessing the impact of telluric contamination on near-infrared RV measurement with IRD, The Extreme Precision Radial Velocity (EPRV) 5 Conference, (Santa Barbara, CA, USA, Mar. 27–30, 2023).
- Komatsu, Y.**, **Hori, Y.**, **Kuzuhara, M.**, Kosugi, M., **Takizawa, K.**, **Narita, N.**, **Omiya, M.**, Kim, E., **Kusakabe, N.**, **Meadows, V.**, **Tamura, M.**: 2022, Photosynthetic Fluorescence from Earth-like Planets Around Cool stars, AbSciCon 2022, (Atlanta, GA, USA, May 15–20, 2022).
- Komatsu, Y.**, **Hori, Y.**, **Kuzuhara, M.**, Kosugi, M., **Takizawa, K.**, **Narita, N.**, **Omiya, M.**, Kim, E., **Kusakabe, N.**, **Meadows, V.**, **Tamura, M.**: 2023, 太陽系外惑星における光合成蛍光検出シミュレーション, 第47回 生命の起原および進化学会学術講演会 (Mar. 28–29, 2023).
- Lallement, M., Lacour, S., Huby, E., Martin, G., Barjot, K., Perrin, G., Rouan, D., Lapeyrere, V., **Vievard, S.**, **Guyon, O.**, Lozi, J., Deo, V., **Kotani, T.**, Pham, C., Cassagnettes, C., Billat, A., Cvetojevic, N., Marchis, F.: 2022, Photonic chip for visible interferometry: laboratory characterization and comparison with the theoretical model, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Lozi, J., Ahn, K., Clergeon, C., Deo, V., **Guyon, O.**, Hattori, T., Minowa, Y., Nishiyama, S., Ono, Y., **Vievard, S.**: 2022, AO3000 at Subaru: combining for the first time a NIR WFS using First Light's C-RED ONE and ALPAO's 64x64 DM, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Lucas, M., Bottom, M., **Guyon, O.**, Lozi, J., Norris, B., Deo, V., **Vievard, S.**, Ahn, K., Skaf, N., Tuthill, P.: 2022, A visible-light Lyot coronagraph for SCExAO/VAMPIRES, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Martinache, F., Cvetojevic, N., Deo, V.: 2022, Fizeau-interferometry fringe tracking solutions for giant segmented telescope petal modes, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Norris, B. R. M., Martinod, M.-A., Tuthill, P., Gross, S., Cvetojevic, N., Jovanovic, N.,

- Lagadec, T., Kliner-teo, T., **Guyon, O.**, Lozi, J., Deo, V., **Vievard, S.**, Arriola, A., Gretzinger, T., Lawrence, J. S., Withford, M. J.: 2022, Optimal self-calibration and fringe tracking in photonic nulling interferometers using machine learning, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Nugroho, S. K.**, et al. including **Hirano, T.**, **Kuzuhara, Tamura, M.**, **Kotani, T.**, **Harakawa, H.**, **Kudo, T.**, **Kurokawa, T.**, **Nishikawa, J.**, **Omiya, M.**, **Ueda, A.**, **Vievard, S.**: 2022, Atomic and molecular species in the near-infrared emission spectrum of WASP-33b, THINKSHOP 2022: High-resolution spectroscopy for Exoplanet Atmospheres and Biomarker, (Potsdam, Germany, Sep. 7–9, 2022).
- Nugroho, S. K.**, et al.: 2022, The day-side atmosphere of WASP-33b seen through the InfraRed Doppler instrument, Annual Autumn Meeting of Astronomical Society of Japan.
- Omiya, M.**, & IRD-SSP team: 2023, Infrared Doppler survey for Earth-like planets around late-M dwarfs with IRD/Subaru, The Extreme Precision Radial Velocity (EPRV) 5 Conference, (Santa Barbara, CA, USA, Mar. 27–30, 2023).
- Skaf, N., **Guyon, O.**, Boccaletti, A., Gendron, E., Deo, V., **Vievard, S.**, Lozi, J., Ahn, K., Currie, T.: 2022, Imaged-based adaptive optics wavefront sensor referencing for high contrast imaging, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Takahashi, A.**, and SAND team: 2022, Development of South Africa Near-IR Doppler instrument, NYRIA Workshop, (Sarcedo, Italy, Nov. 7–10, 2022).
- Takahashi, A.**, **Kotani, T.**, Jovanovic, N., Roberts, M., Baker, A., McKenna, D. L., Liberman, J., SerCEL, G. P., and HISPEC team: 2023, Development of a fiber mechanical switcher for Keck/HISPEC and TMT/MODHIS, The Extreme Precision Radial Velocity (EPRV) 5 Conference, (Santa Barbara, CA, USA, Mar. 27–30, 2023).
- Vidal, F., Galland, N., Bertrou-Cantou, A., Gendron, E., Deo, V., Zidi, A., Ferreira, F., Sevin, A., Kulscar, C., Raynaud, H.-F., Clenet, Y., Davies, R.: 2022, The MICADO first light imager for the ELT: FDR numerical simulations for the SCAO mode, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- Wong, A. P., Norris, B. R. M., Deo, V., **Guyon, O.**, Tuthill, P. G., Lozi, J., **Vievard, S.**, Ahn, K.: 2022, Machine learning for wavefront sensing, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, (Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2022).
- 石川裕之, 河原創, 川島由依, 増田賢人, 小谷隆行, 平野照幸, 葛原昌幸, **Nugroho, S. K.**, 笠木 結: 2023, 自動微分可能なスペクトルモデルによるM型矮星の大気リトリーバル, 2023年天文学会春季年会.
- 鵜山太智, Currie Thayne, Brandt Timothy D., Robert De Rosa, Jerry Xuan, 葛原昌幸, 田村元秀, 堀 安範, SCExAO team, NIRC2 team: 2022, Hipparcos-Gaia 固有運動カタログを用いた直接撮像探査: 複雑な系における低質量伴星の発見, 日本天文学会2022年秋季年会.

大平泰広, 須藤星路, 村上尚史, 西川 淳: 2022, 2 チャンネル型位相マスクコロナグラフのための 2 偏光・複数バンド焦点面波面センサーの開発, 日本天文学会2022年秋季年会.

蔭谷泰希, 成田憲保, 福井暁彦, 生駒大洋, 小玉貴則, 木村真博, 平野照幸, 石川裕之, 堀安範, 田村元秀, 小谷隆行, IRD インテンシブ チーム, IRD 装置 チーム, IRTF チーム: 2022, Mass determination of TOI-519 b: a short-period transiting giant planet around a metal-rich mid M dwarf, 日本地球惑星科学連合2022年大会.

蔭谷泰希, 成田憲保, 福井暁彦, 生駒大洋, 木村真博, 小玉貴則, 平野照幸, 石川裕之, 堀安範, 小谷隆行, 田村元秀: 2022, IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム, IRTF チーム: 2022, 高金属量mid-M型星をトランジットする 短周期巨大惑星TOI-519 b の質量決定, 2022年日本惑星科学会秋季講演会.

笠木 結: 2022, 多波長測光観測によるdipperの減光原因の解明, かなたミニワークショップ2022. 【招待公演】

笠木 結, 河原 創, 増田賢人, 小谷隆行, 葛原昌幸, 平野照幸: 2023, すばる望遠鏡 IRD, REACHでの系外惑星・褐色矮星の観測: PyIRD での解析, 日本天文学会2023年春季年会.

葛原昌幸, Currie, T., Brandt, T., Guyon, O., Chilcote, J., Lozi, J., 鶴山太智, Groff, T., Janson, M., 田村元秀, 堀 安範, 實田拓也, 佐藤文衛, SCEXAO/CHARIS post-SEEDS チーム: 2022, 恒星の固有運動加速を引き起こす巨大惑星や褐色矮星の直接撮像と力学質量の導出, 2022年日本惑星科学会秋季講演会.

葛原昌幸, 實田拓也, 堀 安範, Currie, T., Brandt, T., 佐藤文衛, 鶴山太智, Janson, M., Chilcote, J., Tobin, T., 田村元秀, Post-SEEDS/SCEXAO/CHARIS チーム: 2022, ヒアデス星団に属する恒星 HIP 21152 を公転する褐色矮星の発見と力学質量, 日本天文学会2022年秋季年会.

黒崎健二, 堀 安範, 荻原正博, 國友正信: 2022, 巨大衝突を経験したスーパーアースの大気組成と長期進化, 2022年日本惑星科学会秋季講演会.

黒崎健二, 堀 安範, 荻原正博, 國友正信: 2022, 巨大衝突後の惑星大気の長期安定性および大気組成への影響, 日本天文学会2022年秋季年会.

小松 勇, 堀 安範, 葛原昌幸, 小杉真貴子, 滝澤謙二, 成田憲保, 大宮正士, Kim, E., 日下部展彦, Meadows, V., 田村元秀: 2022, Possible Photosynthetic Fluorescence from Earth-like Planets Around Cool stars, 日本地球惑星科学連合2022年大会.

小松 勇, 堀 安範, 葛原昌幸, 小杉真貴子, 滝澤謙二, 成田憲保, 大宮正士, Kim, E., 日下部展彦, Meadows, V., 田村元秀: 2023, 太陽系外惑星における光合成蛍光検出シミュレーション, 第47回 生命の起源および進化学会学術講演会.

須藤星路, 村上尚史, 大平泰広, 服部雅之, 西川 淳, 玉田洋介, 稲垣 滋, 早野 裕:

2022, 光渦を利用した波面センサの開発：傾斜波面の観測, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022.

高橋 葵, ほか, 小谷隆行, 西川 淳, 上田暁俊, 細川 晃, 多田将太郎, 田村元秀, 永山貴宏, 平野照幸, 葛原昌幸, 寶田拓也, 大宮正士: 2022, 南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 SAND の光学設計, 日本天文学会2022年秋季年会.

高橋 葵, 小谷隆行, 細川 晃, 多田将太郎, 葛原昌幸, 田村元秀, 西川 淳, 上田 暁俊, 永山貴宏, 國生 拓摩, 小崎 瑛子, 住 貴宏: 2022, 南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器SAND の開発, 可視赤外線観測装置技術ワークショップ.

成田憲保, ほか, 森 万由子, 平野照幸, 堀 安範, 小谷隆行, 田村元秀: 2023, MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測による TESS トランジット惑星候補のフォローアップ観測 III, 日本天文学会2023年春季年会.

西川 淳, ほか, 田村元秀, Guyon, O., Vievard, S.: 2022, 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発, 日本天文学会2022年秋季年会.

西川 淳, 米田謙太, 村上尚史, 林 寛昭, 浅野瑞基, 村松大海, 田中洋介: 2022, 大口径望遠鏡コロナグラフ向けの可視広帯域 24 分割 6 次位相マスクの開発, 日本天文学会2022年秋季年会.

西川 淳, ほか, 田中洋介, 田村元秀, Guyon, O., Vievard, S.: 2022, 系外惑星高コントラスト直接撮像のためのスペckル領域消光法に基づく干渉差分撮像法の数値シミュレーション, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022.

平野照幸: 2022, 近赤外分光による系外惑星探査とせいめい望遠鏡への新型近赤外分光器構想, 2022年度せいめいユーズミーツング.

平野照幸, 宮川浩平, 河原創, 上塚貴史, 大澤亮, JASMINE系外惑星検討班: 2022, JASMINE衛星による精密測光観測II, 日本天文学会2022年秋季年会.

堀 安範: 2022, 太陽系外惑星とアストロバイオロジー研究の来し方行く末, 2040年代のスペース天文学研究会. 【招待公演】

堀 安範, 福井暁彦, 平野照幸, 成田憲保, 小谷隆行, 田村元秀, MuSCAT/IRD インテンシブ観測/IRD 装置チーム: 2022, MuSCATs とすばる望遠鏡IRDインテンシブ観測から探るM型星周りの4つのサブネプチューンの組成と起源, 2022年日本惑星科学会秋季講演会.

村上 葵, 滝澤謙二, 小松 勇: 2023, 浮遊植物のバイオシグネチャーと太陽系外惑星の生命探査, 第47回 生命の起原および進化学会学術講演会.

村松大海, 西川 淳, 村上尚志, 林 寛昭, 米田謙太, 浅野瑞基, 田中洋介: 2022, 系

外惑星高コントラスト直接撮像のための位相マスクの位相差の測定, 日本光学会
年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022.

村松大海、西川 淳、村上尚史、林 寛昭、米田謙太、浅野瑞基、田中洋介: 2022, 系
外惑星観測のための位相マスクの位相差の測定, 2022年第83回応用物理学会秋季
学術講演会.

森 万由子, Livingston, J. H., de Leon, J., 石川裕之, 平野照幸, 藤田菜穂, 堀 安範, 川内紀
代恵, 成田憲保, 福井暁彦, 葛原昌幸, Collins, K., Stassun, K., Giacalone, S., MuSCAT
Team, IRD Team, TFOP Contributors: 2022, Validation of TOI-1696 b: a temperate
planet in the Neptunian desert around a nearby M dwarf, 日本地球惑星科学連合2022年
大会.

楊 毅: 2022, Multiple Rings and Asymmetric Structures in SR 21 Disk, EA ALMA Science
Workshop 2022.

米田謙太, 林 寛昭, 浅野 瑞基, 村上 尚史, 村松 大海, 田中洋介, 西川 淳: 2022, 12 分割 6
次位相マスクを用いた高コントラスト観測の室内実証, 日本天文学会2022年秋季
年会.

米田謙太, 西川 淳, 早野 裕, 入部正継, 山本広大, 津久井 遼, 村上尚史, 浅野 瑞
基, 村松大海, 田中洋介, 東谷千比呂, 田村元秀, 住 貴宏, 山田 亨, Guyon, O.,
Lozi J., Deo, V., Vievard, S., S., Ahn, K.: 2022, 系外惑星高コントラスト直接撮像の
ためのスペックル領域消光法に基づく干渉差分撮像法の光学実証実験, 日本光学
会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022.

米田謙太, 西川 淳, 早野 裕, 入部正継, 山本広大, 津久井 遼, 村上尚史, 浅野瑞基, 村松
大海, 田中洋介, 田村元秀, 住 貴宏, 山田 亨, Guyon, O., Lozi J., Deo, V., Vievard, S.,
S., Ahn, K.: 2023, 高コントラスト観測法Coherent Differential Imaging on Speckle
Area Nulling (CDI-SAN) の開発2, 日本天文学会春季年会.

5-6 プレスリリース・新聞記事・取材など

プレスリリース:

2022年4月5日: すばる望遠鏡がとらえた、生まれつつある惑星

2022年6月7日: 深海底熱水噴出孔で始原的な微生物を発見 -銅まみれの予想
外の生態が発見の鍵-

2022年8月1日: 低温の恒星を回る惑星を赤外線で見つけ -「超地球」が生命を
宿す可能性は?-

2022年9月1日: ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が撮像した系外惑星の画像

2022年9月7日: ハビタブルゾーンにあるスーパーアースを発見

2022年12月21日：ヒアデス星団に所属する、巨大惑星に似た褐色矮星を直接撮像で発見

2023年1月11日：宇宙における光合成の蛍光を検出できるか？

2023年2月9日：DNA・RNAの部品が地球外でつくられる反応経路を量子化学計算で発見

2023年2月16日：南極の藻類が赤外線で光合成する仕組みを解明。地球外生命の新たな鍵？

2023年3月27日：ケプラー衛星による惑星候補の中で最も近い地球型惑星を発見

出張授業・一般講演・サイエンスカフェ等：

2022年6月4日：日下部展彦，
宇宙から迫る系外惑星～ケプラー・TESSそしてJWSTへ～，
朝日カルチャーセンター横浜教室，公開講座.

2022年6月26日：日下部展彦，系外惑星探索から迫る宇宙における生命，
みなと科学館 天文講演会，一般講演.

2022年8月20日：日下部展彦，科学ライブショーユニバース案内人，科学技術館，
一般講演.

2022年9月8日：堀 安範，不思議な惑星の姿 「宇宙で生命を探せ！」，
こども天文博士教室，出張授業.

2022年10月1日：滝澤謙二，
地球は奇跡の星ではない？生命の兆候ある惑星、候補続々，日本経済新聞，
10/1掲載，取材.

2022年10月6日：日下部展彦，ふれあい天文学～太陽系の外には何がある？～，
練馬区立春日小学校，出張授業..

2022年10月16日：堀 安範，見えてきた、太陽系外の惑星の姿
～宇宙における生命探索～，大学共同利用期間シンポジウム2022，一般講演.

2022年10月21日：滝澤謙二，光合成の分光測定と太陽系外生命探索への応用，
センサ&IoT最新研究セミナー Vol.5，オンライン講演.

2022年11月17日：楊 毅，ふれあい天文学：宇宙と天体観測の基本，
大和市立大野原小学校，出張授業.

2022年11月18日：楊 毅，ふれあい天文学：宇宙と天体観測の基本，
田原市立田原中部小学校，出張授業。

2022年11月20日：堀 安範，不思議な惑星の世界 「宇宙で生命を探す」，
オースティン日本語補習授業校，国立天文台 ふれあい天文学，出張授業。

2022年11月26日：日下部展彦，科学ライブショーユニバース案内人，科学技術館，
一般講演。

2022年8月20日：楊 毅，ふれあい天文学：宇宙と天体観測の基本，珠海補習授業校，
オンライン授業。

2022年12月13日：日下部展彦，
ふれあい天文学～宇宙から見た地球、生命の存在する惑星～，パース日本人学校，
オンライン授業。

2023年1月21日：堀 安範，太陽系外惑星におけるアストロバイオロジー，
朝日カルチャーセンター横浜教室，公開講座。

2023年1月25日：日下部展彦，ふれあい天文学，東京学芸大学附属小金井中学校，
出張授業。

2023年2月3日：堀 安範，不思議な惑星の世界「宇宙で生命を探す」，
大阪府豊中市東丘小学校，国立天文台 ふれあい天文学，出張授業。

2023年3月11日：堀 安範，第2の地球を探せ！～太陽系外惑星の世界～，
みなとサイエンスフェスタ2023，一般講演。

2023年3月23日：堀 安範，「宇宙を知る」～太陽系そして太陽系外惑星の世界～，
aini フリースクール，オンライン授業。

5-7 連携研究による成果論文(査読あり):14編

※二重下線は公募研究代表者, 下線は連携研究の共同研究者。5-1との重複あり。以下同様。

Aizawa, M., et al. including Kawahara, H.: 2022, Fast optical flares from M dwarfs detected by a one-second-cadence survey with Tomo-e Gozen, *PASJ*, 74, 1069.

Furukawa Y., Saigusa D., Kano K., Uruno A., Saito R., Ito M., Matsumoto M., Aoki J., Yamamoto M., Nakamura T.: 2023, Distributions of CHN compounds in meteorites record organic syntheses in the early solar system. *Scientific Reports* **13**, 6683.

Kminek, G., et al. including Suzuki, Y.: 2022, COSPAR Sample Safety Assessment Framework (SSAF). *Astrobiology*, 22, S1.

Kurosawa, K., et al. including Mikouchi, T.: 2022, Shock recovery with decaying compressive pulses: Shock effects in calcite (CaCO₃) around the Hugoniot elastic limit. *Jour. Geophys. Res. Planets*, e2021JE007133.

Kuwata, A., Kawahara, H., Aizawa, M., Kotani, T., Tamura, M., 2022, Global Mapping of Surface Composition on an Exo-Earth Using Sparse Modeling, *ApJ*, 930, 162.

Nakamura, T., et al. including Mikouchi, T.: 2022, Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples, *Science*, 379, 6634.

Ong, M., Tokita, M., Katoh, H., Abe, T., Takahashi, S., Mita, H., Nakagawa, K., Suzuki, T., Tomita-Yokotani, K.: 2023, Contribution of extracellular substances to cell protective abilities against UV radiation and differentiation of germination, vegetative cells and hormogonia, during their life cycle in *Nostoc* sp. HK-01. *Eco-Engineering*, 35: 13-23.

Ono, H., et al. including Mikouchi, T.: 2023, Shock recovery with decaying compressive pulses: Shock melt veins in basaltic rocks. *Geophys. Res. Lett.*

Senda, N., Enomoto, T., Kihara, K., Yamashiro, N., Takagi, N., Kiga, D., Nishida, H.: 2022, Development of Expression-Tunable Multiple Protein Syntheses System in Cell-Free Reaction using T7-promoter-variant Series, *Synthetic Biology*, Volume 7, Issue 1, ysac029.

Suzuki, Y., Trembath-Reichert, E., Henrik, D.: 2022, Editorial: The rocky biosphere: New insights from microbiomes at rock-water interfaces and their interactions with minerals. *Front. Microbiol.*, 13: 1102710.

Takamiya, H., et al. including Suzuki, Y.: 2022, Copper-Nanocoated Ultra-Small Cells in Grain Boundaries Inside an Extinct Vent Chimney, *Front. Microbiol.*, 13: 864205.

Zolensky, M. E., Mikouchi, T., Hagiya, K., Ohsumi, K., Komatsu, M., Cheng, A., Le L.: 2022, Evidence for impact shock and regolith transportation on CM, CI and CV chondrite parent asteroids, *Meteoritics and Planet. Sci.*, 57.

三河内 岳: 2022, 太陽系での天体進化プロセスの解明を目指して: 多様な地球外物質

の鉱物学的研究によるアプローチ, *岩石鉱物科学*, 51, gkk.220214.

5-8 連携研究による会議収録および成果論文(査読なし)

都築俊宏, 小原直樹, 森下弘海, 山口和馬, 江副祐一郎, 松田有一, 野田篤司, 満田和久: 2022, 超々小型衛星群による超大型光学宇宙望遠鏡検討-スケールモデル地上実証実験-, 第6回宇宙科学技術連合講演会予集.

5-9 連携研究による研究会等における口頭・ポスター発表

Ishikawa, T. H., Kawahara, H., Kawashima, Y., Masuda, K., Kotani, T., Hirano, T., Kuzuhara, M., Nugroho, S.K.: 2022, Auto-differentiable high-resolution spectral model for exoplanets and its application to the Barnard's Star, THINKSHOP 2022: High-resolution spectroscopy for Exoplanet Atmospheres and Biomarker (Potsdam, Germany, Sep. 7–9, 2022).

Kölbl, D., Rabbow, E., Rettberg, P., Beblo-Vranesevic, K., Parpart, A., Mita, H., Yamagishi, A., Milojevic, T.: 2022, *Metallosphaera sedula* on a Mission – mimicking Mars in frames of the Tanpopo 4 mission, Europlanet Science Congress 2022, (Granada, Spain. Sep. 18–23, 2022).

Maeng, C. H., Kobari, H., Takahashi, S., Kume, A., Mita, H., Hiwatashi, Y., Fujita, T.: 2022, Extreme environmental stress tolerance of spores encased in sporangium of the moss, *Physcomitrium patens*., International Conference of Korean Society of Plant Biologists, (Busan, Korea, Nov. 9-11, 2022). 【優秀発表賞受賞】

Maeng, C. H., 小針寛乃, 久米 篤, 日渡祐二, 藤田知道: 2022, Thermal tolerance of sporangium in *Physcomitrium patens* : Antioxidative protection of spores, 日本植物学会第86会大会, (Kyoto, Japan, Sep. 15-19, 2022).

Mikouchi, T., et al.: 2022, Olivine mineralogy of asteroid Ryugu samples and CI chondrites: Further evidence for their common origin, 84th Annual Meeting of the Meteoritical Society, (Glasgow, UK, Aug. 15-21, 2022).

Mikouchi, T., et al.: 2022, Lithological variation of asteroid Ryugu samples returned by the Hayabusa2 spacecraft Assessment from the 18 particles distributed to the initial analysis “Stone” team, Hayabusa Symposium 2022, (Kanagawa+online, Nov. 14-16, 2022).

Mikouchi, T., Yoshida, H., Masuda, M., Zolensky, M. E., Nakamura, T.: 2022, Mineralogical investigation of olivine grains in CI chondrites Ivuna and Orgueil, The 13th Symposium on Polar Science, (Nov. 15-18, 2022).

Mikouchi, T., Sato, T., Yamazaki, S., Takenouchi, A., Shirai, N., Yamaguchi, A.: 2023, Sulfur-Rich Shock Vein in 2.4 Ga Basaltic Martian Meteorite Northwest Africa 8159: Remnant of Martian Soil Component?, 54th Lunar and Planet. Sci. Conf., (Mar. 13-17, 2023).

- Nakamura, T., Matsumoto, M., Amano, K., Enokido, Y., Zolensky, M. E., Mikouchi, T.: 2022, Hayabusa2 initial analysis stone and core team, “Analysis of samples from asteroid Ryugu returned by Hayabusa2.”44th COSPAR Scientific Assembly 2022, (online, July 16-24, 2022).
- Ogiya K., Matsumoto T., Miyake A. and Mikouchi T., Mineralogical and petrological study of Aguas Zarcas CM2 chondrite”, The 13th Symposium on Polar Science, (Nov. 15-18, 2022).
- Ong,M., Tomita-Yokotani, K., Tokita, M., Katoh, H., Suzuki, T.: 2022, Useful uses of functional substances in space on extracellular polymeric substances (EPS) in a cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01., COSPAR Scientific Assembly 2022, (online, July 16-24, 2022).
- Sato, T., Mikouchi, T.: 2023, Experimental Reproduction of Shock Melts in Shergottites Using Hawaiian Picritic Basalt and JSC Mars-1 Martian Soil Simulant, 54th Lunar and Planet. Sci. Conf., (Mar. 13-17, 2023).
- Suzuki, Y.: 2022, Hard Rock Microbiology: recent breakthroughs and future challenges, 8th International Symposium on Microbial Ecology (ISME18), (Lausanne, Switzerland, Aug. 18, 2022). 【Invited Talk】
- Takahashi, J., Kobayashi, M., Fujimori, G., Kobayashi, K., Ota, H., Matsuo, K., Katoh, M., Kebukawa, Y., Yoshimura, S., Nakamura, H.: 2023, Optical Activity Measurement of Amino-acid Films Irradiated with Circularly Polarized Lyman- α Light, The 27th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Hiroshima+online, Japan, Mar. 9-10, 2023).
- Tamanai, A., Oyama, T., Zeng, S., Watanabe, Y.: 2023, Clarification of chiral molecules via experimental molecular emission spectroscopy in mm and submm frequency ranges, 11th Life in the Universe workshop by Astrobiology Center, NINS, (Tokyo+online, Japan, Feb. 17-18, 2023).
- Tomita-Yokotani, K., Ong,M., Tokita, M., Abe, T., Kimura, S., Hashimoto, H., Sonoike,K., Ohmori, M., Yamagishi, A, Mita, H. Relationship between the cells layer thickness and wavelength of sun light in a cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01., COSPAR Scientific Assembly 2022, (online, July 16-24, 2022).
- Yajima, H.: 2022, FOREVER22 simulation project, France-Japan Galaxy Formation Workshop, (Nov. 16-17, 2022).
- Yajima, H.: 2023, Formation of the first massive galaxies in cosmological simulations and their observational properties”, IAU symposium 377 Early Disk Galaxy Formation from JWST to the Milky Way, (Feb. 6-10, 2023).
- Yajima, H.: 2023, Cosmological simulation of the first galaxy formation and comparisons with JWST data”, 9th Galaxy Evolution Workshop, (Feb. 20-23, 2023).
- Yamazaki S., Mikouchi T. and Tang C. P.: 2022, Petrological diversity of poikilitic shergottites: Insight from the 5-centimeter slab of Northwest Africa 13366 shergottite,

85th Annual Meeting of the Meteoritical Society, (Aug. 14-19, 2022).

Yamazaki S., Mikouchi T., Tang C. P.: 2022, Crystallization of poikilitic shergottites as deduced from textural and mineral compositional diversities of seven samples, The 13th Symposium on Polar Science, (Nov. 17, 2022).

Yokobori, S., Fujiwara, D., Kawaguchi, Y., Togashi, Y., Kinoshita, I., Yatabe, J., Hashimoto, H., Narumi, I., Yamagishi, A.: 2022, Analysis of mutations in the *rpoB* gene of the radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans* R1 exposed to space during the "Tanpopo" experiment on the International Space Station. COSPAR Scientific Assembly 2022, (online, July 16-24, 2022).

Zolensky, M., et al. including Mikouchi, T.: 2022, Evidence of Permafrost Processes in C-asteroid Regoliths, Hayabusa Symposium 2022, (Kanagawa+online, Nov. 14-16, 2022).

石川あかり, 今井直希, 清水航介, 癸生川陽子, 三田肇, 中川和道, 柴田裕実, 高橋淳一, 福田一志, 小栗慶之, 左近樹, 矢野創, 小林憲正: 2022, たんぽぽ2におけるアミノ酸関連分子の宇宙曝露実験, 日本宇宙生物科学会第36回大会.

石川裕之, 河原創, 川島由依, 増田賢人, 小谷隆行, 平野照幸, 葛原昌幸, Stevanus Nugroho, 笠木結: 2023, 自動微分可能なスペクトルモデルによる M型矮星の大気リトリーバル, 日本天文学会春季年会.

伊藤久美子, 松尾太郎, 菅野里美, 藤井悠里, 辻梨緒, 藤本和宏, 宮下英明: 2023, 大酸化イベントを引き起こしたシアノバクテリアの集光戦略, 第47回生命の起源および進化学会学術講演会.

小原 直樹: 2022, 複数開口を持つ回折光学系による光学宇宙望遠鏡の可能性, 2040年代のスペース天文学.

オン碧, 鵜田未来, 加藤浩, 鈴木利貞, 安部智子, 横谷香織: 2022, 乾燥と湿潤を繰り返す陸棲シアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01の細胞外物質の役割, 植物化学調節学会第57回大会.

オン碧, 鵜田未来, 加藤浩, 鈴木利貞, 安部智子, 横谷香織: 2022, 陸棲シアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01の乾燥と湿潤時の細胞外物質の役割, 藍藻の分子生物学2022.

オン碧, 加藤浩, 鈴木利貞, 横谷香織: 2022, 湿潤と乾燥過程における陸棲シアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01の生存戦略, 日本植物学会 第86回大会.

オン碧, 加藤浩, 鈴木利貞, 横谷香織: 2022, 陸棲藍藻 **Nostoc** sp. HK-01が生産する細胞外物質 (EPS) の多様な機能, 日本地球惑星科学連合2022年大会.

鹿野良平, ほか, 宮川浩平, 片坐宏一, 小谷隆行, 多田将太郎: 2022, JASMINE・カメラシステムの開発検討, 日本天文学会2022年秋季年会.

鹿野良平, 小谷隆行, 多田将太郎, 片坐宏一, 宮川浩平: 2023, 近赤外線撮像センサーの

高精度感度ムラ較正に関する実験, 第11回宇宙における生命ワークショップ.

川島由依, 河原創, 笠木結, 石川裕之, 増田賢人, 小谷隆行, 工藤智幸, 平野照幸, 葛原昌幸, Stevanus Nugroho, John Livingston, 田村元秀, IRDチーム: 2022, すばる望遠鏡IRDによる褐色矮星G1 229Bの高分散分光観測とスペクトル計算コードExoJAXを用いた大気特性の調査, 日本惑星科学会2022年秋季講演会.

河原創, ほか, 川島由依, 増田賢人, 小谷隆行, 石川裕之, 笠木結: 2023, 系外惑星高分散リトリバーバルExoJAX: 広帯域化アルゴリズム, 日本天文学会春季年会.

木村俊太: 2023, 宇宙探査におけるフォワード汚染を低減する基盤技術の獲得: 過酸化水蒸気(VHP)滅菌, 第11回 宇宙における生命ワークショップ.

小林憲正, 癸生川陽子, 三田 肇, 高橋淳一, 柴田裕実, 宇土拓海, 石川あかり, 今井直希, 福田一志, 小栗慶之, 左近樹, 矢野創, 山岸明彦, Vladimir Airapetian: 2022, 初期地球上のアミノ酸の起源: Endogenous vs. Exogenous, 日本地球化学会2022年会.

小林政弘, 高橋淳一, 藤森 玄, 小林憲正, 太田紘志, 松尾光一, 加藤政博, 平 義隆, 癸生川陽子, 中村浩章: 2023, 円偏光ライマン α 照射による有機分子のキラリティの発現, 日本物理学会2023年春季大会.

小柳陸希, 中川和道, 別所義隆, 三田 肇: 2022, 紫外線照射によるアデニル酸合成時の水素結合の影響, 日本地球化学会2022年会.

小柳陸希, 三田 肇: 2022, 水溶液へのUV照射によるOHラジカル発生について, 令和4年度物理化学インターカレッジセミナー. 【優秀口頭発表賞受賞】

小柳陸希, 中川和道, 別所義隆, 三田 肇: 2023, 宇宙紫外線環境下でのアデノシンの合成, 日本化学会第103回春季年会.

柴崎健豪, 田中博子, 加藤 浩, 富田-横谷香織, オン 碧, 安部智子: 2022, 陸棲シアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01の低水分環境において誘導される遺伝子の発現解析, 日本地球惑星科学連合2022年大会.

清水航介, 古賀優志, 左近 樹, 小林憲正, 三田 肇, 矢野 創, 癸生川陽子: 2022, 隕石有機物とその模擬物質の宇宙暴露および紫外線照射による分子構造変化, 日本宇宙生物科学会第36回大会.

高木有隣, 木賀大介: 2022, Trpを含まない酵素群によって構成される解糖系に依存して生育する大腸菌の作成に向けた活性測定, 生物物理学会.

高橋清楓, 三田肇: 2022, リンゴ酸モノアンモニウム塩から作成したプロテノイドミクロスフェアの粒径制御, 日本地球化学会2022年会.

高橋清楓, 三田肇: 2023, プロテノイドミクロスフェアへの核酸吸着, 日本化学会第103回春季年会.

高橋淳一, 小林政弘, 藤森玄, 小林憲正, 太田紘志, 松尾光一, 加藤政博, 癸生川陽子, 中村浩章: 2023, 円偏光ライマン α 照射に誘起された有機分子の光学活性発現”, 第47回 生命の起源および進化学会 学術講演会.

武田真之介, 藤井悠里, 松尾太郎, 伊藤久美子, 菅野里美, 小木曾哲: 2023, 緑の海仮説: シアノバクテリアの光合成による鉄イオンの酸化とそれに伴う海中の光透過率の変化, 第47回生命の起源および進化学会学術講演会.

多田将太郎, ほか, 小谷隆行, 片坐宏一, 鹿野良平: 2022, 精密測光・位置天文に向けた新しいフラット補正技術と検出器特性精密測定方法の開発, 日本天文学会2022年秋季年会.

多田将太郎, ほか, 小谷隆行, 片坐宏一, 鹿野良平: 2023, JASMINEでの精密測光・位置天文に向けた検出器特性の較正手法の開発, 第23回宇宙科学シンポジウム.

多田将太郎, ほか, 小谷隆行, 片坐宏一, 河原創, 鹿野良平, 宮川浩平: 2023, JASMINEでの精密測光・位置天文に向けた検出器の新しい較正手法の開発, 日本天文学会2023年春季年会.

辻 梨緒, 藤本 和宏, 柳井 毅, 伊藤久美子, 菅野里美, 藤井悠里, 松尾太郎: 2023, 緑の海仮説: シアノバクテリアの光合成アンテナ系における励起エネルギー移動, 第47回生命の起源および進化学会学術講演会.

都築俊宏, 小原直樹, 森下弘海, 山口和馬, 江副祐一郎, 松田有一, 野田篤司, 満田和久: 2022, 超々小型衛星群による超大型光学宇宙望遠鏡検討 -スケールモデル地上実証実験-, 第66回宇宙科学技術連合講演会.

鵜田未来, 安部智子, 加藤浩, 横谷香織: 2022, 過酷環境耐性を備えたシアノバクテリアの生存戦略ー活性酸素除去機能からの検証ー, 2022 生態工学会年次大会.

鵜田未来, オン 碧, 加藤浩, 安部智子, 横谷香織: 2022, シアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01の発芽と細胞内ROS消去機能, 日本宇宙生物科学会第36回大会. 【発表奨励賞受賞】

鵜田未来, オン 碧, 加藤浩, 安部智子, 横谷香織: 2022, *Nostoc* sp. HK-01乾燥藻体の加水後の休眠細胞ー発芽時の活性酸素除去機能, 藍藻の分子生物学2022.

西川 淳, 米田謙太, 村上尚史, 林 寛昭, 浅野瑞基, 村松大海, 田中洋介, 2022, 大口径望遠鏡コロナグラフ向けの可視広帯域24分割6次位相マスクの開発, 日本天文学会2022年秋季年会.

野田篤司: 2022, 電磁石を持つ超々小型衛星群のフォーメーションフライト, 2040年代のスペース天文学.

平山佳奈, 橋本博文, 山岸明彦, 三田肇, 横堀伸一: 2022, *Deinococcus radiodurans*の国際宇宙ステーション上での直接宇宙曝露実験, 日本宇宙生物科学会第36回大会. 【発

表奨励賞受賞】

福島肇, 矢島秀伸, 梅村雅之: 2022, 宇宙空間における紫外線円偏光波生成, 計算アストロバイオロジー2022研究会.

古川善博: 2022, 隕石有機物の高分解能イメージングで探る初期太陽系の生命構成分子の起源. 計算アストロバイオロジー2022研究会. 【招待講演】

星野辰彦: 2022, 海底下堆積物の微生物多様性, 日本地球化学会第69回年会. 【招待講演】

星野辰彦: 2023, 海底下深部微生物群の生態と進化, 第11回宇宙における生命ワークショップ.

細川 晃, 小谷隆行, 河原創, 川島由依, 吉岡和夫, 増田賢人, 石川裕之, 檜山和己, 田近英一: 2022, 惑星大気模擬ガスの高分散スペクトル取得装置の開発, 第11回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2022.

松田有一: 2022, 初代星と地球型系外惑星を解像できる大型光学宇宙望遠鏡, 2040年代のスペース天文学.

三河内 岳, ほか: 2022, 小惑星リュウグウ試料に見られる岩相の多様性, 日本惑星科学会2022年年会.

三田 肇, ほか, 矢野 創, 藤田知道, 横堀伸一, 別所義隆, 癸生川陽子: 2023, ポストたんぽぽ計画での宇宙曝露実験～「たんぽぽ3」から「たんぽぽ5」へ～, 第23回宇宙科学シンポジウム.

三田 肇, ほか, 矢野 創, 横谷香織, 藤田知道, 横堀伸一, 別所義隆, 癸生川陽子: 2022, ポストたんぽぽ計画での宇宙曝露実験の進捗情報報告, 第37回宇宙環境利用シンポジウム.

三田 肇, 矢野 創, 奥平恭子, 小柳陸希, MAUREL, Marie-Christine, 中澤淳一郎: 2023, ISS等での宇宙塵捕集有機物解析に向けたエアロゲルへの高速衝突実験, 令和4年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム.

満富健太, 木賀大介: 2023, 配列からタンパク質の活性を推定する二つの計算手法が示す予測値の差異の検証, 第47回生命の起源および進化学会学術講演会.

三輪 (伊藤) 久美子, 菅野里美, 藤井悠里, 松尾太郎: 2023, 生命と地球の共進化の裏側にあるもの, 第47回生命の起源および進化学会学術講演会.

宮本愛, 三田 肇: 2022, 宇宙生命探査を目指したアミノ酸・ジペプチドの検出法, 令和4年度物理化学インターカレッジセミナー.

村松大海, 西川 淳, 村上尚史, 林 寛昭, 米田謙太, 浅野瑞基, 田中洋介: 2022, 系外惑星観

測のための位相マスクの位相差の測定, 第83回応用物理学会秋季学術講演会.

村松大海, 西川 淳, 村上尚史, 林 寛昭, 米田謙太, 浅野瑞基, 田中洋介: 2022, 系外惑星高コントラスト直接撮像のための位相マスクの位相差の測定, Optics & Photonics Japan 2022.

矢島秀伸, 福島 肇, 梅村雅之: 2022, 初期宇宙の銀河形成と紫外線円偏光, 計算アストロバイオロジー2022.

矢島秀伸, 福島 肇, 梅村雅之: 2023, 輻射輸送計算による星間紫外線円偏光場のモデル化とキラル分子への影響, 第11回宇宙における生命ワークショップ.

矢野 創: 2022, 地球・月圏のダスト計測・捕集の過去・現在・未来: 地球周回衛星から月周回プラットフォームまで, 第一回 月—地球圏ダスト環境ワークショップ.

矢野 創, ほか, 三田 肇, 癸生川陽子, 横谷香織: 2023, たんぽぽ2曝露・捕集実験試料の地球帰還後分析の科学成果, 第23回宇宙科学シンポジウム.

山岸明彦, ほか, 矢野創, 横堀伸一, 三田肇: 2023, たんぽぽ計画: 全宇宙曝露試料の帰還と試料解析の現状, 第23回宇宙科学シンポジウム.

横堀伸一, 三田 肇, 癸生川陽子, 藤田知道, 横谷香織, 矢野 創, 別所義隆: 2023, 月軌道周回プラットフォーム・ゲートウェイ搭載アストロバイオロジー実験の実現に向けた準備研究 (Preparatory Research of Astrobiology Experiment on Lunar Orbital Platform Gateway), 第11回宇宙における生命ワークショップ.

横谷香織: 2022, 陸棲シアノバクテリアが3年宇宙に行って帰ってきました, 第20回微生物研究会. 【招待講演】

米田謙太, 林 寛昭, 浅野瑞基, 村上尚史, 村松大海, 田中洋介, 西川 淳: 2022, 12分割6次位相マスクを用いた高コントラスト観測の室内実証, 日本天文学会2022年秋季年会.

5-10 連携研究による著書

鈴木庸平 (2022), 海洋地殻微生物研究の到達点とマントル掘削での挑戦. 海洋出版 月刊地球 号外72 「海洋科学掘削によるマントル到達への挑戦-地球最大のフロンティアに挑む-」.

5-11 連携研究による一般講演・解説・受賞・その他

鈴木庸平, NHKサイエンスゼロ 「1億年生きた微生物も!? “極限環境生物”の生存戦略から「生命とは何か」を考える」 2022年10月24日

藤田知道：コケ分子生物学を用いたSDGsへの取り組み, アグリバイオ 7 (3) 24-28 (北隆館), 宇宙に生命の起源探る「たんぽぽ計画」西日本新聞ふくおか都市圏版, 2023年2月25日

三河内 岳「探査と隕石から読み解く火星の科学」東京大学総合研究博物館スクールモバイルミュージアム東大地質図コレクション講演会, 2023年1月28日 (文京区教育センター)

三田肇：宇宙塵(うちゅうじん)を探す～宇宙実験「たんぽぽ計画」～, 体験型子ども科学館O-Labo講座, 2023年1月9日, 大分市大分科学普及会O-Labo

矢島秀伸, 国内研究会「計算アストロバイオロジー2022」の開催 (2022年11月10日, 11日, 招待講演者26名)

矢野創：宇宙での微生物・微粒子曝露捕集実験 (たんぽぽ計画) の結果と今後の発展: ゲートウェイと氷衛星探査, 三鷹ネットワーク大学・第181回アストロノミーパブ 2022年5月21日 三鷹ネットワーク大学

横堀伸一：Research Flies to the Space Station on SpaceX CRS-27;
https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/spacex-27-research-highlights
(たんぽぽ5がNASAのCRS-27での科学トピックスの1つに取り上げられた), 2023年3月7日

横堀伸一：SpaceX-27 Science Media Teleconference, RM 1027 KSC-CR-Press-site-large conference room [Virtual/Teleconference], 2023年3月15日 (NASA TVでインターネット配信, 参加者：M. Everett, S. Johnson, H. Mita, R. Moeller, D. Mair, D. Thomas, L. Torres)

横堀伸一：SpaceX Falcon 9 CRS SPX-27 Live Launch (NASA TVでインターネット配信, たんぽぽ5についての説明がインサートされた)

6. 財務

2022 年度の予算・決算の状況

(円)

収入	予算額	決算額	差額(予算額-決算額)
運営費交付金	289,367,000	365,211,150	-75,844,150
産学連携等研究収入及び寄附金収入等	16,479,000	199,861,015	-183,382,015
自己収入	0	0	0
合計	305,846,000	565,072,165	-259,226,165

支出		予算額	決算額	差額(予算額-決算額)
業務費	研究教育費	277,556,000	336,811,995	-59,255,995
	一般管理費	11,811,000	10,613,631	1,197,369
産学連携等研究収入及び寄附金収入等		16,479,000	109,753,511	-93,274,511
合計		305,846,000	457,179,137	-151,333,137

収入-支出	予算額	決算額	差額(予算額-決算額)
	0	107,893,028	-107,893,028

7. 外部資金

科学研究費補助金

研究期間 (年度)	研究課題	研究代表者	2022 年度交付額(単位:千円)		
			直接経費	間接経費	合計
新学術領域研究(研究領域提案型)					
2018-2022	赤外線による若い惑星とハビタブル惑星の観測の新機軸	田村 元秀	33,000	9,900	42,900
2021-2022	若い恒星まわりの系外惑星探査:新解析手法の確立とトランジット惑星観測	平野 照幸	4,000	1,200	5,200
2021-2022	ALMA 長基線観測と新しい解析手法で探査する周惑星円盤	橋本 淳	1,000	300	1,300
基盤研究(S)					
2001-2025	Mapping Habitable Planetary Environments with Exoplanet Imaging	Guyon Olivier	52,900	15,870	68,770
合計	3 件		90,900	27,270	118,170

学術研究助成基金助成(基金)

研究期間 (年度)	研究課題	研究代表者	2022 年度交付額(単位:千円)		
			直接経費	間接経費	合計
若手研究					
2021-2023	太陽系内惑星間塵中の生命関連有機物探索	高橋 葵	600	180	780
2021-2023	若い星団における視線速度観測に基づく惑星の形成・進化過程の解明	寶田 拓也	1,000	300	1,300
2021-2023	量子化学計算を用いた近赤外光を利用して水を酸化する光合成色素の探索	小松 勇	400	120	520
2022-2024	Project Horizon: Exploring the Atmosphere of Tidally-locked Worlds using High-resolution Spectroscopy	Nugroho Stevanus	2,300	690	2,990

基盤研究(C)					
2019-2023	磁気的環境から俯瞰する星形成の初期物理状態	神鳥 亮	600	180	780
2021-2024	視線速度法による木星類似惑星の探索	原川 紘季	1,100	330	1,430
2022-2024	大気圧低温プラズマが誘導する細胞応答の分子機構	定塚 勝樹	1,100	330	1,430
2022-2026	アストロバイオロジーを用いた教科横断型 STEAM 教育コンテンツの開発及び実践	日下部展彦	600	180	780
挑戦的研究(萌芽)					
2021-2022	可視回折限界イメージング実現のための革新的光導波路回路開発	小谷 隆行	1,200	360	1,560
研究スタート支援					
2021-2022	惑星探査データの応用による近傍 M 型星の元素組成の統一的調査	石川 裕之	800	240	1,040
合計	10 件		9,700	2,910	12,610

8. 大学院教育

2018 年度から、総合研究大学院大学(総研大)とアストロバイオロジーセンターとの間で連携協定を締結し、アストロバイオロジーセンターの教員が総研大の客員教員として、大学院生を受け入れている。また、東京大学の学生指導も行っている。

8-1 総合研究大学院大学 物理化学研究科 天文科学専攻

第 2 学年

大学院学生	指導教員	研究課題
越坂 紫織	小谷 隆行	高コントラスト偏光直接撮像観測による原始惑星系円盤と太陽系外惑星の研究

第 3 学年

大学院学生	指導教員	研究課題
多田 将太郎	小谷 隆行	シングルモードファイバー高分散分光器の開発と高分散分光観測による太陽系外惑星大気の特徴づけ
村上 葵	滝澤 謙二	野外における光合成の環境応答の解明—光合成シグナルの太陽系外惑星の生命探査への利用—

第 4 学年

大学院学生	指導教員	研究課題
笠木 結	小谷 隆行	若い星・晩期型星・褐色矮星まわりの太陽系外惑星探査による様々な恒星質量・進化段階における惑星形成の解明について
細川 晃	小谷 隆行	すばる望遠鏡用高コントラスト高分散分光器の開発と太陽系外惑星大気の特徴づけ

第 5 学年

氏名	指導教員	研究課題
西海 拓	堀 安範	MuSCAT シリーズを用いた高精度測光観測で探る系外惑星の特徴付

8-2 大学・大学院との連携

氏名	学年	指導教員	所属
中島 健	修士1年	田村 元秀	東京大学大学院・理学系研究科・天文学専攻
Zying Gu	修士1年	田村 元秀	東京大学大学院・理学系研究科・天文学専攻
桑田 敦基	博士2年	田村 元秀	東京大学大学院・理学系研究科・天文学専攻
森 万由子	博士3年	田村 元秀	東京大学大学院・理学系研究科・天文学専攻

9. 公開事業

日程	名称	場所	参加者
2022 年 10 月 28-29 日	三鷹・星と宇宙の日 2022 (共催)	ハイブリッド	29 日入場者数: 419 名(定員制) ABC 動画 7本 総再生数合計 261

※新型コロナウイルスの影響で、現地開催は定員制のハイブリッド開催となった。

10. 海外渡航

2022 年度: 研究員及び研究教育職員の海外渡航

国・地域名	海外出張
アメリカ合衆国	13
イタリア	1
ドイツ	1
オーストラリア	1

※新型コロナウイルスの影響

11. 年間記録

2022 年	
4 月 5 日	「すばる望遠鏡が捉えた、生まれつつある惑星」をプレスリリース
6 月 7 日	公募研究の成果「新海底熱水噴出孔で原始的な微生物を発見 -銅まみれの予想外の生態が発見の鍵-」をプレスリリース
8 月 1 日	「低温の恒星を回る惑星を赤外線で見つけ -「超地球」が生命を宿す可能性は？-」をプレスリリース
9 月 1 日	「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が撮像した系外惑星の画像」をプレスリリース
9 月 7 日	「ハビタブルゾーンにあるスーパーアースを発見」をプレスリリース
10 月 28-29 日	三鷹・星と宇宙の日 2022 (ハイブリッド開催, 主催: 国立天文台, ABC 東京大学, 総合研究大学院大学)
12 月 12 日	2022 年アストロバイオロジーセンターシンポジウム ～ハビタビリティの理解の現状と生命兆候の将来観測～ (国立天文台および Zoom のハイブリッド開催)
12 月 21 日	「ヒアデス星団に所属する、巨大惑星に似た褐色矮星を直接撮像で見つけ」をプレスリリース
2023 年	
1 月 11 日	「宇宙における光合成の蛍光を検出できるか？」をプレスリリース
2 月 9 日	「DNA・RNA の部品が地球外で作られる反応経路を量子化学計算で見つけ」をプレスリリース
2 月 16 日	「南極の藻類が赤外線で見つけする仕組みを解明。地球外生命の新たな鍵？」をプレスリリース
2 月 17～18 日	第 11 回宇宙における生命ワークショップ ～令和 4 年度プロジェクト/サテライト成果発表会～ (国立天文台および Zoom のハイブリッド開催)
3 月 19～21 日	慶應アストロバイオロジーキャンプ 2023 (山形県鶴岡市、協力)
2 月 27 日	「ケプラー衛星による惑星候補の中で最も近い地球型惑星を発見」をプレスリリース
3 月 10 日	神戸大学惑星科学研究センター(CPS) & ABC ワークショップ「地球型惑星の気候を地球古気候研究から考える」(CPS および Zoom によるハイブリッド開催、協力)

所在地:

住所: 〒181-8588

東京都三鷹市大沢 2-21-1, 国立天文台三鷹キャンパス内

自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター

URL: <https://abc-nins.jp>

E-mail: abc-pub@abc-nins.jp



(岡崎分室)

住所: 〒444-8585

愛知県岡崎市明大寺町字西郷中 38,
基礎生物学研究所 明大寺キャンパス内



アストロバイオロジーセンター年次報告編集委員

田村元秀

日下部展彦

堀安範

森万由子

ABC 事務のみなさま



【裏表紙説明】

ハビタブルゾーンにある地球型惑星の地表イメージ。右上の分子は光合成に必要なクロロフィル。地表に植物が繁茂していれば、植物による特徴的な反射スペクトルが見えるかもしれない。

Credit: Astrobiology Center

